

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

Tese de Doutorado

**ZONEAMENTO DE SISTEMAS GEOAMBIENTAIS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO POTIRIBU, RS.**

RUDIMAR SCHUSTER SCHEREN

Orientador: Prof. Dr. Luís Eduardo de Souza Robaina

Porto Alegre, janeiro de 2021.

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

**ZONEAMENTO DE SISTEMAS GEOAMBIENTAIS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO POTIRIBU, RS.**

RUDIMAR SCHUSTER SCHEREN

Orientador: Prof. Dr. Luís Eduardo de Souza Robaina

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Sidnei Luís Bohn Gass (UFRGS)
Profa. Dra. Nina Simone Vilaverde Moura (UFRGS)
Prof. Dr. Mauricio Meurer (UFPEL)
Prof. Dr. Anderson Augusto Volpato Scoti (UFSM)

Tese submetida à banca como requisito parcial para a obtenção do título de doutor em Geografia, no Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, janeiro de 2021.

CIP - Catalogação na Publicação

Scheren, Rudimar Schuster
ZONEAMENTO DE SISTEMAS GEOAMBIENTAIS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO POTIRIBU, RS. / Rudimar Schuster
Scheren. -- 2021.
240 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, 2021.

1. Zoneamento Geoambiental. 2. Geomorfologia. 3.
Uso e Cobertura da Terra. 4. Geotecnologias e SIG. 5.
Análise Ambiental. I. Robaina, Luis Eduardo de Souza,
orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Este trabalho é dedicado à minha família e a todas as pessoas que acreditam que é possível viver em um mundo no qual a humanidade não esteja autocentrada e separada da natureza, e seja livre de um pensamento único de organização social.

AGRADECIMENTOS

Uma importante etapa como esta não se cumpre sozinho, pessoas e instituições foram importantes e estiveram ao meu lado durante essa travessia. A estes preciso agradecer.

À minha família, mãe, pai (em memória) e irmãs, pelo apoio, incentivo e compreensão.

À Luana, minha querida companheira de caminhada nesta vida complexa, difícil, porém prazerosa.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, universidade pública, gratuita e de excelência, na qual cursei o mestrado e o doutorado.

À Universidade Federal de Santa Maria, na qual mesmo não estando na condição de aluno, sempre encontrei as portas para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Professor Doutor Luís Eduardo de Souza Robaina, pela orientação, paciência, bom humor, sabedoria e amizade ao longo desses anos.

Ao Professor Doutor Romário Trentin pela colaboração nos trabalhos de laboratório e trabalho de campo.

Ao André Furlan, pela colaboração em trabalho de campo e nas ideias para a pesquisa, e aos demais colegas do Lageolam/UFSM pela troca de ideias.

À Ana Laura e Thiago Fengler, queridos amigos que abriram as portas de sua casa sempre que precisei estar em Santa Maria para orientação e trabalho de laboratório.

À Carolina Sausen, Graciele Fabrício e Neira Mello, queridas colegas de trabalho e companheiras de luta que se desdoblaram para suprir minhas ausências na APMI Sindicato em virtude do desenvolvimento desta pesquisa.

À Escola Municipal Fundamental Estado do Amazonas (Ijuí), Instituto Municipal de Ensino Assis Brasil (Ijuí) e Escola Miguel Burnier (Coronel Barros), educandários onde trabalho ou trabalhei durante o percurso da tese e dos quais tive que me ausentar em muitos momentos.

Aos amigos, Dr. Eduardo Riffel e Dr. Roberto Antunes, que em conversas, mesmo que por aplicativo de mensagens, contribuíram com trocas de experiências, para não perder o costume dos tempos de Lagam.

A todas e todos meu sincero e profundo agradecimento.

*“Early man walked away;
As modern man took control;
Their minds weren't all the same;
To conquer was his goal;
So he built his great empire;
And slaughtered his own kind;
Then he died a confused man;
Killed himself with his own mind.”*
Grag Gaffin, Bad Religion, Álbum
How Could Hell Be Any Worse?

RESUMO

Os estudos ambientais são de grande importância para a humanidade, tendo em vista que todas as atividades e assentamentos humanos se dão sobre espaços naturais que são alterados pelas derivações antrópicas. Sendo assim, os esforços para o Zoneamento Geoambiental compõem ferramenta na busca mediar a dicotomia existente entre as sociedades humanas e a natureza dos espaços por elas ocupado, ao utilizar uma gama de variáveis ambientais e antrópicas para estabelecer zonas com potencial de uso e ocupação e zonas de nas quais a manutenção total das dinâmicas naturais se faz necessária. Desta forma, a presente tese buscou estabelecer um Zoneamento dos Sistemas Geoambientais da Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS, com o auxílio de SIG e Geoprocessamento. As variáveis elencadas foram a Geomorfologia: estudo no qual o relevo da bacia do Potiribu foi caracterizado com base na metodologia da classificação taxonômica do relevo, levando em consideração especialmente, os terceiro, quarto e quinto níveis; a Geologia e os solos; o uso e cobertura da terra relacionada com a legislação das Áreas de Preservação Permanente; e a suscetibilidade ambiental, definida a partir de uma análise combinada dos parâmetros anteriormente listados. Foram mapeados no âmbito da bacia o substrato rochoso, em Rochas Vulcânicas Basálticas da Formação Serra Geral e Rochas Areníticas da Formação Tupanciretã, além dos tipos de solo, em Latossolos, Cambissolos e Argissolos, determinando assim a configuração litopedológica da bacia, além do mapeamento geomorfológico. O mapeamento do uso e cobertura da terra apresentou referência a respeito da ocupação humana, tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais, determinando os tipos de atividades realizadas e os remanescentes de vegetação natural, expondo a organização da distribuição espacial dos elementos naturais e antrópicos, sobretudo a discrepância entre a razão espacial das áreas ocupadas e cultivadas em relação às áreas naturais preservadas. As análises realizadas levaram em conta os fundamentos teórico-metodológicos consagrados na literatura geográfica em especial a Teoria Geral dos Sistemas e metodologia compatível, no sentido de realizar uma análise empírica da paisagem. Os resultados levaram a uma caracterização geoambiental da paisagem da Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS, que definiu dois níveis taxonômicos do Zoneamento de Sistemas Geoambientais subdivididos em Unidades Geoambientais, que apontaram as potencialidades e suscetibilidades dos diversos ambientes e realizaram uma análise dos conflitos de uso da terra, de acordo com as características fisiográficas e antrópicas de cada sistema e cada unidade, associados ao avanço das atividades antrópicas sobre as Áreas de Preservação Permanente. Os Sistemas definidos foram, Sistema Urbano, Sistema Passo do Inglês, Sistema Cambará, Sistema Pejuçara e Sistema Andorinhas.

Palavras-Chave: Zoneamento Geoambiental, Geomorfologia, Bacia Hidrográfica, Áreas de Preservação Permanente, Sistemas de Informação Geográfica.

ABSTRACT

Environmental studies are of great importance to humanity, considering that all human activities and settlements take place on natural spaces that are altered by anthropic derivations. Therefore, efforts for Geo-Environmental Zoning are an important tool in the search to mediate the dichotomy between human societies and the nature of the spaces they occupy, by using a range of environmental and man-made variables to establish areas with potential for use and occupation and areas in which the total maintenance of natural dynamics is necessary. In this way, this thesis sought to establish a Zoning of the Geoenvironmental Systems of the Potiribu River Basin, RS, with the help of GIS and Geoprocessing. The variables listed were Geomorphology: a study in which the relief of the Potiribu basin was characterized based on the methodology of taxonomic classification of the relief, taking into consideration especially, the third, fourth and fifth levels; Geology and soils; the use and coverage of land related to the legislation of the Permanent Preservation Areas; and the environmental susceptibility, defined from a combined analysis of the parameters previously listed. The rocky substrate was mapped in the scope of the basin, in Basaltic Volcanic Rocks of the Serra Geral Formation and Sandstone Rocks of the Tupanciretã Formation, in addition to the soil types, in Latosols, Cambisols and Argisols, thus determining the basin's litopedological configuration, in addition to the geomorphological mapping. The mapping of land use and coverage showed reference to human occupation, both in urban and rural areas, determining the types of activities carried out and the remnants of natural vegetation, exposing the organization of the spatial distribution of natural and anthropic elements, especially the discrepancy between the spatial ratio of occupied and cultivated areas in relation to preserved natural areas. The analyzes carried out took into account the theoretical and methodological foundations enshrined in the geographic literature, especially the General Systems Theory and compatible methodology, in order to carry out an empirical analysis of the landscape. The results led to a geoenvironmental characterization of the landscape of the River Basin Potiribu, RS, which defined two taxonomic levels of the Zoning of Geoenvironmental Systems subdivided into Geoenvironmental Units, which pointed out the potentialities and susceptibilities of the different environments and carried out an analysis of the conflicts of use of the land, according to the physiographic and anthropic characteristics of each system and each unit, associated with the advancement of anthropogenic activities over the Permanent Preservation Areas. The defined systems were: Urban System, Passo do Inglês System, Cambará System, Pejuçara System and Andorinhas System.

Keywords: Geoenvironmental Zoning, Geomorphology, Hydrographic Basin, Permanent Preservation Areas, Geographic Information Systems.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 01: Mapa das Áreas Municipais na Bacia Hidrográfica do Rio Potiribu, RS | 17 |
| Figura 02: Sobreposição de Camadas em um Plano de Informação. | 61 |
| Figura 03: Fluxograma dos procedimentos gerais da pesquisa | 81 |
| Figura 04: Cruzamento das variáveis para a geração dos Sistemas Geoambientais..... | 83 |
| Figura 05: MDE da BH do rio Potiribu, RS. Fonte: Banco de Dados USGS - SRTM | 86 |
| Figura 06: Gráfico de amostra de amplitude altimétrica maior que 60 metros | 90 |
| Figura 07: Gráfico de amostra de amplitude altimétrica maior que 60 metros..... | 90 |
| Figura 08: Principais Geomorphons reconhecidos na análise do relevo..... | 93 |
| Figura 09: Fluxograma que contém Árvore De Decisão para as Unidades Geomorfométricas.... | 94 |
| Figura 10: Modelo das formas de vertente..... | 95 |
| Figura 11: Imagem com composição de bandas 2, 3 e 4 (cor verdadeira) do satélite da Missão Sentinel 02..... | 97 |
| Figura 12: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Potiribu, no estado do Rio Grande do Sul..... | 101 |
| Figura 13: Mapa dos Cursos da Bacia e Hierarquia Fluvial..... | 103 |
| Figura 14: Apresentação da distribuição das altitudes na bacia hidrográfica do rio Potiribu, RS..... | 104 |
| Figura 15: Foz do rio Potiribu, junto ao rio Ijuí, no município de Ijuí, RS..... | 104 |
| Figura 16: Nascente do Arroio dos Ingleses, junto aos divisores de água, no município de Cruz Alta, RS..... | 105 |
| Figura 17: Mapa da Geologia da Bacia Hidrográfica do rio Potiribu..... | 108 |
| Figura 18: Afloramento de rocha arenítica em decomposição em corte ao longo da rodovia BR 158, no município de Cruz Alta, RS..... | 110 |
| Figura 19: Afloramento de rocha arenítica em decomposição em corte ao longo da rodovia BR 158, no município de Cruz Alta, RS..... | 111 |
| Figura 20: A) Afloramento de bloco de rocha basáltica em área de cultivo secundário, no município de Ijuí, RS. B) Afloramento rochoso de basaltos ao longo de vertente em área de cultivo de soja no município de Ijuí RS..... | 111 |
| Figura 21: A) Afloramento rochoso basáltico em processo de fraturamento em área de corte de estrada vicinal no município de Ijuí, RS. B) Rocha basáltica com intenso processo de faturamento. C) Afloramento de rocha vulcânica alterada com diaclasamento horizontal..... | 112 |
| Figura 22: Mapa de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Potiribu..... | 114 |
| Figura 23: Cambissolo e rocha basáltica decomposta em área de cultivo agrícola, próxima à foz do rio Potiribu, no município de Ijuí, RS..... | 115 |
| Figura 24: Cambissolo em área de base da colina próximo ao curso do rio Potiribu..... | 115 |
| Figura 25: Latossolo em corte de estrada vicinal, próximo à área urbana de Ijuí, RS..... | 116 |
| Figura 26: Latossolo pouco espesso, com visualização da rocha em processo de decomposição, ao longo de vertente..... | 117 |
| Figura 27: Área de Latossolo com diferente espessura controlada pela resistência diferencial de variadas posições do derrame..... | 117 |
| Figura 28: Argissolo em corte de rodovia, município de Cruz Alta, RS..... | 118 |
| Figura 29: Mapa dos limites territoriais brasileiros com a razão espacial da bacia sedimentar do rio Paraná e a localização da bacia hidrográfica do rio Ijuí, RS..... | 120 |
| Figura 30: Mapa dos limites territoriais do estado do RS com as Regiões Geomorfológicas.... | 121 |
| Figura 31: Unidades de relevo por padrões de formas semelhantes na bacia hidrográfica do rio Potiribu..... | 123 |
| Figura 32: Aspecto das Colinas Onduladas em Arenito. Município de Cruz Alta, RS..... | 125 |
| Figura 33: Aspecto das Colinas Onduladas de Alto Curso, município de Cruz Alta, RS..... | 125 |
| Figura 34: Aspecto das Colinas Suavemente Onduladas, município de Pejuçara, RS..... | 126 |
| Figura 35: Aspecto das Colinas Onduladas de Baixo Curso, município de Ijuí, RS..... | 126 |
| Figura 36: Aspecto das Áreas Planas Aluviais, município de Ijuí, RS..... | 127 |
| Figura 37: Mapa dos elementos de Relevo (<i>Geomorphons</i>) na BH do rio Potiribu..... | 128 |
| Figura 38: Cabeceira de drenagem que abriga nascente de arroio formador do rio Potiribu..... | 126 |
| Figura 39: Comparação entre (A) Mapa da distribuição dos Geomorphons na Unidade de Colinas Onduladas em Arenito, no destaque, área amostral da unidade. (B) Mapa das Colinas Onduladas em Arenito com Imagem Sentinel 2, sobreposta ao relevo sombreado, com área amostral..... | 132 |

| | |
|---|-----|
| Figura 40: Comparativo entre, (A) Mapa dos Geomorphons na Unidade de Colinas Onduladas de Alto Curso com no destaque para área amostral; e, (B) Mapa das Colinas Onduladas de Alto Curso com imagem Sentinel 2 sobreposta ao relevo sombreado..... | 133 |
| Figura 41: Vertente com vale mais encaixado na unidade de relevo Colinas Onduladas de Alto Curso e indicação de alguns elementos de relevo na paisagem..... | 134 |
| Figura 42: Mapa dos Geomorphons na Unidade de Colinas Onduladas de Baixo Curso, no destaque, amostragem de área desta unidade e com comparação do mapa de Geomorphons à imagem Sentinel 2..... | 135 |
| Figura 43: Área de vale encaixado na unidade das Colinas Onduladas de Baixo Curso com vertente curta e indicação de Geomorphons na paisagem..... | 136 |
| Figura 44: Comparação entre, (A) Mapa dos Geomorphons na Unidade de Colinas Onduladas de Baixo Curso, no destaque, área amostral desta unidade com o mapa de Geomorphons; (B) Mapa das unidades Colinas Onduladas de Baixo Curso com imagem Sentinel 2..... | 137 |
| Figura 45: Mapa das Unidades Geomorfométricas na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS.... | 139 |
| Figura 46: Distribuição das Unidades Geomorfométricas na Unidade de Colinas Onduladas em Arenito com destaque para a área amostral extraída para análise visual com maior detalhe.... | 141 |
| Figura 47: Distribuição das Unidades Geomorfométricas de 01 a 04 na Unidade de Relevo Colinas Onduladas em Arenito..... | 141 |
| Figura 48: Distribuição das Unidades Geomorfométricas de 05 a 08 na Unidade de Relevo Colinas Onduladas em Arenito..... | 142 |
| Figura 49: Mapa da distribuição das Unidades Geomorfométricas nas Colinas Onduladas de Alto Curso, com detalhe para a área amostral extraída para análise visual com maior detalhe..... | 143 |
| Figura 50: Distribuição das Unidades Geomorfométricas de 01 a 04 na Unidade de Relevo Colinas Onduladas de Alto Curso..... | 143 |
| Figura 51: Distribuição das Unidades Geomorfométricas de 05 a 08 na Unidade de Relevo Colinas Onduladas de Alto Curso. | 144 |
| Figura 52: Mapa da distribuição das unidades Geomorfométricas na unidade de relevo de Colinas Suavemente Onduladas..... | 145 |
| Figura 53: Distribuição das Unidades Geomorfométricas de 01 a 04 na Unidade de Relevo Colinas Suavemente Onduladas..... | 145 |
| Figura 54: Distribuição das Unidades Geomorfométricas de 05 a 08 na Unidade de Relevo Colinas Suavemente Onduladas. | 146 |
| Figura 55: Distribuição das Unidades Geomorfométricas na unidade de relevo de Colinas Onduladas de Baixo Curso..... | 147 |
| Figura 56: Distribuição das Unidades Geomorfométricas de 01 a 04 na Unidade de Relevo Colinas Onduladas de Baixo Curso..... | 147 |
| Figura 57: Distribuição das Unidades Geomorfométricas de 05 a 08 na Unidade de Relevo Colinas Onduladas de Baixo Curso..... | 148 |
| Figura 58: Mapa de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Potiribu, RS..... | 151 |
| Figura 59: Mapa de Uso e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS, no ano de 1985..... | 153 |
| Figura 60: Mapa de Uso e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS, no ano de 2013..... | 155 |
| Figura 61: Mapa de Imóveis Rurais na Bacia Hidrográfica do Rio Potiribu, RS..... | 156 |
| Figura 62: Áreas de cultivo de soja com a mata ciliar ao longo de cursos hídricos e ao fundo a área urbana..... | 157 |
| Figura 63: Mapa de Sistemas Geoambientais na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS. Apresenta a distribuição dos Sistemas e Unidades Geoambientais na Bacia do rio Potiribu, RS..... | 161 |
| Figura 64: Mapa de Unidades Geoambientais na Área Urbana de Ijuí, RS..... | 165 |
| Figura 65: Área inundada em pavimento sobre a canalização do Arroio do Moinho no Centro de Ijuí, RS, Unidade Praça da República..... | 166 |
| Figura 66: Fotos da maior enchente já registrada em Ijuí, vale fluvial do Arroio do Moinho. Data: 28/05/1992..... | 166 |
| Figura 67: Moradias em bairro de Ijuí, RS, alocadas sobre vale fluvial do Arroio do Moinho, Unidade Boa Vista..... | 167 |
| Figura 68: Moradias em bairro de Ijuí, RS, alocadas em vale fluvial. Unidade Boa Vista..... | 168 |
| Figura 69: Comparação de imagem de satélite Sentinel 02, sobreposta ao relevo sombreado, com os Elementos de Relevo (Geomorphons), com destaque para os vales fluviais urbanos... | 169 |
| Figura 70: Área periférica de Cruz Alta, RS, com moradias próximas a curso d'água. Unidade Jardim Primavera..... | 170 |

| | |
|--|-----|
| Figura 71: Aspectos da área urbana de Pejuçara, RS, <i>Unidade Alto da União</i> | 171 |
| Figura 72: Mapa da distribuição espacial das Unidades Geoambientais do Sistema Passo do Inglês..... | 174 |
| Figura 73: (A) Mapa do Sistema Passo do Inglês com os limites de APP (B) com elementos de relevo e unidades de vertente (C) com imagem Sentinel. Sobreposta ao relevo sombreado..... | 178 |
| Figura 74: Área Amostral do Sistema Passo do Inglês com demarcação dos limites das APPs onde pode-se observar o grau de manutenção da vegetação..... | 180 |
| Figura 75: (A) Cabeceiras de drenagem com nascente em estágio de regeneração, degradação e preservada, Sistema Passo do Inglês..... | 181 |
| Figura 76: Mapa da distribuição espacial do Sistema Cambará e suas Unidades Geoambientais..... | 184 |
| Figura 77: Latossolo com formação de argila e areia fina. Sistema Cambará, município de Cruz Alta, RS..... | 176 |
| Figura 78: (A) Mapa do Sistema Cambará com os limites de APP (B) com elementos de relevo (e Unidades de Vertentes 1 e (C) com imagem Sentinel 2 sobreposta ao relevo sombreado..... | 188 |
| Figura 79: Amostra do Sistema Cambará com Unidades Geoambientais e delimitação das APP demonstrando o grau de preservação da vegetação..... | 190 |
| Figura 80: Nascentes em degradação, preservada e degradada no Sistema Cambará, município de Cruz Alta..... | 192 |
| Figura 81: Espacialização do <i>Sistema Pejuçara</i> e suas 9 Unidades Geoambientais..... | 194 |
| Figura 82: Latossolo bem desenvolvido no Sistema Pejuçara, município de Pejuçara..... | 196 |
| Figura 83: Cambissolo em média vertente no Sistema Cambará, município de Pejuçara, RS..... | 197 |
| Figura 84: (A) Mapa do Sistema Pejuçara com os limites de APP e indicação de área Amostral. (B) Área Amostral do Sistema Pejuçara, com elementos de relevo e Unidades de Vertentes 1 e 2, (C) imagem Sentinel 2 sobreposta ao relevo sombreado..... | 199 |
| Figura 85: Nascentes no Sistema Pejuçara, preservada, degradada e em degradação..... | 201 |
| Figura 86: Área Amostral do Sistema Pejuçara com Unidades Geoambientais e Delimitação de APP, onde pode ser observado o grau de manutenção da vegetação..... | 203 |
| Figura 87: Mapa do Sistema Geoambiental Andorinhas e distribuição de suas 7 unidades geoambientais..... | 205 |
| Figura 88: A: Cascata das Andorinhas. B: Cascata da Usina Velha. C: Cascata Waslawick. Sistema Andorinhas, Município de Ijuí, RS..... | 207 |
| Figura 89: Latossolo em corte de estrada vicinal, Sistema Andorinhas, Município de Ijuí, RS..... | 208 |
| Figura 90: Afloramento de rocha na Unidade Granja Boa Esperança. Município de Ijuí, RS..... | 208 |
| Figura 91: Cambissolo em meia vertente, Sistema Andorinhas, Município de Ijuí..... | 209 |
| Figura 92: Afloramento de rocha na unidade Rincão das Figueiras, município de Ijuí..... | 210 |
| Figura 93: Mosaico de imagens da Unidade Usina Veba..... | 211 |
| Figura 94: Aspectos das Unidades Paradoiro e Vale Verde, Sistema Andorinhas, município de Ijuí, RS..... | 212 |
| Figura 95: (A) Mapa do Sistema Andorinhas com os limites de APP e Indicação de área amostral. (B) Área Amostral do Sistema Andorinhas, com elementos de relevo e Unidades de Vertentes 1 e 2 (C) Imagem Sentinel 2 sobreposta ao relevo sombreado..... | 213 |
| Figura 96: Foz do rio Potiribu no rio Ijuí, Sistema Andorinhas, município de Ijuí, RS..... | 214 |
| Figura 97: Área Amostral do Sistema Andorinhas com Unidades Geoambientais e Delimitação de APP, indicando o grau de manutenção da vegetação..... | 216 |
| Figura 98: Mapa de suscetibilidades na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS..... | 218 |
| Figura 99: Mapa de agressividade do cultivo da soja e transgressão de APP na bacia do rio Potiribu, RS..... | 219 |
| Figura 100: Mapa de sobreposição de Sistemas Geoambientais e Imóveis Rurais na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS..... | 220 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 01: categorias hierárquicas de proteção dos solos Nível de proteção Uso da terra | 75 |
| Tabela 02: Limites de Amplitude topográfica e declividades para definição de Unidades de Relevo..... | 90 |
| Tabela 03: Descrição das Unidades Geomorfométricas. | 94 |
| Tabela 04: Unidades de Relevo da Bacia Hidrográfica do rio Potiribu | 129 |
| Tabela 05: Elementos de Geomorphons e sua distribuição nas Unidades de Padrões de Formas Semelhantes..... | 129 |
| Tabela 06: Descrição das Unidades Geomorfométricas | 140 |
| Tabela 07: Dados referentes aos municípios na bacia do Potiribu..... | 149 |
| Tabela 08: Distribuição das classes de uso do solo na Bacia do Potiribu em 1985..... | 154 |
| Tabela 09: Distribuição das classes de uso do solo na Bacia do Potiribu em 2013..... | 155 |
| Tabela 10: Distribuição dos Sistemas Geoambientais na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS. | 162 |
| Tabela 11: Unidades Geoambientais no <i>Sistema Urbano</i> | 163 |
| Tabela 12: Unidades Geoambientais no Sistema Passo do Inglês..... | 172 |
| Tabela 13: Uso e cobertura da Terra e conflitos de uso nas Áreas de Preservação Permanente do Sistema Passo do Inglês..... | 179 |
| Tabela 14: Unidades Geoambientais do Sistema Cambará..... | 183 |
| Tabela 15: Uso e cobertura da Terra e conflitos de uso nas Áreas de Preservação Permanente do Sistema Cambará..... | 189 |
| Tabela 16: Unidades Geoambientais do Sistema Pejuçara..... | 195 |
| Tabela 17: Uso e cobertura da Terra e conflitos de uso nas Áreas de Preservação Permanente do Sistema Pejuçara..... | 202 |
| Tabela 18: Unidades Geoambientais do Sistema Andorinhas..... | 206 |
| Tabela 19: Uso e cobertura da Terra e conflitos de uso nas Áreas de Preservação Permanente do Sistema Andorinhas..... | 215 |

SUMÁRIO

| | |
|------------------------|----|
| Agradecimentos | 5 |
| Resumo | 7 |
| Lista de Figuras | 9 |
| Lista de Tabelas | 12 |
| Sumário | 13 |

CAPÍTULO I

| | |
|---------------------------------------|----|
| 1. Introdução..... | 15 |
| 1.1. Breve Histórico da Pesquisa..... | 16 |
| 1.2. Definição da Problemática..... | 18 |
| 1.3. Objetivos..... | 21 |
| 1.4. Estrutura da Tese..... | 21 |

CAPÍTULO II

| | |
|--|----|
| 2. Referencial Teórico Conceitual..... | 23 |
| 2.1. Zoneamento Ambiental..... | 23 |
| 2.2. Estudos Geoambientais e sua Relação com os Geossistemas nos Esforços de Zoneamento..... | 29 |
| 2.3. Estudo Geomorfológico..... | 40 |
| 2.3.1. Estudo Geomorfológico para Análise Geoambiental..... | 42 |
| 2.3.2. Metodologias de Classificação de Relevância Automatizada..... | 49 |
| 2.4. Estudos em Bacias Hidrográficas..... | 54 |
| 2.5. Metodologias e Uso de Geotecnologias para Análise Geoambiental..... | 59 |
| 2.6. Uso e Cobertura da Terra na Análise Geoambiental..... | 63 |
| 2.7. Suscetibilidade Ambiental em Áreas Urbanas e Rurais..... | 70 |
| 2.7.1. Suscetibilidade em Ambiente Rural..... | 70 |
| 2.7.2. Suscetibilidade em Ambiente Urbano..... | 77 |

CAPÍTULO III

| | |
|---|----|
| 3. Procedimentos Metodológicos..... | 81 |
| 3.1 Bases e Ferramentas Utilizadas..... | 83 |
| 3.2. Análise das Variáveis Incorporadas ao Zoneamento Geoambiental..... | 85 |
| 3.2.1. Análise da Rede de Drenagem..... | 85 |
| 3.2.2. Parâmetros Morfométricos da Rede de Drenagem..... | 86 |
| 3.2.3. Caracterização Geológica e dos Solos..... | 87 |
| 3.3. Caracterização Geomorfológica..... | 87 |
| 3.3.1. Primeiro e Segundo Níveis Taxonômicos..... | 88 |
| 3.3.2. Formas de Relevância (Terceiro Nível Taxonômico) | 88 |
| 3.3.3. Elementos de Relevância (Quarto Nível Taxonômico) | 91 |
| 3.3.4. Unidades de Vertente (Quinto Nível Taxonômico) | 93 |
| 3.4. Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra..... | 95 |
| 3.4.1. Mapeamento das APP..... | 97 |
| 3.5. Zoneamento de Sistemas Geoambientais..... | 97 |

CAPÍTULO IV

| | |
|--|-----|
| 4. A Bacia Hidrográfica do rio Potiribu..... | 101 |
| 4.1. Análise Morfométrica da Bacia..... | 102 |
| 4.2. Características Geológicas..... | 105 |

| | | |
|--------------------|--|-----|
| 4.2.1. | Análise Regional..... | 105 |
| 4.2.2. | Análise Litológica da Bacia..... | 108 |
| 4.3. | Tipos de Solos..... | 113 |
| 4.4. | Considerações Sobre as Características Morfoclimáticas..... | 119 |
| 4.5. | Geomorfologia Regional..... | 120 |
| 4.6. | Características do Relevo da Bacia..... | 122 |
| 4.6.1. | As Unidades de Relevo da Bacia (Padrões Semelhantes) | 123 |
| 4.6.2. | Os Elementos de Relevo..... | 127 |
| 4.6.3. | As Unidades de Vertente (Unidades Geomorfométricas) | 138 |
| 4.7. | Uso e Cobertura da Terra..... | 149 |
| CAPÍTULO V | | |
| 5. | Zoneamento de Sistemas Geoambientais na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS.... | 159 |
| 5.1. | Sistema Urbano..... | 162 |
| 5.1.1. | Unidade Boa Vista..... | 163 |
| 5.1.2. | Unidade Praça da República..... | 164 |
| 5.1.3. | Unidade Jardim Primavera..... | 170 |
| 5.1.4. | Unidade Alto da União..... | 171 |
| 5.2. | Sistema Passo do Inglês..... | 172 |
| 5.2.1. | Unidade Belizário..... | 175 |
| 5.2.2. | Unidade Fazenda Manjabosco..... | 175 |
| 5.2.3. | Unidade Cédrinho..... | 176 |
| 5.2.4. | Unidade Santa Clara..... | 176 |
| 5.2.5. | Unidades Distrito Onze e Olhos D'água..... | 177 |
| 5.2.6. | APP no Sistema Passo do Inglês..... | 179 |
| 5.3. | Sistema Cambará..... | 183 |
| 5.3.1. | Unidade Granja Alvorada..... | 185 |
| 5.3.2. | Unidade Granja das Hortências..... | 186 |
| 5.3.3. | Unidades Olaria e Granja Avozinha..... | 186 |
| 5.3.4. | APP no Sistema Cambará..... | 189 |
| 5.4. | Sistema Pejuçara..... | 193 |
| 5.4.1. | Unidade São Luís..... | 195 |
| 5.4.2. | Unidade Arroio Taboão..... | 196 |
| 5.4.3. | Unidade Santa Lúcia..... | 197 |
| 5.4.4. | Unidade Faxinal, ERS 526 e Bozano..... | 198 |
| 5.4.5. | Unidades Lajeado Cordeiro e Boa Vista do Cadeado..... | 198 |
| 5.4.6. | APP no Sistema Pejuçara..... | 200 |
| 5.5. | Sistema Andorinhas..... | 204 |
| 5.5.1. | Unidade Granja Boa Esperança..... | 207 |
| 5.5.2. | Unidade Rincão das Figueiras..... | 209 |
| 5.5.3. | Unidade Lajeado da Figueira..... | 210 |
| 5.5.4. | Unidade Usina Velha..... | 211 |
| 5.5.5. | Unidades Arroio Monjolo, Paradoiro e Vale Verde..... | 212 |
| 5.5.6. | APP no Sistema Andorinhas..... | 214 |
| 5.6. | Mapas Síntese..... | 217 |
| CAPÍTULO VI | | |
| 6. | Conclusões..... | 221 |
| | Referências..... | 226 |

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

A presente pesquisa surge em virtude da necessidade de uma análise cuidadosa acerca da relação entre sociedade e natureza na área da bacia hidrográfica do rio Potiribu, RS. O escopo da investigação científica levou em consideração os elementos naturais e o avanço das atividades humanas sobre os mesmos, especialmente do cultivo de soja fomentado pelo modelo econômico vigente e sua dimensão no agronegócio, gerando consequências sobre a preservação das dinâmicas naturais e prejuízos ambientais para o conjunto da sociedade.

Para além da necessidade de uma análise ambiental consistente, o presente trabalho busca apresentar uma proposta metodológica para o desenvolvimento de estudos geoambientais utilizando recursos de Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas. No estudo foram consideradas variáveis físicas, a geologia, a pedologia e o relevo, e o uso e cobertura da terra enquanto variáveis biótica e antrópica, respectivamente. Na análise específica do relevo são trazidas metodologias de automação como proposta para a obtenção dos diferentes níveis taxonômicos. Desta forma, a presente pesquisa desenvolveu a análise de dados e produção de informações espaciais que descrevem as litologias, os solos, a geomorfologia, os remanescentes da vegetação nativa e os usos antrópicos da terra na área da bacia.

No limite, a tese buscou suprir a ausência de trabalhos na área das Geociências, Ciências Humanas e demais ciências correlatas à Geografia, a respeito das condições ambientais na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS. Existia uma espécie de lacuna tanto na descrição das características físicas da área quanto no que se refere a uma revisão sobre as atividades antrópicas e suas consequências sobre o espaço natural. Esses aspectos não estavam contemplados a partir de critérios epistemológicos e metodológicos em escalas de análise local e regional.

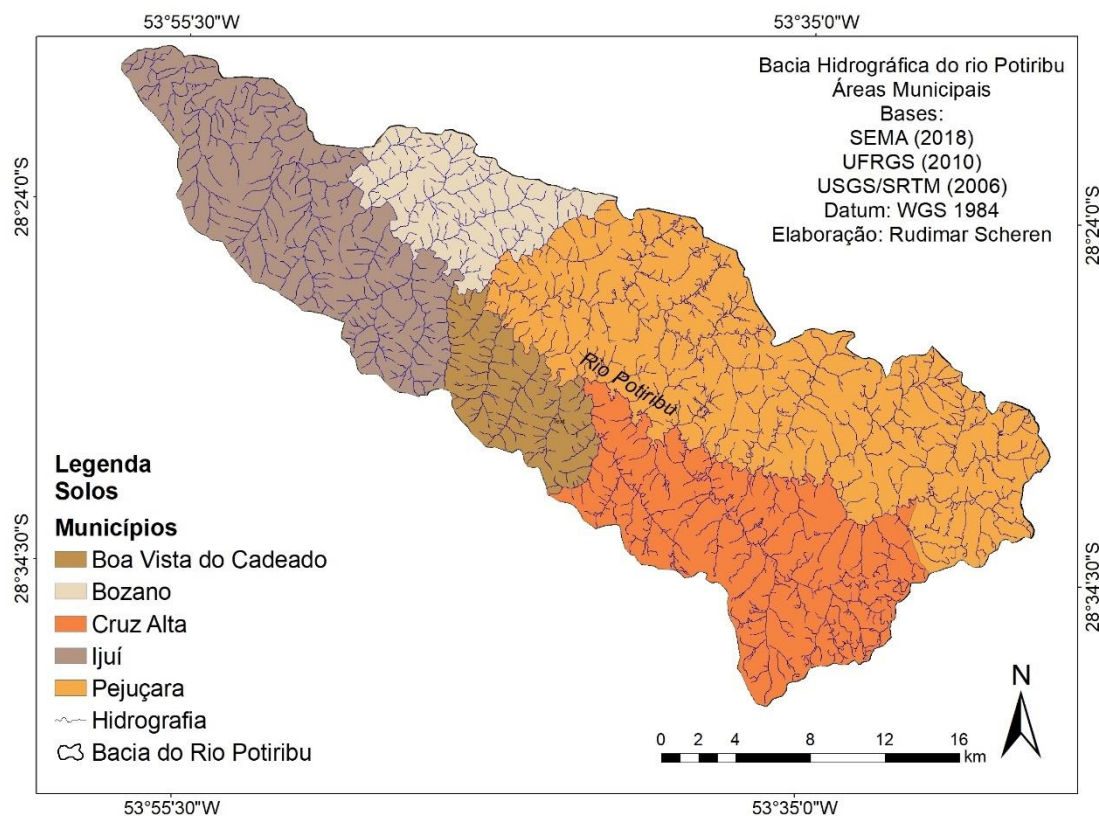
1.1. BREVE HISTÓRICO DA PESQUISA

A economia da região noroeste do Rio Grande do Sul é predominantemente conduzida pelo agronegócio. Independente da estrutura fundiária, a produção da soja para exportação é o cultivo agrícola preferencial dos produtores rurais da região. Diante disso, para além da ausência de uma diversificação das culturas e dos modelos de produção, o descaso e o desrespeito à legislação ambiental e aos limites naturais dos solos e dos recursos hídricos se manifestam pelo visível avanço dos cultivos sobre as Áreas de Preservação Permanentes (APP), fatos evidenciados pela supressão da vegetação nativa e pela exposição de nascentes e canais fluviais pressionados pela agricultura comercial.

A Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS, localizada no Noroeste gaúcho representa uma significativa porção de terras que pode servir de mosaico para expressar a condição geoambiental da referida região. Neste sentido, é importante estabelecer análises que deem conta de quantificar os conflitos de uso da terra por meio de dados consistentes do meio físico, biótico e antrópico do ambiente em questão, afim de contrastar as situações que ocorrem no espaço, delimitando assim a atual condição dos variados elementos que compõe a paisagem.

A insuficiência de trabalhos com análises desta natureza limitava a realização de abordagens de cunho científico e educacional a respeito das características físicas da bacia, não contemplando, por exemplo, as limitações e potencialidades diante das atividades humanas. A bacia do Potiribu é importante para o município de Ijuí, RS, já que o município abriga o exutório e utiliza das águas do canal principal para abastecimento da população urbana. Os variados canais tributários desta bacia são fundamentais para o processo de irrigação das culturas agrícolas em todos os municípios nela inseridos. No entanto, a falta de estudos específicos dificulta trabalhos tanto de planejamento para os órgãos municipais quanto cunho pedagógico, ao tratar de importante bacia que drena grande parte das áreas urbanas e rurais dos municípios. A dimensão espacial da bacia do Potiribu e a área dos municípios nela inseridos estão representados no mapa da figura 01.

Figura 01: Mapa das Áreas Municipais na Bacia Hidrográfica do Rio Potiribu, RS.



O Zoneamento de Sistemas Geoambientais da Bacia Hidrográfica do rio Potiribu permite, para além da caracterização das variáveis ambientais, o conhecimento acerca da correlação entre elas, suas potencialidades e suscetibilidades. Além disso, a presente pesquisa viabiliza a possibilidade de prestar um serviço de base e de referência para a governança da bacia sob a luz da racionalidade ambiental¹ oferecendo o instrumental para a acomodação equilibrada de atividades econômicas e a manutenção das dinâmicas naturais, com a premissa de manter o interesse público e a visão científica à frente nas tomadas de decisão no que tange ao planejamento e ordenamento territorial.

O estudo Geoambiental no âmbito da bacia Hidrográfica do rio Potiribu, permite, por analogia, a definição de bases para a compreensão acerca de outras sub-bacias hidrográficas tributárias à bacia do rio Ijuí, no noroeste do Rio

¹ “Diante da racionalidade econômica e instrumental que domina o processo de globalização, a racionalidade ambiental se funda em novos princípios éticos, valores culturais e potenciais... reorganização da produção baseada no processo produtivo da natureza, no poder da ciência e da tecnologia modernas... gerando um processo produtivo sustentável, aberto à diversidade cultural e à diversificação de formas de desenvolvimento.” Leff, E. 1998.

Grande do Sul, pois a estrutura da paisagem e as atividades econômicas apresentam uma tendência de homogeneidade nesta região do estado.

Para além da compreensão da área de estudo em questão, a presente tese revisa os aspectos dos estudos geoambientais e oferece novas metodologias, especialmente no que diz respeito à análise geomorfológica e a obtenção das feições de relevo por meio de técnicas de automação em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). As propostas para obtenção dos níveis taxonômicos do terceiro ao quinto

O Zoneamento de Sistemas Geoambientais na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS, pretende mediar as tensões existentes entre sociedade e natureza, com a intenção de oferecer uma visão integradora do ambiente em questão. Sendo assim, os conhecimentos produzidos nessa pesquisa, pretendem dar luz a práticas que possam atenuar a pressão das atividades econômicas sobre os espaços naturais remanescentes. Considerando que, o solo, os recursos hídricos e a vegetação nativa são elementos sem os quais as próprias atividades econômicas se tornam inviáveis.

1.2. DEFINIÇÃO DA PROBLEMÁTICA

O estudo do ambiente possui grande importância no que tange ao planejamento territorial e a consequente relação das sociedades humanas com a natureza. É fundamental conhecer as características naturais do território para que ocorra o melhor aproveitamento econômico e social, e, principalmente, para que as dinâmicas da natureza sejam mantidas e respeitadas.

Para promover uma ocupação social dos espaços naturais de forma racional, é necessário compreender as variáveis de tempo e espaço e as condicionantes que promovem a evolução natural da paisagem, da mesma forma, compreender as consequências da produção antrópica nesta equação.

Um caminho capaz de potencializar esta compreensão é a análise sobre as diferentes entidades espaciais subdivididas da Terra, passíveis de investigação, que se caracterizam por diferentes tamanhos, formas, orientação e posição geográfica, que resultam de diversos processos integrados ao longo do tempo (geológico, hidrológico, ecológico, pedológico, antropológico, entre outros). (MACMILLAN & SHARY, 2009).

A percepção dos elementos naturais e o convívio dicotômico entre ser humano e natureza não é o mesmo para todos os habitantes do planeta Terra. O espaço natural, presente ou pretérito, é concebido por pessoas que vivem em metrópoles ou outras cidades altamente antropizadas, de forma diversa em comparação à percepção daqueles que vivem em áreas rurais ocupadas por atividades econômicas do setor primário. A relação com a natureza e seus elementos é ainda mais próxima por parte daqueles habitantes de áreas protegidas, em ambientes florestais ou demais biomas, como são, por exemplo, as comunidades indígenas.

Para estabelecer uma visão racional, com base em prerrogativas técnicas e científicas, os estudos ambientais, em especial aqueles produzidos pela ciência geográfica, oferecem um olhar sobre a importância dos elementos e dos sistemas naturais e a necessidade da produção do espaço geográfico. Desta forma, a intenção de tais estudos é a busca por uma conformação *sustentável*² dos paradigmas inseridos na dicotomia entre sociedade e natureza.

Os conhecimentos produzidos sobre a natureza e seus elementos, bem como, sobre as dinâmicas antrópicas, permitem à Geografia, aprofundar os saberes sobre o espaço geográfico e promover uma racionalidade ambiental nos processos produtivos.

Neste sentido, os estudos Geoambientais oferecem a possibilidade da interpretação do meio físico e a definição/delimitação de suas limitações e potencialidades diante das atividades humanas. Segundo JIMENEZ-RUEDA et al. (1995) os estudos Geoambientais consistem em ferramentas de análise sistemática de uma área, constituídas pelo exame de diversas variáveis do meio físico, dentre elas, litológicas, fisiográficas, climáticas, morfoestruturais, de cobertura da terra e de alteração intempérica. Esse conjunto de elementos apresentam as potencialidades e a capacidade de suporte do meio físico.

Na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS, os elementos naturais, em especial o solo e os recursos hídricos, são altamente explorados para a produção de soja para exportação. Desta forma, é importante compreender a configuração

² O uso do termo "sustentável" ou ainda "desenvolvimento sustentável" é altamente controverso no meio acadêmico, autores como Enrique Leff e Carlos Walter Porto-Gonçalves, entre outros, discutem amplamente o uso deste termo, considerando errônea a sua aplicação em muitos casos.

fisiográfica e os conflitos de uso decorrentes dos abusos do agronegócio que suprime a vegetação nativa mesmo em áreas que deveriam ser preservadas. O avanço das áreas com cultivo agrícola ocorre sobre o entorno de nascentes, sobre as faixas marginais dos canais fluviais, em vertentes com declividade acentuada, sobre solos com baixa produtividade, entre outras condições que indicam a necessidade de preservação das dinâmicas naturais por meio da correção dos usos da terra.

Neste sentido, existe a necessidade de realizar um levantamento fisiográfico da área de estudo, com a intenção de reconhecer as litologias presentes, os solos e as nuances do relevo, e interpretar essa configuração em uma análise conjunta com os usos antrópicos e os remanescentes da vegetação nativa. Estas variáveis contribuem para o indicativo de suscetibilidades e potencialidades na área da bacia. Outro ponto importante na consolidação dos estudos geoambientais na presente tese é a valorização da geomorfologia e do mapeamento geomorfológico como parâmetro fundante das análises, propondo um avanço metodológico e operacional para os estudos geoambientais.

A suscetibilidade dos ambientes verificada pela fragilidade das variáveis e pela agressividade das atividades humanas, pode determinar impedimento, limitações ao uso ou consequências danosas ao equilíbrio das dinâmicas naturais e à qualidade de vida para os seres humanos. Dentro deste contexto, a presente pesquisa pretende, com uso de geotecnologias e SIG, realizar o cruzamento de informações geomorfológicas, geológicas, de solos, de uso e cobertura da terra e sua relação com as Áreas de Preservação Permanentes (APP), para estabelecer o Zoneamento de Sistemas Geoambientais da Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS.

A bacia hidrográfica foi escolhida como unidade de estudo por ser um limite natural e por desempenhar um papel fundamental na dinâmica entre as variáveis ambientais, sendo que as condições ambientais da bacia revelam uma síntese entre todas as variáveis envolvidas, naturais e antrópicas.

1.3. OBJETIVOS

A presente tese tem como objetivo geral estabelecer o Zoneamento de Sistemas Geoambientais da Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS indicando potencialidades e suscetibilidades.

Para atingir tal objetivo, algumas metas específicas foram traçadas e elucidadas ao longo da pesquisa, sendo elas, a definição de parâmetros morfométricos da rede de drenagem, o levantamento e análise das características litológicas e pedológicas da área da bacia, e uma caracterização geomorfológica através de uma classificação automatizada com apoio de Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e SIG, para determinar as formas de relevo quanto sua dissecação e acumulação, elementos de relevo e unidades de vertente. Esta etapa faz parte da compreensão das variáveis fisiográficas da bacia.

As variáveis de uso e cobertura da terra foram identificadas para compreender a distribuição espacial dos remanescentes da vegetação nativa e os usos antrópicos realizados na área da bacia. Com a intenção de identificar e analisar os conflitos de uso existentes, as Áreas de Preservação Permanentes (APP) foram mapeadas e analisadas em conjunto às classes de uso e cobertura da terra.

Após as diversas análises, foram relacionadas as informações sobre relevo, litopedologia, uso e cobertura da terra para gerar Sistemas e Unidades Geoambientais, descritos a partir de suas características e tendo indicadas suas suscetibilidades e potencialidades. A partir dos dados específicos, a confecção dos mapas síntese tem o objetivo de contribuir para a sociedade e o poder público nas tomadas de decisão e no planejamento territorial.

1.4. ESTRUTURA DA TESE

A tese está estruturada em seis capítulos, sendo o primeiro introduz o tema de trabalho indicando a justificativa para a realização da hipótese levantada e os objetivos do trabalho.

1. Introdução;

Apresenta a problemática e os campos científicos envolvidos na tese, contribuindo para iniciar as discussões a respeito da temática abordada e da área de estudo, além de esclarecer os objetivos da presente pesquisa.

2. Referencial teórico conceitual.

Aborda os pressupostos teóricos envolvidos na pesquisa, estabelecendo um breve estado da arte e trazendo as temáticas relativas a cada campo do conhecimento geográfico presente no desenvolvimento desta tese, fundamentais para a fundamentação e desenvolvimento dos estudos.

3. Metodologia.

Apona os materiais e os métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa, determinando as opções realizadas ao longo do tempo envolvido na produção dos resultados da presente pesquisa.

4. A Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS.

Capítulo que descreve as características naturais e antrópicas da Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS, com base nas pesquisas realizadas acerca das variáveis eleitas como fundamentais para a consolidação dos resultados da tese.

5. Zoneamento de Sistemas Geoambientais na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu.

Capítulo que fecha a tese, apresentando a consolidação dos resultados a partir do cruzamento das variáveis pesquisadas e da análise e interpretação dos dados obtidos ao longo da pesquisa, demonstrando a consonância entre o referencial, a metodologia e os resultados obtidos.

6. Considerações finais.

Apontamentos e questionamentos que emergem a partir dos resultados da pesquisa que podem sugerir caminhos para a correção de inadequações no espaço da área de estudo aferidas durante a pesquisa e prevendo cenários futuros.

Referências

CAPÍTULO 2

2. REFERENCIAL TEÓRICO CONCEITUAL.

O capítulo reservado à discussão teórico-conceitual traz uma gama de conceitos acerca da epistemologia envolvida com a presente tese de doutorado. Apresenta correntes científicas, ferramentas, métodos e objetos de estudo, caros à ciência geográfica e ciências afins, correlacionadas aos objetivos deste trabalho. Muitas são as variáveis envolvidas na discussão do Zoneamento de Sistemas Geoambientais da bacia hidrográfica do rio Potiribu, RS.

2.1. ZONEAMENTO AMBIENTAL.

A necessidade da definição de zonas com diferentes possibilidades de intervenção antrópica e, por outro lado, de proteção integral das dinâmicas físicas e naturais, faz parte da solução da tensão existente na dicotomia entre natureza e sociedade humana. Nesse sentido, encontra-se uma chave nos dizeres de AB'SABER (2003) ao citar as palavras de GÓES (1973) indicando que devemos nos manter em um ponto equidistante entre o ambientalismo utópico e o economicismo suicida. Os trabalhos de zoneamento exercem o estratégico papel de pensar e planejar o espaço compartilhado por natureza (meio físico e biótico) e sociedade humana (atividades econômicas e culturais). Para tanto, é necessário observar referências no âmbito do planejamento espacial, planejamento ambiental, considerando os espaços destinados à proteção do meio natural em meio aos espaços de produção socioeconômica.

Desta forma, o Zoneamento Ambiental (ZA) em suas derivações (Zoneamento Geoambiental, Zoneamento Ecológico-Econômico, Zoneamento Agroclimático, entre outros) procura compartimentar determinadas áreas territoriais, com metodologias apropriadas, considerando as variáveis físicas e bióticas e as variáveis socioeconômicas do meio em questão. Assim, os esforços de estabelecer um ZA, buscam mediar o uso dos espaços de interesse socioeconômico com aqueles espaços de necessidade de preservação de elementos naturais fundamentais para a manutenção das trocas de energia e matéria e para o fluxo gênico, garantindo assim, o equilíbrio dos variados

ambientes, ecossistemas, domínios morfoclimáticos (ou da natureza) e por consequência, de todo o Planeta Terra. Segundo SOUZA (2009) e RANIERI *et al.* (2005) as variantes nas denominações para o Zoneamento Ambiental nos trabalhos realizados no Brasil, sempre apresentam um ponto comum que é a busca por incorporar aspectos ambientais na divisão do território em zonas.

As técnicas de Zoneamento Ambiental consistem, numa primeira abordagem, em derivações metodológicas desenvolvidas por autores como ROSS (1994), CREPANI *et. al.* (2001), entre outros, concebidas a partir do conceito de ecodinâmica de TRICART (1977). Estas derivações metodológicas têm o objetivo de cruzar dados e construir informações que possam auxiliar no trabalho de compartimentar as variáveis físicas do ambiente em categorias de fragilidade e uso potencial que resultam em mapas temáticos propositivos ou analíticos. (SCHNEIDER, 2011). Logo, o zoneamento ambiental é uma importante ferramenta de utilidade pública para o planejamento territorial, sendo relevante por ter o caráter de definir espaços que devem ser preservados em nome do interesse coletivo por um ambiente equilibrado.

Conforme LOLLO (1996), na base das aplicações da técnica de avaliação do terreno encontra-se a possibilidade de se dividir a área em estudo em unidades cada vez menores (função da escala e da finalidade pretendidas) a partir do uso de sensores remotos (preferencialmente) ou de trabalhos de campo, tendo como base sua uniformidade em termos de feições do terreno. De acordo com Ross (2006):

As proposições de zoneamento ambiental devem refletir a integração das disciplinas técnico-científicas na medida em que consideram as potencialidades do meio natural, adequando os programas de desenvolvimento e os meios institucionais a uma relação harmônica entre sociedade e natureza, cujo princípio básico é o ordenamento do território calcado nos pressupostos do desenvolvimento com política conservacionista. (ROSS, 2006, p. 149).

Assim, o Zoneamento Ambiental pode ser definido a partir da ideia de “integração sistemática e interdisciplinar da análise ambiental ao planejamento dos usos do solo, com o objetivo de definir a melhor gestão dos recursos

ambientais identificados.” (IBGE, 2004, p.322). Segundo SANTOS e RANIERI (2013), o Zoneamento Ambiental possui papel inquestionável como instrumento que incorpora a variável ambiental no âmbito do ordenamento territorial, de modo que as atividades humanas, em um determinado espaço, sejam viáveis, considerando aspectos ambientais e não somente o ponto de vista econômico ou social.

No Brasil, nas últimas décadas, diferentes abordagens no campo dos zoneamentos têm sido encontradas. MILLIKAN e DEL PRETTE (2000) afirmam que os zoneamentos realizados estão relacionados a duas tradições, uma de caráter normativo, referente à regulação de uso do solo urbano que dá origem à “Lei de Zoneamento”. E outra referente ao Zoneamento Agrícola, que tem por objetivo apenas indicar aptidões de acordo com as diferentes atividades produtivas do meio rural, não impondo regras de uso da terra, mas auxiliando na tomada de decisão (RANIERI *et al.* 2005).

Com isso, nota-se o importante papel do ZA e de suas variantes para influenciar nas tomadas de decisões por parte da gestão pública, pois estabelece critérios que orientam no sentido de atitudes racionais na solução da dicotomia entre natureza e sociedade humana. Os esforços de ZA consideram os elementos naturais e suas dinâmicas sobre as quais também agem as dinâmicas antrópicas, resultando em diferentes composições de paisagens e variadas necessidades de intervenção e proteção.

Nesse sentido, o ZA representa a espacialização da questão ambiental, levando em conta as grandezas socioambiental e socioeconômica, que são inseparáveis e que viabilizam os níveis de preservação ou de degradação do ambiente físico e social. Nesse aspecto, SILVA (1997) destaca que o ZA tem um caráter diferenciador, de acordo com as especificidades do território, e funciona como um instrumento necessário para alcançar os objetivos de prevenir, controlar ou monitorar os impactos ambientais, bem como prever os rebatimentos sobre a sociedade. (SCHIRMER, Op. Cit.).

Os diversos tipos de zoneamentos realizados por diferentes profissionais seguem cada um com um objetivo específico. A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) utiliza o Zoneamento Ambiental como um de seus instrumentos (inciso II, artigo 9º, Lei nº 6.938 [BRASIL, 1981]). No Decreto 4297 (BRASIL, 2002) é regulamentado o Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE)

como instrumento da PNMA que dividirá o território em zonas, de acordo com as necessidades de proteção, conservação e recuperação dos recursos naturais e do desenvolvimento sustentável.

GASS (2015) faz um apanhado dos ditames legais acerca da inserção de trabalhos de zoneamento na legislação ambiental brasileira. Em 1981 a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) é instituída no Brasil através da Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981). A Lei estabelece os instrumentos da PNMA, entre as quais consta em seu inciso II o Zoneamento Ambiental.

Em 1999, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) recebeu a atribuição de coordenar o ZEE no território brasileiro, gerenciando o Programa Zoneamento Ecológico-Econômico (PZEE), culminando na criação do Consórcio ZEE Brasil. (GASS, op. Cit.). O referido autor identifica no documento importantes menções e conceitos operacionais para a Geografia, como a retomada do conceito original do ZEE, afirmando que este é um instrumento político e técnico do planejamento, cuja finalidade última é aperfeiçoar o espaço e as políticas públicas.

Entre os conceitos aludidos por GASS (op. Cit), no texto do documento do MMA, está o “Território” como base geográfica do Estado na citação de RAFFESTIN (1993), no qual o pensamento geográfico aparece, textualmente, como formulador e revisor do conceito e as relações de poder a ele intrínsecas. Também é mencionado o conceito de “Espaço” e suas escalas espacial e temporal, na citação de SOUZA (1995), além de outras referências a critérios de definição de zonas, como fragilidades, vulnerabilidades, risco, potencialidade de uso, entre outros. Todos esses elementos ratificam a importância da ciência e do pensamento geográfico nos esforços de zoneamento ambiental e planejamento territorial.

É no Decreto nº 4.297 de 10 de julho de 2002 que Governo Federal regulamenta o Zoneamento Ambiental da PNMA com o nome de Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE). Essa normativa ratifica o ZEE como instrumento de ordenamento territorial e afirma a obrigatoriedade de ser obedecido por planos, obras e atividades públicas e privadas, estabelecendo medidas e padrões de qualidade ambiental (Art. 2). É importante destacar que o ZEE tem um caráter que vai além de indicativo de aptidões, ficando mais próximo de regulamentador

do uso da terra, “estabelecendo vedações, restrições e alternativas de exploração do território” (Art. 3). (SCHINEIDER, op. Cit).

GASS (op. Cit.) explica que segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA) (Brasil, 2002) “a elaboração do ZEE segue uma estruturação hierárquica, dividida em níveis de abrangência, responsabilidades de elaboração e ordens de grandeza de apresentação e referência. As escalas, por sua vez, definem, também, as funções que serão desempenhadas pelo ZEE”.

Nas últimas décadas o estado do Rio Grande do Sul, suas bacias hidrográficas, municípios e regiões foram objeto de estudo de uma diversidade de trabalhos de zoneamento. Estas pesquisas refletem a importância do ZA e suas variações tanto na natureza e nos objetivos dos trabalhos, quanto na escala dos mesmos e suas nomenclaturas. Assim, esses esforços científicos são importantes referências para o trabalho de zoneamento realizado na presente tese.

A necessidade de realizar zoneamentos demanda um conjunto de técnicas, aparatos teóricos e metodológicos e a utilização de ferramentas que permitam a definição de áreas com características homogêneas de acordo com critérios pré-estabelecidos. Neste sentido, muitos pesquisadores desenvolveram metodologias e técnicas com o objetivo de nortear os trabalhos de zoneamento.

CARVALHO JUNIOR et al. (2003) aplicaram uma metodologia de zoneamento com base em ferramentas de Geoprocessamento para o trabalho intitulado “Elaboração de Zoneamentos Agropedoclimáticos por Geoprocessamento: Soja em Municípios do Rio Grande do Sul.” Os autores cruzaram variáveis como hidrografia, rodovia e divisão municipal (uso da terra e infraestrutura preexistente); de solos, fertilidade natural do solo, textura, relevo, profundidade do solo, susceptibilidade à erosão, drenagem, pedregosidade/rochosidade e saturação por sódio; e de aptidão climática, também denominado época de semeadura. Tais variáveis foram analisadas na escala de 1:1.000.000, para assim determinar as classes de aptidão pedoclimáticas para a soja no Rio Grande do Sul.

Com base na integração de dados orbitais de características diferenciadas e outros produtos cartográficos, GUASSELLI et al (2006), elaboraram o “Macrozoneamento do Estado do Rio Grande do Sul”. Nessa produção foram utilizados os seguintes recursos: mosaico de imagens Landsat

TM; combinação temporal de imagens de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) (ROUSE *et al.*, 1973), a partir de imagens do satélite NOAA; mapa geomorfológico do RS e; mapa altimétrico do RS, como variáveis analisadas de forma combinada em ambiente SIG. Entre outros fatores, a compartimentação geomorfológica do Rio Grande do Sul foi considerada de forma determinante para o zoneamento, no mesmo sentido, o NDVI foi a ferramenta utilizada para identificar a vegetação e os campos agrícolas, e assim permitir diferenciar padrões de uso e cobertura da terra, que desta forma, determinaram as macrozonas do Estado do Rio Grande do Sul.

Trabalhos de âmbito nacional também são realizados com a temática do zoneamento, como os que o renomado geógrafo brasileiro AZIZ AB'SABER (1989) realizou na Amazônia Brasileira. No trabalho de Zoneamento Fisiográfico e Ecológico do Espaço Total da Amazônia Brasileira foram organizados os setores de acordo com características físicas, levando em conta aspectos do relevo e da rede de drenagem dos grandes rios amazônicos e seus afluentes. Dedicou-se especial atenção ao canal principal do Alto e Médio Solimões, Médio e Baixo Amazonas, Golfão Marajoara, assim como características da vegetação desenvolvida e das atividades sociais nos diferentes modais de desenvolvimento do Norte brasileiro. (AB'SABER, 2010).

Outro trabalho desenvolvido por AB'SABER no espaço amazônico foi o "Zoneamento Ecológico e Econômico da Amazônia", no qual é ressaltado que para realizar trabalho de tal natureza, em um espaço geográfico da grandeza de um domínio morfoclimático, vários pressupostos são exigidos:

"...demanda de uma reflexão orientada para o entendimento integrado do complexo natural da região, incluindo o conhecimento da natureza dos seus contrastes internos. Envolve uma metodologia ecodesenvolvimentista para as questões básicas de utilização dos espaços físicos e ecológicos, a par com uma metodologia pragmática e cuidadosa sobre a forma mais conveniente e dinamizadora para a utilização dos recursos eventuais do subsolo. Envolve a recuperação correta das experiências anteriores, incluindo uma análise das razões do seu fracasso ou do seu sucesso. Implica em um cruzamento dos conhecimentos sobre os fatos fisiográficos e ecológicos com

os fatos da conjuntura econômica, demográfica e social da região.” (AB’SABER, 1989, p. 5).

Embora a maioria dos trabalhos de zoneamento não seja realizada em áreas de estudo que compreendem espaços geográficos de tal grandeza espacial e dinâmica, como um domínio morfoclimático ou um bioma, os pressupostos de AB’SABER (op. Cit.) são válidos para compreender que cada espaço e escala de análise exige um conjunto de variáveis para análise. No trabalho de zoneamento ambiental, ou alguma de suas derivações anteriormente colocadas, existem variáveis e ferramentas que podem ser de razão e uso universal, porém há outras que devem ser específicas de cada ambiente. Isso porque é preciso considerar a natureza da área de estudo, no que diz respeito ao clima, tipo de solos, relevo, vegetação, uso social, entre outros fatores, além da aplicabilidade dos resultados pretendidos.

2.2. ESTUDOS GEOAMBIENTAIS E SUA RELAÇÃO COM OS GEOSSITEMAS NOS ESFORÇOS DE ZONEAMENTO.

O contexto epistemológico e o aparato legal que envolvem o zoneamento ambiental e suas características metodológicas partem da premissa de definir áreas de suscetibilidades e potencialidades, a partir do comportamento de um conjunto de variáveis físicas e antrópicas. De modo geral, a função de identificação das limitações e potencialidades em diferentes graus conferida ao zoneamento ambiental evoca conceitos e bases teórico-metodológicas da teoria sistêmica, ou Teoria Geral dos Sistemas (BERTALANFFY, 1975).

BERTALANFFY (1975) já destacava que o surgimento da Teoria Geral dos Sistemas se deu em um momento em que o modelo mecanicista e as metodologias existentes se mostravam insuficientes para atender os problemas de caráter teórico vigentes, necessitando um novo modelo de análise que pudesse sanar todas as lacunas. (TRENTIN, 2011).

Um sistema pode ser definido conforme MORIN (1977) como a inter-relação de elementos que constituem uma entidade ou uma unidade global. Essa definição comporta duas características principais: a inter-relação entre os elementos e a unidade global constituída por eles. Neste sentido, TRICART

(1977) afirma que o conceito de sistema é o melhor instrumento lógico disponível para estudar os problemas do meio ambiente, pois permite adotar uma atitude dialética entre a necessidade da análise e a necessidade contrária de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre esse meio ambiente.

Para TRICART (op. Cit.) um sistema é um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia, os quais originam relações de dependência mútua entre os fenômenos. Portanto, o método sistêmico se apresenta como um instrumento teórico-metodológico em que a relação entre os elementos que compõem um sistema é analisada com uma visão de totalidade. (De NARDIN; ROBAINA, 2010).

Segundo GREGORY (1992) é neste contexto que emergem pesquisas realizadas na Geografia Física, sob a perspectiva sistêmica, destaca que esse método busca o entendimento integrado do espaço e permite ao geógrafo uma visão mais realista. Assim, a perspectiva sistêmica difundiu-se, em todas as áreas da Geografia Física, sendo adotada também pela Biogeografia, Geografia dos Solos, Climatologia e Geomorfologia. (TRENTIN, Op. Cit.).

O conhecimento geográfico se utiliza sistemas ambientais como elementos condicionantes de planos nas diferentes escalas espaciais, nos dizeres de CHRISTOFOLETTI (1999). Desta forma, cabe à Geografia ser o suporte para o planejamento ambiental, quando da execução de obras de engenharia e planejamento econômico, focalizando ecossistemas e geossistemas, podendo sublinhar perspectivas ecológicas e geográficas. (GASS, 2015).

No pensamento geográfico a teoria sistêmica possui adaptações, especialmente no que diz respeito ao conceito de Geossistema, nas descobertas de BERTRAND (1972), SOTCHAVA (1973, 1977), MONTEIRO (1978, 2000), CHRISTOPHERSON (2012), entre outros. Estes autores se tornaram referência e incorporaram à Geografia Física conceitos como ecossistema, utilizado pela biologia e pela ecologia, que ao ser aplicado na Geografia deu origem ao conceito de geossistema.

O termo geossistema é usado para expressar a conexão entre natureza e sociedade. Segundo GUERRA e GUERRA (2001) “o geossistema é considerado um fenômeno natural, mas na sua análise leva em consideração aspectos

sociais e econômicos (...) são sistemas dinâmicos e com estágios de evolução temporal, sob a influência do homem”.

A teoria dos Geossistemas³ é resultado do esforço de muito autores. Primeiramente, destaca-se BERTRAND (1972) que foi fundamental para o desenvolvimento do conceito e da epistemologia geossistêmica e sua confluência com os estudos da paisagem⁴. O autor afirma que o geossistema corresponde a um modelo de interpretação da paisagem, e como tal, busca o entendimento desta a partir dos elementos que a compõem, resultando da combinação de um potencial ecológico (subsistema abiótico, englobando o clima, a hidrologia e a geomorfologia), uma exploração biológica (subsistema biótico, contendo a vegetação, solo e fauna) e uma ação antrópica (subsistema antrópico).

No mesmo sentido SOTCHAVA (1977) sustenta que os geossistemas, embora sejam considerados "fenômenos naturais", devem ser estudados à luz dos fatores econômicos e sociais que influenciam sua estrutura. O que para TRENTIN (op. Cit.) indica que os geossistemas podem refletir parâmetros sociais e econômicos que influenciam importantes conexões em seu interior. Essas influências antropogênicas podem representar o estado diverso do geossistema em relação ao seu estado original. Já para MONTEIRO (1978), o geossistema constitui um sistema singular, complexo onde interagem os elementos humanos, físicos, químicos e biológicos, em que os elementos socioeconômicos não constituem um sistema antagônico e oponente, mas sim estão incluídos no funcionamento do sistema. Desta forma, considera-se que os elementos do sistema antrópico interferem na dinâmica da paisagem, ou seja, nos processos e fluxos de matéria e energia, repercutindo inclusive nas respostas da estruturação espacial geossistêmica.

Considera-se que os Geossistemas são integrados por variados elementos que mantêm relações mútuas e são continuamente submetidos aos fluxos de matéria e de energia. Cada sistema representa uma unidade de

³ Nesta tese considerada sob a perspectiva do modelo russo/australiano.

⁴ O conceito de paisagem (FORMAN; GODRON, 1986), (DAVIS; GOETZ, 1990), (GUSTAFSON; GARDNER, 1986), inserido nos estudos geossistêmicos de BERTRAND e de outros autores, é de caráter central na epistemologia geográfica, mas por questão metodológica não será abordado conceitualmente na condição de objeto de análise nesta tese.

organização do ambiente natural. Verifica-se, comumente, um relacionamento harmônico entre seus componentes, e eles são dotados de potencialidades e limitações específicas sob o ponto de vista dos recursos ambientais. Como tal, reagem também de forma singular no que tange às condições históricas de uso e ocupação. NASCIMENTO (2008).

VILELA FILHO e VITTE (2005) ao citar MONTEIRO (1978) conceituam o geossistema como uma grandeza espacial que resulta de uma dinâmica definida por relações que qualificam os atributos de um determinado espaço, sendo que as variáveis incluídas no processo são de ordem natural e socioeconômica. Os autores também citam CHRISTOFOLETTI (1980) que determina geossistema como fenômeno processual que opera tanto nas esferas natural e socioeconômica, quanto na resultante da interação entre estes atributos. (VILELA FILHO; VITTE, 2005).

Neste sentido, visando resolver problemas sob o ponto de vista da Teoria Geral dos Sistemas, as abordagens contidas nas propostas de zoneamento Geoambiental conectam a visão acerca das dinâmicas naturais influenciadas pelas ações antrópicas de forma lógica e organizada. Isto ocorre porque, os estudos geoambientais definem as principais características físicas indicadas pela suscetibilidade e potencialidade da paisagem em questão, a partir de uma visão sistêmica (De NARDIN; ROBAINA, op. Cit.). Compreende-se, portanto, que os estudos geoambientais são a resposta para compreender a dinâmica geossistêmica, em uma abordagem que deve elucidar a expressão espacial dos elementos naturais e antrópicos por meio do zoneamento.

Para FREITAS e CUNHA (2004) a compartimentação espacial, através da visão geossistêmica, estabelece critérios que buscam a identificação e o agrupamento de variáveis ambientais, destacando os processos morfodinâmicos da paisagem natural (geologia, geomorfologia, clima, hidrologia e ecossistemas) e antrópica (baseada na ocupação sócio-histórica). O termo Geoambiental, adotado pela *International Union of Geological Sciences* (IUGS) contempla aplicações dos conhecimentos técnicos do meio físico aos diversos instrumentos e mecanismos de gestão ambiental e utiliza a cartografia que inclui o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e de bancos de dados (MENEZES, et. al. 2011).

O termo “Geoambiental” deriva de geoambiente, que segundo ASWATHANARAYANA (1995) é composto por rochas, solos, fluidos, gases e organismos, sendo conectado e influenciado pela atmosfera, clima, condições geológicas do terreno e cobertura vegetal. O autor afirma que as atividades humanas interagem com os processos geológicos, físicos e bioquímicos que ocorrem nos solos e rochas de várias formas em diferentes escalas e de modo caótico e exercem influências desde o substrato litológico até a atmosfera.

A compreensão de que o Zoneamento Geoambiental atende ao objetivo de organizar o espaço – levando em consideração os elementos naturais e a ação humana – para que a natureza possa ter continuidade em sua gênese evolutiva ao mesmo tempo em que a sociedade possa garantir sua sobrevivência, na perspectiva geossistêmica. Portanto, o zoneamento Geoambiental é um instrumento de auxílio no planejamento e ordenamento territorial, pois possibilita a caracterização de áreas quanto a suas aptidões e restrições a atividades já em desenvolvimento ou em processo de implementação, além indicar áreas de melhor qualidade ambiental que devem ser preservadas.

A proximidade dos estudos geoambientais com os geossistemas se manifesta ao observar os parâmetros mais utilizados nos estudos geoambientais, que, de modo geral, ficam em torno do substrato geológico, das condições climáticas, das formas do relevo, das feições da rede hidrográfica, das características do solo e das feições superficiais, e do uso e ocupação da terra, estes dados são cruzados para análise e para o zoneamento Geoambiental final. É importante destacar que como não há um padrão estabelecido, existem variações nestes parâmetros de acordo com a intenção do pesquisador e das características ambientais da área em estudo.

Os parâmetros acima citados seguem uma proposta de análise em uma determinada sequência, atendem a objetivos específicos que visam compreender a paisagem da área em estudo de forma integrada em seu meio físico, biótico e antrópico. Segundo ROBAINA *et. al* (2009) os parâmetros e análises ficam sequenciados da seguinte forma:

- A rede hidrográfica é estudada através de seus diversos atributos, como a forma da bacia, hierarquia e magnitude fluvial, que vão indicar a energia da drenagem, sua capacidade de transporte, erosão e deposição. O padrão e

densidade da drenagem apresentam uma forte relação com a tectônica e a capacidade de infiltração das rochas e solos;

- O estudo do relevo parte da análise e cartografia de suas características principais, determinadas pela hipsometria, declividade, amplitude, comprimento e perfis de vertente; CHRISTOFOLETTI (1981) indica que o estudo das vertentes representa um dos mais importantes setores da geomorfologia, englobando a análise de processos e formas;

- O mapa de unidades de relevo identifica as principais características das vertentes e apresenta a distribuição das formas de relevo. A delimitação de unidades de relevo parte da definição dos parâmetros de vertente e de sua influência nos processos de dinâmica superficial;

- O mapeamento litológico apresenta a identificação e definição de diferentes tipos de rochas que compõem o substrato do meio físico e os principais lineamentos estruturais;

- Análise geomorfológica a partir dos dados relacionados a composição e forma das vertentes que compõem a paisagem. Para ROBAINA *et. al.* (op. Cit.), o mapa geomorfológico aparece como elemento chave para realização das interpretações geoambientais por constituir produto integrador das formas e dos processos morfogenéticos.

- O mapa de uso da terra é elaborado com base na carta imagem, que reflete áreas distintas da paisagem em um determinado momento, cujas informações constituem elementos essenciais de análise para o zoneamento Geoambiental, representando a integração dos diferentes usos com a dinâmica da ocupação;

- A vegetação é determinada a partir da definição do grau de cobertura da terra. Diferencia-se a cobertura vegetal pelo aspecto fisionômico predominante em campestre, arbustiva ou florestal e ocorrência de vegetação original ou exótica;

O resultado final do cruzamento das informações contidas nos estudos geomorfológicos e as análises do uso e ocupação da terra é expresso pela realização do zoneamento Geoambiental. É importante ressaltar que as unidades geoambientais resultantes do zoneamento, com base nos parâmetros já citados, são delimitações de porções do terreno constituídas de atributos naturais ou antrópicos distintos e característicos. Sendo definidas assim, por classificação com base em suas potencialidades e suscetibilidades ambientais. O mapeamento Geoambiental é entendido como uma metodologia que

determina classes do terreno que possuem características geológico-geomorfológicas distintas e conseqüentemente padrões de suscetibilidade e potencialidade diferenciados.

O mapeamento Geoambiental envolve um grande volume de dados, em que variados níveis de informação devem ser cruzados, com diferentes atributos e, muitas vezes com critérios rígidos de precisão (ZUQUETTE, 1993). Conforme VEDOVELLO (2004) e TRENTIN (2011) a cartografia Geoambiental pode ser entendida como todo o processo envolvido na obtenção, análise e correlação dos parâmetros de cartas temáticas de hidrografia, geologia, solos, relevo, vegetação e uso atual, clima e aptidão das terras. As divisões da superfície resultantes do mapeamento Geoambiental podem ou não ser modificadas pela ação antrópica. É necessário considerar as características, naturais e sociais, presentes no espaço analisado, uma vez que são elas que indicarão a base para a proposta de ações de planejamento ambiental com base nos estudos de fragilidades e potencialidades do ambiente.

No Brasil os conceitos pioneiros de mapas geoambientais foram introduzidos por pesquisadores do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) nos anos de 1986, 1990 e 1993. Segundo TRENTIN (2011), estes estudos definiram macrocompartimentos para as regiões em estudo, elaborando uma hierarquia taxonômica do maior para o menor táxon. Outros autores passaram a aplicar esta taxonomia elaborando mapas geoambientais a partir da análise da correlação dos parâmetros de cartas temáticas de geologia, relevo, solo, vegetação e uso atual, clima e aptidão de terras.

Para ROBAINA (2010), o mapa Geoambiental deve mostrar a espacialização hierárquica distribuída em sistemas e unidades, com suas principais características, a fim de definir as condições de fragilidade, limitações de uso e as conseqüentes potencialidades de cada porção do espaço. Nestas condições o autor afirma que:

“Sendo que sistema é entendido como maior nível hierárquico que representa a associação de condições similares de processos e características ambientais, manifestadas por um mínimo de uniformidade de substrato, solos, geomorfologia, entre outros. A Unidade é entendida como uma Subdivisão do

Sistema, a qual se distingue por apresentar determinados processos e características que refletem em nível de diferenças e uniformidade, em termos de usos da terra, processos de erosão e vegetação atípica dos demais sistemas, entre outros”. (ROBAINA, 2010, p. 87).

Quando se trata da aplicação prática de metodologias de estudos geoambientais, diversas são as finalidades dos estudos, bem como as variáveis consideradas também se alteram de acordo com os objetivos de cada trabalho e a critério dos pesquisadores. A respeito disso, OLIVEIRA (2018) apresenta Tese de Doutorado com intuito de explicitar as diferentes abordagens e variáveis contidas nos nomeados trabalhos geoambientais. Neste viés, é necessário mencionar alguns trabalhos realizados no Brasil, cujas pesquisas tiveram como base teórico metodológica o zoneamento Geoambiental e suas aplicações.

NASCIMENTO et. al. (2008) trabalharam no “Diagnóstico Geoambiental da bacia hidrográfica semiárida do Rio Acaraú: subsídios aos estudos sobre desertificação”. Nesta pesquisa os autores compreenderam o referido diagnóstico geoambiental, para isso foram consideradas as seguintes estratégias metodológicas: abordagem sistêmica; valorização da multidisciplinaridade; e sistema de informação. A síntese das unidades geossistêmicas, apresentada no referido trabalho, contém informações sobre a denominação das unidades e sobre as características predominantes das condições geoambientais: geologia, geomorfologia, hidroclimatologia, solos e vegetação. Essas servem de base para indicar condições potenciais ou limitativas, quanto às possibilidades de uso dos recursos naturais e das reservas ambientais na área estudada.

TRINDADE et al. (2009) realizaram o Mapeamento Geoambiental Aplicado a Estudo dos Processos Erosivos na Bacia do Córrego Paulo Geraldo no município de Buritizeiro-MG. Os pesquisadores aplicaram técnicas e instrumentos do Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, para realizar o mapeamento das unidades geológicas, pedológicas, geomorfológicas, declividade, hipsometria, fluxo do escoamento superficial e uso e cobertura do solo. O cruzamento destes dados criou novas informações de forma rápida e

eficiente que associadas a levantamentos de campo otimizaram os resultados. TRINDADE *et al.* (2009).

Os trabalhos geoambientais se aplicam a investigações científicas de diversos aspectos e em variadas áreas de estudo, aplicáveis a todos os ambientes e paisagens. O trabalho de ALMEIDA e SUGUIO (2011) exemplifica isso, pois os autores realizaram a “Caracterização Geoambiental dos Manguezais Brasileiros e Suas Potencialidades para o Ecoturismo”. Na citada pesquisa foram coletadas informações sobre as distribuições geográficas dos manguezais brasileiros e seus significados ecológicos, com especial ênfase para sua conservação contra atividades que ameaçam as formas mais sustentáveis de sua utilização.

Para realizar o “Zoneamento Geoambiental do Município de São Pedro do Sul, RS”, MENEZES *et. al.* (2011) utilizaram o substrato geológico, as formas do relevo, feições da rede hidrográfica, tipos de solo, uso e ocupação da terra, feições superficiais, como atributos para análise e zoneamento Geoambiental. Os autores enfatizaram que a elaboração de um Zoneamento Geoambiental, em nível municipal, busca uma maior aplicação com o foco em trabalhos de planejamento, na medida em que se apresentam como delimitação da área de análise os limites políticos administrativos. Configura-se, deste modo, um melhor entendimento de seu território por parte dos setores administrativos e educacionais.

PILACHEVSKY (2013) elaborou o zoneamento Geoambiental do município de São João da Boa Vista (SP) pela integração dos produtos obtidos com a compartimentação fisiográfica, o uso e cobertura da terra e as áreas de preservação permanente. Essa compartimentação busca a síntese de características do espaço (relevo, solo, geologia, vegetação, uso da terra e socioeconômicas) a fim de identificar áreas homogêneas. Além disso, o trabalho utiliza-se dos SIG's no intuito de agilizar a elaboração dos produtos cartográficos, bem como a possibilidade da manipulação, acesso e modificação de grande volume de dados. Assim, a autora realizou uma descrição física da área de análise a fim de situar as condições ambientais da área de estudo e sintetizou três cartas: carta fisiográfica, que se utiliza das características geológicas e geotécnicas do terreno; carta de uso e cobertura da terra que busca identificar os tipos de cobertura vegetal ou artificial sobre a superfície da terra e; carta de

área de preservação permanente, que busca amparo nas disposições do novo código florestal (Lei nº 12.651/2012).

Com o artigo intitulado “Avaliação Geoambiental da Zona Costeira do Bairro de Candeias, Pernambuco” COSTA e OLIVEIRA (2009) tiveram, como objetivo central do trabalho, realizar estudos sobre as condições morfoodinâmicas e sedimentológicas e os processos atuantes que contribuíram para a descaracterização paisagística da referida área de estudo. A metodologia utilizada nesta pesquisa foi descrita no método de identificação e avaliação de impactos, utilizando avaliação de multicritérios, para identificar e avaliar as transformações ocorridas a partir de um conjunto de ações humanas, dos fatores e elementos naturais (físicos, bióticos, perceptuais e socioeconômicos) alterados pela ação antrópica, e dos impactos produzidos, obtendo-se uma quantidade global e ponderada dos impactos positivos e negativos.

Com o trabalho “Representação da paisagem através da carta de unidades geoambientais em áreas litorâneas”, SOUZA e CUNHA (2014), utilizaram a abordagem sistêmica aplicando o conceito de Geoecologia da Paisagem como um sistema onde natureza e sociedade se integram. No referido trabalho a carta Geoambiental é um produto final, não uma metodologia de análise ou um conceito específico, sendo que os autores compreendem “Geoecologia da Paisagem como uma ciência ambiental”, possuindo assim técnicas de análises próprias. SOUZA E CUNHA (2014) identificam nas unidades geoambientais suas características físicas predominantes na tentativa de propor políticas públicas ambientais indicadas para cada área, visando a preservação da paisagem litorânea.

SCHIRMER (2015) apresentou a proposta de “Zoneamento Geoambiental da Quarta Colônia, RS” em tese de doutorado, que teve a metodologia baseada em uma abordagem sistêmica da paisagem em esforço de síntese, definindo cinco sistemas geoambientais nos municípios que fazem parte da região do estado denominada “Quarta Colônia”. Cada sistema é uma representatividade da paisagem Geoambiental da região, sendo que foi aplicada uma análise multicritério com o intuito de compreender a paisagem como um todo. Foram analisadas as variáveis: solo, litologia, uso da terra e relevo, além do clima e hidrografia da região. Os dados produzidos foram cruzados para gerar o Zoneamento Geoambiental que permitiu determinar as principais áreas de

conflito ambiental existente entre o uso da terra com os elementos naturais da paisagem.

Em âmbito internacional, muitos são os trabalhos que aplicaram as metodologias de estudos geoambientais para a análise de conjuntos da superfície terrestre, tendo por base a investigação de variáveis naturais e antrópicas. Na baía de *Santander* na Espanha, CENDRERO (1975) realizou mapeamento geológico-ambiental, no qual foram inicialmente definidos sistemas, tendo por base os ambientes geológicos baseados em processos ativos de relevo, substrato rochoso, características bióticas e a influência humana. O produto final foi um mapa geológico-ambiental que pode ser utilizado no planejamento com a definição de áreas para preservação ambiental e áreas adequadas para a construção.

Na China, DAI *et. al.* (2001) propuseram o zoneamento Geoambiental como instrumento de planejamento do espaço urbano na cidade de *Lanzhou*, capital da província de *Gansu*. Os autores utilizaram SIG na produção de cartas que auxiliam na avaliação de informações espaciais urbanas, tais documentos tem como base aspectos topográficos, geológicos, hidrogeológicos e no histórico de acidentes geológicos, tendo como resultado final a adequabilidade do meio físico considerando diversas categorias de uso urbano.

DE VILLOTA *et. al.* (2002) utilizaram o zoneamento Geoambiental para orientar a ocupação urbana na região de *Vall de Gallinera*, trabalho no qual a metodologia relacionou parâmetros e problemas referentes ao meio ambiente e à arquitetura, de modo que os profissionais de ambas as áreas possam desenvolver uma interação recíproca entre suas disciplinas. Foi produzido um mapa Geoambiental que aponta recomendações e limitações ao uso, confeccionado a partir do cruzamento das informações de declividades, litologias, formas do terreno e domínios geomorfológicos, com as informações de hidrologia, solos, clima e vegetação, e ainda, informações de qualidades, fragilidades e riscos ao meio físico, além das atividades humanas desenvolvidas.

O uso das geotecnologias é fundamental para os estudos geoambientais, pois, a relação entre os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e as técnicas do sensoriamento remoto e geoprocessamento permitem a coleta, armazenamento, processamento e apresentação de parâmetros analisados nos estudos geoambientais. Sua aplicação é de grande importância na classificação

do relevo e de solos, no mapeamento do uso da terra, levantamento dos recursos naturais e monitoramento do meio ambiente (FREITAS e CUNHA., 2004). Esta relação técnica e conceitual da abordagem por meio das ferramentas do geoprocessamento resulta no desenvolvimento de uma variedade de métodos de processamento de dados geográficos, considerando que todos os estudos geoambientais citados anteriormente utilizaram SIG e geotecnologias em suas pesquisas.

Os levantamentos a campo são igualmente fundamentais para os estudos geoambientais, pois, possibilitam identificar efetivamente os tipos de solos e de relevo, bem como, as informações quanto às formas de uso atual e potencial da terra, e por fim, identificar os processos de degradação ambiental. O trabalho de campo permite o aferimento e refinamento das informações obtidas por meio das rotinas de SIG no desenvolvimento da pesquisa Geoambiental.

Todos os conceitos e abordagens revisadas neste capítulo serviram de referência para a presente tese, na qual o Zoneamento de Sistemas Geoambientais na Bacia do rio Potiribu, RS, apresenta síntese de toda a abordagem teórico/metodológica realizada.

2.3. ESTUDO GEOMORFOLÓGICO

As formas de relevo sempre foram importantes para o ser humano no reconhecimento do terreno. Após a revolução agrícola do neolítico, as formas do relevo terrestre, associadas às características climáticas e pedológicas, entre outras, determinavam a localização das áreas de cultivo.

Da mesma forma, após a expansão demográfica em consequência da revolução industrial, que trouxe ao planeta Terra o fenômeno da urbanização, o relevo, associado a outras variáveis, continuou sendo fundamental para a fixação e o crescimento de núcleos urbanos. A ciência que estuda o relevo é a Geomorfologia. Segundo CHRISTOFOLETTI (1994) esse campo de estudo analisa as formas de relevo focalizando suas características morfológicas, materiais componentes, processos atuantes e fatores controladores, bem como a dinâmica evolutiva.

Atualmente, desconsiderar o relevo ao realizar qualquer atividade econômica ou social que se manifeste fisicamente no espaço é um grave

equivoco das sociedades humanas. Compreender o relevo como condicionante básica de qualquer empreendimento para manter o equilíbrio ambiental é necessário em um plano racional de intervenção humana. Nesse sentido, os estudos geoambientais produzem importante base por trabalhar variáveis físicas, como litologias, solos e relevo em análises combinadas com as ações antrópicas.

OLIVEIRA (2018), afirma que a variável mais representativa em estudos geoambientais é a geomorfologia, sendo que somada à Geologia aparece em mais de 80% dos estudos analisados pela autora. Estas duas variáveis conduzem os estudos, pois, atreladas a elas outras variáveis serão conseqüentemente incluídas, uma vez que são condicionadas por estas e umas pelas outras em um processo sistêmico.

Segundo CHRISTOFOLETTI (1994), a Geomorfologia analisa as formas de relevo focalizando suas características morfológicas, materiais componentes, processos atuantes e fatores controladores, bem como a dinâmica evolutiva. Neste sentido, a geomorfologia é compreendida como o ramo da geografia física responsável por descrever as formas do relevo terrestre consubstanciadas com sua estrutura e origem, bem como, os respectivos processos transformadores e materiais envolvidos (GUERRA e MARÇAL, 2006). Assim, a ciência geomorfológica pode ser reconhecida como um conjunto transdisciplinar de conhecimentos envolvidos nos esforços de estudos geográficos, ecológicos e nos trabalhos sistêmicos por autores como TRICART (1977) e ROSS (1994).

ROSS (1994) afirma que a Geomorfologia tem suas bases conceituais nas ciências da terra, mas fortes vínculos com as ciências humanas, à medida que pode servir como suporte para os ambientes naturais, onde as sociedades humanas se estruturam, extraem recursos para sobrevivência e organizam o espaço físico-territorial. Nessa afirmação é notável a fundamental importância dos estudos do relevo produzidos pela ciência geomorfológica, pois, o autor ressalta a importância de não considerar as sociedades humanas como elementos externos à natureza e dos ecossistemas nos quais vivem. Ou seja, para ROSS (op. Cit.) as sociedades humanas devem ser vistas como integrantes fundamentais da dinâmica natural que é resultado dos fluxos energéticos responsáveis pelo funcionamento do sistema como um todo.

2.3.1. Estudo Geomorfológico para Análise Geoambiental

A complexidade dos estudos de análise Geoambiental envolve uma gama de variáveis que devem ser analisadas, pois, as informações referentes a elas representam o conhecimento a respeito das características físicas do ambiente e das atividades humanas realizadas sobre uma configuração física e promovem constante transformação sobre a mesma. As formas do relevo, materiais componentes, processos superficiais e sua dinâmica fazem parte do estudo geomorfológico que é uma das variáveis mais importantes nos estudos geoambientais. Considerando que para além da investigação a respeito das formas de relevo, a geomorfologia produz pesquisas direcionadas para as diferentes escalas e taxonomias do relevo, fator que já há algum tempo superou o caráter meramente descritivo das feições de relevo, para tomar parte do corpo de uma análise integrada que considera a complexidade da superfície terrestre.

Um dos saberes que fortalece os alicerces do conhecimento sobre o relevo é a notória concepção de que esse elemento físico não é formado instantaneamente, e, tampouco, suas variações dimensionais são constantes. Milhões de anos são necessários para que as montanhas sejam erguidas ao passo que em poucos minutos se formam marcas de ondas na areia da praia. Da mesma forma, a magnitude espacial dos principais componentes do relevo terrestre varia significativamente segundo suas dimensões, estando os mais representativos associados a fenômenos endógenos (PENHA *in* GUERRA & CUNHA, 1997, p. 52.).

Conforme SUERTEGARAY (2002), o relevo, enquanto constituinte da paisagem geográfica, deve ser entendido como um recurso natural imprescindível para uma gestão ambiental adequada. Portanto, constitui-se em um importante parâmetro para ser analisado. Para MARQUES (1994), as formas de relevo constituem objeto de estudo da Geomorfologia (MARQUES *in* GUERRA & CUNHA, 1994). O mesmo autor afirma que o relevo sempre foi notado pelo homem no conjunto de componentes da natureza pela sua beleza, imponência ou forma, sendo já muito antiga a convivência do ser humano com o relevo, que é de grande importância para as sociedades humanas no seu dia a dia.

Os autores (PENCK, 1953), MECERJAKOV (1968), GERASIMOV e MESCHERIKOV (1968) tendo como princípio teórico os processos endógenos e exógenos como geradores das formas, médias e pequenas do relevo terrestre desenvolveram os conceitos de morfoestrutura e morfoescultura. Esses conceitos são substancialmente fundamentais para a ciência geomorfológica de forma geral, constatação evidente na proposta de estudos geomorfológicos de AB'SABER (1969).

Ao caracterizar e descrever as formas de relevo, de acordo com os diferentes níveis de escala relacionados aos processos que operam em sua formação, AB'SABER (op. Cit.) considera que a ação predominante das forças endógenas forma os elementos morfoestruturais que são analisados a partir dos condicionantes tectônicos. Já os fatores exógenos, como a ação do vento, da chuva, das redes de drenagem e da gravidade, correspondem à formação do modelado, que é resultado das transformações geradas sobre as diferentes estruturas, formando os elementos morfoesculturais.

Portanto, os materiais sobre os quais ocorrem os processos geomorfológicos devem ser reconhecidos, pois a sua composição e estrutura estarão ativamente ou passivamente participando no desenvolvimento do processo. A estrutura que é base dos processos pode ser reconhecida a partir dos domínios morfoestruturais. Segundo ARGENTO *in* GUERRA & CUNHA (1994), nos domínios morfoestruturais prevalecem características geológicas, tais como direções estruturais identificadas no alinhamento geral do relevo ou no controle da drenagem principal, sendo que os mesmos podem ser subdivididos usando uma taxonomia concernente às regiões geomorfológicas.

Em relação ao ponto de vista ambiental, as formas de relevo são fatores que exercem influência decisiva sobre as condicionantes físicas locais, criando condições hidrológicas e topoclimáticas específicas (BOTELHO, 2010). Segundo FLORENZANO (2008), muitos geomorfólogos se empenharam, nas últimas décadas, em contribuir para o aperfeiçoamento dos estudos em geomorfologia ambiental, cujas aplicações focam desde diagnósticos amplos e gerais em ambientes urbanos e rurais até estudos de detalhe.

Nesses trabalhos sistemáticos, o mapeamento temático geomorfológico, em conjunto com outros levantamentos como geologia, solo, hidrologia, clima, e diagnósticos socioeconômicos, entre outros, pode contribuir fornecendo a

caracterização física da topografia, sua dinâmica evolutiva e processos modeladores atuantes, podendo também apontar fragilidades e aptidões do ambiente em questão. Com isso, fica aqui explicitada a fundamental importância da contribuição dos estudos geomorfológicos para a realização de pesquisas geoambientais.

Para validar os estudos e classificações do relevo, a geomorfologia encontra na cartografia geomorfológica um dos mais importantes veículos de comunicação e análise dos resultados obtidos (LUPINACCI, MENDES & SANCHEZ, 2003). A cartografia, que é ao mesmo tempo instrumento de análise e de síntese da pesquisa geomorfológica, é um dos caminhos mais claramente definidos para a pesquisa empírica no campo da geomorfologia (ROSS, 2005).

A representação gráfica dos fatos geomorfológicos potencializa os estudos das ciências da Terra. Esse recurso apresenta melhores evidências e oferece maior compreensão e abstração por parte do pesquisador e dos leitores, através da visualização e da espacialização das formas de relevo, e suas relações com estrutura, processos e dinâmicas, considerando as particularidades das variáveis envolvidas (CASSETI, 2006).

É fundamental compreender que o mapeamento geomorfológico tem como premissa básica apresentar a base e a síntese da pesquisa geomorfológica, que poderá vir a ser utilizada como subsídio para outros estudos relacionados e não ser em si o resultado do estudo. Para TRICART (1965) o mapeamento geomorfológico constitui a base da pesquisa e não a concretização gráfica da pesquisa já feita já que seu principal objetivo é apresentar as características e atributos relacionados à gênese, forma e cronologia do relevo.

ROSS (1990) afirma que o mapeamento geomorfológico procura fundamentar uma síntese de todas as variáveis do meio físico (geologia, solos, cobertura vegetal, clima e ação antrópica) para sugerir um inventário de potencialidades e fragilidades do ambiente. Para esse autor não há caminhos para compreender a gênese e a dinâmica das formas de relevo sem que se entenda antes o mecanismo motor de sua geração, bem como sem perceber a dinâmica dos demais componentes.

Não existe uma técnica unificada de mapeamento geomorfológico, embora, sejam crescentes as facilidades de produção de informações por meio da utilização de bancos de dados e de técnicas de Sensoriamento Remoto e

Geoprocessamento. FLORENZANO (2008) justifica que a ausência de um método unificado de mapeamento geomorfológico se deve à complexidade e variedade dos objetos estudados pela geomorfologia e à consequente dificuldade para classificá-los e de representar cartograficamente todas as informações geomorfológicas.

Na primeira proposta de classificação do relevo brasileiro feita por ROSS (1985) o próprio autor alerta para o caráter de generalização que foi necessário adotar na metodologia devido à escala de representação final. Assim, o relevo brasileiro ficou classificado tendo um primeiro táxon representado pelos Planaltos, Planícies e Depressões, o segundo táxon que classifica os Planaltos quanto seu embasamento geológico ao qual foram esculpidos e o terceiro táxon que define nominalmente cada uma das unidades morfoesculturais, tanto nos Planaltos, quanto Planícies e Depressões.

O projeto RADAMBRASIL desenvolveu uma cartografia geomorfológica própria através de adaptações em relação à qualificação das informações permitidas pela escala, leitura do mapa diretamente associada à legenda, aplicação de degrados de cores para representar os táxons de menor grandeza (domínios, regiões e unidades geomorfológicas) e conjuntos alfanuméricos para representar os dados de amostragens morfométricas. (SCHNEIDER, 2011).

A taxonomia geomorfológica de ROSS (1992), dividindo o relevo em seis níveis distintos de escala de representação (Figura 01), representa a metodologia de maior praticidade dentre outras utilizadas na cartografia geomorfológica brasileira. O procedimento, detalhado por ROSS e MOROZ (1996), permite o registro de fatos morfológicos e morfométricos em seis níveis diferentes de escalas taxonômicas através de diferentes formas de representação, podendo alternar esquemas de cores e codificações alfanuméricas.

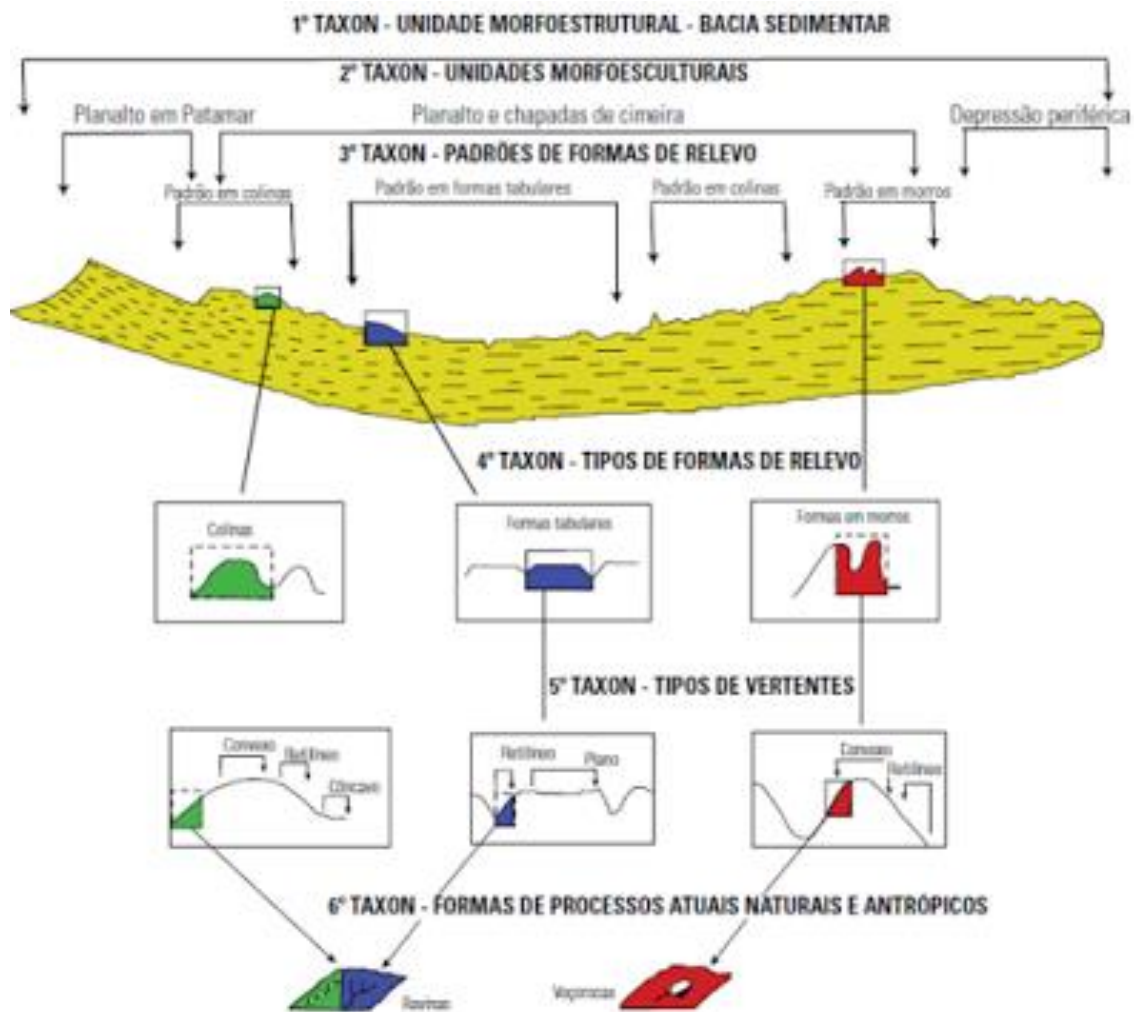


Figura 01: Unidades Taxonômicas do Relevo propostas por ROSS (1992).

Segundo ROSS (1992) é importante ressaltar que a proposta de mapeamento geomorfológico, seguindo a classificação taxonômica, apoia-se fundamentalmente no aspecto fisionômico, ou seja, na morfologia das formas de relevo de diferentes tamanhos. Deste modo, pode-se afirmar que, quanto maior a dimensão da forma maior é a sua idade e quanto menor a dimensão, menor idade ela tem. O que não se pode é estabelecer com rigidez o tamanho da forma medida em km², com o tempo geológico e histórico medido em anos e a gênese associada a apenas um determinado processo. (ROSS, 1992).

O mapa geomorfológico do estado de São Paulo desenvolvido por ROSS e MOROZ (1996) teve base na proposta de ROSS (1992), que estabelece a taxonomia do relevo em 6 níveis, porém foi aplicada de forma parcial devido à dificuldade de representar individualmente os 4º, 5º e 6º táxons na escala trabalhada. O trabalho representa de fato os três táxons maiores indicando as

Unidades Morfoestruturais do Cinturão Orogênico e da Bacia Sedimentar do Paraná, as Unidades Morfoesculturais do Planalto Ocidental Paulista, da Depressão Periférica Paulista e as Unidades Morfoestruturais das Bacias Sedimentares Cenozoicas.

SOARES e FUJIMOTO (2009) utilizaram o mapeamento geomorfológico para estabelecer a Caracterização e Compartimentação do Relevo da Bacia Hidrográfica do rio do Silveira – São José Dos Ausentes – RS, em que buscaram caracterizar a geologia e geomorfologia regional, caracterizar e mapear as diferentes formas de relevo da área, interpretar os processos morfogenéticos responsáveis pela formação do relevo e estabelecer uma morfocronologia relativa. Para tanto utilizaram como metodologia o ordenamento de estudos geomorfológicos propostos por AB'SABER (1969), que observa a Compartimentação do Relevo, Estruturação Superficial da Paisagem e Fisiologia da Paisagem. Além disso, foi utilizada a proposta taxonômica de ROSS (1992) considerando a Unidade Morfoestrutural (1º Táxon) e as Unidades dos padrões de formas semelhantes do relevo (3º Táxon).

FUJIMOTO e DIAS (2009) também utilizaram o mapeamento geomorfológico para determinar os Compartimentos do Relevo do Município de Porto Alegre – RS. Para a realização deste mapeamento foi realizada a identificação das formas de relevo e a análise dos processos morfogenéticos que operam na sua formação. Esses processos referem-se à ação fluvial, lagunar, marinha, tectônica e a ação humana. Portanto, este foi um estudo centrado na dinamicidade da natureza, tornando possível evidenciar as potencialidades e fragilidades do meio físico e, neste sentido, fornecer elementos para uma adequada ordenação territorial. Esse estudo também foi conduzido com base no ordenamento dos estudos geomorfológicos de AB'SABER (1969) com a aplicação da taxonomia do relevo de ROSS (1992), considerando os 4 primeiros táxons propostos pelo autor.

NOWATZKI & OKA-FIORI (2009) utilizaram, entre outros materiais, as técnicas de geoprocessamento para estabelecer Mapeamento da Fragilidade Ambiental da Bacia do rio Capivarí (Tijucas do Sul e São José dos Pinhais/PR). A metodologia aplicada para o presente trabalho foi inicialmente proposta por TRICART (1977), com os seus estudos de Ecodinâmica entendido como “um modelo de avaliação das unidades territoriais, com base do balanço

pedogênese/morfogênese, propiciando uma classificação quanto aos graus de instabilidade ambiental". A pesquisa, contudo, também se baseou em algumas adaptações e propostas sugeridas por ROSS (1990 e 1994) até chegar a produtos cartográficos finais. Essas cartas são relacionadas às análises empíricas das fragilidades tanto naturais quanto as antropomorfizadas na paisagem, utilizando assim as delimitações da bacia hidrográfica com o objetivo de uma visão integrada do meio físico/natural.

A compreensão da paisagem, como herança, faz com que os estudos das geociências sejam fundamentais para o entendimento de qualquer ambiente que esteja sendo estudado em função de suas características físicas e de suas possíveis potencialidades e limitações. Assim, é necessário compreender a relação entre as variáveis físicas, como o substrato rochoso, o solo e o relevo, já que estes elementos em uma estrutura de interação dinâmica e em consequência das características climáticas compõe fatores que condicionam os processos superficiais. Também são eles que determinam, de forma sistêmica, o balanço pedogênese/morfogênese e permitem a caracterização básica de um determinado recorte da superfície da Terra em sua condição evolutiva.

Nesse sentido, o caráter de agente transformador que as atividades humanas exercem sobre o relevo sempre deve ser objeto de análise nos estudos geomorfológicos. Conforme SZABÓ *in* SZABÓ et al. (2010) atualmente, os agentes humanos são de igual importância em relação a outros fatores na modelação dos formatos do relevo terrestre. Apesar da intensidade da influência depender da energia liberada pelas sociedades humanas, que é insignificante comparada às forças endógenas da Terra, a sua efetividade ao impulsionar os processos exógenos, por vezes, supera mesmo os processos endógenos.

Esta constatação complementa as contribuições de PIACENTE *in* PANIZZA (1996) que compara os seres humanos a outras criaturas vivas e percebe a sua grande capacidade de movimento e adaptação. Nesse estudo, o pesquisador afirma que os resultados das ações antrópicas no ambiente derivam do desenvolvimento tecnológico disponível a cada grupo social e são guiados por necessidades econômicas, sociais e culturais.

Na presente pesquisa o mapeamento geomorfológico foi um dos subsídios ao mapeamento Geoambiental, definindo feições do relevo, elementos do relevo e unidades de vertente por atributos físicos na área de estudo.

2.3.2. Metodologias de Classificação Automatizada do Relevo

Recentemente emergem as técnicas de automação na caracterização das formas e dos elementos ou atributos de relevo por meio de uso de imagens de Sensoriamento Remoto e tratamento das mesmas em ambiente SIG (Sistemas de Informações Geográficas). Segundo ROBAINA et. al. (2016) a obtenção dos atributos de relevo passou a ser mais fácil a partir dos SIG, que auxiliam na parametrização da morfologia do relevo por meio da extração dos atributos topográficos.

MENEZES (2004) considera as técnicas de classificação de imagens orbitais como o processo de associar pixels de um conjunto de bandas de uma imagem a um número finito de classes individuais que representem objetos no mundo real com base nos seus valores digitais. Estas técnicas podem ser definidas em virtude do grau de intervenção do analista. Segundo SCHIRMER (op. Cit.) em estudos geoambientais, o pesquisador utiliza as informações obtidas a partir do sensoriamento remoto aplicadas ao arranjo espacial estudado, integrando as informações às características físicas extraídas da topografia e da geologia do local.

Vários autores utilizaram diferentes métodos de extração de atributos topográficos, aplicando técnicas de classificação que subdividiram as Formas de Relevo em Elementos de Relevo ou ainda: Formas de Terreno (FTs), conceituadas por WOOD (1996); Elementos de Terreno (ETs), SCHMIDT e HEWITT (2004). Além das contribuições de DRAGUT & BLASCHKE (2006) e IWAHASHI & PIKE (2007), que extraíram feições do relevo de vários níveis geomorfológicos utilizando 2 ou 3 variáveis morfométricas, respectivamente.

Ao utilizar os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), torna-se possível a aplicação de novas metodologias em subáreas da geomorfologia como, por exemplo, a geomorfometria. O uso de Modelos Digitais de Elevação (MDE), dependendo da escala e dos níveis de mapeamento pretendidos, vem sendo utilizado como ferramenta recorrente.

Em um período recente emergem técnicas de obtenção de unidades, formas, elementos e microunidades de relevo por meio de automação, utilizando Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica. Nesta perspectiva enquadram-se os estudos no campo da geomorfometria, que analisa

a superfície topográfica de forma quantitativa, também conhecida como “análise do terreno” ou “modelagem do terreno.” (PIKE 2000).

A expansão do Modelo Digital de Elevação (MDE) e de seus atributos de terrenos que são usualmente processados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) resultou em um desenvolvimento significativo para técnicas de obtenção automatizada de feições do relevo. Neste contexto também são considerados os Elementos de Terrenos (ETs) e as Formas de Terreno (FTs).

O MDE é um plano de informação que descreve a altitude, ponto a ponto, de uma determinada área. Pode ser gerado a partir de diferentes fontes de dados, como sensoriamento remoto, aerofotogrametria, cartas topográficas, entre outros. A precisão do MDE e das variáveis morfométricas obtidas depende, principalmente, da resolução dos dados de origem e do seu processamento. (FLORENZANO, 2009).

Neste contexto, JASIEWICZ & STEPINSKI (2013) criaram os *Geomorphons* que são elementos do relevo extraídos de um MDE (Modelo Digital de Elevação) ao adaptar um grupo de LTP (*Local Ternary Pattern*)⁵, desenvolvidos por LIAO (2010) de acordo com sua simetria. Estes LTP são transferidos para valores de elevação do terreno e passam a constituir, desta forma, a micro estrutura fundamental de relevo. Assim, esta metodologia determina os *Geomorphons* pelas classes predominantes de elementos que caracterizam as encostas.

Os *Geomorphons* (JASIEWICZ & STEPINSKI, 2013) são, portanto, o resultado da aplicação de um método de auto adaptação do tamanho e formato de padrões de elementos de relevo à topografia local, que apresentarão 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”. Como resultado são geradas 10 unidades com os elementos de relevo mais comuns: *peak* (pico), *ridge* (crista), *shoulder* (ressaltos), *spur* (crista secundária), *slope* (encosta), *hollow* (concauidade), *footslope* (base de encosta), *valley* (vale), *pit* (fosso), and *flat* (plano) – e assim são definidos os *Geomorphons* de determinada área em análise.

⁵ LTP - Padrões Ternários Locais na sigla em inglês, desenvolvidos por Liao (2010), são 498 células de simetrias rotacional e reflexiva que variam de acordo com a textura (Textons).

ROBAINA et. al. (2016) adaptaram essa metodologia para realizar a compartimentação fisiográfica do estado do Rio Grande do Sul, estabelecendo 7 compartimentos de acordo com a predominância e o agrupamento dos elementos.

Algumas ferramentas e/ou recursos tornam-se indispensáveis, e passam a ter profundo grau de relação com os resultados da pesquisa. Para tanto, são necessárias considerações e elucidações a respeito de possíveis abordagens e ferramentas, para definir quais devem ser elencados como possíveis recursos, que poderão auxiliar na identificação de processos ou formas.

Dentre as diversas ferramentas associadas ao uso de SIG, imagens orbitais, MDEs, entre outros, utiliza-se as técnicas de geomorfometria, que são importantes recursos para apoiar o pesquisador que deseja investigar o relevo e espacializar sua ocorrência em determinada área de estudo. Muitos pesquisadores aplicam a morfometria do relevo ou geomorfometria como parâmetro para estabelecer os zoneamentos e definir as categorias.

Para FLORENZANO (2008) a morfometria refere-se aos aspectos quantitativos do relevo, como as variáveis: altura, comprimento, largura, superfície, volume, altura absoluta e relativa, inclinação, declividade, curvatura, orientação, densidade e frequência de suas formas. A morfometria do relevo, ou geomorfometria, considera a superfície terrestre como uma unidade heterogênea e contínua, porém segmentável qualitativa e quantitativamente. Muitos pesquisadores aplicam a morfometria do relevo ou geomorfometria como parâmetro para estabelecer os zoneamentos e definir as categorias. Segundo VASCONCELOS *et al* (2012) a geomorfometria obteve um desenvolvimento significativo com a profusão do uso de ferramentas como Modelo Digital de Elevação (MDE) e de suas variáveis geomorfométricas que são usualmente processados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Neste contexto também são considerados os Elementos do Terrenos (ETs) e as Formas de Terreno (FTs).⁶

⁶ Elemento de Terreno (ETs) e Formas de Terrenos (FT) são dadas pelas diferentes maneiras de analisar e compreender a encosta. Os Elementos de Terrenos (Evans, 1979) utilizam as curvaturas horizontal e vertical para analisar a encosta, enquanto as Formas de Terreno (Wood, 1996) utilizam as curvaturas longitudinal, seccional cruzada e mínima e máxima.

Para WOOD (1996) a geomorfometria, refere-se à apresentação quantitativa das características morfológicas da paisagem descritas de forma contínua por meio de equações e aplicadas aos Modelos Digitais de Terreno (MDT).

Os elementos do relevo podem encontrar amparo quando trabalhados analogicamente a outros métodos de reconhecimento de uma determinada unidade ou feição do relevo, como, por exemplo, a morfometria do relevo, que oferece aplicações axiomáticas tangíveis no campo da matemática, que corroboram, ou trazem sustentação a alguns conceitos trabalhados no campo das geociências.

A configuração geométrica dos padrões texturais da superfície terrestre é o resultado de múltiplos fatores, principalmente da ação conjunta entre a história tectônica, a história climática e os atributos do substrato litológico/pedológico que mais influem nos seus usos potenciais. Nesta perspectiva, emergem os estudos no campo da geomorfometria, que analisa a superfície topográfica de forma quantitativa. Também conhecida como “análise do terreno” ou “modelagem do terreno.” (PIKE 2000).

A técnica de mapeamento geomorfométrico automatizado desenvolvida por SILVEIRA & SILVEIRA (2013) a partir dos preceitos de IWAHASHI e PIKE (2007) aplica o cruzamento de informações e atributos topográficos gerados em SIG e hierarquizados através de uma árvore de decisão, baseada em valores pré-definidos, determina as unidades geomorfométricas. São doze unidades resultantes que descrevem os diferentes segmentos de encosta quanto a altimetria, declividade, perfil e plano de inclinação.

As variáveis, que também podemos chamar de atributos de terreno, possuem níveis de generalização e aplicabilidade diferentes, devendo ser utilizados com propósitos específicos na estratificação da paisagem. Os atributos mais utilizados para a classificação consistem na altimetria e dos produtos provenientes de sua derivação, como declividade e as curvaturas. (VASCONCELLOS *et al*, 2012).

SILVEIRA (2010) delimitou unidades preliminares de mapeamento de solos na bacia do Arroio do Corvo/PR, extraindo sete atributos topográficos primários e secundários de um MDE por meio de técnicas de Geoprocessamento: hipsometria, perfil e plano de curvatura, declividade, índices

de corrente de máximo fluxo, umidade e capacidade de transporte de sedimentos. Esses atributos foram selecionados e sobrepostos com aplicações de SIG por método de Tabulação Cruzada (TC), o que resultou na identificação de unidades preliminares de solos. Outra forma de classificação foi realizada pela integração em Rede Neural Artificial (RNA), que resultou num segundo mapa preliminar de solos. Estes mapas, após complexas análises de validação e comparações entre ambos, foram também comparados com um mapa de solos convencional da área de estudo, apontado para resultados satisfatórios na aplicação de modelos quantitativos de interpretação do relevo para classificação de unidades preliminares de mapeamento de solos.

VASCONCELLOS *et al.* (2012) extraíram atributos de um MDE desenvolvendo um sistema de classificação geomorfométrica baseado em uma arquitetura sequencial em duas etapas: árvore de decisão e classificador espectral, no Parque Nacional da Serra da Canastra. A classificação por árvore de decisão extraiu dados de altitude e de declividade, enquanto a subdivisão de classes classificador espectral "*Spectral Angle Mapper*" (SAM) originou os atributos de curvatura. A combinação dos dois métodos melhora os resultados porque cada procedimento identifica diferentes aspectos dos padrões da paisagem em diferentes níveis de escala.

GUADAGNIN e TRENTIN (2014) utilizaram a metodologia desenvolvida por IWAHASHI e PIKE (2007) adaptada por SILVEIRA e SILVEIRA (2013) para realizar a compartimentação geométrica da bacia hidrográfica do arroio Caverá, RS. Neste estudo foram aplicadas técnicas de geoprocessamento associadas à análise digital dos atributos do relevo a partir de um MDT (Modelo Digital de Terreno), baseada em árvore de decisão que empregou os atributos topográficos de altimetria, declividade, perfil de curvatura e plano de curvatura para determinar doze unidades de encosta ou unidades geomorfométricas.

Utilizando a mesma proposta metodológica TRENTIN e ROBAINA (2015), realizaram a classificação geomorfométrica da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã, na qual foram definidas doze unidades representativas do relevo da bacia, aferindo que a metodologia é apropriada para caracterizar as encostas e tem grande potencial para dar suporte a trabalhos relacionando relevo a outros atributos ambientais.

As ferramentas e técnicas concernentes à utilização de SIG, com apoio nos dados obtidos por Sensoriamento Remoto e transformados em informações espaciais pela aplicação de rotinas de geoprocessamento permitirão o desenvolvimento prático e metodológico desta pesquisa, no sentido de reconhecer áreas homogêneas, quanto a características ambientais, restrições e aptidões dentro da área de estudo. Também irão viabilizar a interpretação e as discussões necessárias a respeito da configuração espacial resultante.

2.4. ESTUDOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

A bacia hidrográfica é um limite natural e desempenha um papel fundamental na evolução da superfície terrestre, pois os cursos d'água são importantes modeladores do relevo, além de apresentar uma síntese ambiental de determinada área e possuir uma gestão compartilhada, ultrapassando os limites administrativos de diferentes unidades federativas. Estas razões são suficientes para orientar a decisão de adotá-la como unidade de análise para esta pesquisa.

Encontra-se na literatura vasta conceituação para bacia hidrográfica, também chamada de bacia ou rede de drenagem, rede fluvial, entre outros. Variados autores expõem conceitos que confluem para um significado comum ou equivalente, sempre evidenciando processos e variáveis caros à Geografia.

Uma bacia ou rede de drenagem é compreendida na abordagem sistêmica como um exemplo típico de sistema aberto. Esta afirmativa se sustenta na concepção de que uma bacia hidrográfica recebe impulsos energéticos das forças climáticas atuantes sobre sua área e das forças tectônicas subjacentes, e perde energia por meio da água, dos sedimentos e dos solúveis exportados pela bacia no seu ponto exutório. (CHORLEY, 1962).

Na questão hidrológica, segundo CHRISTOFOLETTI (1974), uma bacia hidrográfica consiste em um padrão inter-relacionado de drenagem formado por um conjunto de rios em determinada área, a partir de qualquer número de fontes até a desembocadura, da referida rede.

Para COELHO NETTO (2003) a bacia de drenagem é uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial. O limite de uma

bacia de drenagem é conhecido como divisor de águas ou divisor de drenagem. Uma paisagem determinada pode possuir certo número de bacias drenando para um reservatório final comum, como os oceanos ou mesmo um lago. Em uma bacia hidrográfica as condições climáticas, litológicas, biogeográficas e outras, condicionam a estruturação da rede de drenagem e de determinadas formas de relevo. Segundo COELHO NETTO et. al. (op. Cit.) uma bacia hidrográfica alcança o estado de estabilidade, quando a geometria da rede fluvial e da morfologia se encontram em perfeito estado de equilíbrio, podendo sofrer modificações se por ventura houver alterações nas variáveis condicionantes.

A diversidade de características ambientais inerentes a uma bacia hidrográfica, aliada ao objetivo de definir bases mais consistentes para o planejamento ambiental, levou SILVA (1978), a propor unidades individualizadas de bacias hidrográficas. Essas unidades apresentam características geomorfológicas que expressam de forma integrada a dinâmica ambiental.

Em países como Estados Unidos, Reino Unido, França e Nigéria, as bacias hidrográficas vêm sendo utilizadas como células de análise desde o princípio do século XX. Na Geografia Física a bacia hidrográfica é reconhecida como unidade espacial desde o fim dos anos 1960. No Brasil, nas décadas de 1980 e 1990 muitos autores apresentam grande variedade de trabalhos que utilizam a bacia hidrográfica como sua unidade fundamental de pesquisa (BOTELHO, 1999).

Quanto aos parâmetros legais, a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/97) (BRASIL, 2008), com base no modelo francês de gestão ambiental, usa como princípios básicos: adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento; usos múltiplos da água (todos os setores usuários têm igual acesso ao uso dos recursos hídricos); reconhecimento da água como um bem finito e vulnerável; reconhecimento do valor econômico da água; e, gestão descentralizada e participativa.

A gestão de bacias hidrográficas engloba questões biofísicas e humanas inseridas na unidade ou externa a ela, com implicações significativas para a sua dinâmica, integrando as dimensões humanas, culturais, socioeconômicas, estéticas, e outras que não são espacialmente definidas. (TRENTIN, 2011). O autor utiliza as palavras de SHIAVETTI e CAMARGO (2002) para explicar que a análise e incorporação de questões envolvendo os recursos hídricos, geológicos,

pedológicos, biológicos, sociais, culturais, econômicos, estéticos, e muito outros, são fatores essenciais que todos os planos, projetos e tipos de manejo e administração de bacia hidrográfica devem abordar.

No conceito de bacia hidrográfica estão implícitas muitas dimensões e expressões espaciais e que não necessariamente guardam entre si relações de hierarquia (BOTELHO e SILVA *in* VITTE e GUERRA, 2004). A forma das redes de drenagem obedece a fatores geológicos condicionados por uma estrutura geométrica similar. Várias associações entre a complexidade do sistema de drenagem e o substrato litológico/pedológico superficial já foram percebidas em pesquisas prévias (SOAREZ & FIORI, 1978):

- Quanto maior é a densidade de drenagem, menor é a capacidade de retenção da água no substrato e menor o potencial de infiltração;
- Onde os maciços rochosos são cobertos por espessos mantos de material não consolidado, a densidade de drenagem refletirá mais a espessura e permeabilidade desses materiais;
- Tem-se menor densidade de drenagem sobre rochas mais solúveis, pois se desenvolve escoamento em superfície.

Os padrões de drenagem se referem ao arranjo espacial dos cursos fluviais. As formas de drenagens no relevo terrestre refletem o estado de equilíbrio entre as forças telúricas e o clima num dado substrato, assim, a configuração do embasamento litológico superficial tem relação com a geometria das drenagens.

Um conceito central e amplamente abordado nas pesquisas geográficas em bacias de drenagem é a hierarquia fluvial proposta por STRAHLER (1954). De acordo com o autor, os menores canais, sem tributários são definidos como os de primeira ordem, desde sua nascente até a confluência. Os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem. Quando há o encontro entre dois canais de segunda ordem, surge um canal de terceira ordem, que pode receber tanto tributários de primeira como de segunda ordem. Ao encontrar-se com outro canal de terceira ordem, surge um canal de quarta ordem que poderá receber canais de ordem inferior, e assim sucessivamente.

A hierarquia fluvial também é utilizada como parâmetro para a setorização das bacias hidrográficas em alto curso, médio curso e baixo curso. Neste

sentindo, CHRISTOFOLETTI (1980), afirma que a hierarquia fluvial consiste no processo de classificação de curso d'água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra. Isso é realizado com a função de facilitar e tornar mais objetivo os estudos morfométricos sobre as bacias hidrográficas.

Nas bacias hidrográficas as cabeceiras de drenagem e nascentes são os elementos de maior fragilidade. Para GUERRA & GUERRA (2001), as cabeceiras de drenagem

“são bacias ou vales não canalizados, possuindo conformação topográfica côncava em planta, correspondendo aos primeiros formadores da rede de drenagem, podendo constituir o prolongamento direto da nascente dos canais fluviais de 1ª ordem” (GUERRA & GUERRA, 2001, p. 97).

As cabeceiras de drenagem compreendem um importante componente do sistema fluvial, pois se trata de uma área de transição entre os processos de denudação para os transportes erosivos convergindo em direção ao exutório. (ANHERT, 1998). O termo “cabeceira de drenagem” é tratado na literatura internacional por HACK (1975), como “hollow” e no Brasil de “rampa” por MEIS & MONTEIRO (1979) ou “concavidade” por AVELAR & COELHO NETTO (COELHO NETTO, 1992).

Segundo BARROS *et al.* (2010) a definição e o mapeamento das cabeceiras de drenagem devem seguir critérios geomorfológicos e estratigráficos definidos por MOURA *et al.* (1991). Tais critérios determinam uma metodologia que identifica os tipos de cabeceiras de drenagem considerando a conexão do eixo da cabeceira (hollow principal) com a rede de drenagem adjacente (coletora ou formadora), bem como as descontinuidades geométricas verificadas na zona de articulação das encostas com as reentrâncias da topografia (hollows e fundos de vale).

De acordo com GUARESCHI e NUMMER (2017), na região planáltica do Rio Grande do Sul, existem concavidades rasas, com formato arredondado ou alongado, bem como, algumas concavidades que apresentam diversas ramificações que se estendem por centenas de metros, ao tempo que existem concavidades mais amplas e espalhadas. Nesta região as cabeceiras de drenagens também ocorrem em depressões fechadas a uma distância crítica

dos divisores com os quais apresentam alinhamento. GUARESCHI e NUMMER (op. Cit.) explicam que a origem destas feições no Planalto Meridional do Rio Grande do Sul é atribuída a fatores tectônicos como falhas e fraturas e ao intemperismo químico de materiais menos resistentes.

(SILVA; MEZZOMO; GONÇALVES, op. Cit.) com base em SALATI *et al* (2006) afirmam que no Brasil, o uso da água de rios e nascentes é a principal fonte utilizada para abastecimento público, assim como para o desenvolvimento de atividades industriais e agropecuárias. De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2012), a maior quantidade de água consumida no Brasil envolve a irrigação de cultivos agrícolas. Dos três estados do Sul, o Rio Grande do Sul é o que mais utiliza água para irrigação, com cerca de 80% do total. Santa Catarina representa 11%, enquanto que o Paraná soma 9% do total irrigado da região (ANA, 2012).

Na bacia hidrográfica do rio Potiribu as águas de rios e arroios são utilizadas para as finalidades de abastecimento e irrigação, sendo que o canal principal é a fonte de abastecimento urbano para a cidade de Ijuí, maior centro urbano localizado na bacia. Com isso, os riscos relacionados aos problemas que se desenvolvem no âmbito das nascentes geram grande preocupação em relação à manutenção das dinâmicas ambientais que sustentam o ciclo hidrológico e garantem o abastecimento e as atividades econômicas. A legislação brasileira, por meio do Código Florestal (BRASIL, Lei nº 12.651/12) institui a obrigatoriedade de Áreas de Preservação Permanentes, porém, o não cumprimento da legislação e a forma de entendimento em relação aos elementos naturais geram situações de risco e suscetibilidade.

O estado de conservação das cabeceiras de drenagem é importante parâmetro para analisar a condição de preservação dos recursos hídricos na bacia hidrográfica. O nível de degradação, recuperação ou preservação destes elementos são indicadores da suscetibilidade, pois reflete a qualidade ambiental quanto aos aspectos de potencialidade ou limitação ao uso antrópico.

O estudo geoambiental e todas as variáveis inseridas no desenvolvimento da pesquisa compõe importante parâmetro para o reconhecimento e diagnóstico do ambiente. As análises no âmbito das bacias hidrográficas necessitam de estudos geoambientais, já que estes representam uma síntese da dinâmica dos

elementos físicos em relação com as atividades antrópicas, na consolidação de pesquisas ambientais com o envolvimento de diversas variáveis.

2.5. METODOLOGIA E USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA ANÁLISE GEOAMBIENTAL.

O termo *Sistemas de Informação Geográfica* (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial. É um conjunto de ferramentas e recursos que oferecem ao administrador uma visão inédita de seu ambiente de trabalho, em que, segundo CÂMARA et al. (2003), todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, inter-relacionadas com base no que é fundamentalmente comum: a localização geográfica. Para que isto seja possível a geometria e os atributos dos dados num SIG devem estar georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica.

FERREIRA et al. (2012) afirmam que um SIG é a integração de todos os softwares da cartografia digital e vai além das possibilidades de executar integrações de dados, porém depende das finalidades de aplicação e grau de conhecimento dos especialistas que elaboram a análise final dos mapas temáticos. As principais formas de utilização de um SIG estão no campo do gerenciamento de serviços, nos estudos científicos, na integração de áreas de conhecimento, na formação e tomada de decisões, caso da gestão compartilhada de Bacias Hidrográficas e grandes empreendimentos.

De acordo com FERREIRA (op. Cit.) os dados a serem utilizados por um SIG podem ter origem em várias fontes, e podem ser classificados em primários e secundários. Os dados primários são aqueles que têm sua origem direta do campo ou são produto de sensoriamento remoto. Os dados secundários envolvem mapas e estatísticas.

Quanto aos trabalhos de elaboração de zoneamentos, as técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento têm se tornando indispensáveis na atualidade. Fato consolidado por que os SIG de forma geral, permitem a observação de vários temas em uma única visualização, sendo possível a

integração ou o cruzamento de dados em um único mapa. Nessa perspectiva destaca-se FLORENZANO (2008), que aponta o crescente uso de sistemas de informação geográficas (SIGs) nas questões ambientais. (TRENTIN, 2011).

LANG & BLASCHKE (2009), enfatizam que o auxílio dos SIGs, permite “explicar e visualizar relações espaciais”, com a possibilidade de representar e apresentar as informações produzidas em formato de mapas, além de desenvolver cenários espaciais e avaliar as intervenções humanas inseridas em paisagens naturais SCHIRMER (2015).

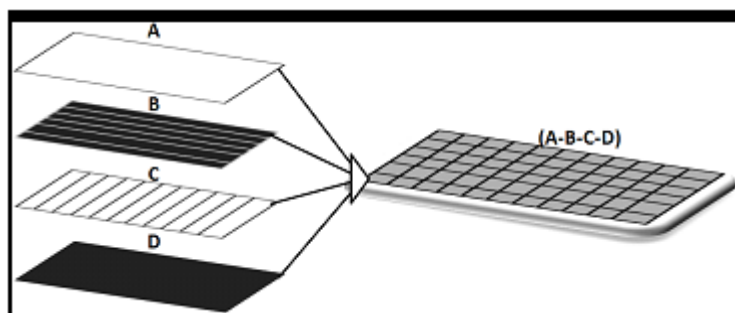
Segundo FLORENZANO (2008), Sensoriamento Remoto é a tecnologia de aquisição de dados da superfície terrestre à distância, através do uso de sensores ou radares a bordo de plataformas aéreas ou orbitais. Os sensores ópticos dependem da energia solar ou do calor emitido pela Terra para captar dados da superfície terrestre, os radares registram a energia que retorna do pulso de radiação de micro-ondas enviado por sua própria antena.

Na aplicação das técnicas de sensoriamento remoto é possível explorar diferentes escalas de trabalho, as quais são dependentes da natureza dos estudos pretendidos. (PONZONI e SHIMABUKURO, 2010). Para utilizar o Sensoriamento Remoto como ferramenta de análise espacial, os dados obtidos precisam ser corretamente interpretados, bem como, os sensores e as imagens precisam ser selecionados de acordo com os objetivos da pesquisa.

A utilização de imagens oriundas do sensoriamento remoto vem sendo cada vez mais intensa, pois, trata-se de um sistema de alta confiabilidade para a aquisição de dados, além de ser muito eficiente. De acordo com SCHIRMER (Op. Cit.) as imagens de Sensoriamento Remoto permitem a incorporação de novas visões da realidade ambiental, uma vez que são ideais para o mapeamento dos usos da terra, considerando que as diferentes formas de utilização da superfície terrestre refletem a energia solar de forma diferenciada.

SCHIRMER (op. Cit.) afirma que através de algumas rotinas de integração de vários Planos de Informação (PI's), como a sobreposição de camadas, realização de modelagens de mapas síntese e com a utilização de álgebra de mapas, gera-se novas informações, como exemplificado na Figura 02.

Figura 02: Sobreposição de Camadas em um Plano de Informação.



Fonte: Silva Neto, 2013.

Existe uma gama de sensores orbitais e, em consequência disso, uma variada e múltipla quantidade de imagens disponíveis para uso público. Na presente pesquisa, por exemplo, foram utilizados dados topográficos obtidos por radar interferométrico da Missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) do Serviço Geológico dos Estados Unidos da América (USGS). Com apoio dos SIG estes dados espaciais permitem visualizar o espaço geográfico em três dimensões, e desta forma obter informações morfométricas por meio de técnicas de automação. Estas informações são fundamentais em estudos geoambientais e geomorfológicos, entre outros.

O Geoprocessamento é uma tecnologia, ou um conjunto de tecnologias, que possibilita a manipulação, a análise, a simulação de modelagens e a visualização de dados georreferenciados (FITZ, op. Cit.). O Geoprocessamento se viabiliza atualmente por meio dos SIG (Sistemas de Informações Geográficas), cuja definição de BOURROUGH e McDONNELL (1998), citada por FITZ (op. Cit), explica que um SIG é um poderoso conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de dados espaciais do mundo real para um conjunto de propósitos específicos.

No mesmo sentido, FITZ (op. Cit.) define SIG como: “um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido”.

Para se referir de forma genérica ao conjunto de técnicas, produtos e softwares envolvidos no processo de pesquisas espaciais que envolvem os SIGs, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, utilizaremos por vezes o

termo “geotecnologias”. O termo geotecnologias faz referência ao conjunto de tecnologias aplicadas para a coleta, processamento, análise e disponibilização de informações e dados georreferenciados e são compostas por soluções em hardware, software e peopleware que, juntas, constituem poderosas ferramentas de decisão (ROSA, 2007).

Segundo LEITE e ROSA (2012) os tipos de cobertura natural ou artificial são de fato os elementos que as imagens de sensoriamento remoto são capazes de registrar, sendo fundamental ponderar que as imagens não registram atividades diretamente. Desta forma, é inerente ao pesquisador a tarefa de buscar as devidas associações de reflectâncias, texturas, estruturas e padrões de formas para derivar informações acerca das atividades de uso, a partir do que são basicamente dados de cobertura da terra. (ARAUJO FILHO et. al., 2007).

Segundo BENAVIDES SILVA e MACHADO (2014) as técnicas de Geoprocessamento têm mostrado sua relevância nos estudos ambientais por permitirem a realização de mapeamentos temáticos das características do ambiente, que integram e relacionam diversas variáveis. Segundo as autoras, é possível também, realizar estudos para analisar quais as variáveis ambientais de caráter natural ou antrópico contribuem mais para a ocorrência de erosões, assim como buscar medidas de controle, entre outros estudos.

Concluindo, pode-se dizer que as geotecnologias são ferramentas imprescindíveis nos estudos ambientais, principalmente no que tange ao Zoneamento Geoambiental, pois permitem uma abordagem complexa e integradora das relações entre a natureza e a sociedade.

As geotecnologias também possibilitam a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Desse modo, é possível automatizar a produção de documentos cartográficos e a tomada de decisão de maneira mais rápida e precisa. Sendo assim, o Zoneamento de Sistemas Geoambientais na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS, somente é viabilizado por meio da aplicação e uso destas ferramentas.

O desenvolvimento e utilização de metodologias adequadas à aplicação das geotecnologias para a realização da análise ambiental é uma rotina constante nos estudos e pesquisas de vários campos da ciência, e de forma especial, no campo da Geografia Física. As geotecnologias permitem o acesso

a recursos tecnológicos aos esforços de aquisição, manipulação, processamento e apresentação de dados e informações espaciais georreferenciados. A análise ambiental aplicada ao campo da Geografia é praticamente um sinônimo dos termos SIG e Geoprocessamento.

2.6. USO E COBERTURA DA TERRA NA ANÁLISE GEOAMBIENTAL

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), determina que “Entende-se por levantamento o conjunto de operações necessárias à elaboração de uma pesquisa temática que pode ser sintetizada por meio de mapas. O levantamento da Cobertura e do Uso da Terra indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre. Envolve pesquisas de escritório e de campo, voltadas para a interpretação, análise e registro de observações da paisagem, concernentes aos tipos de uso e cobertura da terra, visando sua classificação e espacialização por meio de cartas.” (IBGE, 2013, p.36).

As Geotecnologias são fundamentais para as pesquisas referentes ao uso e cobertura da terra, tendo como foco norteador a definição por parte do pesquisador, com base nas leituras realizadas, a diferenciação entre os termos.

O uso da terra, dentre as várias definições existentes, geralmente associadas às atividades conduzidas pelos seres humanos relacionadas com uma extensão de terra ou a um ecossistema, foi considerado como *uma série de operações desenvolvidas pelos seres humanos, com a intenção de obter produtos e benefícios, através do uso dos recursos da terra* (BIE; LEEUWEN; ZUIDEMA, 1996) *ou seja, a atividade humana que se acha diretamente relacionada com a terra* (CLAWSON; STEWART, 1965 apud ANDERSON et al., 1979 p. 20). *O uso da terra está relacionado com a função socioeconômica (agricultura, habitação, proteção ambiental) da superfície básica.* (BOSSARD; FERANEC; OTAHEL, 2000, p.15.)

A cobertura da terra foi definida como *os elementos da natureza como a vegetação (natural e plantada), água, gelo, rocha nua, areia e superfícies similares, além das construções artificiais criadas pelo homem, que recobrem a superfície da terra.* (BIE; LEEUWEN; ZUIDEMA, 1996; BURLEY, 1961)

Assim, a aplicação do termo “uso” simboliza a representação cartográfica das atividades econômicas e a ocupação humana. Por sua vez, do termo “cobertura”, se refere à representação cartográfica do resultado destas derivações antrópicas sobre o meio natural, expressas principalmente pela vegetação arbórea e secundária, remanescentes em meio às áreas de produção e ocupação.

Os processos de povoamento e assentamento de atividades econômicas representam as matrizes da materialização espacial da dicotomia inerente à relação entre as sociedades humanas e a natureza. Nos princípios da civilização, a necessidade de sobrevivência e da ampliação da valência ecológica⁷ dos seres humanos culminaram em insignificantes transformações no espaço natural. Em contrapartida, o período iniciado com a revolução industrial determinou que em nome do desejo ilimitado de crescimento do capital, os esforços humanos de produção convergissem para o avanço dos interesses da racionalidade economicista sobre todos os espaços naturais da Terra. Sendo assim, muitas expressões da sociedade contemporânea se manifestam na pressão sobre os ambientes naturais de forma direta ou indireta, resultando na complexidade da atual ocupação e uso da terra.

Conhecer a dinâmica da terra sempre foi uma necessidade dos seres humanos. Desde a Antiguidade é possível encontrar alguma forma de referência sobre as relações entre a natureza e as atividades do homem. (IBGE, 2013). Em consequência da expansão marítimo-geográfica europeia durante a formação do mundo moderno-colonial (PORTO GONÇALVES, 2003), as formas de povoamento e ocupação dos espaços seguiram um modelo muito semelhante em grande parte do planeta. BERNARDES (1997) indica fatores que contribuíram para o povoamento do estado do Rio Grande do Sul, entre eles o relevo, os solos, o clima, os tipos de vegetação e fatores culturais.

O autor (BERNARDES, op. Cit.) cita o Planalto e suas características naturais como a composição por rochas efusivas básicas pertencentes aos derrames da Bacia do Paraná e sua superfície regular, ondulada, com suaves

⁷ A valência ecológica de uma espécie designa seu potencial de desenvolvimento: ela é medida não apenas pela área de extensão desta espécie, mas também pela densidade de população máxima que ela pode atingir no apogeu de seu desenvolvimento. Mazoyer, M.; Roudart, L. *A História das Agriculturas no Mundo: do Neolítico à Crise Contemporânea*. © 1997, 2002 Éditions du Seuil © 2009 da tradução brasileira. Título original: *Histoire des Agricultures du monde: du néolithique à la crise contemporaine*.

“coxilhas”⁸ associadas a solos espessos e ao clima subtropical, como elementos que favoreceram o povoamento por parte dos imigrantes europeus. De certa forma, os novos colonizadores encontraram nessa região a paisagem ideal para promover a instalação da agricultura e das pastagens para criação de animais.

Neste sentido, GASS *in* GASS *et. al.* (2013) explica que a ocupação das áreas de florestas na porção Norte-Noroeste do estado do Rio Grande do Sul resultou de vários fluxos migratórios, em especial, de imigrantes europeus. A produção econômica dos imigrantes era alicerçada na atividade primária, e ocorria nos pontos mais altos do relevo (interflúvios), em um primeiro momento, e mais tarde em direção dos cursos d’água. As atividades dos imigrantes europeus resultaram em intenso processo de desflorestamento. O autor afirma que a economia desta região permanece sendo dependente da produção primária, o que expõe o conflito entre a agropecuária e as florestas aumentando a pressão antrópica sobre os remanescentes nativos. GASS *in* GASS *et. al.* (op. Cit.).

A cobertura da terra é considerada a expressão das atividades humanas na superfície terrestre e está diretamente ligada ao uso da terra e seu manejo. Os estudos que correlacionam à caracterização da cobertura da terra e a análise de seus diferentes usos e manejos são importantes ferramentas para a compreensão da intensidade das mudanças e o tipo das mudanças derivadas da ação antrópica em determinadas áreas. (SEABRA e CRUZ, 2013).

Para JANSEN (2002), as mudanças de cobertura e uso da terra podem ocorrer de duas formas. A primeira seria a conversão de uma categoria para outra. Como por exemplo, a mudança de cobertura florestal para pastagem. A segunda forma estaria correlacionada ao manejo, e seria a mudança dentro da própria categoria, como uma área que passa de pequenos campos agrícolas para agricultura irrigada. (SEABRA e CRUZ, 2013).

ARAÚJO FILHO *et. al.* (2007) explicam que a

“obtenção de informações detalhadas e precisas sobre o espaço geográfico é uma condição necessária para as atividades de planejamento e tomada de decisões” e “os mapas de uso da

⁸ Designação regional de linguagem coloquial do Rio Grande do Sul que se refere a colinas.

terra e de cobertura da terra são instrumentos que auxiliam a cumprir essa função". ARAÚJO FILHO et. al. (2007, p. 171).

No mesmo sentido, SEABRA e CRUZ (op. Cit.) afirmam que além de fornecer as informações necessárias para o reconhecimento da estrutura da paisagem, da organização espacial dos elementos que compõem a paisagem e da análise das pressões socioeconômicas atuais, a evolução da cobertura e uso da terra possibilita a compreensão da intensidade das mudanças e o período em que elas ocorreram. O estudo do uso e cobertura da terra permite a compreensão de suas estruturas no passado, ao mesmo tempo que torna viável a determinação dos vetores e tendências das pressões sobre os espaços naturais.

No âmbito das bacias hidrográficas, a produção rural e o desflorestamento podem representar graves problemas em relação à manutenção do ciclo hidrológico além de outros impactos como a perda de solo. Embora, segundo BOTELHO (1999), o ciclo hidrológico em áreas rurais tenha uma significativa manutenção de seus fluxos naturais em relação às áreas urbanas, o acompanhamento detalhado das condições de uso e cobertura da terra, é importante para um manejo racional dos solos e dos recursos hídricos.

BOTELHO (op. Cit.) afirma que tanto a quantidade de chuvas quanto as características das vertentes, bem como as propriedades dos solos, podem ampliar ou diminuir a velocidade do escoamento superficial e as taxas de infiltração, e assim contribuir para o controle do ciclo hidrológico. Além dos fatores físico/naturais, o uso e cobertura da terra é fundamental para compreender a manutenção ou o comprometimento do ciclo hidrológico, já que os solos estão muito mais protegidos em ambientes florestais. Nos ambientes florestais o processo de infiltração é mantido, enquanto que nos ambientes agricultados os problemas relativos ao aumento do escoamento superficial são bem maiores. Observa-se que há grandes diferenças nas taxas de infiltração e escoamento superficial entre os diversos usos da terra.

Uma importante ferramenta criada para minimizar os efeitos da desflorestação é a Lei nº 12.651, de 2012, que complementa o art. 2º da Lei nº 4.771/1965, que cria as Áreas de Preservação Permanente (APPs). As APPs são aquelas áreas, que nos termos dos artigos 2º e 3º do Código Florestal, devem ser protegidas, independente da cobertura vegetal, com a função

ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

É fundamental compreender o caráter de proteção ao meio natural conferida à lei de APP, diferente das unidades de conservação nas quais usos de natureza sustentável são permitidos, nas APPs, bem como nas Unidades de Proteção, nenhum tipo de uso são permitidos. Ou seja, as APPs devem ser espaços de proteção, onde os elementos naturais do espaço devem ser preservados integralmente respeitando a legislação estabelecida.

A FEPAM (Fundação Estadual de Proteção ao Ambiente Natural Henrique Roesler) utiliza a legislação nacional (1965 e 2012) para fiscalizar os valores numéricos referentes à metragem definida como APP ao longo dos cursos d'água, cabeceiras de drenagem e encostas com inclinação superior a 45°, onde nenhuma atividade humana deve ser permitida. De acordo com a Lei nº 12.651, de 2012, nas nascentes deve ser respeitado um raio de 50 metros de APP em seu entorno, em cursos d'água de até 10 metros de largura, devem ser respeitados 30 metros de APP em cada margem, a partir do leito menor de vazão. Nos rios de 10 a 50 metros de largura devem ser preservados 50 metros de APP em cada margem, a partir do leito menor de vazão, em rios de 50 a 200 metros de largura devem ser respeitados 100 metros de APP para cada margem a partir do leito menor de vazão. Nos cursos hídricos de 200 a 600 metros de largura, devem ser respeitados 200 metros de APP em cada margem, e em rios com largura superior a 600 metros, devem ser respeitados 500 metros em cada margem.

Na Região Noroeste do RS, de acordo com GASS (op. Cit.)

“atualmente, porém ainda persiste um descompasso entre a legislação ambiental e as atividades agrícolas vigentes nesta região. Nas bacias hidrográficas do Noroeste gaúcho pode-se observar que as áreas de lavoura são formadas, em grande parte, por pequenas glebas entremeadas na paisagem por faixas de florestas aproximando-se, em muitos pontos, das margens dos cursos d'água, o que facilita a entrada direta de poluentes e sedimentos, em virtude da falta de mata ciliar, fator necessário para a efetivação das Áreas de Preservação Permanentes (APPs)”. GASS et. al. (2011, p. 60.)

Os dados relativos ao uso e cobertura da terra são importantes para o reconhecimento de áreas com fragilidade ambiental, suscetibilidade, entre outros indicadores de problemas ambientais, em consequência da ação antrópica sobre determinado meio natural. Muitos são os trabalhos acadêmicos que realizam o mapeamento de uso e cobertura ou uso e ocupação da terra para fins de estabelecimento de zoneamentos ambientais, indicação de áreas de fragilidade ou de risco, delimitação de APPs, entre outros. Em geral o uso e cobertura é um parâmetro analisado de forma complexa, integrado à análise de outras variáveis do ambiente.

Entre outros trabalhos, podemos citar LEITE e ROSA (op. Cit.) que utilizaram dados de Sensoriamento Remoto associados a técnicas de Geoprocessamento em ambiente SIG para analisar a ocupação e uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins. Foram aplicadas às imagens analisadas técnicas de processamento digital e classificação supervisionada pixel-a-pixel com o classificador Max-Ver-ICM, seguido de uma edição matricial para refinamento dos dados, e trabalho de campo para validação. Observou-se que as áreas ocupadas com a classe temática cultura temporária (soja, milho e milheto) foram introduzidas na bacia a partir do ano de 1989 (apenas 2,17% da área) evoluindo numa crescente em ocupação de áreas para, em 2011, ocupar 9,48% da área total.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) editou em 2013 o Manual Técnico de Uso da Terra pela terceira vez. Este material faz uma importante revisão sobre a ciência geográfica e sua relação com os estudos sobre o uso e cobertura da terra, abordando conceitos, métodos e toda uma epistemologia geográfica abordando as relações dos seres humanos com a natureza na perspectiva do uso da terra.

SEABRA e CRUZ (2013) realizaram o Mapeamento da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio São João, RJ, ao longo dos últimos 35 anos através do mapeamento da evolução da Cobertura e Uso da Terra. Esta análise foi realizada a partir de mapas temáticos (1:100.000), gerados por classificação baseada em objetos, utilizando imagens dos satélites *Landsat* TM 04 e 05, para datas de três décadas diferentes. As análises realizadas a partir do mapa de evolução da Cobertura e Uso da Terra permitiram a identificação de importantes transformações, como a perda de coberturas

naturais, a perda de corpos hídricos naturais e o surgimento de novos corpos hídricos (artificiais).

A partir da análise de elementos da paisagem, GASS (2015) realizou o “Zoneamento Ambiental como Subsídio para a Definição das Áreas de Preservação Permanente”, aplicando um estudo de caso nas APP de distintas áreas da bacia hidrográfica do arroio Taquari-Miracatu, no sudoeste do RS. A análise foi efetuada em 4 níveis taxonômicos, sendo que a organização em bacias hidrográficas definiu os níveis de acordo com a escala: o primeiro nível foi a bacia do rio Uruguai, o segundo a bacia do rio Ibicuí, o terceiro a bacia do rio Taquari-Miracatu e o quarto e último nível foi determinado por uma seleção de áreas amostrais do nas APPs do arroio Taquari-Miracatu. Após uma gama de cruzamentos e análises em ambiente SIG, atividades de campo, além de documentos referentes à legislação ambiental, e à cartografia preexistente, resultaram em complexo material cartográfico e textual que aponta os resultados da pesquisa.

VALADARES (2017) realizou a Análise da Dinâmica do Uso e Cobertura do Solo Sobre a Vulnerabilidade Ambiental em Área do Distrito Federal, avaliando a dinâmica ambiental por meio da evolução histórica e de cenários prospectivos de uso e cobertura do solo, e a sua influência na vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica do Córrego Taquari, DF. Os resultados sugerem, entre outras constatações, a evolução do uso e cobertura do solo com o decorrer dos anos, demonstrando continuidade do processo de ocupação antrópica, podendo afetar as componentes hidrológicas, como o escoamento superficial direto, e ocasionar impactos ambientais e sociais devido ao aumento do volume de escoamento.

As informações sobre o uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Potiribu, bem como a legislação ambiental a respeito das APP, oferecem importante parâmetro para as análises propostas para a tese em desenvolvimento. Trata-se de parte fundamental do apanhado de dados e informações espaciais que cruzados com as informações fisiográficas oferecem sustentação para a consolidação dos resultados.

2.7. SUSCETIBILIDADE AMBIENTAL EM ÁREAS RURAIS E URBANAS

O conceito de suscetibilidade está relacionado a um conjunto de variáveis ambientais que podem apresentar algum fator de desequilíbrio de ordem natural ou antrópica. A suscetibilidade é evidenciada por eventos que demonstram um ambiente que teve o seu equilíbrio dinâmico rompido pelo comportamento anômalo de alguma ou mais de suas variáveis. Deste modo, a suscetibilidade está associada a fatores que indicam alteração do fluxo de energia e matéria como, por exemplo, a fragilidade dos solos à erosão, a fatores que envolvem o uso e ocupação como o risco e a vulnerabilidade social, conforme é abordado ao longo deste item.

Para compreender a suscetibilidade de um ambiente é preciso realizar uma análise integrada de diversos fatores e variáveis. Ao que autores como GERASIMOV (1980) e AB´SABER (1994) afirmam que as análises integradas têm papel de destaque, em especial na geografia, pois permitem compreender o ambiente em sua totalidade, a partir dos aspectos físico-bióticos e da multiplicidade de atividades e intervenções promovidas pela sociedade nas diferentes paisagens. SANTOS e RANIERI (2013) compreendem essa concepção dos autores como uma interpretação da paisagem a partir da compreensão de seu suporte físico, ecológico e bioecológico, que é resultado da manifestação de leis físico-geográficas gerais associadas às características locais, constantemente influenciadas pelas atividades antropogênicas.

A definição de unidades de suscetibilidade só será possível a partir da análise e interpretação integradas de como os meios físico, biótico e social se apresentam a partir de determinados graus de intervenção antrópica que vão se materializar na fragilidade do ambiente, no risco e na vulnerabilidade social como indicadores de suscetibilidade.

2.7.1. Suscetibilidade em Ambiente Rural

A suscetibilidade em ambientes rurais é associada aos conflitos de uso da terra que são deflagrados pelo avanço das atividades agropecuárias sobre os espaços naturais, incluindo as Áreas de Preservação Permanentes (APPs). O uso intensivo da terra para práticas agropecuárias causa o desflorestamento e

desencadeia processos de erosão e perda do solo. A retirada da cobertura vegetal natural gera impactos sobre o ciclo hidrológico que se evidenciam na redução da qualidade e da quantidade de água na bacia, no assoreamento de canais fluviais e na degradação de nascentes, entre outros.

Nos ambientes rurais a fragilidade à erosão é um fator significativo de suscetibilidade. Para RATCLIFFE (1971) a fragilidade ambiental é uma medida da sensibilidade intrínseca dos ecossistemas às pressões ambientais, associadas também a quaisquer ameaças que sejam capazes de perturbar o equilíbrio de um sistema. Quando é quebrado o estado de equilíbrio dinâmico, o sistema pode entrar em colapso, passando para uma situação de risco. A desestabilização do sistema pode ter como indutores tanto processos naturais quanto antrópicos (SPORL e ROSS, 2004).

A análise da fragilidade ambiental é uma proposta de investigação que tem por princípio definir diferentes níveis de fragilidade dos ambientes naturais, modificados ou não pelas atividades antropogênicas, diante do desenvolvimento das atividades humanas (ROSS, 1994). Os esforços para definir unidades de fragilidade precisam considerar as diferentes formas de uso e ocupação da terra e as diferentes formas de exploração dos elementos naturais, compartilhando assim, princípios da ecodinâmica.

Investigações que se utilizam de uma abordagem pautada nos princípios da ecodinâmica de TRICART (1977), como é o caso da fragilidade ambiental, têm como objetivo fundamental a classificação dos ambientes para que as intervenções antropogênicas sejam realizadas de acordo com as potencialidades e limitações dos recursos naturais, em razão dos riscos possíveis e da degradação ambiental. (SANTOS, op. Cit.). O autor explica que o reconhecimento das fragilidades ambientais perpassa, necessariamente, pelos levantamentos de solos, clima, rochas, minerais, águas, flora, fauna e demais componentes da natureza. Esses precisam ser avaliados de forma integrada, em uma perspectiva sistêmica, de modo a envolver a complexidade de tais variáveis com as atividades humanas.

Os ambientes naturais apresentam diferentes potenciais de fragilidade em relação aos processos erosivos. TRICART (1977), baseando-se no conceito de Unidades Ecodinâmicas, que consiste em uma concepção ecológica na qual o ambiente é analisado sobre o prisma da Teoria dos Sistemas, elaborou um

modelo para determinar os diferentes tipos de ambientes. O autor constatou que em decorrência das intervenções humanas nos diversos componentes da natureza e os consequentes desequilíbrios temporários ou definitivos, os ambientes quando estão em equilíbrio dinâmico são *estáveis*, quando estão em desequilíbrio são *instáveis*, e ainda que, em ambientes de transição entre esses dois graus, podem ser classificados como *intergrades*.

Com base no conceito de Ecodinâmica de TRICART (op. Cit.), ROSS (1994), elaborou a metodologia da “fragilidade empírica” que consiste em um conjunto operacional de análise prática das unidades de paisagem, na qual os resultados obtidos expressam os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas propriedades genéticas. Para tanto, são necessários levantamentos dos componentes básicos da paisagem, sendo eles, relevo, solo, geologia, clima, cobertura vegetal, uso social, entre outros, que devem ser analisados de forma integrada. (ROSS et al, 2005).

VILELA FILHO E VITTE (2005) afirmam que ROSS (1994) aprofundou o uso do conceito de fragilidade ambiental adequando o mesmo para servir de subsídio ao planejamento ambiental, estabelecendo unidades ecodinâmicas instáveis em vários graus, desde instabilidade muito fraca até muito forte, aplicando o mesmo critério para as unidades ecodinâmicas estáveis que apresentassem instabilidade potencial face às suas características naturais e à possível inserção antrópica. De acordo com ROSS (1994), o conhecimento das potencialidades dos recursos naturais passa pelo levantamento de todos os componentes do estrato geográfico que dão suporte a vida. Estes estudos devem originar produtos cartográficos temáticos de geomorfologia, geologia, pedologia, climatologia e uso da terra/vegetação.

ROSS (1994) compreendeu que a separação da fragilidade dos ambientes naturais ou antropizados em Emergente ou Potencial não era a mais adequada, já que por mais estável que esteja um ambiente sempre está sendo indiretamente afetado pela ação antrópica, seja pela poluição do ar, seja pelas águas subterrâneas, entre outros. Assim, o autor sistematizou uma hierarquia nominal de diferentes condições de fragilidade representadas pelas expressões: muito baixa (1), baixa (2), média (3), alta (4) e muito alta (5). Estas categorias expressam o grau de fragilidade do ambiente em relação aos processos erosivos

desencadeados pelo escoamento superficial difuso e/ou concentrado das águas pluviais.

O potencial produtivo do solo depende do nível de suscetibilidade que esse elemento está condicionado de acordo com a fragilidade do ambiente. O desenvolvimento do solo em áreas rurais resulta diretamente do balanço morfogênese/pedogênese, sendo que onde predominam processos pedogenéticos, os solos são mais desenvolvidos, lixiviados e profundos, e onde predominam processos morfogenéticos, são gerados solos menos desenvolvidos devido à recorrência dos eventos erosivos de remoção das camadas superficiais.

Neste sentido (CREPANI et. al., 2008) afirma que as características físico-químicas dos tipos de solos, como composição granulométrica e mineralógica, bem como os atributos de uso e manejo, indicam sua maior ou menor propensão a eventos erosivos ou de movimentos de massa. Tais características relacionadas às formas do relevo, à composição da litoestrutura e o clima, predominante se constituem em fatores do balanço pedogênese/morfogênese (ROSS, op. cit.).

Desta forma, o nível de proteção ou exposição dos solos em áreas rurais, associados às características do mesmo, pode determinar o nível de suscetibilidade do ambiente, condicionada pelo potencial de erosão e perda de solo. As propriedades do solo são muito importantes nos estudos de erosão, pois, juntamente com outras variáveis, determinam a maior ou menor suscetibilidade do solo aos processos erosivos. (GUERRA *in* GUERRA e CUNHA, 2012). Neste sentido, é necessário considerar que a erodibilidade⁹ do solo não é estática, mas sim, uma função que depende do tempo, assim como o uso agrícola do solo pode produzir modificações na erodibilidade em consequência da mudança no teor de matéria orgânica, na remoção de sedimentos e das propriedades físico-químicas e biológicas do subsolo exposto. (GUERRA *in* GUERRA e CUNHA, 2012).

⁹ A **erodibilidade** representa a susceptibilidade do solo ao processo erosivo e pode ser determinada de forma direta, pela razão entre as perdas de solo e a erosividade das chuvas, sob chuva natural ou simulada, e também por meio de análise de regressão linear simples entre essas duas variáveis (Wischmeier e Smith, 1978).

Analisar a suscetibilidade em ambientes rurais depende da compreensão acerca de vários fatores que, combinados, contribuem para o desencadeamento dos processos erosivos. Na pesquisa geomorfológica, por exemplo, a erosão do solo, é um fenômeno físico do ambiente que envolve consumo de energia em todas as fases da erosão. Um dos fatores de desgaste que mais contribui para a erosão do solo são erosões hídricas, facilitadas e aceleradas pelas atividades antrópicas e suas práticas inadequadas de manejo (FERREIRA & SANTANA, 2017). Entre os mais importantes fatores de erosão do solo nas áreas rurais, além das características físicas estão as atividades humanas que implicam em desmatamento sem controle da vegetação para fins exclusivamente econômicos visando lucros imediatos.

Autores como STOCKING e ELWELL (1976), NOBLE e MORGAN (1983), MORGAN (1984) e FINNEY (1984), entre outros, perceberam que a porcentagem de cobertura vegetal interfere nas condições de infiltração e escoamento superficial. É consagrado que quanto mais cobertura vegetal natural, como as florestas, por exemplo, mais protegido o solo está da energia que chega direto ao mesmo pelas gotas de chuva, evitando assim a compactação dos agregados e permitindo a infiltração e recarga dos aquíferos. Do contrário, um solo exposto, recebe as gotas de chuva de forma intensa, o que ocasiona a compactação dos agregados, impedindo a infiltração e favorecendo o processo de escoamento superficial, e em consequência, o desencadeamento de processos erosivos.

O desmatamento e o conseqüente uso e manejo do solo de maneira incorreta ou irregular, sem considerar o seu potencial, ultrapassa os limites de produção compatíveis ao ambiente, que ao alterar a quantidade de nutrientes e matéria orgânica que o solo necessita para se manter estável, torna-o vulnerável diante da dinâmica dos processos erosivos. (CUNHA e GUERRA 2002).

Para melhor compreender a relação entre uso da terra e o potencial de fragilidade, ROSS (1994) aplicou a metodologia da “fragilidade empírica” a diferentes categorias de uso do solo diferenciadas pelo nível de proteção do uso da terra apresentadas na tabela 01.

Tabela 01: categorias hierárquicas de proteção dos solos
Nível de proteção Uso da terra.

| Categoria | Características Espaciais |
|------------------|--|
| 1 – Muito Baixa | Área desmatada ou queimada; solo exposto e culturas com práticas não conservacionistas. |
| 2 – Baixa | Cultura de ciclo longo (café, citrus, etc.) e silvicultura em área declivosa; |
| 3 – Média | Cultura de ciclo longo com práticas conservacionistas, pastagens e silvicultura em áreas planas; |
| 4 – Alta | Capoeiras, macegas densas, floresta secundária, silvicultura e heveicultura com sub-bosque; |
| 5 - Muito Alta | Floresta primária densa, reflorestamento com biodiversidade. |

Fonte: adaptado de Ross (1994.)

Um importante condicionante dos processos erosivos é o relevo. É importante destacar que as características das vertentes, tais como a declividade, o comprimento e a forma das mesmas são fatores que influenciam de forma determinante nos processos erosivos. Autores como HADLEY *et al.* (1985), MORGAN (1986), GUERRA (1994), atestam, entre outros fatores, que as vertentes com 30° (ou 5%) de declividade, são mais suscetíveis ao desencadeamento de processos erosivos. É importante que as características das vertentes sejam analisadas de forma integrada, levando em consideração a inclinação, o comprimento e a forma, se côncava ou convexa (perfil de curvatura), convergente ou divergente (plano de curvatura).

A inclinação do relevo também é destacada por ROSS (1994) como importante fator de desencadeamento de processos erosivos e, portanto, consiste em expressivo indicador de suscetibilidade ambiental. Segundo SCHNEIDER (2011), valores elevados do gradiente clinométrico e do nível de dissecação do relevo potencializam os processos morfodinâmicos e, por consequência, interferem na fragilidade do terreno tornando-o mais susceptível aos processos erosivos. Em contrapartida, baixos índices de inclinação do

terreno, acrescidos da proteção propiciada pela cobertura florestal são fatores que inibem ou restringem a erosão, conservando a idoneidade do solo.

Em síntese, WILD (1993) afirma que o desmatamento, as práticas da agricultura e pecuária, e, de forma mais grave, cultivo e pecuária em vertentes de elevada declividade, sem adoção de práticas conservacionistas deixam os solos desprotegidos. Esses são os fatores que configuram os maiores problemas em relação aos conflitos de uso e manejo do solo vinculados aos processos erosivos. Segundo GUERRA E JORGE (2013) a erosão dos solos não é apenas um problema para as áreas em que ocorre, ao diminuir a quantidade de nutrientes no topo do solo, mas também causa assoreamento em que os sedimentos se depositam em especial, quando se trata de reservatórios, rios, lagos e açudes.

Entre os importantes indicativos de suscetibilidade em ambientes rurais estão a inadequação nos usos da terra e o desrespeito à legislação ambiental. Um caso muito recorrente é o desrespeito ao “Código Florestal Brasileiro”, registrado sob a Lei número 12.651/2012, que entre outras normativas, regulamenta as Áreas de Preservação Permanentes (APPs). A inadequação nos usos da terra e o desrespeito à legislação de APP desencadeiam o desmatamento e causam impactos sobre a rede hidrográfica, e por consequência, no próprio ciclo hidrológico.

Desta forma, é fundamental reconhecer a importância do respeito à legislação ambiental que busca preservar minimamente os elementos naturais. Entre estes, podemos destacar os cursos hídricos que desde sua surgência até a foz, necessitam de um ambiente que proteja suas dinâmicas naturais. Neste sentido, as cabeceiras de drenagem, são elementos de fundamental importância na preservação dos recursos hídricos.

As cabeceiras de drenagem, que são concavidades no relevo, próximas aos divisores de águas, abrigam as nascentes ou olhos d'água dos canais de 1ª ordem. Quando ocupadas de forma irregular pelo avanço das atividades agrícolas sobre sua APP, em muitos casos, as cabeceiras de drenagem ficam expostas à poluição e contaminação das águas, desencadeamento de processos erosivos e, conseqüentemente, assoreamento e soterramento das nascentes. As conseqüências podem chegar a níveis extremos, como a

diminuição das fontes de abastecimento e rebaixamento de lençóis freáticos, levando a escassez de água. (SILVA; MEZZOMO; GONÇALVES, 2019).

SILVA, MEZZOMO e GONÇALVES (op. Cit.) realizaram o “Diagnóstico Geoambiental em Nascentes: Estudo de caso em Campo Mourão-Paraná”, utilizando como parâmetros para a análise a presença de erosão linear; erosão laminar; áreas inundáveis, afloramentos rochosos; declividade e rupturas de declive; textura do solo; profundidade do nível d’água; e tamanho da APP na nascente. com base em MATULA E LETKO (1980) e RODRIGUES E AUGUSTO FILHO (2009). A partir das análises foram definidas Áreas de Restrição Ambiental para Uso e Ocupação do Solo.

O estado das cabeceiras de drenagem em áreas rurais reflete a condição ambiental quanto a degradação, recuperação ou preservação, determinando o grau de suscetibilidade. Portanto, as cabeceiras de drenagem são importantes parâmetros de análise para estudos geoambientais em ambientes rurais, sendo uma variável importante para definir aspectos de limitação ao uso da terra.

A manutenção da vegetação nativa nos espaços definidos pela Lei 12.651/2012 como APP é fundamental para definir a suscetibilidade de um ambiente rural. As nascentes, os cursos hídricos, e demais corpos d’água, devem estar protegidos pela mata ciliar, caso contrário, o ambiente estará em condição de suscetibilidade. A mata ciliar garante a manutenção das dinâmicas naturais, protegendo o solo, a estabilidade geológica, a biodiversidade, e por consequência, os corpos hídricos, ao reduzir os impactos da erosão e do assoreamento sobre os mesmos.

2.7.2. Suscetibilidade em Ambiente Urbano

Nos estudos de suscetibilidade, além do meio físico e biótico, faz-se necessário compreender a questão social como variável diretamente associada ao uso e ocupação da terra, e como elemento que está exposto a eventos decorrentes do desequilíbrio ambiental causado pelas atividades antrópicas em determinado meio. Desta forma, os termos “risco” e “vulnerabilidade” estão associados às consequências sociais dos impactos ambientais no meio físico, climático, hidrológico e biótico, especialmente nas áreas urbanas.

A suscetibilidade nas áreas urbanas está ligada, especialmente aos conflitos de uso existentes em ambientes suscetíveis à inundação ou movimento de massa, que por envolver o fator humano como variável exposta assume o caráter de risco. Portanto, com base em SANTOS (2015), podemos afirmar que os riscos ambientais, são derivados de fenômenos naturais, que podem ser provocados ou agravados pelas atividades humanas, especialmente os relacionados às inundações e à erosão ou movimentos de massa.

Segundo SANTOS (op. Cit.) a classificação dos riscos pressupõe a realização de estudos de base físico-ambientais, considerando as componentes da natureza e os diferentes usos e ocupação da terra, que são a materialização espacial das relações da sociedade no território, definindo a fragilidade do ambiente em face das atividades humanas.

Nesse sentido, a situação é mais crítica nas áreas ocupadas por populações que apresentam maior vulnerabilidade social, não dispondo de condições de infraestrutura para enfrentar situações de crise. A situação se agrava, quando aliada à precariedade da população que se evidencia na baixa capacidade do poder público em responder adequadamente às situações de crise.

Em alguns trabalhos que utilizaram o termo “suscetibilidade”, as abordagens sugerem métodos e alternativas que podem ser utilizadas como parâmetro para a análise da suscetibilidade ambiental de determinada área urbana. A proposta de MATULA e LETKO (1980) apresenta três grupos denominados de geofatores, que têm por objetivo apresentar limitações ao uso e ocupação da terra. Na metodologia proposta pelos autores foram consideradas situações envolvendo o processo de urbanização e os diferentes graus de impacto ambiental e níveis de necessidade de restrição ao uso e expansão urbana, de acordo com as características físicas e antrópicas do ambiente em torno de nascentes.

Assim, os autores classificam três situações para definir os Geofatores: Geofator A, aquele que põe em perigo o desenvolvimento urbano; Geofator B, os elementos que limitam a sustentabilidade de construções antrópicas; e Geofator C, os elementos ambientais que devem ser protegidos dos impactos da urbanização. Estes geofatores ainda possuem uma classificação de intensidade conforme três critérios: I - Não afeta o desenvolvimento urbano ou sua influência é desprezível; II - A urbanização é concebível somente com medidas corretivas

necessárias; III - Praticamente impossível o seu uso, ou somente através do uso de técnicas longas e custosas para manter a durabilidade dos recursos naturais. (SILVA, MEZZOMO e GONÇALVES, 2019).

Segundo (SILVA, MEZZOMO e GONÇALVES, op. Cit.) esta metodologia demonstrou ser interessante para estudos relacionados aos aspectos geotécnicos, conforme exposto por RODRIGUES e AUGUSTO FILHO (2009), uma vez que possibilita verificar, riscos e problemas e assim indicar limitações de uso e ocupação.

Na bacia do Potiribu a principal suscetibilidade em ambiente urbano diz respeito às inundações e estão associadas ao relevo, considerando que inundação ocorre quando a descarga do rio se torna elevada e excede a capacidade do canal, extravasando suas margens e alagando as planícies adjacentes. Esses episódios podem ser controlados por fatores naturais ou antrópicos e os problemas resultantes da inundação dependem do grau de ocupação da várzea pela população e da frequência com que ocorrem as inundações. (RICOMINI, 2001).

Problemas relacionados às inundações são objetos de avaliação dos estudos geoambientais. Segundo TAVARES e SILVA (2008), o modelo de urbanização com a ocupação das planícies de inundação e impermeabilizações ao longo das vertentes afronta a natureza e, mesmo em cidades de topografia relativamente plana, onde teoricamente a infiltração seria favorecida, os resultados são catastróficos.

Uma alternativa para analisar a suscetibilidade às inundações em áreas urbanas foi apresentada por SOUZA (2006). O autor trata da “suscetibilidade morfométrica” ao estabelecer um método de identificação de bacias hidrológicamente homogêneas e regionalizar as cheias mesmo em bacias onde não houvessem dados hidrológicos disponíveis, já que este método é baseado na suscetibilidade que o relevo apresenta. Baseado neste índice, SOUZA (2006) elaborou uma carta de suscetibilidade morfométrica às inundações, enchentes e alagamentos em alguns municípios do litoral norte de São Paulo.

Os sistemas ambientais podem responder de diferentes maneiras às intervenções humanas nos componentes da paisagem, como relevo, solo, clima, recursos hídricos e cobertura vegetal. Mapear as suscetibilidades do ambiente permite definir áreas mais frágeis e que merecem maior atenção, pois sua má

utilização pode resultar no comprometimento de todo sistema. O grau de um impacto sobre o equilíbrio de um sistema, dependendo do tipo de intervenção, pode ser maior ou menor em função das características intrínsecas do ambiente, ou seja, de sua fragilidade ambiental (FRANCO et al., 2013).

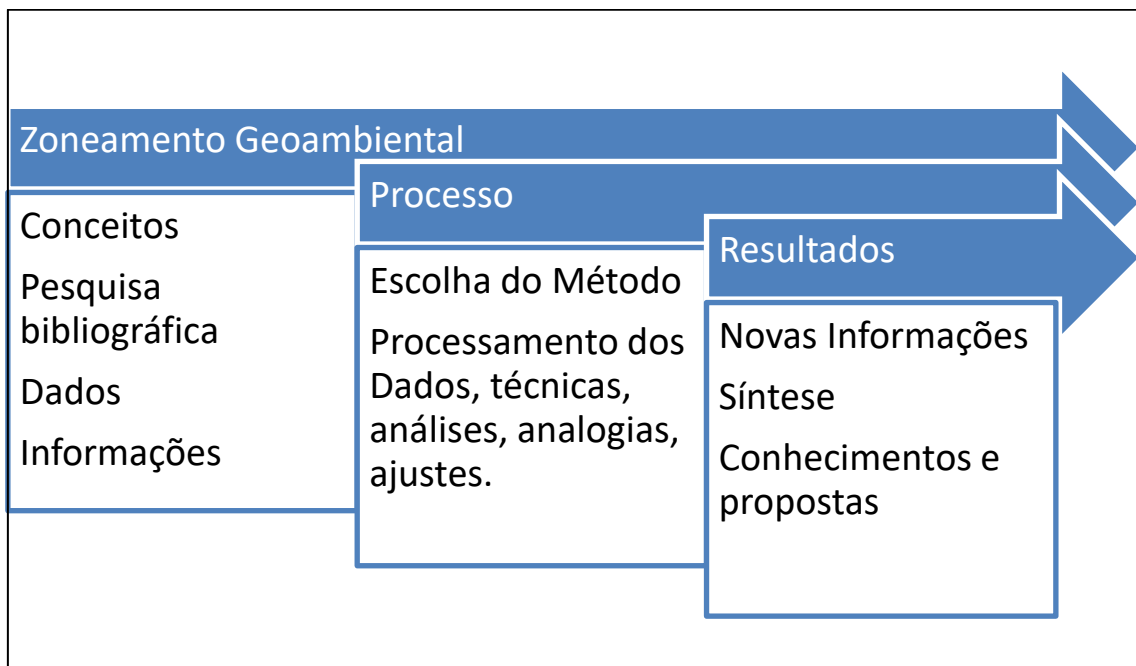
Os estudos em bacias hidrográficas podem apresentar dicotomias nos critérios de análise, pois a área da bacia, em geral, abriga áreas rurais de uso predominantemente agrícola, e áreas urbanas, com uma maior complexidade de ocupação e de atividades sociais. Apontar zonas com diferentes níveis de suscetibilidade é um dos objetivos contidos nesta tese, esforço que irá permitir a identificação de diferentes sistemas ambientais em zonas, de acordo com a conformação das demais variáveis.

CAPÍTULO 3

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O Zoneamento de Sistemas Geoambientais tem a premissa de apontar setores em determinada paisagem a partir da análise de características fisiográficas, bióticas e antrópicas, que indiquem zonas homogêneas em seu ambiente e heterogêneas no conjunto da paisagem. Para alcançar os objetivos pretendidos, a pesquisa ocorre com a organização de um conjunto de variáveis a ser estudado, seguindo a estrutura apresentada no fluxograma da Figura 03.

Figura 03: Fluxograma dos procedimentos gerais da pesquisa.



A escolha do método para a presente pesquisa representa importante passo para uma satisfatória consolidação dos resultados, ao passo que são múltiplas variáveis relacionadas em um ambiente ao qual se procura compreender e determinar diferentes áreas de acordo com características naturais e antrópicas. Seguindo a afirmação de CHRISTOFOLETTI (1999) os procedimentos metodológicos que são utilizados na análise dos fenômenos estão relacionados com o objeto que se estuda e com a visão do pesquisador.

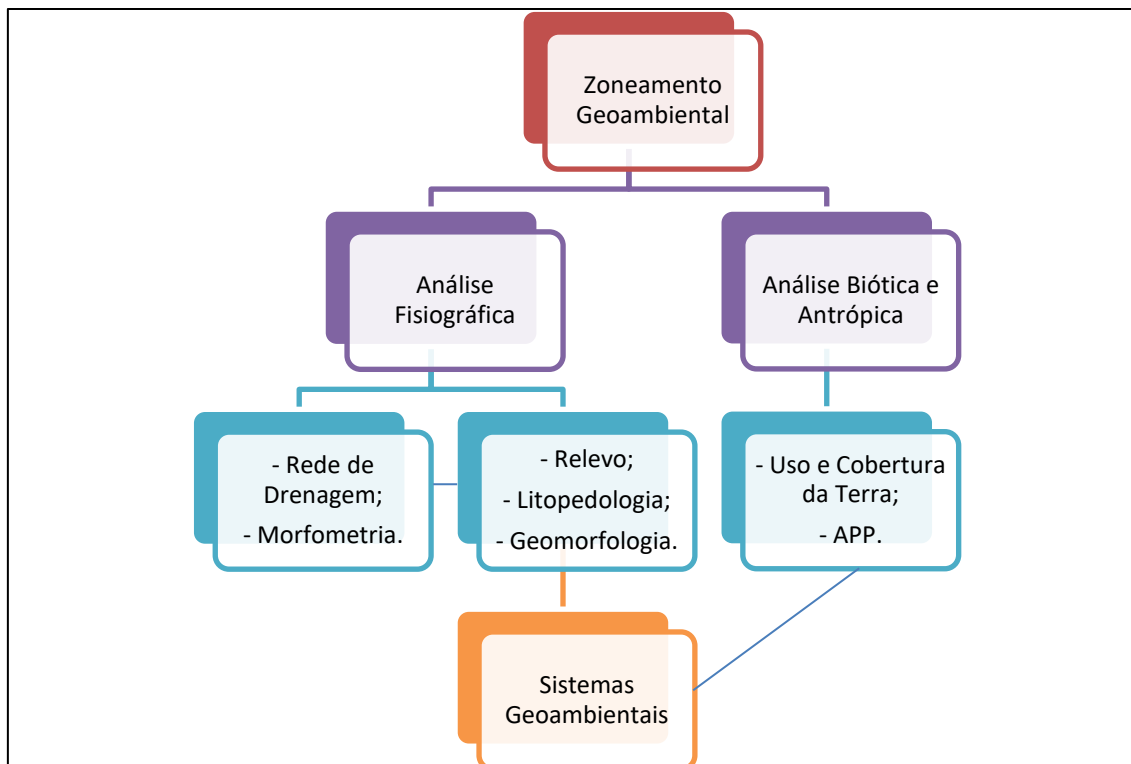
O método mais adequado e elencado aos objetivos desta pesquisa é o método indutivo, que segundo OLIVEIRA (2018) na visão de LAKATOS e MARCONI (2007) é um processo mental por intermédio do qual, partindo de dados particulares, suficientemente constatados, infere-se uma verdade geral ou universal, não contida nas partes examinadas. Portanto, o objetivo dos argumentos indutivos é levar a conclusões cujo conteúdo é muito mais amplo do que o das premissas nas quais se basearam. (OLIVEIRA, op. Cit.).

Embora o método indutivo seja aquele que norteia as análises relacionadas a este trabalho não podemos descartar a aplicação de algumas nuances do método dialético. Segundo MARCONI; LAKATOS (2010) o método dialético é aquele que penetra o mundo dos fenômenos através de sua ação recíproca, da contradição inerente ao fenômeno e da mudança dialética que ocorre na natureza e na sociedade.

Entre as etapas de pesquisa, a pesquisa bibliográfica é aquela que vai permitir a análise de uma gama de fenômenos correlatos à epistemologia e aos objetos de estudo, que permitem a construção de um referencial teórico, conceitual e metodológico, viabilizando a elaboração de um material fundamentado para a pesquisa em curso.

A análise é interdisciplinar e visa a elaboração de um zoneamento que indique áreas homogêneas em algum aspecto ambiental considerado. Entre os elementos ou variáveis ambientais analisadas estão: a geomorfologia, a litologia, os solos, a rede de drenagem e o uso e cobertura da terra. O cruzamento das variáveis (Figura 04) resulta em um zoneamento de diferentes sistemas geoambientais na paisagem, que por sua vez estão divididos em diferentes unidades geoambientais. Desta forma, foram gerados dois níveis taxonômicos na paisagem da bacia do rio Potiribu que posteriormente foram analisados segundo seus potenciais e limitações de acordo com as características naturais e antrópicas apresentadas.

Figura 04: Cruzamento das variáveis para a geração dos Sistemas Geoambientais.



Nessa perspectiva, de acordo com a avaliação Geoambiental, diversos são os fatores considerados que irão condicionar a ocorrência de diferentes potencialidades e suscetibilidades na bacia do Potiribu. Para realizar o cruzamento dessas variáveis os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) representaram o ferramental indispensável para realizar as análises propostas, nas palavras de BONHAM-CARTER (1994), afim de elaborar cenários, resolver conflitos e fornecer suporte às decisões tomadas.

3.1. BASES E FERRAMENTAS

Para atender aos objetivos da tese foram necessárias a utilização de algumas bases de dados e fontes de obtenção de atributos para que as informações fossem produzidas em ambiente SIG, com o devido aferimento realizado à campo. Desta forma, foram utilizadas as seguintes bases e ferramentas:

- Base Cartográfica Vetorial Contínua do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:50000. (HASENACK e WEBER, UFGRS, 2010);
- Base de dados geomorfológicos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, escala 1:250000. (IBGE, 2015);
- Base Cartográfica Vetorial Contínua do Brasil, escala 1:1000000. (IBGE, 2016);
- Modelo Digital de Elevação (MDE) / missão *Shuttle Radar Topography Mission*, resolução espacial 90 metros (SRTM), disponibilizado pelo *United States Geological Survey* (USGS);
- Mapeamento geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000, da Companhia de Pesquisa de Recurso Minerais (CPRM) elaborado por WILDNER *et. al.* (2006);
- Mapa de Solos escala 1:250.000 do Projeto de Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais do Instituto Nacional de Geografia e Estatística, IBGE (2006);
- Relevo sombreado extraído do Modelo Digital de Elevação / *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil – Resolução espectral 30 metros. (INPE, 2011);
- Software *ARCGIS 10.4.1*. (ESRI, 2015);
- Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:25.000 – BCRS25 versão 1.0 – Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul – SEMA - (2018);
- Imagem dos satélites da missão Sentinel-2, do Programa GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*) conjuntamente administrada pela Comunidade Europeia e a ESA (Agência Espacial Europeia), para observação da Terra, de 01/04/2019. Os satélites da missão Sentinel-2 realizam coleta de dados sobre a vegetação, solos e humidade, rios e áreas costeiras, além de dados para correção atmosférica (absorção e distorção) em resolução espacial de 10 m. A missão Sentinel-2 tem alta capacidade de revisita (5 dias), muito eficientes para a análise de uso e cobertura da Terra, entre outras aplicações.
- Relevo sombreado extraído do Modelo Digital de Elevação proveniente do Projeto TOPODATA (INPE, 2011);
- Dados de estrutura Fundiária do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural do Serviço Florestal Brasileiro (SISCAR, 2020).

- Dados de uso e cobertura da terra do projeto MAPBIOMAS (resolução 1: 100000), para os anos de 1985 e 2013.

3.2. ANÁLISE DAS VARIÁVEIS INCORPORADAS AO ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL

Com o objetivo de realizar as análises e considerações a respeito do meio físico e antrópico da Bacia do rio Potiribu, RS, que são premissas para o zoneamento geoambiental, são apresentados aqui os procedimentos adotados para o levantamento e processamento de dados, acerca das variáveis elucidadas nesta pesquisa. O levantamento e análise dos dados engloba um conjunto de procedimentos técnicos e teóricos aplicados a cada um dos componentes analisados, expostos aqui em uma estrutura de itens e subitens que permitem a compreensão cronológica e complementar do percurso científico realizado na busca pelas informações obtidas na pesquisa.

3.2.1. Análise da Rede de Drenagem

Os parâmetros da rede hidrográfica analisados foram: ordem dos canais, padrão de drenagem, comprimento dos canais e forma dos canais. A hierarquia fluvial proposta por STRAHLER (1957) foi considerada na análise da ordem dos canais. Segundo CHRISTOFOLETTI (1980) a hierarquia fluvial consiste no processo de classificação de curso d'água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra.

A hierarquia fluvial foi estabelecida sobre a base de hidrografia da SEMA (2018), com base na ordem de canais, analisada no Software *ARCGIS 10.4.1* (ESRI, 2015), associada às altimetrias, sendo que a porção da bacia drenada por canais de 1ª a 5ª ordem foi delimitada como o Alto Curso, a porção delimitada por canais de 5ª e 6ª ordem foi definido como o Médio Curso, e a porção drenada em direção ao canal principal de 6ª ordem foi definido como o baixo curso, sempre em associação com a carta hipsométrica e a altitude média da bacia.

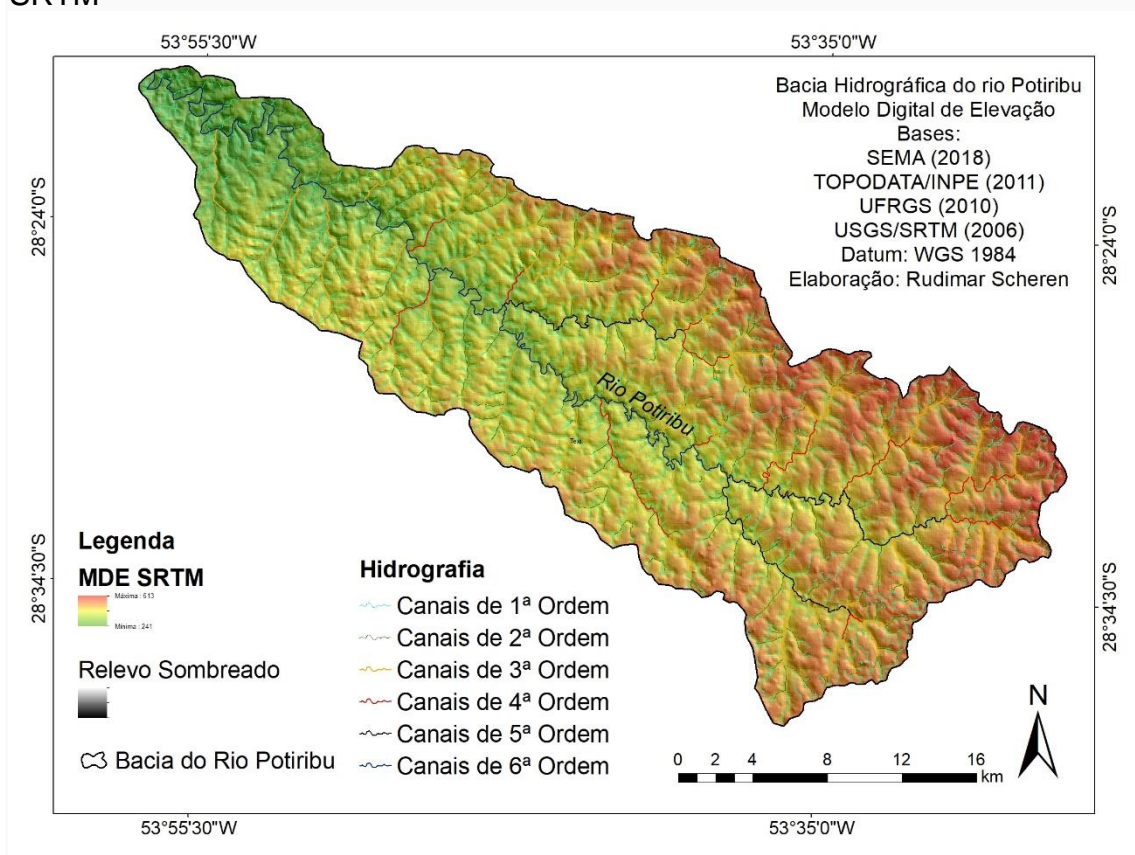
As análises da rede de drenagem foram feitas com a utilização da base de hidrografia do Estado do Rio Grande do Sul disponibilizada pela SEMA (2018) em consonância com as curvas de nível da Base Cartográfica Vetorial Contínua

do Estado do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2010). Estes dados permitiram em primeiro momento a delimitação da bacia, cujos dados preexistentes em bases de dados se mostraram inconsistentes.

3.2.2. Parâmetros Morfométricos da Bacia e da Rede de Drenagem

Os parâmetros morfométricos permitem um reconhecimento alfanumérico de características básicas da área, pois estabelecem critérios para o reconhecimento detalhado da natureza física da bacia como, ordem dos canais, tipo de drenagem, hipsometria, pelo método de quebras naturais de JENKS (1977) que identifica as classes utilizando uma fórmula estatística. Este método consiste basicamente na minimização da soma da variância dentro de cada classe. A declividade foi estabelecida em 4 classes (0 – 2%, 2% - 5%, 5 – 15% - >15%), além da amplitude topográfica, que determinou as altitudes máxima e mínima e a altitude média da bacia.

Figura 05: MDE da BH do rio Potiribu, RS. Fonte: Banco de Dados USGS - SRTM



A figura 05, apresentou o MDE a partir do qual todos os parâmetros morfométricos do relevo da bacia foram extraídos. Os parâmetros da rede de drenagem foram extraídos do arquivo *shapefile* de hidrografia da base de dados da SEMA (2018). A forma das redes de drenagem obedece, entre outros, a fatores geológicos condicionados por uma estrutura geométrica similar. Várias associações entre a complexidade do sistema de drenagem e o substrato litológico/pedológico superficial já foram percebidas em pesquisas prévias (SOAREZ & FIORI, 1978). Assim de acordo com as linhas estruturais que dão forma aos canais fluviais foi definida a forma e o padrão de drenagem.

O comprimento dos canais foi medido com base nos dados de hidrografia da SEMA (2018) na calculadora de campo do Software *ARCGIS 10.4.1* (ESRI, 2015).

3.2.3. Caracterização Geológica e dos Solos

O substrato litológico foi determinado com base no mapeamento geológico da Companhia de Pesquisa de Recurso Minerais (CPRM) elaborado por WILDNER *et. al.* (2006) e trabalhos de validação e qualificação em campo. Da mesma forma os solos, foram mapeados com base no mapeamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE - (2015), com validação a campo, que verificou uma configuração com maior detalhamento, na qual foram identificados 2 tipos de solos que caracterizam a pedologia da área de estudo conforme descrito e atualizado nos capítulos que tratam dos resultados desta pesquisa. Também foi definido unificar as variações entre os latossolos presentes no mapeamento do IBGE para diferenciar dos demais solos.

3.3. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

A caracterização geomorfológica da bacia do Potiribu seguiu a metodologia de mapeamento geomorfológico de ROSS (1992), porém, foram adotadas técnicas de automação para a definição dos níveis taxonômicos inferiores. Enquanto o primeiro e o segundo níveis taxonômicos foram definidos com base na literatura e apoiados em dados e informações preexistentes em bancos de dados do IBGE (RADAM BRASIL), o terceiro, o quarto, e o quinto

níveis foram definidos com o emprego de imagens de sensores remotos associadas às técnicas de geoprocessamento. As metodologias de automatização para obtenção de atributos de relevo, além de validação em trabalhos de campo e demais trabalhos de laboratório com as ferramentas de SIG e geoprocessamento, foram fundamentais na definição da caracterização dos referidos níveis taxonômicos do relevo.

Alguns procedimentos de individualização das unidades do meio físico facilitam a interpretação das propriedades texturais, dentre eles, as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Neste sentido, NASCIMENTO e GARCIA (2004), salientam que a utilização de imagens de satélites, através da identificação da homogeneidade das unidades da rede de drenagem e da definição das Unidades Básicas de Compartimentação auxiliam e são fundamentais para a realização da compartimentação fisiográfica. Deste modo, a definição do relevo para os níveis taxonômicos 3, 4 e 5, foi realizada com aferimento a campo das informações produzidas em ambiente SIG. O 6º nível taxonômico não foi mapeado, pois a escala de análise do trabalho permite uma visão que aponte áreas de suscetibilidade e potencialidade, o que pode incluir diferentes processos superficiais e de uso do solo.

3.3.1. Primeiro e Segundo Níveis Taxonômicos

Os dois maiores níveis taxonômicos foram definidos utilizando informações disponíveis no banco de dados do IBGE, pois são níveis taxonômicos já consagrados na literatura geomorfológica e facilmente consubstanciados em trabalhos de menor escala espacial, tanto de análise quanto de apresentação. Foram feitas descrições dos Domínios Morfoestrutural e Morfoescultural com base nas informações contidas no PROJETO RADAM BRASIL (1986), especialmente, seguindo os preceitos de ROSS (1992).

3.3.2. Formas de Relevo (Terceiro Nível Taxonômico)

O terceiro nível taxonômico, formado pelos padrões de Formas Semelhantes, ou Unidades de Relevo, demonstra os aspectos fisionômicos e genéticos contidos nas Unidades Morfoesculturais. As unidades apresentam

distinções de aparência entre si em função da rugosidade topográfica ou índice de dissecação do relevo sendo definidos pelo agrupamento das formas de agradação ou denudação (MASSA e ROSS, 2012). Sendo assim, podem ser classificados, por exemplo, em padrões de formas de morros e padrões de formas de colinas, ou ainda, em morros, morrotes, colinas, áreas planas, planícies fluviais, entre outros.

De acordo com CHISTOFOLETTI (1980), o comprimento da superfície da vertente corresponde à soma dos comprimentos das superfícies dos segmentos que unem os diversos pontos plotados para o levantamento do perfil. Visto que as vertentes podem ser tomadas como exemplos de sistemas morfológicos, o índice resultante da soma do seu comprimento torna-se importante para a compreensão da dinâmica do ambiente. Segundo VITTE & SANTOS (1999), experiências tem demonstrado que o aumento do comprimento da vertente age no sentido de acentuar a erosão dos solos, pois, à medida em que elas são mais longas, maior é o volume de água escoado e conseqüentemente a capacidade de remover detritos.

Assim, o mapa das formas de relevo foi gerado por meio de técnicas de Geoprocessamento realizando a extração de perfis topográficos para analisar a amplitude e comprimento de vertentes, e técnicas de automação para analisar a declividade, evidenciando os processos de denudação e dissecação ou de agradação e acumulação, definindo assim as diferentes formas de relevo. A análise das amplitudes altimétricas e dos comprimentos das vertentes da bacia foi realizada a partir da elaboração e análise de perfis topográficos, através do ArcGIS® 10.4.1., no módulo *3D Analyst*, com as ferramentas *Interpolate Line* e *Profile Graph*, tendo como base a imagem de radar SRTM com resolução espacial de 90 m. O MDE com resolução espacial de 90 metros se justifica por algumas inconsistências encontradas em produto com a mesma temática em resolução de 30 metros. Estas inconsistências tornavam os resultados incompletos tornando descontínuos alguns segmentos da superfície da área de estudo. A declividade média foi determinada com a utilização de janela móvel circular com raio de 3 pixels através da ferramenta *Focal Statistics* do Software *Arcgis* 10.4.1. (ESRI, 2015), conforme exemplifica o gráfico nas figuras 06 e 07.

Figura 06: Gráfico de amostra de amplitude altimétrica menor que 60 metros. Comprimento de vertente próximo aos 1000 metros.

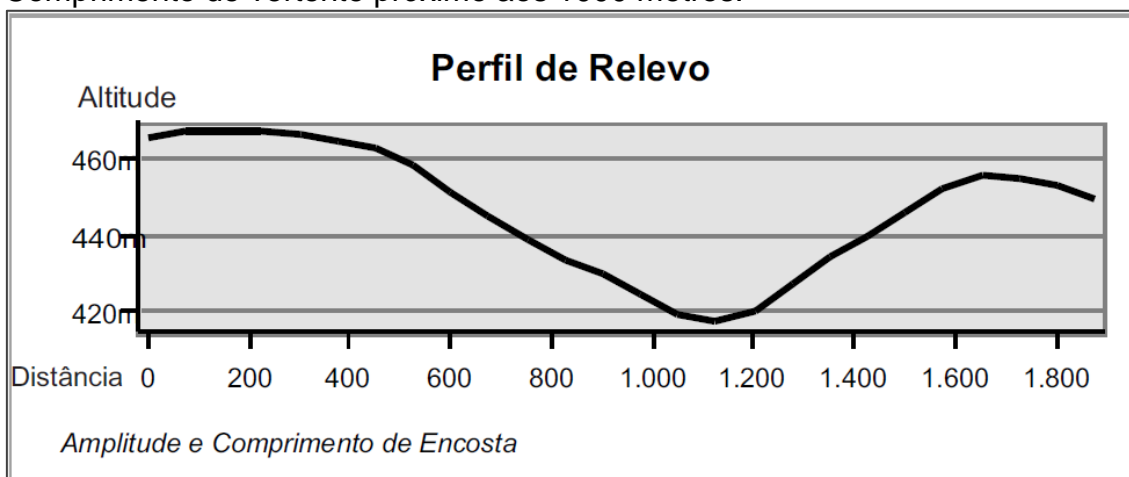
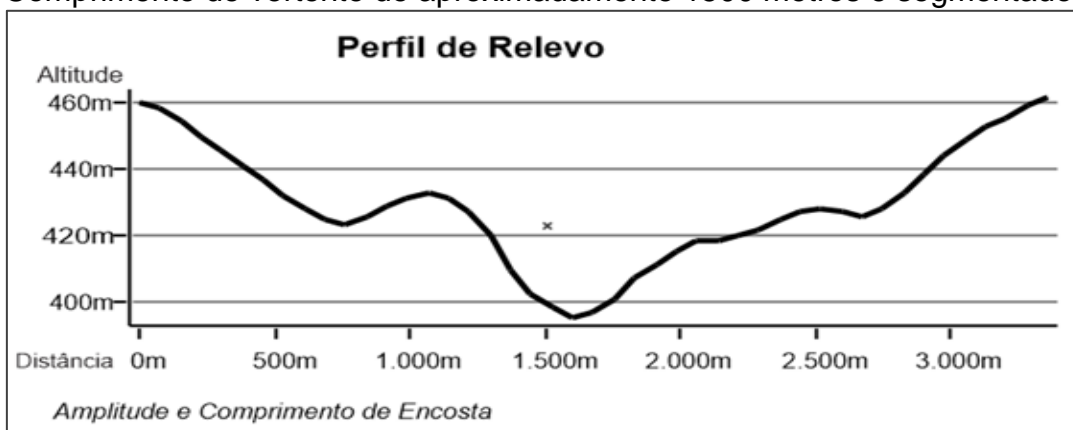


Figura 07: Gráfico de amostra de amplitude altimétrica maior que 60 metros. Comprimento de vertente de aproximadamente 1500 metros e segmentado.



Os dados apresentados na tabela 02 demonstram os limites de amplitudes topográficas e declividades utilizados para definição das Unidades de Relevo.

Tabela 02: Limites de Amplitude topográfica e declividades para definição de Unidades de Relevo.

| Amplitude topográfica | Declividade | Unidade de Relevo |
|------------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| > 60 m | > 5% | Colinas Onduladas |
| < 60 m | < 5% | Colinas Suavemente Onduladas |
| < 10 m | < 2% | Áreas Planas Aluviais |

As áreas com a predominância de vertentes com mais de 60m de amplitude e 5% de declividade foram definidas como Colinas Onduladas, áreas com predominância de colinas com menos de 60m de amplitude e menos que

5% de declividade, foram entendidas como Colinas Suavemente Onduladas, ambas com processo de denudação e dissecação do relevo. As amplitudes topográficas menores que 10m e declividades menores que 2% determinaram as Áreas Planas Aluviais, com processo de acumulação e agradação do relevo. Estes dados foram obtidos através da ferramenta *Slope*, do *ArcGIS®* 10.4.1, tendo como base topográfica a imagem de radar SRTM com resolução espacial de 90m.

O limite de 2% indica áreas planas suscetíveis à deposição aluvial, o limite de 5% relaciona-se ao início de processos erosivos, enquanto o limite de 15% indica o limite ao uso e ocupação da terra com utilização de máquinas agrícolas (TRENTIN, 2011).

As *Colinas Onduladas* foram divididas em três unidades distintas em função das variações de substrato rochoso e de alocação nos diferentes cursos da bacia.

3.3.3. Elementos de Relevo (Quarto Nível Taxonômico).

Percebendo a dificuldade em delimitar as diferenças entre o terceiro e o quarto níveis taxonômicos, propusemos na metodologia desta tese uma nova abordagem. Considerou-se o quarto nível taxonômico correspondendo aos denominados elementos de relevo, nos quais são descritas as características de topo e vertentes, por meio de formas de relevo individualizadas dentro de cada unidade de padrão de formas semelhantes, como, encostas, vales, planos, terraços, colinas, cristas entre outros. Nesta pesquisa estes elementos serão identificados e descritos, por meio da extração de atributos de relevo através da metodologia de obtenção de elementos de *Geomorphons* (JASIEWICZ e STEPINSKI, 2013).

Segundo ROBAINA & TRENTIN (2015) a obtenção dos atributos de relevo passou a ser mais fácil a partir dos SIG, que auxiliam na parametrização da morfologia do relevo por meio da extração dos atributos topográficos.

Vários autores utilizaram diferentes métodos de extração de atributos topográficos, aplicando técnicas de classificação que subdividiram as Formas de Relevo em Elementos de Relevo ou ainda, Formas de Terreno (FTs), conceituadas por WOOD (1996) e Elementos de Terreno (ETs), SCHMIDT e

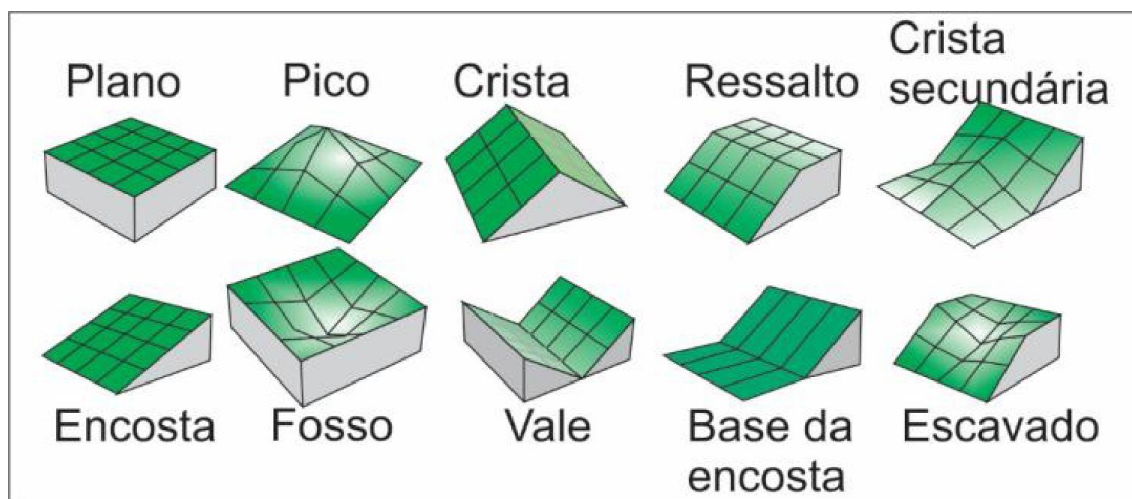
HEWITT (2004). Além das contribuições de DRAGUT & BLASCHKE (2006) e IWAHASHI & PIKE (2007), que extraíram feições do relevo de vários níveis geomorfológicos utilizando 2 ou 3 variáveis morfométricas, respectivamente.

Neste contexto, JASIEWICZ & STEPINSKI (2013) criaram os *Geomorphons* que são elementos do relevo extraídos de um MDE (Modelo Digital de Elevação) ao adaptar um grupo de LTP (*Local Ternary Pattern*), desenvolvidos por LIAO (2010) de acordo com sua simetria. Estes LTP são transferidos para valores de elevação do terreno e passam a constituir, desta forma, a micro estrutura fundamental de relevo.

A metodologia proposta por JASIEWICZ & STEPINSKI (2013) define os elementos de *Geomorphons* a partir da similaridade textural do MDE, por meio das respostas ao algoritmo (se menor “-1”, se maior “1” e se igual “0”) apresentando assim a variação dos níveis de cinza entre as células vizinhas.

ROBAINA & TRENTIN (2015) elaboraram uma ilustração que representa de forma visual os Principais *Geomorphons* reconhecidos na análise do relevo, conforme figura 08:

Figura 08: Principais Geomorphons reconhecidos na análise do relevo.



Elaboração: Robaina e Trentin (2015)

Para a realização do processamento do MDE e geração dos *geomorphons*, foi utilizada 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/>, podendo ser implementada no

ambiente do *software* SAGA. Segundo 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 foi aplicado valor de “L” igual a 20 pixels (1800 metros) e graus “t” igual a 2.

3.3.4. Unidades De Vertente (Quinto Nível Taxonômico)

Nesta proposta, as unidades geomorfométricas, representando o 5º nível taxonômico do relevo, foram classificadas quanto a sua declividade maior ou menor que 5%, por apresentar-se na literatura geomorfológica como o ponto de inflexão entre os processos pedogenéticos e morfogenéticos, quanto ao seu perfil, de caráter côncavo ou convexo, e o seu plano de inclinação, convergente ou divergente, devido às diferentes dinâmicas superficiais associadas a cada tipo plano ou perfil de encosta.

O quinto nível taxonômico corresponde às vertentes ou tipo das vertentes e topos, que são setores das vertentes com gêneses distintas, pertencentes a cada uma das formas individualizadas do relevo, definidas a partir das técnicas de mapeamento geomorfométrico automatizado (SILVEIRA & SILVEIRA, 2013) com base nos preceitos de IWAHASHI e PIKE (2007) cuja metodologia aplica o cruzamento de informações e atributos topográficos gerados em SIG e hierarquizados através de uma árvore de decisão, baseada em valores pré-definidos, determinando assim as unidades geomorfométricas.

Utiliza-se uma imagem de sensoriamento remoto que contém um Modelo Digital de Elevação (MDE) da missão SRTM (2000) cujas informações são cruzadas aos dados TOPODATA (VALERIANO, 2005, 2008).

Como atributos do relevo foram considerados a declividade, o plano e o perfil de encosta. Os dados foram cruzados utilizando o interpolador ANUDEM (HUTCHINSON 1989, 1996, 2008) do software ARCGIS 10.4 (ESRI, 2015).

A declividade das encostas para este trabalho será definida a partir do polinômio de HORN (1981), pois interpreta o mapa a partir do sombreamento e da reflectância da encosta, o que permite uma real percepção da declividade.

O perfil das encostas em ambiente SIG é analisado de acordo com o seu valor de curvatura informado no histograma de frequência e, teoricamente, vertentes retilíneas têm valor de curvatura nulo, vertentes côncavas apresentam

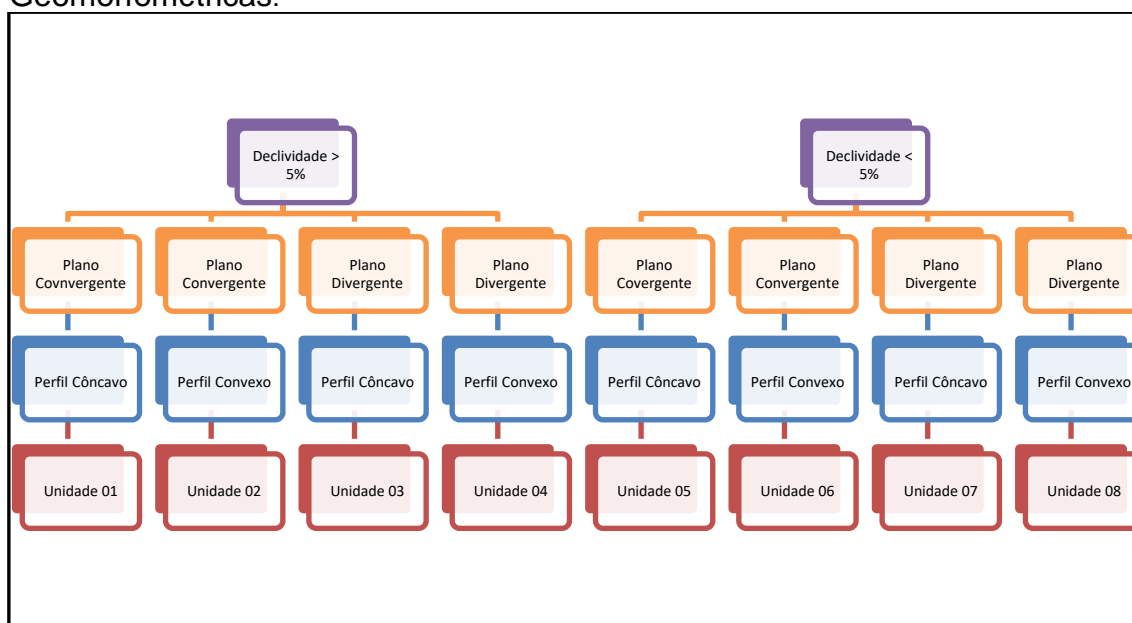
valores positivos e vertentes convexas têm curvatura negativa (VALERIANO, 2003).

O cruzamento dos atributos gerou 8 unidades geomorfométricas a partir do fluxograma que hierarquiza as variáveis dos atributos selecionados em suas diferentes possibilidades de relação mútua. A tabela 03 e a Figura 09 contribuem para facilitar o entendimento das características das encostas representadas por cada uma das 8 unidades geomorfométricas.

Tabela 03: Descrição das Unidades Geomorfométricas.

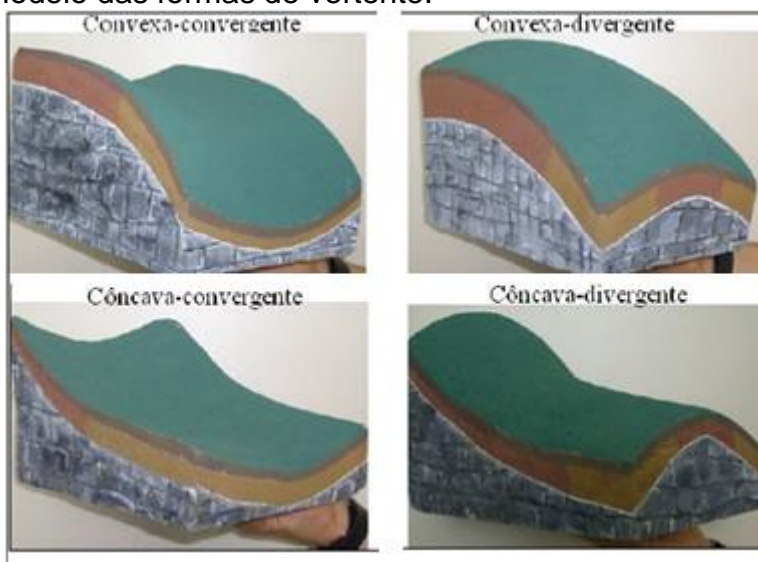
| Unidade | Declividade | Plano | Perfil |
|---------|-------------|-------------|---------|
| 01 | >5% | Convergente | Côncavo |
| 02 | >5% | Convergente | Convexo |
| 03 | >5% | Divergente | Côncavo |
| 04 | >5% | Divergente | Convexo |
| 05 | <5% | Convergente | Côncavo |
| 06 | <5% | Convergente | Convexo |
| 07 | <5% | Divergente | Côncavo |
| 08 | <5% | Divergente | Convexo |

Figura 09: Fluxograma que contém Árvore De Decisão para as Unidades Geomorfométricas.



Na figura 10 uma representação de como as unidades se apresentam o ambiente, considerando que a cada uma delas se aplica a declividade maior ou menor que 5%.

Figura 10: Modelo das formas de vertente.



Modelos reduzidos da EMBRAPA apresentados por CURCIO (2008).
Adaptado por Rudimar Scheren.

O princípio básico na análise das encostas é reconhecer que os perfis podem ser caracterizados por mudanças suaves ou rupturas ao longo de linhas reconhecíveis de inflexão (PITTY, 1969). As variáveis geomorfométricas e as unidades geradas, a partir delas, ajudam a compreender as mudanças presentes no relevo de uma determinada área.

3.4. MAPEAMENTO DE USO E COBERTURA DA TERRA

Conforme já salientado no capítulo que trata da fundamentação teórico-conceitual desta pesquisa, os termos “uso” e “cobertura”, possuem sentidos diferentes, sendo que uso engloba as atividades antrópicas e a cobertura abrange os remanescentes naturais em meio às alterações realizadas pela ocupação humana.

O mapeamento do uso e cobertura da terra foi feito com a aplicação da ferramenta de classificação supervisionada do Software ARCGIS 10.4.1. (ESRI, 2015) com base na imagem *Sentinel 2A*, de 01/04/2019. Os satélites Sentinel 2A e 2B formam uma missão imageadora multiespectral do Programa *Global*

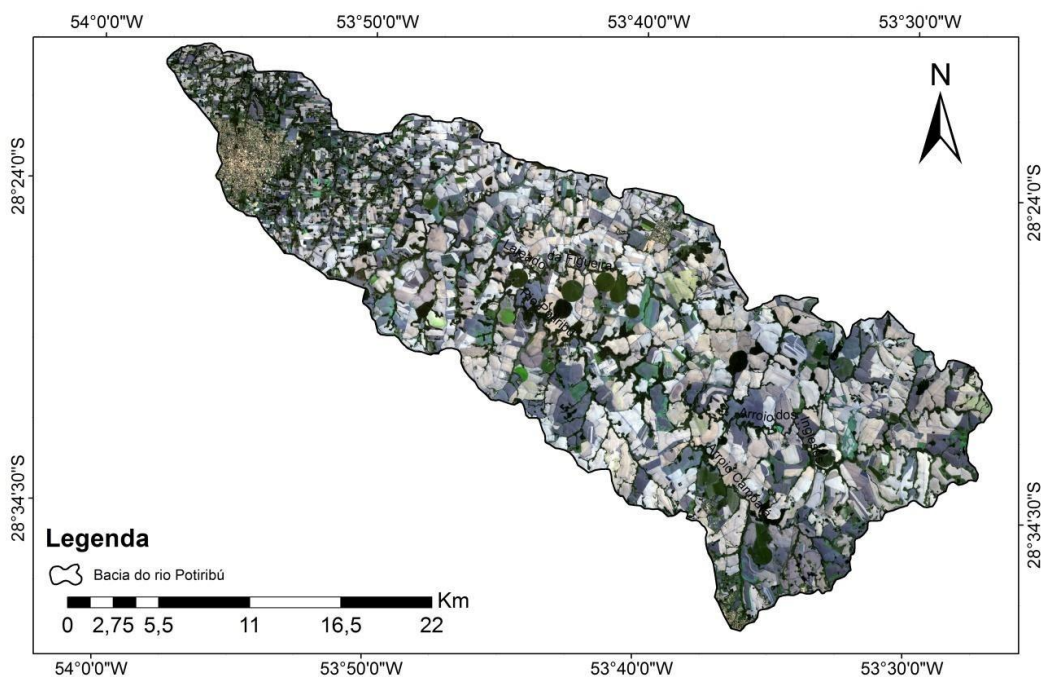
Monitoring for Environment and Security (GMES) conjuntamente administrado pela Comunidade Europeia e a Agência Espacial Europeia (ESA), para observação da Terra. A missão Sentinel-2 realiza coleta de dados sobre a vegetação, solos e humidade, rios e áreas costeiras, e dados para correção atmosférica, absorção e distorção, com resolução espacial de 10 metros e com alta capacidade de revisita.

Na imagem base deste mapeamento foram utilizadas as bandas 04 (azul), 03 (verde) e 02 (vermelho), pois representam aquelas de maior resolução espectral (10 metros) e atendem aos objetivos desta etapa do trabalho de identificar os alvos na imagem como elementos distintos da paisagem para a definição de classes de uso e cobertura do solo. Podendo realizar composições de bandas de realce para cor verdadeira e falsa cor, dependendo da resposta dos alvos e do interesse da pesquisa.

As classes de uso e cobertura da terra extraídas da imagem foram: Vegetação Arbórea (Mata Atlântica), Vegetação Secundária (Arbustiva, campestre, hidromórfica), Cultivo de Soja, Outros Cultivos (pastagens, milho, solo exposto) e Área Urbana. Na figura 11, imagens com composição de bandas 2, 3 e 4 (cor verdadeira) do satélite da Missão Sentinel 02:

Para qualificar a compreensão sobre a evolução da ação antrópica e as mudanças no uso e cobertura da terra, dados do projeto MAPBIOMAS, foram analisados para os anos de 1985, primeiro ano de mapeamento do referido projeto, e para o ano de 2013, primeiro ano de vigência da novo Código Florestal Brasileiro, Lei 12651, de 25 de maio de 2012. As classes de uso e cobertura do projeto utilizadas na presente pesquisa foram Formação Florestal, somada à Formação Savânica, Infraestrutura Urbana, Soja e Outras Áreas Não Florestadas. Além disso, os dados Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural do Serviço Florestal Brasileiro (SISCAR, 2020), serviram para analisar a estrutura fundiária.

Figura 11: Imagem com composição de bandas 2, 3 e 4 (cor verdadeira) do satélite da Missão Sentinel 02.



3.4.1. Mapeamento das APP

As Áreas de Preservação Permanente foram mapeadas com a aplicação da ferramenta *Buffer* do software *ARCGIS* (ESRI, 2015), nas nascentes e linhas de drenagem. Foi determinado o valor de raio de 50 metros para cada nascente mapeada, assim como para os cursos d'água de 1ª a 4ª ordem foi determinada a margem de 30 metros em ambas as margens e para os cursos d'água de 5ª e 6ª ordem foram determinadas faixas de 50 metros em ambas as margens a partir da linha de drenagem.

3.5. ZONEAMENTO DE SISTEMAS GEOAMBIENTAIS

O Zoneamento de Sistemas Geoambientais proposto nesta tese procura apresentar um mapa hierarquizado em sistemas e unidades Geoambientais da bacia hidrográfica do rio Potiribu como um documento síntese de toda a pesquisa realizada, com o cruzamento de vários parâmetros e adaptação de metodologias.

Conforme LOLLO (1996) os níveis hierárquicos normalmente utilizados para este tipo de zoneamento são sistema de terrenos (*land system*), unidade de terreno (*land unit*) e elemento de terreno (*land element*). Os procedimentos mais comumente usados para esta análise podem ser observados em (COOKE & DOORNKAMP, 1978; GARTNER, 1980; BOYER, 1981; DOUGLAS & SPENCER, 1982; entre outros).

A escolha pela descrição e pelo entendimento dos processos que deram origem ao zoneamento geoambiental se deu na busca pela separação de sistemas e unidades. O uso de dois níveis hierárquicos foi adotado em virtude da busca das peculiaridades apresentadas por processos naturais e antrópicos de cada zona geoambiental, em seus sistemas e unidades, em meio a aparente homogeneidade da paisagem da bacia hidrográfica do rio Potiribu.

Desta forma, a divisão hierárquica organizada no zoneamento de Sistemas e Unidades geoambientais considera que “Sistema” é o maior nível taxonômico por representar a associação de condições similares de processos e características ambientais, manifestadas por um mínimo de uniformidade geomorfológica, de solos e litologias. De forma complementar, cada “Unidade” é uma subdivisão do sistema que se distingue por apresentar determinados processos e características que refletem as condições de usos da terra e da presença de vegetação nativa.

A síntese destes dados define a Carta de sistemas Geoambientais estabelecendo as potencialidades e suscetibilidades do terreno em relação à ocorrência de processos naturais do meio físico como erosão, inundação e a adequabilidade do uso da terra bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS. Restando a definição da compartimentação do terreno em cinco unidades geoambientais, mais suas subdivisões, que são descritas nos capítulos de resultados deste trabalho.

As variáveis utilizadas para o zoneamento geoambiental foram as unidades de relevo, o levantamento lito/pedológico e o uso e cobertura da terra. Estas variáveis foram sobrepostas no software *ARCGIS* 10.4.1 (ESRI, 2015) com a aplicação da ferramenta *Union*, e foram ajustadas com a aplicação da ferramenta *Dissolve*, e visualmente pelo autor a partir da reconfiguração da tabela de atributos.

A análise de suscetibilidades é feita nos diferentes sistemas e unidades geoambientais, levando em consideração o relevo, o solo e o uso e cobertura, associado aos elementos de relevo, unidades de encosta, situação das áreas de preservação permanente quanto à mata ciliar e nascentes e os conflitos de uso.

As suscetibilidades definidas nas diferentes áreas foram determinadas com as prerrogativas de alguns fatores analisados nas imagens e com o devido aferimento a campo. Foi levando em consideração o estado da paisagem nos diferentes sistemas geoambientais da bacia, tendo sido observadas as condições do balanço pedogênese/morfogênese, a caracterização litopedológica e do relevo, o estado de preservação das nascentes, degradação da mata ciliar e os padrões de uso e ocupação.

As suscetibilidades analisadas no relevo e solo levam em consideração o potencial quanto à erosão laminar e linear, a perda de solo, definidas em razão das características litopedológicas associadas ao relevo e ao uso da terra, além do risco de inundações. As suscetibilidades hídricas consideram a condição da mata ciliar conforme a conservação das APP, a condição das cabeceiras de drenagem quanto ao estado das nascentes, em relação a sua situação de degradação, regeneração e conservação, de acordo com a lei de APP.

A exposição da convergência do relevo na concavidade ou convexidade (unidades geomorfológicas 1 e 2) das vertentes em “*hollow*”, associadas às cabeceiras de drenagem e nascentes, com a ausência da cobertura vegetal nativa também são indicativos de suscetibilidades consideradas na pesquisa.

O potencial para o uso agrícola é definido pelas propriedades do solo e pelas características do substrato rochoso, levando em consideração as declividades.

As áreas urbanas foram analisadas individualmente e com critérios adotados para a especificidade das áreas com função habitacional, como os núcleos e sedes urbanas, além de sedes distritais. Assim, foram definidas áreas de acordo com o padrão construtivo, oferta de implementos urbanos como a infraestrutura de saneamento básico, pavimentação de ruas e calçadas e a densidade demográfica.

Áreas com padrões de médio a baixo foram integradas em uma unidade, assim como regiões de padrão médio a alto se integraram em outra unidade, e de acordo com o núcleo urbano ao qual fazem parte. Os padrões de menor

adensamento urbano foram aglutinados uma quarta unidade. Os riscos foram analisados de acordo com a exposição das áreas urbanas e sua população a processos de inundação e erosão de margem.

Os mapeamentos das áreas urbanas ocorreram com base na imagem Sentinel 02, de 01/04/2019, com aferimentos realizados com o auxílio de imagens da plataforma Google Earth e a campo. Os mapas urbanos foram sobrepostos aos mapas de rede hidrográfica, litopedológico e de relevo, com ênfase especial aos Geomorphons (Elementos de Relevo) para avaliação de áreas de vertente e vales fluviais, além de ser comparado ao mapa de relevo sombreado (CPRM, 2006).

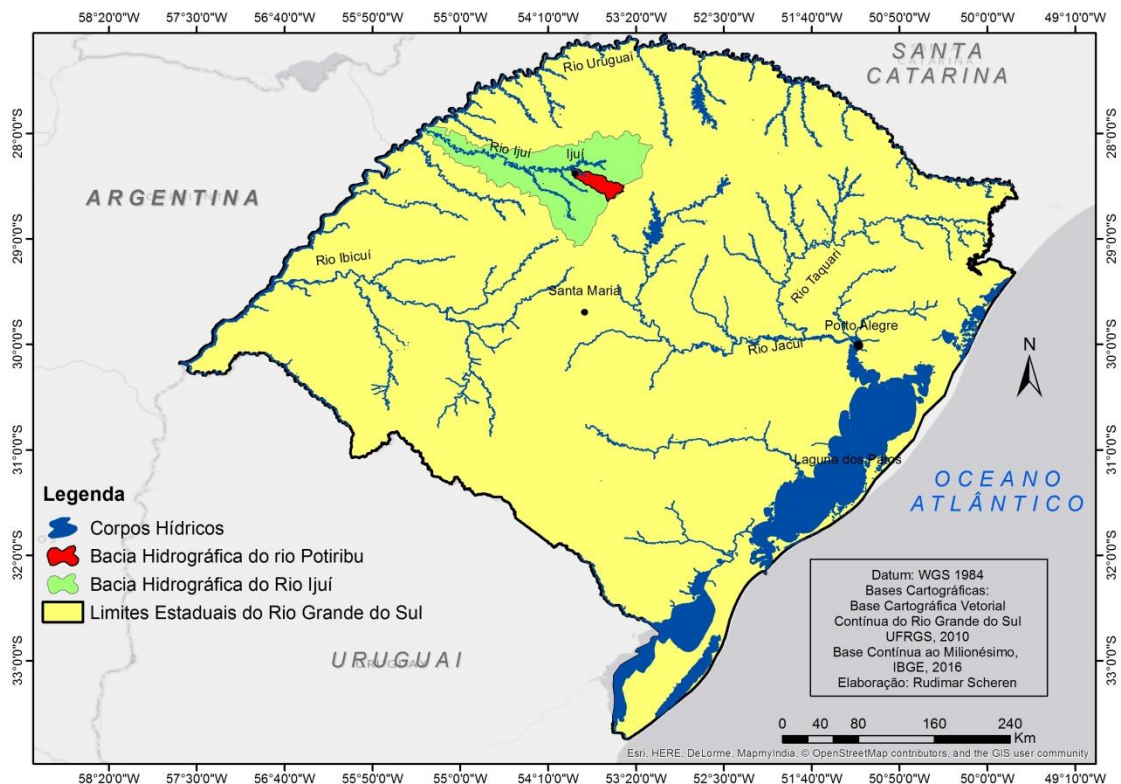
Além dos elementos de relevo e rede hidrográfica, foram consultadas fontes de registro histórico, como o acervo de fotos do museu Antropológico Diretor Pestana, imprensa local e relatos populares. Os dados sociais quando integrados aos dados ambientais permitem mapear de modo mais eficiente as áreas que potencialmente podem ser afetadas por inundações, tornando possível dar suporte a ações com potencial utilidade em atividades de gerenciamento de riscos e planejamento frente aos desastres decorrentes de inundações (BUFFON *et al.* 2017).

Capítulo 4

4. A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTIRIBU

A Bacia Hidrográfica do rio Potiribu está localizada na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, sendo o seu canal principal um afluente do rio Ijuí que, por sua vez, é um importante tributário da Região Hidrográfica do rio Uruguai. Como a grande maioria dos rios inseridos nos vales do planalto meridional do Brasil, o rio Potiribu, faz parte da grande bacia hidrográfica do rio da Prata. Na figura 12, estão espacializadas, a bacia hidrográfica do rio Ijuí no estado do Rio Grande do Sul, e a bacia hidrográfica do rio Potiribu. Em sua totalidade a Bacia Hidrográfica do Rio Potiribu, está situada entre as coordenadas geográficas: 28° 19' 31" e 28° 38' 41" de latitude Sul e a 53° 26' 56" e 53° 57' 40" de longitude Oeste.

Figura 12: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Potiribu, no estado do Rio Grande do Sul.



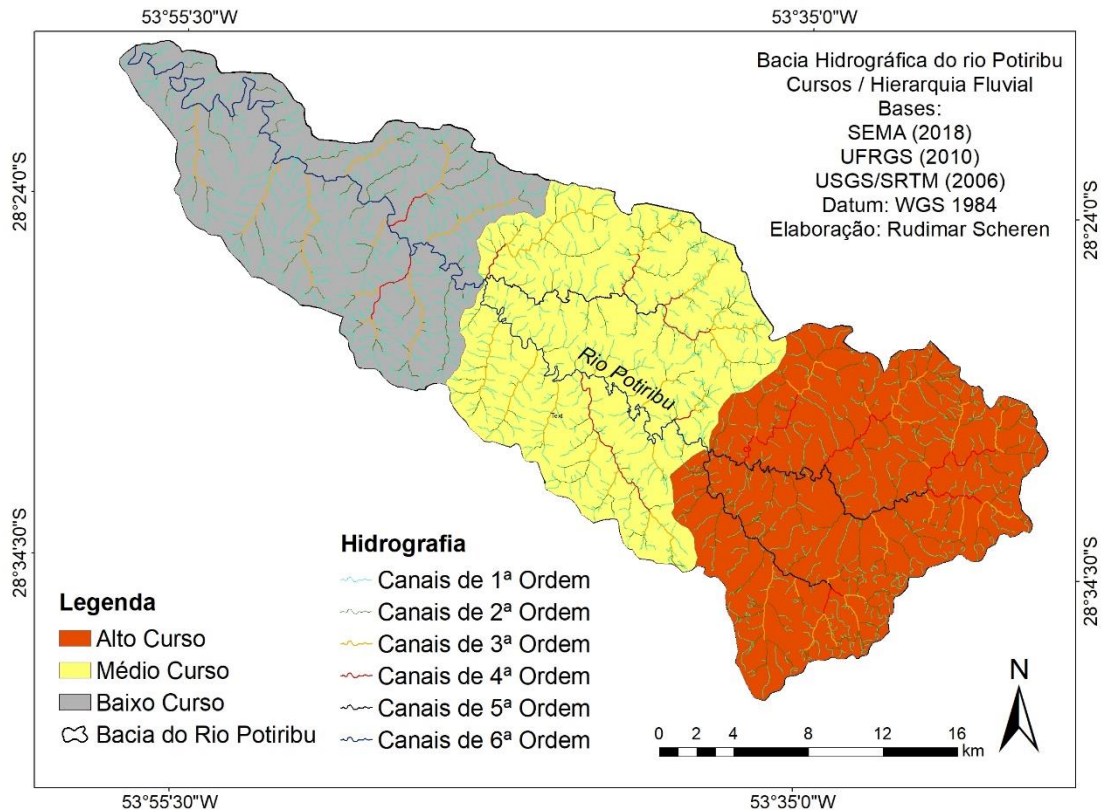
4.1. ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA

O rio Potiribu tem aproximadamente 50km de extensão desde as nascentes de seus principais formadores no trecho mais a jusante da bacia, até sua foz no rio Ijuí, e recebe esta denominação a partir da confluência dos arroios Cambará e Dos Ingleses, seus principais formadores. Com base em CHRISFOTOLETTI (1974), de acordo com a distribuição espacial dos canais fluviais e nos aspectos físicos da área, a bacia apresenta padrão de drenagem predominantemente retangular-dendrítico e exorréico. Os cursos fluviais estabelecerem escoamento superficial de forma encaixada à estrutura dos planos de fratura ou fraqueza do substrato geológico, que conduz o controle estrutural das drenagens em uma área total da bacia de 663,5km².

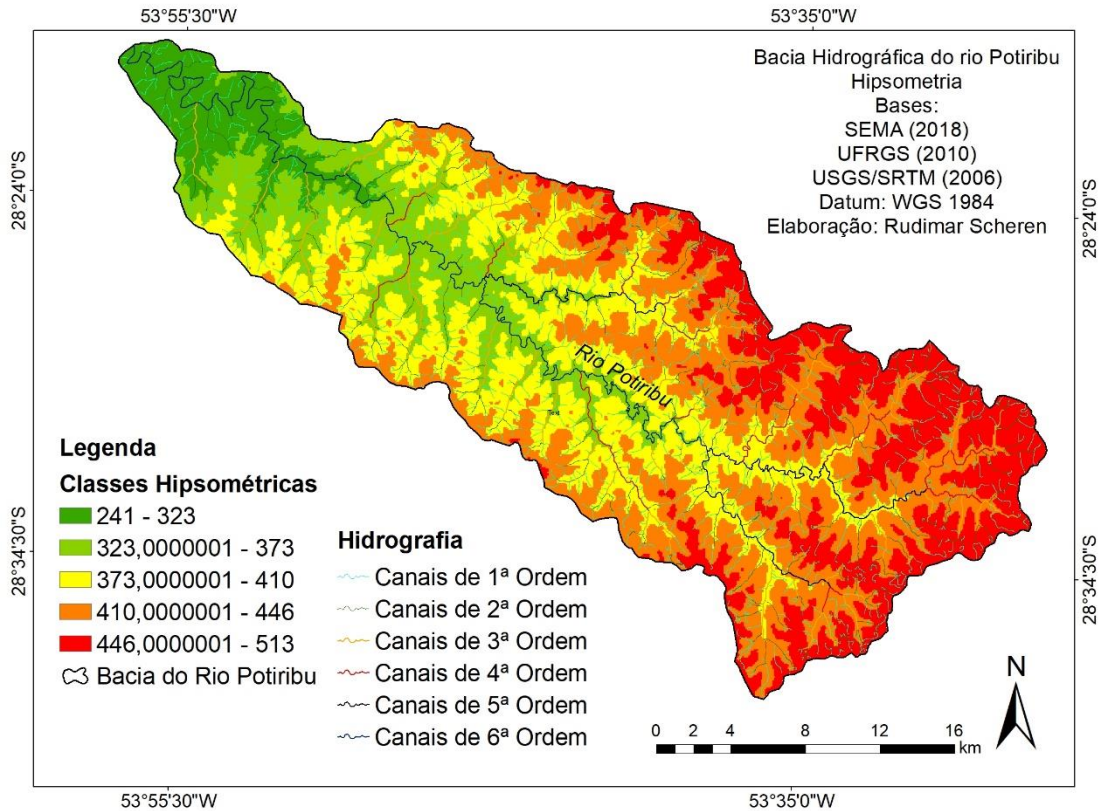
A rede de canais da bacia hidrográfica se estabelece em 6^a ordem de drenagem, conforme a proposta de hierarquização de STRAHLER (1952). Ao todo são 1175 segmentos de canais fluviais, sendo, 1 canal de 6^a ordem, 2 canais de 5^a ordem, 150 canais de 4^a ordem, 368 canais de 3^a ordem, 655 canais de 2^a ordem e 1174 canais de 1^a ordem, com um comprimento total de 1337,4 Km de canais fluviais. CHRISTOFOLETTI (1980) afirma que quanto maior a participação percentual de canais de primeira ordem, maior é a fragilidade da paisagem, pois eles indicam maior dissecação do relevo, e podendo ter controle estrutural com falhas e fraturas.

A hierarquia fluvial apresenta o Alto Curso da bacia com 237,8km² equivalentes a 35,8% da área da bacia, neste compartimento os canais de drenagem atingem no máximo a 5^a ordem e as altitudes predominantes estão acima dos 377m de altitude média da bacia. No Médio Curso, com 225,5 km², correspondentes a 33,9 % da área total da bacia, o canal principal se apresenta na 6^a ordem, porém as altitudes ainda prevalecem acima da média da bacia. O Baixo Curso, definido a partir da confluência do rio Potiribu com o Lajeado da Figueira, tem 200,1 km², que representam 30,1% da área da bacia, com o canal principal em 6^a ordem e altitudes predominantes abaixo dos 377m, média da bacia (Figura 13).

Figura 13: Mapa dos Cursos da Bacia e Hierarquia Fluvial.



Na bacia do Potiribu a amplitude altimétrica é de 272m, com elevação média de 377m. Foram estabelecidas cinco classes hipsométricas (Figura 14) divididas em: intervalo de 241 a 323 m de altitude, de 323 a 373 m de altitude, de 373 a 410 m de altitude, de 410 a 446 m de altitude e 446 a 513 m de altitude. Figura 14: Apresentação da distribuição das altitudes na bacia hidrográfica do rio Potiribu, RS.



As cotas mínimas são de 241m, junto à foz do canal principal (Figura 15), no rio Ijuí, ao noroeste da bacia, e as cotas máximas de 513m de altitude, nos divisores de água e nas áreas onde nascem os principais formadores a sudeste da bacia.

Figura 15: Foz do rio Potiribu, junto ao rio Ijuí, no município de Ijuí, RS.



Foto: Trabalho de Campo. 14/01/2020.
Coordenadas geográficas: S28°19'42.73" W53°57'14.23"

Na imagem da figura 16 pode ser visualizada uma das nascentes do Arroio dos Ingleses, que juntamente com o Arroio Cambará, é um dos principais formadores do rio Potiribu. Neste local é possível perceber um raio de vegetação ciliar preservada em torno da nascente, em meio às áreas de cultivo de soja. Entretanto, essa não é uma realidade homogênea em todas as nascentes da bacia.

Figura 16: Nascente do Arroio dos Ingleses, junto aos divisores de água, no município de Cruz Alta, RS.



Foto: Trabalho de Campo. Data: 15/01/2020.
Coordenadas geográficas: S28°31'9.78", W53°27'16.62".

4.2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

A litologia compõe campo fundamental da análise, sendo um dos elementos utilizados como referência para a determinação de zonas. Juntamente com as litologias, outro componente de relevância nos estudos geomorfológicos é o solo, que resulta dos fluxos de energia e matéria entre as rochas e os fenômenos meteorológicos externos.

4.2.1 Análise Regional.

A bacia hidrográfica do rio Potiribu, geologicamente, composta por rochas vulcânicas do Mesozoico, período Cretáceo, do Grupo São Bento, Formação Serra Geral, contendo as fácies Gramado, e registros de rochas Cenozoicas, do

período Paleógeno da formação Tupanciretã. Na descrição do Projeto RADAM BRASIL, esta porção sedimentar do Paraná representada por rochas efusivas básicas, localmente ácidas, do Jurocretáceo da Bacia do Paraná (Formação Serra Geral), em alguns sítios recobertas por rochas sedimentares atribuídas ao Terciário (Formação Tupanciretã). O relatório de geologia do Projeto RADAM-BRASIL (IBGE, 1986) apresenta o mapeamento dos derramamentos básicos e ácidos no estado do Rio Grande do Sul, apontando para o predomínio de materiais básicos (basalto) para as rochas vulcânicas, com alguns derrames intermediários de material ácido.

Segundo SARMENTO (2010) a Formação Serra Geral é uma sequência de derrames, datados principalmente entre 133 e 132 Milhões de Anos. A Sinéclise é formada por um dos maiores eventos de vulcanismo continental de platô do planeta, (Província Paraná/*Etendeka*). No Brasil as rochas vulcânicas estratigraficamente definidas como Formação Serra Geral (FSG) abrangem toda a porção Centro-Sul do território e se caracteriza por uma associação vulcânica bimodal. A designação de Formação Serra Geral, segundo PEDRON (2007), refere-se à província magmática relacionada aos derrames que recobrem a Bacia do Paraná. A província abrange toda a região centro-sul do Brasil e estende-se ao longo das fronteiras do Paraguai, Uruguai e Argentina, onde são chamadas de “lavas *Arapey*”. Esses derramamentos são também conhecidos como *Trapp* do Paraná e Província Mágica do Brasil meridional (BRASIL, 1973). A origem desta província está espacialmente e temporalmente associada à fragmentação do Gondwana e a abertura do Atlântico Sul durante o Cretáceo Inferior (WAICHEL, 2005). A espessura média deste pacote vulcânico é de 800m, podendo atingir até 1.500m, e ocupa, na sua totalidade, 1.280.000km², estando 1.200.000km² destes na América do Sul, ocupando áreas do sul do Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai (ROISENBERG e VIERO, 2000)”.

WILDNER (op. Cit.) no mapeamento Geológico para o estado do Rio Grande do Sul, na escala de 1:750.000, a Formação Serra Geral foi dividida em fácies de acordo com suas características geoquímicas e afinidades de campo. Desta forma, as fácies individualizadas para a Formação Serra Geral são as seguintes:

- Fácies Jaguarão: derrames de composição intermediária a félsica, com textura vitrofírica, contendo abundantes xenólitos e granitoides, fortemente reabsorvidos;
- Fácies Alegrete: derrames de composição intermediária a ácida, variando entre andesitos e riodacitos, microgranulares, melanocráticos, aspecto sacaroide, frequentes texturas de fluxo e autobrechas no topo e base dos derrames;
- Fácies Esmeralda: derrames básicos, microgranulares, textura microgranular, predominantemente pretos, comuns vesículas mili a centimétricas com opala preta e ágata, eventual presença de Cu nativo, alteração amarelo ovo (jarosita) característica;
- Fácies Paranapanema: derrames básicos granulares finos, melanocráticos, contendo horizontes vesiculares espessos preenchidos por quartzo (ametista), zeolitas, carbonatos, seladonita, Cu nativo e barita, compreende a maior concentração de ametista do estado;
- Fácies Caxias: derrames de composição intermediária a ácida, riodacitos a riolitos, mesocráticos, microgranulares a vitrofíricos, textura esferulítica comum, (tipo carijó), forte disjunção tabular no topo dos derrames e maciço na porção central, dobras de fluxos e autobrechas frequentes, vesículas preenchidas predominantemente por calcedônias e ágata, fonte de mineralização da região;
- Fácies Chapecó: derrames ácidos variando entre riodacitos a riolitos, matriz vitrofírica contendo pórfiros;
- Fácies Gramado: derrames básicos granulares finos a médio, melanocráticos cinza, horizontes vesiculares preenchidos por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponita, estruturas de fluxo *pahoehoe* comuns, intercalações com os arenitos Botucatu, e;
- Fácies Várzea do Cedro: derrames vitrofíricos pretos tipo *pichstone*, texturas de fluxo e autobrechas frequentes, fino faturamento perlítico.

Na área inserida na bacia do Potiribu ocorrem as rochas vulcânicas básicas de Fácies Gramado, que são visíveis em afloramentos de blocos na meia encosta, afloramentos de lajeados nos canais fluviais e ainda em cortes de rodovias e estradas vicinais, e demais cortes realizados por atividades humanas.

Associados aos derrames vulcânicos se encontram sequências da Formação Botucatu que representa um imenso campo de dunas eólicas, com

interdunas secas (SCHERER, 1998). O referido autor explica a espessura da formação Botucatu no Rio Grande do Sul:

“Sua espessura no Rio Grande do Sul é bastante variável, provavelmente devido à preservação do paleo-relevo de dunas, podendo atingir até 100 m de espessura e encontrando-se ausente em áreas da região central do estado, onde a Formação Serra Geral encontra-se diretamente sobre os depósitos fluviais e lacustres do Triássico. (SCHERER, 2002).

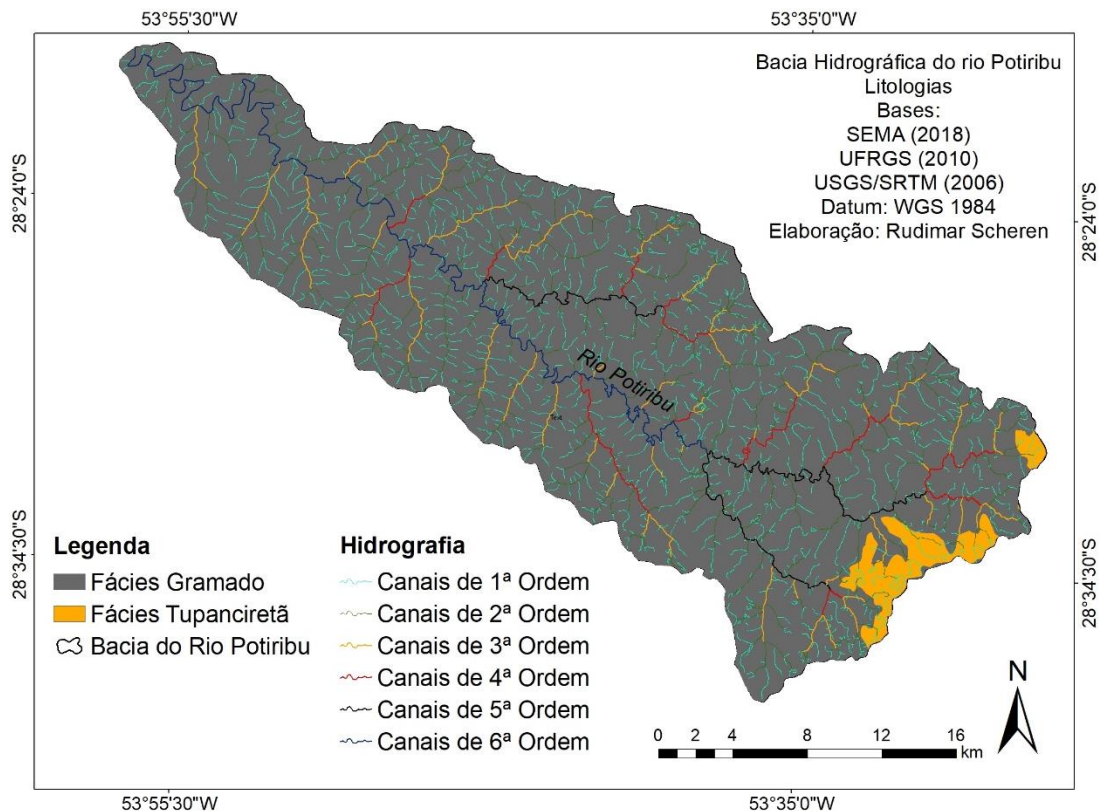
A sequência litológica de arenitos de cor avermelhada, às vezes amarelo esverdeados, com granulação variável de fina a média, mal classificados, eventualmente conglomeráticos e constituídos essencialmente de quartzo e vulcânicas alteradas foi durante muito tempo, interpretada como constituindo “janelas” da Formação Botucatu dentro dos basaltos da Formação Serra Geral, ou ainda como brechas vulcânicas. MENEGOTTO et al., (1968) reconheceram-na como pós-Serra Geral, e anterior aos depósitos recentes, tendo introduzido a designação de Formação Tupanciretã para esses sedimentos, em referência à cidade onde predomina esse litótipo.

Os depósitos recentes estão representados por depósitos fluviais e depósitos coluviais associados à base das encostas mais íngremes.

4.2.2. Análise Litológica da Bacia

As principais litologias, da área da bacia (Figura 17), são rochas vulcânicas e arenitos na bacia hidrográfica do rio Potiribu, RS. As estruturas geológicas mantêm uma orientação predominante NW e secundariamente NE. Que controlam a rede de drenagem na bacia (CPRM, 2007).

Figura 17: Mapa da Geologia da Bacia Hidrográfica do rio Potiribu.



As fácies Gramado, que formam o substrato de 643,4 km² da área da bacia do Potiribu, equivalentes a 96,9% do total da área em estudo, fazem parte de um dos dois grandes grupos em que se divide a Formação Serra Geral (FSG), sendo que, juntamente com as fácies Esmeralda e Ribeira, são rochas básicas com baixa concentração de titânio (TiO₂) (SARMENTO, 2010).

As rochas vulcânicas observadas apresentam cores cinza escura a cinza acastanhado com textura afanítica¹⁰ e por vezes porfirítica¹¹ com fenocristais e/ou micro fenocristais de augita e plagioclásios em uma matriz de plagioclásios e piroxênios intercrescidos e associados a minerais opacos como ilmenita e magnetita.

A Formação Tupanciretã, que ocupa 20 km² na bacia do Potiribu, referentes a 2,9% da área total, foi reconhecida por MENEGOTTO et. al. (1968) como um afloramento de sedimentos sem continuidade física por grande parte

¹⁰ Afanítica: Se refere ao grau de visibilidade e indica minerais não visíveis macroscopicamente.

¹¹ Porfirítica: Se refere ao tamanho relativo dos cristais e indica a presença de minerais maiores em uma massa de minerais menores.

(Fonte: Museu de Minerais, Minérios e Rochas Heinz Ebert, <https://museuhe.com.br/>).

do Planalto das Missões, nos municípios de Santiago, Cruz Alta, Santa Bárbara do Sul, Carazinho e Passo Fundo, com espessura média entre 60m e 80m. Os afloramentos ocorrem de um modo geral, nas partes mais elevadas da topografia, compondo elevações em adiantado estágio de dissecação. Conforme GASS et. al. (2009), a presença dessas litologias confere, em imagens de radar, uma textura lobular característica.

As litologias são observadas em cortes ao longo de estradas ou em afloramentos de blocos e lajeados em variadas áreas no âmbito da bacia, conforme ilustram as figuras no texto. São percebidas as rochas vulcânicas em diferentes condições, apresentando estruturas sólidas ou em decomposição, enquanto os arenitos foram visualizados em decomposição apenas.

Na figura 18 está apresentado um afloramento de rocha em corte em estrada vicinal na zona rural do município de Ijuí, RS, próximo à foz do rio Potiribu, é possível visualizar bloco de rocha em uma estrutura de pacote basáltico.

Figura 18: Afloramento de rocha vulcânica em corte ao longo de estrada vicinal, próximo à foz do rio Potiribu no município de Ijuí, RS.



Fotografia: Trabalho de Campo. 14/01/2020.
Coordenadas geográficas: S28°22'5.38", W53°55'21.49".

Na figura 19, o afloramento do arenito da formação Tupanciretã em área de corte ao longo da rodovia BR 158, próximo à zona urbana de Cruz Alta, RS.

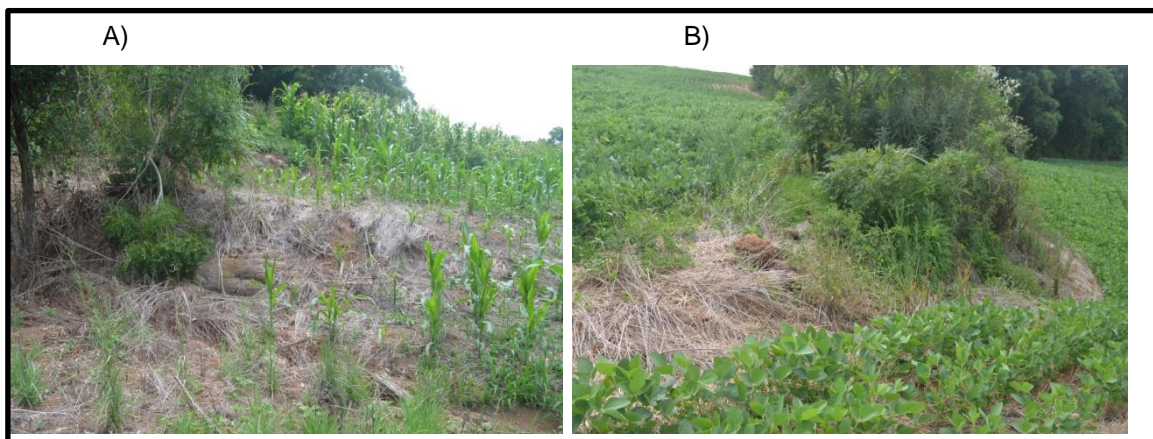
Figura 19: Afloramento de rocha arenítica em decomposição em corte ao longo da rodovia BR 158, no município de Cruz Alta, RS.



Fotografia: Trabalho de Campo. 15/01/2020.
Coordenadas geográficas: S28°36'32", W53°34'36.08".

A figura 20 apresenta afloramentos de blocos e lajeados rochosos por processo de denudação ao longo das vertentes, comumente encontrados em áreas de cultivo de soja e milho na bacia do Potiribu.

Figura 20: A) Afloramento de bloco de rocha basáltica em área de cultivo secundário, no município de Ijuí, RS. B) Afloramento rochoso de basaltos ao longo de vertente em área de cultivo de soja no município de Ijuí RS.

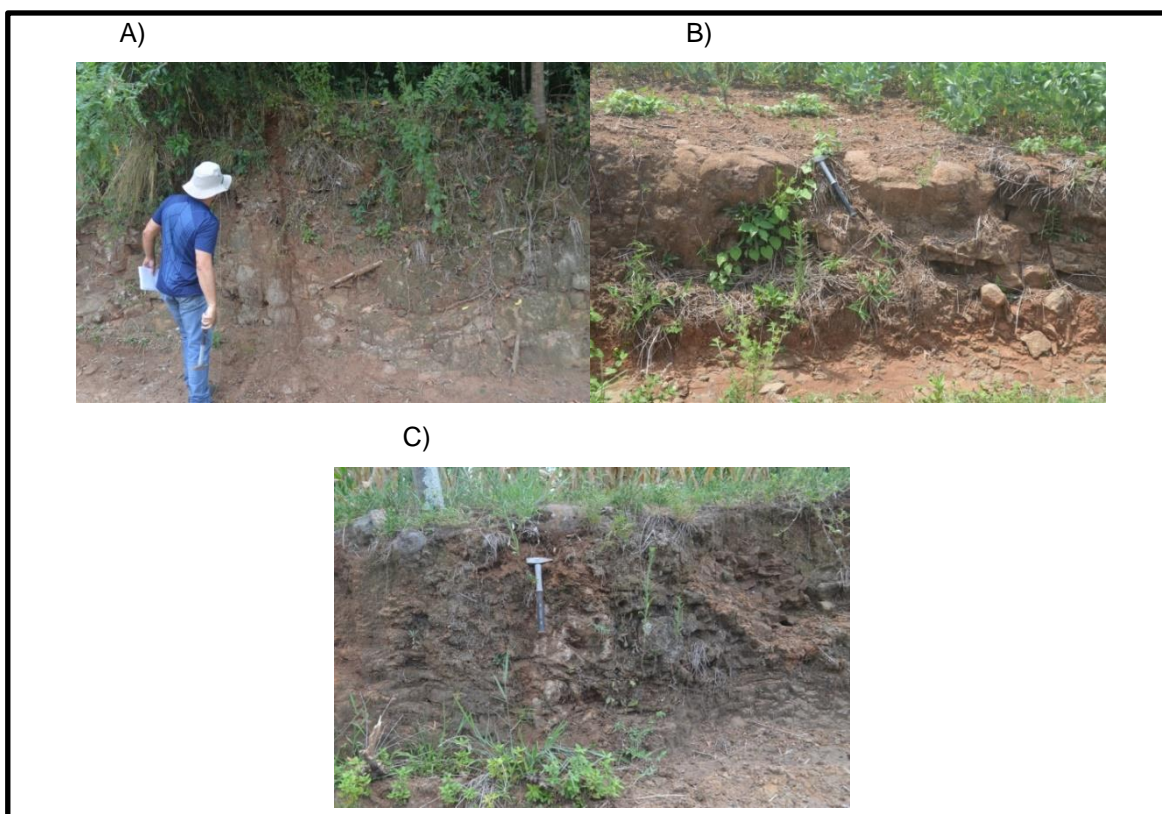


Fonte: Trabalho de Campo. 14/01/2020. Coordenadas geográficas: S28°19'44.92", W53°57'16.45" e S28°20'0.91", W53°57'32.58", respectivamente.

Na figura 21 estão três exemplos de rocha vulcânica em processo de faturamento, expostas por cortes em estradas vicinais, que são igualmente encontradas na área de estudo:

Figura 21: A) Afloramento rochoso basáltico em processo de fraturamento em área de corte de estrada vicinal no município de Ijuí, RS. B) Rocha basáltica com

intenso processo de faturamento. C) Afloramento de rocha vulcânica alterada com diaclasamento horizontal.



Fonte: Trabalho de Campo. Data: 14/01/2020.

Coordenadas geográficas: S28°19'46.02", W53°57'17.09"; S28°19'49.27", W53°57'25.16" e S28°21'24.53", W53°54'4.42", respectivamente.

A resistência das rochas e sua relação com outras variáveis ambientais, como o relevo e os solos, RIOS (2012), são referenciadas por autores como GUY (1966), SPEIGHT (1976) e SOARES & FIORDI (1978), que estabeleceram alguns parâmetros no campo da observação sobre as rochas que podem ser validados ao longo do estudo, permitindo assim, a sobreposição de informações e a utilização de outras referências ou medições. Estes parâmetros serão citados a seguir:

- As rochas relativamente mais resistentes ao intemperismo tendem a apresentar maior densidade de relevo (ou rugosidade), por manterem maior irregularidade na superfície. Onde a cobertura superficial ou os solos são mais espessos, a densidade de textura do relevo é menor;

- Para uma área com o mesmo índice pluviométrico, densidades maiores significam menor potencial de infiltração e vice-versa;

- Zonas homólogas com maior densidade de traços de fratura refletem rochas com menor grau de plasticidade, entendendo por plasticidade a capacidade de um material ser deformado sem que haja rupturas.

Segundo PEDRON (2007), o basalto é uma rocha formada por um magma mais rico em minerais ferro-magnesianos e menos rico em sílica quando comparado ao magma que forma as rochas riódacito e riólito. Os derrames básicos são mineralogicamente suscetíveis a processos de intemperismo (FONTES, 2012), com reações de hidrólise e oxidação são importantes na formação de minerais na superfície como argilominerais e óxidos de ferro. As diferenças na estrutura dos derrames com topo e base, com resfriamento mais rápido gera, são mais suscetíveis ao intemperismo, que a parte central cristalina. Isso gera pacotes de alterito mais espessos nos contatos e nos topos e a possibilidade de afloramentos de rocha na forma de blocos nas porções mais resistentes.

Portanto, é de substancial importância reconhecer, a Geologia e a litologia da área analisada, bem como histórico tectônico para reconhecer os processos e a gênese do relevo, da paisagem, de acordo com seu substrato. A compreensão a respeito das litologias, é importante para o reconhecimento da gênese e evolução do relevo e dos solos em uma área, pois o tipo de rocha é a variável mais importante na determinação do tipo de solo.

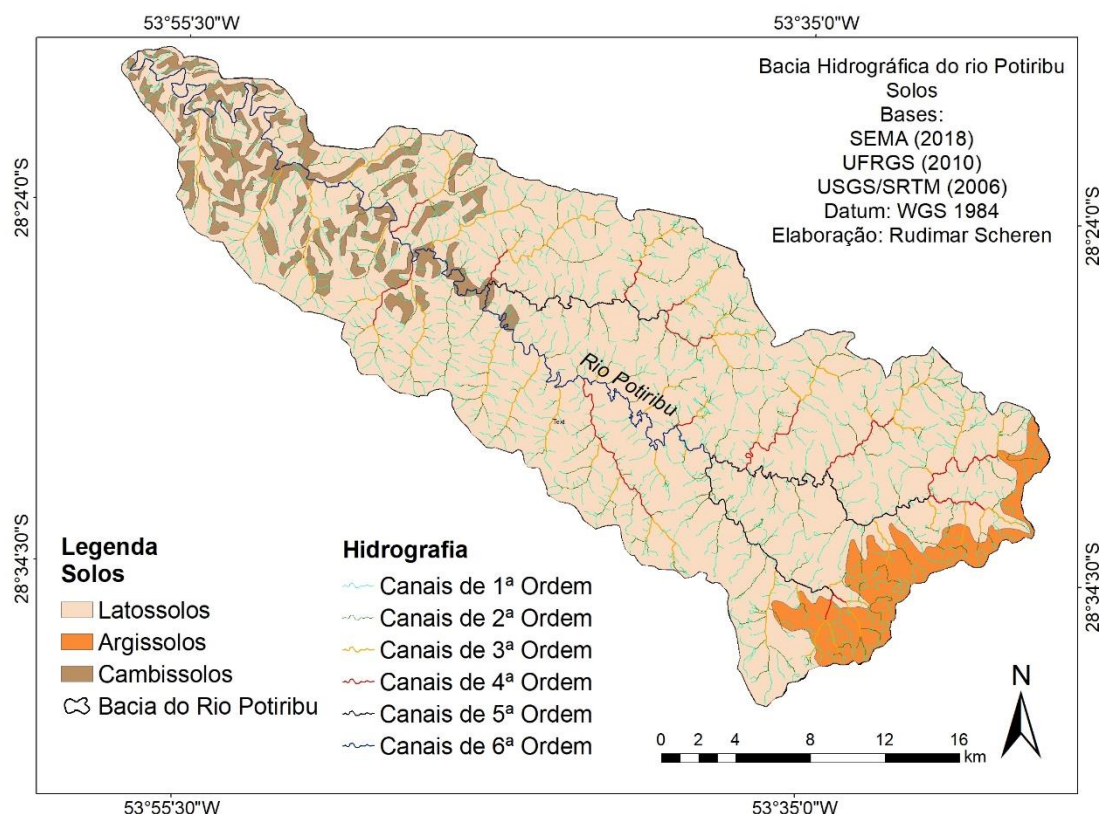
4.3. TIPOS DE SOLOS

O solo é a massa natural que compõe a superfície da Terra, que suporta ou é capaz de suportar plantas e outros corpos naturais que contém matéria viva e é resultado da ação do clima e da biosfera sobre as rochas, cuja transformação em solo se realiza em certo tempo influenciada pelo relevo. (LEPSCH, 1976).

A composição mineralógica de um solo é resultado dos fatores e processos pedogenéticos atuantes (PEDRON, 2007). Segundo o autor, os latossolos encontrados no estado do RS, ocorrem sobre as rochas vulcânicas, em função da climossequência originada das variações na precipitação média anual, temperatura média anual e radiação solar associada à evaporação, verificadas no sentido leste – oeste, associadas às variações de altitude.

Os solos na bacia do rio Potiribu dividem-se em três grupos: Latossolos, Cambissolos e Argissolos. Na figura 22 o mapa dos solos no âmbito da bacia hidrográfica do rio Potiribu.

Figura 22: Mapa de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Potiribu.



Na bacia do Potiribu, os Cambissolos que cobrem 45,4 km² da área, referentes a 6,8% do total, se apresentam nas áreas do médio e baixo curso, ao longo da meia encosta das *Colinas Suavemente Onduladas*, das *Colinas Onduladas De Baixo Curso* e, também, associados às áreas planas aluviais. Nestes compartimentos da bacia o substrato de rocha vulcânica encontra-se em afloramento em algumas áreas devido ao processo de denudação, consequência da inclinação das encostas e ao intenso processo de antropização na área que, além de promover a supressão da vegetação natural de florestas, promove o cultivo agrícola e o pastoreio. Na figura 23, imagem de Cambissolos em área próxima à foz do rio Potiribu, onde é possível visualizar a rocha basáltica em processo de decomposição, e a insistência do cultivo de soja em um ambiente com alto grau de suscetibilidade.

Figura 23: Cambissolo e rocha basáltica decomposta em área de cultivo agrícola, próxima à foz do rio Potiribu, no município de Ijuí, RS.



Fotografia: Trabalho de campo. Data: 14/01/2020. Coordenadas geográficas: S28°19'53.55", W53°57'30.73".

A ocorrência de Cambissolos em áreas planas da bacia também foi constatada, como o exemplo da planície de inundação do canal principal, em áreas de acumulação (Áreas Planas Aluviais), onde também ocorre o cultivo de soja, conforme figura 24.

Figura 24: Cambissolo em área de base da colina próximo ao curso do rio Potiribu.



Fotografia: Trabalho de campo. Coordenadas geográficas: S28°23'23.71", W53°51'20.79".

Com relação aos Latossolos, VALADARES (Op. Cit.) explica que os mesmos são altamente intemperizados, evoluídos geologicamente como resultado de transformações enérgicas do material constitutivo. São solos

minerais, não hidromórficos, profundos, normalmente superiores a dois metros, com muito espesso horizonte B latossólico superior a 50 cm, com pouca diferenciação na sequência dos horizontes A, B e C, com as cores variando de vermelha e amarela, geralmente escuras, no A, vivas no B e mais claras no C.

Os Latossolos representam o principal tipo de solo no âmbito da bacia, recobrendo uma área de 557,7 km², equivalentes a 87% do total. Sua ocorrência é percebida na maior parte da área de estudo, sendo que sua espessura e horizontes, bem como o embasamento em rocha vulcânica sólida, permitem um maior aproveitamento agrícola. Os Latossolos se encontram especialmente nas áreas de colinas, com substrato basáltico. (Figura 25).

Figura 25: Latossolo em corte de estrada vicinal, próximo à área urbana de Ijuí, RS.



Fotografia: Trabalho de campo. Data: 14/01/2020.
Coordenadas geográficas: S28°21'29.48", W53°56'39.11".

Em alguns casos foram observados cortes nos quais é possível visualizar o Latossolo muito espesso, atingindo algo em torno dos 3 metros de profundidade sem a visualização da rocha, como na figura anterior. Estas situações em geral apresentam-se em áreas de topo de encosta, com baixas declividades, favorecendo o processo de pedogênese. Latossolos com perfil mais raso (80 cm) com visualização de rocha ocorrem ao longo das vertentes, devido à maior inclinação do terreno e a ocorrência do processo de morfogênese, como na figura 26.

Figura 26: Latossolo pouco espesso, com visualização da rocha em processo de decomposição, ao longo de vertente.



Fotografia: Trabalho de campo. Data: 14/01/2020. Coordenadas geográficas: S28°23'58.02", W53°51'0.51"

A relação do balanço morfogênese/pedogênese pode ser observada a campo em áreas de contato entre solos mais espessos e solos menos espessos em cortes de estradas vicinais. Fato que comprova que em áreas de topo de encosta a pedogênese é maior devido à maior estabilidade do relevo, enquanto ao longo da vertente a morfogênese se acentua devido a maior declividade, conforme observado na figura 27.

Figura 27: Área de Latossolo com diferente espessura controlada pela resistência diferencial de variadas posições do derrame.



Fotografia: Trabalho de campo. Data: 15/01/2020. Coordenadas geográficas: S28°31'55.78", W53°37'49.19".

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuárias (EMBRAPA, 2018) os Argissolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico na maior parte do horizonte B.

Na bacia hidrográfica do rio Potiribu, os Argissolos (Figura 28) que cobrem 40,3 km² da área, referentes a 6 % do total, estão especialmente associados ao substrato rochoso dos arenitos da Formação Tupanciretã. Nas áreas onde os arenitos são encontrados, de forma contínua ou interdigitados entre os basaltos.

Figura 28: Argissolo em corte de rodovia, município de Cruz Alta, RS.



Fotografia: Trabalho de campo.

Data: 15/01/2020. Coordenadas geográficas: S28°28'48.55", W53°32'52.61"

A área na qual se encontram os Argissolos, o relevo é composto por colinas onduladas, com topos extensos e encostas curtas e declivosas, desencadeando processo de morfogênese. Este compartimento da bacia do Potiribu também apresenta alto grau de antropização pelo cultivo da soja.

4.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS CARACTERÍSTICAS MORFOCLIMÁTICAS

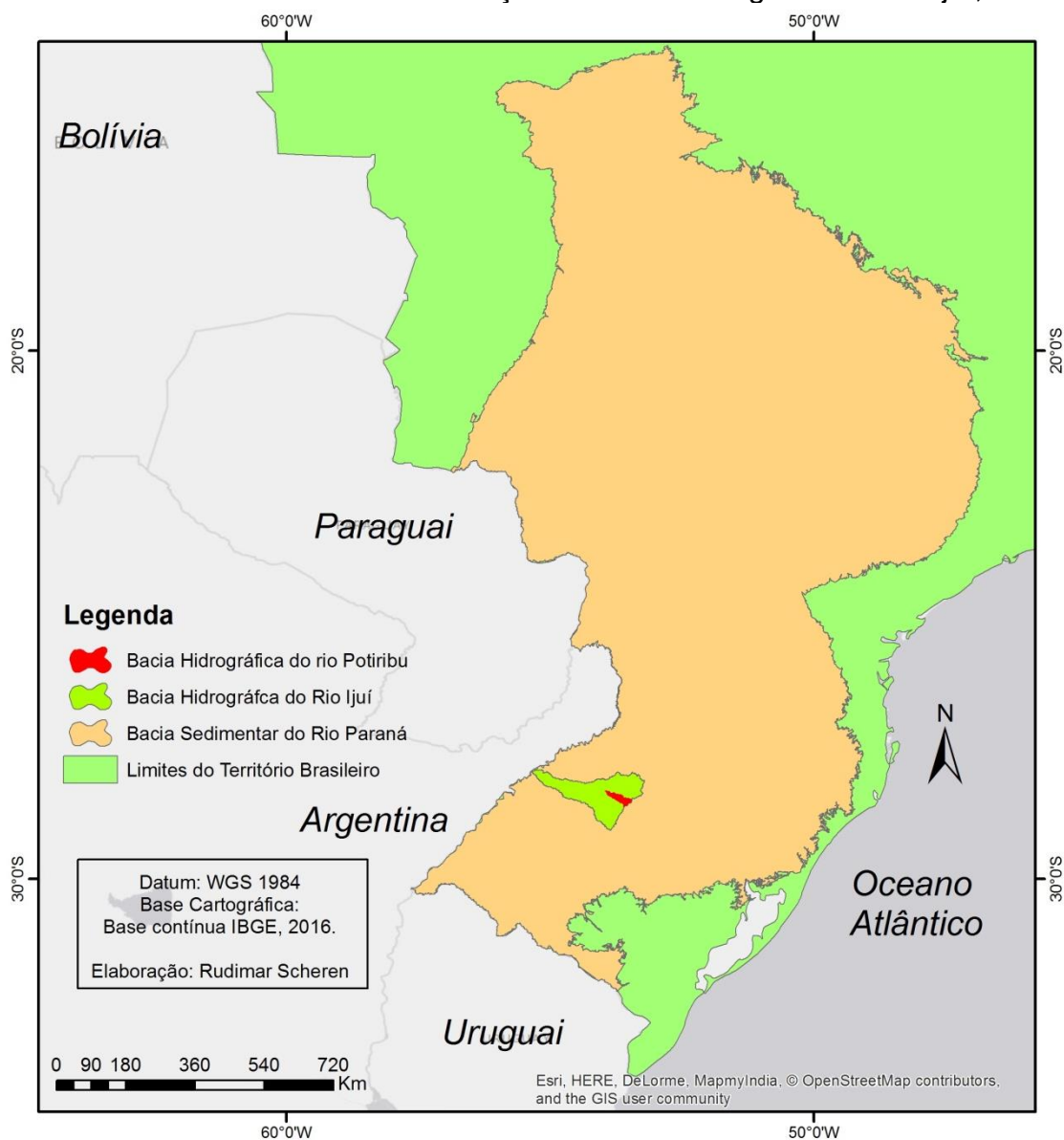
A partir das contribuições de AB'SABER (2003), a região onde se situa a bacia do Potiribu fica conformada na faixa de transição entre os domínios morfoclimáticos das Araucárias e das Pradarias. É seguro afirmar que os biomas presentes na área da mesma representam em seu conjunto uma faixa de transição entre a Mata Atlântica e o Pampa, podendo haver algum relicto da Mata das Araucárias. Este mosaico de paisagem resulta em variadas espécies de vegetação, no que se refere à cobertura vegetal original, que devido à ação humana, hoje são encontradas de forma escassa e rarefeita.

O clima na região que compreende a bacia do rio Potiribu, segundo a classificação climática de ROSSATO (2011) é o Subtropical Úmido, com variação longitudinal das temperaturas médias. A área sofre menos influência dos sistemas polares e maior influência dos sistemas tropicais conjugados com o efeito do relevo, na qual os sistemas frontais são os maiores responsáveis pelas precipitações que variam de 1700 a 1800 milímetros anuais, com temperatura média anual entre 17-20°C.

4.5. GEOMORFOLOGIA REGIONAL

Com base em dados do RADAM BRASIL/IBGE (1986), podemos afirmar que a Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, está inserida no domínio morfoestrutural da Bacia Sedimentar do rio Paraná (Figura 29). A bacia sedimentar do rio Paraná é uma unidade morfoestrutural constituída por uma Sinéclise formada a partir do interior cratônico do Gondwana, cuja síntese evolutiva ocorre durante todo Fanerozóico, tendo sua gênese encerrada no Neocretácio (MILANI *et. al.*, 2007). A Sinéclise forma a unidade morfoestrutural que corresponde aos materiais que formam o substrato rochoso que se encontra em boa parte do centro-sul brasileiro, atingindo o território de vários estados da federação localizados nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, entre eles, o Rio Grande do Sul.

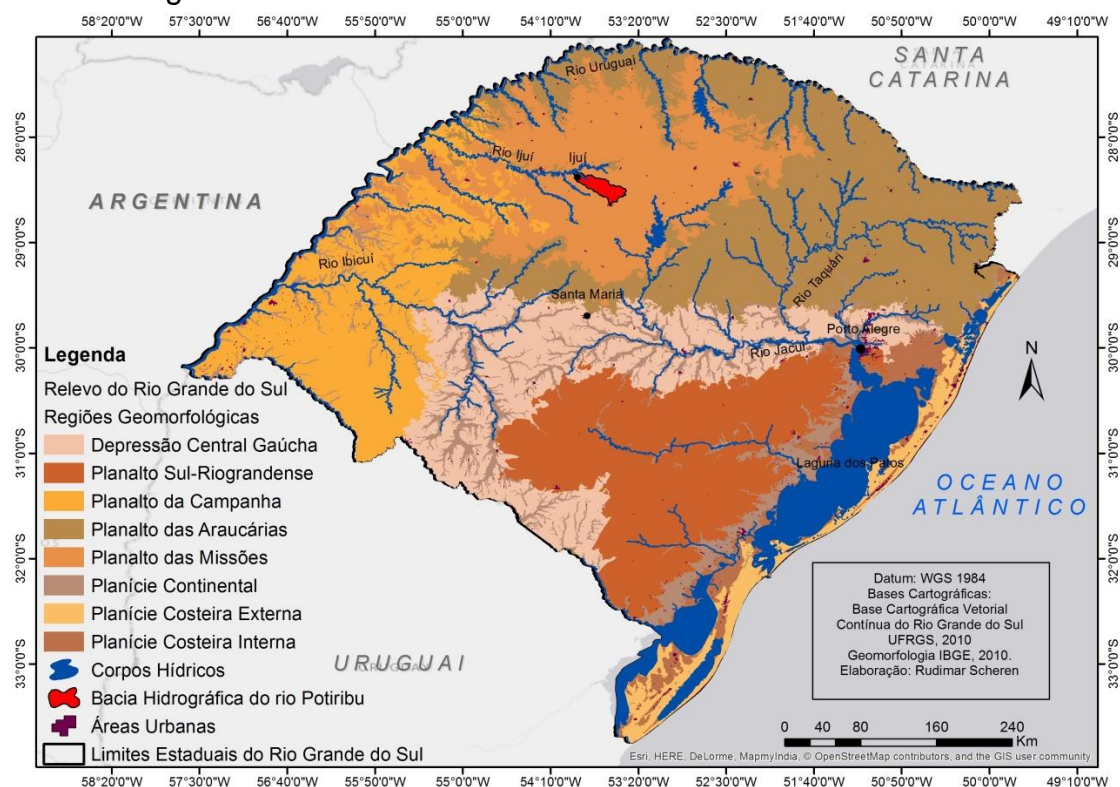
Figura 29: Mapa dos limites territoriais brasileiros com a razão espacial da bacia sedimentar do rio Paraná e a localização da bacia hidrográfica do rio Ijuí, RS.



Na área de estudo, o domínio morfoescultural corresponde à região geomorfológica do Planalto das Missões, que genericamente, apresenta graus de dissecação e formas de relevo bastante homogêneas, formando colinas suaves com aprofundamento dos vales fluviais, regionalmente conhecidas por coxilhas, esculpidas em rochas vulcânicas em solos bem desenvolvidos. Associado às colinas são comuns rebaixamentos que formam nascentes e pequenos cursos fluviais da rede de drenagem.

Na figura 30 os limites do estado do Rio Grande do Sul com as Regiões Geomorfológicas do estado, segundo o Projeto RADAM BRASIL, e a razão espacial da bacia hidrográfica do rio Potiribu, inserida no Planalto das Missões.

Figura 30: Mapa dos limites territoriais do estado do RS com as Regiões Geomorfológicas.



Adaptado de Radam Brasil, IBGE (2010).

A nomenclatura Planalto das Missões é uma alusão histórica, atribuída a esta Região Geomorfológica, devido ao fato da ocupação europeia no período colonial, na região Noroeste do Rio Grande do Sul, ter se dado por meio das missões jesuíticas, criadas pelos espanhóis no século XVII.

Como é perceptível no mapa, a Bacia Hidrográfica do rio Potiribu não apresenta transição morfoescultural, estando inteiramente inserida na Região Geomorfológica do Planalto das Missões. O Planalto das Missões na área da bacia está representado pelo Planalto de Santo Ângelo, pois, devido à homogeneidade das condições fisiográficas não foram realizadas subdivisões para o estudo geomorfológico, assim a Região Geomorfológica Planalto das Missões é ao mesmo tempo a Unidade Geomorfológica Planalto de Santo Ângelo. (RADAM BRASIL, 1986).

Ainda, segundo o Projeto RADAM BRASIL/IBGE (1986), o Planalto das Missões possui formas de relevo bastantes homogêneas definidas por colinas suaves, regionalmente conhecidas por coxilhas, esculpidas em rochas vulcânicas, com solos bem desenvolvidos. Esta unidade caracteriza-se por um relevo de dissecação homogênea formando colinas e aprofundamento dos vales fluviais. Associados às colinas são comuns rebaixamentos que formam as nascentes da rede de drenagem.

Segundo AB'SABER (1969), a região do planalto é considerada uma superfície de cimeira, denominada superfície de Vacaria, possuindo rios encaixados, curtos e profundos, adaptados a estrutura litológica e aos lineamentos tectônicos. O planalto encontra-se notavelmente preservado, este fenômeno provavelmente está relacionado ao fato de que, por muito tempo, sua drenagem inferior era do tipo consequente, muito alongada e pouco encaixada. Com as fases rápidas e sucessivas de ascensão epirogênica, ocorridas no Paleógeno e no Neógeno, os rios do planalto se encaixaram fundo, ao mesmo tempo, que se adaptaram às deformações sofridas pelo platô. O soerguimento deve ter sido feito em fases rápidas e importantes, enquanto o rebaixamento dos interflúvios foi extremamente lento. Por seu turno, o entalhamento vertical, através da erosão do talvegue, foi absolutamente superior em potência aos processos morfoclimáticos de abertura de vertentes, que se fizeram atuar no dorso maciço e resistente da gigantesca pilha de lavas. Isto nos faz pensar que os climas úmidos só se instalaram na região em momentos geológicos muito recentes. (AB'SABER, 1969).

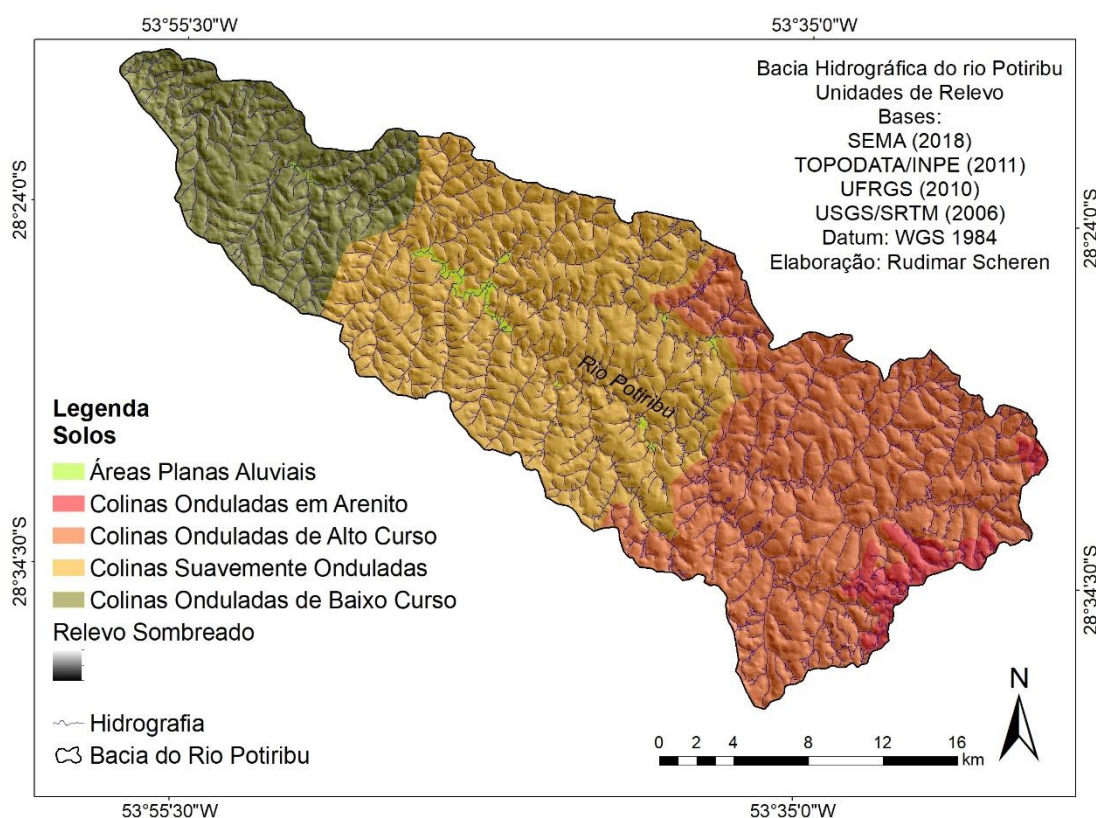
4.6. CARACTERÍSTICAS DO RELEVO DA BACIA

A caracterização do relevo da bacia hidrográfica do rio Potiribu, RS, foi realizada a partir da aplicação de metodologias de automação e de validação em trabalhos de campo, usando como base a descrição em diferentes escalas de observação, conforme indica ROSS (1992) em sua metodologia de mapeamento geomorfológico.

4.6.1 As Unidades de Relevo (Padrões Semelhantes).

As unidades de relevo obtidas nesta pesquisa, definidas de acordo com os padrões de formas semelhantes, consideradas por ROSS (1992) como o terceiro nível taxonômico, apresentaram cinco formas distintas, considerando a inclinação, comprimento, embasamento litológico, processo morfogenético atuante e localização quanto aos cursos da bacia. As formas de gênese denudacional são as Colinas Onduladas em Arenito, as Colinas Onduladas, as Colinas Suaves e as Colinas Onduladas de Baixo Curso. As formas de gênese agradacional são as Áreas Planas Aluviais. Na figura 31 a distribuição geográfica das unidades de relevo na bacia hidrográfica do rio Potiribu.

Figura 31: Unidades de relevo por padrões de formas semelhantes na bacia hidrográfica do rio Potiribu.



A unidade Colinas Onduladas de Alto Curso encontra-se de forma predominante em conformidade com a área delimitada como o Alto Curso da bacia dividindo-se em Colinas Onduladas em Arenito e Colinas Onduladas de Alto Curso. Apenas uma pequena porção ultrapassa o limite do médio curso em direção aos divisores de águas, tanto à margem direita quanto à margem

esquerda. No Médio Curso e no Baixo Curso apresentam-se predominantemente as Colinas Suavemente Onduladas, seguidas das Colinas Onduladas de Baixo Curso e, por fim, com menor razão espacial, as Áreas Planas Aluviais. Com as informações obtidas podemos atribuir variáveis que caracterizam cada uma das cinco formas individualizadas de relevo por características semelhantes. A tabela 04, abaixo compreende estas unidades, sua distribuição espacial e as variáveis que as definem:

Tabela 04: Unidades de Relevo da Bacia Hidrográfica do rio Potiribu.

| Unidades de Relevo | Área | | Predominância | | Geologia | Solos |
|----------------------------------|-----------------|-------|-----------------------------|-----------------|-------------|---------------------------|
| | Km ² | % | Amplitude das Vertentes (m) | Declividade (%) | | |
| Colinas Onduladas em Arenito | 20,29 | 3,05 | > 60m | > 5% | Tupanciretã | Argissolos |
| Colinas Onduladas de Alto Curso | 250,12 | 37,69 | > 60m | > 5% | Serra Geral | Latossolos |
| Colinas Suavemente e Onduladas | 274,800 | 41,86 | < 60m | < 5% | Serra Geral | Latossolos e Cambissolos. |
| Colinas Onduladas de Baixo Curso | 115,35 | 17,38 | > 60m | > 5% | Serra Geral | Latossolos e Cambissolo |
| Áreas Planas Aluviais | 4,30 | 0,60% | < 10m | < 5% | Serra Geral | Cambissolo. |

As Colinas Onduladas em Arenito, no Alto Curso da bacia, próxima aos divisores (figura 32), definidas, além de sua amplitude e declividade, por seu substrato rochoso diferenciado em relação ao restante de toda área da bacia do rio Potiribu, abrange 20,2 km² nas proximidades de áreas de nascentes de

alguns canais formadores do canal principal, equivalente a 3% da área total da bacia, coberta por predominantemente por Argissolos. Esta unidade de relevo abriga as cabeceiras drenagem responsáveis pelas nascentes dos principais formadores do rio Potiribu.

Figura 32: Aspecto das Colinas Onduladas em Arenito. Município de Cruz Alta, RS



Foto: Trabalho de campo. Data: 15/01/2020.
Coordenadas geográficas: S28°30'10.20", W53°27'19.37"

As Colinas Onduladas de Alto Curso, embasadas em rochas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral, Fácies Gramado, ocupam 250,1 km², equivalente a 37,6% do total da bacia, coberta por Latossolos. (Figura 33).

Figura 33: Aspecto das Colinas Onduladas de Alto Curso, município de Cruz Alta, RS.



Foto: Trabalho de campo. Data: 15/01/2020. Coordenadas geográficas: S28°32'42.66", W53°36'10.80"

As Colinas Suavemente Onduladas, retratadas na Figura 34, são responsáveis por recobrir 274,8 km², concernentes a 41,8% do total da bacia, esta unidade possui substrato rochoso formado por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, Fácies Gramado, que são cobertas pelos solos dos tipos Latossolos e Cambissolos.

Figura 34: Aspecto das Colinas Suavemente Onduladas, município de Pejuçara, RS.



Foto: Trabalho de campo. Data: 15/01/2020.
Coordenadas geográficas: S28°25'40.32", W53°39'22.46"

As Colinas Onduladas de Baixo Curso (Figura 35), no Baixo Curso da Bacia, com substrato rochoso da Formação Serra Geral, Fácies Gramado, com associação de Cambissolos na meia encosta e Latossolos nos topos convexos, ocupando 115 km², representando 17,3% da área da bacia.

Figura 35: Aspecto das Colinas Onduladas de Baixo Curso, município de Ijuí, RS



Foto: Trabalho de Campo. Data: 14/01/2020.

Coordenadas geográficas: S28°19'53.82", W53°57'30.88".

As Áreas Planas Aluviais, retratadas na figura 36, a menor entre as unidades de relevo mapeadas, ocupa uma superfície de 4,3 km², equivalente a 0,6% do total da bacia. Possui embasamento geológico da Formação Serra Geral e é recoberta por Cambissolos.

Figura 36: Aspecto das Áreas Planas Aluviais, município de Ijuí, RS.



Foto: Trabalho de campo. Data: 14/01/2020.
Coordenadas geográficas: S28°23'23.71", W53°51'20.79"

A definição das unidades de relevo por padrões de formas semelhantes (3º nível taxonômico) foi fundamental na definição dos sistemas e unidades geoambientais de que trata o capítulo final desta tese.

4.6.2. Os Elementos de Relevo (*Geomorphons*)

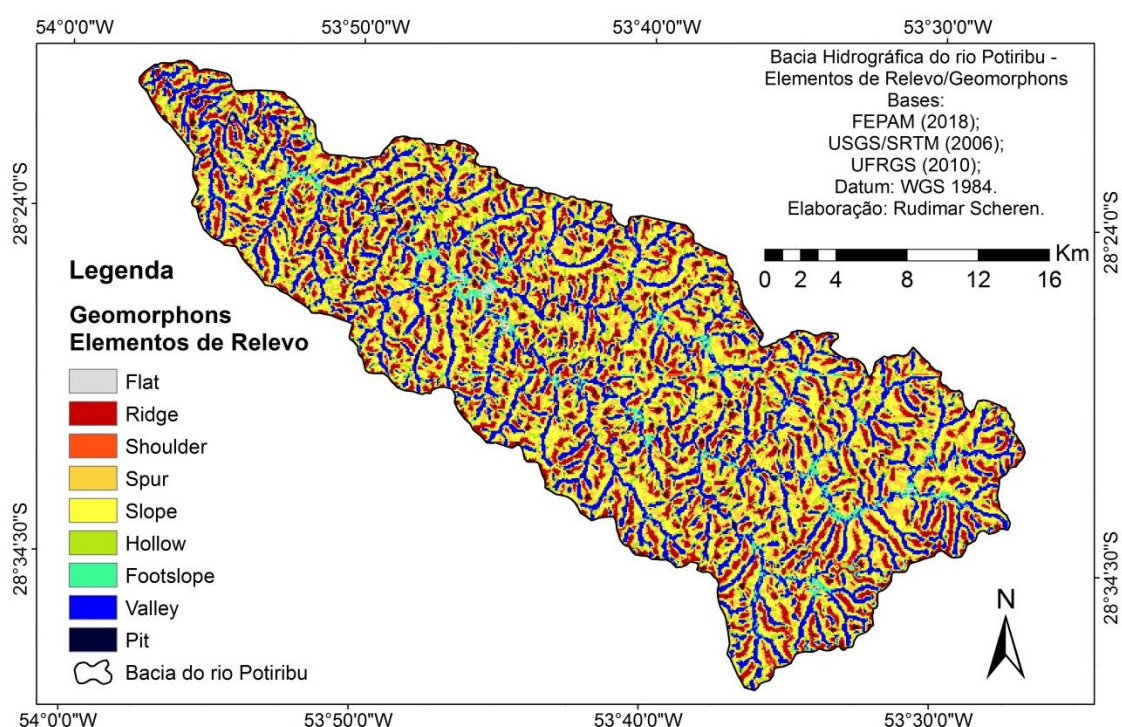
O 4º nível taxonômico refere-se a cada um dos elementos de relevo (*geomorphons*) apresenta os elementos contidos nas Unidades Morfológicas ou de Padrões de Formas Semelhantes. Esta conformação decorre da influência de processos erosivos mais recentes, diferente daqueles encarregados de esculpir as depressões e planaltos de níveis intermediários.

Os *Geomorphons* são elementos de relevo adquiridos pela proposta de automação de obtenção de atributos de terreno por meio de sensoriamento remoto, através do uso de MDE e técnicas de geoprocessamento. Este procedimento metodológico foi desenvolvido por JASIEWICZ & STEPINSKI

(2013) que classificam 10 diferentes elementos de relevo mais comuns, chamados aqui de *Geomorphons*.

As 10 unidades com os elementos de relevo mais comuns são: *peak* (pico), *ridge* (crista), *shoulder* (ressaltos), *spur* (crista secundária), *slope* (encosta), *hollow* (concavidade), *footslope* (base de encosta), *valley* (vale), *pit* (fosso), e *flat* (plano) – e assim são definidos os *Geomorphons* de determinada área em análise. A figura 37 apresenta o mapa da bacia do rio Potiribu com os elementos de *Geomorphons*.

Figura 37: Mapa dos elementos de Relevo (*Geomorphons*) na BH do rio Potiribu.



Quanto à distribuição espacial dos *Geomorphons*, na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, podemos perceber um padrão hegemônico de encostas, vales, cristas e ressaltos como unidades mais presentes em todos os setores da bacia. Existe uma ligeira alternância entre a predominância de encostas mais alongadas, principalmente no Médio Curso e em áreas de menor altitude do Alto Curso, enquanto que na direção dos divisores de água no Alto Curso e em todo Baixo Curso, as encostas mais curtas e íngremes são predominantes.

É importante ressaltar que em toda a discussão desta tese, o termo “vertente” é utilizado para se referir às áreas do relevo entre o divisor de águas e o talvegue, enquanto que nos *Geomorphons* a tradução correta do elemento

“Slope” é “encosta”. Para unificar a terminologia, após esse esclarecimento, o termo “vertente” será utilizado também para descrever o elemento de relevo “Slope”.

Para compreender melhor a distribuição dos Elementos de Relevo na bacia do Potiribu, a Tabela 05 apresenta o comportamento dos Geomorphons em cada uma das unidades de relevo dos padrões de formas semelhantes quanto sua área e porcentagem.

Tabela 05: Elementos de Geomorphons e sua distribuição nas Unidades de Padrões de Formas Semelhantes.

| Unidades | Colinas Onduladas em Arenito | Colinas Onduladas de Alto Curso | Colinas Suavemente Onduladas | Colinas Onduladas de Baixo Curso | Áreas Planas Aluviais |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|---|------------------------------|
| Flat (Plano) | 0,02 km ² 0,1 % | 0,3 km ² 0,1% | 1 km ² 0,3% | 0,05 km ² 0,05% | 0,8 km ² 19% |
| Peak (Pico) | 0,6 km ² 3% | 3,7 km ² 1,5% | 5,4 km ² 1,9% | 3,1 km ² 2,7% | — |
| Ridge (Crista) | 5,2 km ² 25% | 44,7 km ² 17,9% | 47,6 km ² 17,3% | 21,8 km ² 18,8% | 0,04 km ² 0,8% |
| Shoulder (Crista Secundária) | 0,7 km ² 3,6% | 3 km ² 1,2% | 2,5 km ² 0,9% | 0,7 km ² 0,6% | 0,07 km ² 1,5% |
| Spur (Ressalto) | 2,6 km ² 13,2% | 44,1 km ² 17,6% | 49 km ² 18% | 18,5 km ² 16,1% | 0,05 km ² 1,1% |
| Slope (Vertente) | 4,6 km ² 22,8% | 63,3 km ² 25,3% | 70,2 km ² 25,5% | 27,34 km ² 23,7% | 0,2 km ² 5,2% |
| Hollow (Escavado) | 1,9 km ² 9,8% | 29,4 km ² 11,7% | 35,6 km ² 12,9% | 15,3 km ² 13,3% | 0,05 km ² 1,2% |
| Footslope (Bese de Vertente) | 0,3 km ² 1,6% | 7,5 km ² 3% | 8 km ² 2,9% | 2 km ² 1,7% | 2,3 km ² 51% |
| Valley (Vale) | 3,9 km ² 19,5% | 52,5 km ² 20,9% | 55,7 km ² 20,2% | 25,4 km ² 22% | 0,8 km ² 19% |
| Pit (Fosso) | 0,03 km ² 0,1% | 0,9 km ² 0,3% | 1,2 km ² 0,4% | 0,8 km ² 0,7% | 0,01 km ² 0,2% |

A Unidade *Colinas Onduladas em Arenito*, comparativamente às demais unidades de relevo da bacia apresenta como destaque maior a ocorrência percentual dos elementos de Picos, Cristas e Cristas Secundárias. Isso decorre pelo fato da referida unidade de relevo estar localizada na área de cotas máximas da bacia, que serve de divisor de águas entre as grandes regiões hidrográficas do rio Uruguai e do Sistema Jacuí-Guaíba, área em que o relevo é mais dissecado.

Os elementos de relevo de Vertentes e Vales são significativos, porém nesta unidade as Vertentes são mais curtas e os topos mais longos, com maior declividade. Estas características do relevo indicam a potencialidade para processos superficiais, especialmente pela associação aos Argissolos e ao embasamento geológico em arenito da área. No balanço morfogênese/pedogênese os topos longos favorecem a pedogênese e as vertentes curtas e declivosas favorecem a morfogênese.

As áreas com presença do elemento tipo Escavado (Hollow) representam rebaixamentos côncavos que marcam áreas de cabeceiras de drenagem. HACK (1960), MEIS & MONTEIRO (1979), AVELAR & COELHO NETTO (1992). Para utilizar um termo de melhor compreensão no ambiente, o elemento “Hollow” que na tradução literal seria “escavado”, será denominado por “concauidade” ou cabeceira de drenagem. Estas feições de relevo são visualizadas como depressões circulares e alongadas que podem conter água, são interpretadas (GUARESCHI, 2018) como depressões fechadas. As concauidades são elementos de relevo muito importantes no âmbito das bacias de drenagem por abrigar nascentes dos cursos d’água. Na bacia do Potiribu, na unidade das *Colinas Onduladas em Arenito* estes elementos abrigam as nascentes dos principais formadores da bacia. (Figura 38).

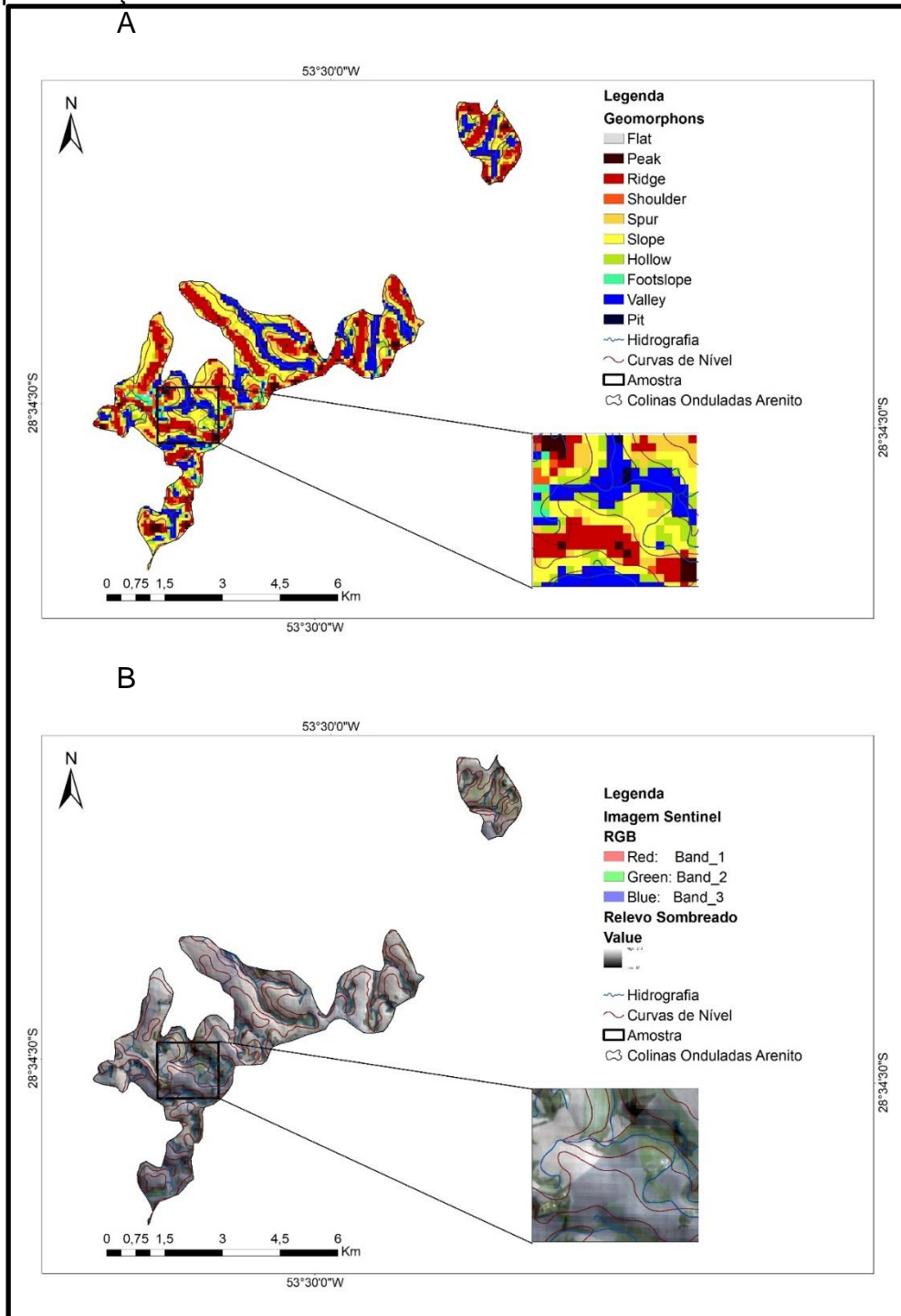
Figura 38: Cabeceira de drenagem que abriga nascente de arroio formador do rio Potiribu.



Elemento de relevo (Geomorphons) Concavidade (Hollow). Foto: Trabalho de Campo.
Data: 15/01/2020. Coordenadas geográficas: S28°31'5.43", W53°27'8.78"

Na figura 39 o mapa dos Geomorphons na Unidade *Colinas Onduladas em Arenito*. No destaque, área amostral dos elementos de relevo da unidade em comparação com uma imagem Sentinel 2 sobreposta ao relevo sombreado, amostrada na mesma área.

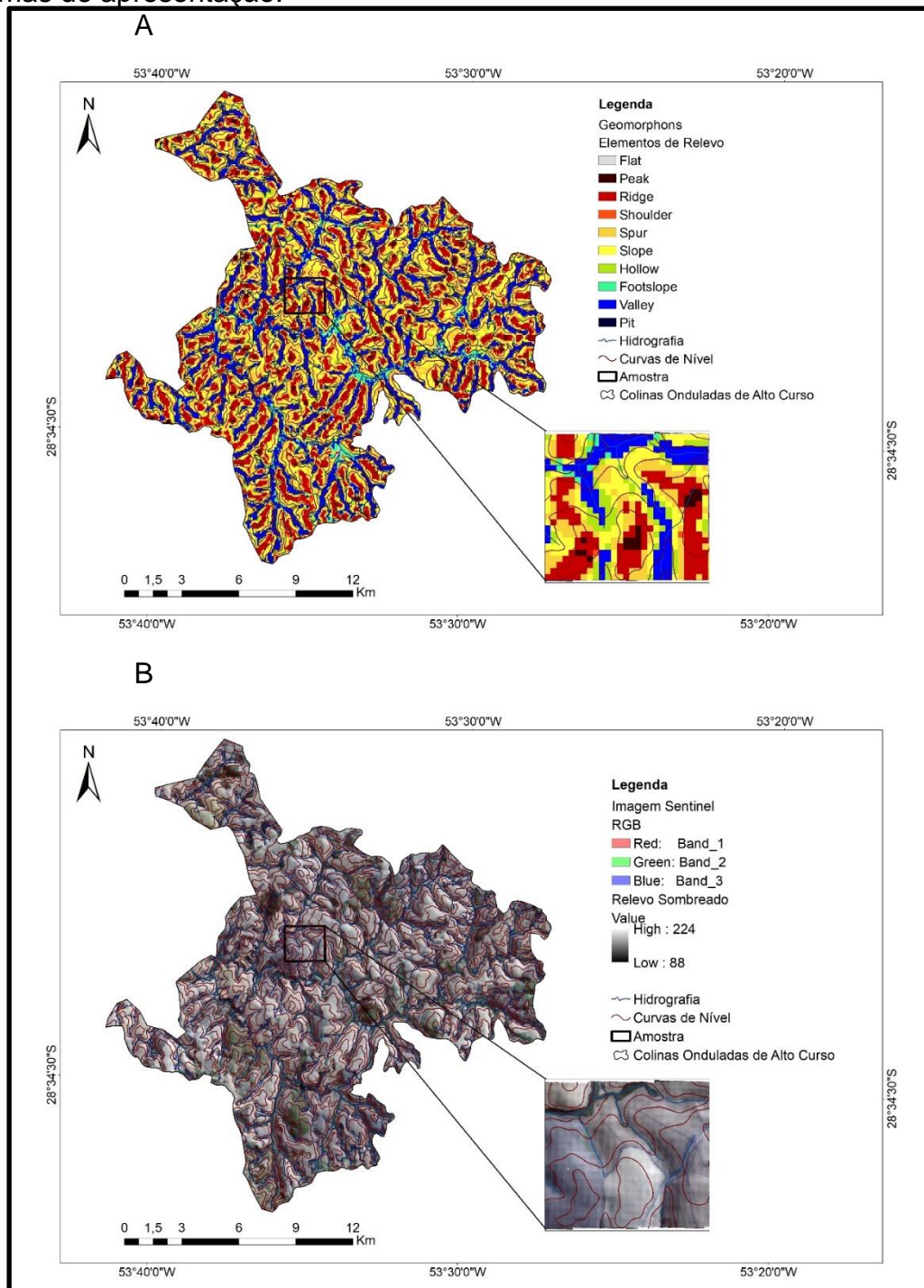
Figura 39: Comparação entre (A) Mapa da distribuição dos Geomorphons na Unidade de Colinas Onduladas em Arenito, no destaque, área amostral da unidade. (B) Mapa das Colinas Onduladas em Arenito com Imagem Sentinel 2, sobreposta ao relevo sombreado, com área amostral. É possível comparar os elementos de Picos, Cristas, Vertentes, Vales e Concavidades, nas duas formas de apresentação.



Na unidade das *Colinas Onduladas de Alto Curso* as Vertentes são, relativamente, mais alongadas em direção à jusante dos canais de drenagem,

convergiendo ao canal principal. Na figura 40 o mapa dos Geomorphons com destaque uma amostra ampliada dos elementos de relevo, comparada à imagem Sentinel 2 sobreposta ao relevo sombreado em amostra da mesma área.

Figura 40: Comparativo entre, (A) Mapa dos Geomorphons na Unidade de Colinas Onduladas de Alto Curso com no destaque para área amostral; e, (B) Mapa das Colinas Onduladas de Alto Curso com imagem Sentinel 2 sobreposta ao relevo sombreado, possibilitando a comparação dos elementos nas duas formas de apresentação.



O elemento Concavidade é muito importante na unidade de *Colinas Onduladas de Alto Curso* por ser um elemento de relevo que representa as cabeceiras de drenagem e abriga importantes nascentes de tributários da bacia próximo aos divisores de água, como o Lajeado da Figueira, por exemplo.

Próximo aos divisores de água, em áreas de cabeceiras de drenagem a unidade apresenta vertentes mais curtas com vales mais encaixados, que em geral são mais suscetíveis a processos morfogenéticos.

Um mosaico da configuração espacial dos elementos de relevo na paisagem das *Colinas Onduladas de Alto Curso* pode ser visualizado na figura 41:

Figura 41: Vertente com vale mais encaixado na unidade de relevo Colinas Onduladas de Alto Curso e indicação de alguns elementos de relevo na paisagem.

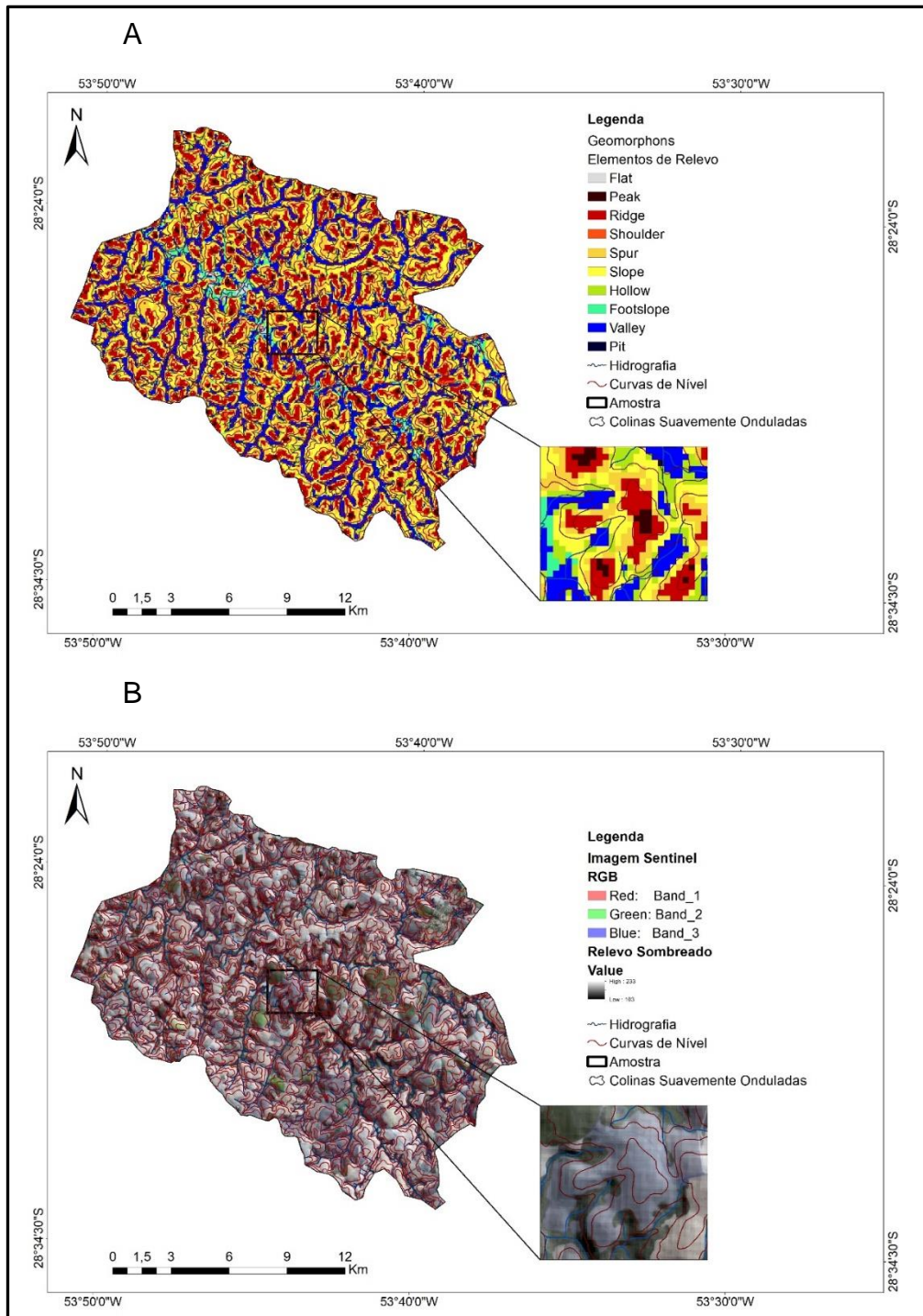


Fotografia: trabalho de campo. Data: 15/01/2020.
Coordenadas geográficas: S28°32'27.51", W53°36'32.77".

O relevo da unidade de *Colinas Suavemente Onduladas* é marcado pela presença predominante dos elementos de Cristas, Ressaltos e Concavidades. Nesta unidade de relevo as declividades são menores e a amplitude das vertentes é maior, sendo uma área de relevo muito homogênea. É visível na configuração dos elementos de Geomorphons a ocorrência de vertentes mais amplas com vales menos encaixados, o que favorece a pedogênese,

especialmente em um ambiente físico de embasamento em rocha vulcânica e latossolos bem desenvolvidos.

Figura 42: Mapa dos Geomorphons na Unidade de Colinas Onduladas de Baixo Curso, no destaque, amostragem de área desta unidade em comparação ao mapa de Geomorphons e à imagem Sentinel 2, sobreposta ao relevo sombreado, possibilitando a visualização dos elementos de relevo nas duas formas apresentação, especialmente Cristas, Encostas, Topos e Vales.



Na unidade de *Colinas Onduladas de Baixo Curso* os elementos de *Geomorphons* mais representativos das formas são os Vales, cuja unidade possui este elemento de forma predominante em relação às demais unidades, além das Vertentes e Cristas. Apresentam Vales, relativamente, mais encaixados com feições aproximadas às que ocorrem à montante da bacia próximos aos divisores de águas em Alto Curso. As Vertentes são mais curtas entre as Cristas e os Vales, com uma declividade maior e amplitudes topográficas que predominam acima dos 60 metros. Estas características dos elementos de relevo associadas aos Cambissolos pouco desenvolvidos em meia vertente aceleram os processos morfogenéticos.

A figura 43 apresenta os elementos de *Geomorphons* na unidade de relevo das *Colinas Onduladas de Baixo Curso*.

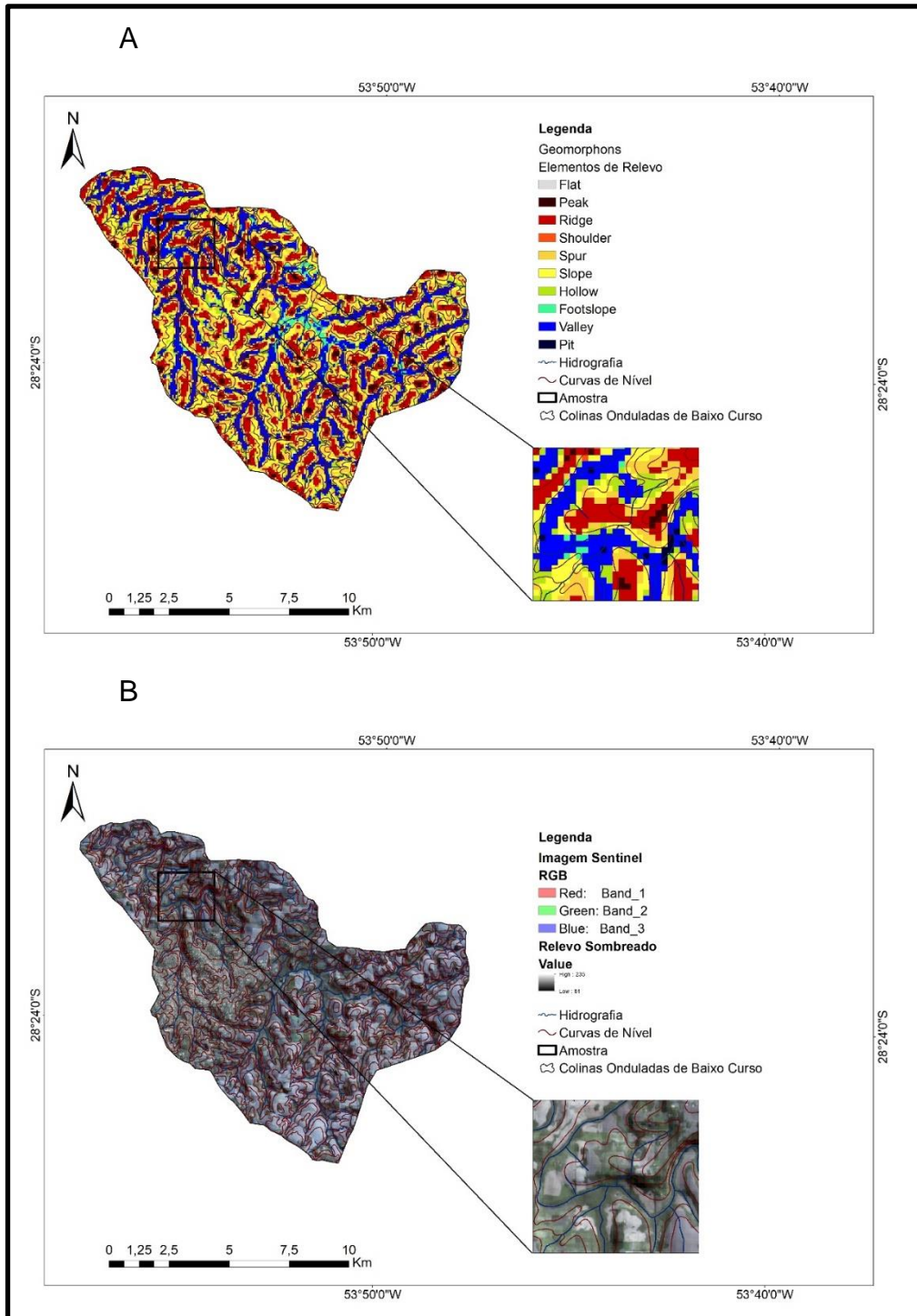
Figura 43: Área de vale encaixado na unidade das Colinas Onduladas de Baixo Curso com vertente curta e indicação de *Geomorphons* na paisagem.



Foto: Trabalho de campo. Data: 14/01/2020.
Coordenadas geográficas: S28°23'58.04", W53°51'0.55

Na Figura 44, a distribuição dos elementos de relevo na unidade de Colinas Onduladas de Baixo Curso, com destaque para área amostral e comparação ao relevo sombreado para perceber as feições do relevo.

Figura 44: Comparação entre, (A) Mapa dos Geomorphons na Unidade de Colinas Onduladas de Baixo Curso, no destaque, área amostral desta unidade com o mapa de Geomorphons; (B) Mapa da unidades Colinas Onduladas de Baixo Curso com imagem Sentinel 2, sobreposta ao relevo sombreado, permitindo a observação dos elementos de relevo nas duas formas de apresentação.



Na unidade de *Áreas Planas Aluviais*, os elementos predominantes são Base de Vertente, Vale e Planos, sendo que os demais elementos são

insignificantes para a análise nesta unidade de relevo. Esta unidade possui uma razão espacial reduzida e fragmentada ao longo da bacia, condição que torna a cartografia das áreas bastante difícil e com escala e resolução espacial de difícil apresentação em comparação às demais unidades. Este fato levou a decisão de não apresentar mapas da unidade de relevo de *Áreas Planas Aluviais* de forma isolada.

Observando o resultado alcançado são perceptíveis vales sutilmente mais encaixados na área de maior amplitude de encostas, concernente às *Colinas Onduladas de Alto Curso*. Enquanto na direção do médio curso e do baixo curso, as *Colinas Suavemente Onduladas*, apresentam vales menos encaixados com Vertentes mais amplas. No baixo curso, as *Colinas Onduladas de Baixo Curso* apresentam elementos de relevo mais aproximados, colocando as Vertentes mais comprimidas entre as Cristas e os Vales, evidenciando um relevo mais encaixado e mais inclinado.

4.6.3. As Unidades de Vertente (Unidades Geomorfométricas)

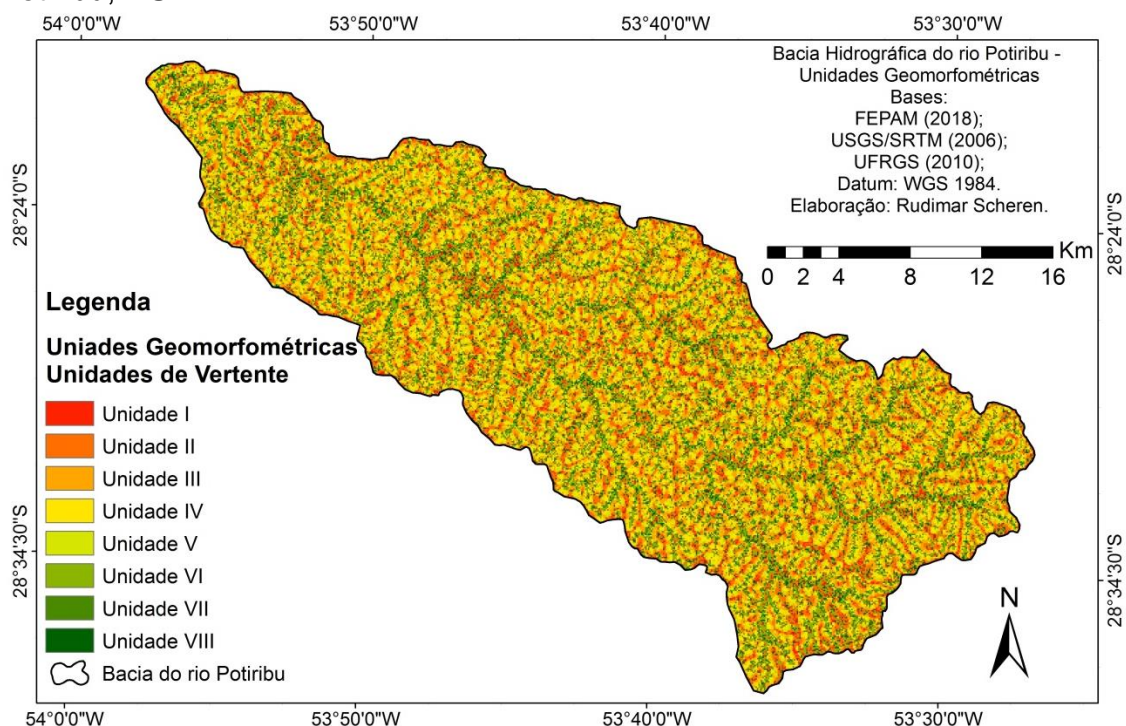
As unidades geomorfométricas são consideradas nesta tese como o 5º nível taxonômico na classificação de ROSS (1992), que representa os tipos de vertentes contidas em cada urna das formas de relevo. Os setores das vertentes sejam convexos, retilíneos, planos, aguçados, abruptos, côncavos, são dimensões menores do relevo. Assim sendo, são de gênese e idade mais recentes.

ROSS (1992) explica que os processos erosivos ou de esculturação operantes no momento atual se manifestam ao longo das vertentes. Dessa forma, a dinâmica atual do relevo melhor se manifesta nas vertentes e é, portanto, neste nível taxonômico que os seres humanos podem melhor perceber e atuar junto aos processos morfogenéticos, pois a vertente é o resultado da morfogênese ou morfodinâmica viva, presente, atual. É ao nível da vertente que se confundem o estudo da dinâmica do relevo e os problemas relativos à erosão de solos, que na verdade fazem parte de uma mesma realidade.

Na bacia do rio Potiribu foram definidas 8 unidades geomorfométricas a partir do fluxograma que hierarquiza as variáveis dos atributos selecionados em

suas diferentes possibilidades de relação mútua, que estão apresentadas em sua distribuição espacial na Figura 45.

Figura 45: Mapa das Unidades Geomorfométricas na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS.



No mapa das Unidades Geomorfométricas na bacia Potiribu é possível perceber que próximo aos canais fluviais predominam as unidades de inclinação menor que 5% (unidade de 4 e 8), formando os vales fluviais, nas quais apenas a configuração de plano e perfil que se diferenciam entre as unidades. As unidades de inclinação maior que 5% também existem próximos aos vales, porém em menor porcentagem. Da mesma forma é possível perceber nos topos e cristas a predominância das unidades 1 e 2, com declividades superiores a 5% e com o plano convergente, alternando apenas o perfil côncavo ou convexo. Na meia vertente as unidades de 3 até 6 se alternam em predominância.

A tabela 06 contribui para facilitar o entendimento das características das encostas representadas por cada uma das 8 unidades geomorfométricas:

Tabela 06: Descrição das Unidades Geomorfométricas.

| Unidade | Declividade | Plano | Perfil |
|---------|-------------|-------------|---------|
| 01 | >5% | Convergente | Côncavo |
| 02 | >5% | Convergente | Convexo |
| 03 | >5% | Divergente | Côncavo |
| 04 | >5% | Divergente | Convexo |
| 05 | <5% | Convergente | Côncavo |
| 06 | <5% | Convergente | Convexo |
| 07 | <5% | Divergente | Côncavo |
| 08 | <5% | Divergente | Convexo |

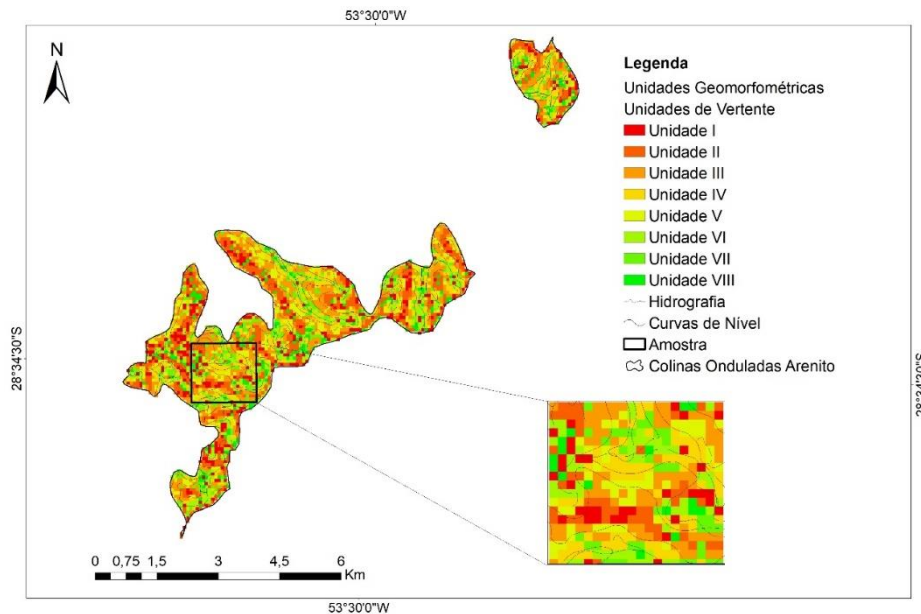
As unidades de 01 a 04 possuem inclinação maior que 5%, o que indica uma maior probabilidade de ocorrência de processo superficial, sendo que apresentam diferentes padrões de distribuição ao longo da bacia. As unidades de 05 a 08 têm menos de 5% de inclinação, o que indica uma menor probabilidade de processos superficiais, segundo TRENTIN (2011). Já as características de plano convergente ou divergente, e perfil, côncavo ou convexo, ajudam a compreender o tipo de processo, se linear, laminar, ou disperso, e ainda, se ocorre mais próximo ao topo ou da base da vertente.

As vertentes com plano convergente concentram o fluxo superficial, fazendo com que o escoamento em solo exposto, alijado da proteção da vegetação nativa, possa desencadear o processo de formação de ravinas e voçorocas. O plano de vertente divergente dispersa o fluxo superficial, mas pode dar origem à erosão laminar ou a fluxos difusos em sulcos, dependendo das características do solo.

O perfil convexo pode indicar processo superficial mais próximo ao topo da vertente, com menor velocidade de escoamento superficial, enquanto o perfil côncavo indica maior velocidade de fluxo do escoamento e maior possibilidade de processo na base da vertente.

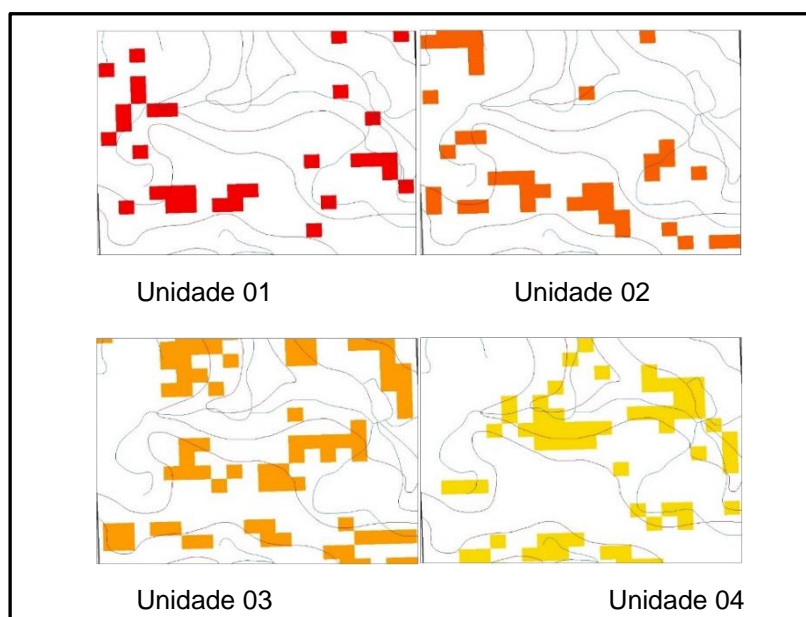
As unidades geomorfométricas se distribuem de diferentes formas ao longo dos cursos da bacia, e especialmente, nas diferentes unidades de relevo, conforme as figuras e descrições a seguir buscarão ilustrar, iniciando pela Figura 46.

Figura 46: Distribuição das Unidades Geomorfométricas na Unidade de Colinas Onduladas em Arenito com destaque para a área amostral extraída para análise visual com maior detalhe.



A unidade de Colinas Onduladas em Arenito apresentam a seguinte distribuição das Unidades Geomorfométricas em sua área de 20,1 km²: Unidade 01 (2,1 Km² equivalentes a 10,4% da área); Unidade 02 (3,7 Km², equivalentes a 18,2% da área); Unidade 03 (4 Km² equivalentes a 19% da área); Unidade 04 (2,8 Km² equivalentes a 13,9 % da área). Estas informações podem ser visualizadas separadamente na figura 47.

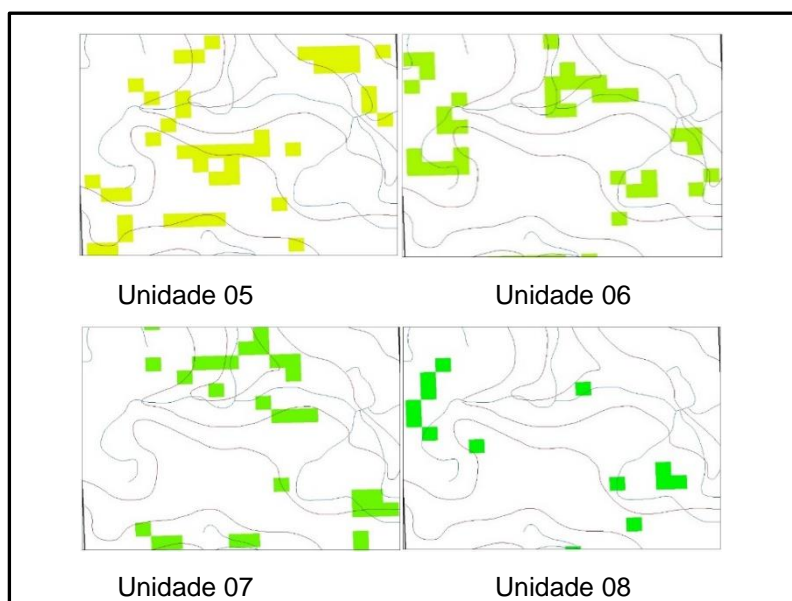
Figura 47: Distribuição das Unidades Geomorfométricas de 01 a 04 na Unidade de Relevo Colinas Onduladas em Arenito.



As unidades 01 e 02 são muito representativas para os processos morfogenéticos na unidade de Colinas Onduladas em Arenito, pois são unidades de vertentes que por sua característica de inclinação maior que 5% e plano convergente, são propícias para os processos morfogenéticos. A unidade que é côncava 01 representa áreas com convergência de fluxo com escoamento maior na parte superior da vertente, enquanto a unidade 02, convexa pode apresentar maior morfogênese na base da vertente. Os processos são potencializados pelo substrato rochoso em Arenito e a cobertura de Argissolos.

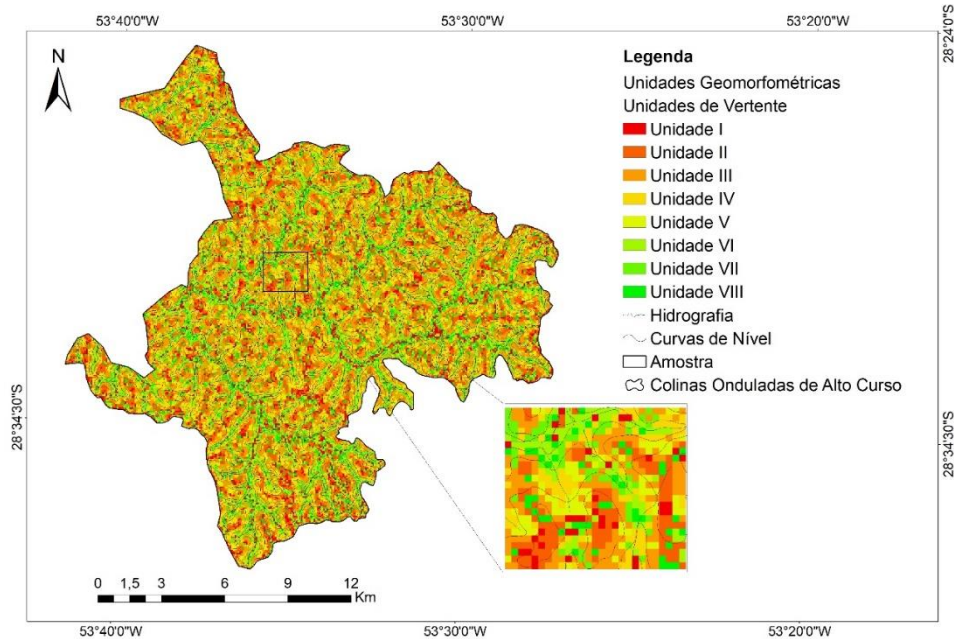
As unidades de 05 a 08 se expressam da seguinte forma nas Colinas Onduladas em Arenito: Unidade 05 (2,1 Km² equivalentes a 10,6% da área); Unidade 06 (2,8 Km² equivalentes a 10,6 % da área); Unidade 07 (1,4 Km² equivalentes a 6,9% da área); e Unidade 08 (1,2 equivalente a 5,9% da área). A figura 48 ilustra estas informações. As unidades com declividade menor que 5% determinam uma maior potencialidade de processos pedogenéticos.

Figura 48: Distribuição das Unidades Geomorfométricas de 05 a 08 na Unidade de Relevo Colinas Onduladas em Arenito.



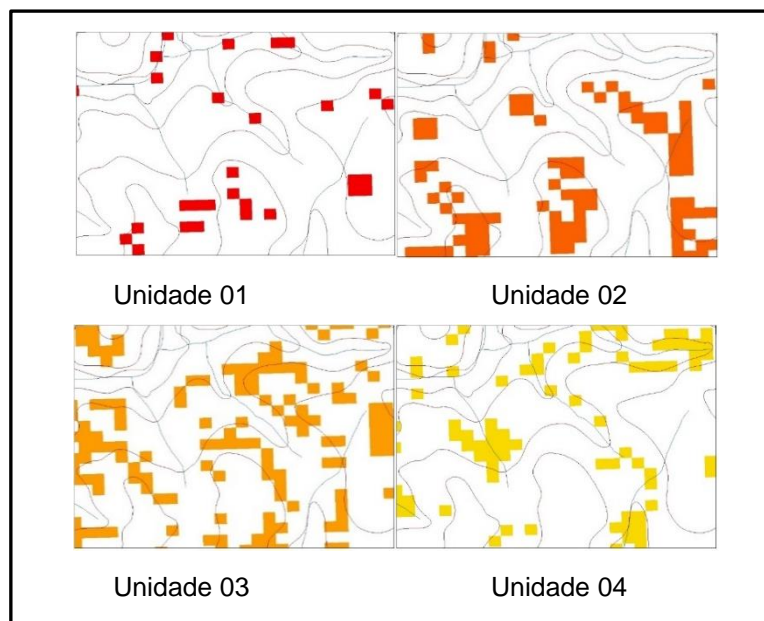
Na unidade de relevo *Colinas Onduladas de Alto Curso*, as vertentes com declividade superior a 5% são predominantes, com destaque para a unidade 02 com potencial de processos morfogenéticos na convergência de fluxo na convexidade da baixa vertente. Para a unidade 03, que é a mais significativa na unidade, pode apresentar processos morfogenéticos no topo da vertente devido a sua concavidade. (Figura 49)

Figura 49: Mapa da distribuição das Unidades Geomorfométricas nas Colinas Onduladas de Alto Curso, com detalhe para a área amostral extraída para análise visual com maior detalhe.



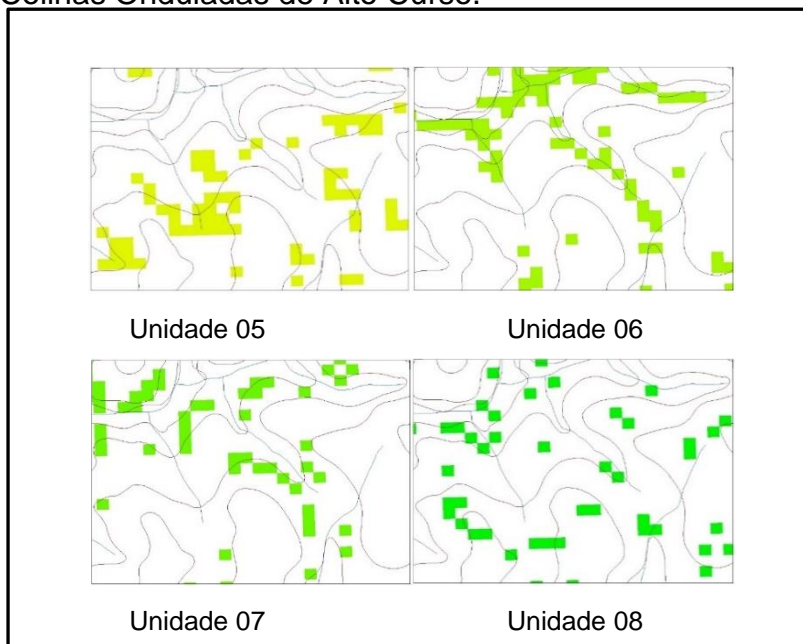
A unidade de *Colinas Onduladas de Alto Curso* possuem as Unidades Geomorfométricas distribuídas em sua área com a seguinte distribuição: Unidade 01 (17,1 Km² equivalentes a 6,8% da área); Unidade 02 (33,1 Km², equivalentes a 13,2% da área); Unidade 03 (55,8 Km² equivalentes a 22,3% da área); Unidade 04 (42,4 Km² equivalentes a 16,9 % da área). (Figura 50)

Figura 50: Distribuição das Unidades Geomorfométricas de 01 a 04 na Unidade de Relevo Colinas Onduladas de Alto Curso.



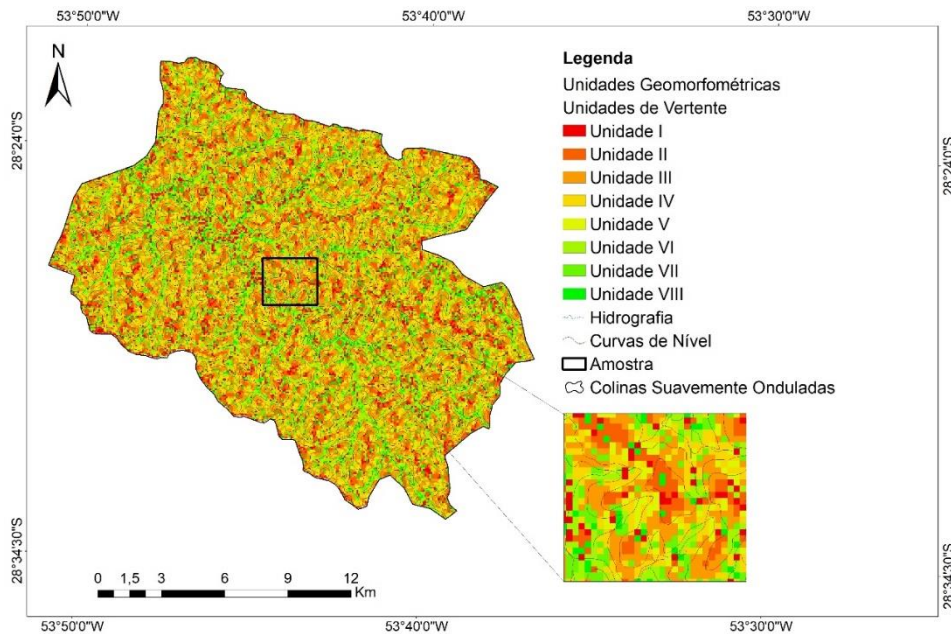
As Unidades Geomorfométricas de 05 a 08 possuem distribuição espacial da seguinte forma: Unidade 05 (26 Km² equivalentes a 10,4% da área); Unidade 06 (33,7 Km² equivalentes a 13,4 % da área); Unidade 07 (26,2 Km² equivalente a 10,4% da área); e Unidade 08 (15,4 Km² equivalente a 6,1% da área). A figura 51 ilustra estas informações.

Figura 51: Distribuição das Unidades Geomorfométricas de 05 a 08 na Unidade de Relevo Colinas Onduladas de Alto Curso.



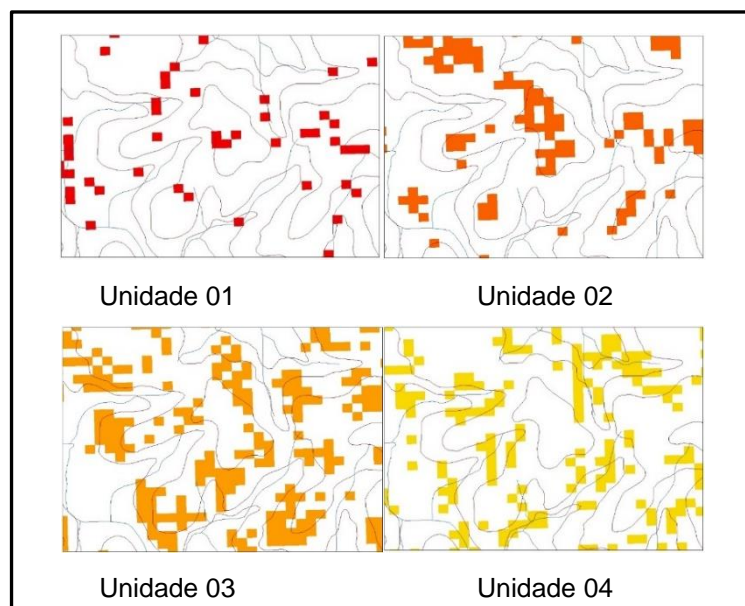
Nas Colinas Suavemente Onduladas, as Unidades Geomorfométricas com inclinação menor que 5% são predominantes, fato que evidencia a maior potencialidade de processos pedogenéticos. A distribuição espacial das unidades é apresentada na figura 52.

Figura 52: Mapa da distribuição das unidades Geomorfométricas na unidade de relevo de Colinas Suavemente Onduladas com destaque para a área amostral extraída para análise visual com maior detalhe.



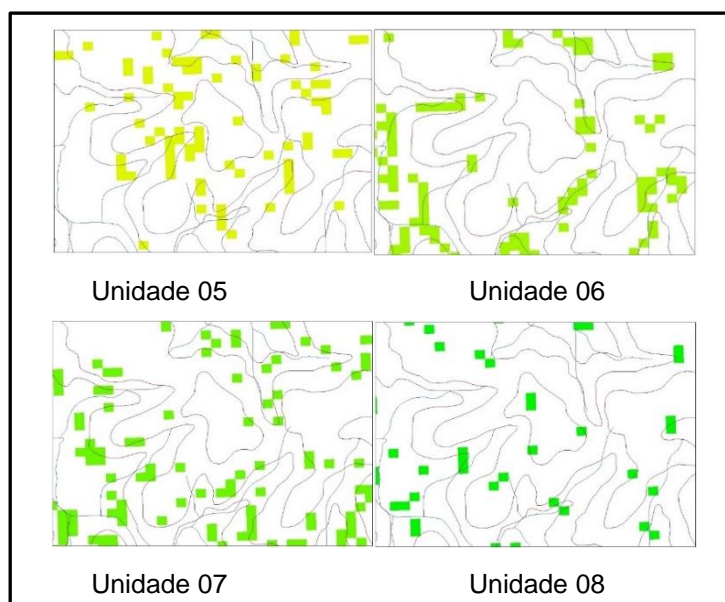
Porém as unidades de 1 a 4 possuem sua relevância e estão distribuídas da seguinte forma na unidade de relevo: Unidade 01 (16,9 Km² equivalentes a 6,1 da área); Unidade 02 (33,1 Km², equivalentes a 12% da área); Unidade 03 (67,3 Km² equivalentes a 24,4% da área); Unidade 04 (52,1 Km² equivalentes a 18,9 % da área). Estas informações podem ser visualizadas separadamente na figura 53.

Figura 53: Distribuição das Unidades Geomorfométricas de 01 a 04 na Unidade de Relevo Colinas Suavemente Onduladas.



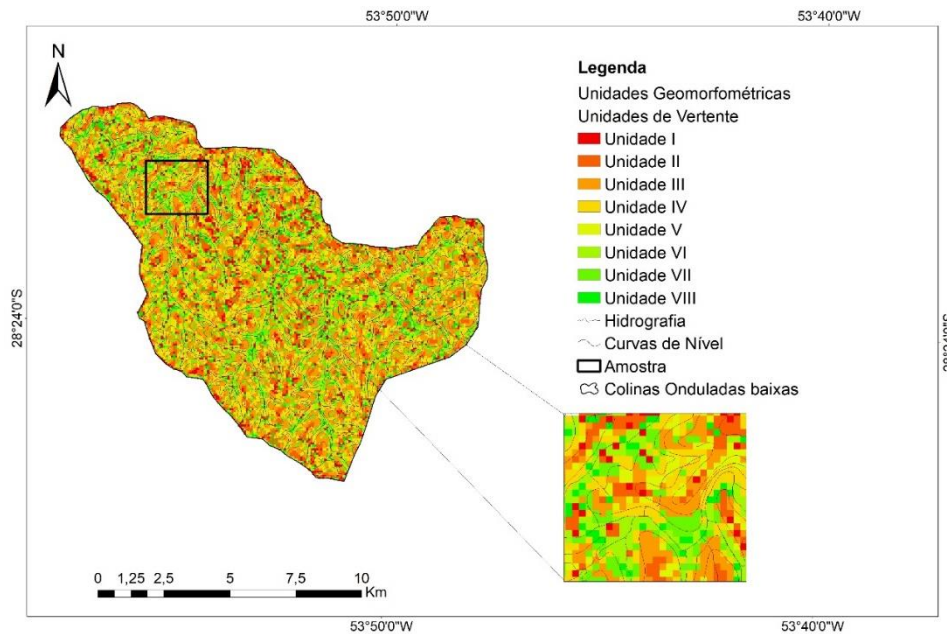
As unidades de 05 a 08 se expressam da seguinte forma nas Colinas Suavemente Onduladas: Unidade 05 (27,8 Km² equivalentes a 10,1% da área); Unidade 06 (33,6 Km² equivalentes a 12,2 % da área); Unidade 07 (31,6 Km² equivalente a 11,5% da área); e Unidade 08 (17,9 Km² equivalente a 5,4% da área). A figura 54 ilustra estas informações.

Figura 54: Distribuição das Unidades Geomorfométricas de 05 a 08 na Unidade de Relevo Colinas Suavemente Onduladas.



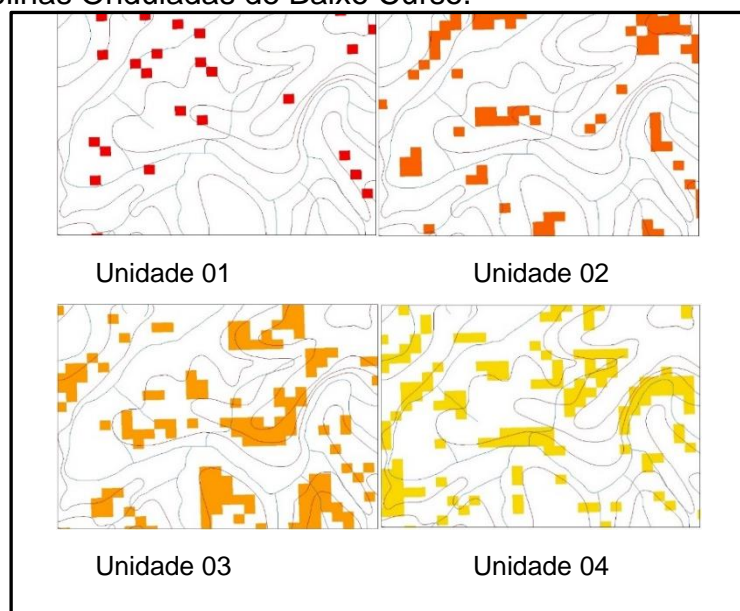
Os processos morfogenéticos possuem grande potencial nas *Colinas Onduladas de Baixo Curso*, pois o relevo apresenta uma predominância de unidades com declividade maior que 5%, na concavidade ou convexidade da vertente, o que potencializa eventos superficiais lineares ou laminares. A distribuição das unidades geomorfométricas ao longo desta unidade de relevo é visualizada na figura 55.

Figura 55: Distribuição das Unidades Geomorfométricas na unidade de relevo de Colinas Onduladas de Baixo Curso, com destaque para a área amostral extraída para a análise visual em maior detalhe.



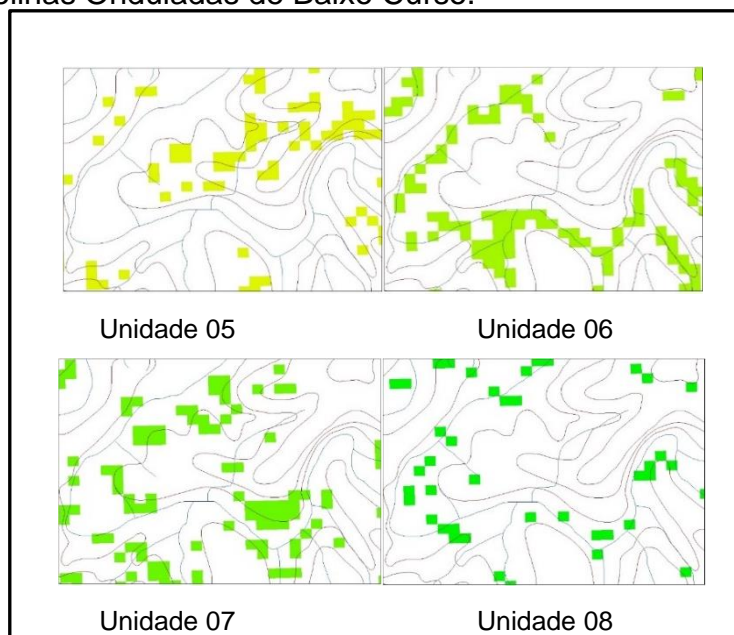
Na unidade de relevo das *Colinas Onduladas de Baixo Curso*, as Unidades Geomorfométricas de 01 a 04 com maior potencial morfogenético voltam a ser predominantes, e estão assim distribuídas: Unidade 01 (7,1 Km² equivalentes a 6,1% da área); Unidade 02 (12,1 Km², equivalentes a 10,7% da área); Unidade 03 (27,2 Km² equivalentes a 23,6% da área); Unidade 04 (22,4 Km² equivalentes a 19,4 % da área). Estas informações podem ser visualizadas separadamente na figura 56. Essas unidades tem seu potencial erosivo reforçado pelos Cambissolos ao longo das vertentes.

Figura 56: Distribuição das Unidades Geomorfométricas de 01 a 04 na Unidade de Relevo Colinas Onduladas de Baixo Curso.



As unidades Geomorfométricas de 05 a 08 expressam-se na unidade de Colinas Onduladas de baixo Curso com a seguinte distribuição espacial: Unidade 05 (12,2 Km² equivalentes a 10,6% da área); Unidade 06 (13,9 Km² equivalentes a 12,1 % da área); Unidade 07 (14,1 Km² equivalente a 12,2% da área); e Unidade 08 (6 Km² equivalentes a 5,2% da área). A figura 57 ilustra estas informações.

Figura 57: Distribuição das Unidades Geomorfométricas de 05 a 08 na Unidade de Relevo Colinas Onduladas de Baixo Curso.



Na unidade de relevo das *Áreas Planas Aluviais*, as Unidades Geomorfométricas distribuídas da seguinte forma: Unidade 01 (1 Km² equivalente a 24,8% da área); Unidade 02 (0,8 Km², equivalentes a 19,9% da área); Unidade 06 (1,7 Km² equivalentes a 40% da área); e Unidade 08 (0,6 Km² equivalentes a 17,4% da área). A figura 56 ilustra estas informações. As unidades 03, 04, 05 e 07 não existem na referida unidade de relevo. Esta unidade possui uma razão espacial reduzida e fragmentada ao longo da bacia, condição que torna a cartografia das áreas bastante difícil e com escala e resolução espacial muito diferente das demais, o que levou a decisão de não apresentar mapas da unidade de relevo de *Áreas Planas Aluviais* de forma isolada.

De forma geral as unidades de vertente apresentam características que se confundem com os processos de dinâmica superficial atuais. Nas Colinas Onduladas em Arenito, unidades de vertentes com inclinação maior que 5% e plano convergente são propícias para os processos morfogenéticos, pois são

potencializados pelo substrato rochoso em Arenito. Nas *Colinas Onduladas de Alto Curso*, as vertentes com predomínio de inclinações superiores a 5% formam porções divergentes, com alguns entalhamentos mais inclinados marcados pela unidade 02. Nas unidades de *Colinas Suavemente Onduladas* e *Colinas Onduladas de Baixo Curso*, as unidades de 01 a 04 têm seu potencial erosivo potencializado pelos solos pouco desenvolvidos (Cambissolos) ao longo das vertentes ao longo do baixo curso da bacia.

4.7. USO E COBERTURA DA TERRA

Os diferentes usos antrópicos e os remanescentes da cobertura de vegetação natural sobre a área da bacia hidrográfica do rio Potiribu são aqui apresentados em sua variação quanto ao rural e o urbano. As áreas rurais são predominantes na bacia e, portanto, exigem maior destaque na descrição quanto às distribuições espaciais dos fenômenos antrópicos e naturais.

A bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS, possui área de 663,6 km² e abrange áreas territoriais de 5 municípios do Rio Grande do Sul, sendo eles, Ijuí, Cruz Alta, Pejuçara, Bozano e Boa Vista do Cadeado, conforme Figura 01, página 17, no primeiro capítulo desta tese.

Nenhum dos municípios inseridos na bacia do Potiribu possui o total de sua área territorial dentro dos limites naturais da área de estudo, assim, as áreas municipais mapeadas são fragmentos das áreas totais destes municípios. Já os dados de população apresentados não refletem a população total dentro da bacia, mas sim o valor numérico referente ao total de habitantes de cada município de acordo com os dados estimados pelo IBGE (2019). Estes dados e mais algumas informações relevantes sobre os cinco municípios inseridos na bacia do Potiribu estão na tabela 07.

Tabela 07: Dados referentes aos municípios na bacia do Potiribu.

| Município | Área km ² | Porcentagem % | População total Habitantes | Densidade Demográfica Hab/km ² | Ano de Emancipação |
|----------------------|----------------------|---------------|----------------------------|---|--------------------|
| Boa Vista do Cadeado | 50,27 | 7,57 | 2.470 | 3,48 | 1996 |

| | | | | | |
|-----------|--------|-------|--------|--------|------|
| Bozano | 61,20 | 9,22 | 2.123 | 10,94 | 1996 |
| Cruz Alta | 146,55 | 22,08 | 60.299 | 46,18 | 1833 |
| Ijuí | 145,64 | 21,95 | 83.475 | 114,51 | 1912 |
| Pejuçara | 259,65 | 39,13 | 3.874 | 9,59 | 1965 |

Fontes: Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2010), IBGE (<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>, 2010 e 2019). Elaboração: Rudimar Scheren.

O município de Pejuçara possui a maior área de extensão territorial dentro da bacia, ocupando 39,1% do total, 259,6 Km², enquanto Boa Vista do Cadeado recobre a menor área territorial na bacia, com 7,5%, 50,2 Km². Ijuí é o município que tem a maior população em sua totalidade e que concentra a maior população dentro da bacia, pois apresenta a maior mancha urbana na área, com dados aproximados de 65.000 habitantes do total de 83.475 do município. Na totalidade, Bozano é o município que possui a menor população entre os cinco municípios da bacia e Boa Vista do Cadeado é aquele que tem a menor população dentro da área da bacia, a partir de dados aproximados.

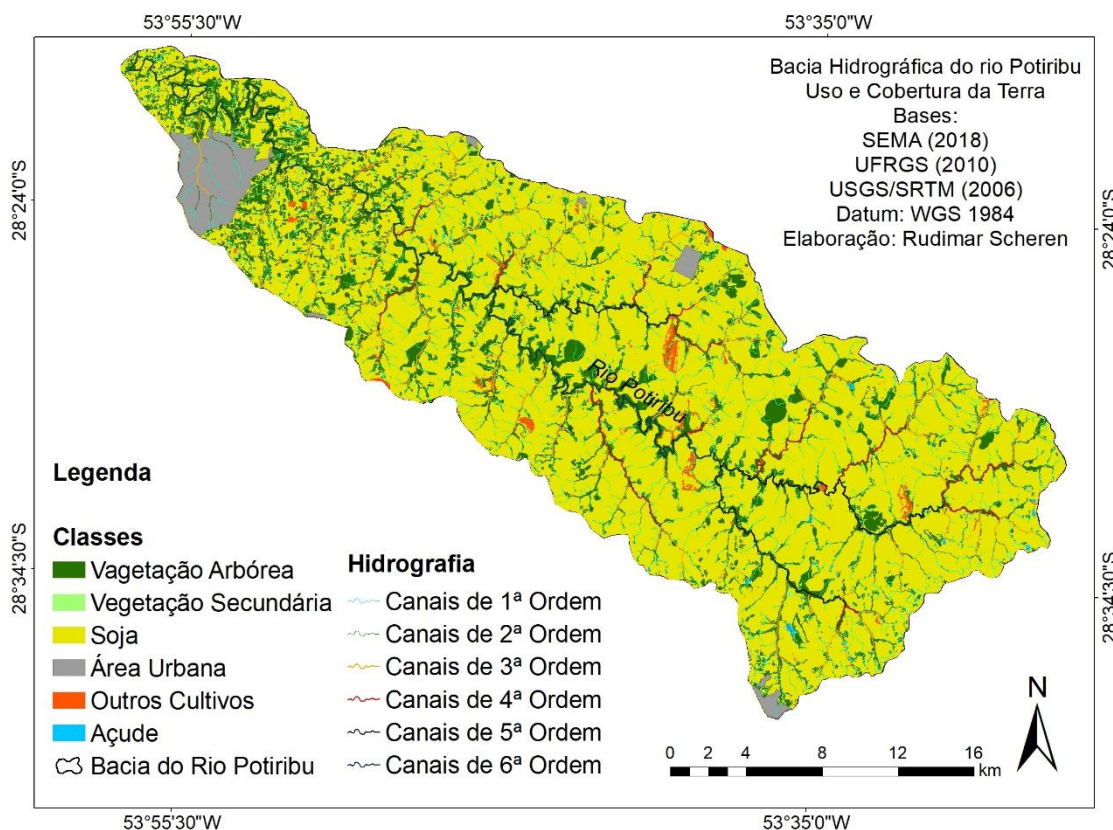
Na área de abrangência da bacia a produção econômica é predominantemente agrícola e dominada pelo binômio “soja e trigo”, com algumas exceções de pastagens e outras culturas que não se enquadram no mercado do agronegócio mundial. Apesar do predomínio das atividades agrícolas, a região é urbanizada, tendo assim diversas atividades econômicas vinculadas ao espaço urbano nos setores secundário e terciário.

O agronegócio para exportação de soja domina a produção agrícola na área da bacia do Potiribu, gerando problemas ambientais relacionados aos conflitos de uso, prejuízo aos elementos naturais e transgressão nas APP. As tensões causadas pelos conflitos de uso e a expansão da cultura agrícola negligenciando a legislação, coloca a região em vias de uma potencial crise econômica e social, tendo em vista que a oscilação dos produtos oriundos do agronegócio no mercado mundial pode gerar dificuldades financeiras para os pequenos produtores rurais. Desta forma, a destruição da natureza na área da bacia ocasiona transtornos ambientais e conflitos de uso em nome de uma falsa percepção de solidez econômica, quando a realidade aponta para problemas associados à exaustão dos elementos naturais, destruição do passivo ambiental e declínio do modelo de produção regido pelo agronegócio, em detrimento à

práticas mais ambientalmente conscientes como a agroecologia e as agroflorestas.

No mapa de uso e cobertura da terra (Figura 58), a pouca ocorrência da Vegetação Arbórea (Mata Atlântica) onde avançam as culturas agrícolas dialoga com estudos que afirmam que restam cerca de 12% deste bioma em território nacional. Na bacia do Potiribu, grande parte de sua área original da Mata Atlântica foi suprimida para a instalação dos empreendimentos agrícolas. A vegetação nativa encontra-se preservada de forma irregular, apenas nas áreas de mata ciliar, com alguns relictos também referentes às áreas de Reserva Legal em propriedades agrícolas.

Figura 58: Mapa de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Potiribu, RS.



Além da Mata Atlântica, como esta região está em limite de áreas de transição deste bioma com o bioma e o Pampa, também se apresentam vegetações rasteiras, alusivas à campos, que foram nomeadas como vegetação secundária, que podem estar associadas a solos hidromórficos e áreas úmidas.

Os relictos de vegetação natural estão relegados às áreas de preservação permanente ao longo dos canais fluviais, em torno das nascentes e em áreas de

reserva legal, não muito comumente respeitadas na região. A vegetação foi classificada em duas categorias, vegetação arbórea, sendo a vegetação primária que contém espécimes da Mata Atlântica, e somam 78,7 km², equivalentes a 11,8% do total da bacia, e vegetação secundária, que apresenta espécimes de vegetação arbustiva, campestre e hidromórfica, cobrindo 14,6km² da área, referentes a 2,2% da área.

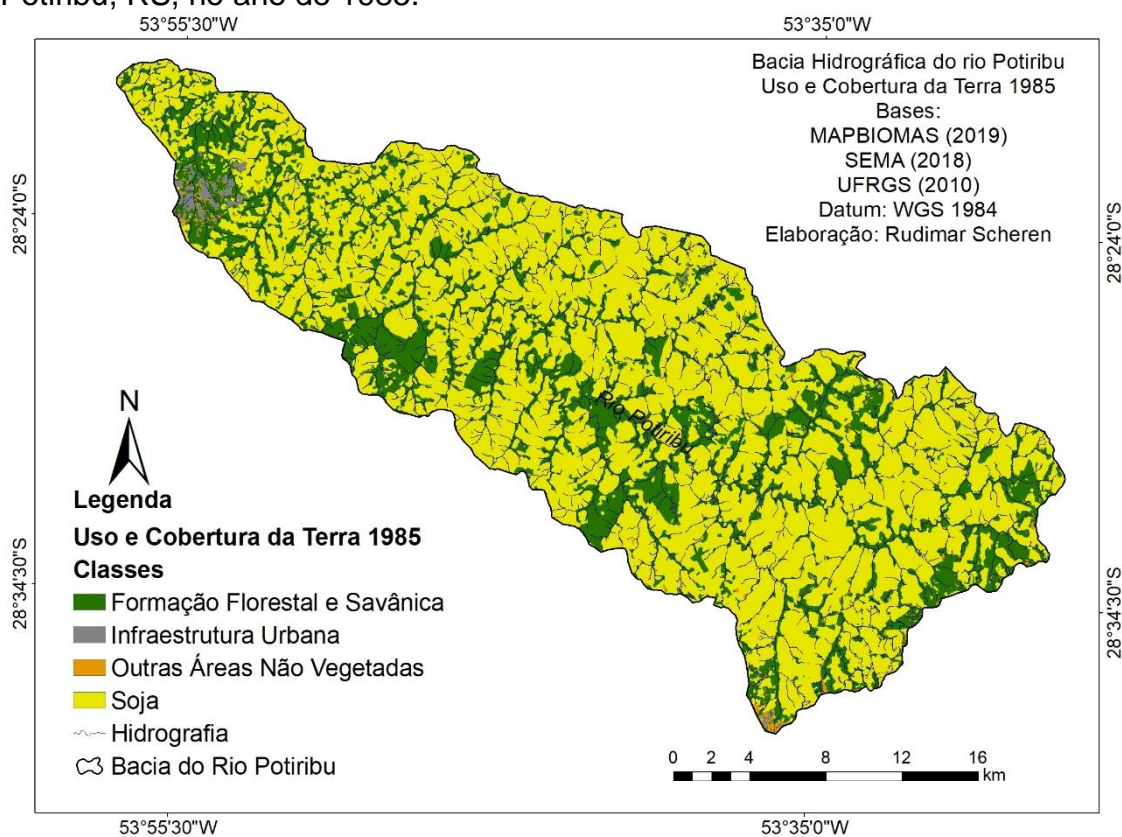
O uso agrícola é intenso e o plantio de soja é o mais destacado, sendo em alguns casos, substituído pelo cultivo de trigo e pastagens na cultura de inverno. Algumas pastagens são culturas frequentes, pois estão ligadas à pecuária leiteira em pequenas propriedades rurais. As pastagens e áreas com cultivos como o milho foram definidas no mapeamento na classe “outros cultivos” por representarem somados pequena razão espacial na bacia.

As áreas agrícolas com o cultivo da soja são responsáveis por ocupar 82,1% da área da bacia, representados por 544,3 km². A cultura de soja é substituída em alguns lugares pelo trigo, na chamada cultura de inverno, prática que vem sendo abandonada nos últimos anos devido à queda do preço de mercado do trigo nacional. Outros usos agropecuários são realizados na área, como a plantação de pastagens forrageiras, e de cultivos menores como milho e mandioca, e ainda a criação de animais, como o gado e a piscicultura. Somados estes usos, que foram classificados na categoria de outros cultivos, somam 3km², equivalentes a 0,4% da bacia. A piscicultura foi representada em uma classe separada denominada de “açudes”, que também ocupam pequenas parcelas do espaço, cobrindo 1,2 km² que representam 0,1% da área da bacia. Os açudes também são utilizados como reservatórios para a irrigação de plantações.

Com o objetivo de analisar a evolução do uso e cobertura da terra na bacia do Potiribu, e compreender as transformações antrópicas ocorridas no tempo e espaço, foram analisados dados do projeto MAPBIOMAS, que realiza mapeamentos de uso e cobertura da terra, analisando as mudanças ocorridas na superfície. O ano de 1985, primeiro ano de mapeamento realizado pelo projeto MAPBIOMAS, e o ano de 2013, primeiro ano de vigência do novo Código Florestal Brasileiro, Lei 12.651, de 25 de maio de 2012, geram informações complementares à classificação realizada a partir da imagem Sentinel de 01/04/2019.

O mapa resultante a partir dos dados espaciais obtidos para o ano de 1985 oferece a percepção visual de maior presença de vegetação nativa, classificada como Formação Florestal e Savânica, e menor presença dos cultivos agrícolas, especialmente a soja, que já em 1985, apresentava significativa presença na região noroeste do RS em consequência da chamada “Revolução Verde¹²”. A Figura 59 apresenta o mapa de uso e cobertura da terra na bacia do rio Potiribu no ano de 1985.

Figura 59: Mapa de Uso e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS, no ano de 1985.



Fonte: Projeto MAPBIOMAS. Adaptado pelo autor.

¹² A expressão “Revolução Verde” é empregada para designar o processo de transformação na agricultura em escala global que se deu por meio do desenvolvimento e incorporação de novos meios tecnológicos na produção. De acordo com SILVA (1996), o termo “modernização da agricultura” é utilizado para designar a transformação na base técnica da produção agropecuária no pós-guerra as modificações intensas da produção no campo e das relações capital x trabalho. Esse período é marcado pela dependência do mercado externo dos meios de produção. Assim, a consolidação efetiva da agricultura moderna ocorreu a partir de 1960, com a adoção das inovações tecnológicas no processo produtivo (inovações agrônomicas, físico-químicas, biológicas) e com a constituição dos complexos agroindustriais, o que gerou uma nova configuração socioeconômica e espacial para o campo brasileiro (MATTOS & PESSÔA, 2011).

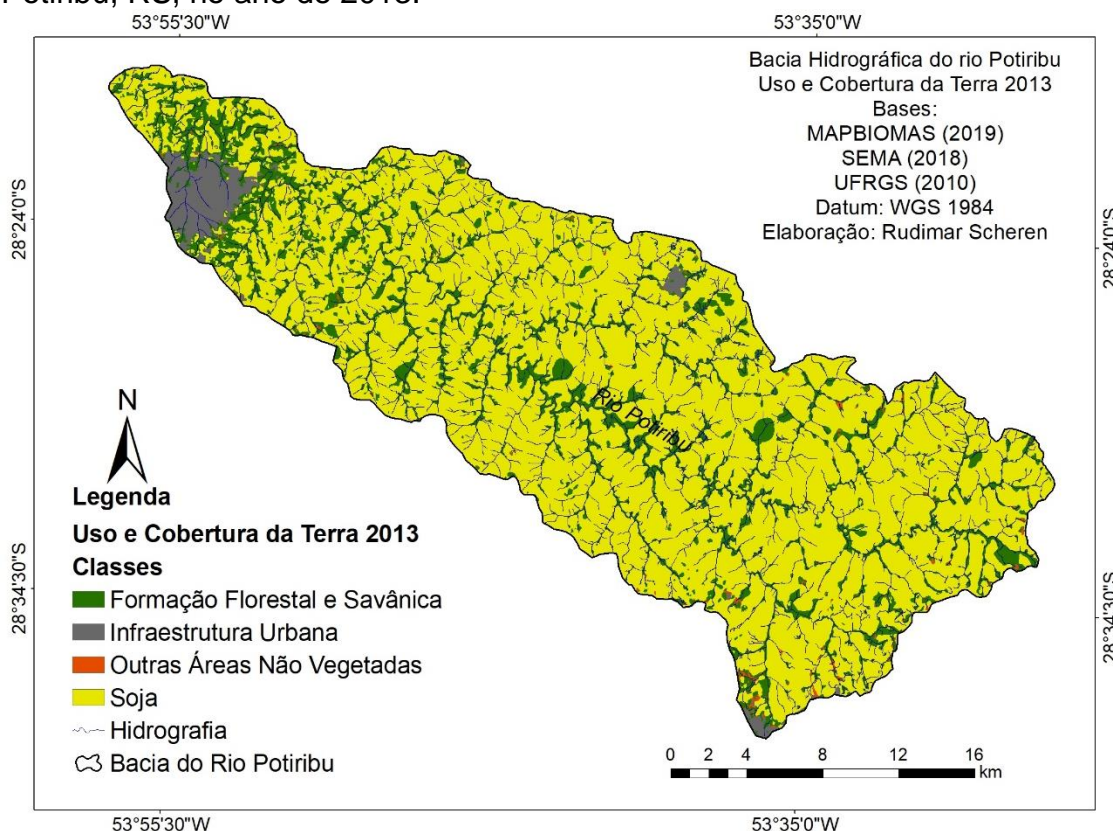
A Tabela 08 apresenta os dados relativos às quatro classes de uso e cobertura destacadas nesta pesquisa com o objetivo de comparar os dados em uma pequena série temporal.

Tabela 08: Distribuição das classes de uso do solo na Bacia do Potiribu em 1985.

| Classes | Área | |
|-------------------------------|-----------------|-------|
| | Km ² | % |
| Formação Florestal e Savânica | 185,47 | 27,95 |
| Infraestrutura Urbana | 4,034299 | 0,60 |
| Outras Áreas Não Vegetadas | 3,941595 | 0,59 |
| Soja | 470,014821 | 70,83 |

As características de uso e cobertura da terra para o ano de 2013, obtidas a partir dos dados do projeto MAPBIOMAS apresentam valores numéricos e efeito visual cartográfico muito mais próximos àqueles que foram extraídos no processo de classificação da imagem Sentinel-A2, nesta pesquisa. A predominância do cultivo da soja ocupando mais espaço e avançando sobre as áreas de vegetação, e as áreas urbanas apresentando crescimento significativo, conforme a Figura 60.

Figura 60: Mapa de Uso e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS, no ano de 2013.



Fonte: Projeto MAPBIOMAS. Adaptado pelo autor.

Os dados apresentados na Tabela 09 dão conta de expressar a redução da vegetação nativa em relação ao ano de 1985, com valores muito aproximados de 2019.

Tabela 09: Distribuição das classes de uso do solo na Bacia do Potiribu em 2013.

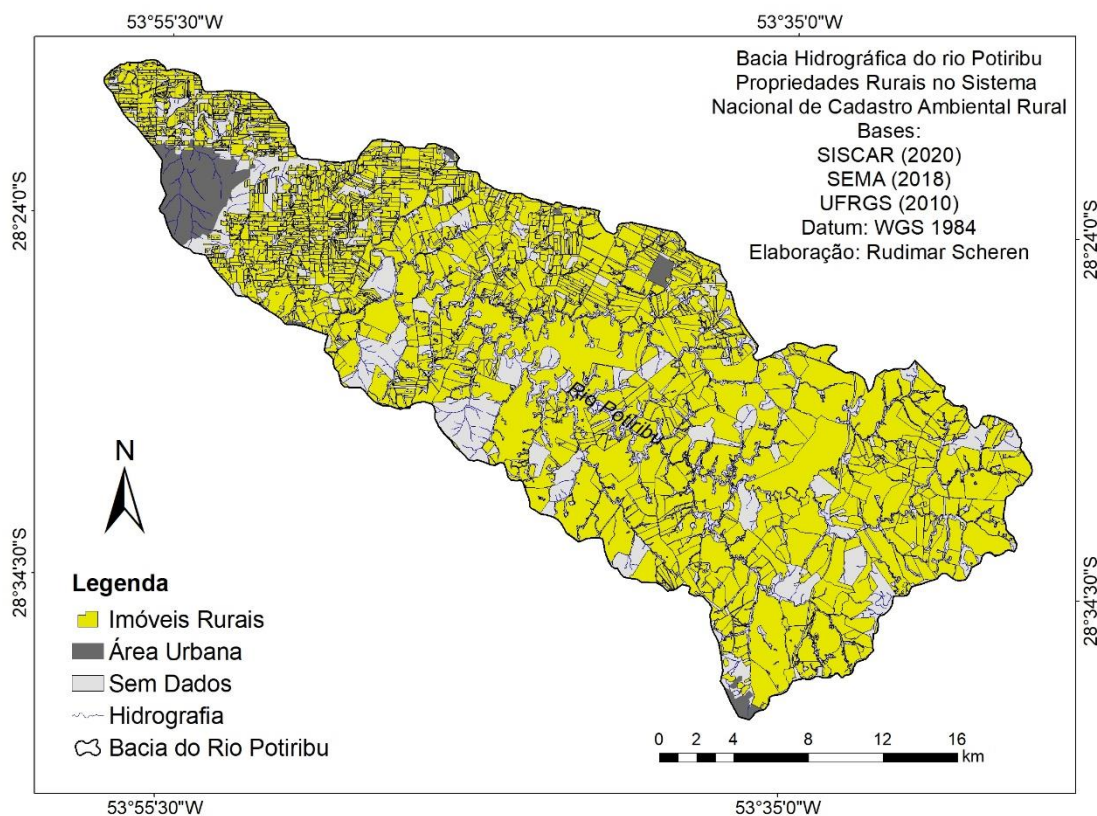
| Classes | Área | |
|-------------------------------|-----------------|-------|
| | Km ² | % |
| Formação Florestal e Savânica | 109,86 | 16,55 |
| Infraestrutura Urbana | 17,56 | 2,64 |
| Outras Áreas Não Vegetadas | 2,88 | 0,43 |
| Soja | 533,16 | 80,35 |

A estrutura fundiária apresenta contrastes quanto a extensão dos imóveis rurais nos diferentes trechos e municípios da bacia. De acordo com dados do

Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SISCAR, 2020), do Serviço Florestal Brasileiro, nos Alto e Médio Cursos da bacia, áreas dos municípios de Cruz Alta, Pejuçara e Boa Vista do Cadeado, há uma predominância de imóveis rurais que variam das centenas de Hectares, atingindo até mais de 1000 hectares, em alguns casos. Enquanto que no baixo curso, nos municípios de Ijuí e Bozano, existe a predominância de imóveis rurais com poucas dezenas de hectares, e em muitos casos, até menos de 10 hectares.

Esta desigualdade na estrutura fundiária na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu é perceptível visualmente na carta de imóveis rurais da bacia apresentada na Figura 61.

Figura 61: Mapa de Imóveis Rurais na Bacia Hidrográfica do Rio Potiribu, RS.



Fonte: SISCAR 2020.

Na bacia encontram-se significativos espaços urbanizados, referentes à grande parte da área urbana do município de Ijuí, fragmentos das áreas urbanas de Cruz Alta e Bozano, toda a área urbana de Pejuçara, e alguns povoados, somando um total de 20,8 km² de área urbana na bacia, referentes a 3,1% do uso e cobertura da terra em toda a área de estudo. Na figura 62 é possível

visualizar extensas áreas de cultivo de soja, a mata ciliar ao longo de cursos hídricos e ao fundo a área urbana do município de Cruz Alta, RS.

Figura 62: áreas de cultivo de soja com a mata ciliar ao longo de cursos hídricos e ao fundo a área urbana.



Foto: Trabalho de campo. Data: 15/01/2020. Coordenadas geográficas: S28°32'42.58", W53°36'10.74".

A bacia do rio Potiribu apresenta potencialidades para o cultivo agrícola devido aos Latossolos bastante desenvolvidos e clima favorável para o desenvolvimento de diversas culturas. Da mesma forma, a bacia apresenta áreas com potencial de ocupação urbana por sustentar locais cuja conformação fisiográfica oferece segurança para as populações humanas.

Porém, existem áreas de conflito de uso devido ao avanço da produção agrícola em Áreas de Preservação Permanente, que configuram ações antrópicas como agentes externos que comprometem as dinâmicas naturais do ciclo hidrológico e do balanço morfogênese/pedogênese, por exemplo, ocasionando redução da qualidade ambiental. Por outro lado, ocorrem ocupações humanas que avançam sobre os vales fluviais e APP que se configuram em áreas de risco de inundações.

Na especificidade dos conflitos entre preservação/degradação ambiental, existem áreas no âmbito da bacia do Potiribu com características naturais que podem ser consideradas como áreas de conservação da natureza, pelo seu

estado de manutenção de elementos naturais. Estas situações são exemplificadas em áreas onde a vegetação recobre cabeceiras de drenagem, nascentes, áreas ciliares e áreas de encostas com declividades acentuadas.

No entanto, existem áreas que necessitam de práticas de recuperação ambiental. São espaços que apresentam elementos naturais como nascentes, margens e vertentes declivosas ou ambientes fisicamente mais frágeis com solos menos desenvolvidos, sobre as quais ocorrem atividades humanas de forma intensa, especialmente a produção agrícola.

CAPÍTULO 5

5. ZONEAMENTO DE SISTEMAS GEOAMBIENTAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTIRIBU, RS.

O Zoneamento de Sistemas Geoambientais na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS, consolida os objetivos desta pesquisa ao realizar o cruzamento das variáveis obtidas ao longo do processo de construção da presente tese, na busca de identificar zonas com características homogêneas entre si e heterogêneas no conjunto da paisagem.

A pesquisa geoambiental oferece variadas formas de perceber a paisagem e seus elementos, que interrelacionados despertam a percepção acerca de suas especificidades no campo da análise geográfica. Deste modo, o conhecimento dos elementos que formam a paisagem são fundamentais para a gestão ambiental, com ênfase nas potencialidades e suscetibilidades apresentadas pelo meio.

O embasamento litológico, os solos, a geomorfologia, os remanescentes da vegetação natural e os usos antrópicos, ao serem analisados de forma integrada, indicam diferentes situações no conjunto da paisagem, revelando diferentes zonas com potencialidades e suscetibilidades. As suscetibilidades nas áreas rurais estão associadas aos processos erosivos que podem afetar além do solo, até o substrato rochosos. Além disso, a degradação dos cursos fluviais associada ao desrespeito à legislação ambiental na manutenção dos recursos hídricos e a prática de manejo irresponsável nos usos da terra, a retirada das matas ciliares caracterizadas como Áreas de Preservação Permanente. Nas áreas urbanas a suscetibilidade está ligada a processos fluviais que geram inundações e à erosão de margem ao longo de vales e canais fluviais.

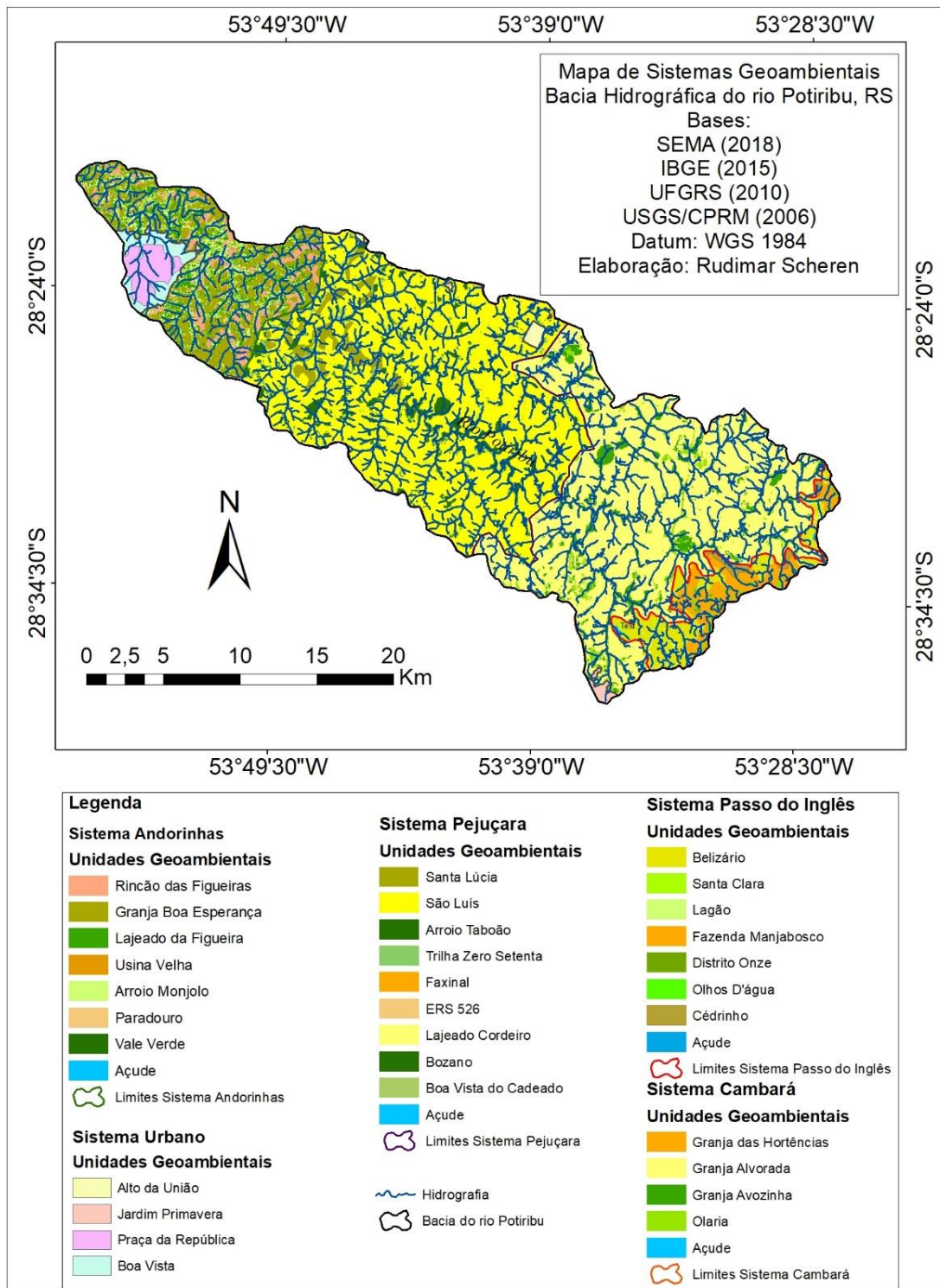
Na bacia do rio Potiribu, o Zoneamento Geoambiental se estabeleceu em dois níveis taxonômicos, sendo que o maior nível delimita os Sistemas Geoambientais, que, por sua vez, são subdivididos em níveis taxonômicos menores que são as Unidades Geoambientais.

Ao longo da área da bacia existem diferentes condições ambientais reveladas pelo Zoneamento dos Sistemas Geoambientais, que despertam

diferentes olhares científicos e exigem estratégias de planejamento para o manejo da terra e para a preservação das dinâmicas ambientais. Desta forma, a cartografia Geoambiental resultou em um Zoneamento de Sistemas e Unidades Geoambientais, com base nas principais características determinadas pela relação das variáveis analisadas na bacia do rio Potiribu. Os dados referentes ao substrato rochoso, aos solos, ao relevo e ao uso e cobertura da terra foram cruzados, gerando novas informações quanto às condições e restrições ambientais, limitações de uso e consequentes aptidões ambientais.

Conforme afirmado, cada Sistema Geoambiental é resultado da análise integrada de um conjunto de elementos, que de forma holística indicam a abordagem geral que caracteriza um sistema autônomo dentro da área da bacia. De forma sequencial, por sua vez, cada sistema possui em sua área as subdivisões em Unidades Geoambientais, que tornam a análise do ambiente mais detalhada, apresentando a dinâmica e os processos de forma individualizada dentro de cada sistema, conforme Figura 63.

Figura 63: Mapa de Sistemas Geoambientais na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS. Apresenta a distribuição dos Sistemas e Unidades Geoambientais na Bacia do rio Potiribu, RS.



Na Tabela 10 a distribuição espacial dos Sistemas Geoambientais na área da bacia do Potiribu.

Tabela 10: Distribuição dos Sistemas Geoambientais na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS.

| Sistema Geoambiental | Área | |
|-------------------------|-----------------|-------|
| | Km ² | % |
| Sistema Urbano | 20,62 | 3,10 |
| Sistema Passo do Inglês | 40,33 | 6,07 |
| Sistema Cambara | 225,65 | 34,00 |
| Sistema Pejuçara | 275,81 | 41,86 |
| Sistema Andorinhas | 97,95 | 14,76 |

A análise geoambiental é apresentada a partir da definição e descrição de 05 Sistemas com suas respectivas unidades geoambientais que são: *Sistema Urbano* se divide em 04 Unidades, definidas como Alto União, Jardim Primavera, Boa Vista e Praça da República; o *Sistema Andorinhas* se divide em 07 Unidades sendo Paradoiro, Vale Verde, Rincão das Figueiras, Usina Velha, Granja Boa Esperança, Lajeado da Figueira e Arroio Monjolo; *Sistema Pejuçara* com 09 unidades definidas como ERS 526, Lajeado Cordeiro, Bozano, Boa Vista do Cadeado, Santa Lúcia, Faxinal, São Luiz, Arroio Taboão e Trilha Zero Setenta; *Sistema Passo do Inglês* com 07 Unidades sendo Belzário, Santa Clara, Lagão, Fazenda Manjabosco, Distrito Onze, Olhos D'água e Cedrinho; *Sistema Cambará* com 04 unidades sendo Granja das Hortências, Granja Alvorada, Granja Avozinha e Olaria.

5.1. SISTEMA URBANO.

As áreas urbanas representam 3,1% do total do uso e cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS. Entre as áreas urbanas, a mais significativa, é a sede do município de Ijuí, município mais populoso e com maior densidade demográfica cuja área urbana está alocada em aproximadamente

80% do seu total nos limites da bacia do Potiribu. Ao todo a área urbana de Ijuí ocupa 17 km² na bacia do Potiribu, equivalentes a 82,6% de todas as áreas urbanas da bacia.

O sistema urbano na bacia do Potiribu representa fragmentos da sede municipal de quatro dos cinco municípios inseridos na bacia e de algumas sedes distritais. Desta forma, a definição desse sistema e de suas unidades passou pela análise individualizada de cada uma das áreas urbanas envolvidas na pesquisa. Para quantificar a razão espacial das Unidades Geoambientais do *Sistema Urbano*, que se situa de forma fragmentada na bacia Potiribu, a tabela 11 apresenta a área e a porcentagem de cada uma das unidades dentro do sistema,

Tabela 11: Unidades Geoambientais no *Sistema Urbano*.

| Unidade Geoambiental | Área | | Descrição |
|---------------------------|-----------------|-------|------------------------------------|
| | Km ² | % | |
| <i>Alto da União</i> | 1,9 | 9,48 | Baixa densidade de ocupação |
| <i>Jardim Primavera</i> | 1,6 | 7,81 | Baixo padrão de ocupação Cruz Alta |
| <i>Boa Vista</i> | 8,3 | 40,36 | Baixo padrão de ocupação Ijuí |
| <i>Praça da República</i> | 8,7 | 42,34 | Alto padrão de ocupação Ijuí |

Fonte: Autor

5.1.1. Unidade Boa Vista

A unidade Geoambiental *Boa Vista* representa um conjunto de bairros e regiões da cidade cujos equipamentos urbanos de água e saneamento, coleta de resíduos, infraestrutura de pavimentação de ruas e calçadas, bem como o padrão construtivo das edificações, apresentam condições que configuram um padrão de ocupação urbana de médio a baixo. Ou seja, áreas com predomínio de equipamentos urbanos insuficientes e com edificações precárias. Na unidade

Boa Vista estão as regiões da área urbana de Ijuí de maior suscetibilidade aos riscos de eventos de inundações ocasionada por enxurradas em acumulação pluvial de eventos climáticos convectivos, ou devido a altos índices pluviométricos acumulados por eventos climáticos frontais. Esta constatação vai ao encontro da afirmação de ROBAINA (2008) que explica que a população pobre das cidades, impedida de ter acesso aos escassos recursos naturais do meio urbano ou de se proteger das condições ambientais adversas, é a mais afetada pelos impactos negativos da urbanização.

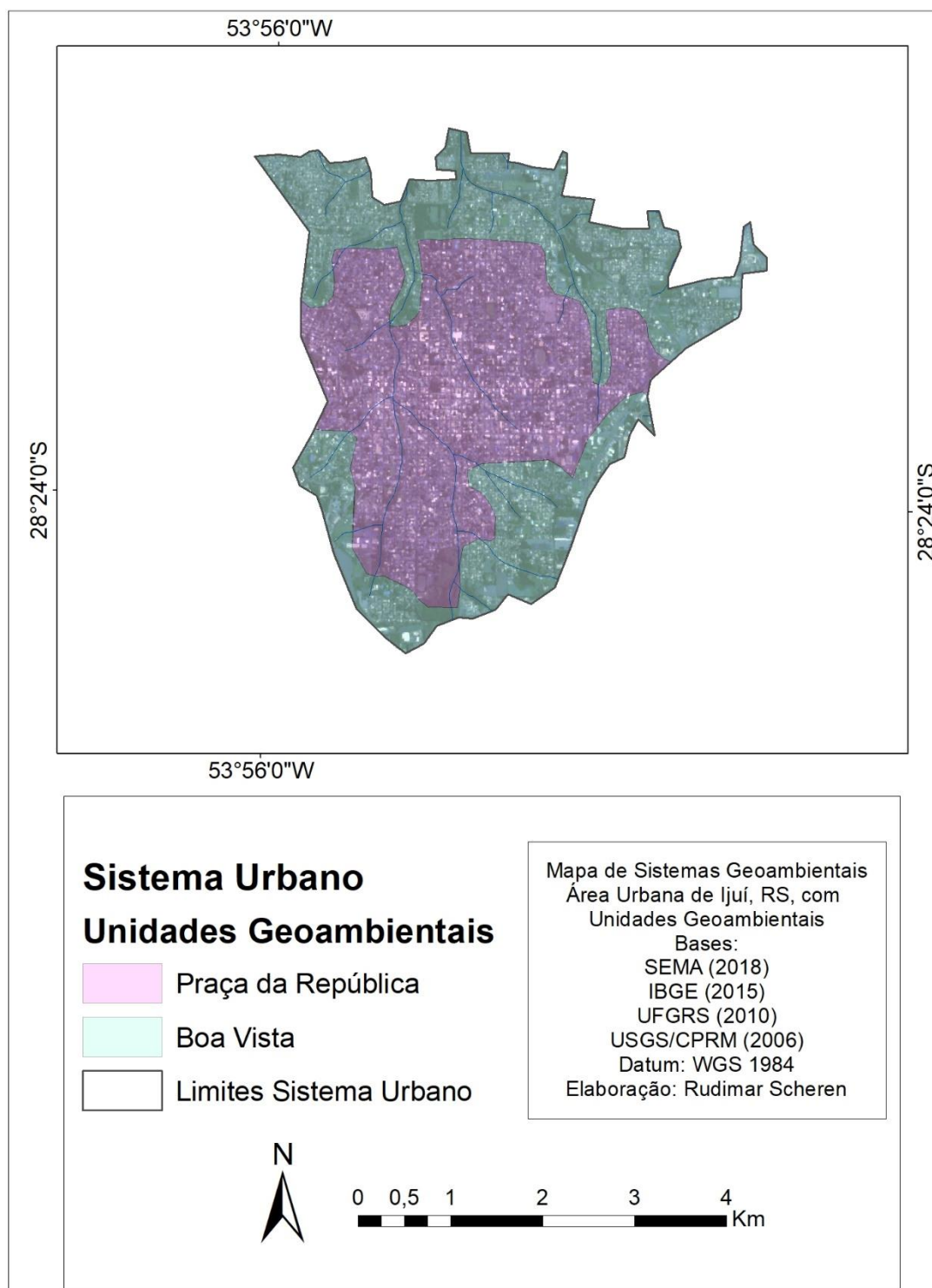
5.1.2. Unidade Praça da República

A Unidade Geoambiental *Praça da República*, localizado na área urbana de Ijuí, representa a generalização de um conjunto de bairros e regiões da cidade com equipamentos urbanos de padrões de médio a alto. Nessa unidade as ruas e calçadas são todas pavimentadas, os equipamentos de saneamento básico são totalmente instalados e eficientes, as edificações apresentam médio a alto padrão construtivo, configurando assim, um padrão urbano médio alto.

A região mais densamente habitada da cidade de Ijuí está alocada na unidade *Praça da República*. É destacado o centro da cidade com significativo crescimento vertical e impermeabilização do solo, o que coloca os vales urbanos em condição de suscetibilidade ao risco de inundações por enxurradas. As inundações bruscas têm ocorrido nos últimos anos em consequência de episódios de grande pluviosidade concentrada por fenômenos de chuva convectiva. As grandes inundações em consequência do acúmulo de chuva ocasionada por frentes frias têm larga escala de recorrência na cidade de Ijuí.

A área urbana de Ijuí se divide na unidade geoambiental *Boa Vista* e na unidade *Praça da República* (Figura 64). Essas unidades geoambientais estão inseridas na unidade de relevo de *Colinas Onduladas de Baixo Curso*, assentadas sobre o substrato de rochas vulcânicas e cobertura pedológica variando em Latossolos e Cambissolos.

Figura 64: Mapa de Unidades Geoambientais na Área Urbana de Ijuí, RS.



A área urbana de Ijuí avançou sobre vários arroios, sendo que um dos principais afluentes do rio Potiribu no município é o Arroio do Moinho, que corta no sentido sul/norte toda a área urbana de Ijuí. O avanço da urbanização sobre este curso d'água e os planos de infraestrutura urbana mal projetados e mal

executados, levaram à canalização do arroio, retificação do canal e supressão da mata ciliar em grande trecho na área central da cidade. Porém, na decorrência de grandes volumes pluviométricos, as dinâmicas fluviais e hidrológicas interrompidas pela ação antrópica insistem em retomar seu espaço com as inundações que ocorrem nas ruas pavimentadas sobre o canal. Estas situações decorrem tanto em eventos convectivos, que podem gerar as enxurradas, conforme a registrada na Figura 65, quanto em eventos frontais que ocasionam as inundações ou enchentes, como as registradas em Ijuí, e em todo o Rio Grande do Sul nos meses de maio de 1941 e 1992, exemplificadas aqui na figura 66.

Figura 65: Área inundada em pavimento sobre a canalização do Arroio do Moinho no Centro de Ijuí, RS, Unidade Praça da República.



Data: 12/03/2019. Coordenadas Geográficas: S 28° 23' 12,44", W 53° 55' 08,50".

Fonte: <https://www.radiocidadesa.com.br/>

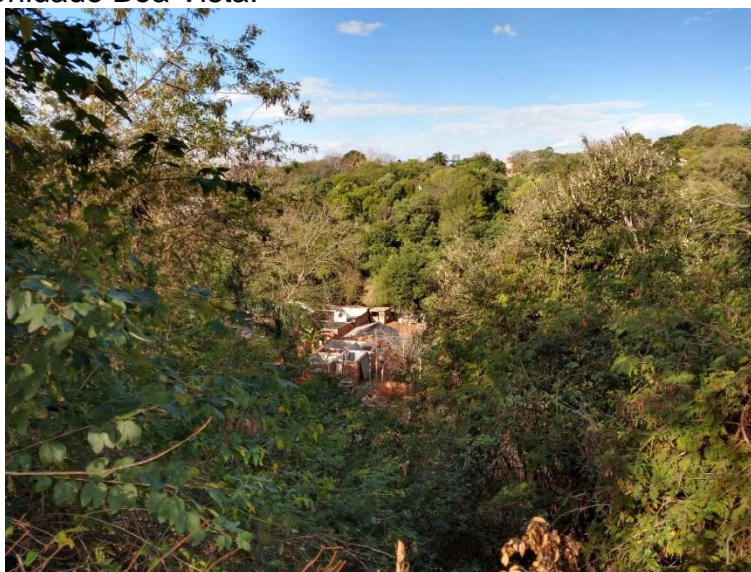
Figura 66: Fotos da maior enchente já registrada em Ijuí, vale fluvial do Arroio do Moinho.



Data: 28/05/1992. Acervo fotográfico Ijuí-RS-Memória Virtual, disponível em <http://ijuisuahistoriaesuagente.blogspot.com/>.

O Arroio do Moinho, tem o seu trecho central canalizado, porém, à jusante do centro da cidade, as águas deixam de ser canalizadas. Nas áreas cortadas pelo arroio sem o canal artificial, bairros de diferentes extratos sociais cresceram ao longo do vale fluvial, e as populações mais vulneráveis economicamente ocupam áreas nas margens com risco de inundações e erosão de margem.

Figura 67: Moradias em bairro de Ijuí, RS, alocadas sobre vale fluvial do Arroio do Moinho, Unidade Boa Vista.



Fotografia: Trabalho de campo. Data. 25/06/2020.
Coordenadas Geográficas: S28°22'48,59", W 53° 55' 08,43".

A suscetibilidade na área urbana de Ijuí tem estreita relação com o relevo. Porém, as ocupações em áreas de planície fluvial, expõe as populações ao risco das inundações, fato também potencializado pela recorrente segregação socioespacial urbana brasileira. Os diferentes padrões de ocupação do espaço urbano de acordo com a divisão da sociedade em classes, coloca as populações de baixa renda em situação de maior exposição.

Figura 68: Moradias em bairro de Ijuí, RS, alocadas em vale fluvial. Unidade Boa Vista.

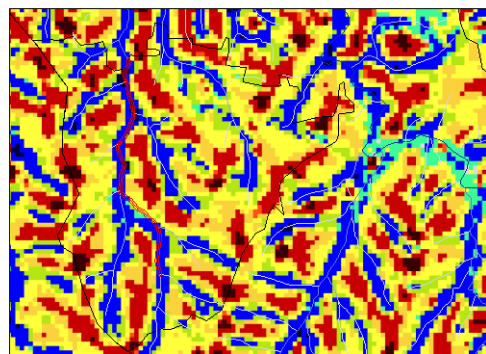
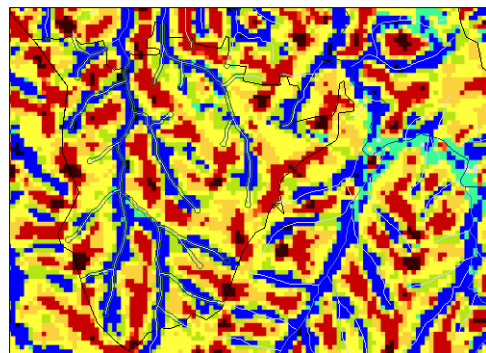
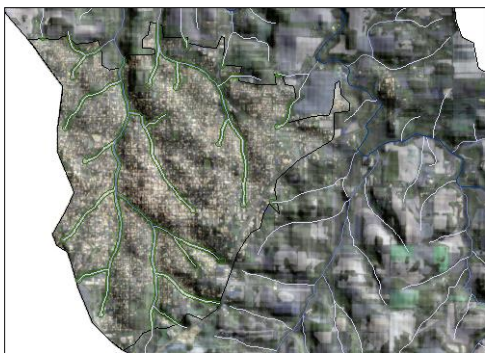
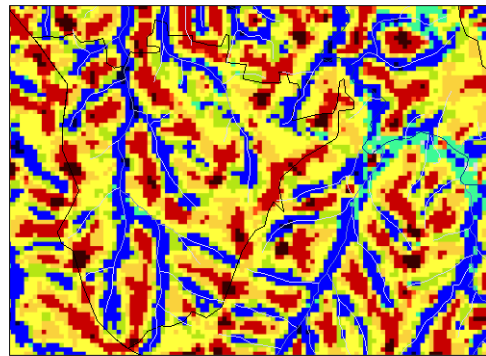


Fotografia: Trabalho de campo. Data. 25/06/2020.
Coordenadas Geográficas: S28°22'48,59", W 53° 55' 08,43".

Para evidenciar a relação das suscetibilidades urbanas com o relevo, a figura 69, apresenta um mosaico que compara imagem da área urbana de Ijuí sobreposta ao relevo sombreado, com os canais fluviais sobrepostos, ao mapa de *Geomorphons* (Elementos de Relevo) da mesma área. Na figura aparecem mapas comparativos da mesma área permite, nas quais temos a visualização dos vales fluviais em azul. Os polígonos em verde representam as APP que deveriam ser respeitadas ao longo dos respectivos canais fluviais, que devido ao processo de urbanização não planejada se encontram com praticamente toda sua área ocupada por implementos urbanos.

Na cor vermelha no mosaico de mapas, o vale fluvial mais suscetível a processos de inundação na área urbana, tanto para processos ocorridos em consequência de grandes volumes convectivos, quanto para as grandes cheias históricas com recorrência de 50 anos. No mesmo vale fluvial são visualizados processos de erosão de margem ocorridos na área à jusante, ainda em área urbana em direção à foz do Arroio do Moinho no rio Potiribu.

Figura 69: Comparação de imagem de satélite Sentinel 02, sobreposta ao relevo sombreado, com os Elementos de Relevo (*Geomorphons*), com destaque para os vales fluviais urbanos.



RGB
 Red: Band_1
 Green: Band_2
 Blue: Band_3
 Relevo Sombreado
 Value
 High : 235
 Low : 81

~ Hidrografia
 ~ Curvas de Nível

Legenda
 Geomorphons
 Elementos de Relevo
 Flat
 Peak
 Ridge
 Shoulder
 Spur
 Slope
 Hollow
 Footslope
 Valley
 Pit



5.1.3. Unidade Jardim Primavera

A Unidade Geoambiental *Jardim Primavera* representa o fragmento urbano da cidade de Cruz Alta, diferenciada de unidade de padrão semelhante em Ijuí pela unidade de relevo e pelo único tipo de solo, além de algumas características socioespaciais serem levemente específicas.

A cidade de Cruz Alta é a segunda maior sede urbana entre os municípios da bacia, porém apenas alguns bairros na periferia da zona norte da cidade estão inseridos na área da bacia hidrográfica do rio Potiribu. Esses bairros apresentam padrão construtivo médio e baixo, assentados sobre um substrato de rochas vulcânicas com cobertura pedológica de Latossolos, na unidade de relevo de *Colinas Onduladas de Alto Curso*.

Em linhas gerais a Unidade Geoambiental *Jardim Primavera*, apresenta estrutura urbana de médio padrão ao baixo padrão construtivo e de implementos urbanos, como a infraestrutura que varia entre ruas e calçadas pavimentadas com instalação de saneamento básico, e ruas e calçadas sem pavimento, com moradias de padrão construtivo baixo e ausência de equipamentos de saneamento básico. Na Figura 70 aspectos da periferia urbana de Cruz Alta que se desenvolveu próximo ao canal fluvial que é afluente do Arroio Cambará, um dos dois principais formadores do rio Potiribu.

Figura 70: Área periférica de Cruz Alta, RS, com moradias próximas a curso d'água.



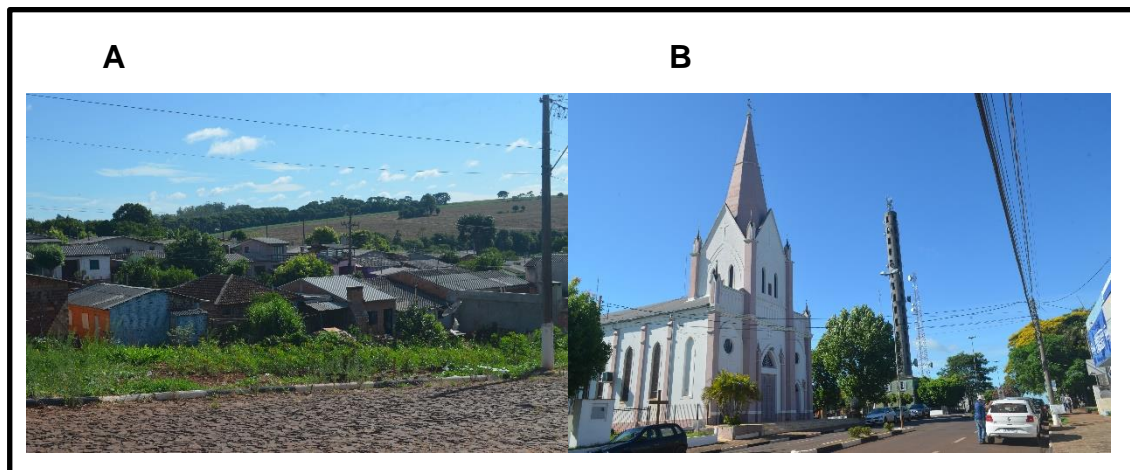
Unidade Jardim Primavera. Fotografia: Trabalho de Campo. Data: 15/01/2020.
Coordenadas Geográficas: S28°37'45.44", W53°35'56.93".

5.1.4. Unidade Alto da União

Na unidade Geoambiental *Alto da União* está o município de Pejuçara que possui o total de sua sede urbana inserida na bacia do Potiribu. A cidade é uma pequena área urbana que se aloca sobre o médio curso da bacia, na unidade de relevo de *Colinas Suavemente Onduladas*, com substrato de rocha vulcânica coberto por Latossolos. A maior parte das áreas construídas apresentam baixa suscetibilidade, devido à infraestrutura urbana bem constituída, com ruas pavimentadas, passeio público, saneamento básico e material construtivo de alto padrão. Neste núcleo urbano existem conjuntos de moradias de padrão médio a baixo que ocupam vertentes em direção a canais fluviais de primeira e segunda ordens, podendo futuramente, na ausência de um plano adequado de expansão urbana, gerar transtornos e expor a população a uma situação de suscetibilidades maiores. Porém, devido à baixa densidade de ocupação, a cidade é praticamente uma vila rural, e foi considerada em uma única unidade geoambiental.

Na Figura 71 aspectos da área urbana de Pejuçara, RS, totalmente inserida na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu.

Figura 71: Aspectos da área urbana de Pejuçara, RS, *Unidade Alto da União*.



Fotografias: Trabalho de campo. Data : 14/01/2020. Coordenadas Geográficas:
A: S28°25'26.20", W53°39'10.21". B: S28°25'25.72", W53°39'25.22".

Outras localidades que também fazem parte da unidade geoambiental *Alto da União*, são caracterizadas pela baixa densidade de ocupação humana e sem apresentar maiores suscetibilidades

O município de Bozano é o menos populoso entre os englobados na análise da Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, possui uma pequena sede urbana, e desta, apenas um fragmento da porção oeste está inserida na área da bacia. Desta forma, a área urbana de Bozano ocupa um espaço não maior do que a sede de alguns distritos, como Sant'ana e Alto da União, no município de Ijuí, e Santa Lúcia, no próprio município de Bozano.

5.2. SISTEMA PASSO DO INGLÊS

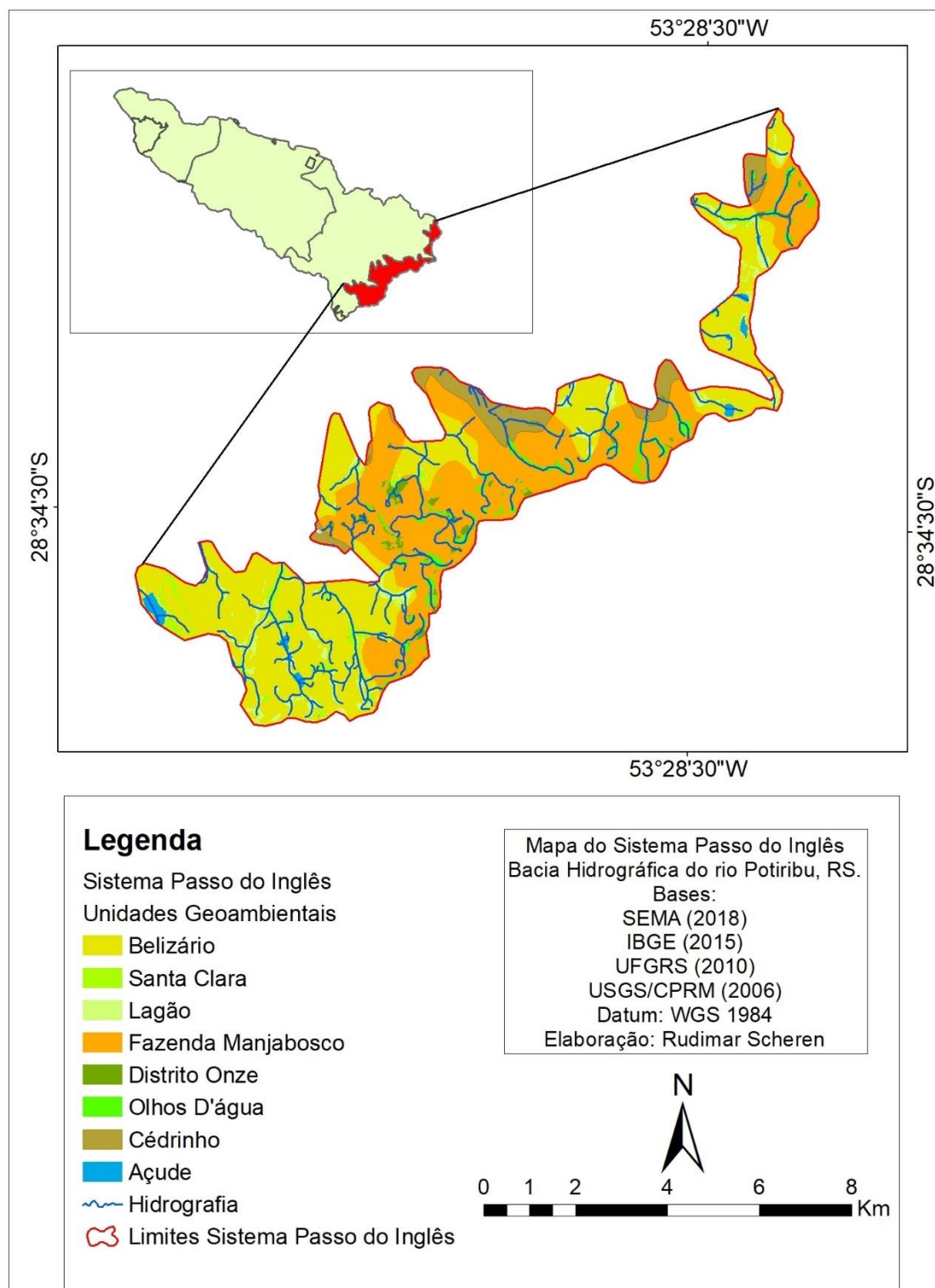
O *Sistema Passo do Inglês* possui 43,1 km², equivalentes a 6,5% da bacia do Potiribu, e se localiza nas áreas de nascentes no extremo Sudeste da bacia. As características observadas são substrato rochoso de arenitos da Formação Tupanciretã e de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, a cobertura pedológica é de Argissolos, com pequenas porções cobertas por Latossolos, especialmente, onde é maior a contribuição de rochas vulcânicas. As unidades de relevo são as *Colinas Onduladas em Arenito* e as *Colinas Onduladas de Alto Curso*. As unidades Geoambientais do *Sistemas Passo do Inglês* estão descritas em sua área e porcentagem dentro do sistema na tabela 12.

Tabela 12: Unidades Geoambientais no Sistema Passo do Inglês

| Unidade Geoambiental | Área | | Descrição |
|-------------------------|-----------------|------|---|
| | Km ² | % | |
| <i>Belizário</i> | 19,5 | 45,5 | <i>Colinas Onduladas de Alto Curso em Argissolo Soja.</i> |
| | | | <i>Colinas Onduladas de</i> |

| | | | |
|---------------------------|------|------|---|
| <i>Santa Clara</i> | 1,3 | 3,2 | <i>Alto Curso em Argissolos Vegetação Arbórea</i> |
| <i>Lagão</i> | 1,3 | 3,2 | <i>Colinas Onduladas de Alto Curso em Argissolos Vegetação Secundária</i> |
| <i>Fazenda Manjabosco</i> | 15,8 | 36,8 | <i>Colinas Onduladas em Arenito em Argissolos Soja</i> |
| <i>Distrito Onze</i> | 0,5 | 1,2 | <i>Colinas Onduladas em Arenito em Argissolos Vegetação Arbórea</i> |
| <i>Olhos D'água</i> | 1,1 | 2,7 | <i>Colinas Onduladas em Arenito em Argissolos Vegetação Secundária</i> |
| <i>Cédrinho</i> | 1,1 | 6,2 | <i>Colinas Onduladas em Arenito em Latossolos Soja</i> |

Figura 72: Mapa da distribuição espacial das Unidades Geoambientais do Sistema Passo do Inglês.



A Figura 72 apresenta o mapa do *Sistema Passo do Inglês* e suas respectivas Unidades Geoambientais. O uso pelo cultivo de soja é predominante, visto que das 7 unidades geoambientais no *Sistema Passo do Inglês*, as duas

com maior porcentagem de área são as unidades *Belizário* e *Fazenda Manjabosco*, que têm o cultivo da soja entre suas características. Somadas as unidades *Belizário* e *Fazenda Manjabosco* ocupam 82,2% do total da área.

5.2.1. Unidade Belizário.

O *Sistema Passo do Inglês* é um ambiente rural e é a maior Unidade Geoambiental do *Sistema Passo do Inglês* é a unidade *Belizário*, que está embasada sobre rochas vulcânicas com o relevo de *Colinas Onduladas De Alto Curso*, com cobertura pedológica de Argissolos cultivados pela produção de soja.

A principal suscetibilidade da unidade *Belizário* está relacionada à erosão. Esse fato decorre das culturas agrícolas intensivas sobre Argissolos, como é o caso do cultivo da soja no Noroeste do RS. Segundo a EMBRAPA (2006), os Argissolos são definidos pela presença do horizonte B textural apresentando acúmulo de argila em profundidade devido à mobilização e perda de argila da parte mais superficial do solo. As limitações dos Argissolos estão relacionadas à baixa fertilidade, acidez, teores elevados de alumínio e a suscetibilidade aos processos erosivos, devido à relação textural presente nestes solos, que implica em diferenças de horizontes superficiais e subsuperficiais (EMBRAPA, op. Cit.). A utilização dos Argissolos para a agricultura exige manejo adequado com a adoção de práticas de correção e adubação, além de controle da erosão.

5.2.2. Unidade Fazenda Manjabosco.

A unidade *Fazenda Manjabosco* é segunda maior unidade geoambiental, configurada fisiograficamente por Argissolos sobre *Colinas Onduladas em Arenito*, com produção agrícola de soja. A variação do substrato rochoso em arenito altera ao mesmo tempo a unidade de relevo e a unidade geoambiental, diferenciando da unidade anterior. Os Argissolos e a produção de soja são as características em comum nas duas maiores unidades geoambientais do sistema que somadas ocupam mais de 82% da área.

A unidade *Fazenda Manjabosco* possui o substrato em Arenito da Formação Tupaciretã, descrita por MENEGOTTO et al. (1968) como produto de

deposição pós Formação Serra Geral e solos do tipo Argissolo. Esta característica torna esta unidade mais frágil, pois além dos Argissolos, o substrato de arenito, por ser em geral muito friável, aumentando a suscetibilidade erosiva. Nessa unidade as condições litopedológicas potencializam a tendência de formação de voçorocas e erosão laminar nas camadas superiores, especialmente quando as práticas agrícolas não levam em conta a fragilidade desses solos, onde processos de *piping* podem ser frequentes. (EMBRAPA, 2006).

5.2.3. Unidade Cédrinho.

A Unidade *Cédrinho*, composta por *Colinas Onduladas em Arenito* em Latossolos com produção de soja, é a terceira mais importante unidade no *Sistema Passo do Inglês*. As características que diferenciam das anteriores são os Latossolos, potencialmente mais produtivos e menos frágeis para a cultura agrícola intensiva e anual. Somadas, as três unidades que apresentam o cultivo de soja ocupam 88,5% da área total do sistema, o que indica intenso uso antrópico por práticas agrícolas, especialmente o cultivo de soja.

5.2.4. Unidade Santa Clara.

Em uma área com o predomínio de atividades econômicas ligadas ao agronegócio, as unidades geoambientais que trazem remanescentes de cobertura da vegetação natural são reduzidas. São os casos das unidades *Santa Clara*, composta por *Colinas Onduladas de Alto Curso* em Argissolos com Vegetação Arbórea, e *Lagão* que apresenta *Colinas Onduladas em Alto Curso* em Argissolos, cobertas por Vegetação Secundária. Estas unidades estão praticamente restritas às Áreas de Preservação Permanente (APP), e apresentam importante função de preservação dos recursos hídricos, embora tenham suas áreas limitadas aquém do previsto na legislação de APP. Nestas unidades os Argissolos estão mais protegidos em relação aos processos de erosão e perda de solo.

5.2.5. Unidades Distrito Onze e Olhos D'água.

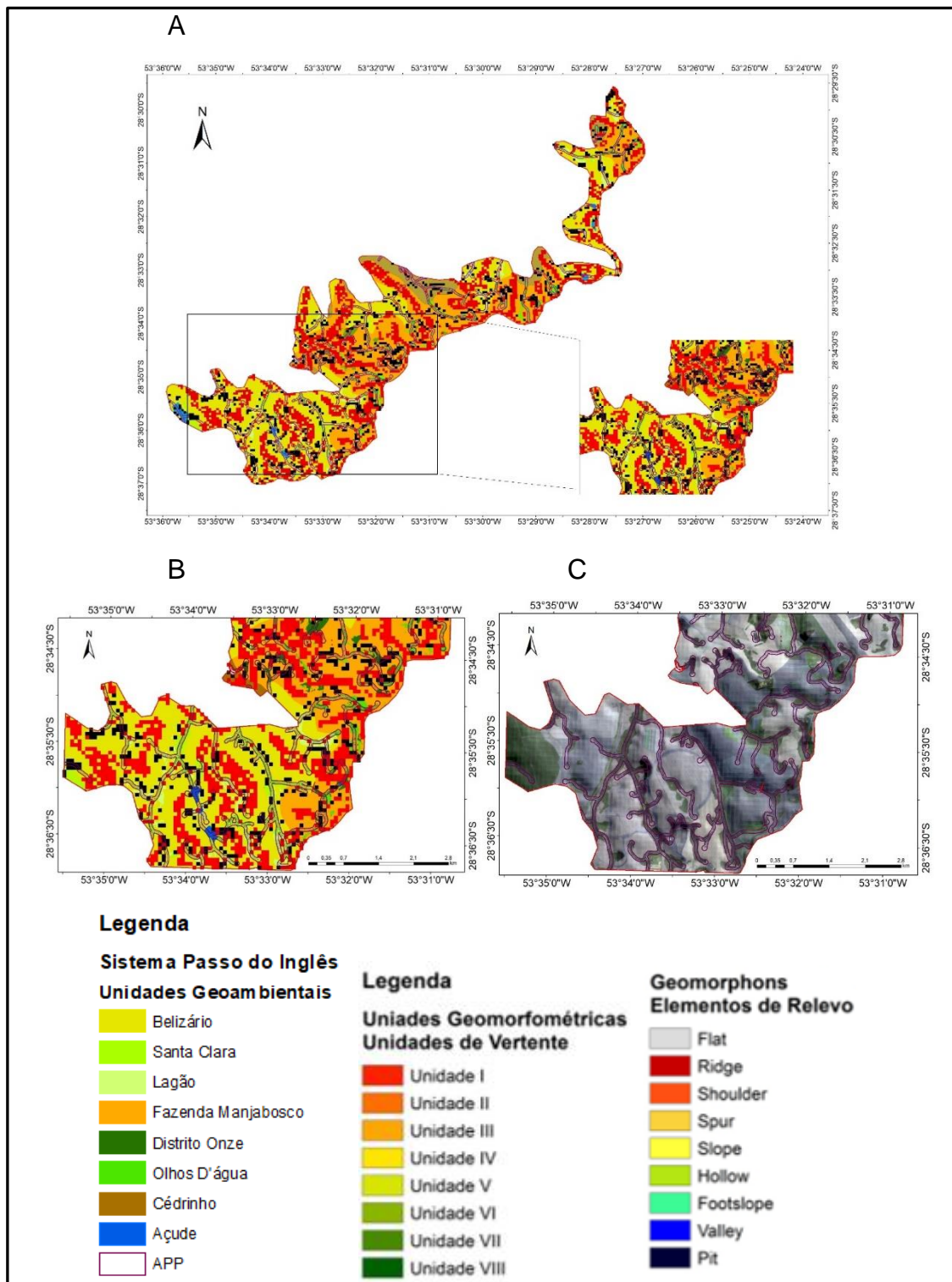
As unidades *Distrito Onze*, que apresenta a composição de *Colinas Onduladas em Arenito* em Argissolos cobertas por Vegetação Arbórea, e a unidade *Olhos D'água*, composta por *Colinas Onduladas em Arenito* com Vegetação Secundária são ainda menores. Apesar da reduzida dimensão espacial, as unidades contribuem para a manutenção das condições para que importantes nascentes resistam em ambiente de intenso uso agrícola, como é o caso das nascentes do Arroio dos Ingleses.

Essas últimas quatro unidades geoambientais são essenciais para a manutenção das dinâmicas naturais. É sugerido aqui que sejam consideradas como Áreas de Conservação, somadas a áreas de outras unidades que precisam ser recuperadas para a manutenção do equilíbrio ambiental no *Sistema Passo do Inglês*. São ações necessárias para o manejo sustentável dos Argissolos, buscando controlar a erosão e a perda de solo, proteção dos arenitos e manutenção dos recursos hídricos, especialmente em áreas de nascentes e canais fluviais.

A pressão antrópica sobre os solos, canais fluviais e nascentes desencadeia situações de suscetibilidade ambiental variadas no *Sistema Passo do Inglês*. Os Argissolos têm aumento no potencial de erodibilidade com a associação aos elementos de relevo “Concavidade” (*Hollow*), que estão relacionados às cabeceiras de drenagem. A suscetibilidade erosiva, também pode ser relacionada às unidades de vertente com inclinação superior a 5%, cuja concavidade ou convexidade na convergência da encosta concentram o fluxo superficial. Estas características são comuns nas unidades geoambientais *Fazenda Manjabosco e Belizário*.

A figura 73 apresenta uma área amostral do *Sistema Passo do Inglês* com a sobreposição dos elementos de relevo em “Concavidade” (*Hollow*), indicando a exposição deste elemento associado às unidades de vertente 1 e 2, nas unidades *Fazenda Manjabosco e Belizário*. Na mesma figura a imagem Sentinel 02, de 01/04/2019 com relevo sombreado, para comparação das feições.

Figura 73: (A) Mapa do Sistema Passo do Inglês com os limites de APP (B) com elementos de relevo e unidades de vertente (C) com imagem Sentinel. Sobreposta ao relevo sombreado



(A) Mapa do Sistema Passo do Inglês com os limites de APP e com a sobreposição do Elemento de Relevo “hollow” e Indicação de área Amostral. (B) Área Amostral do Sistema Passo do Inglês, com elementos de relevo (polígonos na cor preta) e Unidades de Vertentes 1 e 2 (polígonos nas cores vermelho) (C) Área Amostral do Sistema Passo do Inglês com

imagem Sentinel 2 sobreposta ao relevo sombreado. O mosaico permite a visualização da ocorrência dos elementos de relevo e unidade de encosta nas duas formas de apresentação.

5.2.6. Áreas de Preservação Permanentes no Sistema Passo do Inglês.

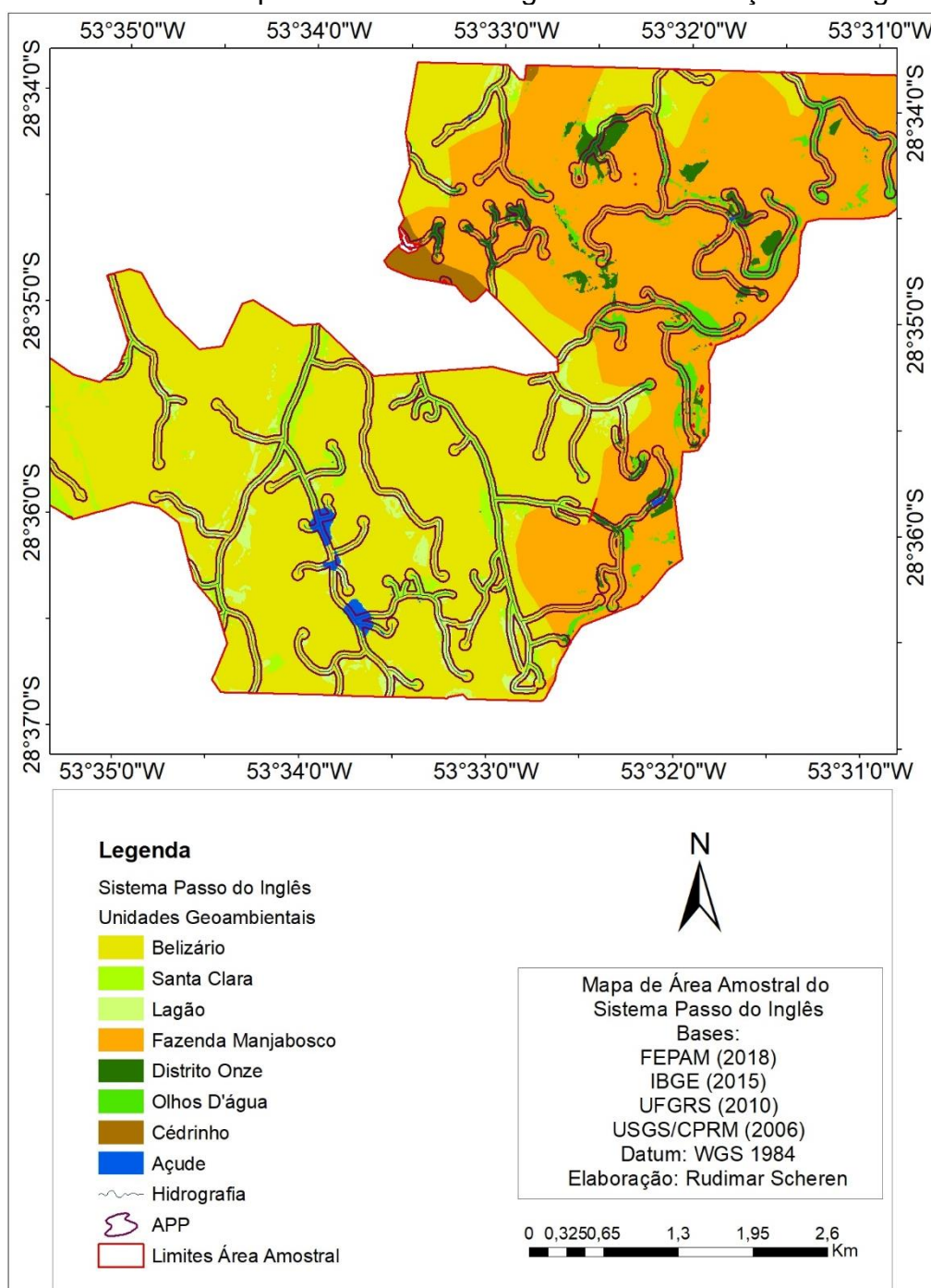
A importância de compreender a condição das Áreas de Preservação Permanentes (APPs) no conjunto do *Sistema Passo do Inglês*, é fundamental para estabelecer uma análise da relação entre as unidades geoambientais de forma integrada. As Áreas de Preservação Permanente no *Sistema Passo do Inglês* apresentam a seguinte distribuição de uso e cobertura da Terra em sua área apresentada na tabela 13.

Tabela 13: Uso e cobertura da Terra e conflitos de uso nas Áreas de Preservação Permanente do Sistema Passo do Inglês

| Uso e cobertura | Área km² | Porcentagem |
|------------------------|----------------------------|--------------------|
| Vegetação Arbórea | 0,9 | 16,7% |
| Vegetação Secundária | 1,1 | 20,1 |
| Soja | 3,4 | 60,1% |
| Açude | 0,1 | 3,1% |

Os limites das APP no *Sistema Passo do Inglês* possuem área de 5,7 Km². De acordo com as características naturais da região, os únicos tipos de cobertura da terra que deveriam existir inseridos nas APPs do sistema são a Vegetação Arbórea (Mata Atlântica) e a Vegetação Secundária (campestre, arbustiva, hidromórfica) nos seus 5,7km² de área. Porém, o avanço das atividades antrópicas, especialmente do cultivo da soja, sobre as APP mostra-se acentuado no *Sistema Passo do Inglês*, como pode ser visualizado em área amostral na Figura 74, ao passo que a vegetação natural, responsável pela função natural de proteção dos solos e, principalmente, dos recursos hídricos, é escassa mesmo nos limites de APP.

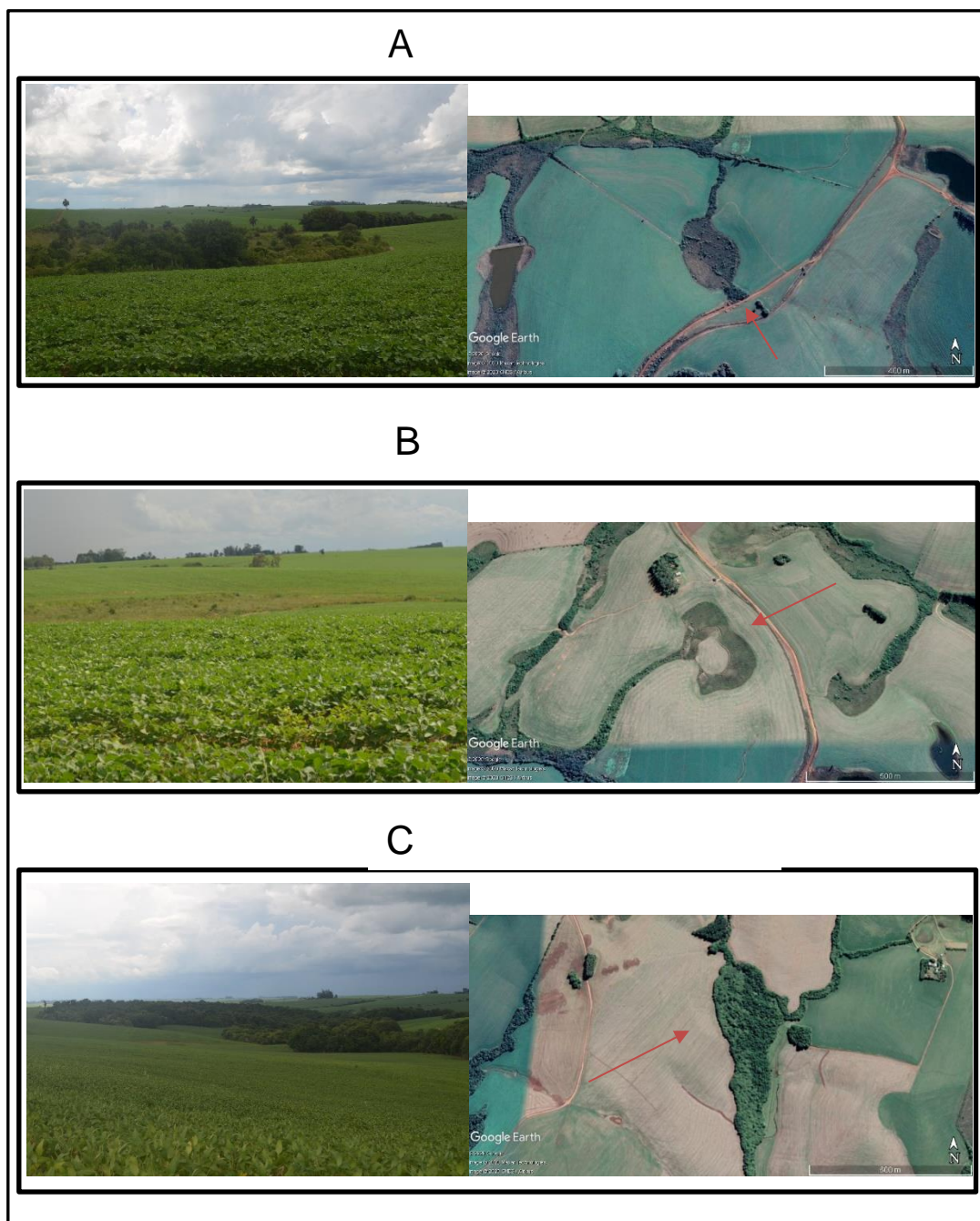
Figura 74: Área Amostral do Sistema Passo do Inglês com demarcação dos limites das APPs onde pode-se observar o grau de manutenção da vegetação.



Na Figura 74 é perceptível o avanço das culturas de Soja sobre as APP, uma vez que as únicas unidades que poderiam ser observadas inseridas nos 5,7 Km² dos limites das APP no *Sistema Passo do Inglês* são aquelas que possuem Vegetação Arbórea ou Vegetação Arbustiva, mas não é o que está representado nos mapas.

As nascentes encontram-se em três estados observados no *Sistema Passo do Inglês*, variando entre “preservadas”, “em regeneração/degradação” ou “degradadas”, em diferentes unidades geoambientais. Da mesma forma, as matas ciliares, encontram-se preservadas em muitos setores de acordo com a legislação de APP, enquanto em outros setores os limites que deveriam ser preservados não são respeitados. Para exemplificar, a Figura 75 apresenta um mosaico de fotografias obtidas em trabalho de campo (Unidades *Belizário*, *Santa Clara* e *Lagão*) comparadas a imagens de satélite das mesmas áreas.

Figura 75: Cabeceiras de drenagem com nascente em estágio de regeneração, degradação e preservada, Sistema Passo do Inglês.



(A) Cabeceira de drenagem com nascente em estágio de regeneração, Sistema Passo do Inglês, município de Cruz Alta. Fotografia: Trabalho de Campo. Data: 15/01/2020.

Coordenadas Geográficas: S28°31'9.76", W53°27'16.67". Imagem da plataforma Google Earth de cabeceira de drenagem com nascente em estágio de regeneração, Sistema Passo do Inglês, Município de Cruz Alta, RS.

(B) Nascente em degradação no Sistema Passo do Inglês, município de Cruz Alta.

Fotografia: Trabalho de Campo. Data: 15/01/2020. Coordenadas Geográficas: S28°30'34.16", W53°26'59.77". Imagem da plataforma Google Earth de nascente em degradação no Sistema Passo do Inglês, município de Cruz Alta, RS.

(C) Nascente preservada no Sistema Passo do Inglês, município de Cruz Alta. Fotografia: Trabalho de campo. Data: 15/01/2020. Coordenadas Geográficas: S28°29'34.45", W53°28'52.41". Imagem da plataforma Google Earth de nascente preservada no Sistema Passo do Inglês, município de Cruz Alta, RS.

No exemplo "A", é possível visualizar nascentes em regeneração em primeiro plano, em segundo plano, ao longo de vertente levemente côncava e convergente, é visualizado um canal fluvial com sua mata ciliar irregular em relação a legislação de APP. Em terceiro plano, na vertente oposta, uma nascente preservada. A imagem de satélite Google Earth permite a visualização da área e seu entorno, facilitando a compreensão de sua razão espacial.

No exemplo "B", a referida figura apresenta um exemplo de nascente que se encontra em estágio de degradação, podendo rapidamente evoluir para nascente degrada devido ao avanço dos usos antrópicos, de forma mais específica, do cultivo da soja sobre as APP.

O exemplo "C", contido na Figura 74, mostra nascente preservada na unidade *Distrito Onze*, cujos limites de área florestada vão além do raio de 50 metros previstos pela legislação de APP.

O *Sistema Passo do Inglês* apresenta importantes suscetibilidades ambientais, o substrato em Arenito em quatro de suas unidades geoambientais, único na bacia do Potiribu, bem como a presença dos Argissolos em praticamente todo o sistema denotam fatores físicos de suscetibilidade ambiental a processos erosivos lineares e laminares. Os processos erosivos são potencializados em vertentes com inclinação superior a 5% e com plano convergente. Outra característica significativa são as irregularidades quanto as APP que proporcionalmente são as maiores da bacia, elucidado que as Unidades Geoambientais com Vegetação Arbórea ou Vegetação Secundária são significativamente reduzidas, o que expõe as demais variáveis ambientais, como as nascentes, os canais fluviais, o solo e o relevo a condições de suscetibilidade ambiental.

Em linhas gerais o *Sistema Passo do Inglês* pode ser considerado como um sistema de Alta Suscetibilidade que necessita de ações de recuperação dos elementos naturais e redução do cultivo da soja, objetivando a manutenção dos recursos hídricos, a estabilidade do solo e demais dinâmicas naturais no âmbito do sistema.

5.3. SISTEMA CAMBARÁ.

O *Sistema Cambará* possui uma área de 225,6 Km² equivalentes a 34% da bacia do Potiribu, estando em sua maior porção no Alto Curso da bacia com algumas áreas alocadas sobre o Médio Curso associadas aos interflúvios. É o sistema geoambiental mais homogêneo entre os existentes na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu por apresentar uma configuração fisiográfica específica, estando embasado por rochas vulcânicas, com cobertura pedológica de Latossolos, na unidade de relevo de *Colinas Onduladas de Alto Curso*.

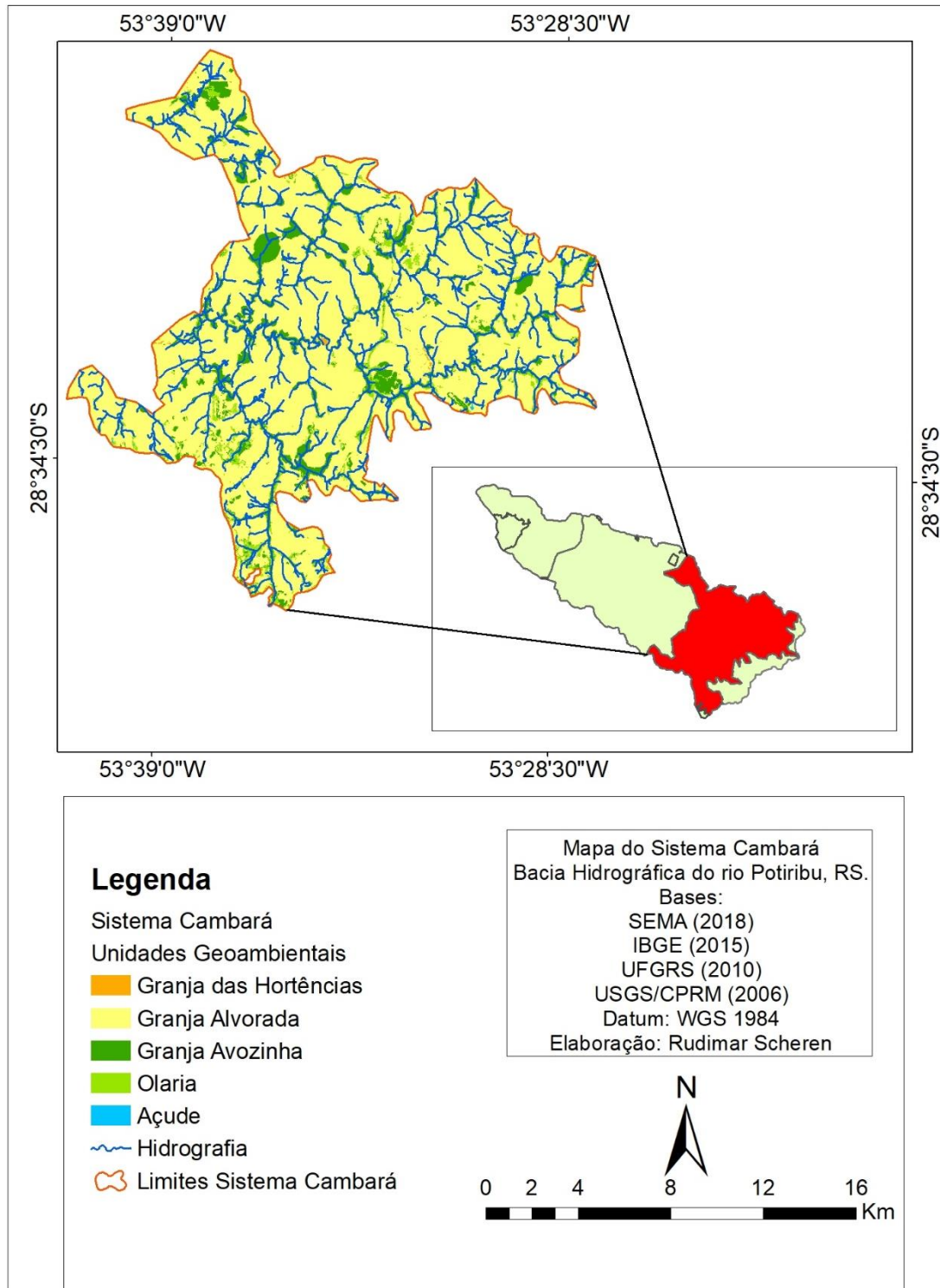
As informações a respeito da distribuição espacial em área e porcentagem das Unidades Geoambientais dentro do Sistema estão descritas na tabela 11:

Tabela 14: Unidades Geoambientais do Sistema Cambará

| Unidade Geoambiental | Descrição | Área Km² | Porcentagem % |
|------------------------------|---|----------------------------|----------------------|
| <i>Granja das Hortências</i> | <i>Colinas Onduladas de Alto Curso em Latossolos Outros Cultivos</i> | 0,6 | 0,2 |
| <i>Granja Alvorada</i> | <i>Colinas Onduladas de Alto Curso em Latossolos Soja</i> | 196,2 | 87 |
| <i>Granja Avozinha</i> | <i>Colinas Onduladas de Alto Curso em Latossolos Vegetação Arbórea</i> | 23,9 | 10,6 |
| <i>Olaria</i> | <i>Colinas Onduladas de Alto Curso em Latossolos Vegetação Secundária</i> | 4,1 | 1,8 |

A Figura 76 apresenta o mapa do *Sistema Cambará* e a composição da organização espacial de suas unidades geoambientais.

Figura 76: Mapa da distribuição espacial do Sistema Cambará e suas Unidades Geoambientais.



5.3.1. Unidade Granja Alvorada

Conforme os dados expostos na tabela 11, podemos perceber o predomínio da soja na definição das Unidades Geoambientais como uma informação que é constante ao longo da bacia. Considerando que o *Sistema Cambará* tem a unidade *Granja Alvorada*, composta por *Colinas Onduladas de Alto Curso*, com pedologia em Latossolos cultivados por soja, como principal Unidade Geoambiental em termos de razão espacial.

O potencial de alta produtividade natural dos Latossolos combinado com o relevo de ondulado para suave ondulado das *Colinas Onduladas de Alto Curso*, são características que proporcionam o processo de cultivo mecanizado. Esta configuração fisiográfica torna o *Sistema Cambará*, e a Unidade *Granja Alvorada* em específico, uma zona de grande potencial produtivo de grãos, indicando o uso adequado para o cultivo da soja. Os Latossolos apresentam grande potencial produtivo por serem profundos e porosos tendo as condições adequadas para um bom desenvolvimento radicular em profundidade, como é o caso dos Latossolos que variam de eutróficos para eutroféricos na unidade. (IBGE, 2015).

Segundo a EMBRAPA (2006) os Latossolos podem apresentar algumas limitações ao cultivo relacionadas à baixa quantidade de água disponível às plantas e a susceptibilidade à compactação. Esta susceptibilidade, comumente verificada nos Latossolos Vermelhos de textura argilosa ou muito argilosa, pode ocorrer também nos Latossolos Vermelhos de textura média, especialmente se o teor de areia fina for elevado. Alguns casos encontrados na unidade *Granja Alvorada* são alusivos a essa composição, como o exemplo da Figura 77.

Figura 77: Latossolo com formação de argila e areia fina. Sistema Cambará, município de Cruz Alta, RS.



Foto: Trabalho de Campo.

Data: 15/01/2020. Coordenadas Geográficas: S28°33'42.36", W53°34'32.34".

5.3.2. Unidade Granja das Hortências.

Ocorrem no *Sistema Cambará* algumas formas de uso da terra em pequenas pastagens, cultivos de milho, criação de animais, entre outros. Estes cultivos podem, em alguns casos, apresentar áreas com solo exposto ou cobertos por alguma gramínea. Estes usos foram integrados na categoria de uso da terra “Outros Cultivos”, que associados às características fisiográficas da área formam a Unidade Geoambiental *Granja das Hortências*.

A unidade Granja das Hortências composta por *Colinas Onduladas de Alto Curso* com cobertura pedológica de Latossolos é utilizada para finalidades diversas, diferenciadas do cultivo de soja, e ocorre de modo fragmentado sobre o espaço, em especial na baixa vertente, próximo à cursos d’água.

5.3.3. Unidades Olaria e Granja Avozinha.

As suscetibilidades no Sistema Cambará ocorrem principalmente pelos conflitos de uso, que podem ser observados ao comparar as unidades *Granja Avozinha* e *Olaria* que deveriam ser as únicas unidades geoambientais inseridas nos limites de APP devido às suas características de cobertura natural da terra.

A unidade *Granja Avozinha*, composta por *Colinas Onduladas de Alto*

Curso e pedologia em Latossolos, coberta por Vegetação Arbórea, e a unidade *Olaria*, formada por *Colinas Onduladas de Alto Curso*, com cobertura pedológica em Latossolos, coberta por Vegetação Secundária, correspondem às unidades com vegetação nativa. Porém ao analisar os usos da terra que ocorrem dentro dos limites das APPs, é constatado o significativo avanço da cultura das unidades com produção de soja sobre estes limites. Este fator indica uso conflitante potencializador de processos superficiais ligados à fragilidade dos solos, à erosão e à perda das dinâmicas naturais fundamentais para a manutenção dos corpos hídricos e do equilíbrio sistêmico.

Outros aspectos que denotam as suscetibilidades ambientais no *Sistema Cambará* estão associados a feições do relevo. Algumas feições de relevo expostas devido a retirada da cobertura vegetal, como as unidades de vertente com inclinação maior que 5% com o plano de curvatura convergente, possuem potencial erosivo acentuado, tanto na concavidade quanto na convexidade da vertente. Estas condições ocorrem na Unidade *Granja Alvorada*, e condicionam o ambiente à processos superficiais de erosão e perda de solo.

Figura 78: (A) Mapa do Sistema Cambará com os limites de APP (B) com elementos de relevo (e Unidades de Vertentes 1 e (C) com imagem Sentinel 2 sobreposta ao relevo sombreado

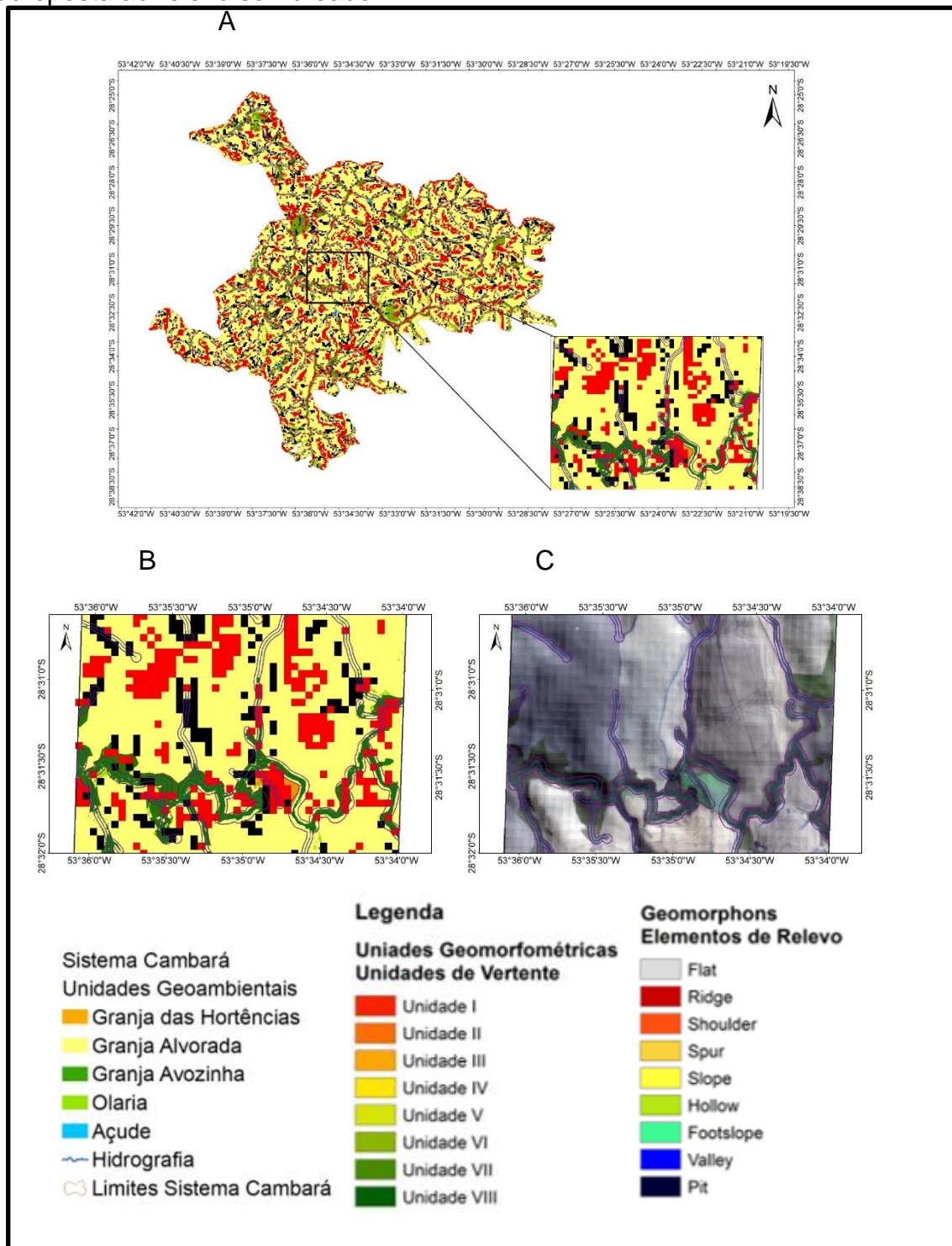


Figura 78: (A) Mapa do Sistema Cambará com os limites de APP e com a sobreposição do Elemento de Relevo “hollow” e Indicação de área Amostral. (B) Área Amostral do Sistema Cambará, com elementos de relevo (polígonos na cor preta) e Unidades de Vertentes 1 e 2 (polígonos nas cores vermelho) (C) Área Amostral do Cambará com imagem Sentinel 2 sobreposta ao relevo sombreado. O mosaico permite a visualização da ocorrência dos elementos de relevo e unidades de vertente nas duas formas de apresentação.

Os aspectos ligados à suscetibilidade em função do relevo combinado com a ausência de cobertura vegetal natural, são ainda mais significativos se associados a escassez de vegetação ciliar na margem dos canais fluviais. Essas condições podem ser visualizadas na figura 78, que apresenta área amostral de porção do *Sistema Cambará*, com suas Unidades Geoambientais sobrepostas pelos elementos de relevo “concauidade” (hollow) (polígonos em cor preta), que estão associados às cabeceiras de drenagem, juntamente com as Unidades de Vertente 1 e 2 (polígonos na cor vermelha) que possuem o fluxo convergente em inclinação maior que 5%, em comparação ao relevo sombreado.

As áreas associadas ao elemento “concauidade” (hollow) (polígonos pretos na figura 77) e unidades de vertente 1 e 2 (cor vermelha na figura 77) na Unidade Geoambiental *Granja Alvorada*, são potenciais desencadeadores de degradação das nascentes e a processos erosivos lineares e laminares que ocasionam a perda de solo, indicando assim áreas de suscetibilidade.

5.3.4. Áreas de Preservação Permanente no Sistema Cambará.

Para interpretar os conflitos de uso na área associada às unidades *Granja Avozinha* e *Olaria*, a tabela 15 apresenta os dados relativos às formas de uso antrópico e cobertura natural que estão inseridas nos limites de APP.

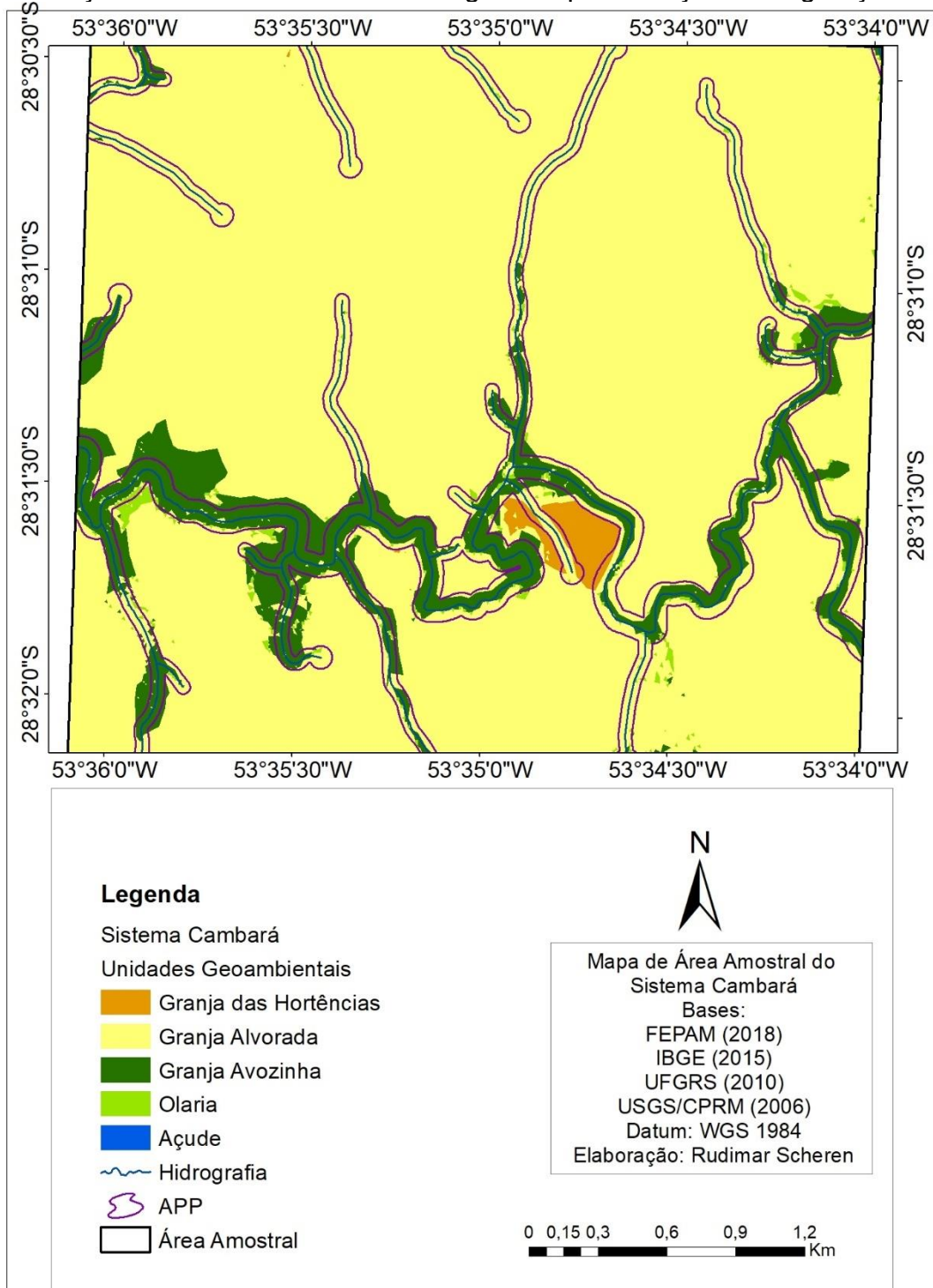
Tabela 15: Uso e cobertura da Terra e conflitos de uso nas Áreas de Preservação Permanente do Sistema Cambará

| Uso e cobertura | Área km² | Porcentagem % |
|------------------------|----------------------------|----------------------|
| Vegetação Arbórea | 11,1 | 39,2 |
| Vegetação Secundária | 1,5 | 5,3 |
| Soja | 15,4 | 54,4 |
| Açude | 0,2 | 0,8 |
| Outros Cultivos | 0,05 | 0,1 |

Ao analisar os dados da tabela acima ficam evidentes os conflitos de uso, ao se tratar de áreas que legalmente, e de acordo com as características naturais da região, deveriam apresentar de forma predominante extratos da cobertura vegetal. No interior das APPs do *Sistema Cambará*, cuja área é de 28,4 km², a predominância é do cultivo de soja, embora levemente reduzido na comparação

ao avanço deste cultivo sobre as APP do *Sistema Passo do Inglês*. Enquanto que a área relativa as classes de Vegetação Arbórea (Mata Atlântica) e Vegetação Secundária (vegetação campestre, hidromórfica ou arbustiva) é extremamente incompatível com o caráter de proteção da natureza atribuído às APP, conforme visualizado em área amostral na Figura 79.

Figura 79: Área Amostral do Sistema Cambará com Unidades Geoambientais e delimitação das APP demonstrando o grau de preservação da vegetação.



A Vegetação Arbórea apresenta um percentual muito baixo em relação ao ideal a ser preservado em APPs, assim com a Vegetação Arbustiva apresenta um acentuado grau de degradação. Estes fatores indicam que as unidades *Granja Avozinha* e *Olaria* necessitam de práticas que permitam a recuperação de seu espaço no ambiente em relação à unidade *Granja Alvorada*, que deve ter seu alcance reduzido significativamente, ao menos sobre as APPs. Desta forma, as dinâmicas naturais podem ser minimamente recuperadas nas áreas previstas em lei, para proporcionar uma redução de danos aos corpos hídricos, ao ciclo hidrológico, e até mesmo para os próprios cultivos, mitigando também alguns processos superficiais de erosão e perda de solo.

A situação das nascentes também são importantes indicadores de suscetibilidades e potencialidades relacionados às APPs no *Sistema Cambará*. As nascentes, associadas às unidades *Granja Avozinha* e *Olaria* são indicadores de potencial para área de proteção, enquanto que as nascentes inseridas na unidade *Granja Alvorada* são indicadores de suscetibilidade. Esta diferença ocorre devido à condição diametralmente oposta quanto ao estado de conservação das nascentes verificados nos exemplos relatados. No *Sistema Cambará*, de forma similar ao que ocorre no *Sistema Passo do Inglês*, as cabeceiras de drenagem e nascentes apresentam diferentes graus de preservação, variando entre preservadas, em degradação/regeneração ou degradadas.

No *Sistema Cambará* são encontradas nascentes em processo de degradação ou regeneração, que estão em situação intermediária quanto os possíveis cenários. Por outro lado, são localizadas nascentes preservadas e nascentes degradadas, em situações mais extremas.

Estas condições de nascentes são apresentadas no mosaico de imagens com exemplares de campo. A figura 80 traz fotografias comparadas a imagens de satélites em um mosaico que exemplifica nascentes em três condições diferentes quanto ao estado de degradação ou preservação, encontradas ao longo do *Sistema Cambará*, unidades *Olaria*, *Granja Avozinha* e *Granja Alvorada*, respectivamente: exemplo A, Nascente em degradação; exemplo B, Nascente preservada, com presença de vegetação nativa na APP; e, exemplo C, Nascente degradada, cuja cabeceira, de drenagem (Elemento de Relevo “Concavidade”) está exposta e a APP não possui nenhum registro de vegetação.

Em situações de nascente degradada a manutenção do afloramento do canal fluvial é gravemente comprometido.

Figura 80: Nascentes em degradação, preservada e degradada no Sistema Cambará, município de Cruz Alta

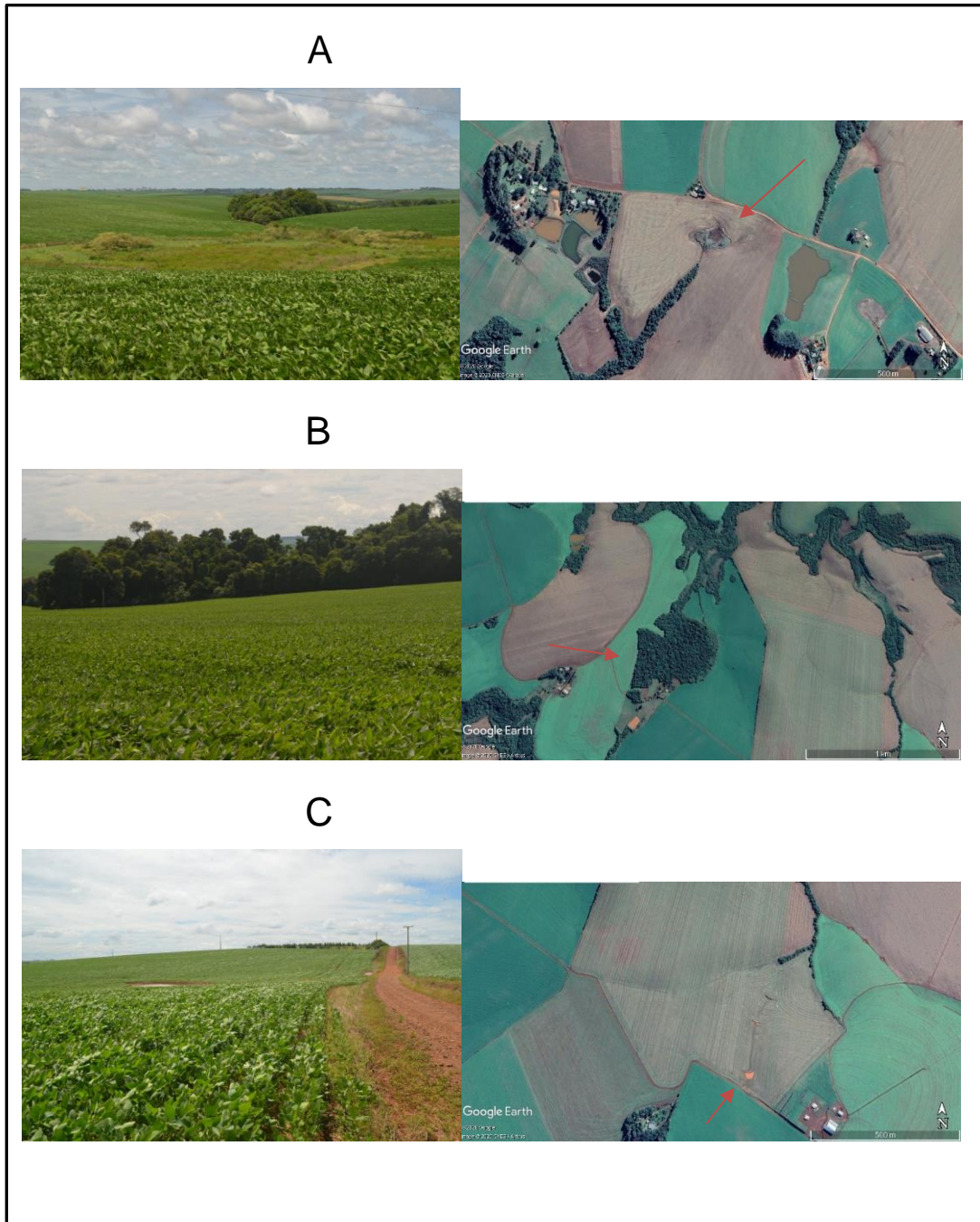


Figura 80: (A) Nascente em degradação no Sistema Cambará, município de Cruz Alta. Fonte: Trabalho de Campo. Coordenadas Geográficas: S28°33'42.60", W53°34'32.41". Imagem de Satélite Google Earth de Nascente em degradação no Sistema Cambará, município de Cruz Alta. (B) Fotografia em área de nascente com APP preservada em Vegetação Arbórea. Sistema Cambará, Município de Cruz Alta. Fonte: Trabalho de Campo. Data: 15/01/2020. Coordenadas

Geográficas: S28°32'2.19", W53°37'9.34". Imagem da plataforma Google Earth de nascente preservada no Sistema Cambará, município de Cruz Alta, RS.

(C) Nascente degradada no Sistema Cambará, município de Cruz Alta. Ausência de qualquer vegetação na APP. Fonte: Trabalho de Campo. Data: 15/01/2020. Coordenadas Geográficas: S28°32'42.64", W53°36'10.80". Imagem da plataforma Google Earth de nascente degradada no Sistema Cambará, município de Cruz Alta, RS.

De forma geral, o *Sistema Cambará* apresenta potencial para produção de grãos na unidade *Granja Alvorada*. Porém, o avanço do cultivo da soja sobre as unidades Granja Avozinha e Olaria indica a necessidade de recuperação de espaço nestas unidades, em detrimento à unidade *Granja Alvorada*. Desta forma, o *sistema Cambará* possui suscetibilidade de Média a Alta, principalmente devido à situação das nascentes e aos graves avanços do cultivo de soja sobre as Áreas de Preservação Permanente.

5.4. SISTEMA PEJUÇARA.

A área do *Sistema Pejuçara* é de 275,8 km² que representam 41,8% da bacia do Potiribu, estando praticamente em concomitância com o Médio Curso da Bacia. As exceções são, as áreas do *Sistema Urbano* que também ocupam esta porção da área em estudo, e porções do *Sistema Cambará* que avançam sobre espaços do Médio Curso. O *Sistema Pejuçara* possui 9 unidades geoambientais, estando assentado sobre rochas vulcânicas cobertas pedologicamente por Latossolos, com ocorrência de Cambissolos na meia e na baixa vertente, nas unidades de relevo de *Colinas Suavemente Onduladas* e *Áreas Planas Aluviais* (Figura 81). Para a compreensão da distribuição espacial das Unidades Geoambientais do *Sistema Pejuçara*, a Tabela 16 apresenta descrição das mesmas quanto sua área e porcentagem dentro do sistema.

Figura 81: Espacialização do *Sistema Pejuçara* e suas 9 Unidades Geoambientais.

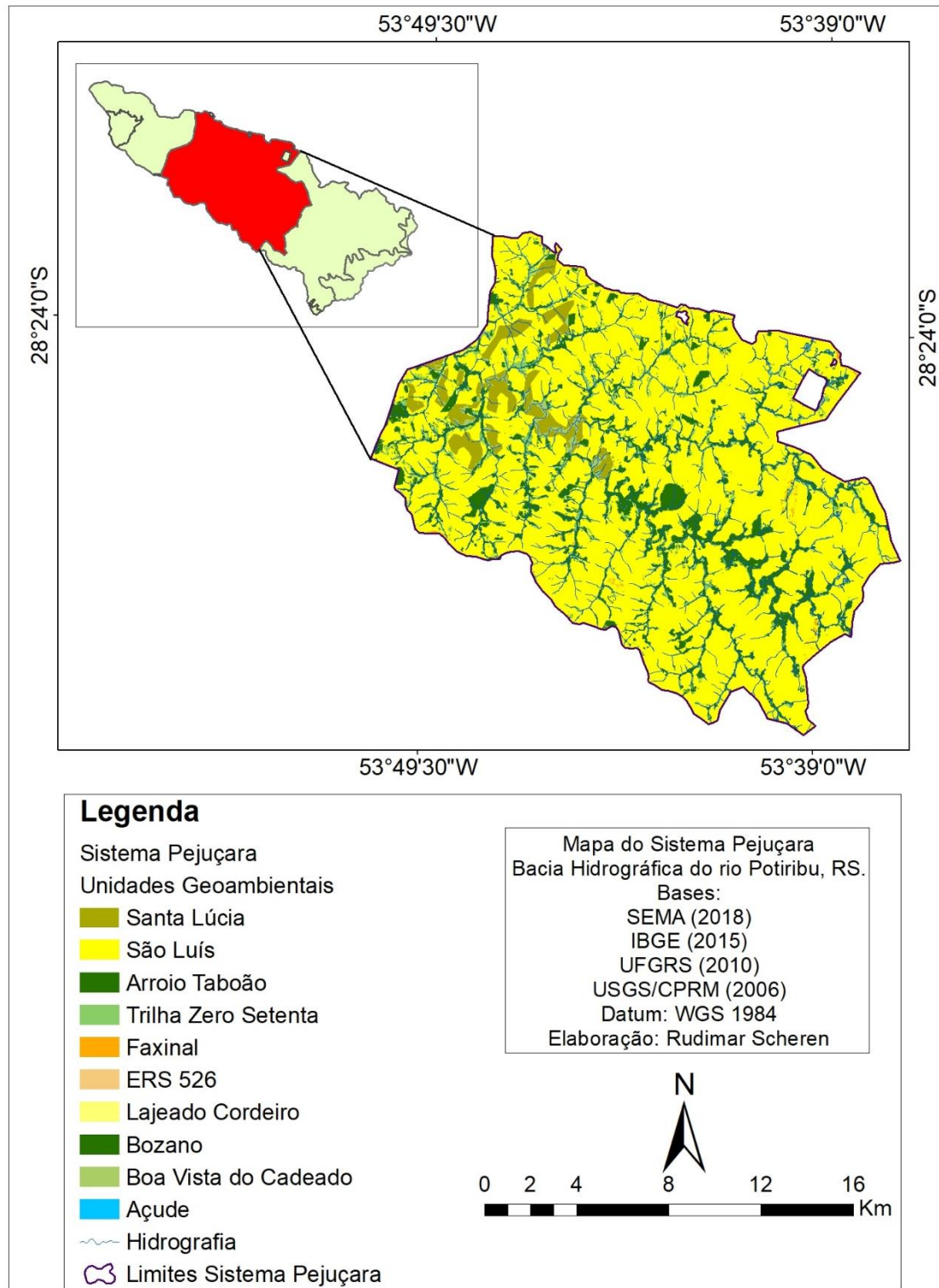


Tabela 16: Unidades Geoambientais do Sistema Pejuçara.

| Unidade Geoambiental | Descrição | Área Km² | Porcentagem % |
|-----------------------------|---|----------------------------|----------------------|
| <i>Santa Lúcia</i> | <i>Colinas Suavemente Onduladas em Cambissolos Soja</i> | 11,6 | 4,1 |
| <i>São Luís</i> | <i>Colinas Suavemente Onduladas em Latossolos Soja</i> | 226 | 80,7 |
| <i>Arroio Taboão</i> | <i>Colinas Suavemente Onduladas em Latossolos Vegetação Arbórea</i> | 29,9 | 10,6 |
| <i>Trilha Zero Setenta</i> | <i>Colinas Suavemente Onduladas em Latossolos Vegetação Secundária</i> | 3,5 | 1,2 |
| <i>Faxinal</i> | <i>Colinas Suavemente Onduladas em Latossolos/Cambissolos Outros Cultivos</i> | 1,9 | 0,7 |
| <i>ERS 526</i> | <i>Áreas Planas Aluviais em Cambissolos Soja</i> | 1,4 | 0,5 |
| <i>Lajeado Cordeiro</i> | <i>Áreas Planas Aluviais em Cambissolos Vegetação Arbórea</i> | 1,1 | 0,4 |
| <i>Bozano</i> | <i>Áreas Planas Aluviais em Latossolos Soja</i> | 0,9 | 0,3 |
| <i>Boa Vista do Cadeado</i> | <i>Áreas Planas Aluviais em Latossolos Vegetação Arbórea</i> | 2,9 | 0,3 |

5.4.1. Unidade São Luís.

A unidade geoambiental de maior expressão espacial no *Sistema Pejuçara* tem o cultivo da soja como uso da terra. Assim, a unidade *São Luís*, composta por *Colinas Suavemente Onduladas* e cobertura pedológica de Latossolos com cultivo de Soja, é a maior das unidades geoambientais do *Sistema Pejuçara*.

O relevo de *Colinas Suavemente Onduladas*, com predominância de amplitude altimétrica inferior a 60 metros, com vertentes amplas, associadas aos Latossolos bem desenvolvidos, predispõe um grande potencial agrícola à Unidade *São Luís*, no *Sistema Pejuçara*. Na Figura 82, podemos visualizar um exemplo de Latossolo bem desenvolvido com horizonte B muito espesso, sequência de horizontes A, B e C pouco diferenciados, no *Sistema Pejuçara*.

Figura 82: Latossolo bem desenvolvido no Sistema Pejuçara, município de Pejuçara.



Fotografia: Trabalho de campo. Data: 15/01/2020.
Coordenadas Geográficas: S28°25'55.91", W53°39'39.74".

5.4.2. Unidade Arroio Taboão.

A Unidade *Arroio Taboão* é a segunda unidade mais importante neste sistema é a que compõe as *Colinas Suavemente Onduladas*, de pedologia em Latossolos e cobertas por Vegetação Arbórea. Essa unidade Geoambiental faz do *Sistema Pejuçara* um espaço em que, ainda longe do ideal em termos de preservação das dinâmicas naturais, apresenta as melhores condições na bacia quanto a manutenção da vegetação nativa.

Uma importante alteração na composição do solo e outras duas alterações nos padrões de relevo, fazem o *Sistema Pejuçara* apresentar características diferentes dos sistemas rurais na bacia do Potiribu, já apresentados até esta parte da presente tese. Estas alterações se dão por conta dos Cambissolos que surgem na meia e baixa vertente, em alguns casos associados ao colúvio e alúvio. No relevo, o padrão em *Colinas Suavemente Onduladas* e pequenos fragmentos de *Áreas Planas Aluviais*, associados a alguns canais de drenagem, configuram características diferenciadas em relação aos sistemas do Alto Curso.

5.4.3. Unidade Santa Lúcia

A Figura 83 apresenta aspectos da Unidade Geoambiental *Santa Lúcia*, composta por Colinas Suavemente Onduladas com pedologia em Cambissolos. O uso antrópico é a cultura da soja, em uma unidade que ocupa 11,6 km², equivalentes a 4,1% do *Sistema Pejuçara*.

Figura 83: Cambissolo em média vertente no Sistema Cambará, município de Pejuçara, RS.



Unidade de Colinas Suavemente Onduladas em Cambissolos Soja. Foto: Trabalho de campo. Data: 15/01/2020. Coordenadas Geográficas: S28°27'27.64", W53°39'58.42".

Os Cambissolos representam um potencializador da suscetibilidade do *Sistema Pejuçara*, especialmente em unidades nas quais estão associados ao uso antrópico. As limitações de uso dos Cambissolos para cultivos anuais como o da Soja, se dão pela característica de serem solos pouco desenvolvidos, que ainda apresentam características da rocha originária evidenciado pela presença de minerais primários, além de serem definidos pela presença de horizonte B incipiente, com pouco desenvolvimento estrutural. Em ambientes de relevos mais declivosos, os Cambissolos mais rasos apresentam fortes limitações para o uso agrícola relacionadas à mecanização e à alta suscetibilidade aos processos erosivos (EMBRAPA, 2006).

5.4.4. Unidades Faxinal, ERS 526 e Bozano.

As unidades Faxinal e ERS 526, são pequenas unidades associadas a Cambissolos e a uso antrópico. A unidade Faxinal composta por *Colinas Suavemente Onduladas* em Latossolos/Cambissolos utilizada para Outros Cultivos, ocorrendo em baixa vertente próxima a canais fluviais apresenta suscetibilidade pelo tipo de solo e pelo risco de inundação por processo de cheias. A unidade ERS 526 composta por *Áreas Planas Aluviais*, associada aos vales fluviais, com cobertura pedológica de Cambissolos tem o cultivo da soja, exposta à suscetibilidade do solo e ao processo de inundação.

A unidade Bozano formada pelo relevo de *Áreas Planas Aluviais* com cobertura pedológica de Latossolos cultivados pela soja. É uma pequena unidade associada às áreas de vales fluviais, exposta ao reflexo lateral dos rios por conta de cheias.

5.4.5. Unidades Lajeado Cordeiro e Boa Vista do Cadeado.

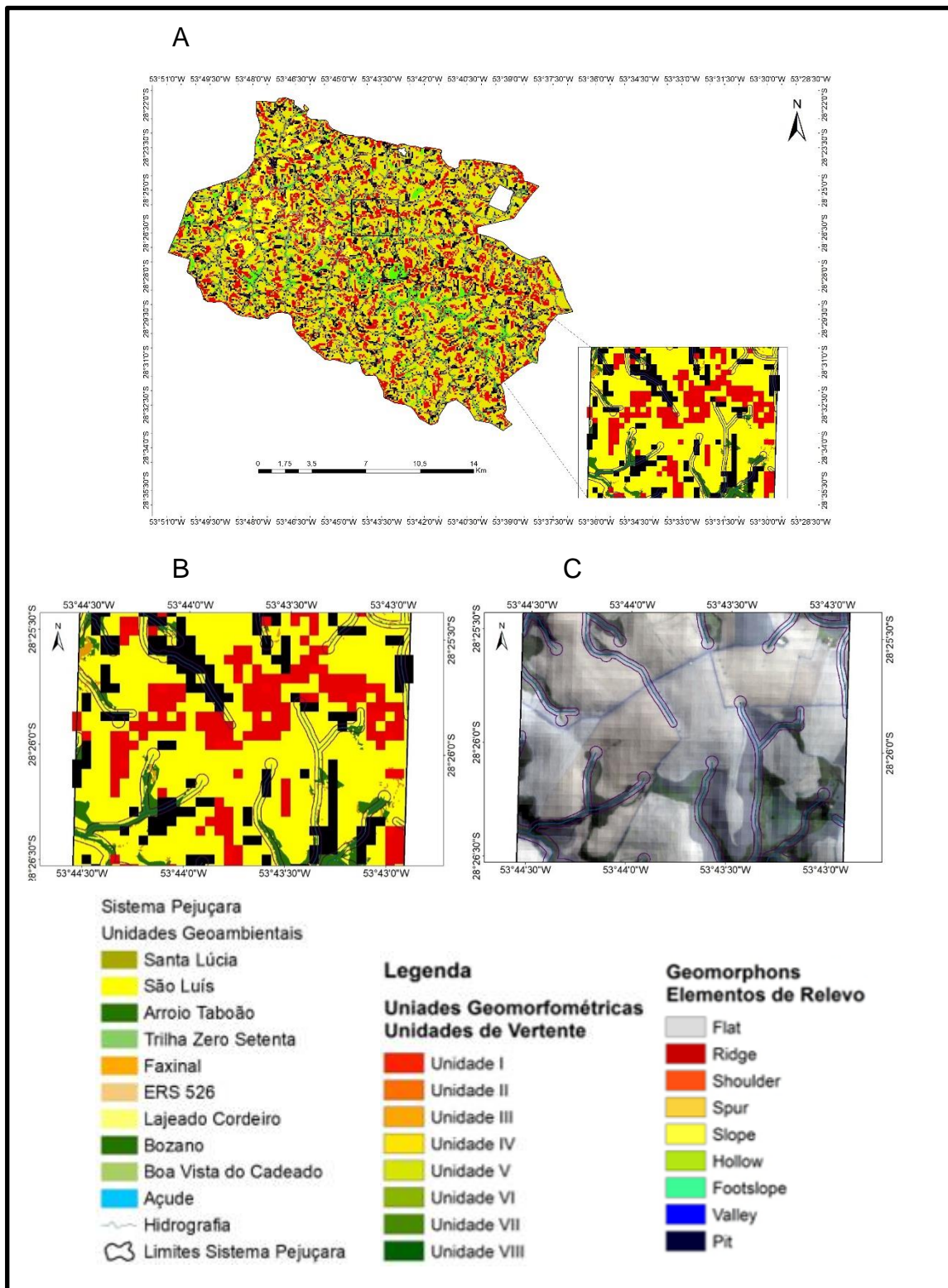
Essas unidades estão associadas ao relevo de *Áreas Planas Aluviais* e são cobertas por Vegetação Arbórea, são unidades associadas às matas ciliares dos cursos d'água. Se diferenciam entre si pela composição pedológica, pois a unidade Lajeado do Cordeiro apresenta Cambissolos e a unidade Boa Vista do Cadeado apresenta Latossolos.

O fato do relevo de *Colinas Suavemente Onduladas* ser, como a própria nomenclatura sugere, mais suave quanto às declividades predominantes em relação às demais unidades de relevo em padrão de colinas na bacia do Potiribu, não elimina as suscetibilidades a processos erosivos. Isto ocorre devido a maior fragilidade dos Cambissolos, em alguns locais com associação de feições do relevo a áreas amplamente desmantadas. O mapa de uma área amostral (Figura 83) sobrepõe os Elementos de Relevo em "Concavidade" (*Hollow*) e as unidades de Vertente 1 e 2, indicando muitos pontos nos quais estas feições ocorrem sobre as unidades geoambientais de *Santa Lúcia e Faxinal*, fato que representa fator importante de suscetibilidade.

A partir das contribuições da Embrapa (op. Cit.), o manejo adequado dos Cambissolos nestas unidades, implica a adoção de correção da acidez e de

teores nocivos de alumínio à maioria das plantas, além de adubação de acordo com a necessidade da cultura e da adoção de práticas conservacionistas, ou seja, recuperação da vegetação nativa, devido a maior suscetibilidade aos processos erosivos.

Figura 84: (A) Mapa do Sistema Pejuçara com os limites de APP (B) Área Amostral do Sistema Pejuçara, (C) imagem Sentinel 2 com relevo sombreado.



(A) Mapa do Sistema Pejuçara com os limites de APP e com a sobreposição do Elemento de Relevo “hollow” e Indicação de área Amostral. (B) Área Amostral do Sistema Pejuçara, com elementos de relevo (polígonos na cor preta) e Unidades de Vertentes 1 e 2 (polígonos nas cores vermelho) (C) Área Amostral do Sistema Pejuçara com imagem Sentinel 2 sobreposta ao relevo sombreado. O mosaico permite a visualização da ocorrência dos elementos de relevo e unidade de encosta nas duas formas de apresentação.

É de extrema necessidade a recuperação das áreas de cabeceiras de drenagem cujas nascentes encontram-se degradadas ou em degradação/regeneração nas unidades de *Santa Lúcia*, *Faxinal* e *São Luís* para que mais áreas espaciais no *Sistema Pejuçara* se somem às unidades de *Arroio Taboão*, *Boa Vista do Cadeado* e *Trilha Zero Setenta*.

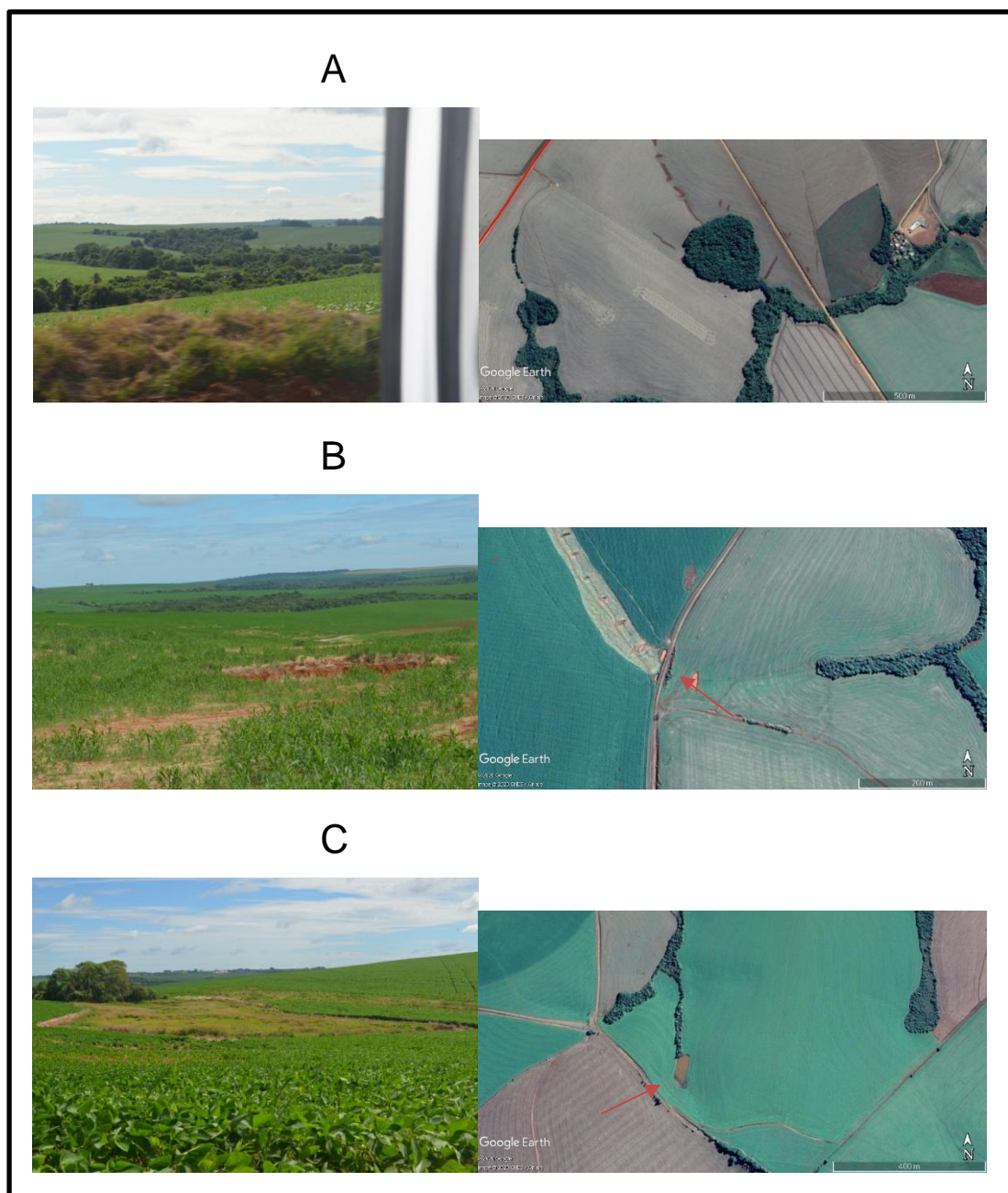
5.4.6. Áreas de Preservação Permanente no Sistema Pejuçara.

O *Sistema Pejuçara* destaca-se por compor a porção do espaço rural da bacia onde são observadas com maior recorrência áreas nas quais a Vegetação Arbórea encontra-se preservada além dos limites previstos pela legislação de APP. Estas situações são observadas em algumas propriedades particulares, e são levadas em conta como bom exemplo de áreas de preservação ambiental, já que a realidade predominante, tanto no próprio sistema, quanto principalmente no conjunto da bacia, apresenta um grau de preservação das APPs insuficiente. Porém, existem áreas nas quais os usos da terra ocorrem de forma agressiva sobre os elementos e as dinâmicas naturais, invadindo as APPs no *Sistema Pejuçara*.

Na Figura 85, um mosaico que ilustra as considerações sobre a preservação das nascentes, comparadas a imagens da plataforma *Google Earth* para a melhor compreensão espacial das referidas nascentes: exemplo A, cabeceira de drenagem com nascente preservada e a vegetação arbórea extrapolando o raio de 50 metros da APP e mata ciliar preservada na APP de curso d’água associados à cabeceira de drenagem, na unidade *Arroio Taboão*; exemplo B, cabeceira de drenagem cuja nascente está totalmente degradada, sem apresentar qualquer vegetação no raio de 50 metros de APP, nem mesmo apresenta o olho d’água ou canal superficial, na unidade *Santa Lúcia*; e, exemplo

C, cabeceira de drenagem em condição intermediária, representando nascentes em degradação em área desmatada pelo cultivo de soja na Unidade *Santa Lúcia*.

Figura 85: Nascentes no Sistema Pejuçara, preservada, degradada e em degradação



(A) Nascente preservada com APP além do raio de 50m. Sistema Pejuçara, município de Pejuçara. Fotografia: Trabalho de campo. Data: 15/01/2020. Coordenadas Geográficas: S28°26'35.00", W53°40'6.77". Imagem da plataforma Googel Earth com área de nascente preservada no Sistema Pejuçara, município de Pejuçara.

(B) Cabeceira de drenagem com nascente degradada no Sistema Pejuçara, município de Pejuçara. Fotografia: Trabalho de campo. Data: 15/01/2020. Coordenadas Geográficas: S28°31'13.36", W53°39'18.44". Imagem da plataforma Google Earth com cabeceira de drenagem e nascente degradadas, com ausência total de vegetação ciliar no raio de APP.

(C) Nascente em processo de degradação, Sistema Pejuçara, Município de Pejuçara. Fotografia: Trabalho de Campo. Data: 15/01/2020. Coordenadas Geográficas: S28°28'21.12",

W53°39'51.37". Nascente em processo de degradação, Sistema Pejuçara, Município de Pejuçara.

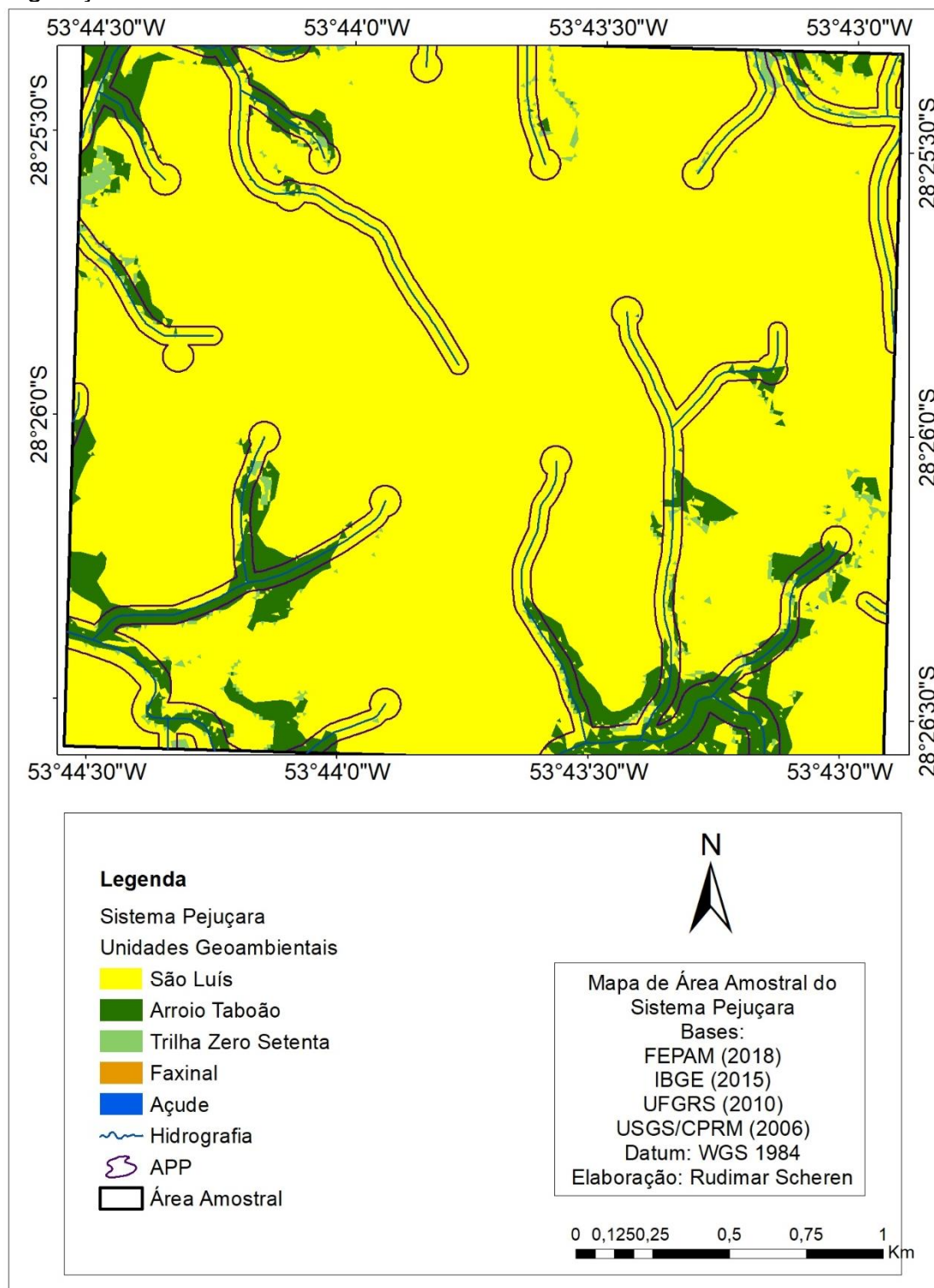
Os conflitos de uso da terra no *Sistema Pejuçara*, ficam evidentes ao analisar os dados da Tabela 17, que apresenta as condições de uso e cobertura da terra, dentro 38,3 km² que representam os limites de APP de acordo com a legislação. Estas informações indicam grande avanço do cultivo da soja sobre as áreas que minimamente deveriam manter as dinâmicas naturais para a conservação dos corpos hídricos e dos solos.

Tabela 17: Uso e cobertura da Terra e conflitos de uso nas Áreas de Preservação Permanente do Sistema Pejuçara.

| Uso e cobertura | Área km² | Porcentagem % |
|------------------------|----------------------------|----------------------|
| Vegetação Arbórea | 14,1 | 37 |
| Vegetação Secundária | 1,4 | 3,8 |
| Soja | 22,3 | 58,3 |
| Açude | 0,06 | 0,1 |
| Outros Cultivos | 0,1 | 0,5 |

Fica evidente analisando os dados da tabela 14 que o uso pelo cultivo de soja ultrapassa em muito todos os usos somados que ocorrem dentro dos limites de APP. Enquanto as categorias de Vegetação Arbórea e Vegetação Secundária somam praticamente 40%, a soja sozinha ocupa 58,3% do interior das APPs. Na Figura 86, é visualizada área amostral com as condições das APP sobrepostas à razão espacial das Unidades Geoambientais.

Figura 86: Área Amostral do Sistema Pejuçara com Unidades Geoambientais e Delimitação de APP, onde pode ser observado o grau de manutenção da vegetação.



O Sistema Pejuçara apresenta, em linhas gerais, um grau médio de suscetibilidade, devido ao fato de possuir sérios problemas associados à condição de nascentes e cabeceiras de drenagem. O alto grau de avanço dos

cultivos de soja sobre as APP e alguns problemas associados aos Cambissolos em áreas com potencial erosivo, devido às feições do relevo que concentram o fluxo superficial potencializado pela falta de cobertura vegetal, denotam áreas de suscetibilidade. Estes fatores são amenizados no sistema pelo Padrão do relevo em colinas Suavemente Onduladas que reduz os impactos da erosão. Outro fator positivo é a Vegetação Arbórea em melhor condição de preservação em relação aos demais sistemas da bacia, devendo ser indicados como Áreas de Conservação da Natureza.

O potencial agrícola do *Sistema Pejuçara* é evidenciado pelos Latossolos bem desenvolvidos em área de relevo de Colinas Suavemente Onduladas, sobre rochas vulcânicas, como a unidade *Santa Lúcia*. Estes elementos proporcionam à unidade *Santa Lúcia* as características ideais para cultivos como a soja. Porém, práticas de recuperação das unidades *Arroio Taboão* e *Trilha Zero Setenta* são necessárias para o equilíbrio sistêmico e manutenção dos recursos hídricos.

5.5. SISTEMA ANDORINHAS.

O *Sistema Andorinhas* possui área de 97,9 km² que equivalem a 14,7% da área da bacia do Potiribu, estando assentado sobre o substrato de rochas vulcânicas, com pedologia em Latossolos e Cambissolos, nas unidades de relevo de *Colinas Onduladas de Baixo Curso* e *Áreas Planas Aluviais*. A Figura 87 apresenta a distribuição do Sistema Andorinhas e suas respectivas 7 Unidades Geoambientais e a Tabela 18 apresenta a área de cada unidade e a porcentagem das mesmas dentro do sistema.

Figura 87: Mapa do Sistema Geoambiental Andorinhas e distribuição de suas 7 unidades geoambientais.

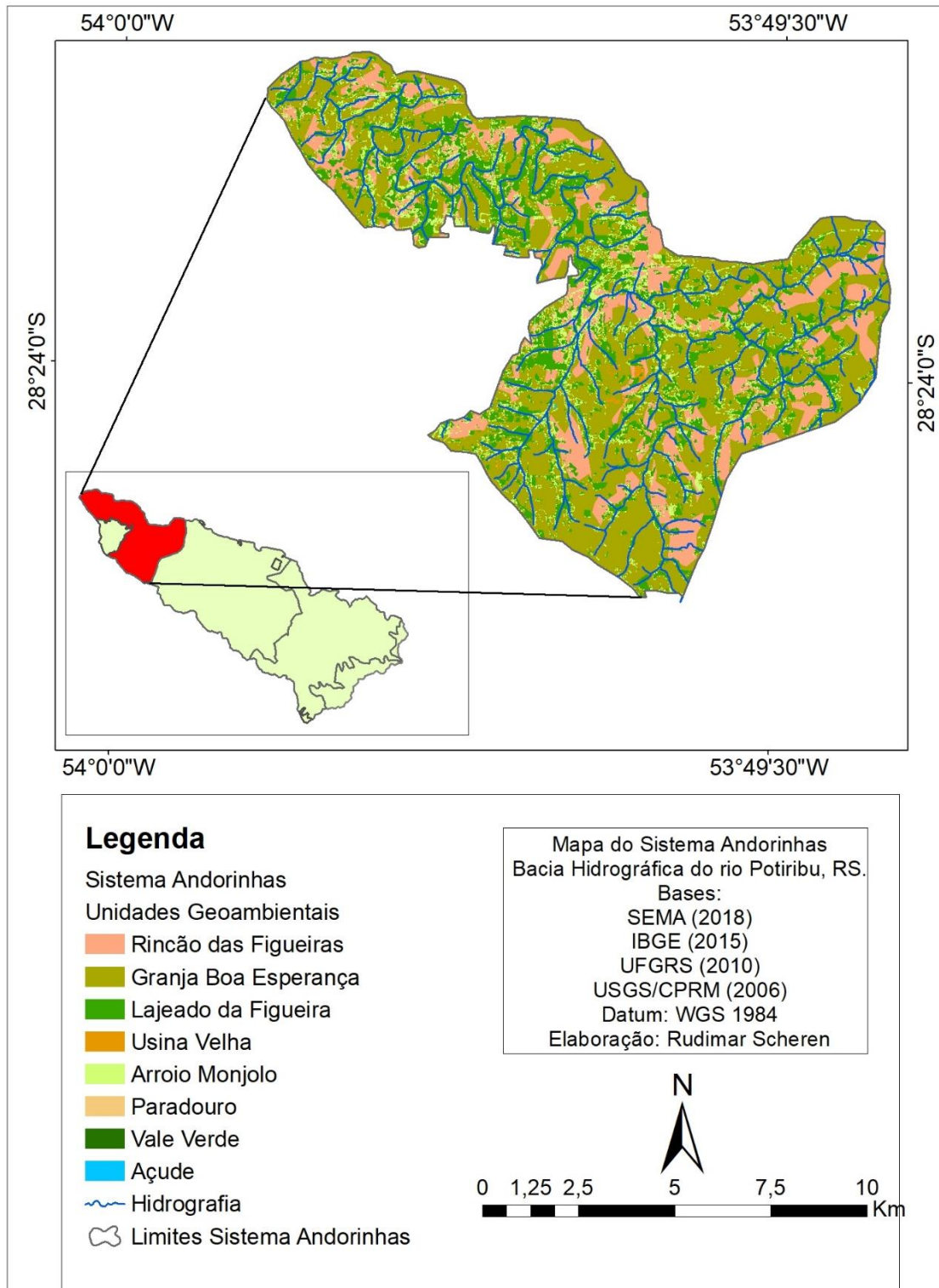


Tabela 18: Unidades Geoambientais do Sistema Andorinhas

| Unidade Geoambiental | Descrição | Área Km² | Porcentagem % |
|-----------------------------|--|----------------------------|----------------------|
| <i>Paradouro</i> | <i>Áreas Planas Aluviais em Cambissolos Soja</i> | 0,1 | 0,1 |
| <i>Vale Verde</i> | <i>Áreas Planas Aluviais em Latossolos Vegetação Arbórea</i> | 0,08 | 0,08 |
| <i>Lajeado da Figueira</i> | <i>Colinas Onduladas de Baixo Curso em Latossolos Vegetação Arbórea</i> | 19,6 | 20 |
| <i>Usina Velha</i> | <i>Colinas Onduladas de Baixo Curso em Latossolos/Cambissolos Outros Cultivos</i> | 0,3 | 0,3 |
| <i>Granja Boa Esperança</i> | <i>Colinas Onduladas de Baixo Curso em Latossolos Soja</i> | 55 | 56,2 |
| <i>Rincão das Figueiras</i> | <i>Colinas Onduladas de Baixo Curso em Cambissolos Soja</i> | 19 | 19,4 |
| <i>Arroio Monjolo</i> | <i>Colinas Onduladas de Baixo Curso em Latossolos/Cambissolos Vegetação Secundária</i> | 3,3 | 3,4 |

O Sistema Andorinhas tem semelhança fisiográfica com o Sistema Pejuçara, com substrato de rochas vulcânicas cobertas por Latossolos e Cambissolos, além de apresentar fragmentos de relevo de *Áreas Planas Aluviais*. No entanto, como sistema alocado sobre o baixo curso da bacia do Potiribu, tem o relevo mais movimentado na medida que se aproxima da foz do canal principal no vale do rio Ijuí. É perceptível a ocorrência de vertentes mais curtas e com maior amplitude topográfica, com predominância de amplitudes maiores que 60 metros. Assim, o relevo é mais encaixado, recebendo a nomenclatura de *Colinas Onduladas de Baixo Curso*.

Um indicador de relevo mais movimentado são as rupturas de nível controlada por faturamentos na rocha vulcânica que formam cachoeiras no canal principal do rio Potiribu, como a Cascata das Andorinhas, a Cascata Waslawick e a Cascata da Usina Velha (Figura 88).

Figura 88: **A:** Cascata das Andorinhas. **B:** Cascata da Usina Velha. **C:** Cascata Waslawick. Sistema Andorinhas, Município de Ijuí, RS.



A: Cascata das Andorinhas, Sistema Andorinhas, Município de Ijuí, RS. Coordenadas Geográficas: S 28° 24' 11.10", 53° 48' 37.39"; **B:** Cascata da Usina Velha, Sistema Andorinhas, município de Ijuí, RS. Coordenadas Geográficas: S28°21'24.08", W53°53'58.51"; **C:** Cascata Waslawick, Sistema Andorinhas, município de Ijuí, RS. Coordenadas Geográficas: S28°22'12.62", W53°52'42.80".

Fotos: Trabalho de campo. Data: 14/01/2020.

5.5.1. Unidade Granja Boa Esperança.

A principal Unidade Geoambiental do *Sistema Andorinhas* é formada pelas *Colinas Onduladas de Baixo Curso*, com a cobertura pedológica de Latossolos com o cultivo de soja, denominada Unidade *Granja Boa Esperança*. A unidade *Granja Boa Esperança*, apresenta grande potencial produtivo para os cultivos anuais como a soja, devido à característica dos Latossolos bem desenvolvidos, de forma especial nos topos de vertente, como apresentado no exemplo da Figura 88. Apesar do potencial agrícola, a unidade representa

significativo avanço dos cultivos agrícolas sobre o meio natural, sendo necessário correção no manejo e especialmente, recuperação de Vegetação Arbórea e Vegetação Secundária nas APP.

Figura 89: Latossolo em corte de estrada vicinal, Sistema Andorinhas, Município de Ijuí, RS.



Fotografia: Trabalho de campo. Data: 14/01/2020.
Coordenadas Geográficas: S28°22'24.71", W53°52'53.83"

A Figura 90 apresenta afloramento de rocha em fragmento da unidade *Granja Boa Esperança*, indicando que, mesmo nos Latossolos, eventos de erosão laminar podem ocorrer ocasionando o referido fenômeno quando o manejo não é adequado nas práticas de cultivo intensivo e anual como é o caso da soja.

Figura 90: Afloramento de rocha na Unidade Granja Boa Esperança. Município de Ijuí, RS.



Foto: Trabalho de Campo. Data: 14/01/2020.
Coordenadas Geográficas: S28°23'51.82", W53°48'31.72"

5.5.2. Unidade Rincão das Figueiras.

A unidade *Rincão das Figueiras* é a segunda em dimensão espacial, composta por *Colinas Onduladas de Baixo Curso* recobertas por Cambissolos com o cultivo de soja.

Há um significativo aumento da área proporcional da ocorrência de Cambissolos na meia e baixa vertente, que forma a unidade *Rincão das Figueiras*, composta por *Colinas Onduladas de Baixo Curso* com pedologia em Cambissolos e cultivo de soja. Apesar da baixa produtividade do referido tipo de solo, são mantidas as práticas relacionadas ao cultivo da soja nestas áreas, implicando em aumento da suscetibilidade ambiental em função dos processos morfogenéticos se acentuarem sob estas condições físicas e ambientais (Figura 91).

Figura 91: Cambissolo em meia vertente, Sistema Andorinhas, Município de Ijuí.



Foto: Trabalho de Campo. Data: 14/01/2020.
Coordenadas Geográficas: S28°19'49.27", W53°57'25.16"

A suscetibilidade à processos morfogenéticos na unidade *Rincão das Figueiras* está ilustrada na Figura 92, que apresenta uma área de produção de soja sobre Cambissolos em meia vertente com afloramento rochoso causado por erosão laminar. Na medida em que os blocos de rocha afloram, os usos para o cultivo vão deixando de ser possíveis, por consequência a vegetação começa a

retomar espaço justamente em locais em que este tipo de fragilidade é encontrado.

Figura 92: Afloramento de rocha na unidade Rincão das Figueiras, município de Ijuí.



Foto: Trabalho de campo. Data: 14/01/2020.
Coordenadas Geográficas: S28°20'0.93", W53°57'32.59"

5.5.3. Unidade Lajeado da Figueira.

A terceira maior unidade do *Sistema Andorinhas*, é formada por Colinas Onduladas de Baixo Curso em Latossolos cobertas por Vegetação Arbórea, e recebe a nomenclatura de unidade *Lajeado da Figueira*. Nota-se neste sistema uma leve redução na área das unidades com cultivo de soja, e um aumento de área de unidades com Vegetação Arbórea em relação aos valores absolutos dos outros sistemas da bacia. Esta constatação pode ser explicada devido ao relevo mais movimentado, com vertentes mais íngremes, impor maiores dificuldades para a prática da agricultura mecanizada e desencadear processos superficiais mais importantes quando não respeitada a proteção do solo pela vegetação natural. Outro aspecto que justifica a redução sutil do cultivo de soja se dá pela estrutura fundiária, com propriedades menores, nas quais o cultivo de soja é menos intenso. Um último fator pode estar relacionado com a proximidade à área urbana de Ijuí, reduzindo assim as áreas de cultivo de soja.

5.5.4. Unidade Usina Velha.

A unidade *Usina Velha*, formada por *Colinas Onduladas de Baixo Curso* em Latossolos/Cambissolos utilizada para Outros Cultivos, tem pequena expressão espacial e se apresenta de forma fragmentada sobre o Sistema Andorinhas. Porém, é importante compreender a ocorrência destes usos e as associações a eles, como a localização preferencial em baixa vertente, muitas vezes próxima a cursos hídricos. Além da diversidade de usos da terra de menor razão espacial, realizados na bacia que diferem do uso predominante da produção agrícola de soja.

Figura 93: Mosaico de imagens da Unidade Geoambiental *Usina Velha*.



A: Latossolo exposto em preparação para plantio de milho ou pastagem, Coordenadas Geográficas: S28°19'42.84", W53°57'14.41"; **B:** Cultivo de milho em baixa vertente em Cambissolo, C. G.: S28°19'44.92", W53°57'16.45"; **C:** Pastagem em baixa vertente em Cambissolo, C. G.: S28°22'24.71", W53°52'53.83" ; **D:** Nascente alterada para açude juntamente com área de pastagem em média vertente em Latossolo, C. G.: S28°21'40.54", W53°53'50.75". Todas as fotos são tomadas no Sistema Andorinhas em trabalho de campo. Data: 14/01/2020.

5.5.5. Unidades Arroio Monjolo, Paradoiro e Vale Verde.

A Unidade *Arroio Monjolo*, composta por *Colinas Onduladas de Baixo Curso* com pedologia em Latossolos/Cambissolos, cobertas por Vegetação Secundária ocorre associada à unidade *Lajeado da Figueira*, próxima aos canais fluviais.

As unidades *Paradoiro* e *Vale Verde* são pequenas Unidades Geoambientais que ocorrem de forma fragmentada no *Sistema Andorinhas*. Porém, como possuem características peculiares significam importantes processos para a compreensão da complexidade geoambiental da bacia e das suscetibilidades referentes a estas porções. A Figura 94 apresenta aspectos dessas Unidades Geoambientais no *Sistema Andorinhas*, em primeiro plano a unidade *Paradoiro*, composta de *Áreas Planas Aluviais* em Cambissolos cultivadas com soja e, em segundo plano, a unidade *Vale Verde*, formada por *Áreas Planas Aluviais* em Latossolos cobertas por Vegetação Arbórea.

Figura 94: Aspectos das Unidades Paradoiro e Vale Verde, Sistema Andorinhas, município de Ijuí, RS.

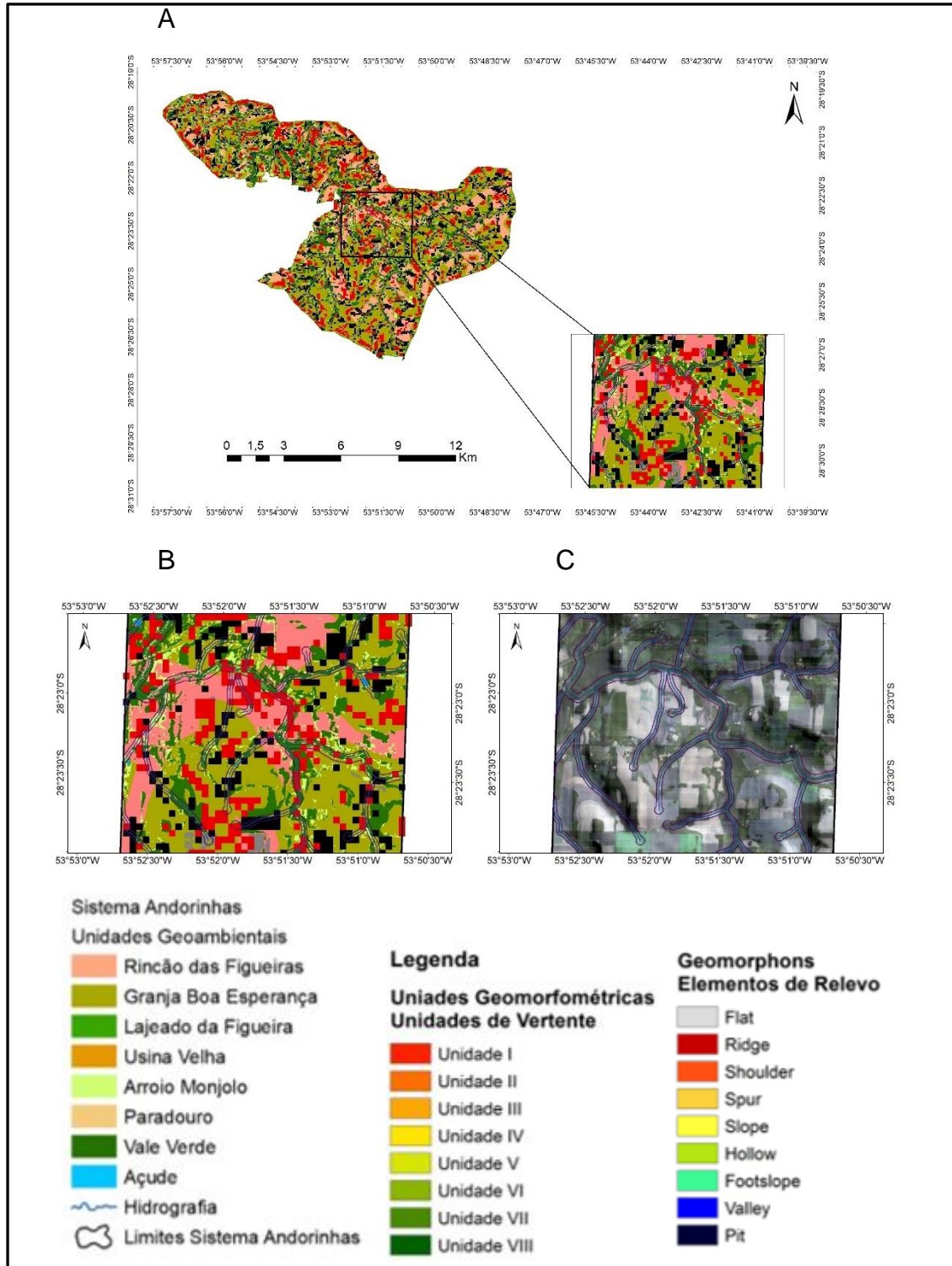


Foto: Trabalho de campo. Data: 14/01/2020.
Coordenadas Geográficas: S28°23'31.21", W53°51'15.22"

Os problemas associados aos Elementos de Relevo “Concavidade” (*hollow*) e Unidades de Vertente 1 e 2 são recorrentes no sistema. Em muitos casos, as referidas feições de relevo ocorrem sobre as unidades geoambientais de *Granja Boa Esperança*, *Rincão das Figueiras*, e *Usina Velha*, nas quais o solo

fica exposto pela ausência de vegetação natural. Esta configuração potencializa os processos erosivos lineares e laminares.

Figura 95: (A) Mapa do Sistema Andorinhas com os limites de APP e Indicação de área amostral. (B) Área Amostral do Sistema Andorinhas, com elementos de relevo e Unidades de Vertentes 1 e 2 (C) Imagem Sentinel 2 sobreposta ao relevo sombreado.



(A) Mapa do Sistema Andorinhas com os limites de APP e com a sobreposição do Elemento de Relevo “hollow” e Indicação de área Amostral. (B) Área Amostral do Sistema Andorinhas, com elementos de relevo (polígonos na cor preta) e Unidades de Vertentes 1 e 2 (polígonos

nas cores vermelho) (C) Área Amostral do Sistema Andorinhas com imagem Sentinel 2 sobreposta ao relevo sombreado. O mosaico permite a visualização da ocorrência dos elementos de relevo e unidade de encosta nas duas formas de apresentação.

O *Sistema Andorinhas* que abriga a foz do rio Potiribu no rio Ijuí pode ser um testemunho a respeito da perda de solo por processos superficiais causados pelo manejo incorreto e especialmente pelos conflitos de uso da terra evidenciados pelo avanço do cultivo da soja em especial, sobre as APP. Isto se observa nas águas do rio Potiribu, nas quais é constatada uma grande carga de sedimentos em suspensão delatada pela coloração da água em marrom avermelhado, indicado presença de materiais do solo que foram conduzidos até o canal principal da bacia. Por analogia, observando o rio Ijuí é perceptível que outras bacias tributárias do mesmo rio apresentam problemas similares, em características fisiográficas e antrópicas semelhantes.

Figura 96: Foz do rio Potiribu no rio Ijuí, Sistema Andorinhas, município de Ijuí, RS.



Foto: Trabalho de campo. Coordenadas Geográficas: S28°19'42.64", W53°57'14.39"

5.5.6. Áreas de Preservação Permanente no Sistema Andorinhas.

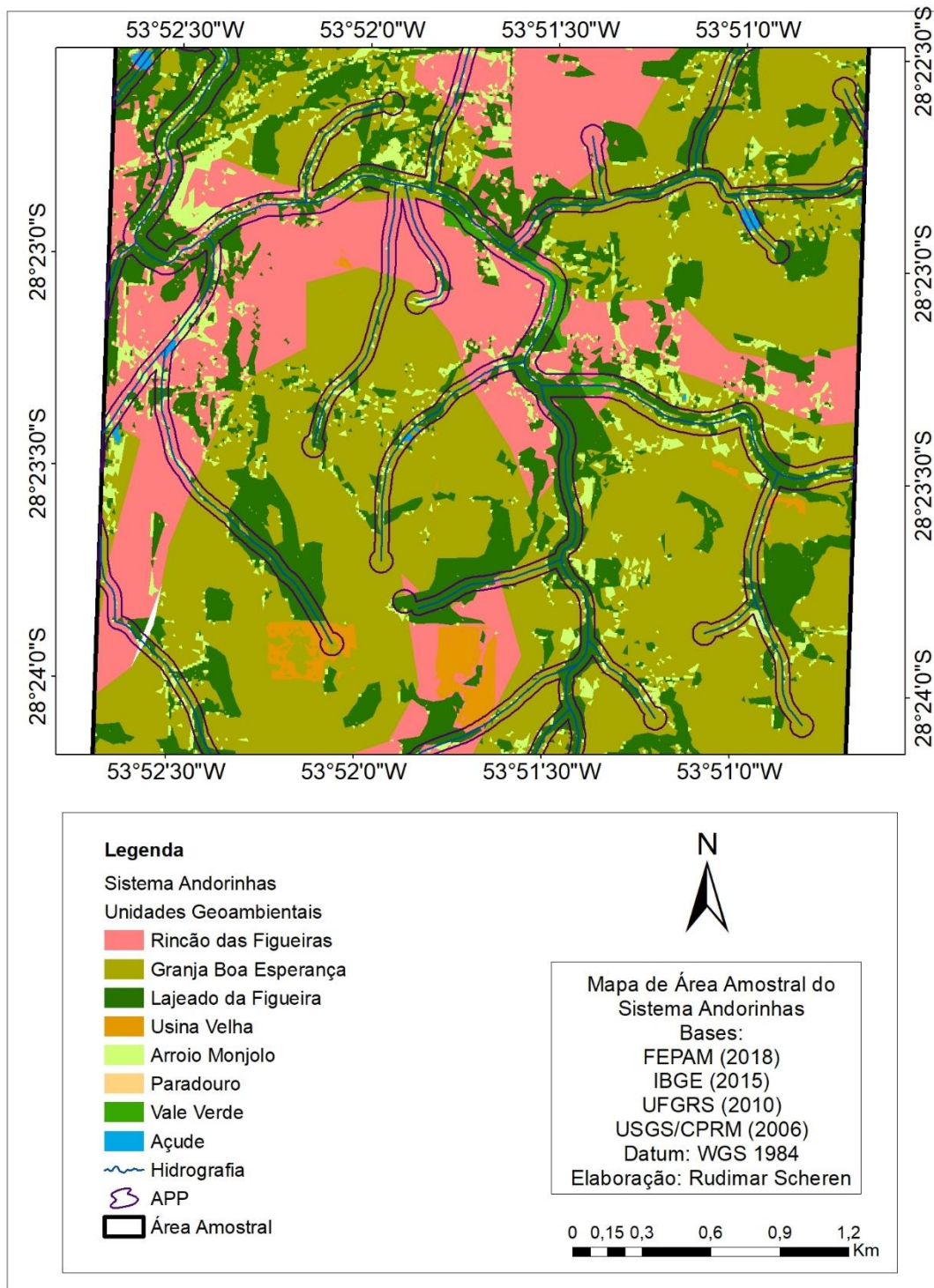
O Sistema Andorinhas apresenta importantes conflitos de uso denotados ao analisar os limites de APP cuja área no sistema é de 13,6 km². Há um sutil aumento da proporção de Vegetação Arbórea e Vegetação Secundária no *Sistema Andorinhas*, quando realizada a comparação das APPs entre os demais

sistemas geoambientais da bacia do Potiribu. Contudo, o uso do solo especificamente em APP ainda é demasiadamente conflitante devido ao excesso de cultivo da soja em áreas nas quais deveriam existir apenas as unidades geoambientais *Lajeado da Figueira, Arroio Monjolo e Vale Verde*. A Tabela 19 e a Figura 97 apresentam área, percentual e distribuição do uso sobre as APPs do Sistema Andorinhas.

Tabela 19: Uso e cobertura da Terra e conflitos de uso nas Áreas de Preservação Permanente do Sistema Andorinhas

| Uso e cobertura | Área km ² | Porcentagem % |
|----------------------|----------------------|---------------|
| Vegetação Arbórea | 5,7 | 41,9 |
| Vegetação Secundária | 0,8 | 3,8 |
| Soja | 6,9 | 50,8 |
| Açude | 0,1 | 0,8 |
| Outros Cultivos | 0,03 | 0,2 |

Figura 97: Área Amostral do Sistema Andorinhas com Unidades Geoambientais e Delimitação de APP, indicando o grau de manutenção da vegetação.



Diferente dos demais sistemas rurais da bacia do Potiribu, o *Sistema Andorinhas* apresenta poucas cabeceiras de drenagem e nascentes em estado crítico de degradação, com a exceção de alguns casos isolados. A maior parte das nascentes mapeadas apresenta mata ciliar preservada no raio de APP de

acordo com a legislação ambiental ou apresentam a condição de regeneração ou de degradação.

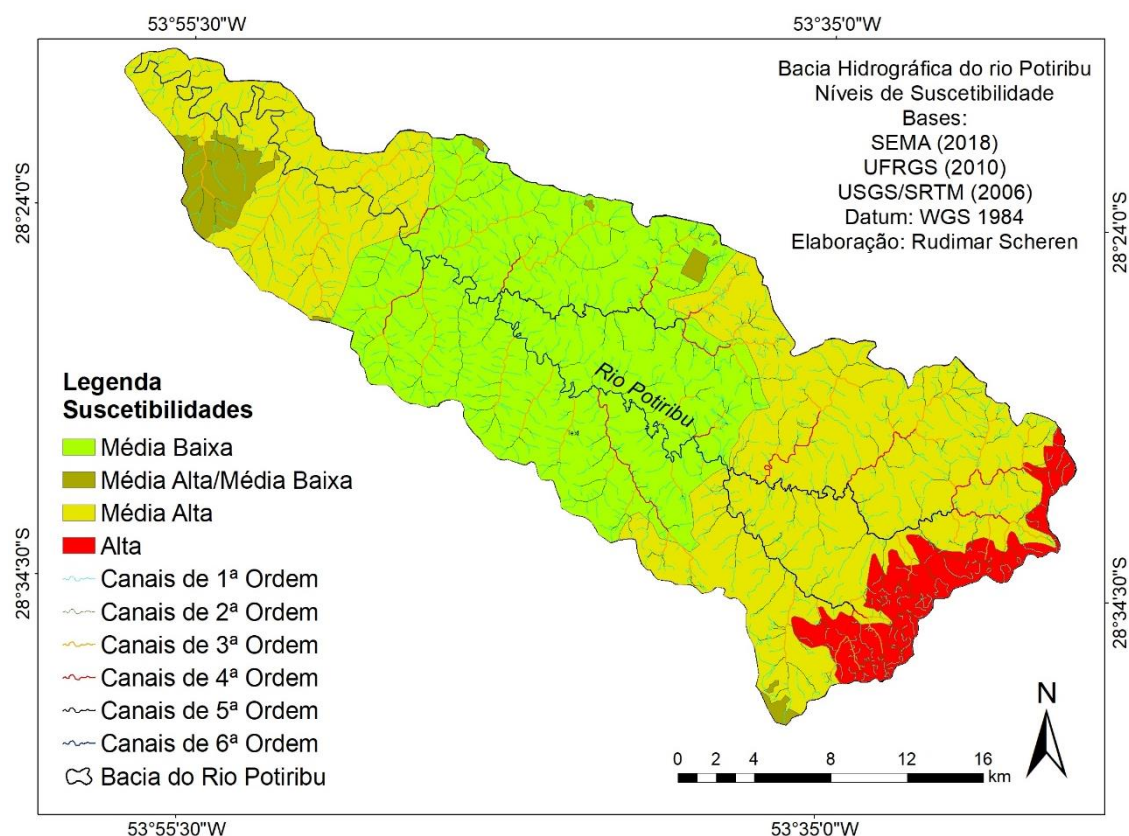
De forma geral, o *Sistema Andorinhas* apresenta suscetibilidade média. Ocorre o avanço dos cultivos de soja sobre os elementos naturais, descumprindo a legislação de APP. Além disso, o cultivo de soja sobre os Cambissolos potencializa os eventos de erosão linear e laminar, e por consequência, a perda de solo. Para que as suscetibilidades no *Sistema Andorinhas* sejam minimizadas é necessária a recuperação das unidades *Lajeado da Figueira*, *Arroio Monjolo* e *Vale Verde*. Com práticas de recuperação e manejo consciente da terra, para que minimamente os limites das APPs sejam respeitados, garantindo a produtividade do solo e a manutenção dos recursos hídricos.

5.6. MAPAS SÍNTESE

A partir das análises individualizadas dos Sistemas e Unidades Geoambientais, restam análises sintéticas no âmbito da bacia do rio Potiribu, RS, que indicam os pontos de maiores e menores suscetibilidades, de maior agressividade do cultivo da soja e de maior e menor transgressão das APP. Assim, as tomadas de decisão por parte dos gestores públicos, da mesma forma que os indicativos para novas pesquisas, podem ser norteadas por mapeamentos temáticos que indicam características gerais da bacia.

A Figura 98 apresenta quatro níveis de suscetibilidade, sendo que um destes níveis é uma generalização das condições do Sistema Urbano, indicado como suscetibilidade Média Baixa/Média Alta. Os três níveis restantes indicam as condições gerais dos demais sistemas (rurais) da bacia que variam entre Média Baixa, Média Alta e Alta.

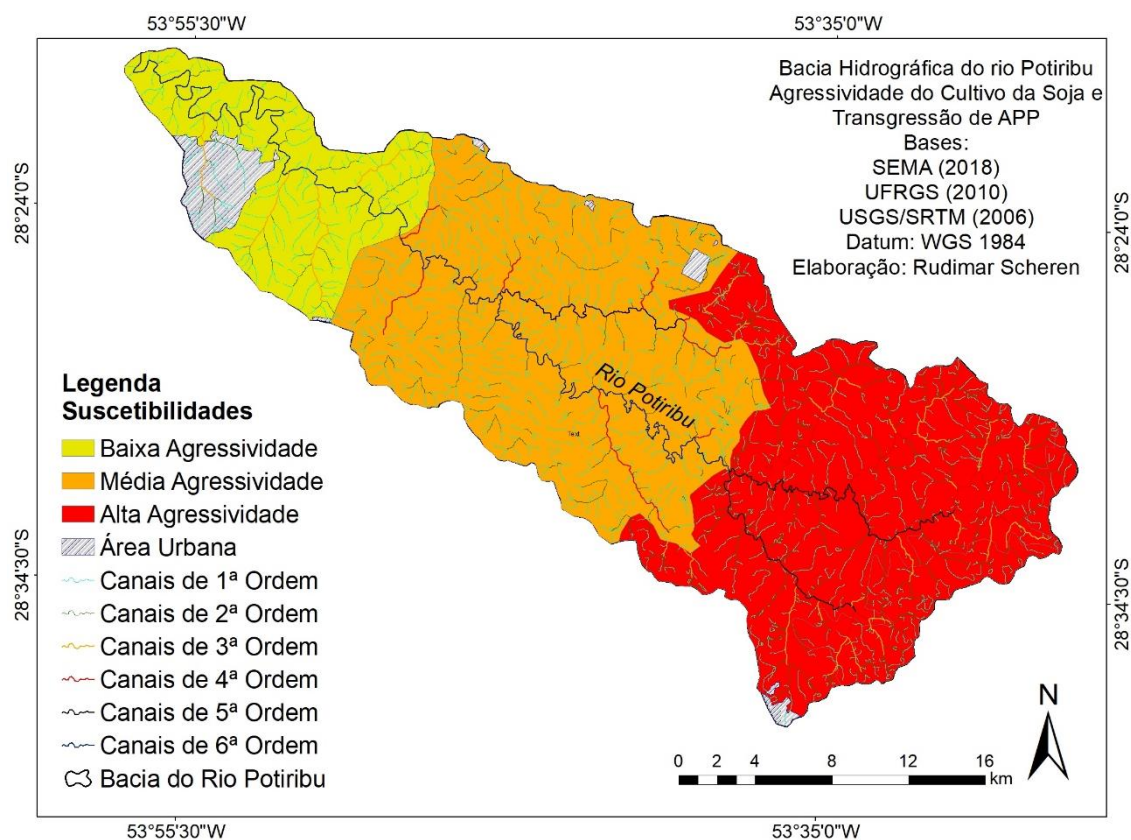
Figura 98: Mapa de suscetibilidades na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS.



O Sistema Passo do Inglês apresenta as maiores suscetibilidades da bacia, sendo um sistema classificado como de alta suscetibilidade, como mencionado anteriormente, devido à associação da rocha arenítica e os Argissolos, com uma amplitude topográfica predominante maior que 60 metros e intenso cultivo de soja e a transgressão das APP. Os Sistemas Cambará e Andorinhas apresentam suscetibilidade Média Alta por diferentes associações entre o relevo e a supressão da vegetação.

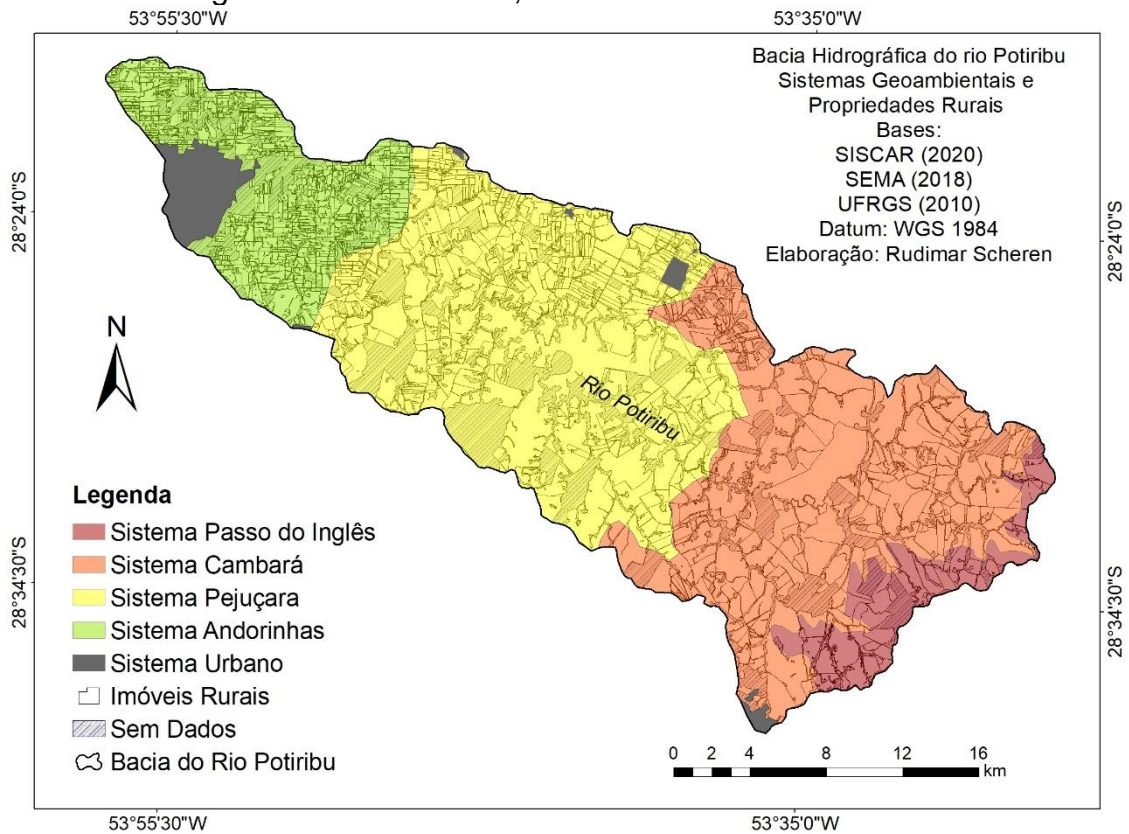
O cultivo da soja para exportação, principal atividade do agronegócio na economia regional, está evidenciado como o maior fator de suscetibilidades na bacia do Potiribu. Dessa forma, é necessário indicar as áreas onde essa atividade é mais agressiva como condicionante de desequilíbrio nos sistemas. A transgressão das APP é diretamente proporcional à agressividade da soja, ou seja, quanto maior for o avanço do agronegócio, maior é a transgressão das APP. A Figura 99 apresenta uma síntese da agressividade do cultivo da soja sobre os elementos naturais, transgredindo as APP.

Figura 99: Mapa de agressividade do cultivo da soja e transgressão de APP na bacia do rio Potiribu, RS.



Existe uma relação percebida entre o tamanho das propriedades e o grau de agressividade sobre as APP, como é visível ao sobrepor os Sistemas Geoambientais aos imóveis rurais da bacia mapeadas pelo Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural, (SISCAR, 2020), do Serviço Florestal Brasileiro. É notório que as pequenas propriedades alocadas no Sistema Passo do Inglês, que é uma área de baixa agressividade sobre as APP, tem um comportamento diferente das propriedades maiores que atingem centenas e até milhares de hectares nos sistemas Pejuçara, Cambará e Passo do Inglês, áreas de média e alta agressividade sobre as APP. A Figura 100 apresenta a sobreposição dos Sistemas Geoambientais aos imóveis rurais na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, constatando visualmente esta afirmação.

Figura 100: Mapa de sobreposição de Sistemas Geoambientais e Imóveis Rurais na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS.



Com estes mapas síntese ficam indicados os sistemas da bacia do Potiribu que apresentam as maiores e menores suscetibilidades e áreas de maior e menor agressividade do cultivo da soja, em especial, sobre as APP, com associação à estrutura fundiária. Desta forma, a presente tese oferece material que pode ser referência para o poder público nos projetos de ordenamento territorial e planejamento espacial.

Capítulo 6

6. CONCLUSÕES

A presente tese elucidou e determinou formas de representação da distribuição espacial dos elementos fisiográficos e antrópicos da Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS, por meio do Zoneamento de Sistemas Geoambientais. O ambiente físico foi associado à dicotomia entre ser humano e natureza e aos conflitos de uso da terra que ocorrem sobre o espaço. Os resultados apresentaram uma configuração da paisagem que é caracterizada por muitas áreas de apropriação econômica do espaço e poucas áreas cobertas pela vegetação natural e demais elementos naturais da superfície.

Para tanto, foram coletados dados a respeito da geologia, dos solos, da hidrografia, da altimetria, da declividade, do relevo e dos usos da terra, bem como dos remanescentes da vegetação nativa. Foram utilizadas imagens de Sensoriamento Remoto, e aplicadas técnicas de SIG e Geoprocessamento para a conversão dos dados espaciais em informações analisadas na pesquisa. Os trabalhos de campo foram fundamentais para a validação dos resultados.

Foram mapeados no âmbito da bacia o substrato rochoso, em Rochas Vulcânicas Basálticas da Formação Serra Geral e Rochas Areníticas da Formação Tupanciretã, além dos tipos de solo, em Latossolos, Cambissolos e Argissolos, determinando assim a configuração litopedológica da bacia. As formas de relevo por padrões de formas semelhantes, cujo predomínio é de colinas, como a unidade de *Colinas Onduladas de Alto Curso*, por exemplo, foram determinadas em função da declividade e da amplitude das vertentes, e em cada unidade de relevo foram analisados os elementos de relevo e as unidades de vertente. A sobreposição das informações litopedológicas e do relevo deu suporte ao mapeamento geomorfológico, que determinou os cinco maiores níveis taxonômicos em uma adaptação da metodologia de ROSS (1992), porém, com a proposta de aplicação de metodologias de automação.

O mapeamento do uso e cobertura da terra fez referência a respeito da ocupação humana, tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais, determinando os tipos de atividades realizadas e os remanescentes de vegetação natural. Dessa forma, foi exposta a organização da distribuição

especial dos elementos naturais e antrópicos, sobretudo a discrepância entre a razão espacial das áreas ocupadas e cultivadas em relação às áreas naturais remanescentes, inclusive em Áreas de Preservação Permanente.

O cruzamento das informações litopedológicas, geomorfológicas e de uso e cobertura da terra, resultou no mapeamento de dois níveis taxonômicos que representam o Zoneamento de Sistemas Geoambientais da Bacia do rio Potiribu, com cinco Sistemas distintos, subdivididos em diferentes Unidades Geoambientais.

Quanto aos potenciais e limitações da bacia, os componentes litopedológicos associados ao relevo conferem à bacia do Potiribu um grande potencial agrícola que é explorado além dos limites do ambiente. O substrato de rochas vulcânicas e os Latossolos são ideais para o cultivo de sementes em larga escala, especialmente no *Sistema Pejuçara*, onde os processos erosivos são atenuados pelo baixo gradiente topográfico quanto à inclinação e amplitude de vertentes, como é o exemplo da *Unidade São Luis*. Porém, no Sistema Pejuçara as áreas cobertas com Cambissolos, como a *Unidade ERS 526*, apresentam maior suscetibilidade.

No *Sistema Pejuçara*, no entanto, o maior indicativo de suscetibilidade é o avanço dos cultivos de soja sobre as Áreas de Preservação Permanentes, especialmente no que diz respeito à condição de nascentes e cabeceiras de drenagem, visualizadas nas Unidades *São Luis* e *ERS 526*.

Os ambientes de substrato de rocha arenítica, associadas aos Argissolos indicam as maiores suscetibilidades na bacia do Potiribu, apresentando limitações quanto aos usos para a prática da agricultura. Estas suscetibilidades são maiores no *Sistema Passo do Inglês*, cujas feições do relevo apresentam maiores inclinações e amplitudes de vertentes, potencializando os processos erosivos, caso das unidades *Fazenda Manjabosco* e *Belizário*. No mesmo sentido, as unidades caracterizadas pela presença da vegetação nativa, *Santa Clara*, *Lagão* e *Distrito Onze*, são reduzidas no sistema, indicando avanço das áreas de cultivo agrícola sobre as APP e os recursos hídricos.

O *Sistema Cambará* apresenta significativo potencial agrícola, devido à profundidade dos Latossolos bem desenvolvidos, altamente explorados para esta finalidade na Unidade *Granja Alvorada*. Porém, a reduzida razão espacial das unidades de vegetação nativa, *Granja Avozinha* e *Olaria*, associadas às

declividades e amplitude topográfica, indicam suscetibilidades e conflitos de usos no Sistema.

O *Sistema Andorinhas* possui as maiores suscetibilidades nas Unidades *Rincão das Figueiras* e *Usina Velha*, devido à associação dos Latossolos com cultivos agrícolas em áreas de vertentes com declividade maior que 5% e amplitude topográfica maior que 60 metros. As suscetibilidades também são visualizadas pela área reduzida das Unidades *Lajeado da Figueira* e *Arroio Monjolo*, caracterizadas por vegetação nativa. A potencialidade agrícola do Sistema é maior na unidade *Granja Boa Esperança*, devido à profundidade dos Latossolos.

As áreas rurais são predominantes na bacia hidrográfica do rio Potiribu, o que permite afirmar que estas são as mais importantes áreas estudadas na análise das suscetibilidades. Neste sentido, as áreas rurais apresentam problemas quanto aos limites das APP que não são respeitados em sua integridade. Fato constatado pela organização espacial das classes de uso e cobertura da terra apontadas pelo mapeamento e visualizadas em trabalho de campo.

O avanço das atividades agrícolas sobre vegetação nativa e os corpos d'água está evidenciado na sobreposição do mapa de APP ao mapa de uso e cobertura da terra, que apresenta a descontinuidade dos relictos de vegetação arbórea e secundária no interior das APPs quanto às prerrogativas legais. Este processo ocorre em torno de nascentes e nas margens de canais fluviais.

O *Sistema Urbano* apresenta maiores suscetibilidades na cidade de Ijuí, devido ao potencial de inundação nos vales fluviais das Unidades *Praça da República* e *Boa Vista*. Outra condicionante que indica suscetibilidade é dada e pelo baixo padrão construtivo em áreas da unidade *Boa Vista*. Na área urbana de Cruz Alta estas suscetibilidades são denotadas na unidade *Jardim Primavera*. Nos demais ambientes urbanos da bacia, referentes à unidade *Alto da União*, a baixa densidade de ocupação mantém as suscetibilidades atenuadas.

A presente tese contribui *stricto sensu* para o conhecimento a respeito da caracterização física e antrópica da bacia do Potiribu, e *latu sensu*, para o entendimento das dinâmicas ambientais e socioeconômicas na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, considerando que a configuração fisiográfica e

de uso e ocupação da terra na bacia do Potiribu apresentam características análogas à macrorregião do estado.

O Zoneamento de Sistemas Geoambientais na Bacia do rio Potiribu, RS, buscou compreender a organização da distribuição espacial dos diferentes sistemas e unidades e expor as potencialidades e suscetibilidades da bacia. A partir dos conhecimentos produzidos pela pesquisa, a mesma pode servir de base para intervenções por parte do poder público e da sociedade civil na tentativa de minimizar os efeitos das atividades antrópicas sobre os recursos naturais como o solo e os recursos hídricos, fundamentais para a própria manutenção das atividades econômicas. No mesmo sentido, a presente tese pode ser utilizada no meio acadêmico como referência para estudos sobre o meio físico e antrópico da bacia do Potiribu. Por outro lado, a pesquisa oferece base metodológica e operacional para obtenção de dados e produção de informações geográficas na análise ambiental.

A partir dos resultados obtidos e das análises e discussões realizadas no Zoneamento de Sistemas Geoambientais na Bacia Hidrográfica do rio Potiribu, RS, outros esforços científicos podem ser realizados no meio em questão. Por exemplo, a realização de Zoneamento Ecológico Econômico da bacia ou dos municípios presentes em seu espaço. O desenvolvimento de trabalho técnico científico de tal natureza poderia propor soluções e normativas capazes de garantir o fluxo gênico e a dinâmica evolutiva do meio natural, potencializando ao mesmo tempo a produção econômica, apontando novas alternativas.

A racionalidade economicista do agronegócio deve compreender que a visão ambientalista desta tese sobre o espaço da bacia do Potiribu, para além da preocupação com as dinâmicas naturais que são fundamentais para a existência da vida na Terra, também atende a necessidade de uma racionalidade ambiental. As atividades econômicas hoje existentes que sustentam o atual modelo econômico dependem no meio físico que lhes oferece suporte, da mesma forma que o equilíbrio sistêmico garante a manutenção de importantes funções ambientais como o ciclo hidrológico, por exemplo.

Os padrões de produção e consumo em nível mundial podem ser repensados e substituídos por práticas que primem por formas conscientes de ocupação da terra e produção do espaço, que podem ter início nos diversos níveis locais. Estas práticas devem levar em consideração os limites que a

natureza possui e a importância intrínseca da mesma para a existência de toda a biosfera, inclusive da espécie humana e suas abstrações.

Esta tese tem a premissa de ser referência para trabalhos aplicados nas áreas da geografia, das geociências, da agronomia, entre outras, que aprofundem os estudos aqui estabelecidos. Estes estudos podem indicar novas maneiras de intervenção humana no espaço da bacia do Potiribu, ou de outras áreas de estudo, com a intenção de equacionar os conflitos entre a produção socioeconômica e os limites dos elementos naturais que devem ser respeitados em sua dinâmica evolutiva. O poder público nas diferentes esferas, da mesma forma, pode apropriar-se dos conhecimentos aqui construídos para propor formas de produção econômica e ocupação do espaço que estejam alinhados com a racionalidade ambiental.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Um Conceito de Geomorfologia a Serviço das Pesquisas Sobre o Quaternário**. Geomorfologia, São Paulo, Instituto de Geografia – USP, n.19, p,1-23, 1969.

AB'SABER, A. N. **Zoneamento ecológico e econômico da Amazônia: questões de escala e método**. Estud. av., São Paulo, v. 3, n. 5, p. 4-20, Apr. 1989.

AB'SABER, A. N. **Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. SÃO PAULO: ATELIÊ EDITORIAL, 2003.

AB'SABER, A.N.; MÜLLER-PLANTENBERG, C. **Previsão de impactos ambientais e sociais: experiências do Brasil, Rússia e Alemanha. [Prefácio]**. *Previsão de impactos: o estudo de impacto ambiental no leste, oeste e sul [S.l: s.n.]*, 1994.

AHNERT, F. **Introduction to Geomorphology**. (pd). Edward Arnold, ISBN 0-340-69259-6. London, 1998. p.352.

ALMEIDA, J.R. de; SUGUIO, K. **Caracterização Geoambiental dos Manguezais Brasileiros e suas Potencialidades para o Ecoturismo**. Revista Nordestina de Ecoturismo. V. 4, n. 1, p. 05-19. Aquibadã, 2011.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012**. Ed. Especial. Brasília: ANA, 2012. 215 p.

ARAÚJO FILHO, M. & MENESES, P. & SANO, E. (2007). **Sistema de Classificação de Uso e Cobertura da Terra com Base na Análise de Imagens de Satélite**. Revista Brasileira de Cartografia. 59.

ARGENTO, M.S.F. **Mapeamento Geomorfológico**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro:Bertrand do Brasil, 1994.

ASWATHANARAYANA, U. **Geoenvironment an Introduction**. Holanda, Balkema, 1995.

AVELAR, A. S.; COELHO NETTO, A. L. **Fraturas e Desenvolvimento de Unidades Geomorfológicas Concavas no Medio Vale do Rio Paraíba do Sul**. Revista Brasileira de Geociências, V. 22, P. 222-227, 1992

BARROS, S.C., PEIXOTO, M.N.O, RAMOS, R.R.C. **Mapeamento De Feições Depositionais Quaternárias em Bacias Formadoras da Drenagem e Re-Organização Holocênica dos Sistemas Fluviais – Volta Redonda (RJ)**. VII. Simpósio Nacional de Geomorfologia, Anais. FFLCH, Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 2010.

BERNARDES, N. Bases geográficas do povoamento do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí: Ed. Unijui, 1997.

BERTALANFFY, L.V. **Teoria Geral dos Sistemas**; Ed. Vozes;1975.

BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. Tradução Olga Cruz – Caderno de Ciências da Terra. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, nº13, 1972.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling With Gis**. Ontario: PERGAMON, 1994. 398 p.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacias hidrográficas. In: Erosão e Conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Orgs.: GUERRA, A.J.T.; SILVA. A.S.; BOTELHO, R.G.M. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

BOTELHO, R. G. M. **Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica**. In: GUERRA, A. T. et. al. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. **Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental**. In: VITTE, A. C.; Guerra, A. J. T. Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 153-192.

BOURROUGH, P.; McDONNELL, R. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assentment**. New York: Oxford University Press, 1989.

BRASIL. Decreto nº 4.297/02, que instituiu o Zoneamento Ecológico Econômico - ZEE. Brasília: DOU, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Zoneamento Ecológico-Econômico**: diretrizes metodológicas para o Zoneamento Ecológico-econômico do Brasil. Brasília: MMA/SDS, 2001. 109p.

BRASIL. Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002. Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto/2002/D4297.htm>. Acesso em: 04 mai. 2019.

BRASIL. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; [...] e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, 28 de maio de 2012, 2012.

BUFFON, E.A.M.; PAS, O.L.S.; SAMPAIO, T.V.M. **Uso de VeículoAéreo Não Tripulado (Vant) Para Mapeamento das Vulnerabilidades à Inundação Urbana: Referenciais e Bases de Aplicação**. Revista do Departamento de

Geografia, USP. Volume Especial – Eixo 9 – XVII SBGFA/I CNGF (2017) 180-189.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.; D'alge, J.C. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2003.

CARVALHO JUNIOR, W; CHAGAS, C. S; PEREIRA, N. R. & STRAUCH, J. C. M. **Elaboração de Zoneamentos Agropedoclimáticos por Geoprocessamento: Soja em Municípios do Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 27:379-387, 2003.

CASSETI, Valter. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: Acesso em: Janiero de 2018.

CENDRERO, A. **Environmental Geology of the Santander Bay Area, Northern Spain**. Engineering Geology. V. 1, p. 97 – 114. 1975.

CHORLEY, R. J. A Geomorfologia e a Teoria dos Sistemas Gerais. Notícia Geomorfológica, Campinas, v. 11, n. 21, p. 3-22, jun. 1971.

CHRISTOPHERSON, R.W. **Geossistemas – Uma Introdução à Geografia Física**. Tradução: Francisco Eliseu Aquino ... (et al.). Porto Alegre: Bookman, 7ª edição, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1974, 186p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial** – São Paulo: Edgard Blucher: FAPESP, 1981

CHRISTOFOLETTI, A. - **Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento**. IN: CUNHA, S. B. et al. (org) Geomorfologia: uma Atualização de Bases e Conceitos – Ed. Bertrand do Brasil. Rio de Janeiro, 1994

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

COELHO NETTO, A. L. **Alterações Hidrogeomorfológicas no Médio-baixo Rio Doce/ES**. Tese de doutorado apresentada ao programa de pós-graduação da Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2007.

COELHO NETTO, A. L. **Evolução de Cabeceiras de Drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a Formação e o Crescimento da Rede de Canais sob Controle Estrutural**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 4, Nº 2 (2003). 69-100 p.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in Environmental Management**. Claredon Press, 1978. 413p.

COSTA, M.T.S.P.; OLIVEIRA, N.M.G.A.. **Avaliação geoambiental da zona costeira do bairro de Candeias, Pernambuco**. Mercator. v. 08. n. 17. p. 147 – 162. Ceará, 2009.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte** - Escala 1:500.000. Recife, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2007.

CREPANI, E.; Medeiros, J. S. de; Azevedo, L. G. DE.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V. **Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico**. São José dos Campos: INPE, 2001. 25p.

CUNHA, C.M. L.; MENDES, I.A. e Sanchez, M.C. **A Cartografia do Relevo: Uma Análise Comparativa de Técnicas para a Gestão Ambiental**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 4, Nº 1 (2003) 01-09

DAI, F.C.; LEE, C.F.; ZHANG, X.H. **GIS-based Geo-environmental Evaluation for Urban Land-Use Planning: a Case Study**. Engineering Geology, Elsevier. 61. 9. 257 – 271, 2001.

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**. Sociedade e Natureza, Uberlândia, 22 (3): 487:502, dez. 2010.

DE VILLOTA, I.; DE LUXÁN, M.; GOY, J.L.; BUSTAMANTE, ZAZO, C.; **Geoenvironmental Mapping Applied to Urban Settlements: La Vall de Gallinera, Alicante, Spain**. In: BOBROWSKY, P.T. Geoenvironmental Mapping. Victoria, School of Earth and Ocean Sciences – University of Victoria. 2002. p.452 – 471.

DRAGUT, L. and BLASCHKE, T. (2006) **Automated Classification of Landform Elements Using Object-Based Image Analysis**. Geomorphology, 81, 330-344. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.04.013>

FERREIRA, A.R.; SANTANA, J.E.R. **Análise da Fragilidade Ambiental a Partir de Processos Erosivos na Sub-bacia do Córrego Peraputanga, Reserva do Cabaçal - MT**. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Campinas, 2017.

FITZ, P.R. **Geoprocessamento Sem Complicação**. Oficina de Textos, São Paulo, 2008.

FLORENZANO, Tereza Gadotti. (org.) **Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais**. Oficina de Textos, São Paulo, 2008.

FRANCO, G.B.; BETIM, L.S.; MARQUES, E.A.G.; GOMES, R.L.; CHAGAS, C.S. **Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia**. Brazilian Journal of Geology 2013; 42: 114-127.

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, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria, 2004.

FUJIMOTO, N. S. V. M.; DIAS, T. S. **Mapeamento Geomorfológico do Município de Porto Alegre - RS**. VII Simpósio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, VII Simpósio Nacional de Geomorfologia, Belo Horizonte, 2008

Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS. (FEPAM). **Base Cartográfica Digital do RS 1:250.000**. Disponível em: < http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp>. Acesso em novembro de 2019.

GASS, S.L.B. **Zoneamento Ambiental como Subsídio para a Definição de Áreas de Preservação Permanente**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS, 2015.

GASS, S.L.B.; DAL FORNO, M.A.R.; HASS, M.B. **Áreas de Preservação Permanente – APPs: Legislação, Práticas Científicas e Conservação da Natureza**. Editora Unijuí, Ijuí, RS, 2013. 152p.

GERASIMOV, I.P. & MESCHERIKOV, J.A. **Morphostructure**. In The encyclopedia of geomorphology. Ed. R.W. Fairbridge, 731-732, New York:Reinhold Book Co., 1968.

GERASIMOV, J. **Problemas Metodológicos de la Ecologización de la Ciência Contemporânea**. In: LA SOCIEDAD Y EL MÉDIO NATURAL. Moscou: Editorial Progreso, 1980.

GREGORY, K. J. **A Natureza da Geografia Física**. Tradução de Eduardo de Almeida Navarro. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992. 367 p.

GUADAGNIN, P.M.A.; TRENTIN, R. **Compartimentação Geomorfométrica da Bacia Hidrográfica Do Arroio Caverá – Rs**. Geo UERJ. Rio de Janeiro - Ano 16, nº. 25, v. 1, 1º semestre de 2014, pp.183-199 ISSN: 1415-7543 E-ISSN: 1981-9021

GUARESCHI, V.D. **Cabeceiras de Drenagem no Planalto das Araucárias, Bacia Hidrográfica do rio Guassupi-RS: Distribuição Espacial das Depressões Fechadas, Controle Estrutural e Evolução Geomorfológica**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Santa Maria, RS, 2018.

GUARESCHI, V.D.; NUMMER, A.V. **Cabeceiras de Drenagem e Controle Estrutural na Bacia Hidrográfica do Arroio Lajeado Taquarembó-RS**. DOI - 10.20396/sbgfa.v1i2017.2527 - ISBN 978-85-85369-16-3.

GUASSELLI, L. A. et al. **Macrozoneamento do Estado do Rio Grande do Sul**. Pesquisas em Geociências, Porto Alegre, v. 33, n. 1, p. 03-11, 2006.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 11ª ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 474p. 2012.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**/Antonio José Teixeira Guerra, Maria do Carmo Oliveira Jorge, organizadores. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. Geomorfologia Ambiental. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUERRA, A. T. & GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário Geológico-Geomorfológico**. Bertrand, Rio de Janeiro, 2001.

GUY, M. **Quelques principes et quelques expériences sur la methodologie de la photo-interpretation**. *Archives internationales de photogrammétrie*, Vol. XVI, p. 21-46 (1966).

HACK, J. T. **Dynamic Equilibrium and Landscape Evolution**. In: MELHORN, W. N.; FLEMAL, R. C. (Ed.). *Theories of landform development*. London: Allen & Unwin, 1975. p. 87-102.

HASENACK, H.; WEBER, E.(org.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD).

HORN, B. **Hill shading and the reflectance map**. *Proceedings of the IEEE*, n. 69, v. 01, p. 14-47, 1981.

HUTCHINSON, M. **A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits**. *Journal of Hydrology*, 06, 211-232, 1989.

HUTCHINSON, M. **A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models**. In: **International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, National Center for Geographic Information and Analysis**. 3. 1996, Santa Bárbara. *Proceedings...* Santa Bárbara: University of California, 1996. CD-RON.

HUTCHINSON, Michael. **Adding the Z dimension**. In: WILSON, John.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico, 2010**. Disponível em <ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010>. Acesso em maio de 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Banco de Dados Georreferenciado Sobre Recursos Naturais. Disponível em: <

<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas>.

Acessado em janeiro de 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Folha SH 22. Porto Alegre e parte das Folhas SH 21. Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso Potencial da Terra.** Projeto RADAM Brasil V. 33. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 796p. 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Zoneamento Ecológico-Econômico do Delta do Paraíba: dimensão urbano regional.** Folheto. Rio de Janeiro. 2004.

IWAHASHI, Junko.; PIKE, Richard. **Automated Classifications of Topography From DEMs by an Unsupervised Nested-Means Algorithm and a Three-Part Geometric Signature.** *Geomorphology* 86(3-4): 409-440, 2007.

JANSEN, L.J.M. & GREGORIO, A. **Parametric land cover and land use classifications as tools for environmental change detection.** *Agriculture Ecosystems e Environment.* v. 91, p.89–100, 2002.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T.F. **Geomorphons a Pattern Recognition Approach to Classification and Mapping of Landforms.** *Geomorphology,* v. 182, p. 147–156, 2013.

JENKS, G. F. **Optimal Data Classification for Choropleth Maps: Occasional Paper.** n. 2, Department of Geography, University Kansas, 1977, 24 p.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; LANDIM, P.M.B.; MATTOS, J.T. **Gerenciamento Geoambiental.** In: Tuk-Tornisielo, 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.

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

LANG, S. BLASHCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG.** Tradução Hermann Kux. São Paulo: Oficina de Textos. 2009.

LEFF, E. **Saber Ambiental: Sustentabilidade, Racionalidade, Complexidade, Poder.** 10ª ed. Editora Vozes, Petrópolis, RJ.

LEITE, E.F.; ROSA, R. **Análise do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins.** *OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia,* v.4, n.12, p. 90-106, dez. 2012.

LEPSCH, I.F. **Solos – Formação e Conservação.** Melhoramentos, 4ª ed. São Paulo, 1976.

LIAO, W.H. **Region Description Using Extended Local Ternary Patterns.** 20th International Conference on Pattern Recognition, 1-4, 2010.

LINDMAN, C. A. M. A Vegetação no Rio Grande do Sul. Belo Horizonte: Ed. Itatiaia; São Paulo: Ed.da USP, 1974.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas.** São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 1996. Tese de Doutorado.

MACMILLAN, R. A.; SHARY, P. A. **Landforms and Landform Elements in Geomorphometry.** In: HENGL, T.; REUTER, H. I. Geomorphometry: concepts, software, applications. Developments in Soil Science, vol. 33, Hungary: ELSEVIER, 2009, p. 227-254. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00009-3](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00009-3)

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do trabalho científico.** São Paulo: Atlas, 2010.

MARQUES, J. M. **Ciência Geomorfológica.** In: Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos / Organização, Antonio José Teixeira Guerra e Sandra Baptista da Cunha. – 7ª Ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007, p.23-45.

MASSA, E.M.; ROSS, J.L.S. **Aplicação de um Modelo de Fragilidade Ambiental Relevo-Solo na Serra da Cantareira, Bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP.** Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume 24, p. 57–79, São Paulo, 2012.

MENEGOTTO, E.; SARTORI, P. L. P.; MACIEL FILHO, C.L. **Nova seqüência 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, ago. 1968.

MENESES, P. R. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto.** Universidade de Brasília. Brasília – DF: Departamento de Geociências. Brasília. Texto Universitário. 2004

MENEZES, D.J.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L.E.S.; SCCOTI, A.A.V. **Zoneamento geoambiental do município de São Pedro do Sul – RS.** Geografias artigos científicos. Belo Horizonte 07(2) 68-80 julho-dezembro de 2011.

MESCERJAKOV, J.P. **Les Concepts de Morphostructure et de Morphoculture: Um Nouvel Instrument de L'analyse Geomorphologique.** Annales de Geographie, 77, n. 423, p. 538-552, Paris, 1968.

MEIS, M.R.M. & MONTEIRO, A.M.F. **Upper Quaternary Rampas, Doce River Valley, Se Brazilian Plateau.** Zeitschr. Fur. Geomorph., 23:132-151. 1979.

MILANI, E. J. **Geodinâmica Fanerozóica do gondwana sul-ocidental e a Evolução Geológica da Bacia do Paraná.** In: Geologia do Rio Grande do Sul. HOLZ, M. & DE ROS, L. F. 444 p. 2002

MILLIKAN, B.; DEL PRETTE, M. E. **Documento base para discussão sobre metodologia de Zoneamento Ecológico-Econômico na Amazônia.** In: Seminário de Avaliação da metodologia do Zoneamento Ecológico-Econômico para a Amazônia Legal. Programa Piloto de Proteção das Florestas Tropicais Brasileiras. Manaus, AM, 2000. 1 CD-ROM.

MONTEIRO, C.A.F. **Derivações Antropogênicas dos Geossistemas Terrestres no Brasil e Alterações Climáticas: perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação.** In: ANAIS do Simpósio A comunidade vegetal como unidade biológica, turística e econômica. Publicação ACIESP, n.15, P. 43-76 — Ilustr. São Paulo, Acad. de Ciências do Est. de S.P., 1978.

MONTEIRO, C.A.F de. **Geossistema: a História de Uma Procura.** São Paulo: Contexto, 2000.

MORIN, E. **O método: a natureza da natureza.** Lisboa. Publicações Europa-América, 1977.

MOURA, J.R.S.; PEIXOTO, M.N.O.; SILVA, T.M. **Geometria do relevo e estratigrafia do Quaternário como base à tipologia de cabeceiras de drenagem em anfiteatro - médio vale do Rio Paraíba do Sul.** Rev. Bras. Geoc., (1991) 21(3):255-265.

NASCIMENTO, F.R. **Diagnóstico Geoambiental da bacia hidrográfica semi-árida do Rio Acaraú: subsídios aos estudos sobre desertificação.** Boletim Goiano de Geografia v. 28 jan/jun 2008.

NASCIMENTO, F.R., CUNHA, S. B. E ROSA, M. F. **Desertificação em bacias hidrográficas semi-áridas no Nordeste brasileiro – estado do Ceará.** In: Bezerra, Amélia C. A., Gonçalves, Cláudio U.: Nascimento, Flávio R. do; Arrais, Tadeu A (Organizadores). Itinerários Geográficos. Niterói: Eduff, 2007. p. 281-311.

NASCIMENTO, P.S.R.; GARCIA, G.J. **Atualização do mapa de vegetação natural e do uso da terra na sub-bacia do baixo Piracicaba (SP) com o auxílio de imagens TM/LANDSAT-5.** Estudos Geográficos, Rio Claro, p.31-45, dez. 2004.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 2010.

NOWATZKI, Alexei. e OKA-FIORI, Chisato. **Mapeamento da Fragilidade Ambiental da Bacia do rio Capivarí (Tijucas do Sul e São José dos Pinhais/PR).** XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada - A Geografia Física Aplicada e as dinâmicas de apropriação da natureza, Viçosa (MG), 2009.

PEDRON, F.A. **Mineralogia, Morfologia e Classificação de Saprólitos e Neossolos Derivados de Rochas Vulcânicas no Rio Grande do Sul.** Tese de

Doutoramento. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Programa de Pós-Graduação de Ciência do Solo. Santa Maria, 2007.

PIKE, R. J. **Geomorphometry: diversity in quantitative surface analysis**. Progress in Physical Geography 24 (1), 1–20, 2000.

OLIVEIRA, M.X. de. **Análise Geoambiental: Discussão Sobre Conceitos e Metodologias Aplicadas**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS, 2018.

PANIZZA, M. **Environmental Geomorphology**. Elsevier Science B.V. (1996)

PENHA, H. M. **Processos Endogenéticos na Formação do Relevo**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007, p. 51-91.

PENCK, W. (1953) **Morphological Analysis of Land Forms: A Contribution to Physical Geology**; trad. de Hella Czech. e Catherine C. Boswell. London, Macmillan. 429p.

PIKE, R. J. **Geomorphometry: diversity in quantitative surface analysis**. Progress in Physical Geography 24 (1), 1–20, 2000.

PILACHEVSKY, T.; **Zoneamento Geoambiental do Município de São João da Boa Vista (SP)**. Dissertação de mestrado. UNESP, Rio Claro-SP, 121p. 2013.
PITTY, A. F. **A Scheme for Hillslope Analysis**. Yorkshire: University of Hull Publication, 1969, 76p.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. Parêntese Editora, São José dos Campos, SP, 2010.

PORTO-GONÇALVES, C.W. **A Globalização da Natureza e a Natureza da Globalização**. Civilização Brasileira, 7ª ed. Rio de Janeiro, 2017.

RANIERI, V. E. L.; MONTAÑO, M.; FONTES, A. T.; OLIVEIRA, I. D.; SOUZA, M. P. **O Zoneamento Ambiental como instrumento de política e gestão ambiental**. In: ESPÍNDOLA, E. L. G.; WENDLAND, E.. (Orgs.). *PPG-SEA: Trajetórias e perspectivas de um curso multidisciplinar*. São Carlos: Rima, 2005. v.4, p.109-136.

RATCLIFFE D.A. **Criteria for the Selection of Nature Reserves**. *Advancement of Sciences* 1971; 27: 294-296.

RICOMINI, C.; GIANNINI, P.F.F.; MANCINI, F. **Rios e Processos Aluviais**. In: TEIXEIRA, W. et. al. Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2001. P. 191-214.

RIOS, M.A. **Cartografia Geotécnica e Visões Fractais da Geometria Do Relevo**. Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília.

Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. 128 p., Brasília, 2012.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; DE NARDIN, D.; CRISTO, S. S. V. **Métodos e Técnicas Geográficas Utilizadas na Análise e Zoneamento Ambiental**. Geografias: Revista do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia IGC-UFMG. 2009. V.5 n. 2. p.36-49.

ROBAINA, L. E. S. **Zoneamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul: Ferramentas para Planejamento e Gestão, A sustentabilidade da Região da Campanha - RS: práticas e teorias a respeito das relações entre ambiente, sociedade, cultura e políticas públicas**. Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Departamento de Geociências, 226 pág, 2010.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R., BAZZAN, T., RECKZIEGEL, E. W., DE NARDIN, D.; VERDUM, R. **Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil: Proposta de Classificação**. Revista Brasileira de Geomorfologia. v.11 n.2, 2010. p. 11 – 23

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, São Paulo, v.17, n.2, p.287-298, 2016. DOI: 10.20502/rbg.v17i2.857

ROISENBERG, A. & VIERO, A. **O Vulcanismo Mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul**. Geologia do Rio Grande do Sul. (2000). 355-374.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: Ed. UFU, 2007. 248 p.

ROSS, J. (2011). RELEVO BRASILEIRO: UMA NOVA PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO. *Revista Do Departamento De Geografia*, 4, 25-39. <https://doi.org/10.7154/RDG.1985.0004.0004>

ROSS, Jurandy Luciano Sanches. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

ROSS, Jurandy Luciano Sanches. **O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo**. Revista da Pós-Graduação de USP, n.6. São Paulo; 1992, 17-29p.

ROSS, J.L.S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do Departamento de Geografia. n. 8, p. 63-73. (1994)

ROSS, J., & Moroz, I. (2011). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. *Revista Do Departamento De Geografia*, 10, 41-58. <https://doi.org/10.7154/RDG.1996.0010.0004>

ROSS, J.L.S. **Ecogeografia do Brasil: Subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Porto Alegre: UFRGS, 2011.

ROUSE, J. W. et al. **Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains With ERTS**. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. Proceedings... Washington: NASA, v.1, p.309-317, 1973.

SANTOS, L. J. C.; Oka-Fiori, C.; Canali, N. E.; Fiori, A. P.; Silveira, C. T.; Silva, J. M. F.; Ross, J. L. S. 2006. **Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná**. Revista Brasileira de Geomorfologia 7, 03- 12.

SANTOS, M.R.R.; RANIERI, V.E.L. **Critérios Para Análise do Zoneamento Ambiental Como Instrumento de Planejamento e Ordenamento Territorial**. Revista Ambiente & Sociedade n São Paulo v. XVI, n. 4 n p. 43-62 n out.-dez. 2013

SARMENTO, C.C.T. **Geologia e Petrologia dos Diabásios da Formação Serra Geral no Cerro do Coronel, Rio Pardo, RS**. Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia, Monografia. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2010.

SCHERER, C.M.S. 1998. **Análise estratigráfica e litofaciológica da Formação Botucatu (Neocomiano) no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 208 p.

SCHERER, C.M.S. 2002. **Preservation of Aeolian genetic units by lava flows in the Lower Cretaceous of the Paraná Basin, Southern Brazil**. *Sedimentology*, 49:97-116.

SCHNEIDER, V. **Mapeamento geomorfológico e zoneamento ambiental de fragilidades na bacia hidrográfica do Rio Barra Seca – ES**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, 2011.

SCHIRMER, G.J. **Zoneamento Geoambiental da Quarta Colônia – Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Dpartamento de Geociências, Santa Maria, RS, 2015.

SCHMIDT, J., HEWITT, A. **Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position**. *Geoderma* 121 (2004) 243 – 256

SCHIAVETTI, A., CAMARGO, A. **Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações**. / Editores Alexandre Schiavetti, Antonio F. M. Camargo. - Ilhéus, Ba: Editus, 2002. 293p

SCHERER, C.M.S.; FACCINI, U.F. & LAVINA, E. **Arcabouço Estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná**. In: HOLZ, M. e DE ROS, L.V. Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2002. p. 335 – 354.

SEABRA, V.S.; CRUZ, C.M. **Mapeamento da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio São João, RJ**. Soc. & Nat., Uberlândia, 25 (2): 411-426, mai/ago/2013

SILVA, T.C. **Demanda de Instrumentos de Gestão Ambiental: Zoneamento Ambiental**. Brasília: IBAMA, 1997. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/ambtec/documentos/Zoneamento.pdf>>. Acesso em outubro de 2019.

SILVA, L.B.; MEZZOMO, M.D.M.; GONÇALVES, M.S. **Diagnóstico Geoambiental em Nascentes: Estudo de Caso em Campo Mourão – Paraná**. ACTA Geográfica, Boa Vista, v.13, n.31, jan./abr. de 2019. Pp. 52-65.

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 de doutorado. Universidade Federal do Paraná (Programa de Pós-Graduação em Geografia). Curitiba. 2010, 152 p

SILVEIRA, C.T.; SILVEIRA, R.M.P. **Classificação Geomorfométrica de Unidades Morfológicas do Relevo no Estado do Paraná Obtida de Atributos Topográficos e Árvore De Decisão**. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Vitória/ES. 2013.

SILVEIRA, C.T. OKA-FIORI, C.; SANTOS, L.J.C.; SIRTOLI, A.E.; SILVA, C. **Pedometria apoiada em atributos topográficos com operações de tabulação cruzada por álgebra de mapas**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.13, n.2, p.125-137, 2012.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. **Lógica e Sistemática na Análise e Interpretação de Fotografias Aéreas em Geologia**. Boletim Geográfico, Rio de Janeiro, v. 36, n.258-259, p. 35-59, 1978.

SOARES, A. Q.; FUJIMOTO, N. S. V. M. **Caracterização e Compartimentação do Relevo da Bacia Hidrográfica do rio do Silveira – São José dos Ausentes – RS**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13, 2009, Viçosa. Anais...Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. Disponível em:< <http://www.geo.ufv.br/simposio/>>. Acesso em fev. 2017.

SOTCHAVA, V. **O Estudo dos Geossistemas. Método em Questão**, IGUSP, 1960.

SOTCHAVA, V. B. **Por Uma Teoria de Classificação de Geossistema de Vida Terrestre**. São Paulo: USP – FFLCH, Departamento de Geografia, 1973a.

SOUZA, C.R.G. **Carta de Suscetibilidade Morfométrica de Bacia de Drenagem ao Desenvolvimento de Inundações Litoral Norte de São Paulo.** In: Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2006, Goiânia, (GO).

SOUZA, M. P. **As bases legais e os Zoneamentos Ambientais.** In: 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2009, Corumbá. Anais eletrônicos... Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE.

SOUZA, T. A.; CUNHA, C. M. L. Representação da paisagem através da carta de unidades geoambientais em áreas litorâneas. **Mercator.** v. 13, n. 03, p. 105 – 119. Ceará, 2014.

SOUZA et. al. (2020) - **Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine** - Remote Sensing, Volume 12, Issue 17, 10.3390/rs12172735.

SPEIGHT, G.J. **Landform Pattern Description from Aerial Photographs.** *Photogrammetria*, Vol. 32, p. 161-182. (1976)

SPORL, C.; ROSS, J. L. S. **Análise comparativa da Fragilidade Ambiental com Aplicação de Três Modelos.** GEOUSP - Espaço e Tempo, v. 15, p. 39-49, 2004.

STOCKING, M.A. and ELWELL, H.A. **Vegetation and Erosion: a Review.** *Scottish Geographical Magazine*, 92, 4-16. 1976.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Geophysical Union Trans.*, v.38, p.912-920, 1957.

STRAHLER, A. N. *Physical Geography.* Nova Iorque: Willey & Sons, 534p., 1960.

SUERTEGARAY, D.M. A. **Geomorfologia Física e Geomorfologia: Uma (RE)leitura.** Ijuí, Editora Unijuí, 2002, 112 p.

SZABÓ, J.; DÁVID, L.; LÓCZY, D. **Anthropogenic Geomorphology: a Guide to Man-Made Landforms.** Springer Science+Business B.V. 2010

TAVARES, A.C.; SILVA, A.C.F. **Urbanização, Chuvas de Verão e Inundações: Uma Análise Episódica.** *Climatologia e Estudos da Paisagem.* Rio Claro. V. 3, n.1, 2008, p. 4-18.

TRICART, J. **Principes et Méthodes de la Géomorphologie.** Paris: Masson, 1965.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: FIBGE, Secretaria de Planejamento da Presidência da República, 1977. 97p.

VALADARES, A. A. (2017). **Análise da dinâmica do uso e cobertura do solo sobre a vulnerabilidade ambiental em área do Distrito Federal.** Dissertação

de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM - 200/2017, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 197p.

VASCONCELOS, Vinicius. CARVALHO JÚNIO, Osmar Abilio. **Sistema de Classificação Geomorfométrica Baseado em uma Arquitetura Sequencial em Duas Etapas: Árvore de Decisão e Classificação Espectral, No Parque Nacional da Serra da Canastra.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v 13, n.1, p.171-186, 2012.

VEDOVELLO, R. **Aplicações da cartografia geoambiental.** In: 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL. Anais... São Carlos/SP, 2004.

VILELA FILHO, L.R.; VITTE, A.C. **A Utilização de Técnicas Morfométricas do Relevo Aplicadas na Determinação da Fragilidade Ambiental: o caso da bacia do córrego Proença, município de Campinas (SP).** In: X Encontro de Geógrafos da América Latina, 2005. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005.

VITTE, A. C.; SANTOS, I. **Proposta Metodológica para Determinação de "Unidades de Conservação" a partir do Conceito de Fragilidade Ambiental.** Revista Paranaense de Geografia, 1999. n.4, p.60-68.

WAICHEL, B.L. **Estruturação de Derrames e Interações Lava-Sedimento em Províncias Basálticas Continentais.** Tese de Doutorado – Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.

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.

WOOD, Joseph. **The Geomorphological Characterisation of Digital Elevation Models.** Leicester, UK, 1996. 185p. PhD Thesis - University of Leicester. Disponível em: <http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd>.

ZUQUETTE, L.V. **Importância do Mapeamento no Uso e Ocupação do Meio Físico: Fundamentos e Guia para Elaboração.** São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 1993. Tese de Livre Docência.