UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

ROBERTO LUIZ DOS SANTOS ANTUNES

**ANÁLISE INTEGRADA DA PAISAGEM COM A APLICAÇÃO DO
SENSORIAMENTO REMOTO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
BOTUCARAÍ – RIO GRANDE DO SUL**

(Versão Corrigida)

São Paulo

2017

ROBERTO LUIZ DOS SANTOS ANTUNES

**Análise Integrada da Paisagem com a aplicação do Sensoriamento Remoto na
Bacia hidrográfica do Rio Botucaraí – Rio Grande do Sul**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências (Geografia Física).

Orientador: Prof. Dr. Jurandyr Luciano
Sanches Ross

São Paulo

2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

Aa	<p>Antunes, Roberto Luiz dos Santos Análise Integrada da Paisagem com a aplicação do Sensoriamento Remoto na Bacia hidrográfica do Rio Botucaraí - Rio Grande do Sul / Roberto Luiz dos Santos Antunes ; orientador Jurandyr Luciano Sanches Ross. - São Paulo, 2017. 201 f.</p> <p>Tese (Doutorado)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.</p> <p>1. Análise por Componentes Principais. 2. Análise Integrada da Paisagem. 3. Paisagem. 4. Uso e cobertura da terra. 5. Botucaraí. I. Ross, Jurandyr Luciano Sanches , orient. II. Título.</p>
----	--

ANTUNES, Roberto Luiz dos Santos. **Análise Integrada da Paisagem com a aplicação do Sensoriamento Remoto, na Bacia hidrográfica do Rio Botucaraí, Rio Grande do Sul.** Tese (Doutorado) apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências: Geografia Física.

Aprovado em: 24/11/2016

Banca Examinadora

Prof. Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross (Presidente da Banca)
Instituição: Universidade de São Paulo (USP)

Assinatura_____

Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho
Instituição: Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Julgamento: Aprovado

Assinatura_____

Prof. Dr. José Mariano Caccia Gouveia
Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP – Presidente Prudente)

Julgamento: Aprovado

Assinatura_____

Prof. Dr. Fernando Shinji Kawakubo
Instituição: Universidade de São Paulo (USP)

Julgamento: Aprovado

Assinatura_____

Prof. Dra. Marisa de Souto Matos Fierz
Instituição: Universidade de São Paulo (USP)

Julgamento: Aprovado

Assinatura_____

Dedico este trabalho aos meus pais Heraldo
Luiz Silveira Antunes e Martelena dos Santos
Antunes.

AGRADECIMENTOS

Iniciando pela parte espiritual agradeço primeiramente a Deus e Meishu-Sama, pela vida e aos momentos bons e ruins que vivenciei durante estes últimos quatros anos vivendo em São Paulo.

Não poderia também deixar de fazer referência especial a minha família, pois, é “a base de tudo”, que me proporcionou e deu forças para que eu chegasse até este momento da defesa da tese. Tenham certeza de que são muito importantes na minha vida e que sem vocês nada disso seria possível: meus irmãos Silvio, Ricardo e Adriana, meus sobrinhos Guilherme e Yasser, minhas sobrinhas Bruna, Sthefani e Manuela, cunhadas Nédima e Franciele e meu cunhado Fábio.

À minha tia Lucimara, pela sua grande amizade e o compartilhamento dos momentos bons e ruins ao longo destes últimos anos.

E, especialmente aos meus pais Heraldo e Martelena. Obrigado por toda a educação, amor e amizade. Sem vocês nada disso teria sentido.

Outro agradecimento especial ao Prof. Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross, pela oportunidade de orientação, convivência e sabedoria e além de tudo pela confiança no meu trabalho.

Agradeço a Universidade de São Paulo (USP) e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física pela oportunidade de ampliar meus conhecimentos e desenvolver minha pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro através da bolsa de doutorado.

Agradeço também a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia, em especial ao Professor Aílton Luchiari (*in memoriam*).

À minha companheira Greta Liz, por fazer parte da minha vida durante estes últimos dois anos. Obrigado por todos os momentos que vivemos, os quais foram intensos e nos deixaram muitos aprendizados.

Ao Pudim, felino, mas com espírito e coração de um ser iluminado.

À todos que convivi ao longo deste tempo em que morei em São Paulo e se tornaram amigos: Carlos Rizzi, Adriano Antunes, Thiago Silveira, Diego Viana, Amilton Santos, Wiliam Cabral, que deu grande ajuda na tese, Henry Louzada, Jader Muniz, Márcia Fernandes, Renan Olio, Rogério Rozolen e tantos outros que mesmo não citados fazem parte deste grupo.

Agradecimento especial ao Estêvão Barbosa, pela amizade e auxílio com a leitura e correção da tese.

Ao João Paulo Assis Gobo pela amizade desde os tempos de Santa Maria e pelo incentivo para que eu optasse por fazer doutorado aqui na USP.

Aos amigos do Rio Grande do Sul: Eduardo Riffel, Felipe Montebianco, Carlos Lucas, Vagner Ramos, Rudimar Scheren, Isabel Galvão, Letícia Celise, Vagner Paz, Maurício Scherer e Igor Pereira.

Também agradeço aos amigos Vera Darós e Andrius Dáros.

À Giane Disconzi, amiga de longa data.

Ao Guilherme Martelli pela amizade e auxílio na realização do trabalho de campo, assim como, agradeço ao Prof. Silvério da Silva, da UFSM e a Engenheira Florestal Caroline Mallmann, que também colaboraram com o trabalho de campo.

Aos meus orientadores Adriano Figueiró, da graduação na UFSM e Laurindo Guasselli, do mestrado na UFRGS.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta tese. Muito obrigado!

A paisagem, numa dupla introdução sensível que escapa às cadeias discursivas do entendimento, organiza num instante o reencontro patético da totalidade. Ela é a coincidência do universal e do particular, onde, sob o modo do afeto, se realiza o poder do conhecimento absoluto. A paisagem particular que se abre ao olhar deixa ver simultaneamente o todo: apreensão brusca da plenitude através do efêmero. Ela é símbolo, em íntima ressonância com o golpe de vista diante do qual ela se revela: “o verdadeiro símbolo é aquele em que o particular representa o universal, não como ilusão ou imagem, mas como revelação viva e instantânea do inexplorável”.

(BESSE, 2006, p.58)

RESUMO

ANTUNES, Roberto Luiz dos Santos. **Análise Integrada da Paisagem a aplicação do Sensoriamento Remoto, na Bacia Hidrográfica do Rio Botucaraí– Rio Grande do Sul**. 2017. 201f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

O estudo integrado da paisagem permite a verificação dos níveis de interconexão, da estrutura e da funcionalidade de diversas porções da superfície terrestre. Sob este aspecto muitas pesquisas têm incluído como temática, o estudo dos mecanismos de funcionamento da paisagem e a interação entre os seus componentes. Desta forma, torna-se essencial para a ampliação das investigações, a introdução de metodologias e novas técnicas, que inseridas adequadamente, contribuem para o melhor entendimento dos elementos que compõem a paisagem. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo identificar, interpretar e compreender a diversidade de fisionomias da paisagem e sua fisiologia, na bacia hidrográfica do rio Botucaraí, Rio Grande do Sul, a partir da aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto, especificamente a Análise por Componentes Principais (ACP). Nesta perspectiva, entende-se que o tratamento das bandas espectrais, a partir de imagens de satélite, configura-se em uma complementação no estudo e no entendimento dos elementos constituintes da paisagem: solos, relevo, litologia e vegetação, além de gerar produtos cartográficos com níveis de detalhamento mais precisos. A técnica de ACP foi aplicada a partir do mapeamento de uso e cobertura da terra, do mapa do relevo, dos mapas temáticos básicos (hipsometria e declividades), do mapa geológico, do mapa da cobertura vegetal e do mapa de solos. Assim, geraram-se as imagens de Componentes Principais (CP's), sendo que as cinco primeiras foram utilizadas para a análise. Desta forma, com a combinação de bandas, identificaram-se novas interfaces e feições, a partir da contribuição e representatividade de cada CP, que se configurou em cinco agrupamentos, denominados de Fisionomias: 1 (Norte- Planalto Meridional), 2 (Serra Geral), 3 (Depressão Central), 4 (Depósitos Aluviais), associadas aos mapas Hipsométrico/declividades com as CP's geradas e com os elementos da paisagem. Estas fisionomias expressaram as diferenças e/ou similaridades no uso da terra, permitindo o seu agrupamento, a partir das características do relevo, litologia, solos, vegetação e uso e cobertura da terra, destacando-se a considerável interferência antrópica na modificação da fisionomia da paisagem.

Palavras-chave: Análise por Componentes Principais, Análise Integrada, Paisagem, Uso do Solo, Botucaraí.

ABSTRACT

ANTUNES, Roberto Luiz dos Santos. **Integrated Analysis of the landscape through remote sensing techniques, Botucaraí River Basin - Rio Grande do Sul.** 2017. 201f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

The integrated study of the landscape allows the verification of the interconnection levels, structure and functionality of various portions of the earth's surface. In this aspect, many researches have included as a theme, the study of the mechanisms of landscape functioning and the interaction between its components. In this way, it becomes essential for the expansion of the investigations, the introduction of methodologies and new techniques, that inserted properly, contribute to the better understanding of the elements that compose the landscape. Thus, this study aimed to identify, interpret and understand the diversity of physiognomy of the landscape and its physiology, in the hydrographic basin of river Botucaraí, Rio Grande do Sul, from the application of remote sensing techniques, specifically the Principal Component Analysis (PCA). In this perspective, it is understood that the treatment of the spectral bands, from satellite images, constitutes a complementation in the study and understanding of the constituent elements of the landscape: soil, relief, lithology and vegetation, besides generating cartographic products with more precise levels of detail. The PCA technique was applied from land use and land cover mapping, relief mapping, basic theme maps (hypsometry and declivity), the geological map, the vegetation cover map, and the soil map. Thus, the images of Principal Components (CPs) were generated, and the first five were used for the analysis. In this way, with the combination of bands, new interfaces and features were identified, based on the contribution and representativeness of each CP, which was configured in five groups, called Physiognomies: 1 (north- Planalto Meridional), 2 (Serra Geral), 3 (Central Depression), 4 (Alluvial deposits) associated with Hypsometric maps/declivity with CPs generated and landscape elements. These physiognomies expressed the differences and/or similarities in the land use, allowing their grouping, from the characteristics of the relief, lithology, soils, vegetation and use and cover of the land, highlighting the considerable anthropic interference in the modification of the physiognomy of the landscape.

Keywords: Principal Component Analysis, Integrated Analysis, Landscape, Land Use, Botucaraí.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Bacia hidrográfica do Rio Botucaraí, região central do Rio Grande do Sul.	30
Figura 2. Bacia Hidrográfica do rio Botucaraí, região central do Rio Grande do Sul, a partir da imagem do Google Earth.	31
Figura 3. Densidade de drenagem da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.	34
Figura 4. Paisagem como parte do espaço da superfície terrestre, abrangendo um complexo de sistemas caracterizados pela atividade geológica, da água, do ar, de plantas, de animais e dos homens, por suas formas fisionômicas resultantes, que podem ser reconhecidos como entidades.	38
Figura 5. Fluxo da relação sociedade natureza.	41
Figura 6. Exemplo de fisionomia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.	43
Figura 7. Visualização de morros e parte plana preparada para plantio de culturas agrícolas.	44
Figura 8. Vista de parte da área de estudos, a) composição colorida RGB, TM5, TM4 e TM3; b) composição colorida RGB com as três primeiras componentes principais.	55
Figura 9. Curvas de reflectância de alguns alvos.	57
Figura 10. Curva de reflectância de uma folha verde sadia.	58
Figura 11. Seção transversal de uma folha mostrando os possíveis caminhos da luz incidente.	59
Figura 12. Absorção de radiações eletromagnéticas através de rochas.	64
Figura 13. Recorte da imagem de satélite Landsat 8/OLI, Bacia hidrográfica do rio Botucaraí.	67
Figura 14. Imagem RapidEye, zoom da área de estudo (médio curso da bacia) - escala 1:25000.	69
Figura 15. Unidades taxonômicas propostas por Ross (1992).	79
Figura 16. Amostra da obtenção das amostras para a classificação do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.	83
Figura 17. Verificação do perfil do solo em área da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.	86
Figura 18. Verificação do perfil do solo, em área da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.	87
Figura 19. Contato entre rochas ácidas e básicas, em área da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.	87
Figura 20. Fluxograma da Análise Integrada da Paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Botucaraí – Rio Grande do Sul.	89
Figura 21. Gráfico de Precipitação e Temperatura Média das Máximas e Mínimas, Estação meteorológica de Santa Maria, segundo o INMET (2016). Período de 1985 a 2016.	93
Figura 22. Mapa Geológico da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, Rio Grande do Sul.	95
Figura 23. Recorte da área de estudo com as fácies Caxias e Gramado.	96
Figura 24. Visualização do morro Botucaraí, próximo à cidade de Candelária – RS.	97
Figura 25. Localização da área de estudo na bacia do Paraná.	98
Figura 26. Recorte da área de estudo com as formações identificadas na área de estudo.	99
Figura 27. Afloramento da formação Botucatu na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.	101

Figura 28. Afloramento da formação Botucatu na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.....	102
Figura 29. Mapa da Tectônica da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, Rio Grande do Sul.	103
Figura 30. Mapa dos períodos geológicos da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.	104
Figura 31. Mapa do tempo geológico na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.....	105
Figura 32. Formas de dissecação da bacia hidrográfica do rio Botucaraí	106
Figura 33. Área de estudo no mapa de Unidades Geomorfológicas do Rio Grande do Sul.	107
Figura 34. Mapa da das Unidades Geomorfológicas da bacia hidrográfica do rio Botucaraí. .	110
Figura 35. Classes de solos da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, com base em Streck et al. (2002).....	113
Figura 36. Visualização de área com classe pedológica de Chernossolos no RS.....	114
Figura 37. Visualização de classe pedológica de Argissolo Vermelho Eutrófico típico.	115
Figura 38. Planossolos na bacia hidrográfico do Rio Botucaraí.....	116
Figura 39. Mapa de solos da bacia do Rio Botucaraí a partir da classificação do IBGE (2001).	118
Figura 40. Localização da área de estudo nos biomas do Rio Grande do Sul.	119
Figura 41. Fragmento da Floresta estacional decidual na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.	120
Figura 42. Vegetação na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.	121
Figura 43. Mapa da Cobertura Vegetal da bacia do Rio Botucaraí, Rio Grande do Sul.....	123
Figura 44. “Marcas” da ação eólica em afloramento na área de estudo.....	127
Figura 45. Morro isolado com cobertura de espécies arbóreas na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.	129
Figura 46. Presença esparsa do <i>Euterpe edulis</i> na área de estudo.....	131
Figura 47. Presença esparsa dos palmitos (<i>Euterpe edulis</i>), oriundos do corredor de migração leste.....	132
Figura 48. Visualização da bacia do rio Botucaraí, Rio Grande do Sul.	132
Figura 49. Mapa Hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, Rio Grande do Sul.	135
Figura 50. Mapa Clinográfico da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, Rio Grande do Sul.	138
Figura 51. Perfil topográfico das classes de solos na área de estudo.....	140
Figura 52. Perfil topográfico das classes de solos no Rebordo do Planalto.....	141
Figura 53. Contato entre Fácies Caxias e Gramado.	142
Figura 54. Uso e Cobertura da Terra na Bacia hidrográfica do rio Botucaraí.	145
Figura 55. Mata ciliar presente na rede hidrográfica da área de estudo vegetação densa nas áreas elevadas.	148
Figura 56. Mata ciliar presente nas margens de curso principal da bacia, Rio Botucaraí.	149
Figura 57. Mata ciliar presente na rede hidrográfica da área de estudo.	150
Figura 58. A ocupação não alcança os patamares mais elevados na área de estudo.	153
Figura 59. Área agrícola com cultivo do arroz na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.....	154
Figura 60. Alteração da paisagem pela ocupação humana na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.	155

Figura 61. Representação da 1ª Componente Principal da bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.	159
Figura 62. Gráfico da representatividade das CP's geradas.	163
Figura 63. Representação da 2ª Componente Principal da bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.	165
Figura 64. Representação da 3ª Componente Principal da bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.	167
Figura 65. Representação da 4ª Componente Principal da bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.	168
Figura 66. Representação da 5ª Componente Principal da bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.	170
Figura 67. Zoom da área de estudo a partir da combinação entre as CP's (CP1, CP2 e CP3), gerando CP's, com imagem do sensor Rapid Eye.	172
Figura 68. Mapa de mudanças na cobertura florestal a partir da aplicação da ACP.	173
Figura 69. Zoom da área de estudo a partir da combinação entre as CP's (CP3, CP2 e CP1), a partir da imagem Rapid Eye.	175
Figura 70. Representação da combinação entre as CP's (CP1 e CP2 / CP3 e CP4).	176
Figura 71. Representação da combinação entre bandas (CP3, CP4 e CP5 e CP3) das Componentes Principais, geradas através do Software Envi 5.2.	177
Figura 72. Mapa síntese da Fisionomia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.	178

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informações das imagens Landsat 8.	68
Tabela 2. Características das classes de uso e cobertura da terra.	81
Tabela 3. Classes de solo identificadas na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.	112
Tabela 4. Comparação entre rochas básicas com ácidas na Depressão Central do RS.	143
Tabela 5. Classes de Uso da terra, identificadas na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí (em %).	151
Tabela 6. Estatísticas Básicas das CP's oriundas das 11 bandas, a partir da imagem Landsat.	158
Tabela 7. Estatísticas Básicas das CP's das 11 bandas da imagem Landsat.	161
Tabela 8. Matriz de covariância para as três primeiras bandas geradas.	162
Tabela 9. Estatísticas Básicas das CP's das 11 bandas da imagem Landsat.	171

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Análise de Componentes Principais
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
Bt	Horizonte B Textural
BH	Bacia Hidrográfica
CP's	Componentes Principais
CPRM	Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais
CEPSRM	Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia
Cfa	Subtropical Úmido
Q4a	Depósitos Aluviais,
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
GIS	Geographic Information System
Ha	Hectares
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
J3 k1 bt	Formação Botucatu
K1 α cx	Fácies Caxias
K1 β Gr	Fácies Gramado
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
UTM	Universal Transversa de Mercator
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
USP	Universidade de São Paulo
RS	Rio Grande do Sul
T1sc	Formação Sanga do Cabral
T23sm	Formação Santa Maria
T3c	Formação Caturrita
UF	Unidade da Federação (Brasil)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS	22
2.1 JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE DA PESQUISA.....	22
2.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	28
2.2.1 OBJETIVO GERAL	28
2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
3 ÁREA DE ESTUDO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOTUCARAÍ, RIO GRANDE DO SUL	29
3.1 ASPECTOS GERAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOTUCARAÍ	29
4 REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL.....	35
4.1 ANÁLISE INTEGRADA DA PAISAGEM E SISTEMAS.....	35
4.1.1 ANÁLISE INTEGRADA DA PAISAGEM	35
4.1.2 FISIONOMIA E FISIOLÓGIA DAS PAISAGENS	42
4.1.3 BACIAS HIDROGRÁFICAS COMO SISTEMAS AMBIENTAIS.....	45
4.2 O SENSORIAMENTO REMOTO E AS TÉCNICAS APLICADAS AO ESTUDO INTEGRADO DA PAISAGEM	50
4.2.1 ANÁLISE POR PRINCIPAIS COMPONENTES (ACP).....	50
4.2.2 O SENSORIAMENTO REMOTO E SUA INTERAÇÃO COM OS DIFERENTES ALVOS DA SUPERFÍCIE TERRESTRE	56
4.2.3 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO ESTUDO DA VEGETAÇÃO	57
4.2.4 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO LEVANTAMENTO DE SOLOS	60
4.2.5 SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA LITOLOGIA	62
5 PROCEDIMENTOS E SUPORTE TÉCNICO DA PESQUISA	65
5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	65
5.2 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITES	66
5.2.1 IMAGENS DO SENSOR LANDSAT 8/OLI.....	66
5.2.2 IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL– RAPIDEYE.....	69
5.3 GERAÇÃO DE MAPAS E PRODUTOS CARTOGRÁFICOS	71

5.3.1 MAPAS TEMÁTICOS	71
5.4 CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA	80
5.5 SOFTWARES UTILIZADOS	82
5.6 IMAGENS DA ANÁLISE POR COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)	83
5.7 DADOS CLIMATOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS	85
5.8. TRABALHO DE CAMPO	86
5.9. SÍNTESE DOS DADOS E DOS RESULTADOS DA RELAÇÃO ENTRE OS COMPONENTES DA PAISAGEM	88
 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES DA ANÁLISE INTEGRADA DA PAISAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOTUCARAÍ	 90
 6.1 ASPECTOS FÍSICOS DOS ELEMENTOS DA PAISAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOTUCARAÍ	 90
6.1.1 CLIMA	91
6.1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO	93
6.1.3 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO	107
6.1.4 COBERTURA PEDOLÓGICA	111
6.1.5 VEGETAÇÃO	119
6.2 COMBINAÇÃO DO RELEVO, SOLOS E CLIMA DETERMINANDO A DIVERSIDADE DA COBERTURA VEGETAL	126
6.2.1 RELAÇÃO DO CLIMA COM OS SOLOS	126
6.2.2 RELAÇÃO DO CLIMA COM O RELEVO	128
6.2.3 RELAÇÃO DO CLIMA COM A VEGETAÇÃO	130
6.3 RELAÇÃO DAS FORMAS DE RELEVO COM AS TIPOLOGIAS DE SOLOS DOMINANTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOTUCARAÍ	133
6.3.1 RELEVO CONDICIONANDO OS TIPOS DE SOLOS	133
6.3.2 LITOLOGIA CONDICIONANDO OS TIPOS DE SOLOS	140
6.4 INFLUÊNCIA DOS ASPECTOS FÍSICOS NA OCUPAÇÃO DA TERRA E PAISAGENS ANTRÓPICAS	144
6.4.1 MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA ALTERANDO OS ASPECTOS FÍSICOS DA PAISAGEM	146
6.4.2 AS AÇÕES ANTRÓPICAS QUE LEVAM A MODIFICAÇÃO ESTÉTICA DA PAISAGEM	151
6.5 APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ANÁLISE POR COMPONENTES PRINCIPAIS NA IDENTIFICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DA FISIONOMIA E FISIOLÓGIA DAS PAISAGENS NATURAIS	156
6.5.1 REPRESENTATIVIDADE E CONTRIBUIÇÃO DAS COMPONENTES PRINCIPAIS	157

6.5.2 IDENTIFICAÇÃO DE INTERFACES E SUA RELAÇÃO COM OS COMPONENTES DA PAISAGEM	171
--	-----

7 SINTESE E CONCLUSÕES DA RELAÇÃO ENTRE OS ELEMENTOS DA PAISAGEM: RELEVO, SOLOS, VEGETAÇÃO, LITOLOGIA E CLIMA	182
--	------------

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	187
-------------------------------------	------------

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	191
---	------------

1 INTRODUÇÃO

Ao se estudar os sistemas ambientais que compõem a superfície terrestre, pode-se perceber o quão complexos são a estrutura e o modo como a natureza se comporta. Os níveis de interação e interconexão ocorrem de tal forma que reproduzem arranjos e formas de representação dos elementos constituintes da paisagem em modelos distintos e diversamente recíprocos entre si.

Em várias porções da terra há muitos indícios desta interconexão, o que nos remete à noção de diversidade, mas que, ao mesmo tempo, nos releva a intrínseca “teia” de mecanismos na qual a paisagem está estruturada, e o nível de ligação entre os seus componentes: a interação sistêmica.

Esta interação é estudada a partir de uma análise integrada da paisagem, com a verificação de aspectos particulares que permitem a compreensão do todo. Neste contexto, adota-se a concepção da teoria geral dos sistemas, a partir da qual os diferentes ambientes naturais encontrados na superfície da terra são entendidos como decorrentes das relações de troca de energia e matéria entre os seus componentes, sendo denominados de ecossistemas ou geossistemas.

Dolfuss (1973, p.61) destaca que “o estudo dos sistemas oferece a possibilidade de decompor as operações, de observar as relações de causalidade e as inter-relações, de verificar a eficácia de certos agentes e processos, além de medir as inércias e coerções”.

Alinhada a estas considerações, adotou-se como área de estudo a bacia hidrográfica do rio Botucaraí, localizada na região central do Estado do Rio Grande do Sul. Esta área abrange a interface entre o Planalto Meridional Basáltico, a escarpa da Serra Geral, a Depressão central e a Planície Fluvial do Rio Botucaraí. Devido a estas características, o transecto de pesquisa é representativo, permitindo observar diferenciações entre os elementos da paisagem, que formam “mosaicos-chave” para a interpretação da correlação ou não entre os componentes.

A partir destas informações, surgem perguntas, que se busca responder, com o intuito de explicar a diversidade que “salta aos olhos”. Responder e compreender questões sobre esta temática é uma das funções na qual a Geografia está inserida, principalmente a Geografia Física, que se detém em identificar e estudar conexões

integradas e a interação de cada componente, que interligados com outros elementos da paisagem, podem explicar o funcionamento dos geossistemas.

Para Ross (2009, p.13) é a Geografia Física geral ou Geografia da natureza que cumpre este objetivo de “investigar os fenômenos naturais, sempre inter-relacionados, que se caracterizam por processos dinâmicos de fluxos de energia e matéria entre partes de um todo indissociável”. Destaca ainda que estes processos (físicos e químicos e as morfologias dos materiais) “definem os componentes que formam um significativo segmento denominado por Grigoriev (1968) como estrato geográfico” (ROSS, 2009, p.13).

A partir desta perspectiva, considera-se o que Delpoux (1974) assume como conceito de paisagem para o estudo integrado na área de estudo. O autor define os princípios ecológicos para o estudo sistemático de porções da superfície terrestre, que para ele é composta por duas unidades elementares, primeiramente, o suporte e suas características (forma, cor, textura, microrelevo), ligados às características geológicas (orogênese, estratigrafia, litologia), climáticas e antrópicas.

Como segunda unidade, Delpoux (1974, p.5) define “a cobertura com seus caracteres, que materializa a influência dos parâmetros climáticos, pedológicos biológicos (florístico, faunístico), e entre eles do parâmetro antrópico”.

Sochava (1977, p.2) também contribui com esta questão, evidenciando que em condições normais se devem estudar não só os componentes da natureza, mas as conexões entre eles. O autor descreve que “não se deve restringir somente à morfologia da paisagem e suas subdivisões, mas, de preferência, projetar-se para o estudo de sua dinâmica, estrutura funcional, conexões, etc.”.

Destaca-se que a maioria dos estudos integrados do meio ambiente tem como foco principal de análise as referidas inter-relações entre os elementos que formam a paisagem, como evidentemente deveria tratar. Entretanto, considera-se importante a inserção de metodologias, técnicas, e outros procedimentos existentes que facilitem e ampliem este espectro nos estudos deste porte.

Neste contexto, esta pesquisa insere as geotecnologias, mais especificamente o Sensoriamento Remoto (SR), como elemento importante na perspectiva de gerar possibilidades de uma interpretação mais acurada entre os elementos da paisagem. Desta forma, por ser uma ferramenta importante, as técnicas advindas do SR podem ser intensamente exploradas, a partir dos dados e

das informações que são obtidas através das observações de fenômenos identificados pelos sensores e suas respectivas imagens de satélites.

A utilização destas técnicas é essencial em diversos tipos de levantamentos ambientais, em diferentes escalas, facilitando os processos de obtenção de dados necessários a estes estudos. No que se refere a esta pesquisa, as combinações entre os elementos do meio físico, e a associação com as técnicas de Sensoriamento Remoto revelam novas interfaces na análise geoecológica pretendida.

As técnicas, que se referem à Análise por Componentes Principais (ACP), forneceram algumas contribuições e respostas, que tão somente a associação dos componentes da paisagem não conseguiria nos proporcionar. A ACP é uma técnica linear de “n” variáveis originais (por exemplo, multiespectrais) em “n” novas variáveis (Componentes Principais) em que cada nova variável é uma combinação linear das variáveis originais (FLORENZANO, 2008, p.43).

Neste sentido, a partir da aplicação da ACP foi possível associar e correlacionar as interferências e modificações expressas na fisionomia dos componentes da paisagem da bacia hidrográfica do Rio Botucaraí. Desta forma, os resultados e discussões da tese se constituíram em cinco capítulos, que buscaram identificar as relações entre os componentes da paisagem: litologia, solos, relevo e vegetação, a partir da aplicação da ACP.

O primeiro capítulo tratou dos aspectos físicos dos elementos da paisagem na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí; o segundo capítulo, da combinação do relevo, solos e clima, determinando a diversidade da cobertura vegetal. O terceiro capítulo discutiu a relação das formas de relevo com as tipologias de solos dominantes na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí. Já o quarto capítulo tratou da influência dos aspectos físicos na ocupação da terra e paisagens antrópicas; e o último capítulo verificou a aplicação da técnica de Análise por Componentes Principais (ACP) na identificação e interpretação da fisionomia e fisiologia das paisagens naturais.

2 JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

Esta sessão está dividida em justificativa, hipótese de pesquisa e objetivos.

2.1 JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE DA PESQUISA

Desde muito tempo o Homem vem se dedicando ao estudo do meio ambiente, para entender como a paisagem se estrutura, como estão dispostos os seus componentes, como se processa a interação entre os mesmos, como suas características são modificadas, qual o nível de ligação entre ambos e porque determinadas áreas apresentam uma fisiologia diferenciada, mesmo estando próximas umas das outras.

É sobre estas questões que pesquisadores de diversas áreas do conhecimento vem desenvolvendo suas pesquisas para explicar o funcionamento da paisagem, a qual, sabe-se, é tema complexo e de múltiplas interpretações.

Desta forma, a análise integrada da paisagem tenta compreender de forma sistemática o ordenamento e a dinâmica existente entre os elementos visíveis na paisagem. Bertrand e Bertrand (2007, p.3) descrevem que a partir de 1962 é que se encontrou a maior parte dos elementos que serviram de base para uma primeira tentativa, de estudo integrado, do meio natural, destacando os mais significativos:

- a ecologia norte-americana e o conceito de ecossistema através dos “fundamentos de ecologia” de E. P. Odum;
- a *landschafstkunde* alemã e a ecogeografia de Carl Troll;
- a tese de pedologia florestal de Philippe Duchaufour;
- a teoria da biorresistência de Henri Erhart;
- os diversos trabalhos de linguistas e de matemáticos abordando os sistemas e a teoria dos conjuntos (Charles Piaget, Jean-Louis de Moigne);
- os inventários práticos, exploratórios, de diversos *soil survey*, *land survey* e *landscap survey* americanos, australianos e canadenses;
- os primeiros contatos, difíceis e muito parciais, com a “ciência da paisagem” russa e o conceito de geossistema elaborado por V. B. Sochava e A. G. Isachenko;
- as tentativas de Jean Tricart para desembaraçar a geografia física das gavetas relevo-solo-vegetação.”

Todos estes autores e suas investigações a respeito do funcionamento integrado do meio natural serviram de base para que a compreensão de fenômenos

explicasse o comportamento existente na paisagem, entretanto, esta compreensão nunca foi tarefa das mais simples.

Como expressam Bertrand e Bertrand (2007, p.5): “não há resposta unívoca para estes questionamentos entrecruzados. Os caminhos são múltiplos e desigualmente traçados, as passarelas são frequentes [...] não preenchem vazios”, destacando que:

“Numa pesquisa consequente sobre o meio-ambiente, se deve trabalhar sobre as margens, entre as interfaces e os interstícios, aqui onde se acavalam e se entrechocam não somente os fenômenos ambientais, mas também os conceitos e métodos dos quais nós nos servimos para a realização da pesquisa”.

Neste sentido, o estudo da paisagem deve proporcionar, além de um diagnóstico das condições ambientais de determinadas áreas, o acréscimo de subsídios, novos parâmetros e interpretações que colaboram na elucidação de aspectos ainda não revelados e na complementação de estudos acerca dos fatores abióticos destes locais.

Numa análise a respeito dos estudos integrados do meio ambiente percebemos que em um cenário mais recente existem diversas linhas de pesquisa que, de uma forma ou outra, voltam suas análises para o entendimento da relação entre os elementos da paisagem, buscando explicar alguns mecanismos que se constituem como agentes da relação entre alguns destes elementos.

Sobre esta temática são destaques os trabalhos de Villela (2011), analisando a relação entre o relevo, rocha e o solo; Pissarra et al. (2004), na análise das características morfométricas da relação solo-superfície, em decorrência dos processos erosivos sobre estruturas e litologias variadas; Teramoto et al. (2001), em estudo das inter-relações entre aspectos pedológicos, geológicos e geomorfológicos; Campos et al. (2007) e Carvalho Filho (2010), no estudo das relações solo-paisagem; Santos et al. (2002) na relação entre o relevo e as classes texturais do solo; e Motta et al. (2002), na relação entre os solos e o relevo.

Muitos destes estudos abordam, principalmente, a relação entre os solos e a litologia, visto que a influência do material litológico é o elemento básico na gênese dos solos, evidenciando de forma direta, a partir do intemperismo das rochas, o desenvolvimento pedológico.

Outros trabalhos pesquisados relacionam, além da litologia, outro componente da paisagem: o relevo. Destaca-se a importância de considerar esta relação, pois, em um primeiro momento, torna-se perceptível que a fisiologia da paisagem tem considerável influência sobre as características advindas das forças exógenas e endógenas, que proporcionaram o surgimento e desenvolvimento das formas de relevo existentes atualmente.

Da mesma forma, considera-se nas pesquisas, outro condicionante importante quando se trata sobre a análise integrada da paisagem: a vegetação. Muitas interpretações revelam a inter-relação entre os elementos da paisagem condicionados ao tipo vegetacional existente.

Dependendo do tipo de solo, do relevo, da litologia e da ação climática são identificados fragmentos arbóreos com estrutura e/ou forma e tipo de espécie diferenciada. Desta forma, a inserção da vegetação nos estudos integrados contribui para o aumento do grau de complexidade dos estudos, já que este componente da paisagem possui especificações e se desenvolve de acordo com parâmetros que exigem um espectro mais elevado e acurado de investigação.

É a partir deste entendimento sobre os estudos integrados dos elementos que compõem o meio físico que se tem a noção de que os resultados gerados por estas pesquisas apresentaram aspectos mais específicos e relevantes, a partir dos objetivos a que as referidas investigações se propuseram, trazendo informações que contribuíram para os estudos das áreas, tanto no nível de bacias hidrográficas, quanto de sistemas ambientais mais complexos e em nível de municípios.

Neste sentido, inserem-se as questões centrais de estudo desta tese, que é entender e compreender os mecanismos, as interfaces e a dinâmica, tanto estrutural, quanto superficial, entre os elementos que compõem a paisagem na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí, situada na região central do Estado do Rio Grande do Sul.

Nesta perspectiva, inserem-se todas as particularidades inerentes a cada unidade de paisagem presente na área, de forma que as suas principais características sejam identificadas e exploradas, para que os mecanismos que levaram a sua formação sejam interpretados.

Cabe, junto a apresentação desta proposta, citar a concepção proposta por Ab'Saber (1969). O autor definiu os níveis de tratamento essenciais que devem ser considerados na metodologia utilizada para as pesquisas geomorfológicas: em um

primeiro momento, ele descreve que se deve entender a compartimentação da topografia regional, realizando uma detalhada caracterização e descrição da área de estudo; em uma segunda etapa é preciso obter informações sistemáticas sobre a estrutura superficial das paisagens referentes a todos os compartimentos e formas de relevos observados; e, como última etapa, compreender globalmente a fisiologia da paisagem na qual a área de estudo está inserida.

Estas etapas foram desenvolvidas especificadamente para o estudo do relevo, entretanto, devido à organização e sequência lógica, considera-se aplicável para qualquer estudo cujo foco seja a integração dos elementos da paisagem.

A observância das relações intrínsecas aos componentes da paisagem, quando estudados de forma descritiva, compartimentada e interligada permite o entendimento do funcionamento dos sistemas ambientais e a compreensão dos fatores que evidenciam todas as suas características. Desta forma, tem-se como meio metodológico a inserção desta lógica de estudo na proposta apresentada por esta pesquisa.

Cabe destacar ainda uma questão fundamental quando se tem como foco o estudo integrado do meio ambiente, que é a pesquisa em nível de bacias hidrográficas, proporcionando uma ampliação de conexões e inter-relações na área de estudo.

Como destaca Christofolletti (2004) apud Rodrigues et al. (2011, p.113), baseado na Teoria Geral dos Sistemas Complexos e, em particular, a abordagem multifractal aplicada à análise das redes de drenagem, “a bacia hidrográfica é um sistema geográfico, no qual a espacialidade na superfície terrestre converte-se em uma característica inerente e fundamental”.

Ab’Saber (1987) considera que a abordagem sistêmica e integrada a partir dos estudos em bacias hidrográficas contribui para o aumento da preservação e recuperação dos sistemas ambientais, destacando que a utilização do conceito de bacia hidrográfica, em uma visão mais holística relacionada aos problemas ambientais, teve início a partir da década de 1970.

Partindo desta lógica, considera-se importante o estudo em nível de bacia hidrográfica, pois, como descreve Santos (2004, p.41), “toda ocorrência de eventos de origem antrópica ou natural, em uma bacia hidrográfica, interfere na dinâmica deste sistema, na quantidade de cursos de água e na sua qualidade”.

A partir desta noção de sistema, este estudo segue estas considerações, buscando a compreensão da bacia hidrográfica do Rio Botucaraí, no sentido de encontrar “chaves de interpretação” que sirvam para a identificação do funcionamento e ligação sistêmica dos seus componentes.

Neste sentido, a busca da identificação da interação sistêmica tem como apoio a inserção metodológica relacionada às geotecnologias, mais especificadamente as técnicas de Sensoriamento Remoto, amplamente difundidas nas ciências ambientais.

Entende-se que o tratamento das bandas espectrais, a partir de imagens de satélites, configura-se em uma complementação ao estudo e ao entendimento dos elementos da paisagem: solos, relevo, litologia e vegetação, além de gerar produtos cartográficos com níveis de detalhamento que permitem uma integração mais completa da análise pretendida.

Desta forma, adota-se fundamentalmente a utilização da técnica de Análise por Componentes Principais (ACP), para o entendimento e a compreensão da fisiologia da paisagem na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí, o que permite o estudo da diversidade de fisionomias, identificando conexões e interpretando a integração entre os componentes da paisagem.

A ACP, segundo Crosta (1992), “é uma das funções de processamento de imagens mais poderosas na manipulação de dados multiespectrais”.

Gurgel (2000, p.48) considera que, sendo a ACP uma técnica de estatística multivariada, ela possui grande utilidade: “na investigação de relações existentes entre um conjunto de variáveis correlacionadas”, destacando que através desta técnica “pode-se transformar um conjunto de dados, inicialmente correlacionados em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas”.

A propósito, a utilização da ACP já serviu como objeto de pesquisa em diversas áreas do conhecimento, permitindo o agrupamento de dados e associação com elementos que geraram análises, cujos resultados trouxeram informações correlacionadas com o meio de investigação pretendido.

Especificamente para o estudo da paisagem, destacam-se alguns trabalhos cuja proposta permitiu a associação com os elementos que compõem o meio físico de áreas interligadas.

Como exemplo desta proposta, destaca-se a análise integrada da paisagem da raia central portuguesa (CASTRO al., 2008), que teve o objetivo de realizar uma

análise integrada desse território do país. Assim, através da aplicação da Análise de Componentes Principais, os autores buscaram a identificação de conjuntos de indivíduos espaciais com características semelhantes, a partir das relações estabelecidas entre diferentes variáveis caracterizadoras da paisagem (geomorfologia, geologia, clima, hidrografia, solos e vegetação).

Os procedimentos metodológicos aplicados na pesquisa permitiram a identificação de elementos paisagísticos que se constituíram em um recurso para o desenvolvimento da Raia Central Portuguesa, remetendo ao seu potencial endógeno.

Este exemplo aplicado permite mostrar que, a partir desta técnica, associada a outras análises descritas, é possível selecionar amostras e interpretar os resultados da correlação para os estudos integrados dos elementos da paisagem.

Desta forma, sua aplicação na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí permitiu a identificação de diferentes combinações entre os elementos do meio físico, com a distinção de unidades de paisagem, de modo que novas interfaces puderam ser geradas, tendo em vista a análise integrada, associada a técnica de Análise por Componentes Principais.

A partir disso esta pesquisa pretendeu responder as seguintes indagações:

- *Quais são as relações entre as variáveis naturais e antrópicas que são determinantes para definir as fisionomias das paisagens?*
- *Como as formas de relevo se relacionam com as tipologias de solos dominantes?*
- *Como a combinação do relevo, solos e clima determina a diversidade da cobertura vegetal?*
- *Como a diversidade de paisagens naturais influencia o uso e ocupação da terra, determinando as paisagens antrópicas?*
- *Como a aplicação da técnica de Análise por Componentes Principais pode colaborar para identificar e interpretar a fisionomia e fisiologia das paisagens naturais?*

A partir da formulação destas questões, e nesta perspectiva, formula-se a hipótese:

- Com a aplicação das técnicas de Análise por Componentes Principais é possível identificar e interpretar diferentes fisionomias de paisagens, e a partir destas, analisar as suas fisiologias.

Assim, esta hipótese se relaciona aos objetivos gerais e específicos da pesquisa, apresentados no próximo item.

2.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Os objetivos estão divididos em objetivos gerais e específicos

2.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é identificar, interpretar e compreender a diversidade de fisionomias da paisagem e sua fisiologia na bacia hidrográfica do rio Botucaraí, Rio Grande do Sul, a partir da aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto, especificamente a Análise por Componentes Principais.

2.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Compreender a combinação do relevo, solos e clima, na determinação da diversidade da cobertura vegetal;
- Relacionar as formas de relevo com as tipologias de solos dominantes na bacia hidrográfica do rio Botucaraí;
- Compreender a diversidade de paisagens naturais na influência do uso e ocupação da terra, determinando as paisagens antrópicas;
- Aplicar a técnica de Análise por Componentes Principais e verificar a contribuição na identificação e interpretação da fisionomia e fisiologia das paisagens naturais e a relação entre os seus componentes.

3 ÁREA DE ESTUDO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOTUCARAÍ, RIO GRANDE DO SUL

Este capítulo apresenta uma caracterização geral da área de estudo, que corresponde à bacia hidrográfica do Rio Botucaraí, localizada na região central do Estado do Rio Grande do Sul, cujo objetivo foi identificar as variáveis e fatores que possibilitaram revelar e explicar os elementos que constituem a paisagem e suas inter-relações.

Uma análise mais detalhada da área de estudo compreende os resultados da pesquisa, permitindo a identificação da interligação entre os componentes do meio físico e suas implicações na fisionomia e fisiologia da paisagem.

A escolha desta área se deve à sua representatividade em relação aos objetivos da tese, já que apresenta diversidade dos componentes da paisagem, situando-se na transição entre compartimentos geológicos e geomorfológicos e dos principais corredores de migração de vegetação do Estado do Rio Grande do Sul.

3.1 ASPECTOS GERAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOTUCARAÍ

A sub-bacia hidrográfica do rio Botucaraí pertence à sub-bacia do Baixo Jacuí, que compõem a bacia do Rio Guaíba, umas das três grandes bacias hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul. A bacia hidrográfica se situa na transição entre o Planalto Meridional basáltico, a escarpa da Serra Geral e Depressão central, contendo ainda a planície fluvial do rio Botucaraí.

Os limites da rede hidrográfica compreendem parte dos Municípios de Passa Sete, Candelária, Cachoeira do Sul, Novo Cabrais, Cerro Branco e Lagoa Bonita do Sul, na região central do Estado. As coordenadas geográficas nos pontos limites da área são: 29°27'6.98"S; 52°57'51.07"W a 30° 1'1.04"S; 52°51'21.84"W e 29°35'45.17"S; 53° 3'41.72"W a 29°49'14.73"S; 52°44'13.40"W (Figura 1), situando-se na Folha SH.22-V-C – Santa Maria, que está entre as coordenadas 29°30' a 29°45' de latitude sul e 54° 00' a 53°30' de longitude oeste.

A área total da bacia é de aproximadamente 103.046,84 hectares. De norte a sul ultrapassa a distância de 70 km. De leste a oeste perfaz o total de cerca de 30 km, em linha reta.

Figura 1. Bacia hidrográfica do Rio Botucarai, região central do Rio Grande do Sul.

Devido às suas ramificações, a partir do curso d'água principal, o Rio Botucaraí, em vários sentidos, a bacia hidrográfica pode ser classificada como dendrítica. O padrão de configuração da rede de drenagem da bacia apresenta, no médio curso, uma maior ramificação, com maior concentração de canais.

Na parte mais ao norte, onde se encontram os setores com patamares mais elevados, a configuração da rede de drenagem segue as falhas geológicas e acompanha os vales encaixados dos cursos d'água (Figura 2).

Figura 2. Bacia Hidrográfica do rio Botucaraí, região central do Rio Grande do Sul, a partir da imagem do Google Earth.

Fonte: Google Earth.

Na imagem de satélite apresentada (Google Earth), visualiza-se a disposição da rede de drenagem da bacia hidrográfica, o canal principal e demais ramificações.

A rede hidrográfica da bacia do rio Botucaraí é composta por inúmeros cursos d'água perenes e intermitentes, entre eles destacam-se alguns cursos principais,

que em muitos casos contribuem para o desenvolvimento das atividades agrícolas das áreas por onde percorrem.

O quadro abaixo mostra a rede de drenagem da bacia, com os referidos cursos d'água, identificados na bacia hidrográfica.

Quadro 1. Principais cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

Rios Principais
Rio Botucaraí
Arroio Linha Negra
Sanga dos Cabrais
Arroio Bonito
Arroio Eufrásio
Arroio Faxinal
Arroio Roncador
Arroio Palmital
Arroio Grande
Arroio da Divisa
Arroio Maracana
Sanga da Areia
Sanga Funda
Arroio do Boi
Sanga Cardenal
Sanga do Rincão Pequeno
Arroio Forqueta

No contexto geral podemos considerar a agricultura como a principal atividade econômica dos municípios que compõem a bacia hidrográfica e da região onde a mesma está inserida. Identificam-se diversas propriedades, cujo uso está

especialmente vinculado à produção agrícola, destacando o cultivo do arroz, que ocupa a maior parte das terras da bacia hidrográfica, principalmente no Município de Cachoeira do Sul, um dos maiores produtores do cultivo no Brasil.

De acordo com o Macrozoneamento Ambiental do Rio Grande do Sul, que segundo a SEPLAG (1998, p.1) foi elaborado com “o objetivo de expressar os principais padrões de uso e ocupação do solo do estado, de cobertura vegetal e de relevo”, a bacia hidrográfica do rio Botucaraí se enquadra na Área Agrícola 2, do Planalto Meridional, Florestas Remanescentes e Agrícola 1, da Depressão Central.

A Área Agrícola 2, situada no Planalto Meridional, ao norte da área de estudo, tem como característica o uso intensivo de cultivos no verão e no inverno. Já a área Agrícola 1, situada na Depressão central, que compreende a zona central da bacia hidrográfica do Rio Botucaraí, tem uso intensivo no verão.

Quanto à densidade de drenagem, destaca-se que na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí, a densidade é mais alta na porção norte da área de estudo, onde se situa a Serra Geral e o Planalto. Como pode ser visualizado no mapa abaixo (Figura 3).

De acordo com Hiruma e Ponçano (1994, p.49) “a densidade de drenagem é um dos principais parâmetros na análise morfométrica de bacias hidrográficas”. Os autores destacam que este conceito “foi discutido inicialmente por Horton (1945) como o comprimento médio de rios de uma bacia hidrográfica por unidade de área”.

Figura 3. Densidade de drenagem da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

4 REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

Este capítulo apresenta o referencial teórico-conceitual da análise integrada da paisagem e sua relação com os elementos que a constituem. A partir da conceituação e da exposição de cada elemento foi possível obter uma melhor compreensão da funcionalidade da área bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

Neste sentido, segue a abordagem conceitual sobre a vegetação, o relevo, os solos e a litologia, destacando, também, uma revisão teórica a respeito das técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao estudo da paisagem e sobre os sistemas de bacias hidrográficas, análise integrada da paisagem e a fisionomia e fisiologia das paisagens.

4. 1 ANÁLISE INTEGRADA DA PAISAGEM E SISTEMAS

“O estudo dos sistemas encontra-se, por conseguinte, bem no centro da análise geográfica, na medida em que oferece a possibilidade de decompor as operações, de observar as relações de causalidade e as inter-relações, de verificar a eficácia de certos agentes e processos, de medir as inércias e coerções” (DOLFUSS 1973, p.61).

4.1.1 Análise integrada da paisagem

O conceito de paisagem foi tomando forma e sendo difundido por pensadores e pesquisadores ao longo de séculos. Muitos estudiosos, como Immanuel Kant (1724-1804), Alexander von Humboldt (1769-1859) e Karl Ritter (1779-1859), trouxeram contribuições que permitiram o desenvolvimento deste conceito.

Para esta pesquisa, adotou-se o conceito fundamentado por Monteiro (2000, p.39) que entende a paisagem como “uma entidade espacial delimitada, segundo um nível de resolução do geógrafo (pesquisador) a partir dos objetivos centrais da análise, de qualquer modo sempre resultante da integração dinâmica, portanto instável, dos elementos de suporte e cobertura (físicos, biológicos e antrópicos)”.

O autor destaca que a delimitação da paisagem seria expressa “em partes individualizadas através das relações entre essas partes, que organizam um todo

complexo (sistema), verdadeiro conjunto solidário em perpétua evolução” (MONTEIRO, 2000, p.39).

Este conjunto sistêmico, como define Delpoux (1974, p.5) seria composto por duas unidades elementares:

- “- o suporte e suas características (forma, cor, textura, microrelevo), ligado às características geológicas (orogênese, estratigrafia, litologia), climáticas e antrópicas;
- e a cobertura com seus caracteres, que materializa a influência dos parâmetros climáticos, pedológicos biológicos (florístico, faunístico), e entre eles do parâmetro antrópico”.

No relato de Oliveira (2013, p. 40) sobre as origens do termo paisagem o destaque é dado ao catálogo de publicações francesas de Kelting (2010) entre os anos de 1995 e 2005, onde a paisagem é a temática principal. Neste catálogo observa-se que “o termo Paisagem adquiriu significados múltiplos”:

- “- Kelting (2010) relata que a paisagem surgiu na Alemanha entre os séculos XVII e XVIII como sinônimo de território e posteriormente na Itália para o reconhecimento pictórico da natureza.
- Alexander Von Humboldt, referiu-se à paisagem ao mencionar o estado comportamental do clima e das espécies vegetais e animais e ao tecer considerações a respeito do seu estado material atual, ao qual denominou morfologia da paisagem.
- A *naturlandschaft* e a *kulturlandschaft* alemãs comungaram ideias para formar o que aqui denominaremos paisagem geográfica, composta por elementos naturais e passíveis de interferência antrópica”.

Rougerie e Beroutchachvili (1991) e Drozdov (2007) também descrevem as particularidades referentes à história da formação e evolução do conceito de paisagem, como o pioneirismo atribuído à escola alemã nos estudos da paisagem, a incorporação da “*Landschaft*” alemã pelos russos, palavra que teria surgido na idade média, em designação a uma região de tamanho médio ou um território, e a questão do planejamento implantado pela União Soviética (OLIVEIRA, 2013).

Vitte (2007) relata que os trabalhos de Goethe e Humboldt¹ contribuíram para a “concepção de que existe uma harmonia na ordem natural e que a natureza se manifesta diferenciada na superfície terrestre em função de como ocorre a integração entre os seus elementos”.

1 Johann W. Von Goethe (1749-1832) e von Humboldt (1769-1859).

A noção de “interação em um espaço concreto na superfície do planeta, entre os componentes do meio físico” que norteou grande parte das pesquisas e foi objeto de estudo de diversos autores foi reflexo da paisagem trabalhada por Humboldt e, posteriormente, Dokuchaev, Passarge e Lev S. Berg² (RODRIGUEZ; SILVA, 2007) apud (OLIVEIRA, 2013, p.39).

Mateo Rodriguez e Silva (2002) destacaram a importância dos estudos de Sochava, na década de 1960, sobre a paisagem, apoiado na Teoria Geral dos Sistemas de L. Bertalanffy (1933), que se concretizou na análise dos Geossistemas.

Desta forma, a base do conceito de paisagem natural (Landshaft) de Sochava (1977) considera a natureza como um todo composto por partes que se integram para formar um sistema natural. Pois, afirma que “em condições normais se devem estudar, não só os componentes da natureza, mas as conexões entre eles, sua dinâmica, estrutura funcional e conexões” (SOCHAVA, 1977, p.2).

Atualmente, de acordo com Rodriguez et al. (2007, p.14) são difundidas as seguintes interpretações do termo paisagem (“lanscape”, “landschaft”, “paisaje”), servindo de núcleo a diferentes concepções científicas:

“1– Paisagem como aspecto externo de uma área ou território: associa a paisagem a interpretações estéticas, sendo resultado de diferentes percepções.

2– Paisagem como formação natural: surge a partir da inter-relação dos elementos naturais, existindo três subgrupos:

a) Conceito de gênero de qualquer nível, utilizando como sinônimo, termos como complexo territorial natural, geocomplexo ou geossistema natural.

b) Interpretação regional, que concebe a paisagem como unidade taxonômica. c) Interpretação tipológica concebe a paisagem como um território com traços comuns.

3– Paisagem como formação antroponatural: consiste num sistema territorial composto por elementos naturais e antropotecnogênicos que modificam as propriedades da paisagem natural original. Considera a existência de paisagens naturais, antroponaturais e antrópicas, o que se conhece como paisagens atuais ou contemporâneas.

4– Paisagem como sistema econômico social: é a área onde vive a sociedade humana e é composto por uma determinada capacidade funcional para o desenvolvimento das atividades econômicas.

5– Paisagem cultural: concebe a paisagem como resultado da ação da cultura ao longo do tempo, modelando-se por um grupo cultural, a partir de uma paisagem natural.”

2 Vasily Dokuchaev (1846-1903), Siegfried Passarge (1866-1958) e Lev S. Berg² (1876-1950).

Neste contexto, a partir da concepção da teoria geral dos sistemas abordada por diversos autores pesquisados, adotam-se os geossistemas.

Bertrand (1972) define Geossistema como “situado numa determinada porção do espaço, sendo o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos”. Desta forma, “fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução”.

Seguindo a mesma lógica, Christofolletti (1999, p.42) define geossistema como:

“o resultado da combinação de um potencial ecológico (geomorfologia, clima, hidrologia), uma exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e uma ação antrópica, não apresentando, necessariamente, homogeneidade fisionômica, e sim um complexo essencialmente dinâmico. Essa unidade abrange escala de alguns quilômetros quadrados a centenas de km², podendo ser decomposta por unidades menores fisionomicamente homogêneas, representados pelos geofácies e geótopos”.

Ao longo do histórico das investigações a partir do geossistemas, dois conceitos se destacaram: o Russo-soviético, cuja abordagem descreve que o conceito de geossistema desenvolveu-se para fins do desenvolvimento do Estado soviético, baseado nas contribuições de Sochava (1978) e a versão francesa e seus reflexos no Brasil, introduzido inicialmente por Bertrand (1971) e Tricart (1977) (ROSS, 2009).

Os geossistemas para os soviéticos eram investigados por meio de transectos, estações experimentais, análises de laboratórios, entre outros. Neste sentido, de acordo com Ross (2009, p.25), “executou-se os mapeamentos em variadas escalas e espacialização territorial em duas categorias de geossistemas”, de acordo com Sochava:

“Os geômeros, quando definem unidades territoriais homogêneas, e os geócoros, que definem unidades territoriais com o conjunto de unidades heterogêneas. Essas unidades dividem-se em três níveis taxonômicos: topológico, regional e planetário. Quantos as categorias, são inter-relacionadas, mas também, ponto a ponto, autônomas”.

Oliveira (2013, p.46) cita que de acordo com a classificação proposta por Sochava, as menores unidades homogêneas representativas dos geossistemas, ou geossistemas elementares, seriam as Biogeocenoses, destacando que:

- Em posição hierárquica superior estão o Fácies e acima destes o Grupo de Fácies.
- Em andar superior ao Grupo de Fácies estão as Classes de Fácies.
- O Geoma representaria o geossistema de ordem superior a todos os anteriores.
- Em relação aos geossistemas heterogêneos, o nível elementar seria representado pelo Geócoro Elementar.
- Em posição superior a ele estariam os Microgeócoros ou uroschishche, entendidos como regiões.
- Acima dos microgeócoros estão posicionadas as localidades, entendidas como Mesogeócoros ou mestnost.
- Os Topogeócoros, denominados áreas (oblasti), seriam o nível superior às localidades e os Macrogeócoros ou distritos (okrug), estariam no topo da escala de abordagem, representando os macrogeossistemas heterogêneos.

Oliveira (2013) destaca ainda que “o ordenamento escalar dos geossistemas impõe subdivisão da paisagem em ordens de grandeza, que representam o campo de ação da geografia física”.

Na conceituação francesa procurou uma unidade escalar para uma taxonomia do geossistemas, como a apresentada por Bertrand (1972), que reconhece esta ordem escalar em espaços de alguns quilômetros até centenas de quilômetros quadrados.

Neste sentido, Bertrand (1972, p.11) afirma que, “é nessa escala que se situa a maior parte dos fenômenos de interferência entre os elementos da paisagem e que evoluem as combinações dialéticas mais interessantes para o geógrafo.”

Quanto esta disposição de mapear em termos de escala os geossistemas a Geografia física ou Geografia da natureza sempre cumpriu com este objetivo. Nas palavras de Ross (2009), esta ciência tem por objetivo “investigar os fenômenos naturais, sempre inter-relacionados, que se caracterizam por processos dinâmicos de fluxos de energia e matéria entre partes de um todo indissociável”.

Neste contexto os processos físicos e químicos e as morfologias dos materiais definem os componentes que formam um significativo segmento denominado por Grigoriev (1968) como “estrato geográfico”, que corresponderia a “uma estreita faixa compreendida entre a parte superior da litosfera e a baixa atmosfera, correspondendo ao ambiente que permite a existência do homem como ente biológico e social, bem como os demais elementos bióticos da natureza”.

É a partir desta faixa que a natureza age, como transformadora da Paisagem, sobretudo através de sua lógica de fluxos de energia e matéria, com a atuação das

forças endogenéticas e exogenéticas na transformação do relevo (ROSS, 2005) e consequentemente nos outros elementos constituintes do meio físico.

O fluxograma (Figura 5) elaborado por Ross (2006) permite a identificação dos elementos que compõem o estrato geográfico e suas inter-relações, mostrando ainda a interface sociedade/natureza.

Figura 5. Fluxo da relação sociedade natureza.
Fonte: Ross (2005).

Esse “estrato geográfico” assim considerado por ser palco das ações humanas, tem no homem (como ser social), o centro das preocupações relacionadas às alterações que devem ser planejadas antes de ocorrerem na superfície da terra.

Neste sentido, a partir da perspectiva que rege este trabalho, no estrato

geográfico do qual a área de estudo representa, os elementos que compõem o meio físico, relacionam-se mutuamente, através de conexões e interligações a partir de fluxos de energia e matéria.

Desta forma, coaduna-se com as considerações de Sochava, analisando um geossistema como uma unidade dinâmica que apresenta uma organização geográfica particular, integrando os componentes da paisagem, suas conexões, processos e fluxos de matéria e energia.

Estas conexões também devem ser observadas e consideradas a partir da ação antrópica que atua e altera as condições ambientais em diversos territórios, pois como destaca Ross (2005, p.14) “toda ação humana no ambiente natural ou alterado causa algum tipo de impacto em diferentes níveis, gerando alterações com graus diversos de agressão, levando às vezes as condições ambientais a processos até mesmo irreversíveis”.

4.1.2 Fisionomia e Fisiologia das Paisagens

O estudo da fisionomia requer atenção especial na descrição e na caracterização das paisagens, além do entendimento dos aspectos que a estruturam e a forma como seus elementos se dispõem na superfície terrestre.

Entende-se como fisionomia a forma como paisagem é vista, o que é perceptível. No caso da geomorfologia, por exemplo, a fisionomia estaria ligada as formas de relevo, em como se apresentam as colinas, os morros, a configuração das estruturas tabulares do relevo, dentre outros.

Para a vegetação, como destaca Mendes (2015), tem-se a fitofisionomia, que “além de atuar como indicador biológico de paisagem, expressa as formas, as densidades e a organização da vegetação no espaço horizontal e vertical”.

Nesse contexto, cabe a citação da obra de La Blache (1954), descrita por Mendes (2015, p.121), que destaca que o aspecto visual da paisagem e a sua representação a partir das formas que expressa:

“a fisionomia da vegetação é tanto a marca mais expressiva de uma região, como sua ausência é um dos fatos que mais nos impressionam. Quando tentamos evocar uma paisagem, já esfumada nas nossas recordações, não é a imagem de uma planta em particular, de uma palmeira ou de uma oliveira, que nos representa

na memória; é antes o conjunto dos diversos vegetais que revestem o solo, que lhe sublinham as ondulações e os contornos, imprimindo-lhe pelo desenho das formas, cores, espaçamentos ou massas, um caráter de individualidade”.

Esta individualidade estaria ligada a preservação da originalidade de uma paisagem, que remete a sua identidade, como revelaram Humboldt e Vidal de La Blache em seus estudos geográficos (LA TERRE, 2000).

É nesta perspectiva que Jean-Marc Besse, citado por La Terre (2000) afirma que, “tendo fisionomia, a paisagem é dotada de expressão, cumprindo ao estudioso interpretá-la, o que pressupõe uma hermenêutica paisagística”.

Neste sentido a observação dos aspectos que compõem esta paisagem torna-se fundamental para que a se possa proceder a uma interpretação que consiga reunir a diversidade existente em determinada porção da superfície terrestre analisada.

Desta forma, o conceito de paisagem é marcado por uma “conotação empírica, resultante da observação a partir dos aspectos visíveis, ou seja, dos elementos que compõem esta paisagem e as suas alterações” (DANTAS et al., 2015).

Na figura 6 tem-se um exemplo de fisionomia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

Figura 6. Exemplo de fisionomia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

Fonte: Trabalho de campo.

Em primeiro plano visualiza-se uma área alagada, com baixa declividade e ao fundo observa-se um morro testemunho, no conjunto com outras áreas mais elevadas.

A partir da figura 7 visualizam-se em segundo plano as formas de relevo mais elevadas e em primeiro plano pode-se observar o solo exposto em área preparada para plantio, compondo um patamar mais plano do terreno. A partir desta fotografia identificam-se os aspectos visuais que formam a paisagem, compondo um conjunto de elementos que servem de exemplo de alteração da fisionomia da paisagem.

Outros exemplos das modificações da fisionomia da paisagem podem ser observadas a partir da alteração na morfologia do relevo existente em determinadas áreas. Essas alterações podem ser fruto da ação do intemperismo químico das rochas, que se constitui na erosão ou as alterações de origem antrópica, com a exploração através da atividade extrativa da mineração.

Destaca-se também a vegetação como um dos indicadores mais perceptíveis com relação a identificação da fisionomia das paisagens e/ou consequentemente na sua transformação. Isso se deve sobretudo, ao fato de que a cobertura vegetal associada às formas de relevo na grande maioria dos casos cobre grande parte das áreas, dificultando, em uma primeira observação, a identificação do que está embaixo desta cobertura.

Figura 7. Visualização de morros e parte plana preparada para plantio de culturas agrícolas.
Fonte: Trabalho de campo.

Pelo exposto até aqui fica evidente que os elementos que constituem a paisagem apresentam-se numa visão mais empírica, sob diversas nuances fisionômicas. Neste sentido, torna-se fundamental sua análise quando se estudam as relações entre os elementos do meio físico de determinadas áreas para uma correta interpretação do seu funcionamento.

Entretanto, ao analisar as modificações presentes na fisionomia das paisagens, deve-se também relacionar a fisiologia das mesmas, que é fator primordial no que concerne a funcionalidade do meio físico.

Neste sentido, a fisiologia está ligada ao funcionamento das paisagens, a caracterização dos materiais que compõem os elementos do meio físico, ao entendimento dos processos existentes em cada um destes elementos, e, suas relações e ligada também à dinâmica da paisagem (LA TERRE, 2000).

Cassetti (2005) destaca que a fisiologia da paisagem corresponde ao terceiro nível de abordagem do relevo na sistematização da pesquisa geomorfológica adotado por Ab'Sáber (1969):

“Tem por objetivo “entender os processos morfoclimáticos e pedogênicos atuais”. Refere-se, portanto, ao estudo da situação do relevo atual, fruto das relações morfodinâmicas resultantes da consonância entre os fatores intrínsecos, ou seja, inerentes ao próprio relevo, e os fatores extrínsecos, dando ênfase ao uso e ocupação do modelado enquanto interface das forças antagônicas”.

Desta forma, considerando que homem alterou consideravelmente grande parte da superfície terrestre, o referido nível abordado por Ab'saber incorpora as transformações produzidas e consequentes intervenções nos mecanismos morfodinâmicos, o reflete diretamente no comportamento do relevo (CASSETI, 2005).

4.1.3 Bacias Hidrográficas como sistemas ambientais

Teodoro et al. (2007) destaca que houveram várias definições do conceito de bacia hidrográfica formuladas por diversos autores, destacando “a grande semelhança e consideração deste recorte espacial, baseado na área de concentração de determinada rede de drenagem”.

Dentre estas definições formuladas ao longo do tempo, cabe destacar as considerações de Mateo-Rodriguez et al. (2011, p.112), que ressaltam algumas características atribuídas a caracterização das bacias hidrográficas:

- “- é a superfície terrestre drenada por um sistema fluvial contínuo e bem definido;
- as águas vertem a outro sistema fluvial ou a outros corpos hídricos;
- seus limites estão geralmente determinados pelos divisores d'água principais, segundo o relevo;
- é um espaço físico-funcional.”

Do ponto de vista de planejamento e gestão Mateo Rodriguez et al. (2011, p. 112), a bacia caracteriza-se por:

- “- abarcar parte de um conjunto de unidades ambientais homogêneas (paisagens, ecossistemas, etc.) ou de unidades territoriais (municípios, estados, países etc.);
- ser considerada como a unidade mais apropriada para o estudo qualitativo e quantitativo do recurso água e dos fluxos de sedimentos de nutrientes; e
- ser definida como a unidade preferencial na análise e gestão ambiental.”

De acordo com Oliveira (2013), “a bacia hidrográfica, é considerada por lei, a unidade de área padrão a ser considerada nos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA)”.

Neste sentido, as agências de planejamento e órgãos governamentais de regulação e controle ambiental utilizam esta unidade de área para a caracterização das condições do meio físico reveladoras do diagnóstico ambiental. Por este motivo, devido a importância designada pelas bacias hidrográficas seu estudo tem sido cada vez mais objeto de diversas pesquisas.

Desta forma, muitos autores se dedicaram a explicar o seu funcionamento. O Quadro 2 apresenta algumas definições que vão ao encontro da noção de sistema, desempenhado por estas unidades de planejamento, organizado por Teodoro et al. (2007).

É notável a menção da interconexão que se pode chegar quando a análise dos dados e elementos do meio físico são considerados como unidade a nível de bacias hidrográficas.

Para Mateo-Rodriguez et al. (2011) “os nexos dependem das relações espaciais entre a distribuição da água, do clima, da geologia, do relevo, dos solos e

da vegetação”. Desta forma, toda esta articulação leva a formação da paisagem natural, “num espectro de totalidade ambiental”.

Quadro 2. Diferentes conceitos de bacia hidrográfica encontrados na literatura.

Autores	Conceito de Bacia hidrográfica
LIMA & ZAKIA (2000)	São sistemas abertos, que recebem energia através de agentes climáticos e perdem energia através do deflúvio, podendo ser descritas em [termos de variáveis interdependentes, que oscitam em torno de um padrão e, desta forma mesmo quando perturbadas por ações antrópicas, encontram-se em equilíbrio dinâmico. Assim qualquer modificação no recebimento ou na liberação de energia ou modificação na forma do sistema, ocorrerá uma mudança compensatória que tende a minimizar o efeito da modificação e restaurar o estado de equilíbrio dinâmico.
FERNANDES. 1999 apud ATTANASIO, 2004	O termo bacia hidrográfica refere-se a uma compartimentação geográfica natural delimitada por divisores de água. Este compartimento é drenado superficialmente por um curso d'água principal e seus afluentes
BORSATO& MARTONI (2004)	Definida como uma área limitada por um divisor de águas que a separa das bacias adjacentes e que serve de captação natural da água de precipitação através de superfícies vertentes. Por meio de uma rede de drenagem, formada por cursos d'água, ela faz convergir os escoamentos para a seção de exutório, seu único ponto de saída.
BARRELLA, W era! (2007)	Conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes ou do lençol freático. As águas superficiais escoam para as partes mais baixas do terreno, formando riachos e rios, sendo que as cabeceiras são formadas por riachos que brotam em terrenos íngremes das serras e montanhas e a medida que as águas dos riachos descem, juntam-se a outros riachos, aumentando o volume e formando os primeiros rios, esses pequenos rios continuam seus trajetos recebendo água de outros tributários, formando rim maiores até desembocar no oceano.
FAUSTINO (19%)	Sub-bacias são bacias com áreas maiores que 100 km² e menores que 700 Km².

Fonte: Teodoro et al. (2007).

De acordo com Santos (2004) a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento é comumente utilizada porque constitui “um sistema natural bem delimitado no espaço, ou seja, há um conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso d’água e seus afluentes”.

Neste sentido, Santos (op. cit, p.40) descreve que é na bacia hidrográfica que as interações, pelo menos físicas, são integradas e assim, mais facilmente interpretadas:

“Esta unidade territorial é entendida como uma caixa preta, onde os fenômenos e interações podem ser interpretados, a priori, pelo input e output. Neste sentido, são tratadas as como unidades geográficas, onde os recursos naturais se integram. Além disso, constitui-se numa unidade espacial de fácil reconhecimento e caracterização. Senso assim, é um limite nítido para ordenação territorial, considerando que não há outra área de terra, por menor que seja, que não se integre a uma bacia hidrográfica e, quando o problema central é água, a solução deve estar estreitamente ligada ao seu manejo e manutenção”.

Com base nos aspectos descritos, ao realizar-se uma análise integrada, inúmeros itens devem ser considerados (CHRISTOFOLETTI, 1979 apud GORAYEB, 2008), principalmente:

- i) a matéria, material mobilizado através do sistema;
- ii) a energia, forças que fazem o sistema funcionar;
- iii) a estrutura, constituída pelos elementos e as suas relações.

Mateo-Rodriguez et al. (2011, p.113), consideram que ao analisar uma bacia hidrográfica desde uma perspectiva ambiental, sistêmica e sustentável implica considerar que:

“- nela interagem componentes de diversos caracteres (natural, econômico, social, político e histórico), os quais em conjunto dão lugar a diversos sistemas ambientais;
- se trata de uma totalidade sistêmica, formada pela interação e articulação de diversos sistemas ambientais (eco, geo e sócio-sistemas);
- esses sistemas se manifestam de maneira complexa na superfície do globo terrestre, formando sistemas espaciais, paisagísticos e territoriais, de caráter individual. Isso permite analisar as unidades geoecológicas como estruturas formadas no interior das bacias hidrográficas;

- na bacia hidrográfica, formada fundamentalmente pela organização que lhe impõem os fluxos de água superficial, manifestam-se sistemas de caráter espacial e territorial, paragenético e paradinâmico, que não são completamente subordinados à dinâmica hídrica e que, portanto, têm sua própria organização e sua própria lógica.” (MATEO-RODRIGUEZ, 2005)

Tschiedel et al (2012, p.2) publicou em artigo a importância do conhecimento de características morfológicas de bacias hidrográficas, descrevendo diversos estudos, nas diferentes regiões brasileiras que tiveram esta abordagem:

“- Cherem et al. (2008): identificaram através de estudos morfológicos para a sub-bacia do Alto Rio das Velhas (MG) a divisão da sub-bacia em grupos com características homogêneas, fornecendo subsídios para futuros estudos geomorfológicos e ambientais para bacias hidrográficas de quinta ordem encontradas na região de estudo.

- Junior et al. (2009): apresentaram como principal vantagem advinda de estudos morfológicos em determinada bacia, a possibilidade de maior compreensão a cerca das características ambientais da região. Ainda, os mesmos autores apontam que estudos desta natureza podem ser utilizados para auxiliar na tomada de decisões e no planejamento de áreas de bacias que ainda não foram urbanizadas, contribuindo para a definição das formas de uso e ocupação de solos mais adequados ao meio físico local.

- Antonelli e Thomaz (2007): a combinação de diversos dados morfométricos permite a diferenciação de áreas homogêneas. Desse modo, indicadores físicos específicos podem ser determinados com o objetivo de qualificar as alterações e vulnerabilidades ambientais para regiões distintas, ainda que as mesmas se encontrem em similares áreas de contribuição para determinada sub-bacia hidrográfica. “

4.2 O SENSORIAMENTO REMOTO E AS TÉCNICAS APLICADAS AO ESTUDO INTEGRADO DA PAISAGEM

Este capítulo conceitua o Sensoriamento Remoto e suas técnicas, aplicado ao estudo das relações entre os componentes da paisagem, destacando-se sua contribuição para a identificação da interação eletromagnética existente na vegetação, no relevo, nos solos e na litologia. Além disso, verifica a importância da técnica de Análise por Componentes Principais (ACP), para a identificação dos padrões e processos físicos associados às variáveis observadas.

4.2.1 Análise por Principais Componentes (ACP)

A técnica de Análise por Principais Componentes (ACP) ou *Principal Component Analysis* (CPA), também é conhecida por Transformação por Principais Componentes ou ainda por “Transformada de Karhunen-Loeve”. Para Crosta (1992), a ACP é uma das funções de processamento de imagens mais poderosas na manipulação de dados multiespectrais.

Esta técnica de estatística multivariada, de acordo com a descrição de grande parte dos pesquisadores que a utilizam, permite a discriminação das relações existentes entre variáveis correlacionadas (ou um conjunto destas variáveis) transformando-as em variáveis não correlacionadas.

Desta forma, podem-se estudar as relações existentes entre os dados do qual objetiva-se a análise, pois, é possível que os resultados gerados pela ACP evidenciem as relações pré-existentes, ou revelem um novo conjunto de dados com características comuns entre ambos.

Estas análises nos mostram que a maior parte da variância dos dados concentra-se na primeira componente (CP1) (FERREIRA; GURGEL, 2002) e sucessivamente quando se analisa as próximas Componentes Principais (CP's) geradas verifica-se uma diminuição desta variabilidade dos dados.

Neste contexto, Gurgel (2000) destaca que a ACP permite a “diminuição do número de variáveis correlacionadas em um determinado conjunto de dados, preservando a sua variância total”, o que possibilita a análise dos processos físicos das mesmas.

Sena (2009) destaca “a transformação linear de dados multiespectrais para transladar e rotacionar os dados para um novo sistema de coordenadas, removendo a correlação entre os eixos que a ACP utiliza”, como referenciado anteriormente.

Ferreira e Gurgel (2002) baseado em Haan (1977); Richards (1986) e Wilks (1995) descrevem as etapas para o cálculo da ACP:

- Obtenção da matriz de variância-covariância ou correlação;
- Cálculo dos autovalores e autovetores;
- Transformação linear dos conjuntos de dados;
- Obtenção dos “loadings” (correlação entre os dados originais e as componentes).

Quanto a aplicabilidade desta técnica, destaca-se que a ACP é utilizada em diversas áreas da ciência, desde estudos estatísticos até as abordagens referentes a áreas da saúde.

De acordo com Crosta (1992) a ACP pode ser utilizada “no tratamento de imagens produzidas por sensores com um alto número de bandas espectrais (...) na análise de dados em geologia, tais como radar, geofísica”.

A ACP também é utilizada também para “comprimir e codificar dados, realçar imagens e detectar mudanças digitalmente” (FUNG; LEDREW, 1987; EKLUNDH; SINGH, 1993).

Verificam-se inúmeros trabalhos que se dedicam ao desenvolvimento de procedimentos metodológicos cujos objetivos residem na identificação de elementos paisagísticos, especificadamente sobre a sua aplicação ao estudo da paisagem e aos seus componentes.

Neste contexto destacam-se as pesquisas realizadas sobre os elementos constituintes da paisagem, tais como, os solos e a cobertura vegetal, que fornecem subsídios importantes que servem como subsidio para uma análise mais completa a respeito dos resultados gerados por esta técnica.

Sobre as aplicações da ACP ao estudo dos solos destacam-se os trabalhos realizados por Gomes e Maldonado (1998); Gomes et al. (2004); Caten (2008); Valladares et al. (2008) e Campos et al. (2013).

Gomes et al. (2004) avaliaram as diferenças de comportamento entre solos das superfícies geomórficas Sul-Americana e Velhas da região dos Cerrados, todos sob uso atual de cobertura vegetal nativa.

Para cumprir com os objetivos da pesquisa realizaram caracterizações físicas, químicas e mineralógicas e análises de componentes principais desses atributos. Gomes et al. (2004) concluíram que “a análise de componentes principais auxiliou no entendimento das diferenças e similaridades dos ambientes pedológicos separados no campo”.

Gomes e Maldonado (1998) estudaram a Análise de Componentes Principais em Imagens Multitemporais TM/Landsat como Subsídio aos Estudos de Vulnerabilidade à Perda de Solo em Ambiente Semi-Árido.

Os autores concluíram no estudo que “na região do semi-árido, tanto a utilização da banda 3 como a banda 4 servem para a detecção de mudanças utilizando ACP”. Neste caso, consideram que servem para estudos multitemporais sem a utilização de correções radiométricas e atmosféricas.

Caten (2008) realizou estudo com a aplicação da ACP e das Regressões Logísticas Múltiplas (RLM) em um sistema de informações geográficas, cujo objetivo foi a predição e o mapeamento digital de solos.

A metodologia envolveu o treinamento de modelos, realizados em um mapa de solos existente, e como destaca Caten (2008) “em um levantamento realizado em áreas de referência, ambos na escala 1:50.000”. Neste sentido, o autor identificou nos seus resultados que “as três primeiras CP's retidas explicaram 65,57% da variabilidade dos dados”.

Caten (2008) destacou que “mesmo assim, considera que o emprego de RLM permite espacializar classes de solos para áreas não mapeadas, embora o emprego da técnica de ACP necessite ser testado com um maior número de covariáveis”.

Valladares et al. (2008) realizou pesquisa utilizando dados de 19 perfis de solos de diferentes regiões do Brasil. Desta forma, utilizaram a ACP “para agrupar os perfis com o auxílio de atributos morfológicos, físicos, químicos e do ambiente de ocorrência.” Os resultados mostraram que “a análise multivariada de componentes principais se mostrou adequada no agrupamento dos solos estudados com base nos atributos dos perfis, comparando-se com a sua classificação taxonômica”.

Campos et al. (2013) estudaram as superfícies geomórficas e atributos do solo em uma topossequência de transição várzea-terra firme a partir da Análise por Componentes Principais. A metodologia da pesquisa consistiu na aplicação de “amostras de solos das superfícies geomórficas dos métodos estatísticos

multivariados, visando classificar os acessos em grupos: análise de agrupamentos hierárquica e análise de componentes principais”.

Em relação à análise de componentes principais dos horizontes subsuperficiais, os autores verificaram “a formação de três grupos distintos, equivalente às três superfícies geomórficas estudadas”.

Neste sentido, Campos et al. (2013) destacaram que o uso da ACP “pode servir para agrupar indivíduos com características semelhantes e estudar suas correlações, sendo úteis para o estudo de superfícies geomórficas”.

Com relação à utilização da técnica de Componentes Principais na identificação de correlações com a cobertura vegetal destacam-se os trabalhos de Watrin et al. (1996), Antunes (2012) e Montagna (2014).

Montagna (2014) no estudo “*Genética de paisagem de Ocotea catharinensis e Euterpe edulis na floresta ombrófila densa catarinense: subsídios para a conservação*” definiu como objetivo: “estabelecer relações entre características da paisagem atual e indicadores de diversidade genética histórica (adultos) e atual (regenerantes)”.

De acordo com o autor “os dados de genética e de paisagem de cada espécie e corte, foram ordenados, por meio da ACP, para a identificação de paisagens mais favoráveis à conservação de diversidade genética”.

Montagna (2014) destacou que, “as unidades de conservação avaliadas se mostraram eficientes em capturar a maior parte da variação encontrada para o conjunto das populações de indivíduos adultos de ambas as espécies”. Entretanto afirma ser necessário ter um aprofundamento maior das características das métricas empregadas e sua relação com as componentes geradas.

Antunes (2012) analisou a variação espaço-temporal de NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) com base em Análise de Séries Temporais, a partir de Componentes Principais, em área de aproveitamento hidroelétrico, em Porto Velho, Rondônia.

A metodologia utilizada por Antunes (2012) definiu as análises relativas as variações expressas nas três primeiras CP's da série temporal selecionada da seguinte forma:

- (a) com todas as imagens de satélite da série,
- (b) somente com as imagens do período seco e as imagens de período chuvoso

- (c) por cada ano da série temporal, que compreendeu o período de 10 anos (2002 a 2012).

O autor destaca que foram geradas séries temporais de NDVI através do software IDRISI 32, que permite a utilização da ferramenta de Análise de Séries Temporais (TSA). Desta forma, “os dados temporais foram representados através de um conjunto de dados numéricos produzidos para cada CP, mostrando a correlação (eixo y) entre a imagem componente e cada uma das imagens (eixo x)”.

Os resultados obtidos por Antunes (2012) mostram que “a primeira componente do conjunto (a) apresentou um percentual de representatividade de 85,83%, com valores de NDVI altos e homogêneos para a cobertura florestal”.

Desta forma, a interpretação foi de que este dado “indica significativa presença de biomassa, já que os valores altos se relacionam aos padrões encontrados em classes de vegetação”.

Antunes (2012) destacou ainda que na CP2 e CP3 de (a) (b) e (c) “a variação expressa permitiu identificar as áreas de queimadas e principalmente as etapas de transformação das áreas de florestas até os desmatamentos mais recentes”.

Pereira et. al (2010) trabalharam com ACP a partir de imagens do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), para obter os mapas de variabilidade espacial e temporal de áreas alagadas. Desta forma, “a partir de mapa de uso e cobertura da terra obtiveram-se amostras de diferentes usos na qual foram extraídos os dados de precipitação e de NDVI”.

Os autores destacaram que as CP's geradas “contribuíram para uma melhor distinção das áreas alagadas e na identificação das alterações no uso e ocupação da terra referente às áreas de agricultura e pecuária”.

Bernardi et al. (2001) no artigo “Monitoramento da dinâmica de paisagem através da análise por componentes principais (ACP) em imagens Landsat 5 TM” apresentaram “a metodologia e os resultados iniciais de uma pesquisa envolvendo dois métodos de ACP, para a avaliação da dinâmica da paisagem dos arredores de Lages (SC)”.

A metodologia teve como foco a utilização das três primeiras componentes principais de cada época, onde se realizou uma classificação supervisionada. Desta forma, com a integração das classificações realizou-se a extração das mudanças na área de estudo.

Os resultados obtidos por Bernardi et al. (2001) mostraram que “a primeira componente incorporou 82,18% da variação acumulada das 6 bandas”. Outro resultado importante foi a variação acumulada obtida nas três primeiras CP's, cuja representatividade foi de 98,48% “reduzindo assim a dimensionalidade dos dados”, como pode ser observado na figura 8.

Figura 8. Vista de parte da área de estudos, a) composição colorida RGB, TM5, TM4 e TM3; b) composição colorida RGB com as três primeiras componentes principais.

Fonte: Bernardi et al. (2001).

Watrin et al. (1996) estudaram a transformação por Componentes Principais e por decorrelação de bandas como ferramentas auxiliares na detecção de feições da cobertura vegetal e uso da terra, em uma área selecionada no Pará.

A técnica de ACP foi aplicada a partir da função Rotação Espectral, desta forma as três primeiras componentes de saída ou CP's, representando as novas bandas geradas, foram associadas respectivamente aos canais R, G e B para a formação da composição colorida.

De acordo com Watrin et al. (1996, p.438) a ACP “devido ao bom controle de campo, maximizou a extração de informação da composição colorida formada, pela presença de cores primárias e secundárias com significativo contraste entre si”.

Assim, uma das conclusões que Watrin et al. (1996, p.441) obtiveram com a pesquisa, refere-se ao produto gerado pela ACP, que apresentou “cores espectrais

puras e intensamente saturadas, facilitando a individualização das diferentes feições espectrais, e das classes de uso da terra espectralmente próximas”. Neste sentido, a variância apresentada pelas bandas selecionadas foi de 98,39% do total.

4.2.2 O Sensoriamento Remoto e sua interação com os diferentes alvos da Superfície Terrestre

A Radiação Eletromagnética (RE) representa um dos principais elementos para o desenvolvimento do Sensoriamento Remoto. Junto com a fonte, o sensor e o alvo, permitem a verificação de informações de objetos ou fenômenos da superfície terrestre, sem que haja contato direto entre eles (FLORENZANO, 2002).

Isto é possível através da detecção, registro e análise de fluxo de energia radiante, refletido ou emitido através de sensores, que são capazes de coletar dados dos objetos, tendo como objetivo a caracterização das propriedades dos alvos naturais e dos quais se deseja estudar (LILLESAND; KIEFER, 1987).

Novo (1989) destaca que para ocorrer esta coleta de dados “é necessária a ocorrência de interações entre a radiação e os objetos da superfície terrestre e a produção de radiação que retorna ao sensor após propagar-se pela atmosfera”.

Desta forma, esta interação entre a RE e os alvos na superfície terrestre (Figura 9) possibilita o monitoramento, a verificação de processos de interação destes alvos, além da extração de diversas informações que contribuem para o estudo dos diferentes recursos naturais, como os solos, a vegetação, o uso e ocupação da terra, a água e as rochas, entre outros.

Neste sentido, a análise relacionada nesta pesquisa tem como foco a interação entre os componentes do meio físico, vegetação, relevo, solos, litologia e o uso e ocupação da terra. Sendo assim, torna-se importante uma exposição técnica/conceitual da aplicabilidade da interação entre os elementos da paisagem e a radiação eletromagnética, advinda do Sensoriamento Remoto.

Neste sentido, como destaca Meneses (2012): nas imagens de SR a interação macroscópica é a resposta da intensidade com que um objeto reflete a radiação eletromagnética em razão do tamanho da onda e a textura da superfície do objeto.

Figura 9. Curvas de reflectância de alguns alvos.

Fonte: Adaptado de Lillesand e Kiefer (1987).

Meneses (2012) considera ainda que esta interação pode ser estimada pelas variações verticais de altura da superfície de um material. Desta forma, o autor considera que se torna útil na explicação das diferenças observadas nas imagens entre as diversas formas de relevo, os tipos de dosséis da vegetação, ou da superfície lisa de um corpo d'água.

4.2.3 Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da Vegetação

Diversos são os estudos que objetivam explicar o funcionamento e o comportamento da vegetação nas imagens de satélites e nos sensores que captam a informação e a processam através de dados e parâmetros fundamentais para a identificação espectral da cobertura vegetal. Desta forma, a interação existente entre a vegetação e os sensores remotos é uma das mais estudadas.

Ponzoni e Shimabukuro (2009, p.8) destacam a principal motivação dos estudos em vegetação envolvendo a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto:

“Fundamenta-se na compreensão da “aparência” que uma dada cobertura vegetal assume em um determinado produto de Sensoriamento Remoto, a qual é fruto de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais. Há de se considerar

que um dossel é constituído por muitos elementos da própria vegetação, como folhas, galhos, frutos, etc. Um fluxo de radiação incidente sobre qualquer um destes elementos estará sujeito a dois processos: espalhamento e absorção. O processo de espalhamento, por sua vez, pode ser dividido em dois sub-processos: reflexão e transmissão através do elemento”.

Destaca-se que a composição química das folhas, a fisiologia vegetal, a umidade, e os tipos fisionômicos dos dosséis são os que possuem maior influência na relação entre a radiação eletromagnética e a vegetação (PONZONI, 2001).

Ponzoni e Shimabukuro (2009) destacam que “a folha é o principal elemento constituinte da vegetação e o seu comportamento espectral é função de sua composição, morfologia e estrutura interna”.

A curva de reflectância característica de uma folha verde sadia é mostrada na figura 10.

Figura 10. Curva de reflectância de uma folha verde sadia.
Fonte: Novo (1989).

Willstatter e Stoll (1918) apud Ponzoni (2002, p.8) descreveram que, “as possíveis trajetórias da REM dentro de uma folha, onde uma pequena quantidade de luz é refletida das células da camada superficial”. Após, ocorre a “transmissão com as incidências dos raios”, como explicam os autores:

“A maior parte é transmitida para o mesófilo esponjoso, onde os raios incidem frequentemente nas paredes celulares, sendo refletidos se os ângulos de incidência forem suficientemente grandes. Esta reflexão múltipla é essencialmente um processo aleatório no qual os raios mudam de direção dentro da folha. Dado o grande número de paredes celulares dentro da folha, alguns raios são refletidos de volta, enquanto outros são transmitidos através da folha”.

Ponzoni (2002) considera também que “a espessura da folha é fator importante no caminho da REM, pois, a transmitância é maior do que a reflectância para folhas finas, mas o inverso acontece com folhas grossas”. Neste sentido, cabe destacar a representação de uma folha mostrando os possíveis caminhos da REM (Figura 11).

Figura 11. Seção transversal de uma folha mostrando os possíveis caminhos da luz incidente.

Fonte: Gates et al. (1965) apud Ponzoni (2002).

Outra característica importante se refere a reflectância. Neste sentido Ponzoni (2002) descreve que “um dossel vegetal apresenta valores de reflectância relativamente baixos na região do visível”. Este fato, de acordo com o autor “advém da ação dos pigmentos fotossintetizantes que absorvem a radiação eletromagnética

para a realização da fotossíntese”.

Desta forma, a partir da coloração obtida nas imagens é possível a observação da ação destes pigmentos, conforme descreve Ponzoni (2002, p.15):

“Isto é evidenciado pela tonalidade escura nas imagens obtidas nesta região. Nas imagens da região do infravermelho próximo verifica-se que estes valores apresentam-se elevados devido ao espalhamento interno sofrido pela Radiação eletromagnética em função da disposição da estrutura morfológica da folha, aliado ainda ao espalhamento múltiplo entre as diferentes camadas de folhas. Finalmente, no infravermelho médio tem-se uma nova queda destes valores, devido a presença de água no interior da folha”.

A partir destas informações fica perceptível a importância da interação entre a vegetação e a radiação eletromagnética. Para os estudos que envolvem a relação entre outros alvos, como a litologia e os solos, além do relevo, de determinadas áreas, é fundamental o conhecimento do processo de interação entre eles.

Uma vez que a complexidade do estudo da vegetação, principalmente a identificação de sua fisionomia em imagens de satélites coloca a maioria das classificações digitais com níveis de precisão baixos. Desta forma, quanto mais detalhadamente o processo é conhecido torna-se mais fácil estabelecer as relações entre os componentes do meio físico.

4.2.4 Sensoriamento remoto aplicado ao levantamento de solos

Streck et al. (2002) define solo como “um recurso natural, lentamente renovável, encontrado em diferentes posições na paisagem, formado pela ação do clima e dos organismos vivos agindo sobre o material de origem”. Neste sentido, destaca-se a ação antrópica que atua na modificação do solo.

Os autores descrevem ainda que “além de ser um meio insubstituível para a agricultura, é também um componente vital do agroecossistema no qual ocorrem processos e ciclos de transformações físicas, biológicas e químicas”.

Com base no *Soil taxonomy* (1975) e do *Soil survey manual* (1984), a EMBRAPA (1995) destaca as características inerentes ao solo:

- Em sua parte superior, limita-se com o ar atmosférico ou águas rasas. Lateralmente, limita-se gradualmente com rocha consolidada ou parcialmente desintegrada, água profunda ou gelo.
- O limite inferior é talvez o mais difícil de definir. Mas, o que é reconhecido como solo deve excluir o material que mostre pouco efeito das interações de clima, organismos, material originário e relevo, através do tempo.

É atribuído ao solo diversas características que se constituem em ganho ambiental, como a melhoria da qualidade da água, através da função filtro exercida pelo solo (STRECK et al, 2002).

Neste contexto, reconhecendo todas as propriedades inerentes a formação e desenvolvimento do solo, destaca-se que este elemento constituinte do meio físico permite seu estudo a partir das técnicas e métodos científicos criados para uma análise mais completa a respeito de sua relação com outros elementos da paisagem.

A partir destas considerações destaca-se a utilização do Sensoriamento Remoto como ferramenta de análise e interpretação das características do solo. Reichert et al. (2009) destaca diversas finalidades da exploração do solo pelo SR:

- nos levantamentos de solos em diferentes escalas;
- na determinação do potencial e dos conflitos de uso da terra;
- na caracterização de amostras de solos, sempre facilitando os processos de obtenção de dados necessários a essas atividades, através da redução dos custos e tempo empregados nas mesmas.

Entretanto, Santos et al. (2005) consideram que, a natureza dos produtos orbitais hoje disponíveis, é incompatível para as reais necessidades ao se realizar um mapeamento de solos, no sentido mais convencional.

Os autores destacam que esta incompatibilidade se deve a incapacidade dos produtos de sensoriamento remoto de captar a natureza tridimensional que é inerente a este elemento natural.

Muitos pesquisadores destacam a limitação existente quando se realiza a interpretação do solo em fotografias aéreas e imagens de satélites, pois, muitas

vezes os sensores não registram informações importantes que são fundamentais para a caracterização das classes de solos.

Irons et al. (1989) e Barret e Curtis (1992) apud Santos et al. (2005), sobre esta questão, refletem que, apesar das técnicas de sensoriamento remoto não poderem captar as características dos perfis dos solos, muitos dos seus parâmetros podem ser detectados através dela.

Neste sentido, Moreira (2002) destaca que o comportamento espectral dos solos é também dominado pelas bandas de absorção de seus constituintes. O autor afirma que “as combinações e arranjos dos materiais constituintes dos solos é que define o seu comportamento espectral” e descreve os principais fatores que influenciam esse comportamento:

- a constituição mineral,
- a matéria orgânica,
- a umidade
- a granulometria (textura e estrutura).

4.2.5 Sensoriamento Remoto no estudo da Litologia

De acordo com Moreira (2002), o mapeamento geológico parte do princípio que diferentes tipos de rochas, ou seus derivados do intemperismo, possuem comportamentos espectrais próprios.

O autor descreve alguns exemplos da aplicabilidade do sensoriamento remoto para o estudo da litologia. Destaca por exemplo que, os principais minerais de rochas ígneas possuem curvas de reflectâncias lisas, que possibilitam apenas a diferenciação entre félsicos e máficos.

Neste sentido, sabe-se que a radiação eletromagnética e sua relação com as rochas possibilitam diversas análises, que aliadas a técnicas de sensoriamento remoto e aos softwares existentes para o processamento das informações geradas pelos sensores, aumentam o nível de precisão das pesquisas.

Moreira (2002) dá ênfase a reflectância identificada nas rochas:

“decrece dos termos ácidos (pegmatitos e granitos) para os básicos e ultrabásicos. Entre as rochas parcialmente alteradas nota-se comportamento semelhante, apenas com um aumento relativo dos valores de reflectância. Em rochas totalmente alteradas considera-se o comportamento dos solos derivados”.

Sobre esta questão Pedrosa et al. (2010, p.593) definem que, a interpretação de imagens de sensores remotos “fundamenta-se, basicamente, na análise do comportamento da reflectância espectral dos materiais no intervalo de comprimento de onda do visível ao infravermelho de ondas curtas (400 a 2500 nm)”.

A realização da análise da reflectância citada anteriormente é realizada através da espectrorradiometria de reflectância. Pedrosa et al. (2010, p.593) descrevem esta técnica:

“é uma técnica que tem a função de medir em diferentes comprimentos de onda a energia eletromagnética refletida da superfície dos materiais e representá-la na forma de um gráfico que se denomina de curva de reflectância espectral. O poder analítico desta técnica é que a informação espectral se correlaciona diretamente com a composição química e a estrutura cristalina dos minerais, e deste modo é indicativa para se determinar a composição mineralógica de uma rocha”.

Ainda sobre a interação eletromagnética Meneses, (2012) destaca como é realizada a discriminação ou a diferenciação nas imagens de sensoriamento remoto um objeto do outro. Destaca que “deve-se ter imagens nos comprimentos de onda de alta energia, que possam interagir com os minerais constituintes”.

Desta forma, o autor descreve como exemplo, a absorção em alguns tipos de rochas, neste caso, calcários e xistos, afirmando que “absorvem com intensidades diferentes, radiações eletromagnéticas de diferentes comprimentos de onda devido aos diferentes valores dos níveis de energia que apresentam as moléculas de CO_3 e os átomos de Fe”, como pode ser observado na figura 12.

Meneses (2012) aconselha também que, além de verificar as diferenças entre rochas, a partir de suas texturas (formas de relevo): devem-se ter imagens nos grandes comprimentos de onda, onde a textura da superfície das rochas é que comanda as intensidades de reflectância.

Figura 12. Absorção de radiações eletromagnéticas através de rochas.
Fonte: Meneses (2012).

Neste contexto, todas estas informações nos mostram a possibilidade do estudo das litologias a partir do sensoriamento remoto. Neste caso, a interação entre o comportamento espectral destes alvos gera informações que podem identificar determinada relação entre as rochas e outros componentes do meio físico, principalmente os solos e o relevo.

Assim, torna-se fundamental a inserção de geotecnologias para a identificação e discriminação destas e de outras características das rochas, no sentido de interpretar as possíveis relações entre elas e a paisagem que a compõe. Desta forma, os sensores remotos propiciam esta identificação em diferentes resoluções.

Sobre a perspectiva do mapeamento geomorfológico Camargo et al. (2009, p. 82 destaca o Sensoriamento Remoto “como sendo uma das principais fontes de dados para as atividades destes mapeamentos”.

Os autores consideram que, muitos dos novos sensores existentes, “aerotransportados e orbitais, adquire dados (monoscópicos e estereoscópicos) de variadas resoluções espaciais nas faixas espectrais do visível, do infravermelho e de micro-ondas”.

Nesta perspectiva, as informações geradas pelo sensoriamento remoto fornecerão indícios da relação entre a litologia e os outros elementos que compõem a paisagem na bacia hidrográfica do rio Botucaraí, com a utilização de técnicas específicas (ACP) para cumprir com este objetivo.

5 PROCEDIMENTOS E SUPORTE TÉCNICO DA PESQUISA

Este capítulo apresenta os procedimentos técnicos e metodológicos empregados para o desenvolvimento da pesquisa e para que os objetivos propostos fossem alcançados. Neste sentido, destacam-se as etapas necessárias à investigação das relações entre os componentes da paisagem e a contribuição da técnica de Análise por Componentes Principais (ACP) para a interpretação destas conexões.

Na sequência segue as etapas que deram suporte a realização da pesquisa, envolvendo a caracterização da área de estudo e os conceitos aplicados para a investigação do tema central. Os instrumentos e as técnicas utilizadas também foram explicitados.

5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi realizada abordando os temas referentes aos objetivos, à temática de estudo, à aplicação metodológica e aos principais resultados encontrados na bacia hidrográfica do rio Botucaraí. Desta forma, foram consultados artigos, livros, publicações técnicas, mapas e cartas e outros materiais cartográficos que permitiram a caracterização e conceituação dos seguintes itens:

- Análise integrada da paisagem;
- Componentes da paisagem: Relevo, Solos, Vegetação, Litologia, Clima e Uso e Cobertura da Terra;
- Técnicas de Sensoriamento aplicadas ao estudo da paisagem: Componentes Principais;
- Sensoriamento Remoto e sua interação com os Componentes da Paisagem: Solos, Relevo, Vegetação, Litologia e Uso e Cobertura da Terra;
- Sistemas em Bacias Hidrográficas;
- Fisionomia e Fisiologia das paisagens naturais.

Os itens abordados contribuíram para o desenvolvimento dos objetivos, pois, auxiliaram na compreensão destes temas, imprescindíveis para o entendimento da relação e/ou interconexão dos componentes da paisagem.

5.2 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITES

Utilizou-se dois tipos de imagens de satélites para a operacionalização das técnicas aplicadas na pesquisa, caracterização da área de estudo e a geração dos produtos cartográficos que se tornaram imprescindíveis para o estudo da relação entre os componentes da paisagem:

- Imagens do sensor TM8 Landsat;
- Imagens de alta resolução espacial Rapid Eye.

5.2.1 Imagens do sensor Landsat 8/OLI

As imagens Landsat 8 do sensor espectral OLI (Operation Land Imager) foram utilizadas para a classificação do uso e cobertura da terra, para aplicação da Técnica de Análise por Componentes Principais (ACP) e para gerar o mapa de localização da área de estudo.

As imagens Landsat 8/OLI foram adquiridas no site do U.S. Geological Survey (USGS) (<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>).

Outra etapa consistiu no recorte da imagem a fim de abranger a área de estudo desta pesquisa, a bacia hidrográfica do Rio Botucaraí. O recorte foi realizado no software ArcGis 10.3. Destaca-se que o satélite Landsat-8 entrou em operação no ano de 2013, desta forma, o acervo só possui imagens a partir do segundo semestre do referido ano.

A seguir apresenta-se o recorte da imagem do sensor Landsat 8/OLI, com o recorte, nos limites da bacia hidrográfica do rio Botucaraí (Figura 13).

Figura 13. Recorte da imagem de satélite Landsat 8/OLI, Bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

Com relação a resolução espacial destaca-se uma informação importante de acordo com a USGS: é possível chegar a resolução espacial fina de 15 metros, caso haja a fusão da banda pancromática, também de 15 metros, com outras bandas multiespectrais (coloridas) de 30 metros. Neste caso, este procedimento permitirá uma melhor identificação dos alvos mapeados na imagem de satélite.

A resolução radiométrica das imagens Landsat-8 são de 16 Bits e a resolução temporal é de 16 dias, referente ao período de revisita do Landsat-8. A tabela 1 apresenta as características espectrais dos instrumentos imageadores das bandas do satélite.

Tabela 1. Informações das imagens Landsat 8.

Landsat-8 Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 1 – Coastal aerosol	0.43 – 0.45	30
Band 2 – Blue	0.45 – 0.51	30
Band 3 – Green	0.53 – 0.59	30
Band 4 – Red	0.64 – 0.67	30
Band 5 – Near Infrared (NIR)	0.85 – 0.88	30
Band 6 – SWIR 1	1.57 – 1.65	30
Band 7 – SWIR 2	2.11 – 2.29	30
Band 8 – Panchromatic	0.50 – 0.68	15
Band 9 – Cirrus	1.36 – 1.38	30
Band 10 – Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 – 11.19	100
Band 11 – Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 – 12.51	100

Fonte.: <https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites>

A National Aeronautics and Space Administration (NASA) e o United States Geological Survey (USGS), desenvolveram o sensor Operational Land Imager (OLI) a bordo do satélite Landsat-8. O lançamento ocorreu em 11 de fevereiro de 2013,

operando em 9 bandas espectrais com revisita de 16 dias, possibilitando a utilização de dados multiespectrais ópticos. Destaca-se que é possível comparar as informações com os satélites Landsat antecessores, ou seja, desde 1972 (ROY et al., 2014 apud RODRIGUES et al., 2016).

5.2.2 Imagens de alta resolução espacial– RapidEye

A utilização das imagens RapidEye teve como objetivo, verificar e analisar alguns aspectos relevantes identificados no mapeamento de uso e cobertura da terra, através de “zoom” em pontos específicos da bacia hidrográfica em estudo (Figura 14).

Figura 14. Imagem RapidEye, zoom da área de estudo (médio curso da bacia) - escala 1:25000.

Fonte: Geo Catálogo - Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Desta forma, foram adquiridas 12 imagens através do *Geo Catálogo*, disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), que permite o acesso à cobertura de imagens RapidEye de todo o território do Brasil.

Esta plataforma foi acessada através do aplicativo web, no site do ministério, que apresenta todas as informações necessárias (Quadro 3) incluindo seus metadados para que as mesmas, possam ser adequadamente utilizadas pelos diferentes usuários em suas aplicações.

Quadro 3. Especificações Técnicas Básicas das imagens de satélite RapidEye.

	Especificações Técnicas Básicas
Informações de lançamento	Data: 29/08/2008
Local de lançamento	Base aérea de Baikonur, Cazaquistão
Órbita	Altitude: 630 km
Tipo	Heliossíncrona, 11:00 am
Bandas do sensor	Vermelha, Azul, Verde, Infravermelho próximo e Borda vermelha
Resolução espacial	5 m
Resolução Radiométrica	12 bits por pixels
Comprimento da faixa	77 km no nadir
Ângulo máximo de visada	+/- 65° off-nadir
Capacidade de coleta	4 milhões km ² por dia
Resolução temporal	Diária - 30° off nadir
Acurácia posicional	Acurácia especificada de 50 m CE90% no nadir excluindo efeitos de terreno

De acordo com Felix et al., (2009, p.7619) “a componente espacial do sistema RapidEye é formada por uma constelação de cinco satélites de Sensoriamento Remoto, idênticos e posicionados em órbita síncrona com o Sol, com igual espaçamento entre cada satélite”.

5.3 GERAÇÃO DE MAPAS E PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

5.3.1 Mapas Temáticos

Foram utilizadas bases cartográficas disponibilizadas por diversos órgãos governamentais, de agências ambientais, universidades, centros de pesquisas, entre outros, que serão a seguir devidamente referenciados.

Os mapas e cartas temáticos gerados para o desenvolvimento da pesquisa estão descritos nos itens a seguir. A escala de trabalho adotada é a de 1:10000.

5.3.1.1 Mapa de localização da Área de Estudo

O mapa de localização da área de estudo compreende a delimitação da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, apresentando sua rede hidrográfica completa e limites municipais por onde a bacia se insere. A delimitação também identifica a área de estudo no contexto do estado do Rio Grande do Sul e sua localização no território brasileiro.

Para gerar este mapa foram utilizadas as bases cartográficas disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000 por Hasenack, H.; Weber, E.(org.).

5.3.1.2 Hipsometria

A hipsometria da bacia hidrográfica do rio Botucaraí foi gerada a partir das curvas de nível disponibilizadas a partir da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000 por Hasenack, H.; Weber, E.(org.).

Para este mapa foi definido intervalo entre curvas de nível que permitiram a identificação da diferença altimétrica entre as formas de relevo presentes na Depressão central, Planalto Meridional e a Depressão central que compõem os patamares dos quais, a área de estudo faz parte. Neste sentido, foram definidas 10 classes hipsométricas:

- 1) 500,0 metros a 600,0 metros.
- 2) 400,0 metros a 500,0 metros;
- 3) 300,0 metros a 400,0 metros;
- 4) 180,0 metros a 300,0 metros;
- 5) 120,0 metros a 180,0 metros;
- 6) 80,0 metros a 120,0 metros;
- 7) 60,0 metros a 80,0 metros;
- 8) 40,0 metros a 60,0 metros;
- 9) 20,0 metros a 40,0 metros;
- 10) 00,0 metros a 20,0 metros.

5.3.1.3 Declividades

A definição das classes de declividades também seguiu a identificação das diferenças entre os patamares presentes na área de estudo. A base utilizada foi a mesma das classes hipsométricas (Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000 por Hasenack, H.; Weber, E.(org.).

Neste sentido, para elaboração do mapa Clinográfico foram utilizadas as seguintes classes de declividades propostas por Ross (2012) (Quadro 4).

Quadro 4. Classes de declividades propostas por Ross (2012).

Fragilities classes by the variable declivities of the slopes	
1-Very weak	zero to 2% - plans and high reliefs, or 1º (degree)
2-Weak	3% to 15% or 8º
3-Medium	16% to 30% or 17º
4-Strong	31% to 50% or 25º
5-Very strong	50% or above 25º
5-Very strong	2% or lesser 1º - relief from the flood plains.

Ross (2012) esclarece que a variável relevo nas análises em escalas de maior detalhe, como 1: 25.000, 1: 10.000, 1: 5.000 e 1: 2000, requer a utilização de intervalos de classes já consagrados nos estudos de Capacidade de Uso/Aptidão Agrícola”. Desta forma, esses intervalos associam-se “com aqueles conhecidos como valores limites críticos da geotecnia, indicativos respectivamente do vigor dos processos erosivos, dos riscos de escorregamentos/deslizamentos e inundações frequentes.

As etapas para a elaboração do mapa de declividades seguiram as rotinas do software ArcGis 10.1®. Na extensão ArcMap foi realizado o modelo digital de elevação. Com as informações tridimensionais da área de estudo, foi possível a criação do mapa de declividade, gerado nesta etapa, através da ferramenta *surface analyst, slope, output: percent rise (%)*.

5.3.1.4 Litologias

O mapa das litologias presentes na área de estudo teve como base a classificação proposta pela Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (CPRM), Serviço Geológico do Brasil. O mapeamento foi disponibilizado na escala 1:750.000 e foi realizado para todo o território do Estado do Rio Grande do Sul. Neste sentido foi realizada a delimitação que compreendeu os limites da Bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

O recorte considerou as seguintes litologias:

- **Q4a** – Depósitos Aluviais (areia grossa a fina, cascalho e sedimento siltico-argiloso);
- **T1sc** – Formação Sanga do Cabral (conglomerado intraformacional, siltito e raro argilito);
- **T23sm** – Formação Santa Maria (Arenito conglomerático);
- **T3c** – Formação Caturrita (arenito, conglomerado, siltito arenoso, argilitos e folhelho);
- **K1α cx** – Fácies Caxias (riodacitos a riolitos);
- **K1 β Gr** – Fácies Gramado (basaltos);
- **J3 k1 bt** – Formação Botucatu (arenitos).

5.3.1.5 Cobertura Vegetal

O mapa da Cobertura vegetal foi gerado a partir da classificação proposta pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que reconstitui a situação da vegetação no território brasileiro e tem origem nas cartas-imagens de radar produzidas pelo Projeto RADAMBRASIL, na escala 1:250.000, sendo obtido do IBGE (1992).

Desta forma, foi realizada a delimitação da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, para a classificação dos tipos vegetacionais da área de estudo. Por esta classificação a vegetação característica da área de estudo compreende as seguintes classes:

- Floresta Estacional Decidual Montana;
- Floresta Estacional Decidual Montana Sub-Montana;
- Floresta Estacional Decidual Montana Aluvial;
- Contato Savana-Estepe.

5.3.1.6 Solos

Os solos da área de estudo foram apresentados a partir de duas classificações: primeiramente de forma geral, abrangendo uma escala com menor detalhamento e com um nível maior de detalhes, o que permitiu uma análise mais precisa, considerando os objetivos de realizar uma verificação da relação existente entre os elementos da paisagem.

Neste sentido, foram gerados, dois mapas. O primeiro considerou a classificação proposta pelo IBGE (2001), com a identificação de três tipos de solo na bacia hidrográfica do rio Botucaraí. As classes identificadas foram as seguintes:

- I - Argissolo vermelho distrófico;
- II - Os Neossolos Litólicos;
- III - Planossolo Háptico.

A outra classificação, da qual gerou-se um mapa mais específico e consequentemente com maior ampliação, gerando um maior número de classes, foi a parti de Streck et al (2002). Nesta classificação os autores destacaram a diversidade geológica, climática e de relevo no Estado do Rio Grande do Sul, originando uma grande variedade de tipos de solos. Devido a este fato as variações a curta distância decorrem dos efeitos:

- a) do relevo condicionando os fluxos de água superficial (efeito erosivo) e subsuperficial (lixiviação, drenagem e oxirredução);
- b) da ação humana através do manejo.

Desta forma, os tipos de solos identificadas na área de estudo são as seguintes:

- Alissolo Hipocrômico Argilúvico típico;
- Chernossolo Argilúvico Férrico típico;
- Chernossolo Argilúvico Órtico saprolítico;
- Argilossolo Vermelho-Amarelo Alumínico Alissólico;

- Argilossolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico;
- Argilossolo Vermelho Distrófico Latossólico;
- Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico.

5.3.1.7 Mapa Geomorfológico

O mapa das unidades geomorfológicas foi gerado a partir da classificação proposta pelo IBGE (2013). Assim, foi realizado o mapeamento que compreendeu os limites da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

De acordo com Casseti (2005), a partir das recomendações da Sub-Comissão de Cartas Geomorfológicas da UGI (União Geográfica Internacional) citada por (TRICART, 1977), a carta geomorfológica de detalhe, em escala grande, deve comportar quatro tipos de dados: morfométricos, morfográficos, morfogenéticos e cronológicos:

a) **Morfométricos:** correspondem às informações métricas importantes, apoiadas em cartas topográficas ou outras formas de levantamento. Geralmente as informações métricas são intrínsecas aos sinais ou símbolos para a representação das formas do relevo, a exemplo de extensão de terraços ou escarpas erosivas, declividade de vertentes, dentre outras.

Para se evitar a sobrecarga de informações na carta geomorfológica, dificultando sua leitura, os dados morfométricos, como a declividade das vertentes, a hierarquização da rede hidrográfica, dentre outros, podem ser apresentados à parte, em uma representação cartográfica específica;

b) **Morfográficos:** correspondem a formas de relevo resultantes do processo evolutivo, sendo sintetizadas como formas de agração e de degradação. Como formas de degradação destacam-se as formas de erosão diferencial, as escarpas de falha ou erosivas, ravinas e boçorocas. Como formas de agração destacam-se

depósitos aluviais em planícies de inundação, concentração de colúvios pedogenizados ou pedimentos detríticos inumados.

c) **Morfoгенéticos**: referem-se aos processos responsáveis pela elaboração das formas representadas. Assim, na representação cartográfica do relevo, as diversas formas devem figurar de tal maneira que sua origem ou sua gênese sejam diretamente inteligíveis.

Como exemplo, as superfícies erosivas associadas a processo de aplainamento devem conter referências ao processo de pediplanação, identificando a gênese ligada ao recuo paralelo de vertentes em condição climática seca, podendo incorporar referenciais de natureza cronológica, associados ao período de formação, adicionando termos como “de cimeira” (mais antigo) ou “intermontanas” (mais recente).

d) **Cronológicos**: correspondem ao período de formação ou elaboração de formas ou feições. A representação cronológica pode ser expressa através de cores, que mesmo que adotadas com outro sentido, podem oferecer subsídios dessa natureza.

Exemplo são os mapas geomorfológicos ao milionésimo do Projeto Radambrasil, onde a cor representa os relevos conservados e as tonalidades os relevos dissecados. Partindo desse princípio, as formas estruturais e as formas erosivas, associadas a “relevos conservados”, encontram-se relacionadas a processos morfoгенéticos ou morfoclimáticos bem mais antigo em relação aos modelados pós-pliocênicos referentes aos “relevos dissecados”. As tonalidades adotadas para deposições de materiais, como os terraços e planícies, que podem ocorrer.

Neste contexto, Ross e Moroz (1997) consideram que, o primeiro fato de suma importância é ter-se claro que o relevo é apenas um dos componentes da litosfera e que está intrinsecamente relacionado com as rochas que o sustenta e com os solos que o recobre.

Desta forma, destacam que “é também de absoluta importância, ter-se como noção básica que as formas diferenciadas do relevo decorrem, da atuação

simultânea e desigual das atividades climáticas de um lado e da estrutura da litosfera de outro”, tendo a noção que o clima e a estrutura não possuem o mesmo comportamento e se modificam ao longo do tempo.

Neste contexto, é imprescindível a utilização de metodologias que visam a identificação dos ambientes produzindo diagnósticos mais eficientes, como o conceito de taxonomia das formas do relevo, segundo propõe Ross (1992). Esta classificação taxonômica do relevo foi fruto de experiências concretas em estudos ambientais e na caracterização de diversas paisagens do território brasileiro. Pode-se dizer que não havia uma padronização para se estabelecer uma hierarquização quando se estuda o relevo.

Ross (1992) se apoiou em estudos precursores para desenvolver esta metodologia, que hierarquiza o estudo do relevo. Esta classificação se baseia nos conceitos de morfoestrutura e morfoescultura, desenvolvidos por Guerasimov (1946) e Mecerjacov (1968).

Os referidos autores utilizaram o princípio teórico dos processos endógenos e exógenos como geradores das formas grandes, médias e pequenas do relevo. A classificação taxonômica é apresentada da seguinte forma (Figura 15):

Na taxonomia estabelecida por Ross (1992), as formas são classificadas de acordo com o grau de detalhamento em que se analisa o relevo:

- 1º Táxon: Unidades morfoestruturais (bacias sedimentares, cinturões orogênicos, etc);
- 2º Táxon: Unidades morfoesculturais (planaltos, serras, depressões);
- 3º Táxon: Unidades morfológicas ou padrões de formas semelhantes ou tipos de relevo;
- 4º Táxon: Corresponde a cada das formas de relevo
- 5º Táxon: Corresponde aos setores de cada das formas de relevo
- 6º Táxon: Correspondem as formas menores produzidas pelos processos atuais.

Figura 15. Unidades taxonômicas propostas por Ross (1992).

Ross (1992) descreve a caracterização de cada um dos táxons. A morfoestrutura refere-se às “zonas de maiores extensões superficiais, onde podem ser identificados, por exemplo, áreas de Escudos Antigos ou mesmo Bacias Sedimentares. Destacam que, nestas grandes áreas estão contidos os aspectos morfoesculturais, estes por sua vez são compartimentos gerados pela ação climática em escala geológica”.

Já o terceiro táxon Ross (1992), destaca as pequenas manchas de formas, fisionomicamente semelhantes, sendo qualificadas pela rugosidade topográfica ou pela intensidade de dissecação do relevo. O autor chama a atenção que, estas formas podem ser diferenciadas segundo sua natureza genética, sendo formas agradacionais, ou de acumulação, ou formas denudacionais, ou de erosão.

O quarto táxon diz respeito a cada uma das formas de relevo contidas nas Unidades Morfológicas ou de Padrões de Formas Semelhantes que, observadas em escala de detalhe, demonstram aspectos fisionômicos próprios a cada forma (Ross, 1992).

Para o quinto táxon Ross (1992) refere-se à representação dos tipos de vertentes que se encontram nas formas de relevo. As vertentes foram classificadas como: côncavo, convexos, retilíneos, aguçados, planos e abruptos. E por fim o sexto táxon faz referência às formas de relevo geradas ao longo da vertente por processos geomórficos atuais, podendo o homem estar incluso em algum momento neste processo. Neste podemos citar como exemplos as ravinas, voçorocas, assoreamentos, dentre outros.

5.4 CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA

O método utilizado para a identificação do uso e cobertura da terra na área em estudo foi a classificação supervisionada Máxima Verossimilhança, disponibilizado a partir do Software de Geoprocessamento ENVI 4.5. Neste método, de acordo com SULSOFT (2003) assume-se que as estatísticas para cada classe em cada banda seguem padrão de distribuição normal, sendo possível desta forma, calcular a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica. Neste caso, cada pixel é designado a uma classe que tenha a mais alta probabilidade (por isso, máxima verossimilhança).

O processo de classificação multiespectral consiste em atribuir cada pixel de uma imagem a uma classe de um grupo de classes. Essa atribuição é feita com base em observações no pixel em si e na sua vizinhança e com base numa série de regras.

Os pontos básicos que surgem dessa definição, de acordo com Crosta (1992) são:

- Primeiro: assume-se que um conjunto de classes foi previamente determinado antes de se iniciar a classificação. Classes essas, cujas propriedades são bem conhecidas.

- Segundo: assume-se que qualquer pixel na imagem pertence necessariamente a uma dessas classes.
- Terceiro: as classes podem ser definidas usando algumas propriedades observáveis da cena e não apenas valores de reflectância.

Considerando estas observações foram encontrados e classificados cinco usos na bacia hidrográfica do rio Botucaraí. As classes são as seguintes:

- Classe 3. **Floresta Estacional Decidua** (Representada pela cor verde forte);
- Classe 4. **Mata Galeria** (Representada pela cor verde-claro);
- Classe 1. **Campos Naturais** (Representado pela cor amarela);
- Classe 2. **Terras com Uso Agrícola** (Representado no mapa através da cor marrom);
- Classe 5. **Água** (Representado pela cor azul-claro).

A tabela 2 apresenta as características de cada uma das classes representadas no mapa de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

Tabela 2. Características das classes de uso e cobertura da terra.

Classe de Uso	Características
Floresta Estacional Decidua	A classificação da estacionalidade das florestas na região Subtropical está ligada ao percentual de árvores dominantes, que perdem as folhas no período de inverno, com temperatura média mensal inferior a 15°C. Na área de estudo, localiza-se nas porções mais elevadas e nas áreas do rebordo do planalto.
Mata Galeria	Composta pela vegetação que se situa nas margens dos cursos d'água e nas áreas com alguma presença de água. Na área de estudo acompanha grande parte da rede de drenagem do rio Botucaraí e seus afluentes.
Campos Naturais	Constituído por vegetação herbácea, rasteira, principalmente gramíneas.
Terras com Uso Agrícola	Áreas onde as terras foram removidas ou foram preparadas para o cultivo de culturas agrícolas.
Água	Rede hidrográfica do rio Botucaraí e seus afluentes.

5.5 SOFTWARES UTILIZADOS

Para gerar os produtos cartográficos, realizar o pré e pós-processamento das imagens de satélites, gerenciar bancos de dados e informações estatísticas foi necessária a utilização de programas de geoprocessamento, softwares, que de acordo com a função previamente estabelecida tem um tipo específico de utilidade. Nesta pesquisa utilizaram-se dois tipos de softwares:

- **Envi 4.7:** para gerar a classificação de uso e cobertura da terra e gerar as imagens a partir das Técnicas de Análise por Componentes Principais (ACP).

A figura 16 mostra um mosaico com a geração das imagens referentes à classificação de uso e cobertura da terra e imagens que representam a composição a partir da técnica de análise por componentes principais na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

- **ArcGis:** Foi utilizado na complementação da classificação de Uso e cobertura da terra e para a análise dos resultados referentes a técnica de Análise por Componentes Principais (ACP), além da geração dos mapas temáticos: Localização, relevo, solos, vegetação e litologia.

Figura 16. Amostra da obtenção das amostras para a classificação do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

5.6 IMAGENS DA ANÁLISE POR COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

Os mapas gerados com a utilização da técnica de Componentes Principais serviram para analisar os resultados conjuntamente com os processos de interação dos componentes da paisagem evidenciados durante as outras etapas da pesquisa.

A primeira Componente Principal (CP1) representa a característica mais comum, ou típica, dos fenômenos da área em estudo. As CP's seguintes apresentam a redução da variabilidade dos dados. A segunda Principal Componente (CP2) representa a máxima proporção da variabilidade que não foi explicada na CP1, e é resultante da combinação linear ponderada das variáveis originais não correlacionadas com a CP1. Desta forma, cada CP subsequente contém gradativamente menos da proporção da variabilidade restante.

O procedimento utilizado para gerar as Componentes Principais seguiu a rotina do *Software* ENVI 4.7. Desta forma adotou-se a seguinte ordem:

- Iniciou-se acessando o caminho: Transform>Principal Components> Forward CP Rotation> Compute New Statistics and Rotate;
- A Imagem do sensor Landsat 8/OLI (recortada com os limites da área de estudo) foi selecionada para uso no programa;
- Na Janela Forward CP Parameters em Output Stats Filename acessou-se a aba Choose para definir o local aonde o arquivo de estatística para conversão seria salvo;
- Em Enter Output Filename acessou-se a aba Choose para a definição do destino e a inserção do nome do arquivo;
- Em Output Data Type selecionou-se Byte. Este procedimento foi necessário para a definição do número de bandas que foram utilizadas para análise das CP's. Neste caso, em Number of Output CP Bands foram atribuídos os valores relativos ao número de bandas previamente estabelecido.
- Esta etapa pós-processamento consistiu a análise de algumas informações preliminares a partir do gráfico que foi gerado. Este gráfico representa a nova imagem gerada contendo os valores redundantes acumulados (*Eigenvalue*) e as componentes principais (*Eigenvalue Number*). Pelo gráfico pode-se verificar que a CP-1 contém um número maior de informações acumuladas do que as CP-2 e CP-3.

A partir destas seis etapas foram geradas as imagens de Componentes Principais (CP's). Primeiramente foram geradas as combinações principais, aonde com o aumento de número de bandas, a variabilidade dos dados vai se reduzindo, pois são nas primeiras CP's que se encontra a maioria da informação utilizada para a identificação de aspectos e características importantes no estudo da relação entre a técnica e os elementos que compõem a paisagem na área de estudo.

Neste sentido, foram realizadas outras combinações entre bandas e entre os mapas temáticos elaborados, como expresso a seguir:

- a) Imagens de CP's com todas as bandas do sensor Landsat 8/OLI;
- b) Imagens de CP's com a combinação de diversas bandas;
- c) Imagens de CP's com “zoom” específico em determinada característica que se considerou importante na explicação e/ou entendimento dos objetivos propostos para a realização da pesquisa na área de estudo.

5.7 DADOS CLIMATOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

Os dados referentes ao clima da área de estudo foram os disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), que abriga dados meteorológicos diários em forma digital, de séries históricas das várias estações meteorológicas convencionais da rede de estações do INMET com informações, referentes às medições diárias, de acordo com as normas técnicas internacionais da Organização Meteorológica Mundial.

Utilizou-se também bibliografia específica para a caracterização e conceituação das condições climáticas da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, como as descritas por Rossato (2012); Ayoade (1983) e a classificação climática de Koppen.

Os dados referentes a precipitação pluviométrica, a temperatura média anual, a temperatura média do mês mais frio e a temperatura média do mês mais quente, além das temperaturas médias mensais máximas e mínimas, foram disponibilizados pela Estação meteorológica 83936 – Santa Maria, do INMET.

5.8. TRABALHO DE CAMPO

Foi realizado um trabalho de campo na área de estudo, região central do estado do Rio Grande do Sul. Foram analisados durante esta expedição, os aspectos da flora, fauna, geologia, geomorfologia e solos da área de estudo (Figuras 17, 18 e 19).

As considerações dizem respeito ao uso e cobertura da terra, da qual, a área está inserida, com objetivo da identificação de alguns aspectos relacionados à classificação digital, realizada através de imagens de satélite.

Figura 17. Verificação do perfil do solo em área da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.
Fonte: Trabalho de campo.

Figura 18. Verificação do perfil do solo, em área da bacia hidrográfica do rio Botucarai.
Fonte: Trabalho de campo.

Observou-se também a relação entre os tipos de solos e o relevo local, especificamente nas duas fácies de rochas vulcânicas: ácidas e básicas, verificando aspectos que direcionam suas características ligando-as no estabelecimento desta relação relevo-solos.

Figura 19. Contato entre rochas ácidas e básicas, em área da bacia hidrográfica do rio Botucarai.
Fonte: Trabalho de campo.

5.9. SÍNTESE DOS DADOS E DOS RESULTADOS DA RELAÇÃO ENTRE OS COMPONENTES DA PAISAGEM

A figura 20 apresenta o fluxograma com as etapas previstas para o desenvolvimento da pesquisa, identificando as relações a partir das variáveis utilizadas para que os objetivos propostos sejam cumpridos.

Figura 20. Fluxograma da Análise Integrada da Paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Botucaraí – Rio Grande do Sul.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES DA ANÁLISE INTEGRADA DA PAISAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOTUCARAÍ

Este capítulo apresenta os resultados referentes a análise integrada da paisagem e sua relação com os componentes do meio físico, a partir da aplicação da técnica de Análise Por Componentes Principais (ACP). Neste sentido, para uma melhor compreensão das análises realizadas nesta pesquisa, os resultados estão estruturados da seguinte forma:

- Caracterização geral do meio físico em que se insere a área de estudo;
- Combinação do relevo, solos e clima, determinando a diversidade da cobertura vegetal;
- As formas de relevo com as tipologias de solos dominantes na bacia hidrográfica do rio Botucaraí;
- A diversidade de paisagens naturais na influência do uso e ocupação da terra, levando as paisagens antrópicas.
- Aplicação da técnica de Análise por Componentes Principais na identificação e interpretação da fisionomia e fisiologia das paisagens naturais.

6.1 ASPECTOS FÍSICOS DOS ELEMENTOS DA PAISAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOTUCARAÍ

Este capítulo apresenta os principais resultados referentes à análise do meio físico da bacia hidrográfica do rio Botucaraí. Os dados pesquisados, as observações realizadas através do trabalho de campo e a consulta de materiais técnicos e dados disponibilizados por órgãos ambientais e instituições governamentais permitiram a realização do diagnóstico físico ambiental da área de estudo.

6.1.1 Clima

Em termos gerais, considerando a classificação climática proposta por Köppen, o clima da área que compreende a bacia hidrográfica do rio Botucaraí é classificado como subtropical úmido (Cfa), mesmo tipo atribuído a toda encosta meridional do Estado do Rio Grande do Sul.

Outras classificações, como a de Rossato (2012) enquadram a bacia hidrográfica do Rio Botucaraí no tipo climático subtropical II, que se caracteriza como, mediantemente úmido com variação longitudinal das temperaturas médias, onde as características apresentam menor influência dos sistemas polares e tropicais continentais, porém com interferência crescente dos sistemas tropicais marítimos.

Esta classificação também considera a influência do relevo, a continentalidade e a maritimidade, destacando que os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações (ROSSATO, 2012).

Neste contexto, consideramos que esta influência do relevo afeta diretamente as características climáticas da região onde a área de estudo está inserida, pois, como já foi mencionada anteriormente, a bacia hidrográfica do rio Botucaraí situa-se na transição entre o Planalto Meridional basáltico, a escarpa da Serra Geral e a Depressão central, percorrendo grande parte da planície fluvial do rio Botucaraí, que deságua no rio Jacuí, próximo à área urbana do município de Cachoeira do Sul.

Desta forma, toma-se como convenção, a partir de diversos estudos realizados até hoje sobre o tema, que as áreas mais elevadas geralmente possuem temperaturas mais amenas, quando comparadas com as áreas em patamares com menores declividades, ou seja, menores altitudes.

Neste caso, quando o ar desce dos compartimentos mais elevados (na área de estudo este local é o planalto basáltico), é comprimido, aquecendo-se adiabaticamente, o que associado a outros sistemas climáticos pode aumentar a temperatura média nas áreas mais baixas (Depressão central e planície de inundação dos cursos d'água).

Ayoade (1983) confirma esta interpretação, destacando o efeito atenuador que o relevo tem sobre a temperatura do ar. Segundo ele, normalmente a temperatura diminui com a altitude crescente a uma taxa média de $0,6^{\circ}\text{C}$ por cada 100 metros. Com relação à precipitação, as características deste tipo climático indicam que:

- as chuvas oscilam entre 1500-1700 mm anuais distribuídas em 90-110 dias de chuva. Mensalmente a chuva cai entre 6-9 dias.
- A temperatura média anual varia entre 17°C - 20°C .
- A temperatura média do mês frio oscila entre 11°C - 14°C e
- A temperatura média do mês mais quente varia entre 23°C - 26°C .

A partir dos dados registrados pelo INMET, situado na estação meteorológica mais próxima da área de estudo, 83936 – Santa Maria pode-se caracterizar os índices de precipitação e as temperaturas médias mensais máximas e mínimas. Destaca-se que os dados se referem a um período de trinta anos, de 1985 a 2015, sendo que em alguns períodos há interrupção na coleta desses dados.

O gráfico a seguir (Figura 21), sobrepõe as temperaturas máximas e mínimas e os índices de precipitação pluviométrica da área de estudo.

Interpretando-se o gráfico podemos verificar que o mês de outubro é o que alcança os maiores valores de média da precipitação total, chegando a aproximadamente 180 mm, caracterizando o verão como a época de ocorrência dos maiores valores de chuvas, destacando-se os meses de dezembro e janeiro.

Figura 21. Gráfico de Precipitação e Temperatura Média das Máximas e Mínimas, Estação meteorológica de Santa Maria, segundo o INMET (2016). Período de 1985 a 2016.

Fonte: INMET.

Com relação a temperatura verifica-se que as máximas se mantêm acima de 25°C no verão e as temperaturas mínimas se mantêm abaixo dos 10°C no inverno, principalmente nos meses de junho e julho, meses com o maior registro de frio no ano.

6.1.2 Contexto Geológico

A partir do Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, elaborado pela da CPRM, (2009), na escala de 1:750.000, foi realizada a regionalização para a bacia hidrográfica do rio Botucaraí, onde identificaram-se as seguintes litologias (Figura 22):

(Q4a) Depósitos Aluviais: - areia grossa a fina, cascalho e sedimento siltico-argiloso;

(T1sc) Formação Sanga do Cabral: - conglomerado intraformacional, siltito e raro argilito;

(T23sm) Formação Santa Maria: - Arenito conglomerático;

(T3c) Formação Caturrita: - arenito, conglomerado, siltito arenoso, argilitos e folhelho;

(K1 α cx) Fácies Caxias: - riodacitos a riolitos;

(K1 β Gr) Fácies Gramado: - basaltos;

(J3 k1 bt) Formação Botucatu: - arenitos.

Na Escala de tempo geológico destaca-se que as litologias mais recentes são os **Depósitos Aluviais**, pertencentes ao Holoceno. Sua distribuição na área de estudo concentra-se no médio curso da bacia, onde acompanha a planície de inundação do curso principal, o rio Botucaraí. A identificação desta litologia inicia-se na depressão central, após o rebordo do planalto e vai até o final dos limites da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, próximo ao município de Cachoeira do Sul.

A composição dos depósitos aluviais é de areia Grossa a fina, cascalho e sedimento siltico-argiloso, em calhas de rio e planície de inundação.

Seguindo a linha geológica mais recente, a partir da classificação do CPRM, as próximas litologias são a da Formação Serra Geral: **Fácies Caxias e Fácies Gramado**. A CPRM (2012) descreve as características principais destas duas unidades litológicas:

- a Fácies Caxias é composta por derrames de composição intermediária a ácida, riodacitos a riolitos, mesocráticos, microgranulares a vitróficos, textura esferulítica comum (tipo carijó), forte disjunção tabular no topo dos derrames e maciço na porção central, dobras de fluxo e autobrechas frequentes, vesículas preenchidas, predominantemente por calcedônia e ágata, fonte das mineralizações da região.

Figura 22. Mapa Geológico da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, Rio Grande do Sul.

- a Fácies Gramado se constitui por derrames basálticos granulares finos a médio, melanocráticos cinza, horizontes vesiculares preenchidos por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponita, estruturas de fluxo e pahoeho e comuns intercalações com os arenitos Botucatu.

Estas unidades estão localizadas na porção norte da bacia hidrográfica do rio Botucaraí. A Fácies Gramado está situada no entorno da rede de drenagem presente nesta parte da bacia e a Fácies Caxias se dispõem imediatamente após esta área.

A figura 23 apresenta um recorte da área, identificando através da nomenclatura as duas litologias.

Figura 23. Recorte da área de estudo com as fácies Caxias e Gramado.

É possível a identificação de algumas formas de relevo residuais, que pertencem as duas litologias. Na figura 24 verifica-se o morro Botucaraí, que de acordo com o mapa geológico gerado compõem resquícios das duas litologias.

Figura 24. Visualização do morro Botucaraí, próximo à cidade de Candelária – RS.
Fonte: Trabalho de campo.

Esta forma de relevo, Botucaraí, localizado no município de Candelária, tem uma altitude aproximada de mais de 560 metros em relação ao nível do mar. Segundo Hintz (2006) apud Favero (2015), o “formato do morro corrobora com as teorias de que esta região já fora inundada pelo mar, e seu topo, foi uma ilha, e suas escarpas teriam sido moldadas pelas ondas das águas”.

Este fato está em acordo com a descrição de Rambo (1954) de que na Era Cenozóica no Período do Terciário, a cerca de 60 milhões de anos A.P., a ingressão marítima determinou a fisionomia definitiva do centro e sudeste do Estado do Rio Grande do Sul (FAVERO, 2015).

As outras litologias identificadas na área de estudo referem-se as formações, que fazem parte da bacia do Paraná (Figura 25). Desta forma, destacam-se as considerações de Kaul (1990) no Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul (SEMA-RS/UFSM, 2001) sobre a Bacia do Paraná, que a define como “o mais amplo domínio geológico do Sul do Brasil, pertencente à grande estrutura, de dimensões continentais, implantada em terrenos pré-cambriânicos a partir do Siluriano Inferior”.

Figura 25. Localização da área de estudo na bacia do Paraná.
Fonte: Reis et al (2014).

Kaul (1990) apud SEMA-RS/UFSM (2001) destaca ainda, que a bacia do Paraná pode se subdividida em duas porções ou áreas:

- 1- a “das formações sedimentares, acumuladas desde tal período geológico até o Triássico”,
- 2- a “dos colossais derrames de lavas, de composição predominantemente básica, que cobriam as referidas formações a partir do Jurássico Superior”.

Identifica-se também, a partir do mapa geológico da área de estudo, as formações **Santa Maria**, **Caturrita**, **Sanga do Cabral** e **Botucatu**. A Figura 26 apresenta a distribuição destas unidades geológicas pela área de estudo.

Figura 26. Recorte da área de estudo com as formações identificadas na área de estudo.

Sartori (2009) descreve que a Formação Santa Maria “refere-se a material sedimentar constituído por dois fáceis”:

- um inferior, chamado de Membro Passo das Tropas, de origem fluviolacustre, formado por arenitos feldspáticos grosseiros e siltitos arenosos;
- e outro superior, denominado Membro Alemoa, de origem controvertida (lacustre ou loess), constituído por lamitos (siltitos argilosos) maciços com concreções calcárias.

De acordo com a CPRM (2009) a **Formação Santa Maria** é constituída por “Arenito conglomerático com pelitos subordinados, contendo fauna de tetrápodes fósseis, ambiente continental correspondendo a depósitos de canais fluviais de moderada sinuosidade, de planície de inundação e lacustre”.

Esta formação está disposta no sentido leste e oeste, após a área composta pelos depósitos aluviais, que ocupam o médio curso da bacia hidrográfica, seguindo o curso do rio Botucaraí.

Já a **Formação Caturrita** constitui-se por “arenito, conglomerado, silito arenoso, argilitos e folhelo, contendo tetrapóides fósseis e troncos de coníferas, ambiente continental, depósitos fluviais e deltas lacustres” CPRM (2009).

Pierini et al. (2002) e Sartori (2009) descrevem o material que constitui esta formação como sendo, sedimentar de origem fluvial, constituído por arenitos finos a médios de composição quartzosa e matriz argilosa, podendo conter considerável teor de feldspato e, ainda, fáceis pelíticas. Destacam ainda a característica de aquífero apresentado por esta formação, assim como “o membro Passo das Tropas da Formação Santa Maria”.

O domínio da Bacia do Paraná engloba, no Rio Grande do Sul, as rochas Efusivas Ácidas e Básicas e a Cobertura Sedimentar Gonduânica. Segundo Kaul (1990), a Cobertura Sedimentar Gonduânica, implantada na Bacia do Paraná, nos tempos do Siluriano Inferior, marcou o início de uma nova sedimentogênese.

O autor destaca que nessa bacia se formam a partir daquele período, até o Jurássico, extensas e espessas sequências de sedimentos de granulação essencialmente fina, com intercalações de calcários e raríssimos conglomerados. A

formação Botucatu, presente na bacia hidrográfica do rio Botucaraí, engloba estas sequências.

De acordo com o mapa geológico da CPRM (2009), utilizado como base para o mapeamento geomorfológico desta pesquisa a **Formação Botucatu** é constituída por arenito fino a grosso, grãos bem arredondados e com alta esferocidade, dispostos em seis e/ou cosets de estratificação cruzada de grande porte. Ambiente continental desértico, depósitos de dunas eólicas.

Nas figuras 27 e 28 podemos visualizar o afloramento de arenitos que constituem a formação Botucatu na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

Figura 27. Afloramento da formação Botucatu na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.
Fonte: Trabalho de campo.

Kaul (1990) apud UFSM/SEMA-RS (2001) destaca, diferentemente ao especificado pelo mapa da CPRM, que a Formação Botucatu é constituída por arenitos de granulação fina a média, de coloração vermelha, rósea ou amarelo-clara, bem selecionados maduros, apenas localmente feldspáticos.

O autor revela ainda que a estrutura característica desses arenitos, destacando a ocorrência de estratificação cruzada tangencial de grande porte, como foi verificado em alguns afloramentos presentes na área de estudo.

Figura 28. Afloramento da formação Botucatu na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

Fonte: Trabalho de campo.

Outra litologia identificada na área de estudo foi a **Formação Sanga do Cabral**. Esta unidade geológica, na definição da CPRM (2009):

“possui corpos tabulares ou lenticulares alongados, brecha e conglomerado intraformacional, siltito e raro argilito, ambiente continental, fluvial entrelaçado, contendo fragmentos de vertebrados fósseis (anfíbios e répteis), dentre os quais *procolophon princei*”.

Outro mapa gerado que contribui para o diagnóstico físico ambiental da área de estudo refere-se à tectônica. No referido material cartográfico (Figura 29) identificam-se a base da formação geológica do qual a bacia hidrográfica do rio

Botucaraí pertence: bacia vulcano sedimentar pós-orogênica, depósitos aluviais recentes e magmatismo intraplaca continental formada no fanerozóico (Figura 29).

Figura 29. Mapa da Tectônica da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, Rio Grande do Sul.

Outros mapas também contribuem para a caracterização geológica da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, como o que identifica os períodos geológicos (Figura 30), identificando a sua correspondência com Cretáceo, Jurássico, Neogeno e o Triássico.

Figura 30. Mapa dos períodos geológicos da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

Com relação ao tempo geológico, o mapa a seguir (Figura 31) identifica sua representação na bacia hidrográfica do rio Botucaraí: Fanerozóico Cenozóica Neógeno Holoceno, Fanerozóico Mesozóica Jurrássico e Fanerozóico Mesozóica Jurrássico Superior.

Figura 31. Mapa do tempo geológico na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

A figura 32 apresenta o mapa com a espacialização das formas de dissecação da bacia hidrográfica do rio Botucaraí. Identificam-se as categorias homogênea aguçada, homogênea convexa, homogênea tabular, a planície fluvial e o terraço fluvial.

Figura 32. Formas de dissecação da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

6.1.3 Contexto Geomorfológico

No contexto geomorfológico do Rio Grande do Sul a bacia hidrográfica do rio Botucaraí situa-se na transição entre o Planalto Meridional, Serra Geral e a Depressão central, dispondo-se sequencialmente no sentido Norte para Sul (Figura 33).

Figura 33. Área de estudo no mapa de Unidades Geomorfológicas do Rio Grande do Sul.
Fonte: SEPLAG (1998).

De acordo com Guasselli et al. (2006, p.8) a **unidade Planalto Meridional** “foi formada por um pacote de rochas vulcânicas básicas que variam para rochas vulcânicas ácidas no topo, e é caracterizada por uma superfície ondulada”. Com relação às altitudes destacam que:

“As maiores altitudes estão localizadas a leste, com escarpas abruptas esculpidas por processos erosivos que dominam esta porção. Na direção oeste, a escarpa erosiva torna-se gradativamente mais rebaixada gerando uma feição monoclinal”.

Nas considerações do RadamBrasil (1986) apud Schirmer et al. (2013), o Planalto Meridional formou-se sobre as formações vulcânicas ácidas, e é marcado por colinas onduladas separadas por vales alargados estabelecidos por sucessivas etapas de dissecação que deixaram rupturas de declive e pequenos desníveis. Desta forma, constitui-se em um plano remanejado, desnudado, truncando rochas sãs ou rochas pouco alteradas.

A unidade Serra Geral ou Rebordo do Planalto constitui-se de rochas sedimentares fluviais, eólicas e com rochas vulcânicas. Para Müller Filho (1970) apud Schirmer et al. (2013) esta unidade geológica se configura na transição das terras baixas da Depressão para as terras altas do Planalto e se caracteriza por morros e morrotes isolados e vales encaixados. Associa-se “a rochas sedimentares fluviais, eólicas e com rochas vulcânicas”.

A unidade Depressão central, de acordo com Moreira e Lima (1977, p.18) “foi esculpida pela rede de drenagem instalada sobre sedimentos tenros, do permocarbonífero, e tendo sofrido deformações epirogenéticas menos intensas do que as que afetaram a parte nordeste da bacia do Paraná”.

Dentre suas características, as formas de relevo que se destacam nesta unidade, são as colinas, tabuleiros e a planície aluvial do rio Jacuí e do baixo Jacuí. Neste contexto, Moreira e Lima (1977, p.18) destacam que, o aspecto atenuado da depressão:

“acompanha os vales dos rios afluentes do Jacuí, como no caso do Vacacaí, oriundo do escudo sul-rio-grandense, que corre entre as coxilhas divisórias da drenagem na altitude de 200-300 metros, através de topografias suavizadas, representadas por vales rasos, “sangas” de fundos amplos e banhados”.

Desta forma, considerando as unidades geomorfológicas que compreendem a bacia hidrográfica do rio Botucaraí, foi gerado o mapa das unidades geomorfológicas, a partir da classificação do IBGE. Esta setorização está de acordo com as classificações mapeadas por outros autores e destaca o relevo da área de estudo.

As unidades mapeadas são as seguintes: Depressão do rio Jacuí, Planalto dos campos gerais, Planícies aluvio-coluvionares, e Serra Geral (Figura 34).

Com relação à Depressão do Rio Jacuí, esta unidade está associada a rochas sedimentares de origem fluvial e caracteriza-se por não apresentar grandes variações altimétricas, com variações entre 20m e 40m, onde dominam formas alongadas de topos convexos (SCHIRMER, et al., 2013).

Na classificação do relevo de Ross (2009) a área de estudo enquadra-se como pertencente à classe Planalto e chapadas da bacia do Paraná, Planalto sul-rio-grandense e Depressão central sul-rio-grandense.

Quanto ao **Planalto e chapadas da bacia do Paraná**, Ross (2009) descreve que esta unidade constitui-se por “terrenos de basaltos, diabásios e Riólitos” (...) “abrange toda a metade norte do estado do Rio Grande do Sul e dos estados da região Sul, além de alguns estados do centro oeste do Brasil”.

Figura 34. Mapa da das Unidades Geomorfológicas da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

A partir desta classificação identifica-se sua ocorrência na área de estudo nos terrenos mais elevados da porção norte da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

A **Depressão central sul-riograndense** se caracteriza pela presença de colinas de topos convexos, regionalmente denominadas de coxilhas, vales medianamente entalhados e a planície fluvial do rio Jacuí (ROSS, 2009). Sua ocorrência na área de estudo perfaz todo o médio curso da bacia, no sentido leste-oeste

A partir do mapa das unidades geomorfológicas (Figura 34), conforme o IBGE, (2003) a área de estudo enquadra-se geomorfológicamente nas unidades da Serra Geral, Planalto dos Campos Gerais, Planície Alúvio Coluvionares e a Depressão do Rio Jacuí.

6.1.4 Cobertura Pedológica

De acordo com Streck et al. (2002) a bacia hidrográfica do Rio Botucaraí é caracterizada predominantemente pela presença de Argissolos, Planossolos, Alissolos e Chernossolos. Esta classificação possui maior detalhamento em relação à escala de trabalho proposta.

É possível a identificação dos principais tipos de solos da área de estudo, caracterizando suas ocorrências e conexões nas áreas referente ao Planalto, Serra Geral e seu rebordo e nas baixas declividades da Depressão Central.

Streck et al (2002) destacam que a diversidade geológica, climática e de relevo no Estado originou uma grande variedade de tipos de solos. Neste sentido, identificam-se variações a curta distância decorrente dos efeitos:

- a) do relevo condicionando os fluxos de água superficial (efeito erosivo) e subsuperficial (lixiviação, drenagem e oxirredução);
- b) da ação humana através do manejo.

Esta influência reflete as características encontradas na área de estudo, como será discutido nos capítulos posteriores, dinamizando as condições e os tipos de solos identificados. Neste contexto, a partir da classificação proposta por Streck et al (2002) foram identificados 7 (sete) tipos de solos na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí (Figura 35).

Observam-se no mapa pedológico as classes de solos identificadas na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí. A Tabela 3 apresenta a nomenclatura e os tipos de Solos (Classificação de STRECK et al., 2002).

Tabela 3. Classes de solo identificadas na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.

Classe A – ALISSOLOS	
(Apt 2)	Alissolo Hipocrômico Argilúvico típico
Classe M – CHERNOSSOLOS	
(Mtf-Rle)	Chernossolo Argilúvico Férrico típico
(Mto 1)	Chemossolo Argilúvico Órtico saprolítico
Classe P – ARGISSOLOS	
(PVAa 1)	Argilossolo Vermelho-Amarelo Aluminoso Alissólico
(PVd 2 – AR)	Argilossolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico
(PVd 5)	Argilossolo Vermelho Distrófico Latossólico
Classe S – PLANOSSOLOS	
(SGe 1)	Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico

Figura 35. Classes de solos da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, com base em Streck et al. (2002).

Em descrição mais geral sobre as características de cada tipo de solos encontrados na área de estudo podemos destacar a sua formação e os principais aspectos relacionados à sua área de ocorrência, a partir das informações técnicas descritas no livro Solos do Rio Grande do Sul (STRECK et al., 2002) e pela EMBRAPA, (2006). Desta forma, citam-se as principais características dos solos identificados:

- **Alissolos:** São solos medianamente profundos a profundos, apresentando um perfil com uma sequência de horizontes A-B-C, onde o horizonte B pode ser do tipo B textural ou B nítico; a condição de drenagem varia desde imperfeitamente drenado a bem drenado, dependendo da posição que esses solos ocupam na paisagem.
- **Chernossolos:** são solos rasos pouco profundos, apresentando no perfil, uma sequência de horizontes A-B-C. De acordo com os autores esses solos se caracterizam por apresentar razoáveis teores de material orgânico, o que confere cores escuras ao horizonte superficial que é do tipo A chernozêmico. Estes possuem horizonte superficial A chernozêmico sobre horizonte B textural avermelhado, com argila de atividade e saturação por bases alta (EMBRAPA, 2006; STRECK et al. 2008) (Figura 36).

Figura 36. Visualização de área com classe pedológica de Chernossolos no RS.

Fonte: Acervo da Embrapa Solos.

- **Argissolos** são solos geralmente profundos a muito profundos bem drenados, esses solos podem ser originados dos mais diversos tipos de rochas, como os basaltos, granitos, arenitos e outros sedimentos.

O SiBCS (EMBRAPA, 2006) define os Argissolos pela presença de horizonte diagnóstico B textural, apresentando acúmulo de argila em profundidade devido à mobilização e perda de argila da parte mais superficial do solo.

Destacam também que estes tipos de solos apresentam frequentemente, mas não exclusivamente, baixa atividade da argila (CTC), podendo ser alíticos (altos teores de alumínio), distróficos (baixa saturação de bases) ou eutróficos (alta saturação de bases), sendo normalmente ácidos.

Quanto aos Argissolos distróficos e os alíticos, a Embrapa (2006) descreve que, estes apresentam baixa fertilidade natural e acidez elevada, e, nos casos dos alíticos, além dessas características, a presença agravante dos altos teores de alumínio. Os eutróficos (Figura 37) são naturalmente mais ricos em elementos (bases) essenciais às plantas como cálcio, magnésio e potássio.

Figura 37. Visualização de classe pedológica de Argissolo Vermelho Eutrófico típico.
Fonte: Acervo da Embrapa Solos.

De acordo com Streck et al. (2002) os **Planossolos** são solos imperfeitamente ou mal drenados, encontrados em áreas de várzea, ocorrem tipicamente em áreas de cotas baixas, planas a suave onduladas.

Estes solos são geralmente pouco profundos, com horizonte superficial de cores claras e textura arenosa ou média (leve), seguido de um horizonte B plânico (horizonte característicos dos planossolos), de textura média, argilosa ou muito argilosa, adensado, pouco permeável, com cores de redução, decorrente de drenagem imperfeita, e responsável pela formação de lençol suspenso temporário (EMBRAPA, 2006; STRECK et al. 2008).

De acordo com a Embrapa (2006), este tipo de solo, geralmente apresenta alta CTC, elevada saturação por bases e sorção de Na, com PST (percentagem de saturação total) entre 8 e 20%, nos horizontes B ou C. Ocorrem muitas vezes com componentes secundários em muitas áreas de Luvisolos.

Na área de estudo, os planossolos são frequentes nas áreas de várzeas dos cursos d'água, geralmente aptos para o cultivo de arroz irrigado, e, com sistemas de drenagem eficientes (Figura 38).

Figura 38. Planossolos na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.
Fonte: Trabalho de campo.

Além da classificação proposta por Streck et al. (2008) realizou-se consulta de outros levantamentos, como o realizado pelo IBGE (2004), entretanto, o nível de generalização da classificação do IBGE não permite que se realizem análises específicas para o objetivo de estudo desta tese.

De acordo com o IBGE, a área de estudo apresenta três tipos de solos (Figura 39). Nesta classificação mais geral, os solos foram identificados até o terceiro nível categórico do “Sistema Brasileiro de Classificação de Solos” – EMPRAPA.

A partir deste mapeamento é possível identificar uma setorização pedológica dividindo a área de estudo em três zonas:

I - na parte mais ao norte da bacia classifica os solos do tipo Argissolo vermelho distrófico, se sobrepondo as áreas da Serra Geral e do Planalto, conforme pode ser observado na figura 39. A rede de drenagem característica desta porção se caracteriza por grande concentração de canais, tendo seu limite definido a partir das áreas de rebordo.

II - Os Neossolos Litólicos situam-se na parte central da bacia e direciona-se para a porção leste, seguindo parte do curso principal do Rio Botucaraí e ocupando o meio da área de estudo.

III – No setor Sul da bacia hidrográfica, onde o curso d’água principal, do Rio Botucaraí está situado em grande parte, o IBGE classifica os solos como sendo do tipo Planossolo Háplico.

Figura 39. Mapa de solos da bacia do Rio Botucaraí a partir da classificação do IBGE (2001).

6.1.5 Vegetação

A vegetação característica da Bacia hidrográfica do Rio Botucaraí, pertence à fisionomia das Florestas Estacionais. Esta formação florestal está enquadrada dentro do Bioma da Mata Atlântica (Figura 40), pela classificação do IBGE (2004).

Figura 40. Localização da área de estudo nos biomas do Rio Grande do Sul.

Fonte: IBGE (2004).

Este bioma, que se configura como o mais descaracterizado dos biomas brasileiros, devido aos processos de ocupação humana (SCIPIONI, 2008), caracteriza-se na área de estudo pela inserção da agricultura em sua área original de ocorrência, o que acarretou em perdas de vegetação primária.

Destaca-se que a vegetação encontrada na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí tem sua origem através da migração de dois contingentes florísticos: um oriundo da Floresta Atlântica ou contingente Leste e outro da Floresta da Bacia do Paraná – Uruguai ou contingente Oeste (JARENKOW; WAECHTER, 2001).

Jarenkow e Waechter (2001) destacam que, o contingente oeste é caracteristicamente mesófilo ou estacional (interior) e o leste, higrófilo ou pluvial (atlântico).

Neste sentido, na bacia hidrográfica do rio Botucaraí, mesmo sob a influência dos dois contingentes, o predomínio é do corredor de migração Oeste. Jarenkow e Waechter (2001) citam, com base nas observações de Rambo (1951, 1961), Klein (1984) e Veloso e Góes-Filho (1982), que este fato se revela, devido a penetração da vegetação além dos divisores d'água e da rede hidrográfica dos afluentes do rio Botucaraí.

Desta forma, cabe uma descrição mais detalhada da **Floresta Estacional Decidual**, tipo florestal predominante na bacia hidrográfica do rio Botucaraí, área de estudo da presente pesquisa (Figura 41).

Figura 41. Fragmento da Floresta estacional decidual na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.
Fonte: Trabalho de campo.

Veloso et al. (1991) consideram que, as Florestas Estacionais referem-se ao tipo de formação caracterizada por um percentual de árvores dominantes, que perdem as folhas no período de inverno, com temperatura média mensal inferior a 15°C. Este percentual corresponde a mais de 50% dos indivíduos sem folhas no período desfavorável.

Leite e Klein (1990) apud (UFSM/ SEMA-RS, 2001, p.6) explicam que, os índices térmicos desta formação determinam dois períodos bem distintos: “um de 4 a 5 meses, centrado no verão, com médias compensadas iguais ou superiores a 20° C; e outro de 2 a 3 meses, centrados no inverno, com médias iguais ou inferiores a 15° C”.

Na região que compreende a bacia hidrográfica do rio Botucaraí, “as espécies estão distribuídas muito irregularmente, selecionadas que são, naturalmente, conforme a aptidão dos diversos ambientes” (LEITE; KLEIN, 1990 apud UFSM/ SEMA-RS, 2001, p.6).

Na figura 42 identificam-se algumas espécies de vegetação arbórea que se situam na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

Figura 42. Vegetação na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.
Fonte: Trabalho de campo.

Estas espécies subdividem-se em três tipos de formações, conforme apresentado no mapa gerado para a vegetação da área de estudo: Floresta

Estacional Decidual Montana, Floresta Estacional Decidual Submontana, Floresta Estacional Aluvial, e o Contato Savana- Estepe (Figura 43).

Figura 43. Mapa da Cobertura Vegetal da bacia do Rio Botucaraí, Rio Grande do Sul.

A Floresta Estacional Decidual Montana se constitui em floresta caducifolia, com origem a partir do corredor de migração do contingente leste, possui sua espacialização em faixa do limite norte da área de estudo, abrangendo áreas dissecadas com altitudes superiores a 400 m.

A Floresta Estacional Decidual submontana situa-se em grande parte na unidade geomorfológica da Depressão do rio Jacuí, ocupando o centro-norte da bacia hidrográfica, compreendendo terrenos ondulados e dissecados em altitudes entre aproximadamente 30 e 400 metros (SCIPIONI, 2012).

Já a Floresta Estacional Aluvial, como descreve variações reveste os terraços aluviais na Depressão Central, ao longo do rio Jacuí e de seus afluentes. Esta unidade fisionômica apresenta pequenas variações estruturais e florísticas em função das condições locais de drenagem.

Este tipo de vegetação acompanha praticamente toda a extensão do curso d'água principal, o rio Botucaraí, se dispondo ao longo da rede de drenagem. Scipioni (2012, p.29) considera que nos locais drenados, esporadicamente inundáveis, a cobertura arbórea é densa, sendo formada principalmente, pelas seguintes espécies:

“Luehea divaricata (açoita-cavalo), *Cordia americana* (guajuvira), *Parapiptadenia rigida* (angico), *Ruprechtia laxiflora* (farinha-seca) e *Cupania vernalis* (camboatá). No estrato inferior destacam-se as arvoretas *Sebastiania brasiliensis* (branquilha-leiteiro), *Phyllanthus sellowianus* (sarandi), *Pouteria salicifolia* (mata-olho-branco), *Casearia sylvestris* (cafeeiro-do-mato) e outras”.

E o Contato Savana-Estepe situa-se a jusante da bacia hidrográfica, ocupando toda a porção Sul, quase no limite com o rio Jacuí e a área urbana do município de Cachoeira do sul.

De acordo com Scipioni (2012, p.15) “a influência para a distribuição das áreas de campo, sem dúvida, refere-se às mudanças climáticas, onde o clima pretérito foi mais seco, semiárido, com as sucessivas modificações graduais para o clima ombrófilo contemporâneo”.

Desta forma, segundo o autor, “isso possibilitou a expansão florestal sobre as atuais e antigas áreas campestres. O avanço se originou por meio dos refúgios,

remanescentes do longo período xerotérmico da última idade do gelo, no Pleistoceno (Wisconsin ou Würm)”.

6.2 COMBINAÇÃO DO RELEVO, SOLOS E CLIMA DETERMINANDO A DIVERSIDADE DA COBERTURA VEGETAL

Um condicionante importante que é objeto de estudo quando se realizam análises integradas da paisagem é o componente vegetacional. Algumas interpretações de pesquisas desenvolvidas sobre esta temática revelam a inter-relação entre alguns elementos da paisagem, condicionando o tipo de vegetação presente, ou, identificando a diferenciação entre determinados fragmentos arbóreos, dependendo do tipo de solo e do relevo.

6.2.1 Relação do clima com os solos

A ação do clima se reflete nas características de formação dos solos, como explica Becker (2008, p.29): “principalmente ligada ao intemperismo das rochas, associando-se como indutores desta formação, os elementos climáticos, precipitação pluvial e a temperatura”. Para a autora, estes elementos “determinam a natureza e a velocidade das reações químicas nas rochas, além de definir a pedogênese”.

Neste sentido, Streck et al. (2012, p.9) conceitua o solo como “um recurso natural, lentamente renovável, encontrado em diferentes posições na paisagem, formado pela ação do clima e dos organismos vivos agindo sobre o material de origem”.

Bueno (1984) apud Becker (2008, p.53) enfatiza que “o clima influencia de tal modo à evolução dos solos, que, em escala mundial, a carta das zonas climáticas coincide, aproximadamente, com a da repartição dos solos”.

Becker (2008, p.21) descreve a relação entre o clima e os solos “ao longo do tempo, a base do mapeamento dos solos e da vegetação em escala global. Essa relação pode ser estudada por meio de modelos edafoclimáticos e de intemperismo”.

A partir destas considerações a autora estudou a relação dos solos do Rio Grande do Sul com as disponibilidades climáticas regionais. Neste sentido, utilizou “modelos edafoclimáticos e considerou que, apenas uma parte da área do Rio Grande do Sul é explicada em função das disponibilidades climáticas vigentes”.

Becker (2008) destacou as unidades que podem ser mapeadas a partir destas disponibilidades: “Latossolos, Chernossolos, Argissolos e de Nitossolos e Argissolos, predominantemente localizados no Planalto Norte-rio-grandense e na Depressão Central”.

Neste contexto, cabe destacar que estas unidade estão inseridas. E, foram identificadas na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

A figura 44 apresenta um afloramento onde se visualiza “marcas” do clima, que foram responsáveis pelas fases de formação do solo, devido a temperatura e pressão na área de estudo.

Figura 44. “Marcas” da ação eólica em afloramento na área de estudo.

Fonte: Trabalho de Campo.

Estas marcas podem ser identificadas em algumas áreas dentro da bacia hidrográfica, como na parte norte, onde se situa o Planalto Norte-rio-grandense. Neste trecho, predomina o intemperismo químico forte, enquanto que na Depressão Central predomina o intemperismo químico moderado.

Cabe destacar que, além do intemperismo químico das rochas, outros fatores do clima também são relevantes para a determinação das tipologias dos solos e consequentemente o seu desenvolvimento. Neste contexto, Rossato, (2012, p.1) revela que “estes processos estão ligados à estrutura, as formas de relevo, aos

recursos hídricos, ao crescimento, desenvolvimento e distribuição das plantas e animais, inclusive repercutindo nas atividades antrópicas”.

6.2.2 Relação do clima com o relevo

Budel (1903–1983) proporcionou a partir dos diversos estudos que desenvolveu, inúmeras interpretações, as quais procuravam entender as relações entre os processos de esculturação do relevo, sobretudo pela ação climática ligada a erosão.

É sob este aspecto que Abreu (2006, p.111) afirma que Budel “forneceu elementos fundamentais para interpretar a dinâmica têmporo-espacial dos processos geomorfológicos”. Destaca ainda que o autor evidenciou “a relação entre oscilações climáticas e quadros geomorfológicos e ambientais do presente”.

A partir deste contexto, da atuação climática sobre o relevo, já está concretizado que “a origem das forças que determinam a atuação dos processos formadores das formas do relevo, a morfodinâmica, vem de duas origens, como definiu W. Penck: as forças exógenas e as endógenas” (ROSS, 2005, p.7).

O autor destaca que, a força endógena é comandada pela energia do interior da terra, e a exógena pelo sol, através da camada gasosa que envolve a terra. Desta forma, produziu o desgaste erosivo das formas estruturais, gerando a esculturação destas formas.

W. Penck “estimulou a discussão do papel dos processos e dos depósitos correlativos, trazendo abordagem diferenciada para o estudo da influência do clima no modelado presente e pretérito do relevo” (ABREU, 2006, p.111).

Esta esculturação é comandada em grande parte pelo clima e seus elementos, tais como, a temperatura, a pressão atmosférica e os ventos que se deslocam entre as diferenças altimétricas dos compartimentos topográficos.

Neste contexto, em estudo sobre a dinâmica do clima no Rio Grande do Sul, Sartori (2003, p.28) identificou o comportamento dos atributos climáticos de áreas do qual a bacia hidrográfica do rio Botucaraí pertence:

“Os valores mais baixos de temperatura são sempre registrados no topo do Planalto e os mais altos normalmente ocorrem na Depressão ou Vale do rio Uruguai. Da mesma maneira, a variação espacial da

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

Este comportamento exerce grande influência na área de estudo, pois, a bacia hidrográfica do rio Botucaraí se dispõe de norte a sul por áreas com declividades altas, do Planalto e da Serra Geral, decrescendo na Depressão Central e nas áreas rebaixadas da depressão do baixo Jacuí.

Além destas unidades geomorfológicas a área de estudo também apresenta formas de relevo, como morros e colinas que também possuem altitudes que a deixam expostas a atuação dos elementos climáticos. A imagem a seguir (Figura 45) mostra o exemplo de um morro isolado com cobertura de espécies arbóreas.

Figura 45. Morro isolado com cobertura de espécies arbóreas na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.
Fonte: Trabalho de Campo.

6.2.3 Relação do clima com a vegetação

Considera-se que a inserção da vegetação nos estudos integrados aumenta o grau de complexidade da análise, já que este componente da paisagem possui especificações e se desenvolve de acordo com parâmetros que exigem um espectro mais elevado e acurado dos estudos que tratam sobre este tema.

No Rio Grande do Sul e conseqüentemente na área de estudo as formações fitogeograficamente, migram de dois contingentes distintos, oriundos da Floresta Atlântica ou contingente leste e da Floresta da Bacia Paraná-Uruguai ou contingente oeste (JARENKOW; WAECHTER, 2001), sendo as Florestas Estacionais formadas pela mescla de espécies desses continentes.

Neste sentido, considera-se que a influência do clima é determinante para a formação dos tipos florestais, como o gradiente climático, decorrente da variação altitudinal, na determinação da distribuição das florestas.

Da mesma forma, a partir das investigações realizadas e das observações realizadas no trabalho de campo, considera-se também que, a vegetação presente na bacia hidrográfica do rio Botucaraí também condiciona-se pela interação entre os componentes da paisagem e através da atuação climática, que se configurou em vetor importante na formação da estrutura florística existente atualmente.

O trabalho de campo realizado na área de estudo permitiu identificar algumas espécies predominantes atualmente, como as *Myrtaceae* e o *Euterpe edulis* (Figura 46).

Entretanto, com relação aos palmitos (*Euterpe edulis*), característico de áreas mais densas das encostas da serra geral e do rebordo do Planalto Meridional, destaca-se que, foram identificadas poucas espécies, sendo que as mesmas estão isoladas, não chegando a formar corredores arbóreos significativos.

Outra característica importante refere-se à característica geral da vegetação, que se constitui em floresta de estágio médio de regeneração. Isto se refletiu devido ao contexto histórico de mais ou menos 30 anos, onde o avanço da agricultura sobre estas áreas contribui para a substituição da vegetação original presente. Acentua-se também a retirada de vegetação para a implantação de estradas.

Figura 46. Presença esparsa do *Euterpe edulis* na área de estudo.

Fonte: Trabalho de Campo.

Alguns estudos recentes também tratam sobre a vegetação desta região. Sühs et al. (2010, p.644) determinaram três estratos arbóreos, em que “a maior parte do sub-bosque, do estrato médio e do estrato superior foi composta por indivíduos de ampla distribuição”.

Os autores concluíram que, desta forma, “a maior parte da riqueza também foi composta por espécies de ampla distribuição, o que demonstrou a importância dessas espécies em ocupar e formar os diferentes estratos da comunidade estudada”.

Partindo desta caracterização da vegetação da área de estudo, é possível realizar a associação com os outros componentes da paisagem, como o relevo, que possui grande diversidade de formas e apresenta uma fisionomia compartimentada, através de colinas e morros dispostos ao longo da bacia hidrográfica.

A partir da imagem a seguir (Figura 47) é possível identificar a característica da vegetação presente na bacia hidrográfica do rio Botucaraí, onde se sobrepõem os fragmentos de vegetação, situados tanto em área com topografia mais plana, quanto na cobertura de morros e áreas com declividades mais elevadas.

Sob estes aspectos, os mapeamentos referentes ao relevo local permitiram identificar os patamares e modelado presente na área de estudo.

Figura 47. Presença esparsa dos palmitos (*Euterpe edulis*), oriundos do corredor de migração leste.
Fonte: Trabalho de campo.

A partir dos mapas hipsométrico e de declividade, foi possível associar as áreas da bacia hidrográfica com maiores e menores cotas altimétricas e consequentemente identificar a cobertura vegetal presente. A figura 48 identifica a paisagem da área de estudo, onde é possível observar os diferentes patamares e a característica da vegetação local.

Figura 48. Visualização da bacia do rio Botucaraí, Rio Grande do Sul.
Fonte: Trabalho de Campo.

As maiores cotas altimétricas concentram-se no Planalto e as menores na depressão central, principalmente próxima à rede hidrográfica do rio Botucaraí e seus afluentes, como será detalhado no próximo item.

A partir da imagem anterior também é possível visualizar as altas declividades presentes na bacia hidrográfica, em primeiro plano, e os locais, com média e baixa declividade, ao fundo, pertencentes à depressão central do Rio Grande do Sul.

6.3 RELAÇÃO DAS FORMAS DE RELEVO COM AS TIPOLOGIAS DE SOLOS DOMINANTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOTUCARAÍ

6.3.1 Relevo condicionando os tipos de solos

De acordo com os mapeamentos temáticos realizados na área de estudo, identificaram-se formas de relevo associados aos principais tipos de solos e por consequência, vinculados à estrutura litológica da bacia hidrográfica.

A característica pedológica da bacia hidrográfica do rio Botucaraí se estrutura em diferentes tipologias, associadas aos elementos constituintes da paisagem local. Neste espectro destacam-se metodologias de classificação que designam propriedades específicas associadas a estas tipologias.

Como foi especificado no capítulo 6.1, a configuração do relevo na área local representa diferenças entre os patamares topográficos e apresenta declividades altas na porção norte, onde se situam as unidades geomorfológicas do Planalto Meridional e da Serra Geral; e, apresenta declividades médias e baixas, dispostas na Depressão Central e na planície de inundação do Rio Botucaraí.

A partir do mapa do relevo, gerado pelo IBGE (2003), adaptado para a área de estudo, definiram-se as unidades geomorfológicas que compreendem a bacia hidrográfica do rio Botucaraí. Desta forma, foi possível identificar a disposição e as características das formas de relevo presentes.

A interpretação baseou-se também a partir das informações obtidas pelo mapa Hipsométrico e pelo mapa de declividades, onde foi possível a interpretação das classes altimétricas e clinográficas. Desta forma, realizou-se o reconhecimento da fisionomia da paisagem da área de estudo, associando-a com a fisiologia, que

expressa a dinâmica e gênese de formação da área, consequência da composição litológica, que determinou o predomínio das tipologias de solos dominantes na bacia hidrográfica.

Assim, o mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Botucaraí (Figura 49) identificou as classes altimétricas que definem a disposição da topografia na bacia ao longo das áreas de transição entre o Planalto e a Depressão central, patamares onde se verifica a maior diferença altimétrica da bacia.

Figura 49. Mapa Hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, Rio Grande do Sul.

São 10 classes hipsométricas que representam as altitudes da bacia hidrográfica. Neste sentido, de forma geral, as maiores cotas altimétricas concentram-se no Planalto Meridional e as menores na depressão central, principalmente no médio curso da bacia hidrográfica, onde se localiza o curso d'água principal, o rio Botucaraí.

Especificamente, a partir da análise do mapa Hipsométrico pode-se considerar algumas características:

- As maiores cotas altimétricas situam-se ao norte da área de estudo. As altitudes situam-se entre 160 a 600 metros;
- No médio curso da bacia hidrográfica as altitudes variam entre 20 e 60 metros;
- As altitudes intermediárias localizam-se mais no baixo curso da bacia e nas bordas da área de estudo, com altitudes que variam entre 60 a 120 metros.

Outra característica predominante na área de estudo são as suas declividades. A partir do trabalho de campo e das observações dos materiais cartográficos da região, foi possível analisar e mapear as classes de declividades identificadas para a área de estudo (Figura 50).

Desta forma, o mapa Clinográfico gerado identificou a representação da configuração das declividades, expressa nas seguintes classes:

- I) de 0-2%;
- II) de 3-15%;
- III) de 16-30%;
- IV) de 30-0%
- V) maior que 50%

Destaca-se que, a definição das classes, teve como base a classificação proposta por Ross (1994), que estabeleceu estes intervalos, utilizando aqueles já consagrados nos estudos de Capacidade de Uso/Aptidão Agrícola associados aos valores já conhecidos de limites críticos de geotecnia (SPORL; ROSS, 2004).

A primeira característica identificada no mapa clinográfico, foi a predominância na bacia hidrográfica, das declividades entre 0 e 2%, principalmente situadas na área correspondente aos depósitos aluviais.

Figura 50. Mapa Clinográfico da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, Rio Grande do Sul.

De acordo com o Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul (UFSM/SEMA-RS, 2001, p.9), “essas áreas apresentam sedimentos Quaternários com variação textural (depósitos arenosos, areno-argilosos e cascalhos), permeabilidade e erosão variáveis e com lençol freático próximo ou na superfície”. Desta forma, “favorecem o escoamento superficial, com possibilidade de formações de sulcos ou ravinas”.

Com relação às declividades entre 3 e 15%, o mapa clinográfico identificou sua disposição nas bordas da bacia hidrográfica. Estas declividades não estão concentradas em um único ponto e muitas vezes estão situadas na área correspondente.

As declividades do intervalo de 16 a 30% situam-se na porção sul da bacia, área correspondente às formações do terciário, no rebordo do planalto e ao norte da bacia, intercaladas pelo Planalto e pela Serra Geral.

Outra característica importante na análise do mapa clinográfico, é que há o predomínio das altas declividades ao norte da área de estudo, principalmente no Planalto Meridional e na Serra Geral.

Visualmente é possível identificar que as classes de 31 a 50% e as declividades maiores do que 50% estão neste setor da área de estudo, que coincide com as maiores elevações identificadas a partir do mapa hipsométrico.

Diante das informações analisadas nos mapas hipsométrico e clinográfico, se evidenciam algumas constatações quanto à influência dos patamares topográficos, na definição das litologias que caracterizam a bacia hidrográfica em estudo.

Por exemplo, a diferença existente entre as partes mais elevadas e as com declividades mais baixas são os sinais mais evidentes da relação entre estes componentes da paisagem.

Como destacam Miguel et al. (2012, p.447), “em áreas de encosta, devido à combinação de relevo forte ondulado a montanhoso, é comum a ocorrência de solos com profundidade variável, havendo o predomínio de solos rasos”. Desta forma, só esta primeira informação já remete a influência do relevo na constituição e estrutura dos solos existentes.

Streck et al. (2002) caracterizando a litologia da depressão central verificou a presença de Argissolos no topo e na base do planalto e os Planossolos e Gleissolos

na área mais rebaixada, como apresentado no perfil topográfico em recorte (Figura 51).

Figura 51. Perfil topográfico das classes de solos na área de estudo.
Fonte: Streck et al. (2002).

6.3.2 Litologia condicionando os tipos de solos

Outra constatação refere-se às associações aferidas sobre a litologia, fortemente influenciadas pelo processo de formação das rochas. Desta forma, verificou-se a relação existente entre os Basaltos ou Riólitos na área de estudo, que influenciaram no tipo de solo que foi gerado, caracterizando-se de forma diferenciada, em cada porção da bacia hidrográfica (Figura 52).

As análises realizadas através de trabalho de campo na bacia hidrográfica do rio Botucaraí permitiram a identificação das características presentes na litologia e sua relação com o solo na área de estudo.

Como foi apresentado no capítulo anterior, a área de estudo compreende as seguintes litologias:

- Q4a (Depósitos Aluviais);
- T1sc (Formação Sanga do Cabral);
- T23sm – Formação Santa Maria;
- T3c – Formação Caturrita;
- K1 α cx – Fácies Caxias;
- K1 β Gr – Fácies Gramado;
- J3 k1 bt – Formação Botucatu.

Figura 52. Perfil topográfico das classes de solos no Rebordo do Planalto.

Fonte: Streck et al. (2002).

Neste sentido, considera-se que na área de estudo, predominam as rochas magmáticas extrusivas ou vulcânicas, geradas quando o magma se solidifica na superfície terrestre, ao contrário das rochas magmáticas intrusivas ou plutônicas, gerada pela solidificação do magma interior da crosta terrestre.

Estas rochas vulcânicas possuem duas fácies, como pode ser observado no mapa geológico apresentado anteriormente, que são a *fácies* Caxias, com característica mais ácida e com maior porosidade e a *fácies* Gramado, com característica básica, mais argilosa. A figura 53 identifica afloramento onde é possível verificar o contato entre as duas estruturas.

Figura 53. Contato entre Fácies Caxias e Gramado.

Fonte: Trabalho de campo.

A fácies Caxias tem a tendência a formar solos mais siltosos, o que permite uma facilidade maior de circulação da água. Desta forma, Pedron (2007, p.14) descreve que, “comparando-se rochas básicas com ácidas, observa-se a maior concentração de sílica nos materiais ácidos, enquanto nos básicos encontram-se teores mais elevados, principalmente, de Fe, Ca e Mg”.

Esta característica é observada por Pedron (2007, p.14) a partir da tabela 4 (SARTORI et al., 1975), onde as maiores taxas de K são identificadas nos riólitos, devido à maior presença de feldspato potássico. “A composição química do magma afeta a formação dos minerais que compõem a rocha e, conseqüentemente, suas características químicas e físicas”.

Destaca-se também que 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 riolítico e riólito.

Tabela 4. Comparação entre rochas básicas com ácidas na Depressão Central do RS.

Elementos (óxidos) %	Básica (1)	Básica (1)	Básica (1)	Ácida (1)	Ácida (2)
SiO ₂	55,72	54,48	51,75	67,39	64,88
Al ₂ O ₃	14,01	14,34	16	11,68	14,52
Fe ₂ O ₃	7,18	9,39	8,89	4,28	5,63
MnO	0,25	0,31	0,16	0,06	0,12
CaO	5,68	5,71	6,92	2,29	2,34
Na ₂ O	2,2	2,33	2,97	2,93	2,75
K ₂ O	3,01	3,32	2,79	6,24	3,52
TiO ₂	0,34	0,38	0,42	0,1	3,02
MgO	2,69	2,37	2,94	0,61	1,09
P ₂ O ₅	0,07	1,01	1,03	0,07	0,3

1. Rochas da região de Santa Maria, RS (SARTORI et al., 1975);

2. Rochas da região de Campestre da Serra, RS.

Outra característica observada, é que a litologia na área de estudo, a qual se relaciona com as formações geológicas encontradas na bacia hidrográfica foi: Santa Maria e a Caturrita, originadas do Triássico médio e superior.

De acordo com Pedron et al. (2012, p.3), com base em Sartori (2009), a Formação Santa Maria refere-se a “material sedimentar constituído por dois fácies”:

- um inferior, chamado de Membro Passo das Tropas, de origem fluviolacustre, formado por arenitos feldspáticos grosseiros e siltitos arenosos;
- e outro superior, denominado Membro Alemoa, de origem controvertida (lacustre ou loess), constituído por lamitos (siltitos argilosos) maciços com concreções calcárias.

Com relação à Formação Caturrita, Pedron et al. (2012, p.3) destaca que, esta unidade litológica identificada na área de estudo refere-se a “material sedimentar de origem fluvial, constituído por arenitos finos a médios de composição quartzosa e matriz argilosa, podendo conter considerável teor de feldspato e, ainda, fácies pelíticas”.

Os autores descrevem ainda que, a formação Caturrita “apresenta comportamento predominante de aquífero, assim como o membro Passo das Tropas da Formação Santa Maria”.

A partir destas considerações pode-se inferir como resultado preliminar, a associação entre a litologia presente, as fácies Caxias e Gramado, apresentando características diferenciadas, ou seja, uma ácida e outra básica, o que reflete no tipo de solo.

6.4 INFLUÊNCIA DOS ASPECTOS FÍSICOS NA OCUPAÇÃO DA TERRA E PAISAGENS ANTRÓPICAS

Este capítulo relaciona os aspectos físicos da paisagem na bacia hidrográfica do rio Botucaraí e sua influência no surgimento de paisagens antrópicas.

Neste sentido, a avaliação do uso e ocupação da terra permite a identificação e o diagnóstico da intervenção antrópica sobre áreas originalmente compostas pela natureza de primeira ordem, mas que ao longo do tempo foram modificadas, sendo utilizadas em prol das atividades inerentes ao desenvolvimento econômico-social.

Sobre esta questão, Ross (1994) destaca que, “é cada vez mais significativa esta modificação antrópica da natureza, assim, define que, o homem ao se apropriar do território e de seus recursos naturais, causa grandes alterações na paisagem, com um ritmo muito mais intenso que aquele que normalmente a natureza imprime”.

Estas modificações alteram a funcionalidade da paisagem, interferindo em processos que podem comprometer a estabilidade de bacias hidrográficas, de cidades e de áreas onde as sociedades estão localizadas. Por exemplo, ao substituir florestas e áreas de campo pela agricultura, principalmente a mecanizada, tem-se uma mudança nos processos de recarga do subsolo ou da dinâmica funcional dos sistemas ambientais.

Estas alterações se enquadram na percepção do homem como ser biológico e social atuando no “Estrato Geográfico da Terra”, como define Grigoriev (1968) e tais alterações influencia nas características dos Geossistemas e suas subdivisões (apresentadas por inúmeros autores, desde a escola francesa e soviética até mais recentemente).

Neste contexto, os resultados gerados nesta pesquisa permitiram a identificação destas interferências na bacia hidrográfica do rio Botucaraí, expressos no mapeamento do uso e cobertura da terra.

A figura 54 apresenta o mapa com classificação do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

Figura 54. Uso e Cobertura da Terra na Bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

As primeiras considerações a respeito das modificações apresentadas na área são representadas pelas classes identificadas, que são os campos naturais, a mata galeria associada aos cursos d'água, a vegetação densa da Floresta Estacional Decidual e as terras com uso agrícola, além da classe água, identificada na rede hidrográfica, lagos e pequenos açudes.

Com a representação cartográfica das unidades de uso da terra realizou-se algumas considerações a respeito da influência destes elementos no surgimento das paisagens antrópicas na área de estudo, como poderá ser observado no item a seguir.

6.4.1 Mudanças no uso e cobertura da terra alterando os aspectos físicos da paisagem

Analisando o mapa do uso e cobertura da terra, torna-se perceptível que, as características encontradas na área de estudo, tem influência na configuração da paisagem local.

Sabe-se que a bacia hidrográfica situa-se na interface entre o Planalto Meridional basáltico, a escarpa da Serra Geral, a Depressão central, e a planície fluvial do Rio Botucaraí. Neste caso, identificaram-se diferenciações entre os elementos da paisagem, principalmente os existentes entre os diferentes patamares topográficos, os mais altos e os relativamente baixos, e aqueles que podem ser visualizados nas terras utilizadas para fins agrícolas.

A vegetação (Floresta Estacional Decidual) concentra-se ao norte da área de estudo, na porção da bacia onde se localizam o rebordo do Planalto e Serra Geral. Nota-se uma espacialização, cujos fragmentos ainda remetem a característica de mata fechada, em áreas onde a ocupação urbana ainda não conseguiu avançar, muitas vezes pelo difícil acesso devido as altas declividades existentes.

Neste espectro, quando se analisa a ocupação do estado do Rio Grande do Sul e conseqüentemente da área de estudo, pelos povos colonizadores, verifica-se que alguns condicionantes naturais foram importantes na organização espacial destes primeiros habitantes, são eles o relevo e a vegetação.

Como destaca Scipioni (2008, p. 10) “foi “o relevo e a vegetação florestal que determinaram a forma e a cronologia de progressão das atividades de uso do solo para o interior do Estado”.

As formas de relevo, como montanhas e as serras e a vegetação, influenciavam a localização dos primeiros habitantes do estado. Desta forma, instalaram-se inicialmente em áreas planas, de vegetação campestre, às quais proporcionaram a introdução da pecuária (SCIPIONI, 2008).

Da mesma forma, a configuração atual da vegetação espacializada no mapa do uso da terra reflete esta influência, já que grande parte da vegetação existente se situa nas partes da bacia onde estão formas de relevo, cujo acesso e ocupação são mais restritos, devido, sobretudo as altas declividades.

A partir do mapa de uso e cobertura da terra observou-se também que houve uma constante degradação da vegetação na bacia hidrográfica do rio Botucaraí ao longo dos anos. Identificam-se “marcas” deixadas pela vegetação que originalmente situava-se na região.

Nas altitudes mais elevadas, localizadas no Planalto Meridional e na Serra Geral, estão localizados os fragmentos de vegetação mais homogêneos, que ocupam áreas mais extensas. As bordas do planalto (rebordo) também se caracterizam majoritariamente pela presença da vegetação densa.

A partir da figura 55 visualizam-se a disposição de fragmentos de floresta, que predominantemente localiza-se nas áreas topograficamente mais elevadas e no rebordo do Planalto, que nas observações de Müller Filho, (1970) apud Schirmer et al. (2013, p. 202) “marca a passagem das terras baixas da Depressão para as terras altas do Planalto e se caracteriza por morros e morrotes isolados e vales encaixados, como se visualiza na imagem anterior”.

Neste sentido, considera-se que a ocupação desta área é bem restrita devido à fisionomia composta pelo relevo mais íngreme, impedindo a localização de residências e a utilização das terras para fins agrícolas.

Figura 55. Mata ciliar presente na rede hidrográfica da área de estudo vegetação densa nas áreas elevadas.

Fonte: Google Earth.

Outra classe identificada a partir do mapa de uso e ocupação da terra foi a mata galeria, disposta nas margens da rede hidrográfica, ocupando uma área maior entre os cursos d'água de primeira ordem.

A constatação mais relevante a respeito destas áreas está na sua reduzida presença em cursos d'água de ordens inferiores e de menor extensão. Este fato corrobora com o comprometimento das Áreas de Preservação Permanentes (APP), existentes nos municípios que compreendem a bacia hidrográfica, e na qual, as matas ciliares possuem função importante, conforme considerado originalmente no Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651, de 2012).

A partir da imagem a seguir (Figura 56) é possível identificar a mata ciliar presente nas margens do rio Botucaraí. Destaca-se que, esta vegetação possui importante papel na funcionalidade ambiental das áreas onde estão situadas, configurando-se como parâmetro de manutenção da diversidade da flora e da fauna locais.

Figura 56. Mata ciliar presente nas margens de curso principal da bacia, Rio Botucaraí.

Fonte: Trabalho de campo.

Além do já mencionado, as matas ciliares, como destacam Lima et al. (2009, p.686) atuam também “na proteção dos recursos hídricos, para continuidade dos corredores de dispersão da flora e da fauna que colonizam esses ambientes”.

Devido à falta de vegetação ciliar nas margens de cursos d'água ou aterramento de várzeas, o solo cede vindo a assorear o leito do rio, transbordando sua água, acarretando em enchentes.

A figura 57, imagem do aplicativo Google Earth, identifica a mata ciliar localizada nas margens dos cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

A imagem ilustra uma situação identificada em campo, ou seja, a constatação da redução na área ocupada pela mata ciliar, a partir do aumento das áreas agrícolas, principalmente nas margens dos cursos d'água.

São diversos pontos da bacia hidrográfica, principalmente nas áreas próximas ao rio Botucaraí e seus afluentes, onde a introdução de cultivos agrícolas, principalmente o arroz, cedeu lugar à vegetação ciliar anteriormente existente.

Figura 57. Mata ciliar presente na rede hidrográfica da área de estudo.

Fonte: Google Earth

Nesta imagem é possível verificar a reduzida presença deste tipo de vegetação, não formando fragmentos significativos que possam se conectar uns aos outros através de corredores de vegetação para a flora e fauna locais.

Neste caso, de acordo com Oliveira-Filho et al. (1994) apud Lippert (2012, p.1298) a substituição da vegetação original para a inserção da agricultura “fraciona e reduz o espaço dos ecossistemas naturais, contribuindo para o assoreamento, o aumento da turbidez das águas”, entre outros, causados sobretudo, pelo mau uso do solo.

A influência dos aspectos físicos também se reflete nas outras classes de uso e cobertura mapeadas, principalmente os campos naturais, que tem sua ocorrência associada “a uma topografia suave, apresentando uma cobertura herbácea continua, que pode ser entremeada de subarbustos isolados ou em tufos (...) de gramíneas e as ciperáceas, que formam um verdadeiro tapete herbáceo” (ALONSO, 1977, p.94).

Sua ocorrência, identificada no mapa vincula-se, principalmente, à porção sul da bacia e na parte central da Depressão central. Ocorre também, em menor quantidade, nos topos dos morros da Serra Geral e nas zonas elevadas do planalto, ao norte da área de estudo.

Analisando-se o mapa de uso e cobertura da terra pode-se afirmar que, os campos naturais representam a classe de maior ocorrência na área de estudo. Em

relação ao total das classes identificadas, representam 42,49% do total da área que compreende a bacia. A tabela 5 identifica os percentuais de ocorrência de cada classe identificada no mapa de uso e cobertura da terra da área de estudo.

Tabela 5. Classes de Uso da terra, identificadas na bacia hidrográfica do Rio Botucarai (em %).

CLASSES	%
Campos Naturais	42,49
Mata Galeria	9,07
Floresta	15,46
Terras com Uso Agrícola	30,88
Água	2,1
Total	100

Conforme a tabela, as outras classes ocupam áreas mais reduzidas, destacando-se as áreas com uso agrícola, com mais de 30% da área total da bacia. Esta classe situa-se em grande parte, paralela à rede de drenagem, com uso intensivo, apresentando muitas vezes, solos descobertos, que estão sendo preparados para plantio, ou onde foram realizadas colheitas recentes.

Destaca-se que, grande parte destas áreas agrícolas, principalmente as localizadas ao sul da área de estudo se vinculam a produção de arroz, com destaque para o município de Cachoeira do Sul, situado à jusante da bacia hidrográfica, um dos maiores produtores do Brasil atualmente.

Entretanto, ressalta-se que nesta classe são encontradas áreas com solo exposto que não se destinam apenas a rizicultura.

Estas áreas, principalmente as situadas na Depressão Central, estão mais afastadas da rede de drenagem, e o tipo de cultura que predomina é a soja, identificando-se também áreas agrícolas com a produção de fumo, cebola, batata, milho e feijão.

6.4.2 As ações antrópicas que levam a modificação estética da paisagem

A análise da degradação da mata ciliar e a substituição de áreas de campos a partir da inserção de áreas agrícolas, além da ocupação por lotes residenciais,

diminuindo a vegetação primária existente anteriormente, nos revela como a ação do homem transforma o estrato geográfico, do qual faz o mesmo faz parte.

Como afirma Rodriguez et al. (2007, p.154) “a modificação e transformação da paisagem pelas atividades humanas subordinam-se, em primeira instância, às normas da interação entre a natureza e a sociedade”. Desta forma, destacam que, esta transformação “têm, antes de tudo, um caráter dialético e complexo”.

Esta característica apontada pelos autores se expressa de forma coerente porque o homem modifica o espaço territorial com a inserção de diversos usos, inicialmente com fins de subsistência e também para utilização com objetivos econômicos. Neste sentido, interfere e modifica o próprio meio que habita e que é necessário para o seu bem-estar e sua sobrevivência.

Ao realizar estas intervenções o homem não altera diretamente a dinâmica funcional da paisagem, que está ligada a gênese do qual o ambiente foi formado, ou seja, na constituição das rochas, que levaram a formação dos solos e por consequência propiciou a “aparência” que a paisagem se apresenta atualmente³.

Entretanto, mesmo não sendo o responsável pela modificação na gênese da paisagem, o homem realiza algumas alterações significativas, sobretudo em escala local, as quais interferem de certa forma, na fisiologia da paisagem atual, ou seja, altera as intensidades dos fluxos, como por exemplo, nos desvios de rios, cortes de estradas, barragens, quebra-mares, entre outros.

Neste sentido, as ações humanas agem mais diretamente na modificação da “estética” da superfície terrestre, estando ligadas mais a sua fisionomia do que propriamente na alteração da sua funcionalidade. Entretanto, as mudanças identificadas no uso e na cobertura da terra, refletem a mudança, não estrutural, mas, no conjunto da paisagem.

Por esta lógica verificou-se que na área de estudo que a influência do relevo foi o condicionante, ou aspecto físico, que teve maior peso para a configuração da fisionomia da paisagem atual, em termos de ocupação antrópica (Figura 58).

3 Vitte (2007) destaca que, “recuperando o conceito de fisiologia da paisagem, Ab’Saber compreendeu a paisagem como sendo o resultado de uma relação entre os processos passados e os atuais. Assim, os processos passados foram os responsáveis pela compartimentação regional da superfície, enquanto que os processos atuais respondem pela dinâmica atual das paisagens”.

Figura 58. A ocupação não alcança os patamares mais elevados na área de estudo.

Fonte: Trabalho de Campo.

Por tratar-se de uma "barreira" física, o relevo não possibilitou que a sociedade ocupasse as áreas íngremes e impediu de certa forma que houvesse uma alteração ainda mais significativa na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

Partindo destas considerações, considera-se que o relevo se configura em protagonista "no processo de ocupação do espaço, cujas formas ou modalidades de apropriação respondem pelo comportamento da paisagem e suas consequências" (CASSETI, 2005, p.2).

Neste caso, constata-se um padrão da ação antrópica, quando considera os componentes da paisagem, não apenas o relevo. A vegetação como já foi referenciada foi o elemento do meio físico onde houve maior alteração a partir da ação antrópica, ou seja, foi onde as interferências do homem agiram de forma mais concreta, visto que para o seu estabelecimento em diversas porções da área de estudo tiveram que ocupar o espaço dos fragmentos arbóreos.

Cassetti (2005, p.2) destaca que "mesmo a ação indireta do homem, ao eliminar a interface representada pela cobertura vegetal, altera de forma substancial as relações entre as forças de ação (processos morfogenéticos ou morfodinâmicos)".

Relata ainda que, estas alterações podem gerar desequilíbrios morfológicos ou impactos geoambientais nas áreas onde houve esta interferência antrópica.

Neste caso, partindo para uma análise mais organizada da ação antrópica na bacia hidrográfica do rio Botucaraí, verifica-se que a referida alteração da paisagem compõe uma estrutura mais vertical de alteração da paisagem, especificadamente a ação antrópica na Depressão central, no Planalto Meridional, na Serra Geral e nas planícies de inundação do rio Botucaraí (Figura 59).

Figura 59. Área agrícola com cultivo do arroz na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.

Fonte: Trabalho de Campo.

A Depressão Central, por apresentar declividades relativamente baixas, com solos sedimentares mais espessos, bem drenados e com vegetação de campo herbáceo-arbustiva (MACIEL-FILHO, 1990), proporciona uma ocupação urbana e o desenvolvimento de atividades agrícolas em taxas mais altas quando comparada com os outros conjuntos fisiográficos do qual a área de estudo faz parte.

Por outro lado, a unidade do Planalto Meridional, com variação altimétrica próximas aos 600 metros, no trecho norte da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, formada por um pacote de rochas vulcânicas básicas e ácidas no topo, impede uma urbanização e ocupação agrícola mais eficaz. Por esta razão a ocupação urbana e agrícola e consequentemente a ação antrópica ocorrem nas áreas de topos mais planos da área de estudo.

A figura 60 identifica algumas intervenções na paisagem pela ocupação a partir da inserção de edificações e equipamentos urbanos na área de estudo.

Figura 60. Alteração da paisagem pela ocupação humana na bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.
Fonte: Trabalho de Campo.

Neste sentido, Ross (2009, p.64-65) considera que, estas alterações antrópicas “afetam cada vez mais a funcionalidade do sistema e com frequência induzem graves processos degenerativos do ambiente natural em um primeiro momento, e a própria sociedade em prazos mais longos”.

É sob esta perspectiva que se inserem as colocações de Sochava sobre a noção de geossistema como “potencial ecológico de determinado espaço no qual há uma exploração biológica, podendo influir fatores sociais e econômicos na estrutura e expressão espacial”.

Considera-se também que, a ação antrópica contribui para a aceleração dos processos morfogenéticos, estas transformações, ocorrem, sobretudo na atividade evolutiva do modelado, se constituindo nas modificações tectogênicas (CASSETTI, 2005)

Ainda, observam-se outras alterações antrópicas, como por exemplo, as relacionadas ao uso intensivo da água para irrigação das lavouras, principalmente na

produção do arroz, que demanda grande quantidade de água para o desenvolvimento deste cultivo, entre outras.

6.5 APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ANÁLISE POR COMPONENTES PRINCIPAIS NA IDENTIFICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DA FISIONOMIA E FISIOLOGIA DAS PAISAGENS NATURAIS

Os resultados gerados com a aplicação de Análise de Componentes Principais (ACP) permitiram a verificação da contribuição da técnica em verificar as relações existentes entre os elementos da paisagem estudados e revelar interfaces que denotam uma interconexão com estes elementos na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

A interação entre estes componentes e os componentes do meio físico, analisados sob o enfoque do sensoriamento remoto, possibilitou em um primeiro momento, realizar algumas analogias que revelaram o quanto as informações comuns a cada banda espectral das imagens de satélites foram essenciais na análise pretendida.

Sob este aspecto, Shimabukuro et al. (2009, p.406) considera que, é a partir desta interação fornecida pelo sensoriamento remoto, que ele “passou a ser largamente utilizado (...) por permitir o rápido monitoramento, a avaliação de importantes variáveis ambientais e de diversos outros fatores relacionados com as atividades humanas”.

Neste contexto, nesta pesquisa, a utilização do Sensoriamento Remoto (SR) foi imprescindível para identificação e interpretação da fisionomia e a fisiologia da paisagem na área selecionada.

Neste caso, os procedimentos realizados complementaram os dados, estatísticas e os resultados de cada capítulo anterior, permitindo observar as interfaces geradas a partir dos Componentes Principais (CP's), além de verificar a correlação entre os elementos estudados.

Desta forma, foi possível buscar o entendimento a respeito da fisiologia, adotada neste trabalho, como a expressão do funcionamento atual da paisagem, dos processos e da funcionalidade dos seus componentes e, da fisionomia, que

corresponde a descrição e a caracterização das paisagens. A partir disto, a análise conjunta da fisionomia e fisiologia permitiu uma melhor compreensão das inter-relações e conexões existentes na área de estudo.

Sendo assim, os resultados gerados, a partir das imagens de satélites (Sensor ETM8 Landsat), compreenderam a representatividade das componentes principais, a partir de 11 bandas espectrais, sendo que destas, utilizou-se as cinco primeiras CP's, as quais possuíam a maior representatividade dos dados e das informações geradas.

Para a execução deste procedimento, as combinações entre bandas e entre os mapas temáticos elaborados, compuseram a análise com imagens de CP's com todas as bandas, com a combinação de bandas aleatórias, combinação com mapas específicos (Uso e cobertura da Terra, Vegetação, Solos, Litologia e mapa do relevo).

Também foi realizado, “zoom” específico em determinada característica que se considerou importante na explicação e/ou entendimento dos objetivos propostos para a realização da pesquisa na área de estudo, com as imagens geradas a partir da ACP.

6.5.1 Representatividade e contribuição das Componentes principais

Como já referenciado, a partir de diversos estudos que tratam sobre a ACP, a sua aplicação se baseia na verificação da variância dos dados nas CP's geradas. Neste caso, as primeiras componentes geradas podem explicar uma proporção elevada da variação do conjunto original total das CP's que foram processadas.

Este fato se explica logicamente porque, durante o processo de cálculo das Componentes Principais, a maioria das informações comuns a todas as bandas multiespectrais concentra-se na primeira Componente Principal (CP1). Nas próximas CP's geradas ocorre uma diminuição da variabilidade dos dados.

Como destaca Varella (2008, p.3) a ACP “agrupa os indivíduos de acordo com sua variação, isto é, os indivíduos são agrupados segundo suas variâncias, ou seja, segundo seu comportamento dentro da população”.

Como ocorre na CP1, este comportamento é representado pela variação do conjunto de características que define o indivíduo, ou seja, a ACP agrupa os indivíduos de uma população segundo a variação de suas características.

Nesta perspectiva, o primeiro resultado gerado a partir da aplicação da ACP reflete este propósito, consolidando a contribuição das CP's para a identificação de interfaces importantes para a análise pretendida. As primeiras bandas explicitaram a maior parte da variabilidade dos dados e da variância do conjunto das CP's.

Interpretando-se a estatística básica da geração das componentes, verifica-se que, a referida variância se confirma nos dados gerados para a bacia hidrográfica do Rio Botucaraí. A tabela 6 identifica os valores máximos e mínimos, o desvio padrão e a representatividade dos autovalores (porcentagem de variância de cada Componente Principal).

Tabela 6. Estatísticas Básicas das CP's oriundas das 11 bandas, a partir da imagem Landsat.

	Min	Max	Média	Desvio Padrão	Autovalores
CP 1	0	24665	4838.698209	4829.986190	660398463.996138
CP 2	0	16053	4442.844825	4441.679890	5651052.003320
CP 3	0	19944	4301.034362	4317.526904	2965620.103734
CP 4	0	21835	4057.371717	4136.666668	533307.549689
CP 5	0	27006	8197.046726	8367.689139	120105.615199
CP 6	0	48358	6495.215463	6810.029342	70945.753831
CP 7	0	52839	4863.202381	5137.514163	17653.397219
CP 8	0	53248	10294.198060	10261.482423	6700.942532
CP 9	0	5929	2536.622268	2528.080995	2956.055033
CP 10	0	31616	13522.238229	13494.200887	626.905432
CP 11	0	28196	12.457.212.746	12.425.219.848	438.021506

Os dados apresentados na tabela vão ao encontro do especificado por outros estudos (CHAVES et al.,1991; PEREIRA et al., 2010), pois, identificam que a primeira componente - CP1 (Figura 61) apresentou a maior contribuição com relação as informações geradas pelo conjunto das bandas utilizadas para a geração da CP's.

Figura 61. Representação da 1ª Componente Principal da bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.

Esta componente concentra a maior variabilidade dos dados obtidos no conjunto de todas as componentes geradas.

Desta forma, a representatividade expressa pelos autovalores, porcentagem de variância de cada Componente Principal, foi positiva, 98,60%, o que significa que esta porcentagem expressa a maior quantidade de informações concentradas para esta imagem, constituindo-se no conjunto de variabilidade dos dados que melhor correlaciona as CP's geradas.

“Os autovalores representam o comprimento dos eixos das componentes principais de uma imagem e são medidos em unidade de variância” (INPE, 2016, p.1).

Neste sentido, destaca-se que, a representatividade dos autovalores da CP1 identificados para a área de estudo é considerada alta, quando comparados com resultados encontrados em outros estudos.

Sato et al. (2011) obtiveram como resultados uma representatividade de 85% nos valores do autovetores, relativa as mudanças que ocorreram em relação a vegetação, Antunes (2012) em estudo com a ACP e sua variação a partir do NDVI, identificaram 85,83% no valor dos autovalores e Castro et al, (2008) em estudo sobre elementos físicos da paisagem, obtiveram um conjunto de variáveis que explicam aproximadamente 70% da variância comum total.

Esta representatividade positiva mostra a contribuição das bandas iniciais para uma maior correlação dos dados, pois, a maior variância (maior contraste) das bandas iniciais, contrasta com a menor variância das últimas bandas utilizadas, comportamento observado nos dados gerados para a bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.

A tabela 7 apresenta os dados da correlação das cinco primeiras bandas da imagem selecionada para a geração da ACP na área de estudo. Os dados se relacionam a correlação entre as CP's e expressam valores relacionados ao pixels das imagens.

Sobre esta questão, publicação do INPE (2016), destaca a alta correlação das bandas individuais de uma imagem multiespectral, destacando que, essas bandas são similares, visual e numericamente.

“Esta correlação advém do efeito de sombras resultantes da topografia, da sobreposição das janelas espectrais entre bandas adjacentes e do próprio comportamento espectral dos objetos” (INPE, 2016, p.1).

Tabela 7. Estatísticas Básicas das CP's das 11 bandas da imagem Landsat.

Correlação	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
CP 1	1.000.000	0.999702	0.997592	0.987105	0.974086
CP 2	0.999702	1.000.000	0.998756	0.990507	0.972119
CP 3	0.997592	0.998756	1.000.000	0.994242	0.972009
CP 4	0.987105	0.990507	0.994242	1.000.000	0.948652
CP 5	0.974086	0.972119	0.972009	0.948652	1.000.000
CP 6	0.959078	0.961464	0.965532	0.962859	0.958706
CP 7	0.955199	0.959002	0.963577	0.969399	0.938256
CP 8	0.998354	0.996898	0.992974	0.978023	0.975268
CP 9	0.998430	0.996901	0.992846	0.977570	0.976359
CP 10	0.998595	0.997605	0.994682	0.981378	0.977177
CP 11	0.998772	0.997668	0.994509	0.980778	0.977340

Na tabela 8, apresentam-se os dados da matriz de covariância para as três primeiras bandas geradas.

A análise de Componentes Principais relacionada à explicação da estrutura de covariância por meio de poucas combinações lineares das variáveis originais em estudo, ou seja, relaciona a estrutura de variância-covariância da matriz de dados através de combinações lineares não correlacionadas das “p” variáveis originais.

Tabela 8. Matriz de covariância para as três primeiras bandas geradas.

Covariância	CP 1	CP 2	CP 3
CP 1	19266216.239018	17694712.744.843	17123532.385828
CP 2	17694712.744843	16267416.915303	15762028.470302
CP 3	17123532.385828	15762028.470302	15333748.560249
CP 4	16072419.879321	14843475.558738	14486222.244307
CP 5	32901030.961332	30158232.268767	29321682.567974
CP 6	26483266.957978	2446.808.888263	23995971.556439
CP 7	19533169.237124	18085380.398701	17735190.073701
CP 8	39769120.491882	36456349.521852	35199129.285204
CP 9	10039866.931156	9202150.407192	8879801.938512
CP 10	51697449.377152	47433143.198518	45887914.136091
CP 11	47824640.491863	43874555.296213	42435040.251716

Destaca-se que o comportamento apresentado pela segunda componente principal - CP2, concorda com o identificado em outras pesquisas que utilizaram a ACP. Neste sentido, a comparação é válida para CP.

Esta componente apresentou o comportamento esperado: porcentagem de representatividade dos autovalores muito reduzidos em relação a CP1, entretanto, quando comparado com as próximas CP's geradas pode-se considerar que a variância e a representatividade são muito superiores.

A partir do gráfico dos autovalores gerados (Figura 62), é possível verificar a diminuição da variabilidade dos dados, desde a primeira até as últimas CP's geradas.

Figura 62. Gráfico da representatividade das CP's geradas.
Fonte: Gerado Envi 4.7

A partir da primeira componente tem-se uma considerável diminuição da representatividade dos dados em cada uma das CP's. O primeiro autovalor corresponde à maior porcentagem da variabilidade total presente e, assim, sucessivamente com os demais.

Esse comportamento identificado no gráfico demonstra que, há um decréscimo significativo que se inicia na primeira componente e vai reduzindo mais suavemente até a estabilização da última componente identificada no gráfico dos autovalores.

Esta componente (CP2), junto com a CP1 contém a variabilidade dos dados mais significativa do conjunto. As componentes seguintes (CP3, CP4 e CP5), contêm uma menor variabilidade dos dados, até que a última CP gerada, praticamente conterá somente a informação que sobrar, a qual estará com número significativo de ruídos, se estabelecendo na CP menos significativa (CROSTA, 1992).

Neste sentido, analisando-se as informações da tabela 2 relacionadas a CP2 e a imagem gerada para esta componente pode-se inferir que a mesma expressou as diferenças entre o uso da terra, que foram evidenciadas na espacialização gerada pela imagem.

Assim, a partir da observação da imagem gerada pela CP2 (Figura 63), foi possível realizar a identificação e a interpretação das feições espectrais mais significantes desta componente.

Figura 63. Representação da 2ª Componente Principal da bacia hidrográfica do Rio Botucarai.

Nota-se que no médio curso da bacia hidrográfica, onde a rede de drenagem está associada a terras agrícolas, a coloração branca fica evidenciada. Neste caso, a interpretação a respeito desta característica, explica-se no fato de, identificar estas áreas como compostas por solo exposto, cujas atividades agrícolas, estão sendo executadas mais recentemente. Ou que, a antropização da área é mais intensa, realçadas pelas “manchas brancas” na ACP.

Oliveira-Junior (2008, p.1) em avaliação do uso de imagens de satélite para detecção de mudanças na bacia hidrográfica do rio Piabanha (região serrana do estado do Rio de Janeiro), a partir da ACP, considerou nos resultados da pesquisa que, “a análise comparativa das imagens classificadas permitiu identificar a diminuição das áreas cobertas por florestas e consequente acréscimo das áreas submetidas à ação antrópica”.

Neste caso, a associação entre o uso e cobertura da terra se faz mais presente, estabelecendo-se a relação de alteração da fisionomia da paisagem nestes locais, caracterizados por situarem-se em área de relevo relativamente baixo, nas planícies aluvio-coluvionares, compostas por planossolo hidromórficos.

Já as áreas com colorações mais escuras, em tons pretos, a associação identificada pode estar relacionada a áreas cuja atividade de plantio de cultivos já vem sendo desenvolvidas a muito tempo, havendo uma consolidação do terreno. Estas áreas estão sobrepostas a unidades geomorfológicas da depressão do Rio Jacuí, do qual o rio principal da bacia, Botucaraí é um afluente. As litologias identificadas nestas porções da bacia compõem-se principalmente por argissolos.

As outras feições identificadas a partir das componentes principais não trouxeram contribuições significativas que pudessem ser expressas a partir de correlações com o uso e cobertura da terra. É possível apenas identificar os patamares presentes na região da depressão central, quando comparado com o mapa clinográfico, revelando modificações acerca dos percentuais de declividades expressos no mapeamento.

A figura 64 se refere a CP3 e a figura 65 a CP4. Destaca-se a diminuição da variabilidade dos dados nestas componentes, já que ao longo das próximas CP's que vão sendo geradas, a variabilidade torna-se menos significativa em relação a todas as bandas das imagens.

Figura 64. Representação da 3ª Componente Principal da bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.

Figura 65. Representação da 4ª Componente Principal da bacia hidrográfica do Rio Botucarai.

As informações expressas por estas CP's indicam as mudanças do uso e cobertura da terra, evidenciadas através das tonalidades clara e escura das imagens. Percebe-se que as áreas do Planalto meridional e da Serra geral foram evidenciadas, assim como, a região que margeia o curso d'água principal da bacia hidrográfica, o rio Botucaraí.

Nestas imagens as combinações entre as CP's também permitiram identificar algumas informações importantes que evidenciam as características do uso e cobertura da terra.

A identificação destas características que se transformam em informações através dos dados gerados tem importância ao permitir uma melhor visualização das correlações entre os atributos do terreno. Desta forma, possibilitam uma diminuição do número de covariáveis apresentadas nos modelos logísticos (CATEN, 2008).

Por outro lado, a partir da banda 2 ocorre perda da informação espectral e a redução da dimensionalidade dos dados, o que implica na dificuldade de interpretação das CP's. A identificação de algumas conexões que seriam importantes para verificar a contribuição da ACP no estudo integrado da paisagem torna-se mais complexa.

Esta perda da variabilidade dos dados nas outras CP's geradas foi o fator que definiu a representação a partir de mapas das 5 primeiras componentes. As outras CP's geradas tornaram-se irrelevantes para a interpretação pretendida, de explicar as conexões entre os elementos que constituem a paisagem e individualizar uma característica importante que pudesse servir como chave de ligação entre os mesmos.

Um exemplo desta individualização foi apontada no trabalho de Castro et al. (2011), que aplicaram a ACP, partir da definição dos indicadores da paisagem, obtendo assim resultados que possibilitaram determinar conjuntos de indivíduos estatísticos que apresentaram paisagens semelhantes, ou pelo menos caracterizadas pelas mesmas variáveis.

Aquém desta individualização é representada como a imagem que apresentou a maior diminuição da variabilidade dos dados entre as cinco CP's apresentadas está a CP5 (Figura 66).

Figura 66. Representação da 5ª Componente Principal da bacia hidrográfica do Rio Botucarai.

Considera-se também, que a individualização ligada a correlação das bandas e a representatividade dos autovetores, constituiu na contribuição relativa de cada banda as CP's.

A partir da tabela 9, identifica-se que a banda 1, associada as cinco outras bandas iniciais selecionadas é que apresenta os maiores valores dos autovetores.

Tabela 9. Estatísticas Básicas das CP's das 11 bandas da imagem Landsat.

Autovetores	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
CP 1	0.187659	0.172476	0.167361	0.158352	0.319832
CP 2	0.064596	0.034439	-0.014588	-0.090343	-0.118178
CP 3	-0.093397	-0.116754	-0.113090	-0.289468	0.889794
CP 4	0.163802	0.237894	0.417746	0.676444	0.258765
CP 5	0.140635	0.077965	-0.138825	-0.261837	-0.023652
CP 6	-0.056249	-0.074461	-0.197727	-0.042525	0.150186
CP 7	0.518634	0.448387	0.366503	-0.522003	-0.025349
CP 8	-0.368857	-0.304440	0.729267	-0.278911	-0.030956
CP 9	0.180095	0.237065	-0.234051	-0.014897	0.017791
CP 10	0.404002	-0.554761	0.070287	0.055654	-0.003911
CP 11	-0.549023	0.479086	0.015269	-0.037817	-0.000384

De acordo com o INPE (2016, p.1), os autovetores “representam as direções dos eixos das componentes principais. São fatores de ponderação que definem a contribuição de cada banda original para uma componente principal, numa combinação aditiva e linear”.

6.5.2 Identificação de interfaces e sua relação com os componentes da paisagem

Para a bacia hidrográfica do Rio Botucaraí não foram realizadas análises temporais, entretanto, as mudanças identificadas no uso e cobertura da terra são visíveis na interpretação dos dados gerados pelas CP's.

A figura 67 apresenta *zoom* da área de estudo, a partir de imagem RapidEye, onde se pode visualizar o rio Botucaraí, localizado ao centro da bacia, na interface entre o Rebordo do Planalto e a área mais baixa da Depressão central. As áreas que estão sobre maior influência da ação antrópica possuem coloração que vão do roxo ao lilás.

Figura 67. Zoom da área de estudo a partir da combinação entre as CP's (CP1, CP2 e CP3), gerando CP's, com imagem do sensor Rapid Eye.

Esta característica encontrada na área de estudo se reflete na contribuição e representatividade expressa em cada banda das imagens geradas a partir da ACP. Desta forma, como já especificado anteriormente, o comportamento observado foi o

mesmo identificado na maioria dos estudos que utilizaram a ACP como parâmetro na identificação da correlação entre as variáveis estudadas.

Neste contexto, pode-se destacar o trabalho de Sato et al. (2011), que utilizou a ACP aplicada à série de imagens-fração vegetação, resultantes do modelo linear de mistura espectral. Desta forma, os autores obtiveram a espacialização da variação temporal da cobertura da terra presentes na área de estudo.

A partir dos resultados obtidos pela técnica de ACP, Sato et al (2011) geraram um mapa que mostra a variação das mudanças na cobertura florestal (Figura 68).

Figura 68. Mapa de mudanças na cobertura florestal a partir da aplicação da ACP.
Fonte: Sato et al (2011).

Neste mapa é possível verificar a intensidade da variação entre as imagens-fração vegetação, onde, as regiões com maiores variações ao longo dos anos aparecem em vermelho escuro e as áreas com baixa mudança ou estáveis aparecem em azul.

Sato et al. (2011, p.6699) verificaram que, os locais com presença de água e áreas com cobertura florestal densa “mantiveram-se predominantemente estáveis aparecendo em azul”.

Os autores também identificaram que, “as regiões com variações medianas aparecem em tons de amarelo e laranja, e áreas que passaram por processos antrópicos (alta variação) aparecem em vermelho”.

Neste caso, destaca-se que, a Identificação de interfaces e sua relação com componentes da paisagem, permite obtenção de resultados interessantes para o entendimento da área, quando realizado a partir da combinação de diversas bandas das imagens de satélites.

Desta forma, proporciona uma verificação mais detalhada, permitindo que as possíveis anomalias encontradas possam ser analisadas com maior precisão, contribuindo para melhorar a qualidade da informação presente na série de dados.

Esta variação de cores identificada na pesquisa de Sato et al. (2011), cujos resultados puderam ser associados a características do uso da terra da área de estudo, também corresponde ao padrão encontrado nas imagens de componentes principais geradas para a bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

A imagem a seguir (Figura 69) apresenta um zoom na região de interface entre o Planalto e a Depressão central, onde se visualizam também, a rede hidrográfica do curso principal, o rio Botucaraí e seus afluentes.

Neste sentido, é possível identificar as feições localizadas na porção norte da área de estudo, relativas ao Planalto. Nota-se que as escarpas da Serra Geral ficaram evidenciadas, numa coloração azul forte.

Figura 69. Zoom da área de estudo a partir da combinação entre as CP's (CP3, CP2 e CP1), a partir da imagem Rapid Eye.

A partir desta imagem de componente principal, com a combinação de algumas bandas específicas, é possível a visualização de alguns pontos em coloração vermelha. Esses pontos referem-se, em uma análise baseada na interpretação da imagem, com as informações obtidas com o trabalho de campo na área de estudo, tratar-se de com solo exposto mais recente.

Desta forma, ao classificar a imagem, a técnica de ACP gerou e individualizou novas feições, dando uma coloração específica aos elementos julgados com características semelhantes, propiciando sua análise e interpretação a respeito do seu significado para o conjunto da área de estudo, e da relação com elementos que compõe a paisagem local.

Desta forma, esta capacidade da individualização das cores, se refletindo na geração de feições com características do uso da terra mais próximas entre si, está ligado, de acordo com Watrin et al. (1996, p.438) “ao fato de que, os produtos

gerados por tal transformação apresentam somente cores espectrais puras e intensamente saturadas, facilitando substancialmente a individualização das diferentes feições espectrais de interesse”.

Neste contexto, estão as CP's geradas na bacia hidrográfica do rio Botucaraí, com a combinação entre as componentes geradas (Figura 70). Destaca-se que, a tonalidade das cores possibilitou a individualização de características, que analisadas minuciosamente, foram associadas a modificações da fisionomia da paisagem, principalmente ligada ao relevo, nas áreas de rebordo do planalto e a estrutura dos solos, provocadas pelo crescente aumento das áreas de plantio.

Figura 70. Representação da combinação entre as CP's (CP1 e CP2 / CP3 e CP4).

Neste caso, uma das principais características reveladas na identificação das mudanças no padrão das classes do solo a partir da combinação das bandas da imagem, refere-se a “mancha” identificada por coloração azul e roxo na área correspondente a unidade geomorfológica dos depósitos aluviais.

Estas áreas, que pertencem a áreas agrícolas da Depressão central, estão praticamente situadas, de acordo com a classificação de uso e cobertura da terra,

apresentada anteriormente, nas zonas de plantio agrícola, principalmente as de produção de arroz, já que se situam próximas ao rio Botucaraí e seus afluentes mais diretos.

A partir das imagens a seguir (Figura 71), é possível visualizar esta característica. Estas imagens representam duas combinações entre as componentes (diferentes para cada imagem), mostrando aspectos relativos à coloração associada a cada uso e cobertura da terra identificada na bacia hidrográfica.

Figura 71. Representação da combinação entre bandas (CP3, CP4 e CP5 e CP3) das Componentes Principais, geradas através do Software Envi 5.2.

Neste sentido, este fato corrobora com a bibliografia específica apresentada na tese, o que possibilitou que estas individualizações se tornassem em feições, que puderam ser associadas com as formações de feições individuais, mas que apresentam características semelhantes, permitindo um zoneamento da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

Esta individualização gerou os mapas da espacialização da síntese das interconexões da paisagem na área de estudo (Figura 72).

Figura 72. Mapa síntese da Fisionomia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

Desta forma, as características comuns a cada região da área de estudo foram agrupadas, permitindo o zoneamento das referidas feições. Cabe destacar que, cada feição especializada no mapa compreende uma região, que representa determinada característica, considerando-se os elementos que compõem a paisagem na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

O quadro 5 apresenta as principais características em cada uma das fisionomias identificadas, identificando a sua composição referente ao relevo, a litologia, aos solos, a vegetação e ao uso e cobertura da terra.

Quadro 5. Síntese das Interconexões da Paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Botucaraí.

	Relevo	Litologia	Solos	Vegetação	Uso da terra
Fisionomia 1	Planalto	Fácies Caxias	Argissolos Argilúvicos	Floresta Estacional Decidual Montana	Campos Naturais
		Formação Botucatu			
Fisionomia 2	Serra Geral	Fácies Gramado	Argissolos Arênicos	Floresta Estacional Decidual Sub-Montana	Florestas
		Formação Santa Maria	Alissolos	Floresta Estacional Decidual Sub-Montana	Terras de Uso Agrícola
Fisionomia 3	Depressão Central	Formação Caturrita	Argissolos Latossólicos	Contato Savana- Estepe	Mata Galeria
		Formação Sanga do Cabral	Chernossolos		
Fisionomia 4	Planície do Rio Botucaraí	Depósitos Aluviais	Chernossolos Férrico Típico	Floresta Aluvial	Terras de Uso Agrícola

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir deste quadro síntese, tem-se uma melhor compreensão das fisionomias apresentadas no mapa com a espacialização das mesmas. Desta forma, a Fisionomia 1 tem suas características evidenciadas ao norte da área de estudo, ligada ao Planalto Meridional, assim como a Fisionomia 2 está relacionada a área pertencente a unidade Serra Geral.

A Fisionomia 3 compreende a área da Depressão central, sendo que sua área vai do norte, considerando os limites das áreas mais elevadas da bacia e abrange o rebordo do Planalto, até o sul da área de estudo. Esta fisionomia espacializa-se também nas bordas leste e oeste da bacia hidrográfica.

A Fisionomia 4 está vinculada a planície de inundação do curso d'água principal, o rio Botucaraí, estendendo-se praticamente no polígono da unidade geomorfológica dos Depósitos Aluvias, que ocupa todo o médio curso da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

Destaca-se também, o quadro 6, que também contribui para uma melhor interpretação das fisionomias identificadas na área de estudo. Neste caso, cada fisionomia foi associada com o relevo, com a hipsometria e com as declividades. Ainda foi considerada as principais feições, que foram identificadas a partir da interpretação dos resultados, gerados pelas componentes principais (CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5).

Quadro 5. Síntese das Interconexões da Paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Botucaraí, considerando a hipsometria, declividades e as CP1s geradas.

	RELEVO	HIPSOMETRIA	DECLIVIDADES	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Fisionomia 1	Planalto	120 - 160 m	31 a 50%	-----	-----	-----	-----	-----
			Maior que 50%	-----	-----	-----	-----	-----
Fisionomia 2	Serra Geral	120 - 160 m	Maior que 50%	-----	-----	Campos Naturais	-----	-----
Fisionomia 3	Depressão	60 - 120 m	0 a 2%	-----	Terras Agrícolas Recentes	Terras Agrícolas Recentes		Campos Naturais
			3 a 15%	-----	-----	-----		-----
Fisionomia 4	Planície do Rio Botucaraí	20 - 60 m	3 a 15%	-----	Terras Agrícolas Consolidadas	-----	Terras Agrícolas Recentes	-----

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com relação a CP1, as informações na coluna que a representa não estão preenchidas, devido esta componente apresentar as informações comuns a todas as bandas. Como já foi referenciado ao longo da pesquisa esta CP contém a maior

parte da variabilidade dos dados e reúne todas as características, comuns a todas as bandas.

Desta forma, o quadro priorizou a identificação de feições geradas pelas CP's que identificassem agrupamentos com características comuns, que pudessem trazer algum tipo de correlação com os elementos da paisagem estudados.

A Fisionomia 1 não identificou feições significativas, ou seja, não teve alguma que agrupou qualquer característica comum, que pudesse ser zoneada. Já a Fisionomia 2 identificou os campos naturais como feição comum para a terceira componente principal.

Destaca-se também que, mesmo com a diminuição das feições espectrais, foi possível, a partir da CP5, evidenciar os campos naturais e a partir da CP3, as terras agrícolas recentes, que constituiu a mesma feição identificada na CP2.

Na Fisionomia 4, identificou-se na CP4, as terras agrícolas recentes, entretanto, a informação mais importante evidenciada pela geração da ACP foi a identificação das terras agrícolas consolidadas, ou seja, aquelas cujos processo agrícola de plantio e colheita já vem sendo desenvolvidos a vários anos, tendo como consequência a diminuição da qualidade do solo. Esta feição foi identificada a partir da CP2.

7 SÍNTESE E CONCLUSÕES DA RELAÇÃO ENTRE OS ELEMENTOS DA PAISAGEM: RELEVO, SOLOS, VEGETAÇÃO, LITOLOGIA E CLIMA

A partir da análise dos principais resultados e da investigação a respeito das características referentes a cada elemento constituinte do meio físico que compõe a bacia hidrográfica do rio Botucaraí, foi possível realizar as discussões referentes a interação entre os elementos que constituem a paisagem. Desta forma, destacam-se as principais características, fruto da investigação e análise dos dados:

- A relação que mais expressa as interconexões foi a identificada entre o relevo, a litologia e os solos, pois, sabe-se que, a ação erosiva age através do intemperismo químico, na degradação das rochas, consequentemente formando os solos. Os solos por sua vez dispõem-se na área de estudo, de acordo com as características litológicas e possuem relação com o tipo de relevo do qual estão inseridos;
- A vegetação se relaciona com todos os componentes do meio físico estudados. Utilizando-se como meio, o Sensoriamento Remoto, e, consequentemente a técnica de Análise por Componentes Principais (ACP) foi possível observar que os tipos vegetacionais se conectam fisionalmente de acordo como tipo de solo que recobre as áreas florestais. Além disto, a altitude é um fator que também influenciou na formação de componentes arbóreos, dando características diferenciadas a vegetação, como ocorre nas florestas montana, sub-montana e aluvial.
- O desenvolvimento de tipos vegetacionais também está associado à litologia existente, o que se reflete nas características do relevo, no qual estão situados os fragmentos de vegetação;
- A atuação antrópica na área de estudo diminui de intensidade quando os compartimentos geomorfológicos e geológicos formam “barreiras naturais”, dificultando o avanço da ocupação urbana e das áreas agrícolas. Desta forma, as áreas mais íngremes, com declividades altas, identificadas nos mapas, Hipsométrico e clinográfico, são as que, ainda permanece com reduzida ocupação humana,

entretanto, as áreas mais rebaixadas, como as situadas na Depressão Central, são onde estão localizados os maiores conjuntos urbanos da área de estudo;

- Em várias porções da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, se identificou a substituição de vegetação arbórea por cultivos agrícolas. As terras agrícolas classificadas no mapa de uso e cobertura da terra se constituem em uma das classes de maior ocorrência na bacia, principalmente na planície de inundação do rio Botucaraí.

- Os campos naturais representaram a classe de uso da terra com a maior ocorrência na área de estudo. Em relação ao total das classes identificadas, os campos representam 42,49% do total da área que compreende a bacia hidrográfica do rio Botucaraí. Entretanto, muitas destas áreas também sofreram processo de substituição da cobertura vegetal original por pastagens e a inserção de cultivos agrícolas;

- A característica geral da vegetação é a de floresta de estágio médio de regeneração. Isto se deve ao contexto histórico de mais ou menos 30 anos, onde o avanço da agricultura sobre estas áreas contribuiu para a substituição da vegetação original presente. Acentua-se também a retirada de vegetação para a implantação de estradas e produção de madeira;

- Uma das interpretações realizadas, foi a de que os solos e a vegetação não são barreiras suficientes para conter a ação antrópica. Para o desenvolvimento de alguns cultivos agrícolas, realiza-se a correção química dos solos e para a vegetação a principal ação humana refere-se ao desmatamento dos fragmentos, comportamento observado devido à identificação da presença de vegetação de estágio secundário na área de estudo;

- Observou-se a relação entre os tipos de solos e o relevo local. A partir do trabalho de campo e das análises realizadas a partir da bibliografia específica, identificou-se a presença de duas fácies de rochas vulcânicas: ácidas e básicas. Neste caso, os aspectos que se ligam as suas características relacionam as interações entre o relevo e os solos;

- Identificou-se que, a fácies Caxias tem a tendência de formar solos mais siltosos, o que permite uma facilidade maior da circulação da água. Desta forma, comparando-se as rochas básicas com ácidas, observou-se a maior concentração de sílica nos materiais ácidos, enquanto nos básicos encontram-se teores mais elevados, principalmente, de Fe, Ca e Mg.
- Quanto às unidades geomorfológicas do qual a bacia hidrográfica do rio Botucaraí está inserida, destaca-se que a antropização foi fortemente identificada, sobretudo, com a análise do mapa de uso e cobertura da terra, principalmente na depressão central e na planície de inundação do rio Botucaraí, sobretudo na rede hidrográfica principal do referido curso d'água.
- A ação do clima se reflete nas características de formação dos solos, principalmente ligada ao intemperismo das rochas. Neste caso, associam-se como indutores desta formação os elementos climáticos, precipitação pluvial e temperatura, que são condicionantes na determinação da natureza e a velocidade das reações químicas nas rochas.
- Os dados gerados a partir da classificação de uso e cobertura da terra, permitiram uma identificação holística da área de estudo. Neste sentido, infere-se uma relação da diversidade das paisagens naturais, representadas pelas classes determinadas no mapeamento e no surgimento de paisagens antropizadas;
- Destacou-se alguns impactos perceptíveis relacionados aos aspectos físicos da bacia hidrográfica do Rio Botucaraí, como a presença da vegetação secundária nas matas com fragmentos mais densos, a redução da vegetação ciliar e a alteração dos solos naturais, em virtude da preparação da terra para utilização com fins agrícolas;
- Constatou também que, as ações humanas agem na modificação da “estética” da superfície terrestre, estando ligadas mais a sua fisionomia do que propriamente na alteração da sua funcionalidade. Entretanto, as alterações identificadas no uso e na cobertura da terra, refletem a mudança, não estrutural, mas que se refletem no conjunto da paisagem na área de estudo.

- Destaca-se que mesmo não sendo o responsável pela modificação na gênese da paisagem, o homem realiza algumas alterações significativas, sobretudo em escala local, as quais interferem de certa forma, na fisiologia da paisagem atual, como por exemplo, nos desvios de rios, cortes de estradas, barragens, quebra-mares, entre outros.
- Com relação a aplicação da Análise por Componentes Principais (ACP), considerou-se que, esta técnica foi ao encontro do propósito inicial desta pesquisa, pois, foi possível a verificação da contribuição de cada uma das componentes geradas. Desta forma, permitiu a identificação de novas interfaces, que foram classificadas como fisionomias.
- Pode-se afirmar que, as primeiras bandas explicitaram a maior parte da variabilidade dos dados e da variância do conjunto das CP's e as outras bandas, mesmo com a diminuição da variabilidade, evidenciaram feições que contribuíram para a análise da relação entre os componentes da paisagem na área de estudo;
- Destaca-se a representatividade alta e os valores positivos dos autovalores e autovetores, confirmando a correlação dos dados identificados nas primeiras CP's geradas;
- O decréscimo gradual da representatividade expressa da CP2 até a CP5 é o padrão usual, quando se trabalha com bandas espectrais de imagens de satélite. Muitos estudos que serviram de comparação para esta pesquisa também obtiveram resultados bem próximos;
- Identificou-se a associação e a espacialização de novas feições, que foram ressaltadas a partir da aplicação da ACP. Muitas destas feições puderam ser identificadas a partir da ACP devido a características do uso e cobertura da terra na área de estudo, amplamente afetada pela ação antrópica. Estas feições evidenciaram aspectos que expressaram as diferenças e/ ou similaridades no uso da terra, permitindo o seu agrupamento;

- A individualização das feições expressas pela cor apresentada nas imagens geradas pela ACP e nas características comuns a cada uma das CP', permitiram que se realizasse um zoneamento da área de estudo. Desta forma, foi realizada a espacialização da síntese das interconexões da paisagem na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.
- Este zoneamento agrupou-se em cinco Fisionomias, que puderam ser expressas a partir do elemento do meio físico: relevo, litologia, solos, vegetação e uso e cobertura da terra. Também se associou as informações referentes aos mapas, hipsométrico e de declividades com as componentes geradas (CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5).
- Neste sentido, reafirma-se a importância da ACP para a identificação dos atributos da paisagem. A representatividade expressa pelos autovalores, porcentagem de variância de cada Componente Principal, foi positiva, 98,60%, o que significa que esta porcentagem expressa a maior quantidade de informações concentradas para esta imagem, constituindo-se no conjunto espectral que melhor correlaciona as CP's geradas;
- A partir da aplicação da ACP, foi possível associar e correlacionar as interferências e modificações expressas na fisionomia dos componentes da paisagem da bacia hidrográfica do Rio Botucaraí, entretanto, com os dados e informações geradas não se pode afirmar categoricamente mudanças significativas na fisiologia da paisagem da bacia hidrográfica do rio Botucaraí, como ocorreu na alteração da fisionomia na área de estudo.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia hidrográfica do rio Botucaraí se revelou em área de estudo cujos objetivos pretendidos inicialmente pela pesquisa tiveram grandes possibilidades de se desenvolver. Inicialmente foi esta a razão da sua escolha, entretanto, a área aumentou sua importância devido a sua localização privilegiada, situando-se na transição entre unidades geomorfológicas de grande representatividade do Estado do Rio Grande do Sul.

Esta representatividade, situada em área com patamares topográficos de altitudes diferenciadas, contribuiu para que o entendimento da diversidade existente em função dos elementos físicos da paisagem fosse relacionado.

Neste sentido, esta pesquisa verificou inicialmente o comportamento destes componentes da paisagem na bacia: Litologias, Relevo, Solos, Vegetação e o uso e cobertura da terra. Além disso, considerou as influências dos atributos do clima para a formação dos elementos físicos da paisagem e a interação entre estes, influenciados ou interligados com o clima.

De outra forma, teve-se também como preocupação inicial realizar um minucioso diagnóstico físico-ambiental da área, que se concretizou significativamente como parâmetro de análise na verificação da ocorrência dos elementos e sua disposição na totalidade da área de estudo.

Esta verificação nos forneceu diversas interpretações a respeito da conexão dos elementos da paisagem, tais como, a cobertura vegetal, que se caracterizou a partir da sua formação diferenciada, devido a sua localização entre os diferentes patamares geográficos existentes na área de estudo. Neste caso, sua classificação revelou as florestas estacionais montana, sub-montana e as aluviais, localizadas e influenciadas pelos contingentes florestais do Leste e do Oeste.

Cabe destacar também a respeito da cobertura vegetal, a reduzida presença de mata ciliar, que se constitui em aspecto antagônico da área de estudo, já que as áreas mais elevadas mantêm glebas significativas de vegetação. Este fato marcou o diagnóstico da área, introduzindo a discussão sobre a influência dos elementos físicos na formação de paisagens antropizadas.

Desta forma, problematizou-se a influência do homem como agente de transformação da natureza, abrindo caminho para a ocupação e instalação de suas

ruas e residências e para a inserção dos cultivos agrícolas em áreas originalmente ocupadas pela vegetação.

A partir destas considerações foi possível citar exemplos significativos da antropização de grande parte da área de estudo, que mesmo possuindo grandes espaços verdes sem ocupação humana, sofreu perdas relacionadas à degradação das florestas, que hoje se encontram compostas por espécies secundárias e pela substituição de áreas de solos com campos naturais ou por pastagens e plantações de cultivos agrícolas.

Em outro espectro de análise, cujo propósito se coaduna com o objetivo e a hipótese desta pesquisa foi possível a verificação das relações e conexões presentes entre os componentes da paisagem na área de estudo, com a utilização do Sensoriamento Remoto, aplicando-se a técnica de Análise por Componentes Principais (ACP).

A ACP possibilitou a setorização de algumas características, que foram ressaltadas com a combinação de bandas espectrais e analisadas sob a ótica de sua representatividade em relação ao conjunto da variância total identificada nas imagens de satélites.

Esta representatividade foi significativa para as amostras ou bandas selecionadas para o estudo, uma vez que, os autovalores e autovetores puderam ser comparados com o identificado em outras pesquisas, mostrando que as correlações identificadas serviram de variáveis necessárias ao entendimento da setorização ressaltada pelas componentes principais.

Este instrumento geotecnológico contribuiu para interpretação das relações e conexões do qual os elementos da paisagem se constituem, entretanto, destaca-se que sua contribuição mais significativa foi no sentido de revelar novas interfaces que se mostraram importantes, para que os objetivos propostos na pesquisa pudessem ser atingidos. Desta forma, os resultados gerados na pesquisa revelam que esta técnica pode ser utilizada, além do que foi proposto, para a complementação de estudos integrados do meio ambiente.

As fisionomias da paisagem que foram identificadas referem-se a alguns padrões, expressos por diferenças nas cores das componentes principais. Com a aplicação da técnica de ACP as primeiras bandas apresentam grande parte da variabilidade dos dados, o que possibilitou que algumas características fossem ressaltadas nas imagens.

Desta forma, coube a interpretação destas diferenças apresentadas nas imagens de CP's, mais especificadamente ligadas ao uso e ocupação da terra, como as áreas agrícolas recentes, as áreas com solo preparado para o plantio, algumas feições próximas às escarpas do rebordo do planalto onde houve algum tipo de supressão da vegetação e na área relativa à planície de inundação do rio Botucaraí e seus afluentes.

Destaca-se que a individualização das características evidenciadas em cada imagem gerada pela ACP reflete-se também no uso e cobertura do solo, amplamente afetado pela ação antrópica na área de estudo. Estas feições evidenciaram aspectos que expressaram as diferenças e/ ou similaridades no uso da terra, permitindo o seu agrupamento.

Desta forma, realizou-se a espacialização da síntese das interconexões da paisagem na bacia hidrográfica do rio Botucaraí gerando cinco “agrupamentos” definidos como Fisionomias (Fisionomia 1, Fisionomia 2, Fisionomia 3, Fisionomia 4 e Fisionomia 5).

Estas fisionomias foram agrupadas a partir das características dos elementos do meio físico: relevo, litologia, solos, vegetação e uso e cobertura da terra. Também se associou as informações referentes aos mapas, hipsométrico e de declividades com as componentes geradas (CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5).

Neste sentido, entende-se que com a aplicação da técnica de Análise por Componentes Principais foi possível identificar e interpretar estas fisionomias de paisagens, e a partir destas, analisar as suas fisiologias, entendimento este, que foi a hipótese inicial desta pesquisa.

A identificação de novas interfaces e a interpretação das relações advindas do sensoriamento remoto foram mais eficientes nesta identificação, das conexões existentes na fisionomia da paisagem. Isto se explica devido a concepção de funcionamento das técnicas de sensoriamento remoto, especificadamente da ACP, que a partir de sensores remotos, permitem que dados espectrais sejam convertidos em informações, as quais podem ser associadas com as características das áreas estudadas.

Desta forma, os resultados mostraram que para a fisiologia não foi possível afirmar categoricamente, relações que denotaram mudanças na estrutura funcional do sistema ambiental do qual a área de estudo compõe: uma bacia hidrográfica.

Seria necessária a aplicação de outras técnicas e de outros recursos para que a investigação a respeito da gênese de formação dos solos, ou da estrutura litológica do interior da crosta terrestre pudesse ser revelada, o que não foi o objetivo desta pesquisa.

Análise mais próxima referiu-se a diferença verificada nos afloramentos de rochas ácidas e básicas da unidade Serra Geral, que por estas características desenvolveu características peculiares, relacionadas aos compartimentos pedológicos, ao relevo e conseqüentemente à cobertura vegetal.

Por todas estas questões considerou-se que a aplicabilidade técnica foi fundamental no desenvolvimento e no estudo das relações existente na paisagem, como destaca Delpoux (1974, p.4), “retratando a superfície terrestre a partir de duas unidades elementares: o suporte e suas características (forma, cor, textura, microrelevo), ligadas às características geológicas (orogênese, estratigrafia, litologia), climáticas e antrópicas”, associando-as com componentes do meio físico e antropização.

Neste contexto, ficou evidenciado que, os processos naturais identificados na área de estudo possuem inferência da ação humana. Estas alterações alteram a funcionalidade da paisagem, interferindo em processos que podem comprometer a estabilidade da bacia como um todo. Neste caso, pode revelar mudanças na fisionomia da paisagem local, pois alteram os processos de funcionamento do sistema ambiental.

Desta forma, a ação indireta do homem, ao eliminar a interface representada pela cobertura vegetal, altera de forma substancial as relações entre as forças de ação (processos morfogenéticos ou morfodinâmicos) e de reação da formação superficial, gerando desequilíbrios morfológicos ou impactos geoambientais.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. A.. O papel do clima na evolução do relevo: a contribuição de Julius Büdel. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, n.19, p.111+118, 2006.

AB'SÁBER, A. N. **Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário**. Geomorfologia, São Paulo, IGEOG-USP (18), 1969.

AB'SÁBER, A. N. **Aspectos geomorfológicos de Carajás**. In: **Seminário de desenvolvimento econômico e impacto ambiental em áreas do trópico úmido brasileiro: a experiência da CVRD, 1987, Rio de Janeiro. Anais do seminário desenvolvimento econômico e impacto ambiental em áreas do trópico úmido brasileiro: a experiência da CVRD**. Rio de Janeiro: Secretaria Especial do Meio Ambiente, 1987.

ANTUNES, R. L. S. **Variação espaço-temporal de NDVI em área de aproveitamento hidroelétrico - UHE Santo Antônio, Porto Velho (RO)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 2ed. Amsterdam: Ed. Bertrand Brasil S.A., 1983, p.332.

BARRET, E.; CURTIS, L. **Introduction to environmental remote sensing**. 3ed. London: Chapman & Hall, 1992.

BECKER, E. L. S. **Solo do Rio Grande do Sul e sua relação com o clima**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

BERNARDI, D.; DISPERATI, A. A.; SANTOS, J. R.; MENDES, F. S. **Monitoramento da dinâmica de paisagem através da análise por componentes principais (ACP) em imagens Landsat 5 TM**. X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu: [s.n.]. 2001. p. 557-560.

BERTALANFFY, L. V. **Moderns Theories of Development: an introduction to theoretical biology**. London: Oxford University Press, 1933. 204p.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**. n. 13, p. 1-27, 1971.

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**, n. 13, 1972.

BERTRAND, G.; BERTRAND, C. **Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades**. Maringá: Massoni, 2007.

CARVALHO-FILHO, A.; CURI, N.; SHINZATO, E. Relações solo-paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.45, n.8, p.903-916, 2010.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.1]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em agosto de 2016.

CHAVES, P. S.; SIDES, S. C.; ANDERSON, J. A. Comparison of three difference methods to merge multi resolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 57, n. 3, p. 295-303, 1991.

CAMPOS, M. C. C. et al. Superfícies geomórficas e atributos do solo em uma toposseqüência de transição várzea-terra firme. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 29, n. 1, p. 132-142. 2013.

CAMPOS, M. C. C.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R; CAMARGO, L. A. Relações solo-paisagem em uma litosseqüência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 31, p. 519-529, 2007.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa geológico do Rio Grande do Sul**. 2009. Disponível em: geobank.cprm.gov.br. Acesso em ago. de 2015.

CASTRO, E.; CUNHA, L.; SANTOS, N. P. Análise integrada da paisagem da raia central portuguesa. **Minerva**. v. 5, n. 2, p. 139-147, 2008.

CATEN, A. T. **Aplicação de Componentes Principais e Regressões Logísticas múltiplas em Sistema de Informações Geográficas para a predição e o mapeamento digital de solos**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

CHEREM, S. L. F. (2008). **Análise Morfológica da Bacia do Alto Rio das Velhas**. Belo Horizonte: UFMG, 2008, 111 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edigard Blücher, 1999. p.1-18.

CHRISTOFOLETTI, A. L. **Sistemas dinâmicos: as abordagens da Teoria do Caos e da Geometria Fractal em Geografia**. In: Reflexões sobre a Geografia física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 89-110.

CROSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Instituto de Geociências, Unicamp, 1992. 170p.

DANTAS, M. E.; ARMESTO, R. C. G.; SILVA, C. R.; SHINZATO, E. Geodiversidade e análise da paisagem: uma abordagem teórico-metodológica. **Terræ Didática**. 11, 2015.

DELPOUX, M. **Ecossistema e Paisagem. Métodos em Questão**. São Paulo: IGEO/USP. n. 13, p. 1-23, 1974.

DOLFUSS, Olivier. **A Análise Geográfica**. São Paulo: Difusão Europeia do Livro, 1973. 130 p.

DROZDOV, A. V. Three notions of landscape as used in Russian practices of territory planning. In: DYAKONOV, K. N. et al. **Landscape Analysis for Sustainable Development: Theory and applications of Landscape Science in Russia**. Moscow: Alex Publishers, 2007. p. 265-275.

EKLUNDH, L.; SINGH, A. A comparative analysis of standardized and unstandardized Principal Components Analysis in remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, n. 7, p. 1359-1370, 1993.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília, 1995. 101p.

FÁVERO, A. A. **Ecologia e fitossociologia da vegetação arbórea de um morro testemunho no sul do Brasil**. Santa Maria: UFSM, 2015, 145 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

FELIX, I. M.; KAZMIERCZAK, M. L.; ESPINDOLA, J. M. **RapidEye: a nova geração de satélites de Observação da Terra**. XIV simpósio brasileiro de sensoriamento remoto. Natal: [s.n.]. 2009. p. 7619-7622.

FERREIRA, N. J.; GURGEL, H. D. C. Variabilidade dos ciclos anual e interanual da radiação de ondas longas emergentes sobre a América do Sul e vizinhanças. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. ??, n. 6, p. 440-444, 2002.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo, Oficina de Textos. 2002.

FLORENZANO, T.G. (Org.). **Geomorfologia, conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FUNG, T., LEDREW, E. Application of Principal Components analysis to change detection. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 53, n. 12, p. 1649-1658, 1987.

GOMES, J. B. V. MOTA, P. E. F., KER, J. C., MARQUÊS, J. J. G. S. M., SCHULZE, D. G. Análise de Componentes Principais de atributos físicos, químicos e

mineralógicos de solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa, v. 28, n. 1, p. 137-153, 2004.

GOMES, A. R.; MALDONADO, F. D. **Análise de Componentes Principais em Imagens Multitemporais TM/Landsat como Subsídio aos Estudos de Vulnerabilidade à Perda de Solo em Ambiente Semi-Árido**. XIV Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto. Santos: [s.n.]. 1998. p. 959-967.

GORAYEB, 2008. **Análise integrada da paisagem na bacia hidrográfica do rio Caeté – Amazônia Oriental – Brasil**. Rio Claro: UNESP, 2008, 206 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP.

GUASSELLI, L. A.; SALDANHA, D. L.; SUERTEGARAY, D. M. A. DUCATI, J. R.; FONTANA, D. C. Macrozoneamento do Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, 33 (1): 3-11, 2006.

GURGEL, H. C. **Variabilidade espacial e temporal do NDVI sobre o Brasil e suas conexões com o clima**. 2000. 118p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000.

GRIGORIEV, A. A. The Theoretical Fundaments of Modern Physical Geography. In: **The Interaction of Sciences in the Earth**. Moscou, 1968.

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).

HIRUMA, S. T.; PONÇANO, W. L. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfopedológicos na área do alto Rio Pardo, MG e SP. **Revista IG**. São Paulo. v. 15, n. ½, p. 49-57, 1994.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol Soe. Am. Bull.** Nome por extenso. v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ed. (Série Manuais Técnicos em Geociências). n. 5, Rio de Janeiro: IBGE, 2003.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia**. 2ed. (Série Manuais Técnicos em Geociências). n. 4, Rio de Janeiro: IBGE, 2003.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação brasileira**. 2ed. (Série Manuais Técnicos em Geociências). n. 1, Rio de Janeiro: IBGE, 1992.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE: Embrapa Solos, 2001. Mapa. Escala 1:5.000.000.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa BDMEP**. Disponível em:

<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em ago. 2015.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Tutorial de Geoprocessamento/Componentes Principais**. Disponível em:

<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/compon.html>. Acesso em set. 2016.

IRONS, J.R.; WEISMILLER, R.A.; PETERSEN, G.W. Soil reflectance. In ASRAR, G. (Ed.) **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: John Wiley & Sons, 1989. p. 66-106.

JARENKOW, J.A. & WAECHTER, J.L. Composição, estrutura e relações florísticas do componente arbóreo de uma floresta estacional no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**. 24:263-272, 2001.

JUNIOR, F. P.; MELO, O. A. G; SOUZA, M. L.; GASPARETO, N. L. **Caracterização Hidromorfológica da Bacia do Córrego Pinhalzinho Segundo – Umuarama-PR**. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Viçosa – MG, 2009.

KAUL, P.F.T. **Geologia**. In: Geografia do Brasil; Região Sul. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, v. 2, p.29-54. 1990.

KELTING, F. M. S. **Paisagem: catálogo de publicações francesas entre 1990 a 2005**. Fortaleza: Edições Gráfica, 2010. 66 p.

LA TERRE, V. **Six essais sur le paysage et la géographie**, de Jean-Marc Besse. Arles: Actes Sud / ENSP / Centre du Paysage. 2000.

LEITE, P.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE. **Geografia do Brasil: região Sul**. v. 2. Rio de Janeiro. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1990. p. 113-150.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. Toronto: John Wiley and Sons, Inc, 1987.

LIMA J. A.; SANTANA, D. G.; NAPPO, M.E. Comportamento inicial de espécies na revegetação da mata de galeria na Fazenda Mandaguari, em Indianópolis, MG. **Rev. Árvore**, vol.33, n.4, Viçosa, 2009.

LIPPERT, D. B.; BENEDETTI, A. C. PEREIRA, R. S. dinâmica da cobertura florestal no município de Crissiumal-RS durante um período de vinte anos. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. v(7), nº 7, p. 1297-1305, 2012.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta geotécnica de Santa Maria**. Santa Maria: Imprensa Universitária (UFSM), 1990.

MATEO-RODRIGUEZ, J. M; SILVA, E. V. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. **Mercator**. Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 95-112, 2002.

MATEO-RODRIGUEZ, J. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A P.B. **Geoecologia das paisagens: uma visão sistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: Editora da UFC, 2005. 222p.

MATEO-RODRIGUEZ, J. M.; SILVA, E. V.; LEAL, A. C. Planejamento ambiental de bacias hidrográficas desde a visão da Geoecologia das paisagens. In: FIGUEIRÓ, A. S.; FOLETO, E. **Diálogos em Geografia Física**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2011. cap. 5, p. 111-126.

MENESES, P. R. Princípios de Sensoriamento Remoto. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: Ed. da UnB, 2012. p. 1-33.

MENDES, L. S.; PEREIRA, R. N.; MAGALHÃES, L. M. S. **Fisionomia da vegetação e a valoração cênica de paisagens em turmas de graduação da universidade federal rural do rio de janeiro – UFRRJ**. II encontro fluminense- uso público em unidades de conservação. Niterói: [s.n.], 2015. p. 123-131.

MIGUEL, P.; RICARDO SIMÃO DINIZ DALMOLIN, R. S. D; PEDRON, F. A.; ROSA, A. S.; MEDEIROS, P. S. C.; BUENO, J. M. M.; BALBINOT, A. **Solo e dinâmica de ocupação das terras em áreas do rebordo do planalto do Rio Grande do Sul**. R. Bras. Agrociência, Pelotas, v.17, n.4-4, p.447-455, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Lei Federal Nº 12.651/12 – Código Florestal**. Brasília, 2012.

MOREIRA, F. **Sensoriamento Remoto aplicado aos estudos geológicos**. São José dos Campos: INPE, 2002.

MOREIRA, A. A. N.; LIMA, G. R. Relevo. In: **Geografia do Brasil – Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, v.5. 1977.

MONTAGNA, T. **Genética de Paisagem de *Ocotea catharinensis* e *Euterpe edulis* na Floresta Ombrófila Densa Catarinense: subsídios para a conservação**. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

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

MOTTA, P. E. F., CARVALHO FILHO, A.; KER, J. C., PEREIRA, N. R., CARVALHO JUNIOR, W.; BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n. 6, p. 869-878, 2002.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 308p.

OLIVEIRA, T. A. **A concepção geossistêmica aplicada ao estudo da dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do Rio Lourenço Velho, Sul do estado de**

Minas Gerais – Brasil. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita-Filho, Rio Claro, 2013.

OLIVEIRA JUNIOR, J. F.; SOUZA, M. M.; GULLO, F. T.; TAVARES, L. R. O.; MOREIRA, D. M.; ROTUNNO FILHO, O. C. **Análise de componentes principais aplicada à avaliação da ação antrópica na bacia hidrográfica do rio piabanha via Sensoriamento Remoto.** 60ª Reunião Anual da SBPC. Campinas: [s.n.]. 2008.

PEREIRA, L. O.; CARDOZO, F. S.; MOURA, Y. M.; FONSECA, L. M. G.; PEREIRA, G.; MORAES, E. C. **Delimitação das áreas alagadas do Pantanal a partir da análise por Componentes Principais e Transformada Wavelet.** In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 3, 2010, Cáceres, 2010. p. 200-209.

PEDROSA, S. A.; MENESES, P. R.; CARMELO, A. C. Espectrorradiometria de reflectância de rochas carbonáticas na região do infravermelho de ondas curtas. **Revista Brasileira de Geociências.** volume 40 (4), 2010.

PEDRON, F. A. **Mineralogia, morfologia e classificação de saprolitos e neossolos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul.** Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PEDRON, F. A.; ROSA, A. S.; DALMOLIN, R.S.D. **Variação das características pedológicas e Classificação taxonômica de argissolos Derivados de rochas sedimentares.** R. Bras. Ci. Solo, 36:1-9, 2012.

PEREIRA, L. O.; CARDOZO, F. S.; MOURA, Y. M.; FONSECA, L. M. G.; PEREIRA, G.; MORAES, E. C. Delimitação das áreas alagadas do Pantanal a partir da análise por Componentes Principais e Transformada Wavelet. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 3., 2010, Cáceres. **Anais...** 2010. p. 200-209.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo.** v. 28, n.2, p. 297-305, 2004.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica.** São José dos Campos: INPE. 2002.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos: Parêntese. 2009.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERRETA, C.A.; SILVA, L.S. da; REICHERT, J.M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.5. p.49-134.

REIS, G. S.; MIZUSAKI, A. M, ROISENBERG, A.; RUBERT, R. R. **Formação Serra Geral (Cretáceo da Bacia do Paraná): um análogo para os reservatórios**

ígneo-básicos da margem continental brasileira. Pesquisas em Geociências, 41 (2): 155-168, 2014.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das Paisagens:** uma visão geossistêmica da análise ambiental. Fortaleza: UFC Edições, 2007. 222 p.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; LEAL, A. C. Planejamento ambiental de bacias hidrográficas desde a visão da geoecologia das paisagens. In: **Diálogos em Geografia Física:** Santa Maria: Editora da UFSM, 2011. 208 p.

RODRIGUES, T. W. P. R.; GUIMARÃES, U. S.; ROTTA, L. H. S.; WATANABE, F. S. Y.; ALCÂNTARA, E.; IMAI, N. N. Delineamento amostral em reservatórios utilizando imagens landsat-8/oli: um estudo de caso no reservatório de Nova Avanhandava (Estado de São Paulo, Brasil). **Bol. Ciênc. Geod.**, sec. Artigos, Curitiba, v. 22, n.2, p.303-323, 2016.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia- FFLCHUSP.** São Paulo, v. 6, n. 10, p.41-58, 1992.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia- FFLCH-USP.** São Paulo, v. 8, n. 8, p 63-74, 1994.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento.** São Paulo: Contexto, 2005.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities. **Revista do Departamento de Geografia.** v. especial, 2012; 38-51.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.** Laboratório de Geomorfologia. São Paulo: Departamento de Geografia – FFLCH – USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada – IPT/FAPESP (Fundação do Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), 1997.

ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia.** Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

ROUGERIE, G.; BEROUTCHACHVILI, N. **Géosystèmes et Paysages: bilan et méthodes.** Paris: Armand Colin, 1991. 302 p.

SANTOS, A. C.; SALCEDO; CANDEIAS, A. L. B. **Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB.** Revista Brasileira de Cartografia, n. 54, 2002.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, R. L.; QUINTANILHA, J. A.; FUKUMORI, I. Os solos e o sensoriamento remoto: o uso de imagens Landsat 7 ETM para mapeamento dos horizontes coesos dos Tabuleiros Costeiros da Bahia. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Goiânia. 2005.

SARTORI, P.L.P. **Geologia e geomorfologia de Santa Maria**. Ci. Amb., 38:19-42, 2009.

SARTORI, M. G. B. A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Revista Terra Livre**, São Paulo, v. 1, n. 20, p. 27-49, 2003.

SATO, L. Y.; SHIMABUKURO, Y. E; KUPLICH, T. M. Uso da análise por componentes principais na avaliação da mudança da cobertura florestal da Floresta Nacional do Tapajós. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba: [s.n.]. 2011. p. 6696 - 6702.

SENA, I. P. D. S. et al. (demais autores). **Uso de imagens CBERS2B-CCD para mapeamento de feições submersas**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal: [s.n.]. 2009. p. 2185-2191.

SEPLAG- SECRETARIA DA COORDENAÇÃO E PLANEJAMENTO. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SCP, 1998.

SCHIRMER, G. J.; ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. **Unidades geomorfológicas em municípios da Quarta Colônia do Rio Grande do Sul**. Geografia Ensino & Pesquisa, vol. 17, n. 2, 2013.

SHIMABUKURO, Y. E.; MAEDA, E. E.; FORMAGGIO, A. R. Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados ao estudo dos recursos agrônômicos e florestais. **Revista Ceres**, v. 56, n. 4, p. 399-409, 2009.

SCIPIONI, M. C. **Padrões ambientais e ecológicos de uma floresta estacional decidual sobre uma formação sedimentar na depressão central do RIO GRANDE DO SUL**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SCIPIONI, M. C. **Análise dos padrões florísticos e estruturais da comunidade arbóreo-arbustiva e da regeneração natural em gradientes ambientais na floresta estacional, RS, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2008.

SOCHAVA, V. B. O Estudo de Geossistemas. **Métodos em Questão**. São Paulo, v16. IG-USP, n. 16, p. 1-50, 1977.

SOCHAVA, V. B. **Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre**. Biogeografia. São Paulo: IG-USP, 1978.

SULSOFT. **Guia do ENVI em Português**. Disponível em: <http://www.envi.com.br/index.php/downloads>. Acesso em: ago. de 2015.

SÜHS, R. B.; PUTZKE, J.; BUDKE, J. C. Relações florístico-geográficas na estrutura de uma floresta na região central do Rio Grande do Sul, Brasil. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 3, p. 635-646, 2010.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos**. GEOUSP - Espaço e Tempo, n. 15, p. 39-49, 2004.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Emater/RS; UFRGS, 2002. 126p.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; DANIEL; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**. Araraquara, v. 11, n. 20, p.137-155, 2007.

TERAMOTO, E. R.; LEPSCH, I. F.; TORRADO, P. V. Relações solo, superfície geomórfica e substrato geológico na microbacia do Ribeirão Marins (Piracicaba - SP). **Scientia Agricola**. v. 58, n. 2, p. 361-371, 2001.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE, Secretaria de Planejamento da Presidência da República, 1977. 97p.

TSCHIEDEL, A. F.; PICKBRENNER, K.; MARCUZZO, F. F. N. **Análise hidromorfológica da sub-bacia 87**. XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. João Pessoa, 2012.

UFSM/SEMA-RS. **Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM/SEMA-RS. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ifcrs/frame.htm>. Acesso em set. 2016.

VARELLA, C.A.A. 2008. **Análise de Componentes Principais**. Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, p. 1-12. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads>. Acesso em: ago. 2016.

VALLADARES, G. S. et al. Demais autores. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de organossolos e solos afins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 32, n. 285-296, 2008.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 124 p.

VILLELA, F. N. J. **Análise da relação Relevo-Rocha-Solo no contato Planalto Atlântico – Depressão Periférica Paulista**. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

VITTE, A. C. O desenvolvimento do conceito de paisagem e sua inserção na Geografia. **Mercator: Revista de Geografia da UFC**. Fortaleza, v. ???, n. 11, p. 71-78, 2007.

ZONNEVELD, I. S. **Land evaluation and landscape science**. Enschede: International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences, 1979. 134 p.

WATRIN et al. Demais autores. **Transformação por Componentes Principais e por Decorrelação de Bandas Aplicadas à Caracterização de Feições da Paisagem do Nordeste Paraense**. VIII simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador: [s.n.]. 1996. p. 435-441.