

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO GESTÃO DO TERRITÓRIO**

CARLA EVA PRICHOA

**ESTUDO EM DUAS UNIDADES DE PAISAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO PITANGUI/PR MEDIANTE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA E ANÁLISE
ORIENTADA A OBJETOS**

**PONTA GROSSA
2012**

CARLA EVA PRICHOA

**ESTUDO EM DUAS UNIDADES DE PAISAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO PITANGUI/PR MEDIANTE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA E ANÁLISE
ORIENTADA A OBJETOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia - Mestrado em Gestão do Território da Universidade Estadual de Ponta Grossa, como requisito para obtenção do Título de Mestre.

Orientação: Prof^aDra. Selma Regina Aranha Ribeiro
Co-orientação: Prof. Dr. Pedro Molina Holgado

**PONTA GROSSA
2012**

Ficha Catalográfica Elaborada pelo Setor Tratamento da Informação Bicen/UEPG

P947e Prichoa, Carla Eva
Estudo em duas unidades de paisagem da bacia hidrográfica do rio Pitangui / PR mediante estatística multivariada e análise orientada a objetos / Carla Eva Prichoa. Ponta Grossa, 2012.
140 f.

Dissertação (Mestrado em Geografia - Gestão do Território),
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Orientadora: Profa. Dra. Selma Regina Aranha Ribeiro.
Coorientador: Prof. Dr. Pedro Molina Holgado.

1. Paisagem. 2. Rio Pitangui –PR. 3. Sensoriamento Remoto - SR. 4. Sistemas de Informação Geográfica - SIG. I. Ribeiro, Selma. Regina Aranha. II. Holgado, Pedro Molina. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em Geografia. IV. T.

CDD: 621.367.8

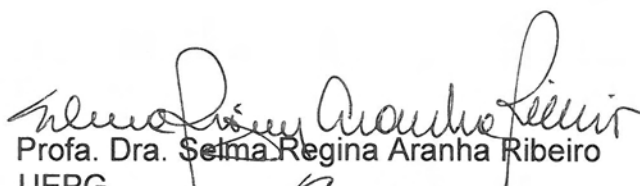
TERMO DE APROVAÇÃO

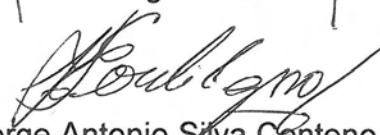
Carla Eva Prichoa


ESTUDO EM DUAS ÁREAS (PAISAGENS) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PITANGUI/PR MEDIANTE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA E ANÁLISE ORIENTADA A OBJETOS

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geografia – Mestrado em Gestão do Território, Setor de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora:


Profa. Dra. Selma Regina Aranha Ribeiro
UEPG


Prof. Dr. Jorge Antonio Silva Centeno
UFPR


Profa. Dra. Maria Ligia Cassol Pinto
UEPG

Ponta Grossa, 06 de Julho de 2012.

Dedico esta pesquisa

Aos meus pais José e Durilde
pelo incentivo, apoio incondicional e, principalmente
pela compreensão dos muitos momentos de minha ausência,
com amor.

À minha sobrinha Angélica pela amizade, carinho
e constante presença na minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, pela oportunidade em realizar o curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo subsídio financeiro que possibilitou o desenvolvimento da pesquisa.

À Universidade Autônoma de Madri (UAM), pela oportunidade de conhecimento interdisciplinar, ao permitir frequentar o Programa de Mestrado em Geografia.

À minha orientadora Prof^ª Dra. Selma Regina Aranha Ribeiro, pelos valiosos conselhos no decorrer da pesquisa, pela confiança depositada, a qual impulsionou este trabalho, pela amizade conquistada, minha gratidão.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Pedro Molina Holgado, da Universidade Autônoma de Madri, pelo precioso conhecimento repassado nos ensinamentos práticos de paisagem singular.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia, em especial à Dra. Rosemeri Segecin Moro, Dr. Edivaldo Lopes Thomaz, Dra. Silvia Meri Carvalho, Dr. Nicolas Floriani, Dr. Leonel Brizolla Monastirsky, Dr. Wolf Dietrich Sahr, pelos ensinamentos e estímulos.

À banca de defesa composta pelos Professores Doutores Jorge Antonio Silva Centeno e Maria Lígia Cassol Pinto, pela contribuição interdisciplinar de cada um, concebendo-se na finalização majestosa da pesquisa.

Aos colegas e amigos do curso, pelos momentos dedicados ao conhecimento e também aos bons momentos de descontração ao longo desta trajetória, de modo especial a Melânia Ferronato, Zaqueu Bobato, Joécio Soares, Talia Rafaeli, Juliana Mutterle, Ana Carolina Rodrigues, Wolliver Dias, Tiago Katu Pereira e Fernando Fernandes.

Aos colegas de mestrado da UAM, pelas experiências trocadas e amizades conquistadas.

Aos colegas e amigos de Laboratório Dinameres Antunes, Regiane Orlovski, Thalita Scharr Rodrigues, Alex Caetano, Anyelle Cruz, Ingrid Gomes, Joel Zubek e Rodrigo Marena, pela amizade e pelo envolvimento no mundo das Geotecnologias.

Ao amigo Willian Samuel Santana da Roza, pelo companheirismo e ajuda em muitos momentos da pesquisa.

Aos amigos de perto ou de longe, presentes ou ausentes, por fazerem parte da minha vida.

Em especial à minha família, a qual amo muito, por estar sempre presente, apoiando-me e vibrando a cada nova conquista.

Enfim, a todos que contribuíram de alguma forma para a concretização deste anseio, minha eterna gratidão.

RESUMO

Cada paisagem apresenta sua singularidade estrutural e funcional, principalmente quando está inserida em espaços cujas dinâmicas de usos apresentam diferenças significativas. Para analisar uma paisagem, faz-se necessário compreender que ela é resultante da relação múltipla entre sociedade e natureza, nas quais ambas são consideradas um conjunto de elementos que interagem entre si. Atualmente, muitos são os métodos para análise e caracterização das paisagens; porém, de maneira maciça, as técnicas de SIG (Sistemas de Informação Geográfica) e SR (Sensoriamento Remoto) apresentam impactos na produção e disponibilização de produtos cartográficos, minimizando custos e otimizando a validação a campo. Outra técnica utilizada associada a dados de SR e SIG é a análise estatística multivariada de Componentes Principais, aqui utilizada para a redução de dimensionalidade e a de Agrupamento para a análise da homogeneidade/heterogeneidade da paisagem. Neste contexto, esta pesquisa foi desenvolvida utilizando classificação qualitativa, ou seja, visual, voltada a caracterização e ao reconhecimento de padrões físicos, bem como de ocupação de duas unidades de paisagem pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Pitangui, a qual abrange os municípios de Castro, Carambeí e Ponta Grossa, localizados a centro-leste do Estado do Paraná. O estudo envolveu a utilização de imagem de satélite Landsat 5 TM, a qual forneceu visão global, particular das unidades e os valores de refletância dos alvos nelas contidos. Os dados referentes as bandas espectrais e do relevo foram integrados, relacionados e espacializados em ambiente SIG, extraíndo variáveis de relevo e de hidrografia a fim de se realizar um reconhecimento visual e topográfico prévio das unidades. Anteriormente a Análise Multivariada (Componentes Principais e Análise de Agrupamento) as imagens, espectrais e representantes do relevo, foram segmentadas por meio da Análise Orientada a Objetos a qual gerou regiões descritas por suas propriedades espectrais, espaciais e de textura, mediante nova imagem contendo como elemento mínimo as regiões e ainda um banco de dados relacional contendo todos os descritores espectrais, espaciais e de textura. Após a Análise Orientada a Objetos utilizou-se a Análise por Componentes Principais a qual elencou os descritores advindos do banco de dados relacional da Análise Orientada a Objetos, com os maiores coeficientes de correlação diminuindo a dimensionalidade, de 39 para 17 descritores ou variáveis, e concomitantemente aplicando-se a técnica de Análise de Agrupamento, com o intuito de encontrar características de homogeneidade/heterogeneidade presentes nas unidades. Na análise de agrupamento da primeira e segunda unidades de paisagem sempre foram gerados três subgrupos iniciais distintos de variáveis, tanto com a imagem Landsat (5R4G3B) quanto com a imagem Landsat (5R4G3B) associada ao relevo (MDT). Constatou-se que, a associação de dados espectrais com dados altimétricos (MDT) possibilitaram agrupamentos salientando as características físicas e de uso e ocupação das unidades, onde nota-se a distribuição das variáveis de forma coerente agregando as regiões de maior refletância dos canais espectrais vermelho, infravermelho médio e infravermelho próximo. O canal do vermelho refletiu mais ocupações antrópicas, sobretudo percebidas na porção urbana à sudeste da segunda unidade. Já o infravermelho médio refletiu os usos pela agricultura e solos expostos de ambas as unidades. A banda do infravermelho próximo refletiu a vegetação presente nas unidades, destacando-se, neste caso a primeira unidade de estudo. A inserção da variável do relevo (MDT) aumentou os agrupamentos ocasionando maior fusão nas regiões, salientando porções de destaque nas unidades, como os aplainamentos em altitudes elevadas, bem como vales onde percorrem os rios Pitangui e Jotuba.

Palavras-chave: Paisagem. Rio Pitangui. Sistemas de Informação Geográfica-SIG. Sensoriamento Remoto-SR. Análises Multivariada e Orientada a Objetos.

ABSTRACT

Landscapes have structural and functional uniqueness, especially when are inserted in spaces whose dynamics are substantially different uses. To analyze a landscape, it is necessary understanding that it is the result of multiple relationship between society and nature, in which both are considered a set of elements that interact with each other. Currently, there are many methods for analysis and characterization of landscapes, however, at a massive rate, the techniques of GIS (Geographic Information Systems) and RS (Remote Sensing) have impacts on the production and availability of cartographic products, minimizing costs and optimizing validation field. One technique associated with SR and GIS data is the Multivariate Statistical Analysis of Principal Components, in this project used for dimensionality reduction and Clustering for the analysis of homogeneity / heterogeneity of the landscape. In this context, the research was conducted using qualitative classification, directed the characterization and recognition of physical standards as well as the occupation of two landscape units belonging to Pitangui River Basin, which includes the cities of Castro , Carambeí and Ponta Grossa, located in east-central state of Paraná. The study involved images of Landsat 5 TM satellite, which provide overall vision, particular units and values of reflectance targets contained therein. Data regarding the spectral bands and relief were integrated and spatially related to GIS, extracting variables of topography and hydrography in order to conduct a visual reconnaissance and topographic prior units. Prior to Multivariate Analysis (Principal Component and Cluster Analysis) images, spectral and representatives of relief were targeted by Object-Oriented Analysis which generated regions described by their spectral properties, space and texture through new image as containing minimum element regions and even a relational database containing all descriptors spectral, spatial and textural. After Object-Oriented Analysis, it was performed the Principal Component Analysis which listed the descriptors coming from the relational database of Object-Oriented Analysis. The res outcomes were highest correlations decreasing dimensionality, 39 to 17 descriptors or variables, and concurrently applying the technique of Cluster Analysis, in order to find characteristics of homogeneity / heterogeneity present in the units. In cluster analysis of the first and second landscape units were always generated three distinct subgroups of initial variables, both with the Landsat image (5R4G3B) as with the Landsat image (5R4G3B) associated with the relief (DTM). It was observed that the combination of spectral data with altimetry (DTM) data possible groupings emphasizing the physical characteristics and use and occupancy of the units, note where the distribution of the variables consistently, aggregating the regions of higher reflectance spectral band red and middle infrared. The near infrared reflected more occupations anthropogenic aim in urban area in southwest in the second unit. However the middle-infrared reflected the land use units from agriculture and exposed soil the both units. The near infrared band reflected the vegetation present in the units, especially in this case the first unit of study. The insertion of relief variable (DMT) increased groups that caused greater merging in the regions, highlighting portions in both units, such as flat areas at high altitudes and valleys where the rivers run Pitangui and Jotuba.

Keywords: Landscape, Pitangui River. Geographic Information Systems-GIS. Remote Sensing-RS. Multivariate and Oriented Analysis to Object.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Unidades de paisagem de estudo.....	54
Figura 2	Diagrama de blocos 1 – Relevo.....	64
Figura 3	Diagrama de blocos 2 – Hidrografia.....	71
Figura 4	Diagrama de blocos 3 – Análise Orientada a Objetos.....	75
Figura 5	Modelo Digital do Terreno da unidade de paisagem 1.....	83
Figura 6	Modelo Digital do Terreno da unidade de paisagem 2.....	83
Figura 7	Gradiente de Encosta da unidade de paisagem 1.....	86
Figura 8	Gradiente de Encosta da unidade de paisagem 2.....	86
Figura 9	Aspecto da unidade de paisagem 1.....	89
Figura 10	Aspecto da unidade de paisagem 2.....	89
Figura 11	Bloco Diagrama da unidade de paisagem 1.....	91
Figura 12	Bloco Diagrama da unidade de paisagem 2.....	91
Figura 13	Superfície 3D da unidade de paisagem 1.....	93
Figura 14	Superfície 3D da unidade de paisagem 2.....	93
Figura 15	Direção de Escoamento da unidade de paisagem 1.....	95
Figura 16	Direção de Escoamento da unidade de paisagem 2.....	95
Figura 17	Sub-bacias da unidade de paisagem 1.....	97
Figura 18	Sub-bacias da unidade de paisagem 2.....	97
Figura 19	Uso atual do solo da unidade de paisagem 1.....	100
Figura 20	Uso atual do solo da unidade de paisagem 2.....	100
Figura 21	Análise Orientada a Objetos Landsat 5 TM (bandas 5R4G3B). Unidade de paisagem 1.....	105
Figura 22	Análise Orientada a Objetos Landsat 5 TM (bandas 5R4G3B). Unidade de paisagem 2.....	105
Figura 23	Entrada do rio Pitangui na Represa Alagados. Nota-se nas bordas vegetação ripária com presença de remanescentes de FOMA e área destinada a agricultura. Unidade de paisagem 1 05/2012.....	106
Figura 24	Agricultura intensiva desenvolvida em áreas de relevo plano. Observa-se o solo preparado para novo plantio agrícola. Unidade de paisagem 2 05/2012.....	106
Figura 25	Pequenas glebas de agricultura observadas em área próxima à Represa Alagados. Unidade de paisagem 1.....	106

Figura 26	Agricultura sob estágios diferentes de crescimento. Notam-se vertentes localizadas nas áreas agricultáveis contendo baixos índices de vegetação ripária. Unidade de paisagem 2 5/2012.....	106
Figura 27	Análise Orientada a Objeto Landsat 5 TM (bandas 5R4G3B e banda 4 MDT) da unidade de paisagem 1.....	107
Figura 28	Análise Orientada a Objeto Landsat 5 TM (bandas 5R4G3B e banda 4 MDT) da unidade de paisagem 2.....	107
Figura 29	Área de floresta combinada com agropecuária. Presença de vegetação mais densa em áreas de maiores altitudes e declividades. Unidade de paisagem 1 05/2012.....	108
Figura 30	Área com cultivo de soja pronto para ser colhida, região mais plana onde se pode ver longe no horizonte. Ao fundo nota-se início do perímetro urbano de Ponta Grossa. Unidade de paisagem 2 5/2012.....	108
Figura 31	Pastagem desenvolvida em região aplainada do divisor topográfico dos rios Pitangui e Jotuba. Esta região possui altitudes elevadas, porém, sua topografia propícia o uso. Unidade de paisagem 1 05/2012.....	108
Figura 32	Início do perímetro urbano de Ponta Grossa. Nota-se área com construções e infraestruturas como estrada e cabos de energia elétrica. Unidade de paisagem 2 5/2012.....	108
Figura 33	Gráfico de dispersão contendo o total de variáveis (35) extraídas das imagens Landsat 5 TM (bandas 5R4G3B.....	110
Figura 34	Gráfico de dispersão contendo o total de variáveis (39) extraídas das imagens Landsat 5 TM (bandas 5R4G3B e banda 4 MDT).....	111
Figura 35	Dendrograma Landsat 5 TM (bandas 5R4G3B) da unidade de paisagem 1	116
Figura 36	Dendrograma Landsat 5 TM (bandas 5R4G3B e banda 4 MDT) da unidade de paisagem 1.....	118
Figura 37	Dendrograma Landsat 5 TM (bandas 5R4G3B) da unidade de paisagem 2	120
Figura 38	Dendrograma Landsat 5 TM (bandas 5R4G3B e banda 4 MDT) da unidade de paisagem 2.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Representação de descritores: espacial, espectral e de textura.....	77
Tabela 2	Percentuais da Análise Orientada a Objeto.....	103
Tabela 3	Percentuais de Correlação para as variáveis finais.....	112
Tabela 4	Variáveis de maior homogeneidade com as unidades de paisagem.....	113

LISTA DE SIGLAS

AA	–	Análise de Agrupamento
ACP	–	Análise de Componentes Principais
AOO	–	Análise Orientada a Objetos
CP	–	Componente Principal
DN	–	Digital Number
ED	–	Escarpa Devoniana
FLSA	–	Full Lambda Schudule Algorithm
FNEA	–	Fractal Net Evolution Approach
FOMA	–	Floresta Ombrófila Mista
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	–	Inverse Distance Weizhted
INPE	–	Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
ITT	–	Visual Information Solutions
MAXVER	–	Máxima Verossimilhança
MDT	–	Modelo Digital do Terreno
ML	–	Merge Level
MLC	–	Classificador de Máxima Verossimilhança
PDI	–	Processamento de Imagens Digitais
PPP	–	Primeiro Planalto Paranaense
SAR	–	Syntetic Aperture Radar
SIG	–	Sistemas de Informação Geográfica
SL	–	Scale Level
SR	–	Sensoriamento Remoto
SPP	–	Segundo Planalto Paranaense
TIN	–	Triangular Irregular Network
TPP	–	Terceiro Planalto Paranaense

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	ESTUDOS DE PAISAGENS.....	16
2.2	AGENTES FORMADORES DA PAISAGEM.....	27
2.3	ANÁLISE DE PAISAGEM SOB ENFOQUE DAS GEOTECNOLOGIAS - SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, SENSORIAMENTO REMOTO E PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS.....	33
2.3.1	Classificação Máxima Verossimilhança.....	36
2.3.2	Análise Orientada a Objetos.....	39
2.3.2.1	Atributos Espectrais.....	43
2.3.2.2	Atributos de Forma.....	44
2.3.2.3	Atributos de Textura.....	47
2.3.3	Análise de Componentes Principais.....	47
2.3.4	Análise de Agrupamento.....	48
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	52
3.1	UNIDADES DE ESTUDO.....	52
3.2	FISIOGRAFIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PITANGUI.....	55
3.2.1	Geologia.....	55
3.2.2	Geomorfologia.....	57
3.2.3	Hidrografia.....	58
3.2.4	Clima.....	59
3.2.5	Solos.....	59
3.2.6	Vegetação.....	60
3.2.7	Uso da terra na Bacia do Rio Pitangui.....	61
3.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	62
3.4	AGENTES FORMADORES DA PAISAGEM.....	63
3.4.1	Variáveis que representam o relevo.....	65
3.4.1.1	Modelo Digital do Terreno.....	65
3.4.1.2	Gradiente de Encosta.....	67
3.4.1.3	Aspecto.....	68
3.4.1.4	Bloco Diagrama e Superfície 3D.....	69

3.4.2	Variáveis que representam a hidrografia.....	70
3.4.2.1	Direção de Escoamento e Sub-bacias.....	72
3.5	CLASSIFICAÇÃO QUANTITATIVA DO USO E OCUPAÇÃO ATUAL: MÁXIMA-VEROSSIMILHANÇA.....	73
3.6	ANÁLISE ORIENTADA A OBJETOS E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	74
3.7	ANÁLISE MULTIVARIADA DE AGRUPAMENTO.....	78
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	80
4.1	ANÁLISE VISUAL E INTERPRETAÇÃO DOS AGENTES FORMADORES DA PAISAGEM.....	80
4.1.1	Modelo Digital do Terreno.....	81
4.1.2	Gradiente de Encosta.....	84
4.1.3	Aspecto.....	87
4.1.4	Bloco Diagrama e Superfície 3D.....	90
4.1.5	Direção de Escoamento e Sub-bacias.....	94
4.1.6	Uso atual do solo mediante Classificação Quantitativa com a técnica da Máxima-Verossimilhança.....	98
4.2	ANÁLISE ORIENTADA A OBJETOS, ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E ANÁLISE DE AGRUPAMENTO.....	102
4.2.1	Análise Orientada a Objetos.....	102
4.2.2	Análise Multivariada por Componentes Principais.....	109
4.2.3	Análise Multivariada por Agrupamento.....	113
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	123
6	CONSIDERAÇÕES FUTURAS.....	131
	REFERÊNCIAS.....	132

1 INTRODUÇÃO

A caracterização e o reconhecimento de paisagens, suas formas e peculiaridades tornam-se, nesta década, um grande desafio e uma necessidade para a humanidade. Sua identificação e diferenciação envolvem fatores muitas vezes complexos, uma vez que cada paisagem é formada por processos e dinâmicas sócio-ambientais distintos. O termo paisagem associa-se às configurações concretas que adquirem os espaços e os elementos geográficos, bem como às formas materiais resultantes de processos territoriais, ou seja, a manifestação morfológica e fisionômica de uma paisagem é produzida pela associação de evoluções naturais com um suceder histórico.

A contextualização do termo “paisagem”, aqui, é realizada sob experiências de autores como: Forman, 1995; Forman e Godron, 1986; Turner; Gardner e O’Neill, 2001; Burel e Baudry, 2002, os quais percebem suas estruturas e padrões espaciais como manifestações espaciais/temporais de processos que ocorrem em diferentes escalas. Processos estes que geram padrões e estruturas, sobretudo, influenciados e guiados pelas estruturas espaciais dominantes, ou seja, pelas causas e pelos efeitos da heterogeneidade espacial sobre os diferentes processos ecológicos.

A interpretação da estrutura espacial das paisagens agrega-se à descrição do *locus* vivenciado pela sociedade, onde cada um a nota de forma diferente, e, dependendo do ângulo em que se está, pode-se observar o conjunto de formas e novos padrões, caracterizados como mosaicos naturais, responsáveis pelas feições individuais de cada região do planeta. Essa percepção se amplia, na medida em que se analisa uma dada fotografia ou imagem de satélite e percebem-se determinadas composições cada vez mais detalhadamente.

O termo mosaico é apropriado para definir uma unidade de paisagem, a qual se almeja trabalhar, principalmente como recorte individual, ou seja, uma área com perímetro relacionado aos objetivos propostos, como é o caso desta pesquisa, sobretudo porque nos recortes individuais também são percebidas unidades funcionais.

Assim, esta pesquisa tem por objetivo caracterizar e reconhecer a homogeneidade/heterogeneidade de duas unidades de paisagem da bacia hidrográfica do Rio Pitangui - PR, usando-se para isto técnicas dos Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto para reunir um conjunto de variáveis físicas (relevo, hidrografia), os quais serão processados estatisticamente por meio de Análise Orientada a Objetos, Análise de Componentes Principais e de Agrupamentos e comparados entre si visualmente.

Para alcançar a proposta, agregaram-se especificidades como:

- Classificar o uso e ocupação das unidades de paisagem, firmando mediante análise em campo;
- Caracterizar e analisar visualmente o relevo e a hidrografia, por meio de atributos dos agentes formadores extraídos do MDT e sub-bacias;
- Selecionar mediante Análise por Componentes Principais as variáveis advindas da análise orientada a objetos com maior correlação;
- Analisar estatisticamente, por análise de agrupamento, as variáveis de maior ou menor homogeneidade;

Neste sentido, as duas unidades de paisagem selecionadas para este estudo possuem aproximadamente 127,7 Km² cada uma e estão localizadas na bacia hidrográfica do rio Pitangui, a centro-leste do Estado do Paraná, sendo que a primeira unidade configura-se no Primeiro Planalto Paranaense, abrangendo os municípios de Ponta Grossa, Castro e Carambeí, e a segunda unidade abrange parte da Escarpa Devoniana e Segundo Planalto Paranaense no município de Ponta Grossa. O posicionamento das unidades foi o ponto decisivo para a escolha, uma vez que o relevo do estado propõe um escalonamento sentido oeste, configurando heterogeneamente cada espaço local.

As unidades têm importância abrangente, uma vez que o Rio Pitangui, além de manter vivo um ecossistema aquático e terrestre regional, contribui para o abastecimento do município de Ponta Grossa, cuja população ultrapassa os 300 mil habitantes (IBGE, 2010). Por isso, antes de chegar à foz, cujo percurso ultrapassa 100 km e se caracteriza muitas vezes por encaixamentos, o Rio Pitangui contribui com 100% de seu aporte à Represa Alagados, formada também pelo Rio Jotuba, o qual está inserido na primeira unidade de estudo.

Dessa forma, espera-se que esta pesquisa, possa colaborar com o entendimento da paisagem, de maneira sistemática, a partir da utilização de métodos da estatística multivariada (Análise de Componentes Principais e de Agrupamento) e técnicas de Sensoriamento Remoto, Sistemas Informação Geográfica e Processamento de Imagens Digitais nas unidades em estudo, caracterizando-as fisicamente, minimizando e otimizando o conhecimento da paisagem, o que torna o estudo menos subjetivo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ESTUDOS DE PAISAGENS

O termo paisagem não é recente, sobretudo porque ele vem se fazendo presente ao longo da história da humanidade, manifestando-se de forma direta nos territórios ou por meio de representações artísticas. Por isso, é preciso iniciar seu estudo de maneira sistemática, enfatizando, de maneira especial, seu conteúdo semântico, para que se possa compreender a sua trajetória e importância no contexto histórico e cultural.

A palavra “paisagem” adveio do latim *Pagus*, que significa “campo” ou “terra” com o sentido de lugar. O primeiro registro que se conhece, de acordo com Molinero, Tort, Ojeda (2010), foi em Catalão, no ano de 1696, e em Castelhana, em 1708. Em sua trajetória, a paisagem foi adquirindo formas diversas de interpretação e ganhando cada vez mais importância no contexto histórico/cultural. Convém salientar que as denominações acima aludem a uma relação com atividades rurais ou agrárias da época, traduzindo-se num território em que o homem era parte integrante na construção e/ou modificação da paisagem, por isso sua compreensão parte da dimensão cultural e/ou antrópica.

Ao longo deste período de tempo a valorização da paisagem de forma pictórica marcou a trajetória, sobretudo, até o final do século XVIII, sendo percebida sob os diversos pintores da época, onde cada um atribuía um pensamento e uma visão sobre a mesma, porém, de todas ou na maior parte das definições predominou a visão subjetiva da paisagem. Os ideais estéticos do Romantismo eram destacados, por exemplo, por Caspar Davis Friedrich, o qual foi pioneiro em mostrar que a arte deveria aproximar o ser humano da natureza pura. Tal tendência foi consagrada desde o Renascimento, quando o protagonismo absoluto da representação do corpo humano na arte, típica da pintura religiosa tradicional, deu lugar a arte de Friedrich, atribuindo destaque maior às paisagens majestosas.

Neste sentido, a paisagem é vista na pintura como resultado da ruptura com a visão teológica medieval, e ocupa lugar proeminente na Geografia por herança da estética naturalista e do romantismo, e por representar os aspectos visíveis do espaço geográfico (SALGUEIRO 2001).

Com isso, a partir do século XIX, o termo paisagem começou a ser largamente utilizado na Ciência Geográfica, adquirindo um conceito mais amplo, entendido como o “conjunto de formas que caracterizam um setor determinado da superfície terrestre” (BOLÓS,

1992). Esta definição considerava a forma como fator principal para distinção e classificação das paisagens.

Ainda neste período, Humboldt (s/d), em seus retratos publicados em meados do século XIX, atribuiu uma visão completa do conhecimento sobre a natureza, deixando nas suas imagens os reflexos, ainda que de maneira romântica, das relações entre os elementos da paisagem. Isso permitia conhecer qual era o sentimento em relação à natureza e à paisagem e como ele era expressado em cada momento, bem como a analogia que as pessoas tinham com meio em que habitavam. Assim, as representações gráficas das paisagens admitiam uma compreensão de como a natureza e as paisagens se projetavam na forma de pensar e de imaginar dos seres humanos em cada momento da história (HERRÁIZ ET AL.2003).

Pode-se dizer que, com a introdução da Geografia Moderna, mesmo sob presença do romantismo, houve um impulso para que o conhecimento geográfico fosse visto sobre outros ângulos, principalmente sob um profundo viés cultural, em que, até na contemporaneidade, as paisagens são percebidas e analisadas sob dois caminhos, como sublinha Herráiz et al. (2003): um mais científico e explicativo e outro mais poético e compreensivo, porém, ambos necessários para explicar simultaneamente suas formas e compreender seu significado.

Por isso, o conhecimento de Humboldt se refletia ao tratar a paisagem como uma configuração da superfície do globo em uma região determinada, cujos caracteres particulares causavam nas pessoas sensações e sentimentos (SANTOS, 2006). Ou seja, naquele momento a paisagem era vista sob interferência do homem, ou melhor, sob o viés cultural.

Neste enfoque, nota-se que o conceito de paisagem denota diversas concepções, variando, principalmente com o contexto temporal adotado, bem como dos fatores que, podem ser tanto abrangentes como específicos, sendo que boa parte deles ligados a determinadas abordagens filosóficas.

Exemplificando as diferenças ao empregar o termo paisagem pela Geografia no início do século XX, tem-se o conceito *landschaft*, introduzido pela escola alemã, de fortes raízes positivistas, assim como pela escola francesa (*paysage*). Para a escola alemã o termo *landschaft*, por influência de Troll (1971), atribuiu-se delimitações conceituais, chegando à idéia uma “entidade visual e espacial total do espaço vivido pelo homem” (TROLL, 1971, *apud* VEADO, 2006), ou seja, um complexo natural totalmente relacionado à ação humana.

Mais recentemente, na abordagem marxista a paisagem passa a ser vista não como um elemento geográfico, mas como um produto da relação capital versus trabalho, expresso territorialmente. Por isso, o conceito de Território, expresso por Milton Santos, é imprescindível para denotar a crítica quanto a abordagem acima, mostrando que “o território

não é apenas um substrato material, mas, igualmente, uma identidade, um sentimento de pertencer a um dado espaço (SANTOS, 2001). Concebe-se, portanto, a “paisagem” como um domínio do visível formada por cores, movimentos, odores, sons etc. Para este autor, a dimensão da paisagem é a mesma da percepção, para a qual cada pessoa apresenta versões diferentes de um mesmo fato.

Seguindo o mesmo raciocínio Cantero (2005), enfatiza que as paisagens impõem identidade ao território, porque elas são um produto social, ou seja, uma proeminência cultural de uma sociedade num espaço determinado, principalmente na dimensão espiritual, ideológica e simbólica. Dessa forma, aqui com o sentido de primeira natureza de Santos, são transformadas pela sociedade por meio de sua cultura, caracterizadas não somente pela materialidade (construções, cultivares etc.), mas por traduzirem valores sentimentais e culturais, encarnando as experiências e aspirações dos indivíduos.

Neste caminho de análise, pode-se agregar a concepção de Herráiz et al. (2003) ao lembrar que a terminologia paisagem se refere às configurações concretas que os espaços e os elementos geográficos adquirem, principalmente, as formas resultantes de processos, ou seja, a manifestação morfológica e fisionômica de uma espacialidade concreta, produzida por uma evolução natural e um suceder histórico, somando-se a isto os significados culturais, representações e imagens, incluindo um conceito que abarca a realidade objetiva e percebida.

O mesmo autor evidencia a importância da relação do ser humano com o espaço, gerando uma intrínseca relação de uso e troca com o meio físico, podendo-se aplicar este conceito à história ambiental, ao se compreender a natureza como um espaço utilizado, apropriado por diversas populações em diferentes épocas. Uma paisagem é concebida como um território, na medida em que ela foi utilizada e apropriada no passado por diversas populações e/ou culturas.

Em outra direção de análise, a idéia de entidade visual e espacial da paisagem, onde a natureza era relacionada com as ações humanas, se aproximava do uso da noção de paisagem feita a partir do modelo de Geossistema, o qual implica no resultado da organização espacial e não numa simples adição de elementos geográficos disparados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução (BERTRAND, 1972).

O entendimento sobre paisagem foi conduzido por diversos autores no decorrer da história, chegando ao século XX com a concepção científica e clara sobre a unidade e complexidade da superfície terrestre, que conforme Bolós (1992) se deu pela “interconexão da

atmosfera, litosfera e hidrosfera formando a biosfera ou esfera da vida”. Nesse sentido, as relações entre os elementos ou conjuntos de forças originam uma série de características, diferenciando-se pelas suas particularidades locais. Isso originou uma crescente importância do estudo sobre paisagens e não somente pelos geógrafos, mas por especialistas ligados a outras ciências.

Entre tantas propostas, surge a proposta de Metzger (2001) de integrar a paisagem, definindo-a como um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo a heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador, numa determinada escala de observação. Este caráter integrador permite uma análise efetiva dos processos atuantes no meio, a partir de uma nova concepção: a da Ecologia da Paisagem.

O conceito de Ecologia da Paisagem foi introduzido no final da década de 1930, pelo biogeógrafo Carl Troll, formulado com base no potencial apresentado pelo uso de fotografias aéreas, que permitia a observação de paisagens a partir de abordagens ecossistêmicas, como síntese entre a ecologia e a geografia. Segundo o autor a paisagem seria “uma entidade espacial e visual”, cuja noção básica é a heterogeneidade do espaço habitado pelo homem. Essa abordagem, de acordo com Metzger (2001) foi fortemente influenciada pela geografia humana, pela fitossociologia e pela biogeografia, além da vertente da geografia que envolve o planejamento regional, cunhando à paisagem uma noção de espacialidade.

Neste sentido, a atribuição de Troll, permitiu avanços em direção as bases teóricas relacionadas à mudança de paradigma das ciências ambientais, e especialmente em direção as bases aplicadas, sobretudo, pelo amplo desenvolvimento das Geotecnologias e dos Sistemas de Informação Geográficas.

Autores como Forman e Godron (1986), associam a paisagem como uma área heterogênea composta por agrupamentos de ecossistemas interativos que se repetem mediante uma forma semelhante. Já Urban et al. (1987) veem a paisagem como um mosaico de formas heterogêneas, tipos de vegetação e usos da terra; ou, ainda, conforme Bethmont et al. (2006), os quais abordam que cada paisagem pode ser interpretada a partir de um elemento-chave que faz sentido: na cidade ou no campo, na planície ou na montanha.

Burel e Baudry (2002) explicam que a dinâmica paisagística depende das relações entre as sociedades e seu ambiente criando estruturas mutantes no espaço e no tempo. A heterogeneidade espaço temporal resultante controla numerosos movimentos e fluxos de organismos, matéria e energia. Por isso, para compreender os mecanismos de manutenção das espécies e de perenidade dos fluxos de água ou nutrientes, é fundamental ter em conta os determinantes da origem da heterogeneidade do meio. Neste sentido, a ecologia da paisagem

integra o objeto de estudo, ou melhor, a paisagem e seus determinantes, ou seja, o meio e a sociedade e seus efeitos sobre os efeitos ecológicos estudados.

Agregando-se no contexto dinâmico da paisagem, comprova-se que ela é “fruto da interação dos componentes geológicos, expostos à ação do clima e a fatores geomorfológicos, bióticos e antrópicos por meio dos tempos, refletindo hoje o registro acumulado da evolução biofísica e da história das culturas precedentes” (ROCHA 1995).

Neste sentido, a combinação de dinamismo e evolução contribui para originar mudanças nas paisagens ao longo do tempo, como se pode perceber nos estudos de Lal (1990), ao demonstrar que, por exemplo, a interferência antrópica no solo, mediante procedimentos e estratégias inadequadas de manejo, provoca o desenvolvimento e/ou a aceleração dos processos erosivos e o comprometimento dos recursos hídricos, tendo em vista que aumenta o poder de escoamento superficial e dificulta o processo de infiltração superficial e profunda, gerando mudanças na paisagem local.

Por isso, para estudos ligados à paisagens é fundamental relacionar elementos que fazem parte de sua estrutura para melhor caracterizá-la, como mostra Bertrand, (1972) ao insistir na compreensão da expressão do potencial ecológico e da ação antrópica, permitindo o estabelecimento de descontinuidades objetivas que se concretizam em sua estrutura (dinâmica e funcional), admitindo a delimitação de unidades homogêneas.

Mulders (1982) descreve a análise fisionômica como o reconhecimento de diferentes ou principais tipos de formas, relevo, padrão de drenagem natural, uso da terra, condições de drenagem e outros elementos como erosão, superfície do solo e estrutura geológica. As unidades são regiões que possuem padrões que podem caracterizá-las. São unidades “homogêneas”, que apresentam características físicas similares, tais como relevo, vertentes, declividade, padrão da rede de drenagem, estrutura geológica, cobertura vegetal e ação antrópica. Por isso, ao se analisar uma paisagem, é preciso remontar seu contexto histórico e/ou cultural para que, assim, se possa dar conta de explicar suas atuais formas e características.

Nesta pesquisa, por se tratar de análises relacionadas, principalmente, aos aspectos físicos da paisagem, não se dará enfoque maior ao aspecto social e cultural, pois, tais especificidades demandam uma remontagem histórica das unidades de estudo em questão, que neste momento não se objetiva. Porém, não se nega a importância deste caráter, principalmente pelo mesmo ser abordado por pesquisadores como Molina (2003), o qual ressalta que a “paisagem é um elemento importante na qualidade de vida das populações dos

meios urbanos e rurais, nas áreas degradadas e nas preservadas, sendo vista como um elemento-chave do bem estar social”.

Ao questionar o contexto físico, a proposta é orientar-se por BIGARELLA; BECKER; SANTOS (1994, apud Ribeiro 2003) integrando a problemática aos aspectos fundamentais dos ambientes e das paisagens implicando na abordagem e discussão da estrutura geológica, da evolução climática regional, bem como da análise dos principais eventos que conduziram à organização morfológica do relevo. Sendo igualmente importantes os aspectos pedológicos e biogeográficos. Em síntese, a compreensão da estrutura e da origem das paisagens necessita de abordagem interdisciplinar objetiva, considerando seu desenvolvimento no espaço e no tempo.

Fundamentando-se nos aspectos acima, julga-se importante considerar, nas unidades de paisagem escolhidas para o estudo, as características físicas distintas encontradas tanto no uso e ocupação, como na estrutura física de ambas, pois, isso se torna salutar para um esboço de similaridade e/ou heterogeneidade, uma vez que o perímetro abrangente de cada área a ser analisada compõe-se por uma rica biodiversidade e diferentes usos, porém, não podendo deixar de se levar em conta os riscos de extinção ou perda de algumas espécies e/ou degradação por processos naturais ou de usos impróprios.

Neste caso, recomenda-se associar os estudos relacionados a paisagens com diversas áreas do conhecimento e propiciar informações que permitam considerar o sistema complexo e dinâmico, reconhecendo a importância, principalmente ambiental dos ecossistemas envolvidos, bem como as transformações ocorrentes. Rocha (1995) sublinha que a Ecologia da Paisagem, trata do estudo das inter-relações entre os diversos fatores que contribuem na formação das unidades homogêneas/heterogêneas que formam a paisagem, pode permitir o entendimento dos processos naturais e culturais atuantes nos ecossistemas com perspectiva de análise e de planejamento ambiental. Ponderando-se, ainda, que a mesma estuda a combinação, a estrutura, a função e as alterações de diferentes ambientes (FORMAN; GODRON, 1986). Ela pode ainda contribuir para o entendimento da diversidade biótica existente nos diferentes fragmentos de hábitat.

Na visão de Metzger (2001) a Ecologia da Paisagem é um ramo da ecologia que ressalta a influência mútua entre os processos ecológicos e os padrões espaciais em que estes se inserem. E ainda procura reconhecer os agentes e as implicações resultantes da heterogeneidade espacial do ambiente, sempre considerando, numa determinada escala, os recortes temporal e espacial. É uma ciência com características neopositivistas, estando

associada aos conceitos da Teoria dos Sistemas proposta por Bertalanffy no início da década de 50.

A Ecologia da Paisagem aprofunda as interações entre os padrões espaciais e os processos ecológicos que ocorrem num território, onde, este mesmo é estudado aplicando-se a escala de sua paisagem, ou seja, as causas e conseqüências da heterogeneidade espacial por meio das escalas.

Neste sentido, a Ecologia da Paisagem é apontada como a mais interdisciplinar das ciências, pois ela abarca as relações do meio, de seus habitantes e entre ambos. Explica as estruturas que tais relações originam e de como estas mesmas estruturas condicionam as inter-relações sem esquecer-se do homem como principal agente da mudança na paisagem.

Pesquisas realizadas pelos autores como Forman e Godron (1986), Turner et al. (2001), Forman (1995), Rocha (1995), mostram que a ecologia da paisagem considera a paisagem de maneira holística, na dimensão ecológica, analisando seus aspectos culturais, sociais, políticos e ambientais, cujos enfoques vão depender do detalhamento que se necessite ou do caráter do estudo a ser realizado, assim como da escala de trabalho.

Forman e Godron (1986) apontam que a ecologia da paisagem considera a estrutura, a função e a alteração do ecossistema. A estrutura se refere às relações espaciais entre ecossistemas distintos, analisando a distribuição de energia, materiais e espécies em relação ao tamanho, forma, quantidade, tipos e configuração dos componentes. A função diz respeito à interação entre os elementos espaciais, ou seja, o fluxo de energia, materiais e espécies entre os componentes do ecossistema. A alteração de acordo com Turner e Gardner (2001) se refere à mudança na estrutura e na função do mosaico ecológico. Isso em sintonia com a dinâmica da paisagem e as relações entre a sociedade e seu ambiente, criando estruturas modificadas no espaço e no tempo (BUREL; BAUDRY, 2002).

Os elementos que compõem a estrutura da paisagem foram estudados inicialmente por Forman e Godron (1981 e 1986) nos livros “Patches and Structural Components for a Landscape Ecology” e “Landscape Ecology”, respectivamente, os quais os assinalavam como: patches, corridors e matrix. Termos estes que tanto na literatura espanhola quanto na portuguesa foram traduzidos, inicialmente como: matriz e corredores, porém, para o termo patches estão sendo utilizados termos como: unidades de paisagem, fragmentos e manchas.

Nesta pesquisa pode-se atribuir o termo mancha (unidade de paisagem), uma vez que, enquadra-se na metodologia de Forman e Godron (1986) (precursores) e Burel e Baudry (2002) (seguidores), onde, esses autores utilizam e classificam as paisagens como um modelo de elementos-componentes, ou seja, as paisagens são compostas de dados ou objetos espaciais

em que envolvem manchas, corredores e matrizes e que a extensão e a configuração desses elementos definem o padrão da paisagem. Justifica-se a analogia com as unidades estudadas pela presença de elementos físicos encontrados, os quais se apresentam dinâmicos e visíveis, como por exemplo, a Represa Alagados inserida entre as mesmas.

A estrutura de uma paisagem é vista como segmentos interligados, onde cada elemento faz parte de uma estrutura ou tipologia observada numa escala maior ou conforme palavras de Burel; Baudry (2002) e Urban et al. (1987) o padrão paisagístico é constituído de um mosaico formado de manchas e de uma rede formada de corredores, os quais mantêm uma borda em seus limites, que interage com a matriz.

Valendo-se de uma perspectiva ecológica, as manchas podem representar áreas relativamente discretas (domínio espacial) ou períodos (domínio temporal) com condições ambientais homogêneas, onde, os limites das mesmas podem ser distinguidos por algumas descontinuidades de caráter ambiental do seu meio ou por algum fenômeno ecológico.

Os corredores são elementos da paisagem linear que pode ser definida com base na estrutura ou função. Forman e Godron (1986) definem Corredores como estreitas faixas de terra que diferem a partir da matriz de cada lado, ou seja, podem ser tiras isoladas, porém, estão geralmente ligadas a uma mancha de vegetação um pouco semelhante. Podem ser de três tipos: Linhas-Corredores, de forma linear (estradas, trilhas, cercas, diques, canais e outros); Faixas-Corredores, mais largas que as linhas e usualmente com presença de vegetação (autoestradas, sistemas de torres de energia); e Cursos d'água, principalmente considerando a vegetação ao longo dos mesmos (FORMAN; GODRON, 1986).

Burel e Baudry (2002) determinam como corredores uma rede de ligação por meio do sistema viário (estradas e trilhas) e de drenagem (córregos e canais), sendo que a disposição espacial do mosaico de manchas e de redes constitui o padrão paisagístico que possibilita a conectividade entre os organismos existentes.

A forma e o contexto dos corredores estruturais provocam conseqüências na maneira de seu funcionamento, ou seja, podem atuar como canais, aumentando os fluxos entre as áreas, ou atuar como barreiras, inibindo os movimentos biológicos (FORMAN, 1995). A função do corredor irá variar entre os organismos, devido às diferenças na forma como os eles percebem a escala e o meio ambiente. As funções ecológicas dos corredores são descritas pelo autor acima como: habitat, condutor, filtro, fonte e sumidouro e cada um exerce papel fundamental a estrutura de uma paisagem.

Como dito anteriormente a paisagem é composta tipicamente por vários tipos de elementos da paisagem (manchas). E destas manchas, a matriz é o tipo de elemento mais

extenso e mais conectado com a paisagem, e, portanto, desempenha o papel dominante no funcionamento da mesma (FORMAN; GODRON, 1986).

A maioria das paisagens apresenta a matriz como um elemento óbvio para o pesquisador ou gestor, no entanto, em algumas paisagens, ou em um determinado momento durante a trajetória de uma paisagem o elemento da matriz não vai ser óbvio e isso porque, pode não ser adequado considerar qualquer elemento como matriz. Um elemento da matriz é em grande parte dependente do fenômeno em consideração, por isso, o que a constitui é dependente da escala de investigação ou de gestão, sendo importante reconhecer que a escolha e a interpretação de métricas de paisagens devem, finalmente, serem avaliadas em termos do seu significado ecológico, que é dependente de como a paisagem é definida, incluindo a escolha de tipos de manchas e a designação de uma matriz (FORMAN; GODRON, 1986; FORMAN, 1995; ROCHA, 1995; BUREL; BAUDRY, 2002).

Nesta pesquisa trabalha-se com duas unidades de paisagem distintas, onde ambas, estão conectadas por um canal fluvial (Represa Alagados). As unidades apresentam padrão paisagístico diferenciado o que se caracteriza pelas diversas formas de uso, bem como pela estrutura física local. Busca-se, no entanto essas descontinuidades paisagísticas para poder identificar entre elas as características ou configurações homogêneas e/ou heterogêneas dos territórios.

As unidades possuem tamanho pouco expressivo em relação à dimensão; contudo, podem ser configuradas de acordo com a metodologia de Forman e Godron (1986) e Burel y Baudry (2002) como manchas, as quais mantêm relações uma com a outra, como dito anteriormente, por meio do canal fluvial (Rio Pitangui/Represa Alagados), e por estradas, relacionando-se como corredores. Assim, o Rio Pitangui exerce papel fundamental na composição da paisagem física e sociocultural atual. Por outro lado a Represa Alagados inserida entre as manchas ou unidades de paisagem, pode de certa forma atuar tanto como um corredor no sentido de possibilitar a mobilidade de espécies quanto como uma barreira, bloqueando o desenvolvimento de espécies vegetais ou animais ou simplesmente impedindo a ocorrência de fatores físicos naturais, podendo ocasionar mudanças na estrutura paisagística de toda a Bacia Hidrográfica.

Neste contexto, os canais fluviais merecem destaque, como enfatiza Christofolletti (1980), ao relacioná-los com a dinâmica que ocorre nestes setores, pois os rios são importantes fluxos de montante para jusante, possibilitando interações laterais com as margens e setores da bacia, e os intercâmbios verticais com as águas subterrâneas. As formas morfológicas e os processos que as desencadeiam, são representadas pelo tipo de vertentes e

pela rede de canais fluviais, uma vez que as características das vertentes, dos canais fluviais e a dinâmica dos processos morfogenéticos e fluviais expressam a paisagem geomorfológica.

O autor também soma aspectos ligados à geologia, às características hidrológicas, à vegetação e à ocupação do solo, pois se atribui a estas especificidades o desenvolvimento das principais características que condicionam o regime hidrológico

O Rio Pitangui presente em ambas as unidades de estudo, torna-se um elemento fundamental na distribuição dos aspectos naturais, uma vez que, o mesmo origina padrões diferenciados tanto físicos quanto de uso e ocupação. Por isso, neste início do século XXI se reconhece que para “compreender as características dos sistemas fluviais é preciso moldá-los ao contexto de ecossistema terrestre adjacente, juntamente com o sistema de troca de energia e matéria, ou seja, considerar os rios e arroios como parte de um conjunto funcional mais amplo, incluindo sua planície de inundação” (CEREZO, 2003).

A vegetação ripária, adjacente da zona ativa do canal, é um elemento importante no funcionamento dos ecossistemas fluviais, pois a mesma influencia na dinâmica de uma bacia hidrográfica ou mesmo do ecossistema fluvial. Diferentes estudos, de acordo com Cerezo (2003) mostram que a vegetação ripária tem influência sobre as taxas de crescimento, abundância e estrutura da comunidade de invertebrados, por incidir na qualidade e quantidade dos alimentos.

Dessa forma, os rios e arroios estão constituídos por diferentes subsistemas, conectados entre si pelos fluxos hidrológicos, característica esta de interação, a qual tem por resultado o transporte de matéria e energia que varia no espaço e no tempo, conforme a variação dos diferentes fatores condicionantes ambientais, físicos e climáticos, como a geomorfologia dos canais, a sazonalidade e o uso e ocupação.

Optou-se nesta pesquisa por não utilizar o conceito de “Paisagem Fluvial¹” na íntegra, pois de acordo com Molina (2010), a paisagem fluvial abrange um espaço unicamente onde a água torna-se o elemento-chave na construção da paisagem, justificando-se assim, pelas unidades de estudo delimitadas. No entanto, as duas unidades de paisagem analisadas nesta pesquisa possuem características de paisagem fluvial, porém, a abrangência delas ultrapassa os limites vistos unicamente como paisagem fluvial.

Dessa forma, a base adotada para este estudo, está ligada tanto no conceito de Forman e Godron (1986) e Burel e Baudry (2002) tratando a paisagem como mosaicos

¹ Para maiores informações consultar: MOLINA, P.H. Metodología para la caracterización de paisajes fluviales: Aplicación a la Cuenca Hidrográfica Del Tajo (España Central). TerraPlural.v.4i2.Ponta Grossa. 2011.

heterogêneos e assimilando-a com manchas e corredores ambientais, bem como, com o autor Bertrand (1972) que utiliza da visão sistêmica GTP para caracterizar a paisagem.

As bases conceituais acima favorecem um recorte espacial variável para análise da paisagem, ou seja, pode ser uma cidade, município, estado, ou região, que apresente limites políticos, ou então, uma bacia hidrográfica e/ou parte dela, porém que apresente limites físico-topográficos.

Bertrand (1972) divide as unidades de paisagem em seis grandezas, separadas em duas categorias: a) superiores - zona climática, o domínio morfoclimático e a região ou província geomorfológica; b) inferiores - o geossistema corresponde ao ecossistema (das ciências naturais), no entanto, incorpora o homem como parte dele e sua consequente interação com o meio, a geofácia que utiliza escalas de quilômetros (km) ou metros (m) e está fortemente relacionada com diferenciações fisionômicas dentro de um geossistema, e o geótopo que utiliza escalas de metros (m) a decímetros (dm) e representa principalmente áreas relictuais ou endêmicas.

Assim, baseando-se no autor acima, nesta pesquisa trabalha-se com unidades de paisagem situadas em uma bacia hidrográfica, que se caracterizam como geofácies e que representam características distintas tanto em seu uso quanto na estrutura física. Porém, não podemos deixar de destacar a importância da bacia hidrográfica como um todo, pois é nela que “se produzem as dinâmicas geomorfológicas, de vegetação, de uso e ocupação, entre outros, e de cada região particular” (BERTRAND, 1972).

A importância da bacia hidrográfica é vista sob diversos pesquisadores, os quais a inserem na maioria dos estudos ligados ao meio ambiente e destacam sua importância no contexto social e físico.

A bacia hidrográfica é definida como sendo uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, em um determinado ponto de um canal fluvial, não apresentando um limite de tamanho, podendo apresentar milhares de quilômetros quadrados, ou alguns metros quadrados. Essa é considerada um complexo sistema de fluxo de matéria e energia, e não envolve apenas canais fluviais e planícies de inundação, mas incluem as vertentes, nas quais os processos internos são de fundamental importância (CHRISTOFOLETTI 1980).

Os diferentes tipos de atividades e ocupação em uma bacia hidrográfica influem de maneira significativa nas mudanças percebidas, bem como no fluxo de matéria e energia, pois, segundo Guerra e Cunha (1999), a interferência significativa, em qualquer um dos

componentes físicos da bacia hidrográfica, pode desencadear alterações, efeitos e/ou impactos à jusante e aos fluxos energéticos de saída (descarga, cargas sólidas e dissolvidas).

Ainda sob visão de Christofolletti (1999), o sistema da bacia hidrográfica e as formas de relevo, com sua morfologia e processos, estão representados pelas vertentes e pela rede de canais fluviais, onde as características morfológicas das vertentes e as dos canais fluviais e a dinâmica dos processos morfogenéticos e fluviais combinam-se para expressar a paisagem geomorfológica auto-organizada na entidade integrativa das bacias hidrográficas.

Avaliar os aspectos geológicos, as formas de relevo e os processos geomorfológicos, as características hidrológicas, a biota e a ocupação do solo torna-se fundamental, segundo Guerra (1999), quando se define a bacia hidrográfica como unidade espacial ao planejamento ambiental, pois estas são as principais características que condicionam o regime hidrológico.

Carvalho (2004) ressalta que se deve distinguir o conceito ligado a bacia hidrográfica enquanto “unidade de análise” e “unidade de gerenciamento”, uma vez que primeiro caso diz respeito a um termo técnico-científico, no qual são consideradas tanto as relações internas, quanto as externas da bacia, porém, utilizando o recorte de estudo, conforme o objetivo proposto. O segundo caso envolve um conceito político-administrativo, sendo que a bacia hidrográfica representa uma estratégia onde se busca o desenvolvimento sustentável.

Partindo-se da proposta deste trabalho, entende-se que a formação de determinada paisagem, numa determinada porção da superfície terrestre, como as unidades de paisagem presentes na bacia hidrográfica do Rio Pitangui, em análise neste estudo, é fundamental o conhecimento de alguns elementos responsáveis pela gênese e estrutura física local e que se descreveu de maneira resumida a seguir.

2.2 AGENTES FORMADORES DA PAISAGEM

As paisagens vistas na atualidade são resultado de diversas ações e reações dos elementos que a compõem e que fazem parte de uma intrínseca rede de trocas. Considerando a paisagem como uma entidade global, Bertand (1972) admite, implicitamente, que os elementos que a constituem participam de dinâmicas comuns.

Como fator de integração de parâmetros físicos, bióticos e socioeconômicos, Casseti (1995), sublinha que o conceito de paisagem é utilizado em estudos de impactos ambientais em diferentes empreendimentos, com importantes resultados, o que leva necessariamente ao

reconhecimento da vulnerabilidade e potencialidade da natureza, segundo os diferentes táxons.

A paisagem, como componente do meio ambiente é o objeto de proteção por parte de diversas leis e instituições, já sob ponto de vista geográfico é o objeto de estudo primordial que reflete um meio interativo de agentes materiais e imateriais que derivam seus processos e formas.

De acordo com o Convênio Europeu de Paisagem (CORTINA; QUERALT, 2007), o termo “paisagem” abrange qualquer parte do território tal como percebe a população, cujo caráter seja o resultado da ação e da interação de fatores naturais e/ou humanos.

Assim, a paisagem é resultado da combinação de diferentes componentes da natureza, e o relevo é um importante recurso para a delimitação das paisagens, ao mesmo tempo em que quase sempre condiciona a forma de uso e ocupação do solo.

O relevo, suas formas e características é consequência de processos dinâmicos que atuam no presente ou que atuaram no passado. Segundo Ross (2001), as forças que determinam a atuação dos processos geradores da morfodinâmica têm origem endógena e exógena, assim, o relevo é produto do antagonismo de forças que atuam de fora para dentro por meio da atmosfera, e de dentro para fora por meio da litosfera e da energia do interior da terra. É algo concreto quanto as formas e abstrato enquanto matéria, e seu modelado se concretiza pelas diferenciações locais da silhueta da superfície da terra. É um dos componentes do meio natural composto por um conjunto heterogêneo de formas que compõem a superfície da terra, as quais se mantêm em função do substrato rochoso que as sustentam, e dos processos externos e internos que as geram. Essas formas, por mais que possam parecer estéticas e iguais, na realidade são dinâmicas e se manifestam ao longo do tempo e do espaço de modo diferenciado, em função das combinações e interferências múltiplas dos demais componentes do estrato geográfico (ROSS, 2001).

O mesmo autor afirma que, as formas do relevo são dinâmicas e se manifestam ao longo do espaço e do tempo de modo diferenciado, pois há interferências múltiplas dos demais componentes do estrato geográfico, ou seja, há inter-relações de energia e matéria entre os componentes os quais são responsáveis pela evolução e gênese do modelado da superfície terrestre.

A estrutura geológica, o tempo e os processos geomórficos produzem o relevo, sendo que sobre este o homem pode provocar alterações significativas, porém locais, e mais intensivas do que extensivas. Ross (1992) destaca que as análises das formas, gênese e

dinâmica do relevo oferecem importante subsídio na avaliação do potencial de uso da terra e da fragilidade dos ambientes em função dos usos aplicados.

Dessa forma o relevo passa pela compreensão de uma coisa maior que é a paisagem como um todo, conforme descreve Ross (2003):

Não se pode entender a gênese e a dinâmica das formas do relevo sem que se entenda aos mecanismos motores de sua geração, sem que se perceba as diferentes interferências dos demais componentes em uma determinada Unidade de Paisagem. Existe relação estreita entre tipos de formas do relevo com os solos e estes com a litologia e o tipo climático atuante (ROSS, 2003 p. 12).

Os trabalhos gerados pela relação entre as forças endógenas, exógenas, tectogenéticas e dos mecanismos morfoclimáticos não podem ser vistos como produtos acabados e sim como produtos em permanente modificação, uma vez que a matéria e a energia estão em constante ação e reação, interagindo por meio dos diferentes componentes da natureza (CASSETI, 1995).

O mesmo autor aponta ainda que o relevo é caracterizado, de modo geral, por superfícies erosivas, pediplanadas, formas de dissecação, como tabulares, convexas e aguçadas, e podem deparar com variações ou combinações em uma área restrita, ou ainda, constituir um único domínio morfológico de grande extensão. As diferentes formas de relevo encontradas podem ser explicadas pela diferenciação estrutural, pela influência dos domínios morfoclimáticos e também pela ação direta ou indireta do homem.

Tratando das formas das vertentes Chistofolletti (1980) destaca que em um sentido amplo, as características das vertentes aludem uma superfície inclinada sem qualquer conotação genética ou locacional, se constituindo a categoria de formas, que é o objeto primordial da geomorfologia.

A vertente caracteriza-se por uma forma tridimensional, modelada pelos processos denudacionais, os quais não param de atuar. Algumas formas que as vertentes constituem são os morros, colinas, grotas, etc., enfatizando sua importância para a análise e compreensão do relevo, ou ainda, por meio delas podem ser identificados os mecanismos pelos quais os agentes erosivos atuam na esculturação das formas superficiais, e como isso se relaciona à erosão dos solos etc. Sobre tais processos Ross comenta:

É evidente que os processos erosivos ou de esculturação operantes no momento atual se manifestam ao longo das vertentes. A dinâmica atual do relevo melhor se manifesta nas vertentes e é, portanto neste táxon que o homem pode melhor perceber e atuar junto aos processos morfogenéticos, pois a vertente é o resultado da morfogênese ou morfodinâmica viva, presente, atual. É o nível da vertente que se

confunde o estudo da dinâmica do relevo e os problemas relativos à erosão dos solos, que na verdade fazem parte de uma mesma realidade (ROSS, 1992, p. 21)

Casseti (1995) descreve que o balanço morfogenético da vertente é comandado pelo valor do declive, pela natureza da rocha e pela variação do clima, onde o tipo de cobertura vegetal e a modalidade do uso do solo podem imprimir formas diferenciadas na topografia da vertente.

Dessa forma, para esse autor, o processo geomorfológico compreende todos os elementos endógenos e exógenos responsáveis pelas ações evolutivas das vertentes, tais fenômenos são responsáveis pela esculturação do relevo.

A vertente pode ser correlacionada com estudos de uso e ocupação, pois nela se materializam as relações das forças produtivas e sua apropriação, ou transformação encontrando-se subordinada ao conceito de propriedade.

Por isso, o relevo assume importância fundamental no processo de ocupação do espaço, fator que inclui as propriedades de suporte ou recurso, cujas formas ou modalidades de apropriação respondem pelo comportamento da paisagem e suas consequências. Neste sentido, o estudo do relevo é imprescindível para a análise geográfica, uma vez que atua como fator condicionante para outros componentes da paisagem e determinante para diversas atividades econômicas.

Outro elemento que contribui para o modelamento da superfície terrestre é o substrato geológico, pois este representa a matéria principal do sistema, uma vez que é sobre as rochas que o relevo é esculpido e desgastado, fornecendo desse modo, os sedimentos e constituindo o modelado de erosão e de acumulação. Para Ross (1992), os levantamentos geológicos são básicos para o entendimento da relação relevo/solos/rocha, ajudando na compreensão dos tipos de solos que ocorrem em cada unidade ou formação geológica, ou ainda em cada unidade do relevo, prestando-se tanto para análise da potencialidade agrícola como para avaliação da fragilidade natural dos ambientes.

Bertoni e Lombardi Neto (1990) destacam que o material de origem, ou seja, a geologia age passivamente na formação dos solos. Para Crepani et al. (2001), a participação da geologia para a categorização morfodinâmica da paisagem relaciona-se aos processos de evolução geológica do ambiente, e as informações sobre os diferentes graus de coesão das rochas. Nas rochas pouco coesas podem prevalecer os processos erosivos modificando as formas do relevo predominando assim a morfogênese. Porém, nas rochas bastante coesas deve prevalecer o intemperismo do material de origem e a formação dos solos (pedogênese).

Os processos de formação do solo ou pedogênese são reações ou mecanismos com características químicas, físicas e biológicas, produzindo propriedades cuja combinação é particular em cada caso e estão correlacionadas com os fatores ambientais que propiciam a formação dos diferentes tipos de solos. Vieira (1988) sublinha que os processos pedogenéticos podem produzir determinadas feições aos solos, notáveis em um perfil ou corte. Estas feições são chamadas de características e propriedades morfológicas do solo, como cor, espessura de horizontes, quantidade de areia, silte, argila, matéria orgânica, entre outros.

Os estudos dos solos segundo Ross (1992) devem avaliar a aptidão e a capacidade agropecuária das terras e subsidiar com informações das características texturais, estruturais e químicas do solo a análise da dinâmica do relevo, da fragilidade, e da funcionalidade dos sistemas ambientais onde cada tipo dominante de solo ocorre.

Fairbridgi (1972, *apud* Caseti 1995) enfatiza a importância do relevo ao considerar a paisagem morfológica como recurso natural principal do homem, dizendo ser o substrato de todos os outros recursos da terra, sem o qual tudo será secundário e abstrato.

Para o autor a geomorfologia é um conhecimento específico, sistematizado, que tem por objetivo analisar as formas do relevo, buscando compreender os processos pretéritos e atuais. A geomorfologia constitui importante subsídio para a apropriação racional do relevo, como recurso ou suporte, considerando a conversão das propriedades geoecológicas em sócio-reprodutoras.

O relevo terrestre não foi sempre o mesmo e continuará evoluindo, regido pelos fatores endógenos e exógenos, os quais são caracterizados por Caseti (1995) como forças vivas, cujas evidências demonstram grandes transformações ao longo do tempo geológico. Por isso é importante salientar que, a análise geomorfológica de uma determinada área implica obrigatoriamente o conhecimento da evolução que o relevo apresenta, a qual é possível se obter mediante estudo das formas e das sucessivas deposições de materiais preservadas, resultantes dos diferentes processos morfogenéticos a que foi submetido.

Deve-se mencionar, ainda, outros fatores fundamentais na esculturação das paisagens como a vegetação e o clima. O clima atua diretamente na composição física do relevo por meio do intemperismo, erodindo as rochas. O potencial erosivo é definido por fatores diversos, ou seja, a erosividade. Para Silva et al. (1999) o termo erosividade refere-se a capacidade potencial de um agente qualquer (água, vento, gravidade, etc.) em provocar erosão.

Para Bertoni e Lombardi Neto (1990) a chuva é um dos fatores climáticos de maior importância na erosão dos solos sendo que, as gotas de chuva que atingem o solo contribuem para a erosão pelo menos de três maneiras. Primeiramente desprendendo as partículas, depois as transportando, e produzindo energia em forma de turbulência à água superficial

Este efeito pode ser diminuído em um determinado ambiente de acordo com a proteção que tiver, ou seja, de acordo com a cobertura vegetal existente, sendo que para cada tipo de cobertura vegetal há um índice de proteção do solo. Para Ross (1992) há uma hierarquização de graus de proteção aos solos pela cobertura vegetal.

As atividades humanas também exercem impactos no meio ambiente, podendo ser de intensidades diversas. E de acordo com Ross (1992) salvo algumas regiões do planeta, os ambientes naturais mostram-se ou mostravam-se em estado de equilíbrio dinâmico até o momento em que as sociedades humanas passaram progressivamente a intervir cada vez mais intensamente na exploração dos recursos naturais e assim, construindo e/ou modificando as paisagens.

Para Tricart (1977), desde a lenta aparição do homem como espécie animal, os ecossistemas foram por ele modificados, assim como ele foi influenciado em seu desenvolvimento físico, e até intelectual, pelo meio ambiente, ou seja, pelos demais componentes do ecossistema do qual participa. A partir deste ponto de vista, fica claro a inter-relação existente entre os seres humanos e o meio o qual estes ocupam.

Para Fendrich et al. (1997), as principais alterações causadas pelo homem decorrem da retirada da cobertura vegetal, da agricultura sem manuseio próprio, das áreas de pastagem com altas densidades de animais, da abertura de estradas sem execução de obras de drenagem, ou da execução de loteamentos com a inobservância de práticas de conservação do solo e de controle de erosão.

Outro componente no processo de esculturação do relevo é a hidrografia. Ela constitui o elemento dominante no modelamento da Crosta e está associada a outros agentes que compõem o meio ambiente.

Christofolletti (1999) enfatiza que o estudo de aspectos relacionados á drenagem, relevo e geologia podem levar a compreensão de diversas questões associadas à dinâmica ambiental local. Uma forma de análise morfométrica que contribui para o entendimento do transporte de sedimentos, da erosão e deposição de materiais é a realização de perfis longitudinais da rede de drenagem.

Para Cunha (1995), o perfil longitudinal de um rio expressa a relação entre seu comprimento e sua altimetria, que significa seu gradiente, ou declividade. O perfil típico é o

côncavo, com declividades maiores em direção a nascente. Assim, os cursos d'água que representam tal morfologia são considerados em equilíbrio, mostrando relações de igualdade entre os processos de erosão e deposição. Por isso, a forma do perfil reflete o ajuste do rio a fatores relacionados com o volume e carga da corrente, tamanho e peso dos sedimentos transportados, declividade, geologia da calha, regime das chuvas, entre outros.

A densidade de drenagem também é um dos diversos atributos da paisagem cujas variações de grande escala tais como declividade, elevação, e unidade do solo e varia em relação a topografia, refletindo a litologia, estruturas geológicas e característica topoclimáticas.

Desse modo, a formação de qualquer paisagem envolve características tanto ambientais quanto sociais, e a dinâmica existente entre ambiente e sociedade provoca ao longo do tempo ações e reações, modificando os espaços e/ou paisagens.

2.3 ANÁLISE DE PAISAGEM SOB ENFOQUE DAS GEOTECNOLOGIAS - SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, SENSORIAMENTO REMOTO E PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS

O conhecimento da distribuição espacial dos recursos naturais terrestres, da população e de outras características exige na contemporaneidade a ampliação de métodos de levantamento, para caracterizar e classificar os dados ambientais.

Em meio a este contexto as geotecnologias, representadas pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e pelo Sensoriamento Remoto (SR), são técnicas adequadas para estudos do meio ambiente, pois proporcionam a manipulação, organização e transformação dos dados em informações.

Para Burrough (1992), a coleta, o tratamento, a análise e a disponibilização de informações espaciais associadas a mapas digitais georreferenciados são, hoje, realizados pelo SIG e têm se constituído importante técnica à administração ambiental, fornecendo diretrizes que subsidiam adoção de medidas, principalmente preventivas, além das corretivas, baseadas no conhecimento das potencialidades e das fragilidades do ambiente.

Os SIGs oferecem inúmeras aplicações que envolvem a espacialidade dos diversos fenômenos e podem ser utilizados como ferramentas na análise de fenômenos ambientais, econômicos e sociais, justificando ainda que os mesmos são utilizados em aplicações que

geralmente envolvem uma quantidade de dados muito grande para serem manuseados por processos manuais.

De acordo com Silva (1999), além de responder as questões sobre localização, condição, tendência, rota, padrão, simulação e modelamento, o SIG pode ainda: produzir mapas mais elaborados, de forma rápida e com baixo custo; gerar mapas específicos, de acordo com a personalização implementada; permitir diferentes representações gráficas, usando o mesmo banco de dados; possibilitar a automação da atualização e revisão; e revolucionar a análise quantitativa de dados espaciais.

Os requisitos básicos para um sistema gerenciado da base de dados do SIG são: a eficiência (acesso e modificações de grandes volumes de dados), a integridade (controle de acesso por múltiplos usuários) e a persistência (manutenção de dados por longo tempo, independentemente dos aplicativos que acessam os dados).

Para Câmara et al. (1996), o SIG deve possuir componentes como: interface com usuários; entrada e integração de dados; funções de processamento gráfico e de imagens; visualização e plotagem; e ainda armazenamento e recuperação de dados organizados sob a forma de um banco de dados geográficos.

O objetivo principal do SIG é servir de instrumento utilizado por todas as áreas de conhecimento que utilizem imagens e mapas, por meio da integração de informações de diferentes origens referentes a uma região em uma única base de dados referenciada espacialmente (BURROUGH, 1986), e que garante resultados eficazes ao ser aplicado em estudos relacionados à unidades de paisagem.

O emprego do SIG no reconhecimento de uma área dentro de uma bacia hidrográfica vem ao encontro do manejo e do gerenciamento da mesma, pois a divisão da bacia hidrográfica em segmentos pode servir como diretriz para a coleta de dados bem como a aplicabilidade dos resultados.

Neste sentido, o SIG pode ser utilizado em diversos estudos ligados ao meio ambiente, por isso, podem ser consideradas algumas aplicações como na classificação dos tipos de cobertura vegetal, nos impactos antrópicos e/ou naturais, etc., pois o mesmo possibilita o armazenamento, a manipulação e a visualização de uma maior quantidade de dados especializados.

No entanto, Lang e Blaschke (2009) sustentam que o desafio presente do SIG é que sua utilização não seja somente para documentar (estatisticamente) a situação atual, mas, utilizar sua funcionalidade analítica e modeladora para fomentar um gerenciamento pró-ativo,

com visão e planejamento para o futuro de fatos ambientais por meio de métodos modernos da área de modelagem, técnica de cenários e de observação constante.

Para ajudar no propósito dos autores supracitados, Novo (1989) aposta no SR e o define como uma técnica responsável pela aquisição de informação sobre um objeto a partir de medidas feitas por um sensor que não se encontra em contato físico direto com ele. As informações são derivadas da detecção e mensuração das modificações impostas sobre os campos de força eletromagnéticos, acústicos ou potenciais.

O uso de imagens de satélite em conjunto com o SIG, possibilita a definição de áreas ambientais homogêneas ou de unidades de paisagem com características similares, convertendo-se em uma forma adequada tanto à análise dos resultados, quanto ao planejamento das unidades de paisagem.

Segundo Jensen (2000), o SR pode ser usado para medir e monitorar importantes características biofísicas e atividades humanas na Terra. As imagens adquiridas por SR e suas técnicas de extração de informações, a respeito do espaço físico territorial, são utilizadas por técnicos e cientistas das mais diversas áreas os quais necessitam ter conhecimento e detalhamento da superfície física, sem a necessidade do contato físico com o objeto em estudo.

Centeno (2004) enfatiza que as informações adquiridas por SR são representadas na forma de imagem, seja ela fotográfica, orbital, radar, ou uma imagem obtida usando laser. A imagem é formada a partir da variação da intensidade da energia proveniente dos diferentes pontos da superfície terrestre. As imagens obtidas por meio das técnicas de Sensoriamento Remoto refletem a situação geográfica real no momento da aquisição da imagem, representando os modelos da superfície terrestre. As imagens produzidas são caracterizadas pelas resoluções: espacial, espectral, radiométrica, temporal e pela largura da faixa imageada.

Os dados extraídos do SR podem ser trabalhos de forma organizada com o uso do SIG, podendo ser tanto semânticos, quanto alfanuméricos, de ordem quantitativa ou qualitativa, os quais serão inseridos de acordo com o objetivo de estudo.

O referido autor acima, afirma que, as informações geradas pelo SR e estruturadas em um SIG servem para subsidiar o processo de entendimento da ocorrência de eventos, predição e simulação, proporcionando a tomada de decisões por meio da criação de cenários futuros, podendo aplicar-se o planejamento de estratégias sobre determinado aspecto da realidade, proporcionando a visão geral da área, a localização da área de interesse, a preparação de roteiro para ida a campo e a geração de banco de dados semânticos e numéricos, relacionando-os com os mapas de diversos temas.

Para garantir melhores resultados, e/ou evidenciar feições ou objetos, etc., nas imagens digitais conta-se com o Processamento de Imagens Digitais (PDI).

O PDI pode ser entendido como o aprimoramento de informações pictóricas para interpretação humana, ou seja, formas de se melhorar a visualização de objetos (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999)

Gonzales (2000, *apud* Rocha et al, 2008) enfatiza que as técnicas de PDI são utilizados na melhoria da qualidade das imagens para interpretação humana e no processamento de dados de cenas para percepção automática por meio de máquinas.

Moreira (2005) utiliza-se da técnica de PDI para criar procedimentos computacionais para análise de dados coletados por sensores e ressalta duas razões fundamentais: agilizar as tarefas manuais realizadas durante a interpretação visual e possibilitar ao analista introduzir outras informações, e cruzá-las com os padrões espectrais presentes na imagem, podendo assim, esses padrões tornarem-se facilmente identificáveis.

Por isso, nesta pesquisa com as imagens de SR, se produzirá o conjunto de variáveis, pois as bandas espectrais registram a interação do comprimento de ondas eletromagnéticas com os objetos da superfície terrestre, podendo apresentar um contexto da paisagem na forma sinóptica e panorâmica e também realizar a classificação digital supervisionada, gerando o mapa de uso atual das duas unidades de paisagem.

2.3.1 Classificação Máxima Verossimilhança

Para separar e identificar os objetos na superfície terrestre indica-se a Classificação de Imagens Digitais, pois os objetos são detectados pelos sensores dos satélites, onde, cada pixel ou região presente na imagem digital é associado a uma determinada classe que descreve um determinado tipo de cobertura e uso no terreno, como áreas urbanas, tipos de florestas, tipos de solos, agriculturas etc.

Existem diferentes classificadores para identificar os usos e tipos de solo, destacando-se, assim, os métodos de classificação supervisionada, como: o Método do Paralelepípedos, o Método da Distância Mínima e o Método da Máxima Verossimilhança (GONZALES; WOODS, 2002; RICHARDS; JIA, 2006; CENTENO, 2009). Por isso, as classificações pelos dados de satélite com média resolução espacial, como o Landsat 5 TM usado nesta pesquisa, requer o uso desse método, pois, além da seleção da técnica adequada, torna-se necessário a validação com os dados coletados em campo para obter uma acurácia confiável (LIU, 2006).

Para que uma classificação atenda os objetivos propostos, deve-se levar em conta o processo de interpretação, ou seja, o intérprete deve, necessariamente analisar a imagem no momento em que a visualiza, procurando entender o que nela se encontra para impetrar informações. Os principais elementos usados na interpretação de imagens são: localização (x, y), tomou cor, tamanho, forma, textura, padrão, sombra, altura, profundidade, volume, declividade, aspecto, sítio, situação e associação.

Este processo realiza a identificação das feições presentes na imagem de acordo com o objetivo proposto para a classificação, uma vez que, podem ser realizadas diferentes classificações numa mesma imagem. Dessa forma, na classificação supervisionada há a intervenção do usuário no âmbito de definir as classes desejadas e apresentar as amostras representativas destas classes (CENTENO, 2009).

Este método de análise supervisionando é fundamental nos classificadores que usam as funções estatísticas para analisar e comparar as características das refletâncias espectrais dos pixels com as características de uma determinada classe de padrão, para classificar e delinear as classes das imagens digitais. As amostras devem ser representativas, ou seja, devem abranger uma quantidade adequada de pixels, bem distribuídos na imagem, considerando as diversas maneiras em que cada classe se apresenta na imagem. Assim, conforme Liu (2006), o Classificador de Máxima Verossimilhança (MLC - *Maximum Likelihood Classifier*) é o método de classificação supervisionado mais usado no processo da identificação e delineamento das classes. O MLC usa um pixel associado com um vetor X que define os atributos observados.

As classificações com base no pixel são realizadas a partir de seus valores digitais ou Digital Number (DN), determinando a relação entre os valores dos pixels e as feições mapeadas (CENTENO, 2009).

Neste sentido, o analista da imagem, de acordo com Lillesand et al. (2007), deve supervisionar o processo de categorização do pixel, especificando para o algoritmo do computador descritores numéricos de vários tipos de cobertura da terra presentes na imagem, com base em amostras representativas de cobertura da terra que podem ser chamadas de áreas de treinamento. Estas áreas são usadas para compilar uma chave de interpretação numérica que descreve os atributos de cada feição de interesse. Assim, cada pixel no conjunto de dados é então comparado numericamente com cada categoria da chave de interpretação e classificada com o nome da categoria mais semelhante.

Para obter resultados mais precisos é importante que o analista conheça a área a ser classificada, pois de acordo com Centeno (2003), a fase mais importante da classificação

supervisionada é a amostragem ou área de treinamento, uma vez que as características de cada classe são definidas neste processo e permanecem até o final. O autor afirma ainda que, a amostra deve ter um tamanho tal que represente a classe, e que o ideal é escolher várias áreas pequenas ao invés de apenas uma de maior extensão, para evitar a redundância da alta correlação dos pixels vizinhos. Venturieri e Santos (1998) destacam que não existe um número certo de amostras a serem coletadas, mas elas devem refletir a variabilidade de cada classe dentro da área de estudo.

A habilidade em produzir classificações digitais da cobertura do solo pode estar excedendo a capacidade de quantificar significativamente sua acurácia. Para Lillesand et al. (2007) este problema, algumas vezes, impossibilita a aplicação de técnicas automáticas de classificação da cobertura da terra, mesmo quando seus custos são mais favoráveis comparados com outras técnicas mais tradicionais, pois sua classificação não é completa até que a acurácia seja avaliada. Assim, é fundamental que se adquira amostras significativas de alvos distintos por toda a imagem, para diminuir a confusão entre as classes e poder avaliar erros recorrentes. Estes erros também podem ser avaliados por meio da Matriz de Confusão, ou tabela de contingência, na qual se compara, classe por classe, a relação dos dados de referência com os resultados correspondentes da classificação automática.

[...] A Matriz de Confusão é uma forma de representar as contradições entre as verdades de campo e os resultados do processo de classificação. Nesta matriz são confrontadas duas situações: as linhas correspondem a classe correta e as colunas a classe estimada no processo de classificação. Cada célula armazena o valor de pixels que deveriam ser classificados como a classe especificada na linha e que foram classificados segundo a classe específica na coluna. Numa situação ideal, onde todos os pixels são classificados corretamente, a matriz apresentará valores apenas na diagonal [...] (CENTENO, 2004 p. 197- 198).

São encontrados dois tipos principais de erros em uma classificação: os erros de omissão e os erros de comissão. Os erros de omissão são pixels de uma determinada classe que foram classificados como sendo de outra, ou seja, foram omitidos da classe. Já os erros de comissão correspondem aos pixels que, sendo na realidade de outra classe, foram incluídos na classe considerada (CENTENO 2003).

Outra medida descritiva que pode ser obtida a partir da matriz de erros é a acurácia do produtor e do usuário. Assim, Lillesand et al. (2007) descrevem essas medidas do seguinte modo: a acurácia do produtor está relacionada aos erros de omissão, ou seja, é a razão entre pixels classificados corretamente em cada classe e o número real de pixels naquela classe. Já a acurácia do usuário está relacionada aos erros de comissão, ou de acordo com a razão entre os

pixels classificados corretamente em cada classe e o número total de pixels classificados naquela classe A acurácia geral é calculada dividindo-se o número de pixels classificados corretamente pelo número total de pixels.

Para um resultado mais eficaz da imagem, ou seja, uma melhor avaliação e acurácia na classificação da imagem digital utiliza-se também o coeficiente Kappa. Este índice mede a diferença entre um mapa temático produzido e um mapa temático completamente aleatório. O valor do coeficiente Kappa pode variar de 0 a 1, na qual o número 1 indica que a imagem classificada encontra-se em concordância com o mapa de referência, já o número zero indica o inverso (CENTENO, 2003).

2.3.2 Análise Orientada a Objetos

A análise baseada em regiões, de acordo com Venturieri e Santos (1998), é um processo que prepara as imagens digitais para uma futura classificação temática em nível de segmentos, ou orientação de objetos, no qual os elementos analisados são regiões resultantes do agrupamento de pixels, espacialmente próximos e com características espectrais similares. A orientação de objetos divide uma imagem em partes, ou como o nome supõe em objetos que a constituem, e o processo é finalizado quando os objetos de interesse na aplicação estiverem isolados.

Os autores enfatizam ainda que a técnica orientada a objetos consiste em uma etapa prévia à classificação temática, na qual os elementos analisados e utilizados na classificação serão as regiões resultantes da aplicação do segmentador. Essa técnica tem como objetivo simplificar uma imagem em algo mais significativo e fácil de analisar.

Não existe um método de segmentação comum para todas as imagens, tanto pela diversidade de aplicações do PDI, quanto pela ligação desse método com os conceitos subjetivos do analista (ANTUNES, 2003). Dessa forma, a segmentação ou análise orientada a objetos é realizada de acordo com o objetivo da análise e o conhecimento a priori sobre a imagem. É importante a escolha da melhor técnica de segmentação, uma vez que, poder-se-á realizar uma classificação sobre os segmentos gerados na imagem.

Em imagens de baixa resolução espacial a análise baseada na assinatura do pixel (pixel-based method) é o método mais utilizado. Porém, para imagens de média e alta resolução, a Análise Orientada a Objetos (AOO) tem sido sugerida na literatura como a mais indicada, já que tem em conta na identificação das classes, não só a resposta espectral dos

alvos, mas também as suas variantes geométricas, topológicas e de textura (MULLER, 1997; ANTUNES, 2003).

As feições do terreno também podem ser chamadas de objetos e estes podem ser reconhecidos no domínio de uma imagem. Dessa forma, a Análise Orientada a Objetos demanda procedimentos preliminares de segmentação, para a geração dos objetos ou polígonos, podendo utilizar características tanto espaciais, como espectrais e de textura, ou ainda, todos, em conjunto.

A técnica de Análise Orientada a Objetos surgiu como pré-processamento, no intuito de facilitar a classificação qualitativa para o fotointérprete ou analista. Posteriormente, a sua utilização como pré-classificação digital, desenvolveu-se para a análise orientada a objetos com a técnica de Fractal Net Evolution Approach (FNEA) e mais recentemente, com a Full Lambda Schedule Algorithm (FLSA), desenvolvida por Robinson, Redding, Crisp (2002).

Baatz e Schäpe (2000) introduziram o conceito de segmentação multiresolução (FLSA), empregando a noção de evolução de rede fractal (FNEA) na qual a imagem de SR é considerada como de natureza fractal, ou seja, a segmentação realizada na imagem de forma fina e de forma grosseira respectivamente origina diferentes escalas de segmentação. A segmentação da imagem resulta em segmentos ou objetos, que baseados em parâmetros espectrais e espaciais, podem ainda ser reagrupados em objetos maiores denominados superobjetos ou regiões. Estas regiões possuem relações com os segmentos que as constituem num nível hierárquico mais baixo (ANTUNES, 2003)

De acordo com os autores, a tarefa principal da segmentação de imagens é buscar a automatização da extração de objetos de interesse conforme uma determinada tarefa. A segmentação subdivide a imagem em objetos constituintes, e o nível até a qual essa subdivisão pode ser realizada, depende da escala e/ou do problema a ser resolvido. A escala e os critérios de semelhança controlam o resultado da segmentação, criando objetos maiores ou menores, homogêneos ou menos homogêneos, ou ainda, suavizados ou não. A escolha do parâmetro de escala e os critérios de semelhança estão relacionadas com as resoluções espacial e espectral da imagem.

O termo objeto se caracteriza como peça chave neste tipo de análise, mostrando que a informação semântica necessária para a interpretação de uma imagem não está inserida no pixel, e sim no objeto produzido sobre a imagem e nas relações existentes entre eles. Estes objetos são os segmentos ou polígonos.

A expressão ou algoritmo Full Lambda-Schedule como já comentado foi desenvolvido por Robinson, Redding, Crisp (2002), baseado na pesquisa de Koepfler et al.

(1994) para ser utilizado com imagens SAR (Syntetic Aperture Radar), porém, na atualidade, sua aplicação tornou-se comum, uma vez que, trata-se de um algoritmo iterativo e multiescala que obtém ótimos resultados.

De maneira geral, Gonzales e Woods (1998), ao tratarem de processamento de imagens, associam reconhecimento e interpretação com aplicações de análise de imagens, nas quais o objetivo é a extração automática de informação a partir de uma imagem. Por isso, para se extrair as informações a partir de uma imagem digital torna-se necessário reduzir as informações dessa imagem em regiões mais ou menos homogêneas, visando permitir uma análise mais apropriada.

Para melhor entender, Jain (1989) liga a técnica de Análise Orientada com a área na qual será aplicada. Na visão computacional, essa técnica refere-se ao processo de decomposição de uma imagem digital em vários segmentos (regiões) que a formam. Para o Sensoriamento Remoto (SR), na visão de Moik (1980), a Análise Orientada a Objeto é a parte da análise de imagem que trata da definição de objetos geográficos ou regiões em uma imagem.

Gonzales e Woods (2002) afirmam que, a Análise Orientada a Objetos subdivide a imagem em suas regiões, ou objetos constituintes. O nível em que a subdivisão é executada depende do problema que está sendo resolvido. A técnica deve parar quando os objetos de interesse forem isolados. Os algoritmos da técnica orientada a objetos geralmente são baseados em duas propriedades básicas de valores de intensidade: descontinuidade e similaridade. A descontinuidade é baseada em particionar a imagem de acordo com mudanças bruscas nos níveis digitais, sendo que, as principais áreas de interesse são a detecção de bordas e pontos isolados, e a detecção de linhas e bordas na imagem. Já a similaridade está baseada em limiarização, crescimento de regiões, divisão e fusão de regiões. No crescimento de regiões agrupam-se pixels, ou sub-regiões em regiões maiores.

Os mesmos autores ainda questionam dois problemas abordados no crescimento de regiões: a seleção da “semente”, que representa adequadamente as regiões de interesse a serem agregadas, bem como a seleção de propriedades apropriadas para a inclusão de pontos nas várias regiões durante o processo de crescimento das mesmas. Dessa forma o procedimento da técnica deve ser moldado de acordo com a resolução da imagem e com a escala (tamanho) que se deseja dos objetos.

Estudos de Shapiro e Stockman (2001) apontam basicamente dois objetivos para utilizar a técnica de orientação a objetos nas análises de imagens: decompor a imagens em partes para posterior análise e realizar uma mudança de representação. Assim, espera-se como

resultado final um número infinito de regiões homogêneas, que individualizam as diferentes regiões contidas numa imagem.

Dessa forma, a técnica da Análise Orientada a Objetos deste estudo é o algoritmo de segmentação Full Lambda Schedule Algorithm (FLSA). Este algoritmo é usado na segmentação em termo de limiarização como na fusão de segmentos ou polígonos. Esta técnica é responsável pela fusão de segmentos adjacentes, baseando-se na combinação da informação espectral e espacial ou de textura, tendo como resultado o agrupamento de pixels em forma de região, que devem estar espacialmente próximos, possuir características espectrais similares e informar seu descritor (espectral, espacial e textura) (ROBINSON, REDDING AND CRISP; 2002).

Neste sentido, a Análise Orientada a Objeto surgiu para otimizar a tradicional interpretação visual, uma vez que a técnica substitui inúmeras etapas da interpretação visual, restando ao fotointérprete apenas a associação dos polígonos gerados pelo segmentador com suas respectivas classes temáticas.

Estudos de Solberg et al. (1996) mostram que a interpretação da cena, em nível de segmentos, em que é possível a inclusão de informação espectral, espacial e de textura é importante, pois mais parâmetros podem ser derivados para descrever os elementos. Conforme Fan (2001), a dimensão espectral refere-se às diferentes bandas do espectro eletromagnético e o contexto espacial é definido pela correlação espacial entre os “pixels” adjacentes e as suas vizinhanças. Assim, Ribeiro (2003) enfatiza que a técnica de orientação a objetos consiste em direcionar o crescimento das regiões, anexando “pixels” espectralmente similares e conferindo se as regiões semelhantes obedecem a certos critérios espaciais fixados pelo usuário. Dessa maneira, o critério da uniformidade resulta da combinação de um critério espectral (cor) e de outro espacial (forma).

O software ENVI EX, da empresa ITT (Visual Information Solutions), mostra a implementação do algoritmo FLSA e realiza a segmentação em duas etapas, reguladas por dois índices percentuais: Scale Level (SL) e Merge Level (ML).

O percentual Scale Level realiza a segmentação em si, e o percentual Merge Level apura os segmentos. Esclarece-se, na medida em que se definem valores altos para SL, resultando segmentos ou polígonos maiores, porém, em menor quantidade. Ao definir valores baixos de SL, formam segmentos menores, mas em maior quantidade, o que pode gerar uma supersegmentação (oversegmentation). Quando o ML é usado para apurar a segmentação, observa-se que os segmentos menores são inseridos nos segmentos maiores e diminui a

possibilidade de supersegmentação pelo excesso de segmentos muito pequenos, ou seja, os polígonos que contêm atributos semelhantes juntam-se num mesmo polígono.

Como já comentado anteriormente, durante o processo de segmentação são gerados segmentos ou objetos mediante a agregação de pixels similares de acordo com a regra utilizada (FLSA). Sobre a imagem no nível abstração de segmentos ou regiões é gerado o vetor e concomitante ao vetor a topologia com banco de dados contendo vários descritores (espaciais, espectrais e de textura) de cada segmento ou região. Abaixo encontram-se discriminados todos os descritores (atributos) originados de cada região. Porém, nesta pesquisa utilizaram-se somente aqueles em que no resultado da análise de redução de dimensionalidade mediante a correlação dos descritores (ACP) mostraram-se mais homogêneos.

2.3.2.1 Atributos Espectrais

Os atributos espectrais estão vinculados às características dos pixels (brilho e cor) que estão inseridos no segmento chamados de descritores. Os atributos disponíveis quando do processo de segmentação FLSA no ENVI EX são: média, desvio padrão, valor máximo/mínimo do pixel dos valores digitais por banda e razão entre elas, matiz, tonalidade e saturação. A seguir mostra-se tres exemplos destes descritores ou atributos da análise orientada a objetos.

- a. **Média dos valores digitais, por banda (AVGBAND):** valor correspondente ao valor médio dos valores digitais dos pixels que compõe o objeto, em cada uma das bandas disponíveis.
- b. **Desvio padrão dos valores digitais, por banda (STDBAND):** valor correspondente ao desvio padrão da média dos valores digitais dos pixels do objeto, em cada uma das bandas disponíveis.
- c. **Valor Máximo de pixel, por banda (MAXBAND):** valor correspondente ao maior valor digital observado nos pixels do objeto, em cada uma das bandas disponíveis.
- d. **Valor Mínimo de pixel, por banda (MINBAND):** valor correspondente ao menor valor digital observado nos pixels do objeto, em cada uma das bandas disponíveis.
- e. **Razão entre bandas (BANDRATIO):** atributo que consiste em um valor determinado pela razão entre valores digitais de duas bandas espectrais. Este valor

digital descreverá o objeto a EQUAÇÃO 01 exemplifica como é realizado o cálculo:

$$NDVI = \frac{AVGBAND(IRn) - AVGBAND(R)}{AVGBAND(IRn) + AVGBAND(R) + eps} \quad (01)$$

- f. **Matiz ou Tonalidade (HUE):** Matiz, ou tonalidade, do sistema de cores HSI (*Hue, Saturation, Intensity*) que descreverá o objeto.
- g. **Saturação (SATURATION):** Saturação do sistema de cores HSI que descreverá o objeto.
- h. **Intensidade (INTENSITY):** Intensidade do sistema de cores HSI que descreverá o objeto.

2.3.2.2 Atributos de Forma

Os atributos de forma possuem características geométricas que podem ser traduzidas em forma de comprimentos, áreas ou relações matemáticas entre medidas do segmento, e buscam representar a forma do objeto (polígono) matematicamente, de modo que o computador possa interpretar. São exemplos de descritores espaciais também contemplados no ENVI EX:

- a. **Área (AREA):** valor da área do segmento ou do polígono, em unidades de mapa. Caso o segmento possua um furo, esta área do furo é descontada.
- b. **Comprimento (LENGTH):** valor do comprimento do perímetro (limites) do segmento, somados os perímetros de possíveis furos que estejam dentro deste segmento.
- c. **Compacidade (COMPACT):** medida de forma que indica o quão compacto é o segmento, sendo o círculo a forma mais compacta. EQUAÇÃO 02:

$$Compacidade = \frac{\sqrt{4 \times \frac{Área}{\pi}}}{Perímetro} \quad (02)$$

- d. **Convexidade (CONVEXITY):** medida do quanto um polígono pode ser dito convexo ou côncavo. Para polígono convexo sem furos o valor de convexidade é 1, já para polígonos côncavos é menor que 1. Ou seja, em um polígono convexo, unindo-se quaisquer dois de

seus pontos, o segmento de reta obtido está sempre contido no polígono. Já em um Polígono Côncavo, existem, pelo menos, dois pontos que unidos formam um segmento de reta que não se encontra contido no polígono. EQUAÇÃO 03:

$$\text{Convexidade} = \frac{\text{Comprimento Fecho Convexo}}{\text{Comprimento (Lenght)}} \quad (03)$$

- e. **Solidez (SOLIDIT)**: compara a área do polígono com a área do fecho convexo no entorno do polígono. O valor de solidez para um polígono convexo, sem buracos, é 1, e para um polígono côncavo é menor que 1. EQUAÇÃO 04:

$$\text{Solidez} = \frac{\text{Área Polígono}}{\text{Área Fecho Convexo}} \quad (04)$$

- f. **Redondeza (ROUNDNESS)**: compara a área do polígono com quadrado do diâmetro máximo do polígono. O diâmetro máximo é o comprimento do eixo maior de uma caixa envolvente (*bounding box*) em torno do polígono. O valor de redondeza para um círculo é 1. EQUAÇÃO 05:

$$\text{Redondeza} = \frac{4 \cdot \text{Área}}{\Pi \cdot (\text{Eixo Maior})^2} \quad (05)$$

- g. **Fator de Forma (FORMFACTOR)**: compara a área de um polígono com o quadrado do seu perímetro. Para um círculo o fator de forma é 1. EQUAÇÃO 06:

$$\text{Fator de Forma} = \frac{4 \cdot \Pi \cdot \text{Área}}{(\text{Perímetro})^2} \quad (06)$$

- h. **Alongamento (ELONGATION)**: indica a razão ou a proporção entre o eixo maior e menor do polígono e tais eixos são obtidos a partir de um caixa envolvente (*bounding box*) em torno do polígono. Para um quadrado o valor é 1, e para um retângulo é maior que 1. EQUAÇÃO 07:

$$\text{Alongamento} = \frac{\text{Eixo Maior}}{\text{Eixo Menor}} \quad (07)$$

- i. Retangularidade (*RECT_FIT*):** indica o quanto um polígono se aproxima da forma retangular, pela comparação da área do polígono com a área de uma caixa envolvente (*bounding box*) ao polígono. Para um retângulo o valor é 1, e para uma forma não retangular o valor é menor 1. EQUAÇÃO 08:

$$\text{Retangularidade} = \frac{\text{Área}}{\text{Eixo Maior} \cdot \text{Eixo Menor}} \quad (08)$$

- j. Direção Principal (*MAINDIR*):** indica a direção, em graus, do eixo maior do polígono em relação ao eixo x. Os valores variam de 0° a 180°, sendo que 90° significa direção Norte-Sul e 0° a 180° significa Leste-Oeste.
- k. Eixo maior (*MAJAXISLEN*):** o comprimento do eixo maior de uma caixa envolvente (*bounding box*) em torno do polígono. O valor é baseado no tamanho do pixel no terreno, no caso da imagem ser georreferenciada. Caso não seja georreferenciada, o valor é dado em pixels.
- l. Eixo menor (*MINAXISLEN*):** o comprimento do eixo menor de uma caixa envolvente (*bounding box*) em torno do polígono. O valor é baseado no tamanho do pixel no terreno, no caso da imagem ser georreferenciada. Caso não seja georreferenciada, o valor é dado em pixels.
- m. Número de furos (*NUMHOLES*):** representa o número de furos ou buracos inseridos no polígono.
- n. Relação área / furos (*HOLESOLRAT*):** é a razão entre a área do polígono e a área do contorno. A área do contorno é a área da parte não vazia do polígono, quando este possui buracos. O valor será igual a 1 quando o polígono não possuir furos. EQUAÇÃO 09:

$$\text{Relação área/furos} = \frac{\text{Área total do polígono}}{\text{Área do contorno}} \quad (09)$$

2.3.2.3 Atributos de Textura

Para mensurar a textura de uma região da imagem, analisa-se a distribuição ou a frequência das tonalidades de cinza dentro desta. O valor da textura é calculado para o pixel central de uma matriz quadrada móvel (se desloca na imagem) de tamanho $n \times n$ pixels chamada *kernel* ou janela, em que o valor do pixel central (n é ímpar) é modificado em função dos pixels compreendidos na janela. O software ENVI EX permite alterar o tamanho da janela, sendo que o tamanho padrão é 3×3 . São exemplos de atributos de textura (ITT VIS, 2008):

- a. **Intervalo da textura (*TX_RANGE*):** corresponde ao intervalo de valores dos *pixels* compreendidos dentro da janela ou *kernel* de variância.
- b. **Textura média (*TX_MEAN*):** corresponde à média dos valores dos *pixels* compreendidos dentro da janela.
- c. **Variância da textura (*TX_VARIANC*):** corresponde à variância dos valores dos *pixels* compreendidos dentro da janela.
- d. **Entropia da textura (*TX_ENTROPY*):** corresponde ao valor médio da entropia dos valores dos *pixels* compreendidos dentro da janela.

Dados os objetivos desta pesquisa torna-se essencial o conhecimento das variáveis descritas acima, uma vez que, atributos ou descritores espaciais permitem lidar com a grande heterogeneidade espectral dentro de uma mesma feição do terreno ou objeto. Já os atributos ou descritores de forma e de textura permitem uma melhor classificação automática de imagens, pois, por meio deles, é possível distinguir segmentos com características espectrais semelhantes, porém, forma ou texturas diferentes, como uma área de floresta e outra área com agricultura, por exemplo.

2.3.3 Análise de Componentes Principais (ACP)

A Análise de Componentes principais (ACP) tem por objetivo descrever os dados contidos num quadro de indivíduos-variáveis numéricas, ou seja, trata-se de um método fatorial que se traduz na redução do número de variáveis não por uma simples seleção, mas pela construção de novas variáveis sintéticas, obtidas pela combinação linear das variáveis iniciais, por meio dos fatores (BOUROCHE; SAPORTA, 1982).

Para os autores acima, a ACP é uma técnica matemática da análise multivariada, que possibilita buscas com um grande número de dados disponíveis. Possibilita, também, a

identificação das medidas responsáveis pelas maiores variações entre os resultados, sem perdas significativas de informações. Além disso, transforma um conjunto original de variáveis em outro conjunto: os Componentes Principais (CP) de dimensões equivalentes. Essa transformação, em outro conjunto de variáveis, ocorre com a menor perda de informação possível, sendo que esta também busca eliminar algumas variáveis originais que possuam pouca informação. Essa redução de variáveis só será possível se as p variáveis iniciais não forem independentes e possuírem coeficientes de correlação não-nulos.

A Análise de Componentes Principais pode ser resumida em três passos RICHARDS (1993): (a) derivação da matriz de correlação ou de variância covariância, (b) cálculo dos autovetores e autovalores, e (c) transformação linear do conjunto de dados. Esta transformação tem como base a rotação do espaço de atributos na direção dos autovetores com o intuito de tornar ortogonal o conjunto de dados, promovendo a união das informações de maior correlação nas primeiras componentes (MATHER, 1999). A ACP reduz a dimensionalidade dos dados, concentrando as informações significativas nas primeiras componentes geradas pela transformação (SCHOWENGERDT, 1997). O objetivo da Análise de Componentes Principais é abordar aspectos como a geração, a seleção e a interpretação das componentes investigadas. É possível também determinar as variáveis de maior influência na formação de cada componente, que serão utilizadas para estudos futuros.

Para a determinação das componentes principais, é necessário calcular a matriz de variância-covariância (Σ), ou a matriz de correlação (R), encontrar os autovalores e os autovetores e, por fim, escrever as combinações lineares, que serão as novas variáveis, denominadas de componentes principais, sendo que cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, independentes entre si e estimadas com o propósito de reter, em ordem de estimação e em termos da variação total, contida nos dados iniciais, (REGAZZI, 2001).

O autor ainda sublinha que a interpretação de uma componente principal é feita mediante o grau de importância, ou, ainda, a influência que cada variável tem sobre cada componente, sendo que esta importância é dada pela correlação entre cada variável X_j e o componente Y_i que estiver sendo interpretado.

2.3.4 Análise de Agrupamento

A Análise de Agrupamento (AA) visa agrupar variáveis com características comuns, sem perder informações de todo o conjunto em estudo. A análise de agrupamento é

amplamente utilizada nas diversas áreas do conhecimento, por se tratar de uma medida contínua e que possibilita a interpretação individual de cada grupo e a relação que este grupo possui com os demais. Trata-se de uma técnica usada para classificar objetos ou casos, em grupos relativamente homogêneos que podem ser chamados também, de conglomerados (JOHNSON; WICHERN, 2002)

As técnicas de agrupamentos podem ser hierárquicas e não hierárquicas. Na aglomeração hierárquica é estabelecida uma ordem, ou estrutura em forma de árvore, que produz sequência de partições em classes cada vez mais vastas. O que não ocorre na aglomeração não-hierárquica, na qual se produz, diretamente, uma partição em um número fixo de classes. A tecnologia hierárquica agrupa novos conglomerados até o momento em que todos os elementos considerados estarão em um único grupo usando medidas de similaridade ou dissimilaridade e podem ser efetuadas a partir de métodos como, de ligação simples, ligação completa, média das distâncias, etc.

A Análise de Agrupamento em sua aplicação engloba uma variedade de técnicas e algoritmos, tendo como objetivo encontrar e separar objetos em grupos similares. Essa técnica pode ser observada, por exemplo, se tiver vários produtos em uma determinada prateleira de um supermercado, e distribuir esses produtos, na prateleira, segundo suas características, de um mesmo composto, ou o mesmo princípio ativo, por exemplo, (VICINI; SOUZA 2005). Porém, quando esses mesmos produtos estiverem espalhados por toda a prateleira, significa que se terá mais de uma característica, e, para que se possa agrupá-los por características comuns, será exigido um procedimento multidimensional.

A técnica análise de *cluster*, ou de Agrupamento, de acordo com Johnson e Wichern (1998), tem como objetivo descobrir os agrupamentos naturais das variáveis, dividindo os elementos da amostra em grupos, de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo sejam similares entre si com respeito às variáveis e os elementos de grupos diferentes sejam heterogêneos, em relação a estas mesmas características. Segundo os autores, essa técnica não requer suposição sobre o número de grupos ou sua estrutura, o agrupamento é feito a partir de similaridades ou distâncias.

Numa análise integrada de dados da natureza para obtenção de unidades de paisagem homogêneas pode ser aplicada de diversas maneiras. Estudos de Silva et al. (2006) apontam para três maneiras distintas de aplicabilidade: por sobreposição de mapas sobre uma mesa de luz; por cruzamento de vários mapas, utilizando regras de álgebra booleana implementadas num SIG; ou pela aplicação da análise multivariada, que trata da descrição integrada do

ambiente mediante à detecção multivariada de suas relações espaciais mais relevantes, além de fornecer informações quantitativas sobre tais relações.

Dessa forma, considera-se que a análise multivariada seja um conjunto de técnicas estatísticas que trata os dados correspondentes às medidas de muitas variáveis simultaneamente (GERHARDT et al., 2001). Uma das vantagens de se utilizá-la diz respeito às sucessivas aproximações que podem ser feitas sobre o território e as inter-relações espaciais entre elementos que podem ser obtidas em cada caso.

Para Bojórquez – Tápia et al, (1994), Agar et al. (1995) e de Pablo (2000), (apud Silva et al. 2007), a Análise de Agrupamento é um método muito empregado para análise de dados da natureza, permitindo uma análise simultânea de dados multidimensionais, ou seja, composto por várias variáveis, sendo sua estrutura conhecida na geometria como hiperespaço ou espaço com muitas dimensões.

Estudos de Gerhardt et al. (2001) ainda apontam que métodos de análise multivariadas podem ser aplicados ao se tratar de vários parâmetros observados, ou medidos sobre um mesmo indivíduo ou unidade amostral. Tal fato se dá porque tais métodos podem explicar a estrutura da massa de dados, e um desses métodos é a Análise de Agrupamento.

A análise supracitada engloba uma variedade de técnicas e algoritmos, cujo objetivo é encontrar e/ou separar objetos em grupos similares, ou como apontam Silva et al. (2007), a mesma pode detectar e fornecer informações quantitativas sobre as relações espaciais mais relevantes.

Conforme BOCKOR (1975, *apud* Gerhardt et al. 2001), a técnica de Análise Multivariada de Agrupamento é utilizada primitivamente, para que nenhuma suposição seja feita ao número de grupos resultantes, definida como um método de classificação numérica que visa a caracterização dos grupos com diferentes graus de similaridade, em uma dada quantidade de dados.

Neste sentido, a Análise de Agrupamento constitui uma metodologia numérica multivariada, com a finalidade de propor uma estrutura classificatória, ou de reconhecimento da existência de grupos, objetivando, mais especificamente, dividir o conjunto de observações em um número de grupos homogêneos, segundo algum critério de homogeneidade (REGAZZI, 2001).

Para aplicar a Análise de Agrupamento, em um conjunto de dados, é essencial a escolha de um coeficiente que quantifique o grau de semelhança entre dois objetos. Esse coeficiente pode ser dividido em duas categorias, que dizem respeito à estimativa de uma medida de similaridade, ou dissimilaridade, entre os indivíduos, ou populações, a serem

agrupados. Na medida de similaridade, quanto maior for o valor observado, mais parecido serão os objetos. Já na medida de dissimilaridade, quanto maior for o valor observado, menos parecido serão os objetos. Um exemplo de medida de similaridade é o coeficiente de correlação, pois quanto maior seu valor, maior a associação. Para a dissimilaridade usa-se a distância euclidiana, pois quanto menor o valor mais próximo os objetos estão uns dos outros.

Várias medidas de similaridade/dissimilaridade (distância euclidiana, distância euclidiana média, distância de minkowki, coeficiente de concordância positiva, entre outros) são usadas na Análise de Agrupamento e produzem diferentes agrupamentos, conforme afirmam Johnson e Wichner (1998) e Mingoti (2005).

Embora a distância euclidiana seja uma medida de dissimilaridade, às vezes ela é referida como uma medida de semelhança, pois quanto menor seu valor, mais parecidos são os indivíduos ou unidades amostrais. (REGAZZI 2001),

Por isso, a distância Euclidiana é, geralmente, mais usada nas análises de agrupamentos, pois é obtida pela média das distâncias, por isso, prevalece nesta pesquisa. É possível encontrar o valor da distância pela média aritmética, sendo assim, a distância entre cada conglomerado tem o mesmo peso. A média aritmética é um estimador eficiente, reúne predicados que a qualificam como um ótimo estimador da média populacional (GEMAEL, 1994).

Neste contexto, o dendrograma é formado por meio da busca na matriz de distâncias euclidianas o menor valor, ou a menor distância, ou seja, uma maior similaridade entre as variáveis (atributos ou descritores espaciais, espectrais e de textura da análise orientada a objetos). Este processo de busca do menor valor ou menor distancia e, portanto maior similaridade estabelece o método de análise da homogeneidade/heterogeneidade das duas unidades de paisagem da bacia hidrográfica do rio Pitangui, utilizadas nesta pesquisa. Sua fórmula é dada com base no teorema de Pitágoras, como mostra a EQUAÇÃO 10:

$$D_{A,B} = \sqrt{(x_{A1} - x_{B1})^2 + (x_{A2} - x_{B2})^2}. \quad (10)$$

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 UNIDADES DE ESTUDO

O Paraná é um Estado que apresenta características físicas diversificadas. É formado por um relevo particular, onde nota-se um escalonamento de leste para oeste, destacando-se o Primeiro Planalto Paranaense (PPP), a Escarpa Devoniana (ED), o Segundo Planalto Paranaense (SPP) e o Terceiro Planalto Paranaense (TPP).

As unidades de paisagem delimitadas para esta pesquisa abrangem parte do PPP, ED e SSP, e estão inseridas na Bacia Hidrográfica do Rio Pitangui, a qual compreende uma rede de drenagem que segue em direção ao interior do estado (oeste). A Bacia do Rio Pitangui, possui uma área de 927,3 Km², situando-se na porção centro-leste do Estado do Paraná, entre as latitudes 25°46'40" e 25°49'06"S, e as longitudes 49°46'40" e 50°17'38"W. O Rio Pitangui é o principal rio da bacia e provém do PPP, atravessando a ED por meio de vale encaixado e em seguida sendo barrado artificialmente, formando o reservatório de Alagados, utilizado para produção de energia hidrelétrica e abastecimento de água para o município de Ponta Grossa. Extravasando a Represa, o rio Pitangui segue seu curso em direção à foz, no rio Tibagi.

O rio Pitangui caracteriza-se por ser um rio geologicamente antigo, isto é, antecede a formação do relevo atual. Suas nascentes localizam-se em trechos meandantes e encaixados (GEALH, MELO, MORO, 2010) no PPP, na Serra das Areias no distrito de Abapã, município de Castro, penetrando no SPP por meio ED e percorrendo os municípios de Carambeí e Ponta Grossa em direção à sua foz. (Figura 1). O Rio Pitangui, assim como seus afluentes de ambas as margens, mostram-se controlados pelas diversas estruturas geológicas existentes, principalmente na transição do Primeiro para o Segundo Planalto, onde está situada a Escarpa Devoniana², exibindo um relevo encaixado composto por sumidouros e *canyons* (GEALH, MELO, MORO, 2010). Dessa forma, a bacia do rio Pitangui possui aproximadamente um terço de seu território situado no PPP, enquanto os dois terços restantes situam-se no relevo de transição (ED) e no SPP.

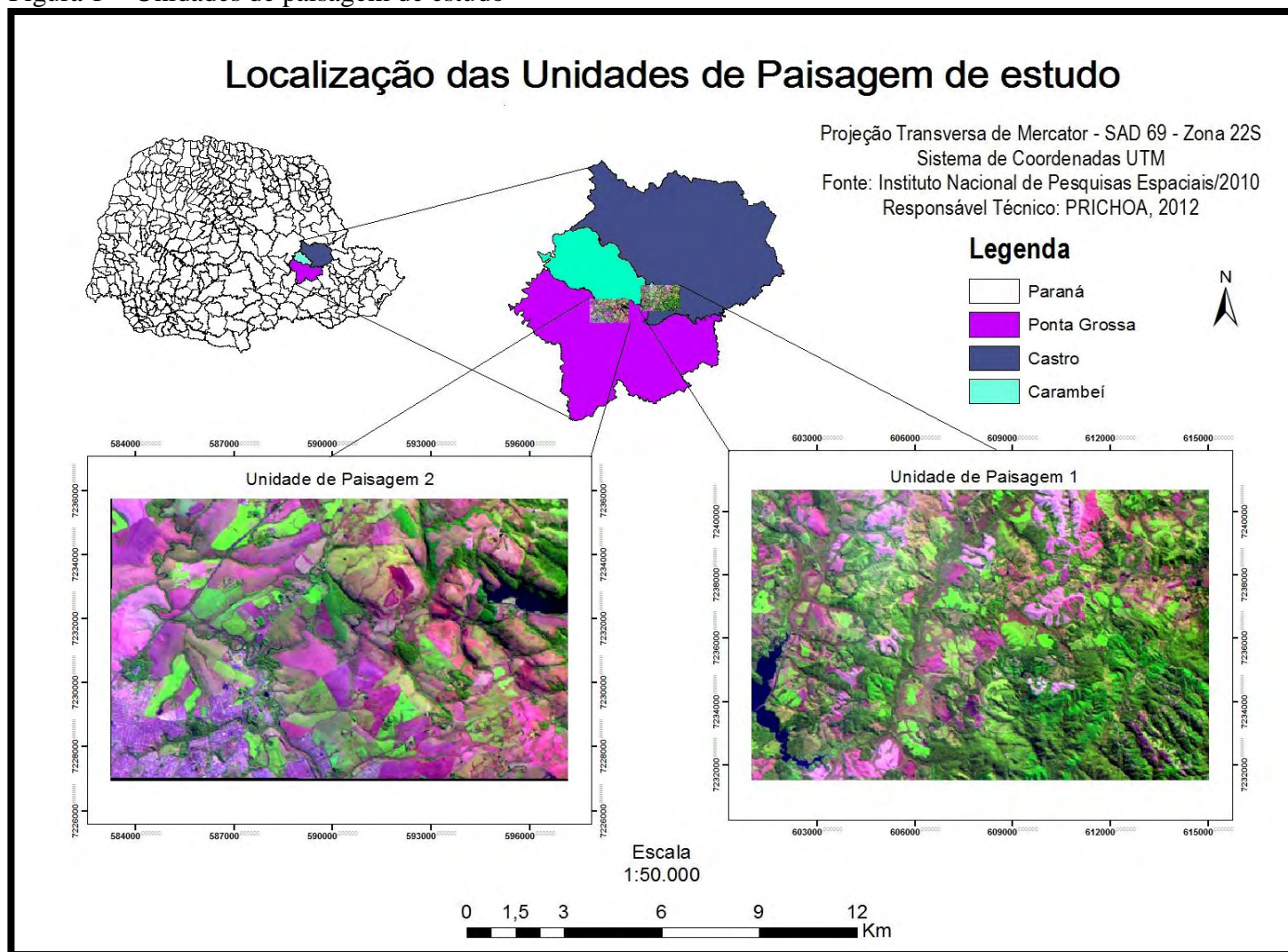
Para eleger as duas unidades de paisagem deste estudo, foram analisados alguns parâmetros morfológicos e topográficos presentes de formas distintas nas unidades, bem

² A origem do nome se deve à rocha que a sustenta (Formação Furnas) da idade devoniana (cerca de 400 milhões de anos), porém, cabe salientar que a feição de relevo representada pela escarpa é muito mais recente e resultou dos processos erosivos posteriores à ruptura continental entre a América do Sul e a África (< 133 milhões de anos) (GEALH et al., 2010).

como, pela influência da Represa Alagados inserida entre as mesmas, pois se pode atribuir a ela muitas das alterações observadas na paisagem local. Dessa forma, a primeira unidade de paisagem delimitada está localizada no PPP e abrange parte dos municípios de Ponta Grossa, Castro e Carambeí e situa-se entre as coordenadas médias aproximadas 600987m E e 7240620m N à 614973m E e 7231568m N. A segunda unidade de paisagem delimitada está localizada no município de Ponta Grossa no relevo de transição (ED) e o SSP e situa-se entre as coordenadas médias aproximadas 584013m E e 7234039m N à 593981m E e 7228036m N.

Os atributos físicos pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Pitangui se diferem na primeira unidade de paisagem localizada no PPP, da segunda unidade de paisagem de estudo localizada no relevo de transição (ED) e SPP. No entanto, optou-se por realizar a caracterização ambiental de toda a bacia, abrangendo o PPP, ED, e SSP, uma vez que há interdependências dos processos físicos das unidades com as características de toda a bacia, principalmente da rede hidrográfica.

Figura 1 – Unidades de paisagem de estudo



Fonte: A autora

3.2 FISIOGRAFIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PITANGUI

3.2.1 Geologia

A bacia hidrográfica do rio Pitangui situa-se na unidade morfoestrutural da Bacia do Paraná, constituída pelo Grupo Paraná com predomínio da Formação Furnas (final do Siluriano e início Devoniano – 395 e 421 milhões de anos) e Formação Ponta Grossa (Devoniano – 372 e 410 milhões de anos). Cabe ressaltar também a presença rara do embasamento cristalino Cunhaporanga, com idade de formação das rochas graníticas entre 620 e 590 milhões de anos para os granodioritos e monzogranitos, e entre 590 e 560 milhões de anos para formações tardias como o Granito da Serra do Carambeí (GEAHL, MELO, MORO, 2010).

A Formação Furnas constitui-se de arenitos médios a grossos de colorações clara, feldspáticos e/ou caulínicos no pacote basal, com grãos angulosos a subangulosos, regularmente selecionados. Os arenitos de textura grossa, imaturos, com ocorrências descontínuas de arenitos conglomeráticos e conglomerados quartzosos predominam na parte inferior da formação. Enquanto em direção ao topo, há presença marcante de arenitos mais finos, com níveis de siltitos argilosos micáceos. (MELO, 2006).

As formas presentes nos arenitos da Formação Furnas, segundo Melo (2006) exibem formatos singulares resultantes da associação de processos de dissolução e erosão mecânica. Por isso, há um condicionamento para o aparecimento de grandes cavidades nos terrenos como furnas, lagoas e depressões secas ou úmidas.

Os afloramentos dos arenitos da Formação Furnas aparecem na faixa de transição entre o Primeiro e o Segundo Planalto. Essa Formação arenítica ocorre desde o norte da estação Serrinha (PR) até as imediações de Itapeva (SP), em forma de arco com abertura para leste. (UEPG/NUCLEAM, 2002).

A formação Ponta Grossa encontra-se sobreposta concordantemente a Formação Furnas, com a qual apresenta contato gradual, e é sobreposta por rochas do Grupo Itararé, por meio de contatos erosivos (MELO et al, 2007). Sua denominação tem sido substituída por Folhelho Ponta Grossa, dada a natureza dos depósitos que a constituem. Nesta formação dominam os sedimentos de granulação fina, sobressaindo os folhelhos argilosos, síltico-argiloso e sílticos, podendo ocorrer sob forma de lentes, arenitos siltosos. Os afloramentos são representantes do ciclo de sedimentação marinha devoniana, em contexto de mar raso epicontinental, caracterizados por depósitos de águas rasas, de fácies praial, e de águas mais profunda, razão pela qual mantêm uma

peculiar fauna fossilífera de invertebrados marinhos.

Na bacia do rio Pitangui, a presença da Formação Ponta Grossa, predomina, principalmente, ao longo da margem esquerda do Rio Pitangui. Nesta mesma margem ocorrem afloramentos do Grupo Itararé (idade permo-carbonífera), o qual corresponde a uma complexa associação de litotipos (tilitos, diamictitos, varvitos, arenitos e folhelos) posicionada sob condições flúvio-glaciais, glácio-marinhas e marinha em consequência do derretimento das geleiras. (MELO et al, 2007). Considera-se ambiente glacial responsável por frequentes deformações das rochas desta unidade

O Complexo Granítico Cunhaporanga destaca-se como a unidade litoestratigráfica mais expressiva, embasando uma significativa parte da bacia do Pitangui. Constitui um batólito de forma alongada com eixo maior na direção NE-SW. Sua faixa de afloramento estende-se da região da represa de Alagados, onde é sobreposto por arenitos da Formação Furnas, à Sengés - PR, onde novamente é encoberto pela mesma unidade. É caracterizado por uma grande diversidade de tipos granitoides, descrita e mapeada por Guimarães (2000) como unidades litoestratigráficas formais e informais.

Os granitoides pertencentes ao Complexo Granítico Cunhaporanga estão incluídos nas seguintes unidades informais (domínios petrográficos) e formais de Guimarães (2000): Domínio Serra Abaixo-Alagados, Domínio Jotuba-Pitangui e Granito Serra do Carambeí. Este, por sua vez, constitui um corpo de formato ligeiramente elíptico, com eixo maior na direção geral NE-SW e com área aproximada de 48 km². Possui uma grande homogeneidade litológica, com predominância de granulação média a grossa, e composição mineralógica essencialmente de feldspato potássico, quartzo e biotita (GODOY, 2010).

A bacia do rio Pitangui exhibe também acumulações de Sedimentos Quaternários (Holocênico), principalmente sob as zonas ripárias dos rios Pitangui e Jotuba. Os sedimentos inconsolidados ocorrem na forma de aluviões nas planícies de inundação. A composição desses depósitos apresenta variações significativas em agrupamentos, texturas e estruturas, sugerindo possíveis relacionamentos com processos deposicionais, regime hidrológico da bacia hidrográfica e variações paleoambientais. No entanto, esses depósitos são constituídos predominantemente por materiais argilosos com espessuras variando de submétrica a métricas, com depósitos arenosos subordinados. O predomínio de material detrítico argiloso deve-se aos tipos de rochas encontrados na região, representadas predominantemente por granitos ricos em feldspatos, que originam minerais secundários argilosos principalmente a partir do intemperismo (UEPG/NUCLEAM, 2002).

As rochas do Grupo Castro caracterizam-se pela formação da seqüência vulcânica ácida, como os riolitos e ignimbritos. Segundo, Geahl, Melo, Moro (2010) a formação do Grupo Castro

não possui até o momento, idade definida. As determinações levam a considerá-las como geradas em algum momento próximo ao limite entre o Proterozóico e o Paleozóico (542 milhões de anos). Essa formação é considerada pouco expressiva na bacia do Pitangui, aparecendo em uma pequena porção do extremo noroeste. Esse grupo se estende do município de Carambeí (PR) ao nordeste da cidade de Piraí do Sul (PR), ocupando aproximadamente 1.000 km² de área aflorante (UEPG/NUCLEAM, 2002).

Outra formação presente na bacia do rio Pitangui é caracterizada pelo Grupo Itaiacoca, o qual sugere que sua formação teria ocorrido no final do intervalo principal de intrusão de rochas graníticas (590 milhões de anos). Essa formação tem ocorrência numa faixa alongada seguindo a direção nordeste - sudoeste desde a região de Itaiacoca até a divisa PR-SP, passando por Abapã e Sovação. Na Formação Itaiacoca identificam-se principalmente antigas seqüências sedimentares de rochas carbonáticas marinhas (metadolomitos) e vulcanossedimentares possivelmente originadas em ambientes continentais (GEALH, MELO, MORO, 2010).

A bacia do Rio Pitangui, caracteriza-se, também, por apresentar afloramentos de diques de rochas básicas mesozoicas e falhas e fraturas, relacionadas ao soerguimento crustal conhecido como Arco de Ponta Grossa. Este fenômeno ocorreu provavelmente no período do Mesozoico, originando diques de diabásio com idade de aproximadamente 130 milhões de anos (Cretáceo) (GEALH, MELO, MORO, 2010). Esses afloramentos encontram-se na maior parte da bacia, porém, nota-se maior expressividade na margem direita do Rio Pitangui, apresentando eixo na direção noroeste-sudeste.

3.2.2 Geomorfologia

O relevo, as formas e feições observadas na Bacia do Rio Pitangui são resultados da ação combinada de vários fatores endógenos e exógenos, que, passiva ou ativamente, influenciam a evolução, a ornamentação e a forma final das esculturas naturais observadas nas rochas.

De acordo com Gealh, Melo, Moro (2010) aproximadamente um terço da bacia do rio Pitangui situa-se no PPP, enquanto os dois terços restantes situam-se no relevo de transição (ED) e no SPP.

A porção da bacia do rio Pitangui pertencente ao PPP caracteriza-se por um relevo, cuja topografia varia de suave ondulado, a ondulado ou mesmo plano, com declividades entre 0 e 20% conforme classificação da EMBRAPA (2006). As feições heterogêneas são controladas, principalmente pelo Granito Serra de Carambeí, Complexo Granítico Cunhaporanga, Formação Furnas e Formação Ponta Grossa. As porções mais acidentadas constituem as bordas nordeste-

oeste da bacia, na transposição do Primeiro para o Segundo Planalto. Na borda oeste ocorre o escarpamento do arenito Furnas (ED), cujas amplitudes topográficas locais chegam a atingir mais de 200 metros (MELO et al., 2007).

Os rios Pitangui e Jotuba correm, em parte, por terrenos de feições homogêneas que permitem o extravasamento de seus leitos. Reflete-se um relevo com processos da dinâmica superficial que são fortemente influenciados por estruturas rúpteis como falhas e fraturas, relacionadas às deformações do embasamento Proterozoico e a eventos geológicos mais recentes.

Seguindo em direção oeste-noroeste da ED, na região pertencente ao SPP observa-se um relevo predominantemente colinoso, com elevações amplas com topos entre 900 e 1.000 metros de altitude (GEALH, MELO, MORO, 2010). As altitudes mais baixas (755 metros) são encontradas, principalmente na Foz do rio Pitangui (rio Tibagi).

3.2.3 Hidrografia

A hidrografia da bacia do rio Pitangui, é marcada fortemente por características assimétricas. Esta assimetria pode ser justificada pela complexidade morfológica da área, uma vez que, a margem esquerda situa-se em sua maior parte no SPP, enquanto boa parte da margem direita abrange o PPP, parte do SPP e o relevo de transição que inclui a ED. O marcante controle por estruturas geológicas nas direções noroeste-sudeste e nordeste-sudeste; as diferenças nos tipos rochosos e relevo associado que aparecem no PPP e a diversidade da dinâmica fluvial de bacias vizinhas, são fatores que também contribuem para a assimetria da mesma (GEALH, MELO, MORO, 2010).

No Primeiro Planalto (os rios da parte montante dos rios Pitangui e Jotuba e outros da margem direita a jusante do rio São João) a drenagem apresenta-se com direção nordeste – sudoeste, controlada pela estrutura do embasamento da Bacia do Paraná. A margem esquerda do rio Pitangui no SPP é caracterizada por apresentar afluentes com padrão de drenagem dendrítico (forma ramificada). No relevo de transição (ED), os rios mostram-se controlados pelas estruturas geológicas relacionadas com o Arco de Ponta Grossa, e apresentam-se alinhados na direção noroeste-sudeste (GEALH, MELO, MORO, 2010).

O rio Pitangui, assim como outros rios presentes na região, se caracteriza pela formação antecedente, isto é, anterior ao relevo atual. Por isso, muitos dos rios dos Campos Gerais apresentam notável controle estrutural imposto pelas estruturas rúpteis (falhas, fraturas, diques) de direção predominante noroeste- sudeste, paralelas ao eixo do Arco de Ponta Grossa, bem como,

em outras direções associadas.

3.2.4 Clima

O Estado do Paraná, dada sua localização geográfica, na Zona Subtropical ao sul do Trópico de Capricórnio, sofre a ação das massas de ar quentes e frias, em especial, as massas de ar tropical marítimo e polar. O choque entre as duas massas de ar gera uma zona de descontinuidade, onde os ventos convergentes tornam o tempo instável e geralmente chuvoso. O clima do estado do Paraná é influenciado pelas correntes perturbadas do sul (frentes polares), as quais são as principais responsáveis pelas maiores frequências e índices de precipitações pluviométricas. As correntes perturbadas do noroeste, por serem típicas da circulação atmosférica tropical, são restritas as regiões norte e oeste do estado (MONTEIRO, 1968).

Na região pertencente à bacia hidrográfica do rio Pitangui o clima é do tipo Cfb da classificação de Koeppen (MAACK, 2002), isto é, zona temperada sempre úmida, cujas características principais são: temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C, temperatura do mês mais quente inferior a 22°C e inexistência de estação seca definida. Com relação ao regime de chuvas, a precipitação média anual situa-se entre 1.400 e 1.800mm - o período mais seco é de junho a agosto, com média de 250 a 350 mm; o período mais chuvoso é de dezembro a fevereiro, com média de 500 a 600 mm (CRUZ, 2007). A precipitação, bem como outras características meteorológicas são fortemente influenciadas pela presença da Escarpa Devoniana, a qual é responsável pela origem das chuvas orográficas nessa região.

3.2.5 Solos

Os solos predominantes na bacia hidrográfica do rio Pitangui e sua distribuição refletem-se em parte aos traços principais do relevo, das unidades rochosas presentes na área, sobretudo, dos Campos Gerais e a ação climática do Quaternário.

Na área, a qual pertence a bacia hidrográfica do rio Pitangui são encontrados CAMBISSOLOS (háplicos a húmicos), que ocorrem preferencialmente nas áreas com relevo em entalhamento, sobre substrato rochoso de diversas unidades (Grupo Itararé e formações Furnas e Ponta Grossa). São solos heterogêneos, pouco profundos (até 130 cm), com horizonte B incipiente ou ausente (GEALH, MELO, MORO, 2010).

Os NEOSSOLOS LITÓLICOS aparecem também nos arenitos do Grupo Itararé e da Formação Furnas. Além da constituição quartzosa do substrato rochoso, os solos LITÓLICOS, rasos,

jovens e com horizonte A diretamente sobre a rocha, têm sua formação favorecida pelas altas declividades do relevo, tanto nas proximidades da Escarpa Devoniana quanto em vales entalhados, com encostas íngremes, características do extremo sul dos Campos Gerais (GEALH, MELO, MORO, 2010).

Resultam na região da bacia do Pitangui as classes de ORGANOSSOLOS e GLEISSOLOS, caracterizados como solos hidromórficos, essencialmente orgânicos, pouco evoluídos e provenientes de depósitos de restos vegetais em grau variável de decomposição, acumulados em ambientes mal ou muito mal drenados. Estes solos se desenvolveram sob condições de permanente encharcamento, com lençol freático à superfície, ou próximo dela, durante a maior parte do ano, a menos que tenham sido artificialmente drenados (BOGNOLA et al., 2002; FASOLO et al., 2002). Estas classes aparecem, principalmente sob a zonas ripárias dos rios Pitangui e Jotuba no PPP.

Outra classe é representada pelos LATOSSOLOS, que incluem os latossolos vermelho-escuros, os latossolos roxos e os latossolos vermelho-amarelos. Os LATOSSOLOS aparecem, sobretudo, nas áreas de topos aplainados, relativamente preservados da erosão, onde os materiais pedológicos são mais antigos, espessos e homogêneos. O substrato rochoso é representado principalmente pelo Grupo Itararé e Formação Ponta Grossa. Em algumas áreas latossolos vermelho-escuros desenvolvem-se também sobre a Formação Furnas. Os latossolos roxos ocorrem sobre áreas de exposição de rochas intrusivas básicas (soleiras de diabásio). Os latossolos vermelho-amarelos ocorrem em áreas do Grupo Itararé). Na região, esse substrato recebe forte insolação e chuvas concentradas, ficando sujeito a processos erosivos e degradação permanente (EMBRAPA, 2006).

3.2.6 Vegetação

De acordo com a classificação da vegetação brasileira do IBGE a região a qual pertence a bacia hidrográfica do rio Pitangui, no PPP, é caracterizada por uma vegetação relacionada à zona fitoecológica Floresta Ombrófila Mista Montana. E parte do SPP inclui-se na zona fitoecológica Estepe Gramíneo-lenhosa (VELOSO, RANGEL FILHO; LIMA, 1991).

Na região da bacia hidrográfica do rio Pitangui foram identificadas 18 unidades de paisagem, com características predominantes definidas pela presença de fragmentos de vegetação nativa. No Primeiro Planalto predominam várzeas, campos higrófilos, campos secos e formações florestais. Acompanhando a Escarpa Devoniana, e nas cabeceiras do Rio Pitangui, são encontradas expressivas áreas com remanescentes de Floresta Ombrófila Mista em estágios

secundários de sucessão ecológica, enquanto nas áreas mais próximas à escarpa e nos vales íngremes são encontradas florestas em estado mais avançado de sucessão (GEALH, MELO, MORO, 2010).

Seguindo as zonas ripárias dos Rios Pitanguí e Jotuba, são vistas áreas de Floresta Ombrófila Mista Aluvial (FOMA), predominantemente higrófilas associada a formações vegetais hidrófilas (VELOSO, RANGEL FILHO; LIMA, 1991), ou seja, predominam formações constituídas por várzeas associadas a campos brejosos e campos úmidos. Os brejos são encontrados em locais planos, de umidade constante, de correnteza muito lenta ou mesmo estagnada, muitas vezes em forma de U, ligados a uma várzea ou pequeno regato. O solo hidromórfico suporta uma vegetação característica de ervas mais altas: ciperáceas, juncáceas, eriocauláceas, compostas e verbenáceas (MORO, 2001).

Nas áreas mais elevadas ocorrem campos secos e remanescentes florestais em estágios distintos. No Segundo Planalto existe a presença de formações campestres associadas às florestas de galeria e capões de mata, bem como de campos nativos onde são desenvolvidos cultivos intensivos, devido aos tipos de solos derivados do Arenito (VELOSO, RANGEL FILHO; LIMA, 1991).

3.2.7 Uso da terra na Bacia do Rio Pitanguí

O uso da na bacia do rio Pitanguí, tanto no PPP como no SPP é caracterizado por intensas atividades agropastoris, cultivo intensivo e semi-intensivo, entre porções de vegetação nativa (ROCHA; WEIRICH NETO, 2010), ou mesmo em áreas com reflorestamentos de espécies exóticas, assim como em áreas de preservação permanente (ZILLER; GALVÃO, 2002).

De acordo com Rocha; Weirich Neto (2010) a bacia do rio Pitanguí possui aproximadamente 16% de paisagem remanescente nativa. A sub-bacia do Rio Pitanguí no Primeiro Planalto Paranaense apresenta 45% de florestas, 25% de campos e 30% de agricultura. A sub-bacia do Jotuba possui 46,8% de florestas, 25,5% de campos e 27,7% de áreas agrícolas. Nas cabeceiras dos rios se encontram as maiores áreas florestais contínuas da bacia do Rio Pitanguí no PPP, e na transição para o SPP, onde nasce o Rio Jotuba, ocorre o ecótono entre a FOM e as Estepes (GONÇALVES 2011).

Nas cabeceiras dos rios se encontram as maiores áreas florestais contínuas da bacia do Rio Pitanguí no PPP, e na transição para o SPP, onde nasce o Rio Jotuba, ocorre o ecótono entre a FOM e as Estepes. As principais culturas na área são soja, milho, feijão, aveia, trigo e triticale, caracterizadas por agricultura mecanizada e larga utilização de insumos agrícolas. São percebidos

na região monoculturas de *Pinus* e de Eucalipto. Julga-se que as espécies de *Pinus* cultivadas na região são extremamente prejudiciais ao equilíbrio ecológico das comunidades vegetais da bacia, especialmente as campestres rochosas. A influência do *Pinus* sobre a biota nativa é degradante, sobretudo com relação à sua agressiva irradiação pelos campos (ZILLER; GALVÃO, 2002).

Na região é amplamente empregado o Sistema de Plantio Direto sobre a palha (UEPG/NUCLEAM, 2002). Os cursos dos rios Pitangui e Jotuba são cortados por várias estradas cascalhadas que servem às propriedades rurais como vias de escoamento da produção, inclusive a rodovia PR-090, também denominada de Estrada do Cerne.

A zona ripária do Rio Jotuba é interrompida longitudinalmente no trecho final próximo à represa de Alagados, por uma linha férrea em atividade. A represa de Alagados garante parte do abastecimento de água da cidade de Ponta Grossa, além de participar do sistema integrado de geração de energia elétrica por meio das usinas São Jorge e Pitangui (UEPG/NUCLEAM, 2002).

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

Para realização da pesquisa foram utilizados os seguintes *softwares*: ARCGIS 9.3; ARCVIEW 3.2; ENVI 4.4; ENVI EX; SURFER 8.0 e PAST.

E os seguintes materiais:

- Carta topográfica de Ponta Grossa – PR, SG 22-X-C-II/2 (2005) na escala 1:50.000 no formato digital com extensão JPG;
- Imagem Landsat 5 TM (2010), com resolução espacial de 30 metros e 6 bandas espectrais, disponibilizada gratuitamente pelo site do INPE³;
- Curvas de Nível com equidistância de 20m também cedidas pelo Paranacidade no formato DWG;
- Ortoimagem oriunda do Sensor SPOT 5 (2005), com resolução espacial de 5 metros cedida pelo Paranacidade (SEDU-PR).

O uso da carta topográfica, imagem Landsat 5 TM e curvas de nível são adequadas e coerentes em relação à escala, resolução espacial e equidistância, respectivamente. Cabe ressaltar que a ortoreimagem com resolução espacial superior a landsat 5 TM foi utilizada para a verificação da hidrografia bem como para a transformação geométrica quando da coleta de pontos de controle.

³ Instituto Nacional de Pesquisas espaciais - <http://www.inpe.br/>

Os diagramas de blocos (Figuras 2 e 3) mostram a seqüência de atividades e etapas realizadas na pesquisa para obtenção dos produtos e subprodutos usados para localização, identificação e caracterização das unidades de paisagem deste estudo, tanto em laboratório, como de guia em campo. O primeiro diagrama de blocos (Figura 2) apresenta as etapas da pesquisa realizadas para a obtenção das variáveis ambientais representativas do relevo. E no segundo diagrama de blocos (Figura 3) estão as etapas que originaram as variáveis representantes da drenagem.

3.4 AGENTES FORMADORES DA PAISAGEM

Trabalhou-se nas imagens digitais, nas informações referentes ao relevo, à rede de drenagem e ao uso e ocupação do solo, por meio de processos visuais e estatísticos, os quais permitiram a caracterização das unidades de estudo.

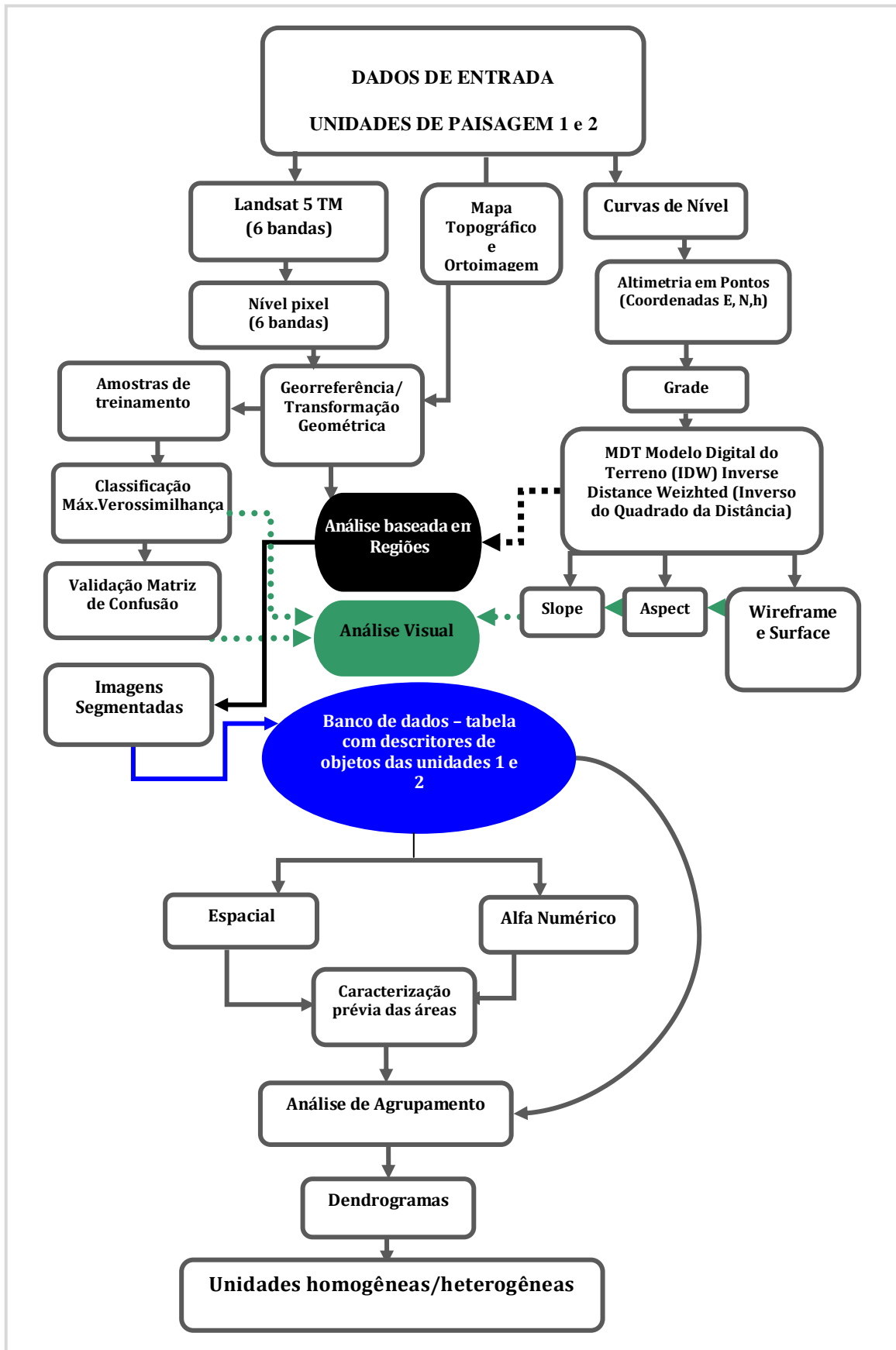
As etapas descritas no diagrama de blocos 1 (Figura 2) serão comentadas neste item de maneira sucinta, pois será atribuído maior detalhamento da metodologia de cada variável encontrada, ao longo deste capítulo.

Dessa forma, primeiramente, realizou-se a correção geométrica da imagem Landsat 5 TM pela transformação geométrica com 20 pontos de controle e notáveis, com o apoio da ortoimagem e da carta topográfica, no software ENVI 4.4. Em seguida, foram coletadas amostras de treinamento para elaboração da classificação de imagem digital quanto ao uso e ocupação do solo, pelo algoritmo de Máxima Verossimilhança, também no ENVI 4.4.

As curvas de nível foram utilizadas para o processamento do Modelo Digital do Terreno (MDT) usando o interpolador *Inverse Distance Weizhted* (IDW) – Inverso do Quadrado da Distância, no ArcGis 9.3. O MDT serviu de produto base para a composição de subprodutos como: o aspecto e a declividade também no software ArcGis 9.3, bem como a geração de uma grade, a qual originou o bloco diagrama e a superfície 3D no *Surfer* 8.0.

Nas imagens Landsat e MDT efetivou-se a etapa de Análise Orientada a Objeto, mediante software ENVI EX, a qual originou tabelas com descritores. Realizou-se a redução da dimensionalidade das variáveis ou descritores, mediante o método de Análise de Componentes Principais (ACP) e, em seguida, geraram-se os dendrogramas no Software PAST.

Figura 2 – Diagrama de blocos 1 – Relevo



Fonte: A autora

3.4.1 Variáveis que representam o relevo

Sabe-se que o relevo é uma das principais variáveis ambientais, que pode separar unidades fisionômico-geológicas e pedológicas. Ele é o principal agente que caracteriza a crosta terrestre e representa a forma atual de uma determinada área.

O relevo atua de forma indireta, modificando características climáticas da região, ou direta, por meio do controle de drenagem, uma vez que suas formas refletem propriedades do material de origem, peculiaridades geológicas e procedimentos pedogenéticos. AMARAL, AUDI (1972 *apud* RIBEIRO 2003).

Nesta pesquisa como em outras de cunho ambiental, o conhecimento visual e estatístico sobre o relevo é parte essencial para informação e levantamento de outras variáveis utilizadas na descrição das unidades, uma vez que, trata-se de um estudo de comparação entre unidades de paisagem com diferentes características físicas e de uso.

3.4.1.1 Modelo Digital do Terreno

Um Modelo Digital do Terreno caracteriza-se por ser uma representação matemática tridimensional da superfície terrestre, por meio de uma malha de elevação contínua com coordenadas tridimensionais, ou ainda, por meio de isolinhas, como é feito geralmente em cartas topográficas, em que se deve representar adequadamente as feições do modelado topográfico, as linhas de cumeada e os talwegues, caracterizando de forma fiel o terreno (BURROUGH, 1986; SANTOS et al., 2001).

Dessa forma, o terreno pode ser apresentado por meio da geração de um MDT, podendo ser definido por equações analíticas (modelos matemáticos) da distribuição espacial da altitude vinculada a uma superfície real. O MDT pode ser definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos, em termos de coordenadas x , y e z , e a partir desses é interpolada toda a informação relativa a uma superfície (x, y) , em um referencial qualquer, com atributos denotados de z , que descrevem a variação contínua da superfície (CÂMARA et al., 1998).

Podem-se estimar valores que inexistem dados, uma vez que se utilizem modelos estatísticos ou matemáticos de interpolação, já que é possível calcular elevações por meio da interpolação, bem como gerar grades regulares, a partir de dados coletados de forma irregular, e densificar grades retangulares (SARAIVA, 2001).

Para Ribeiro (2003), o processo de geração do MDT pode ser dividido em três etapas: aquisição de dados, geração da grade (retangular ou triangular) e elaboração do produto, que representa as informações obtidas. A aquisição de dados é a atividade principal para a posterior representação precisa do relevo. Dessa forma, a qualidade da grade que gera o MDT vai depender em parte do arquivo de entrada de dados, que pode ser por amostragem primária ou secundária, de acordo com o levantamento.

Segundo Câmara et al. (1998) para a geração da grade é necessário estimar, mediante interpoladores matemáticos, os valores para as células que não possuam medidas de elevação, considerando-se para isso as medidas de vizinhança. O TIN (Triangular Irregular Network) é um modelo topológico de dados e constitui um conjunto de faces triangulares interconectadas. Para cada um dos três vértices, os valores das coordenadas x/y (que representam a localização) e da coordenada z (que representa a altimetria) são codificados, formando uma triangulação dos pontos (SABIN, 1980).

Porém, para a grandeza de altimetria, também é comum o uso de funções de ponderação pelo Inverso do Quadrado da Distância (IDW). Trata-se de uma técnica de análise espacial, o qual assume que cada amostra de ponto tem influência local, que diminui com a distância. Este método admite que os pontos mais próximos, para o processamento da célula, influam mais fortemente que aqueles mais afastados. O uso desse interpolador é recomendado quando a variável a ser mapeada diminui com a distância na localização amostrada (DEUS, 2007).

De acordo com PELLEGRINO (1998, *apud* Ribeiro 2003), esse modelo de interpolação (IDW) ostenta que o valor médio a ser estimado para a variável em um ponto X qualquer é proporcional ao valor medido em “n” estações vizinhas (v) e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o ponto X e cada uma destas “n” estações (D_i^2). Assim, quanto mais distante o ponto estiver do ponto X, menor será seu peso, ou em outras palavras, menor sua influência sobre o valor a ser estimado (V_x).

Ou ainda, para melhor explicar Vieira (2000) destaca que o modelo de interpolador IDW baseia-se na dependência espacial, isto é, supõe que quanto mais próximo estiver um indivíduo do outro, maior será a correlação desse indivíduo com seus vizinhos. O peso maior será atribuído para os indivíduos mais próximos do que para os mais distantes do ponto à ser interpolado. Ou seja, o modelo consiste em se multiplicar os valores observados pelo inverso das suas respectivas distâncias ao ponto. Este modelo estatístico considera a existência do efeito da distância e de outro fator qualquer, que é representado pela letra ‘p’, isto é, a

distância é elevada de um coeficiente ‘p’ de forma que se podem obter diferentes valores interpolados para uma mesma distância. A EQUAÇÃO 11 exhibe o cálculo:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (11)$$

Onde:

$\hat{Z}(s_0)$ é o valor a ser predito para o local S_0 ;

N é o número de pontos observados a serem usados ao redor do valor a ser predito;

λ_i são os pesos colocados para cada ponto observado a ser utilizado;

$Z(S_i)$ é o valor observado no local S_i .

Onde a EQUAÇÃO 12 é para determinar os pesos:

$$\lambda_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}} ; \text{ sendo } \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (12)$$

Na medida em que a distância aumenta, o peso é reduzido por um fator de “p”.

d_{i0} é a distância entre o local predito, S_0 , e cada um dos locais observados, S_i .

Os pesos dos locais observados, a serem usados na predição, são ponderados, e sua soma é igual a 1.

Neste sentido, conforme o diagrama de blocos apresentado na Figura 2, as curvas de nível com equidistância de 20 metros e seus respectivos pontos cotados, foram acrescentadas no software ArcGis 9.3 para efetuar-se um pré-processamento do MDT, ou seja, preparar a grade (coordenadas E, N, h).

3.4.1.2 Gradiente de Encosta

O gradiente da encosta é definido como sendo um “plano tangente a superfície representada pelo MDT, isto é, a máxima razão da variação da altitude. Portanto é expresso como a mudança de elevação sobre uma certa distância e, no caso de MDT no formato digital, esta distância é o tamanho da célula, ou seja, é baseado na resolução da grade (30x30m)” (BURROUGH 1986, p. 50).

Para Ribeiro (2003) o gradiente de encosta descreve as características topográficas da superfície, tais como direção, comprimento e o movimento do gradiente no sentido

descendente da mesma. A representação do gradiente de encosta, gerada a partir do MDT é o melhor prognóstico do sistema de drenagem.

O Gradiente de Encosta fornece informações relevantes sobre o relevo, suas formas topográficas e ocorrência de unidades fisionômicas. Considera-se assim, uma ferramenta útil à geologia e geomorfologia para descobrir feições ou problemas desconhecidos.

O mapa de gradiente da rampa é uma ferramenta útil na geologia e na geomorfologia para descobrir feições ou problemas desconhecidos e também é uma ferramenta livre da interferência da vegetação sobre a superfície física (KAMIYA ET AL. 2001, p. 33).

O gradiente da encosta é dado pela EQUAÇÃO 13:

$$\text{TanG} = \left[\left(\frac{\Delta Z}{\Delta X} \right)^2 + \left(\frac{\Delta Z}{\Delta Y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (13)$$

Onde:

Z: altitude

X e Y: coordenadas

Nesta etapa, gerou-se o Gradiente da Encosta a partir do MDT – *IDW*. Neste caso definiram-se cinco classes, conforme a EMBRAPA Solos (2006), onde: de 0 a 3% corresponde ao relevo plano; de 3 a 12% o relevo é suave ondulado; de 12 a 24% o relevo é ondulado; de 24 a 45% o relevo é forte ondulado e maior que 45% o relevo é montanhoso.

3.4.1.3 Aspecto

A **direção** da máxima razão da variação da altitude caracteriza o ângulo de encosta ou imagem de Aspecto. A partir do MDT pode-se calcular, para cada *pixel* da imagem, a média das altitudes em x e em y das células vizinhas que são adjacentes espacialmente, dividir estas variações das altitudes em x pelas variações em y e calcular o ângulo por meio da tangente. É expresso em graus a partir do norte no sentido horário e varia de 0 a 360 graus (BURROUGH 1986, p. 50).

Estudos de Valeriano (2008) apontam que em pesquisas ligadas a topografia e utilizando-se de subprodutos como o Aspecto, a orientação de vertentes é diretamente aplicada em diversas funções relacionadas à geometria da superfície. Por exemplo, na agricultura, este item (aspecto) é associado ao balanço de radiação, sobretudo em áreas de alta

latitude. Assim, as vertentes orientadas para o Equador, por exemplo, recebem mais radiação solar, e isso proporcionará efeitos negativos e/ou positivos sobre os regimes térmico e hídrico.

O cálculo de como é determinado o Aspecto em graus é dado pela EQUAÇÃO 14:

$$A = \arctan \left[\frac{\Delta Z}{\Delta Y} / \frac{\Delta Z}{\Delta X} \right] \quad (14)$$

Conforme mostra o diagrama de blocos da Figura 2, o Aspecto foi gerado no *software* ArcGis 9.3, a partir do MDT – *IDW*. Para se obter este subproduto calculou-se a direção do declive de uma célula em relação às células vizinhas. Os valores obtidos nesta etapa atingem valores entre -1 e 360°, onde o valor -1 representa as regiões planas, e 360° o valor máximo do ângulo, a partir do norte no sentido horário. Foram definidas cores para cada classe representativa.

3.4.1.4 Bloco Diagrama e Superfície 3D

Os mapas definidos como blocos diagramas e superfícies 3D são representações, as quais proporcionam a variação do valor da variável quantitativa, no caso dos relevos ou altitudes, distribuídos numa determinada área. Eles são adequados para apresentação de informações que descrevem a morfologia dos relevos e podem ser usados para simulações que possam utilizá-los como base, como é o caso da combinação do relevo com mapas temáticos, ou outras informações (SIMÕES E MOURA, 1989).

As informações advindas de imagens 3D são essenciais aos estudos sobre o meio físico, pois permitem a elaboração de modelos cartográficos de acordo com o que se deseja estudar e permitem também um suporte aos processos sócio-naturais que envolvem o meio físico.

Nesta pesquisa, o bloco diagrama e a superfície 3D foram utilizados como apoio à análise visual, podendo notar tanto as formas do relevo como o tipo de vertentes presentes nas unidades de paisagem em questão.

Conforme mostra no diagrama de blocos na Figura 2 os dados do MDT foram exportados na forma de tabela, formato dbf, para o programa *Surfer* 8.0, transformando-a em grade. Esta grade é o produto base para a confecção do bloco diagrama e da superfície 3D, pois nela, estão contidas informações relacionadas à localização e à altimetria. Por isso, uma vez processada grade, pode-se, gerar os subprodutos quantas vezes for necessário.

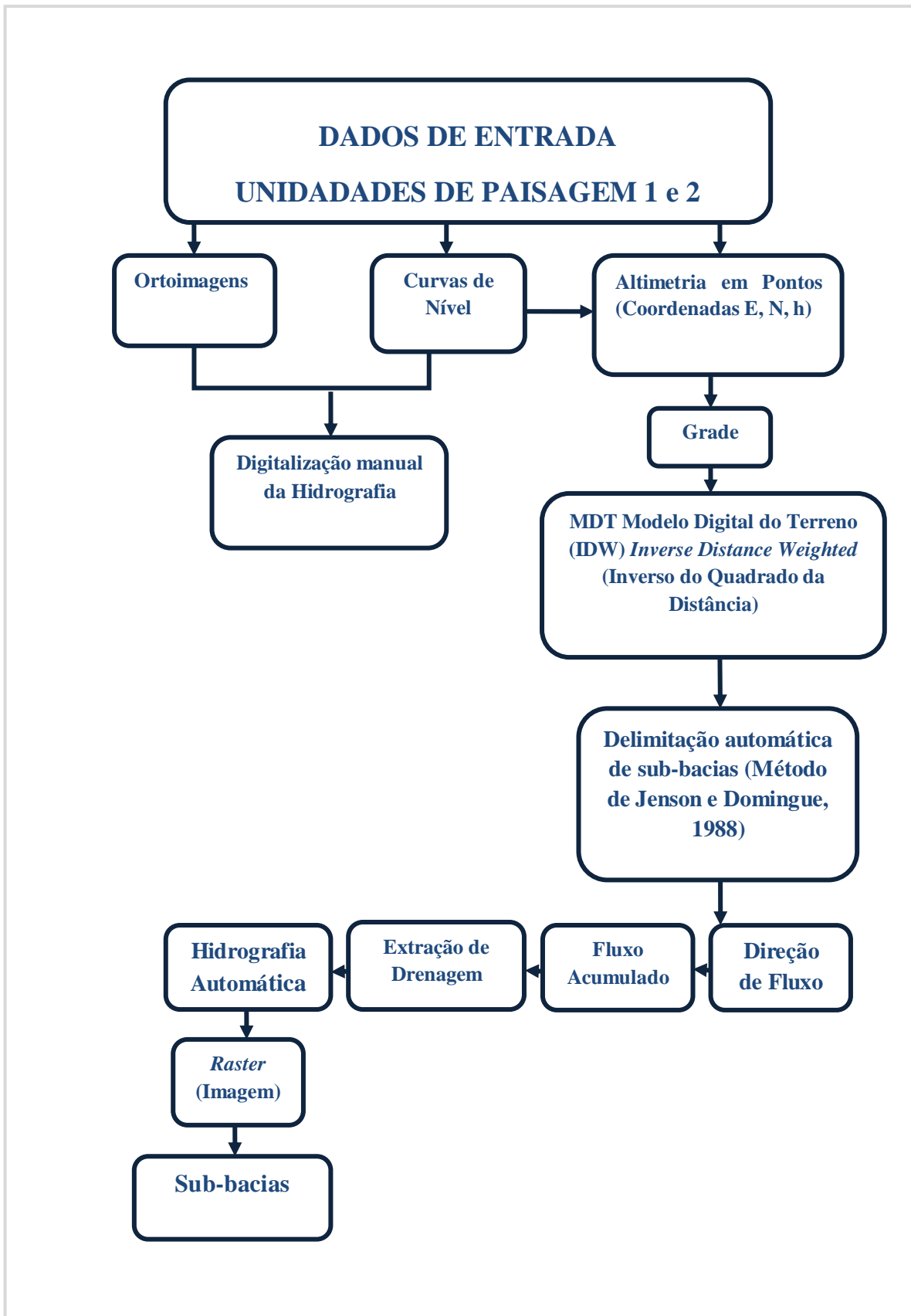
3.4.2 Variáveis que representam a hidrografia

Para Ribeiro (2003) a drenagem pode ser analisada em termos da rede de drenagem, dos canais formados na superfície, ou em termos das bacias e microbacias que esses canais delimitam, conforme mostram estudos de Amaral et al. (1972), destacando quanto a consistência e a confiabilidade da rede de drenagem superficial, uma vez que ela indica as reais condições da superfície física. Assim, é evidente seu emprego em estudos relacionados com paisagens.

Lima (1989) trabalhou com a definição de uma microbacia, compreendendo uma área de formação natural, drenada por um curso de água e seus afluentes, a montante de uma seção transversal considerada, para onde converge toda a água da área em questão. Porém, pode-se trabalhar com uma bacia ou microbacia de acordo com o objetivo do trabalho, como visto nesta pesquisa, uma vez que não há consenso quanto ao tamanho ideal de área.

Esta etapa evidencia os passos para encontrar variáveis relacionadas à drenagem bem como sua importância no contexto ambiental e podem ser observadas no diagrama de blocos 2 (Figura 3). Dessa forma, utilizaram-se as ortoimagens *Spot5/2005*, com apoio das curvas de nível no formato digital com equidistâncias de 20 metros, para digitalizar manualmente a rede de drenagem das duas unidades de paisagem no programa *Arcview 3.2*. A partir do MDT - *IDW* foi possível extrair das células da grade com resolução espacial de 30m a direção do fluxo, acúmulo do fluxo, extração de drenagem, identificação do exutório e o limite das sub-bacias. A obtenção da direção do fluxo até a subdivisão das bacias foi considerada a etapa mais importante e ocorreu no *ArcGis 9.3*, seguindo-se a metodologia proposta por Jenson e Domingue (1988), que consiste em gerar o MDT sem depressões e, a partir dele, processar a grade de acúmulo de água em cada célula do MDT para, em seguida, processar as direções de escoamento e o acúmulo de fluxo, tendo como base o padrão de drenagem existente, utilizando-se neste caso um limiar de 500 pixels. Salienta-se que foram feitos testes com outros limiares (100 e 500), porém, justifica-se o uso do limiar de 500 pixels por representar adequadamente o perfil físico/ hidrográfico das unidades. Para isso, efetuou-se o que é denominado preenchimento de depressões, e, em seguida, pôde-se chegar à delimitação automática das sub-bacias.

Figura 3 – Diagrama de blocos 2 – Hidrografia



Fonte: A autora.

3.4.2.1 Direção de escoamento e Sub-bacias

A direção de escoamento tem sua importância na análise das regiões que possuem maior fluxo hídrico, bem como, a direção que percorrem, uma vez que, estas características influenciam em outros aspectos ligados ao relevo e ao uso e ocupação.

A variável sub-bacia contribui para um estudo relacionando ao meio ambiente, pois depois do relevo, ela é o mais confiável e consistente elemento indicador das reais condições da superfície física, representando a rede de drenagem (AMARAL et al., 1972). Por meio das sub-bacias é possível calcular a área total da bacia, seu perímetro, a direção das mesmas, bem como, outras informações relevantes para a compreensão da dinâmica hidrográfica.

A obtenção das imagens com a direção do escoamento e a delimitação das sub-bacias se baseou no método descrito por Jenson e Domingue (1988) e pode ser observado no diagrama de blocos da Figura 3. O roteiro baseado no método supracitado propõe que cada pixel seja drenado para um de seus oitos vizinhos, escolhido como sendo aquele para o qual o escoamento enfrenta a maior declividade, ou seja, a diferença de elevação do terreno dividida pela distância entre os pixels seja a maior. Como resultado é gerado um arquivo *raster* onde cada pixel é identificado por um código que indica seu sentido de drenagem. Em seguida é determinado o plano de área acumulada, uma vez que é importante para a definição da rede de drenagem e para a delimitação das bacias. Neste plano cada pixel recebe um valor correspondente ao somatório das áreas de todos os pixels de montante. Para isso é realizado um cálculo contendo valor da área de superfície de cada pixel, o qual é propagado para jusante, sendo acumulado e armazenado em cada pixel encontrado pelo caminho. Como um pixel pode receber mais que uma contribuição, a área acumulada dele será sempre o somatório de todas as propagadas a ele pelos seus vizinhos.

Após as etapas acima descritas, delimitaram-se as sub-bacias. Para isso, prosseguindo com a metodologia de Jenson e Domingue (1988) realizou-se uma divisão e codificação permitindo a hierarquização das sub-bacias, definindo a posição relativa de uma sub-bacia em relação às demais, bem como o ordenamento entre elas. Primeiramente foi necessário fornecer o seu exutório ou deságue (um ponto pertencente à rede de drenagem) em arquivo *raster*. O resultado obtido é um arquivo *raster* onde cada pixel interno à bacia recebe código 1 e os demais código 0. A delimitação da bacia considera o fato de que qualquer escoamento partindo de um pixel do MDT pertencente à bacia deve possuir um caminho a ser percorrido (de acordo com as direções de fluxo) até o seu deságüe (exutório).

3.5 CLASSIFICAÇÃO QUANTITATIVA DO USO E OCUPAÇÃO ATUAL: MÁXIMA-VEROSSIMILHANÇA (MAXVER)

O levantamento sobre o uso e a cobertura da terra admite análises e mapeamentos que permitem o conhecimento das diferentes ocupações dos espaços, fornecendo subsídios para os diagnósticos e/ou avaliações dos problemas e mudanças ambientais como, por exemplo, os provenientes da urbanização, da agricultura intensiva, dos desmatamentos, entre outros.

A classificação das unidades de paisagem desta pesquisa foi efetuada no software ENVI 4.4, utilizando-se a Classificação Supervisionada, empregando-se o algoritmo da Máxima Verossimilhança (MAXVER), o qual utiliza a média das respostas espectrais das amostras de treinamento, considerando uma distribuição Gaussiana.

A Classificação Supervisionada necessita da interferência do operador ou analista, que coleta amostras de treinamento puras e representativas de cada classe, além do algoritmo computacional que é utilizado para classificar a imagem (CENTENO, 2004). Por isso, nesta pesquisa foram coletadas 125 amostras de cada uma das unidades de paisagem, das imagens Landsat 5 TM (2010). A coleta das amostras de treinamento é crucial, pois o resultado da classificação refletirá a qualidade das amostras coletadas, sendo esta uma tarefa difícil, pois pixels da mesma classe podem apresentar-se de maneira distinta na imagem, podendo dificultar a separabilidade das classes. Assim, antes de efetuar uma classificação supervisionada deve-se avaliar a qualidade das amostras de treinamento. Neste sentido, após a coleta e classificação das amostras de treinamento, empregou-se o índice da Divergência Transformada, para calcular a qualidade das mesmas, ou seja, medir a separabilidade espectral das classes duas a duas. Os valores compreendem o intervalo 0 – 2, sendo que os valores superiores a 1,9 indicam que as classes não terão problemas de separabilidade na classificação (RICHARDS, 1993).

Após constatar a qualidade das amostras de treinamento, mediante a Divergência Transformada com resultados acima de 1,9 e a definição das classes, de acordo com Manual de Uso do Solo do IBGE (2006) (solo exposto, área urbanizada, floresta, corpos d'água, agricultura e sombra), realizou-se as classificações e o resultado é uma imagem digital simplificada, isto é classificada com 6 cores, uma para cada classe.

O resultado da classificação é uma nova imagem com menos níveis digitais que a imagem original, os quais correspondem às classes pré-definidas. Esta imagem pode ser empregada na geração de mapas temáticos, que são comumente utilizados para facilitar o

manejo dos recursos ambientais, localizar eventos catastróficos e subsidiar a tomada de decisões gerais sobre a área em questão (LIU, 2007).

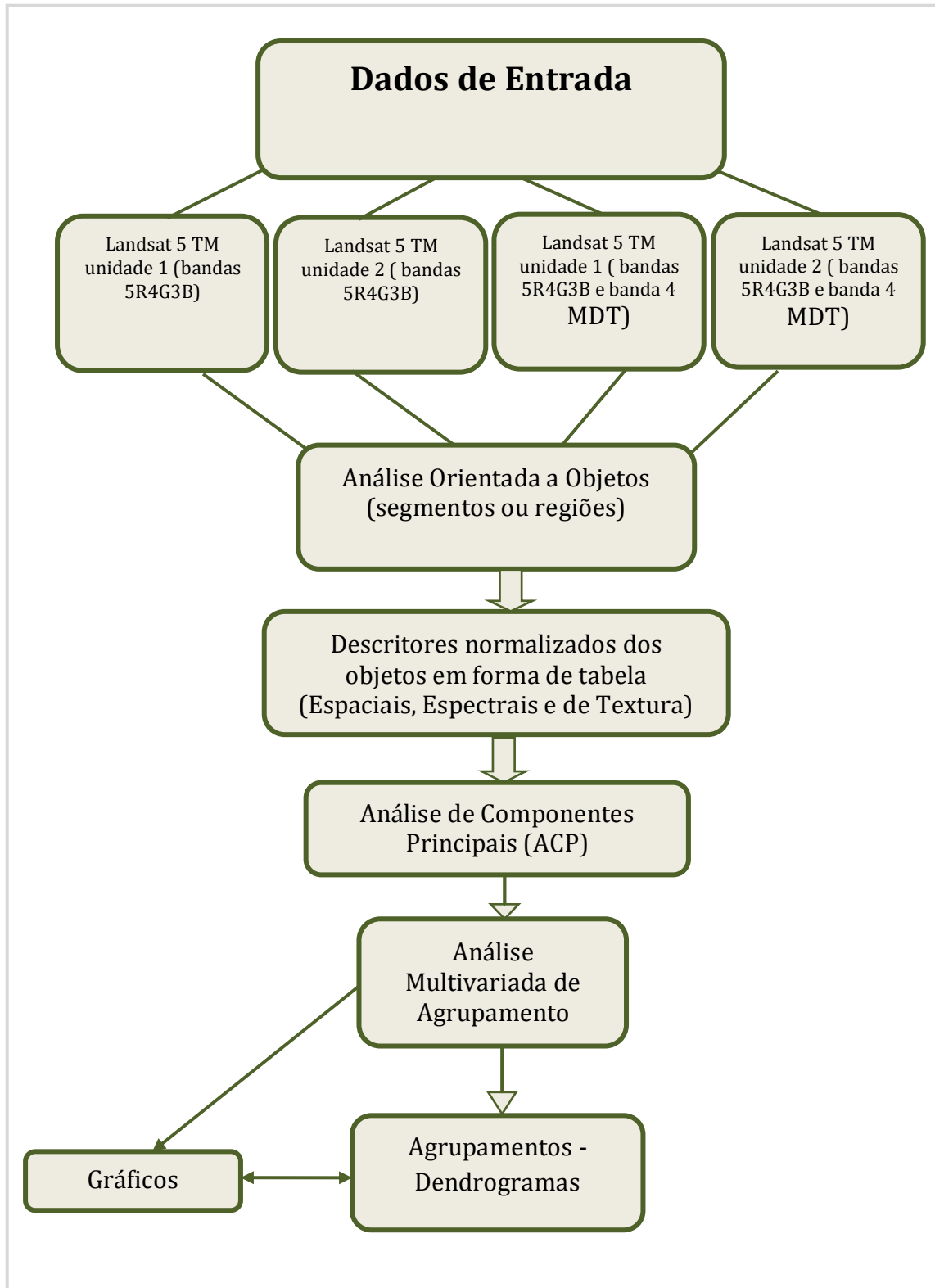
Para avaliar o resultado das novas imagens, aplicaram-se testes estatísticos como forma de comparar os efeitos da classificação. Dessa forma, empregou-se a Matriz de Confusão ou de Erros, a qual necessita de novas e diferentes amostras das utilizadas durante a classificação, no sentido de compará-las com o resultado da classificação.

Nesta pesquisa, utilizaram-se as imagens classificadas como base para a visita à campo, com intuito de comprovar as formas de uso e ocupação do solo das duas unidades de paisagem em questão.

3.6 ANÁLISE ORIENTADA A OBJETOS E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

De posse das imagens (Landsat 5 TM/2010) corrigidas e com composição espectral de 3 bandas (5R4G3B), inseriu-se no software ENVI EX e iniciou-se o processo de segmentação. Primeiramente, foram feitos alguns testes nas imagens das duas unidades de paisagem do estudo, até obter-se um resultado visual satisfatório de segmentos ou objetos. Optou-se pela técnica de análise por regiões, visando extrair informações das imagens digitais. Esse método utiliza propriedades básicas de valores de níveis digitais, bem como as propriedades espaciais como a forma, textura, compacidade e a suavidade do contorno dos grupos formados a cada iteração separando aqueles com propriedades similares e espacialmente próximas e isolando os objetos de interesse. As etapas desta análise podem ser vistas no diagrama de blocos 3 (Figura 4).

Figura 4– Diagrama de blocos 3 – Análise Orientada a Objetos



Fonte: A autora

Neste sentido, as imagens contendo as unidades de paisagem 1 e 2 foram inseridas no software ENVI EX e por possuírem características bastante heterogêneas em termos de uso, tomou-se cuidado quanto à regulagem da *Scale Level* (SL) e do *Merge Level* (ML), pois, ao se diminuir a porcentagem de *scale*, o resultado é o aumento do tamanho dos segmentos ou regiões, já quando se aumenta a porcentagem de *merge*, o resultado é a fusão das regiões menores, eliminando aqueles que se mostram espúrios.

Primeiramente efetuou-se esta análise (orientada a objeto) nas imagens Landsat 5 TM/2010 com as 3 bandas (5R4G3B), configurando-se *Scale Level* em 24, 90 e *Merge Level* em 92,8 para a primeira unidade de paisagem. Para a segunda unidade de paisagem regulou-se *Scale Level* em 45, 6 e *Merge Level* em 91,7.

É importante salientar que para cada tipo de imagem processada no ENVI EX há opções diferenciadas de serem trabalhadas, por exemplo, ao analisar imagens de satélites opta-se pela escolha de atributos ligados ao *spectro* e *texture*, os quais se diferenciam dos atributos de imagens produzidas, por exemplo, no MDT (*spatial* e *texture*).

Por isso, em seguida, efetuou-se a técnica de análise orientada a objeto combinando as imagens Landsat 5 TM/2010 com 3 bandas (5R4G3B) juntamente com os descritores da variável física (MDT) correspondendo a banda 4, nas duas unidades de paisagem do estudo utilizando-se como *Scale Level* 39,9 e *Merge Level* 81,4 para a primeira unidade de paisagem. A segmentação para a segunda unidade ficou em 45,6 para *Scale Level* e 91,7 para *Merge Level*.





Solberg et al. (1996) enfatizam que a interpretação da cena em nível de segmentos, na qual é possível, conforme já comentado, a inclusão de informações espectrais, espaciais e de textura, torna-se importante em virtude de que mais parâmetros podem ser derivados para descrever os elementos.

O ENVI EX proporciona ao usuário resultados satisfatórios, na sua grande maioria, além disso, seu manuseio é prático e iterativo. Assim, após a transformação das imagens em segmentos ou regiões de acordo com seus usos e propriedades espectrais, espaciais e de textura, seguiu-se analisando as tabelas resultantes de cada segmentação com seus descritores.

As variáveis ou descritores gerados em cada análise de segmentação foram descritas na seção 2.3.2 desta pesquisa. Por se tratar de uma expressiva quantidade de variáveis ou descritores, 35 descritores para imagem Landsat bandas 5R4G3B e 39 descritores para imagem Landsat bandas 5R4G3B e banda 4 MDT, foi necessário eliminar os descritores que menos se correlacionavam uns com os outros.

Devido a importância dos descritores das regiões ou segmentos, resalta-se aqui mediante a Tabela 1 exemplos de descritores espectral, espacial e de textura.

Tabela 1: Representação de descritores: espacial, espectral e de textura.

DESCRITOR																														
Espacial:	Forma Compacta 	Forma não Compacta 																												
Espectral:	Valor Digital Máximo = 80 <table border="1" data-bbox="488 792 671 976"> <tr><td>15</td><td>40</td><td>10</td></tr> <tr><td>50</td><td>15</td><td>20</td></tr> <tr><td>80</td><td>20</td><td>45</td></tr> </table>	15	40	10	50	15	20	80	20	45	Valor Digital Mínimo = 10 <table border="1" data-bbox="831 792 1015 976"> <tr><td>15</td><td>40</td><td>10</td></tr> <tr><td>50</td><td>15</td><td>20</td></tr> <tr><td>80</td><td>20</td><td>45</td></tr> </table>	15	40	10	50	15	20	80	20	45	Média do Valor Digital = $295/9 = 32,77$ <table border="1" data-bbox="1206 792 1390 976"> <tr><td>15</td><td>40</td><td>10</td></tr> <tr><td>50</td><td>15</td><td>20</td></tr> <tr><td>80</td><td>20</td><td>45</td></tr> </table>	15	40	10	50	15	20	80	20	45
15	40	10																												
50	15	20																												
80	20	45																												
15	40	10																												
50	15	20																												
80	20	45																												
15	40	10																												
50	15	20																												
80	20	45																												
Textura	Textura Lisa 	Textura Rugosa 																												

Fonte: A Autora

As variáveis adquiridas ou advindas da análise orientada a objetos possuem diferentes escalas e dimensões, portanto faz-se necessário a normalização destes dados, tornando representados num intervalo de 0 a 1 e portanto obedecendo uma distribuição igualitária.

Neste sentido, primeiramente realizou-se a normalização das variáveis, e, em seguida realizou-se testes mediante ACP – Análise de Componentes Principais – podendo-se visualizar a correlação por meio de gráficos de dispersão e de tabelas. O coeficiente de correlação obtido nas Componentes CP 1 com CP 2 aproximou-se de 50%, denotando assim as variáveis de maior homogeneidade, as quais ficaram inseridas na elipse, como pode-se observar no item 4.2.2 (figuras 35 e 36). Na Tabela 3 constam os percentuais de correlação mediante Análise de Componentes Principais realizada sob as variáveis finais nas duas composições espectrais das unidades de paisagem desta pesquisa.

Dessa forma, do total das variáveis adquiridas na Análise Orientada a Objeto selecionou-se as que mais se correlacionaram na ACP, destacando-se 6 variáveis de forma, 9 variáveis espectrais e 2 variáveis de textura. Estas variáveis podem ser consultadas Tabela 4

desta pesquisa. Com as características dessas variáveis tornou-se possível a formação de grupos contendo propriedades espectrais, espaciais e de textura homogêneas ou heterogêneas, associadas às unidades de estudo, e que são elucidadas no próximo item (3.7).

3.7 ANÁLISE MULTIVARIADA DE AGRUPAMENTO

A escolha do método e tipo de análise empregada nesta investigação reflete na resposta determinante ao problema relacionado à pesquisa. Nesse sentido, Johnson e Wichern (1998, p.02) propõem uma classificação de Agrupamento de objetos ou variáveis, ou seja, grupos de objetivos ou variáveis “similares” que são criados com base nas medidas características.

Conforme se salientou no Capítulo 2 desta pesquisa, a análise multivariada utiliza-se de uma série de técnicas para tratar os dados correspondentes às variáveis analisadas. Estas variáveis são os segmentos por regiões na forma de tabela alfanumérica (seção 2.3.2), que foram gerados mediante Análise Orientada a Objeto. Tais regiões foram extraídas das imagens Landsat 5 TM com 3 bandas espectrais (5R4G3B) e em conjunto com os MDTs (banda 4) provenientes das duas unidades de paisagem determinadas para este estudo.

A estatística oferece muitos algoritmos para gerar os agrupamentos. Por isso, quando existem vários critérios, para conceituar esses grupos, deve-se optar por aquele que for mais adequado para a análise do estudo em questão.

Nesta pesquisa, optou-se por apresentar o método de agrupamento hierárquico aglomerativo, que tem início com grupos isolados, ou seja, os objetos mais similares são agrupados, primeiramente, formando um único grupo. O processo repete-se com cada variável que se apresentar mais homogênea. Dessa forma, com o decréscimo da similaridade, todos os subgrupos são agrupados, formando um único grupo com todos os objetos ou variáveis, identificando a distância de cada grupo/subgrupo.

Este processo comprovou-se após a extração do banco de dados, ou seja, das tabelas de cada unidade de estudo, e, depois de realizar os testes de ACP para filtrar as variáveis da primeira componente (CP 1 e CP 2) e, assim, diminuir a dimensionalidade dos dados usados para o agrupamento. Neste sentido, os dendrogramas foram gerados no software *PAST* utilizando o conjunto de variáveis com características espaciais, espectrais e de textura

A interpretação do dendrograma ocorre por meio da homogeneidade das amostras próximas e dos valores semelhantes para as variáveis medidas, ou seja, elas devem ser

próximas matematicamente no espaço multidimensional. Portanto, quanto maior a proximidade entre as medidas relativas às amostras, maior a similaridade entre elas. Em outras palavras, a explanação ocorrerá a partir da formação de cada grupo de acordo com as variáveis associadas, bem como a distância percebida.

Em cada amostra ou variável atribuiu-se as características e aspectos comuns revelados entre as variáveis que melhor se agruparam, bem como, as diferenças conferidas aos grupos caracterizados como heterogêneos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE VISUAL E INTERPRETAÇÃO DOS AGENTES FORMADORES DA PAISAGEM

A análise visual de uma paisagem e/ou de agentes formadores da paisagem pode ser executada qualitativamente, na medida em que se observa e identificam as feições morfológicas do terreno, utilizando para isso os elementos de interpretação que são encontrados na imagem ou cena.

De acordo com Centeno (2003), a análise visual de uma imagem não se restringe apenas às propriedades espectrais armazenadas sob forma de valores digitais em cada pixel. Podem ser explorados os aspectos ligados a textura e a forma dos objetos, bem como a associação espacial entre os objetos que compõem a cena.

Ribeiro (2003) destaca que o sucesso da análise visual é dependente da experiência do intérprete, que identifica objetos, avaliando suas reais características as descreve de maneira legível. Estes processos envolvem um alto grau de subjetividade, que variam de cada intérprete, estando treinado e familiarizado com a área de estudo se obterá critérios definidos e seguros. Por outro lado, um intérprete inexperiente pode apresentar dificuldade para identificar e julgar o significado ao relacionar com os vários fenômenos presentes na imagem. Por isso, utilizar-se de processos que diminuam o grau de subjetividade nessas análises são fundamentais e uma maneira de alcançar esse objetivo é o emprego de técnicas automáticas ou semi-automáticas de processamento, como as que podem ser vistas nos itens seguintes.

A interpretação de imagens está associada à análises regionais, onde o intérprete pode verificar as mudanças ocorridas nos espaços em épocas distintas. Por isso, os elementos de interpretação de imagens, são os princípios fundamentais que mais são usados rotineiramente ao se fazer uma fotointerpretação. Esses elementos incluem localização, tonalidade ou brilho e cor, tamanho, forma, textura, padrão, sombra, altura e profundidade, volume declividade, aspecto, situação e associação. (JENSEN, 2009)

Dessa forma, apresentam-se as análises visuais das variáveis ou fatores constituintes da paisagem, associadas às unidades de paisagem deste estudo, evidenciando-se as características físicas e de uso e ocupação de cada uma delas.

Salienta-se que os resultados obtidos (gradiente de encosta, aspecto, bloco diagrama, superfície 3D e direção de escoamento) e que estão expressos neste capítulo, foram

fundamentais para o pré - reconhecimento físico-visual das unidades de estudo, entretanto, não serão abordados e ou associado ao item de Análise Orientada a Objetos e de Agrupamento (4.2). Tal associação será discutida do capítulo final da pesquisa (item 5 - Discussão dos Resultados).

4.1.1 Modelo Digital do Terreno

Nos mapas topográficos ou para fins gerais o relevo é representado quase sempre em termos absolutos, ou seja, por curvas de nível ou pontos cotados. Os Modelos Digitais de Terreno (MDTs) representam o comportamento de fenômenos que ocorrem em uma região da superfície terrestre, por isso, são utilizados por uma série de procedimentos de análises úteis para aplicações de geoprocessamento. A utilização dos modelos digitais, pelas análises, possibilita o estudo de um determinado fenômeno sem a necessidade de se trabalhar diretamente na área escolhida. As análises podem ser qualitativas ou quantitativas e são importantes para fins de simulações e tomadas de decisão no contexto de desenvolvimento de aplicações, ou modelagens, de geoprocessamento que utilizam SIGs (BURROUGH, 1986).

Os MDTs representam a variabilidade de um atributo, ou fenômeno geográfico, que ocorre dentro de uma região geográfica de interesse. Os produtos das análises podem ser integrados com outros tipos de dados geográficos objetivando o desenvolvimento de diversas aplicações. Um sistema de modelagem digital de terreno integra a aquisição de um conjunto de amostras representativas do fenômeno a ser estudado; a criação do modelo digital, propriamente dito e; a definição de uma série de processamentos de análises a fim de extrair elementos úteis à aplicação. As informações retiradas do MDT podem ser de caráter qualitativo, como por exemplo, a visualização da superfície ou quantitativo, por meio da coleta de informações ligadas à área, volume, entre outros.

Nesta pesquisa, os MDTs estão representados (contendo a sobreposição da hidrografia) nas duas unidades de paisagem selecionadas para o estudo (Figuras 5 e 6). As maiores altitudes estão representadas pelos tons brancos e as menores pelos tons de verde, conforme mostra a legenda, variando entre 760 a 1095 metros. Estes produtos foram aplicados neste estudo, principalmente na geomorfologia, com a elaboração de mapas de declividade, aspecto, concavidade e convexidade, análises de rede hidrográfica (delimitação automática de sub-bacias), ou seja, sob diferentes ângulos, para uma interpretação adequada

de cada feição que caracteriza a paisagem. Visualmente, percebem-se padrões topográficos e de altimetria distintos, por isso, serão elucidados nas análises individuais de cada área ou unidade de paisagem.

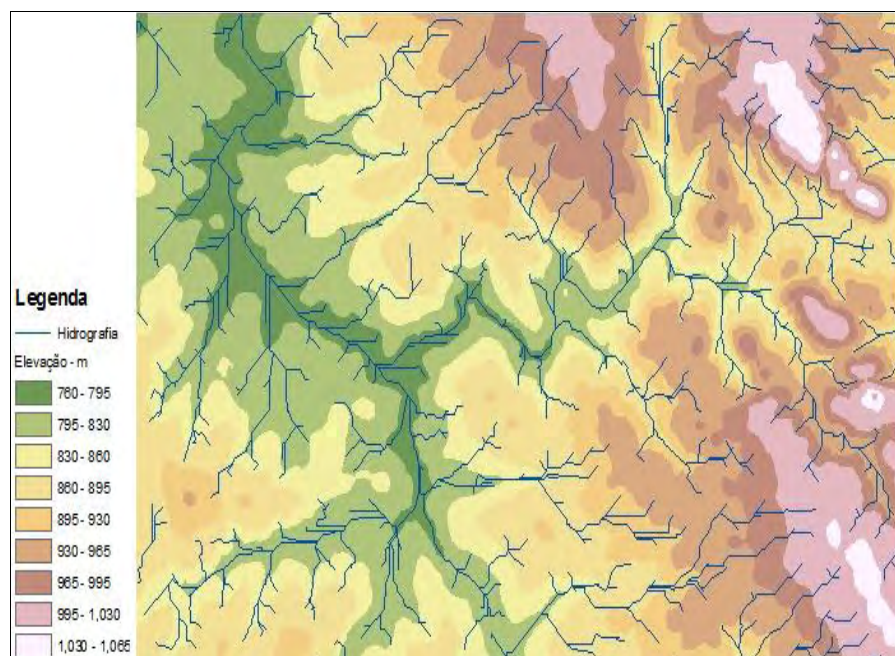
Por meio da interpretação visual, identificou-se diferentes classes de relevo que podem ser observados com o uso dos MDTs, como regiões com feições suaves, planas ou semi-planas, por apresentarem uma média altimétrica, outras áreas caracterizadas como onduladas e, ainda, outras que podem ser caracterizadas como fortemente onduladas por apresentarem altitudes elevadas.

Neste sentido, nota-se que a unidade de paisagem ou área 1 (Figura 5) apresenta altitudes superiores nas porções sul e centro-leste atingindo até 1.065 metros nos topos. Uma evidente diminuição na altitude é observada na extrema porção nordeste, exibindo índices de até 760 metros, isto é, menores que os índices notados nos vales dos rios Pitangui e Jotuba que se apresentam próximos dos 900 metros. As porções restantes da área apresentam homogeneidade nos índices, variando entre 930 e 995 metros, inclusive nas regiões centro-oeste e noroeste, onde se encontra o divisor topográfico dos rios supracitados.

A segunda unidade de paisagem representada na Figura 6 é caracterizada com uma maior porcentagem de porções elevadas, conforme nota-se nas regiões norte, nordeste, leste e sudeste, apresentando índices entre 1.000 e 1.090 metros de altitude. Essas elevações coincidem com as formas do relevo de transição do Primeiro para o SPP, confirmando-se, ao passo que se afasta para oeste, noroeste, sul e sudoeste, onde ocorrem diminuições significativas nas altitudes, principalmente no vale do rio Pitangui, que chega aos 820 metros na medida em que segue rumo a sua foz.

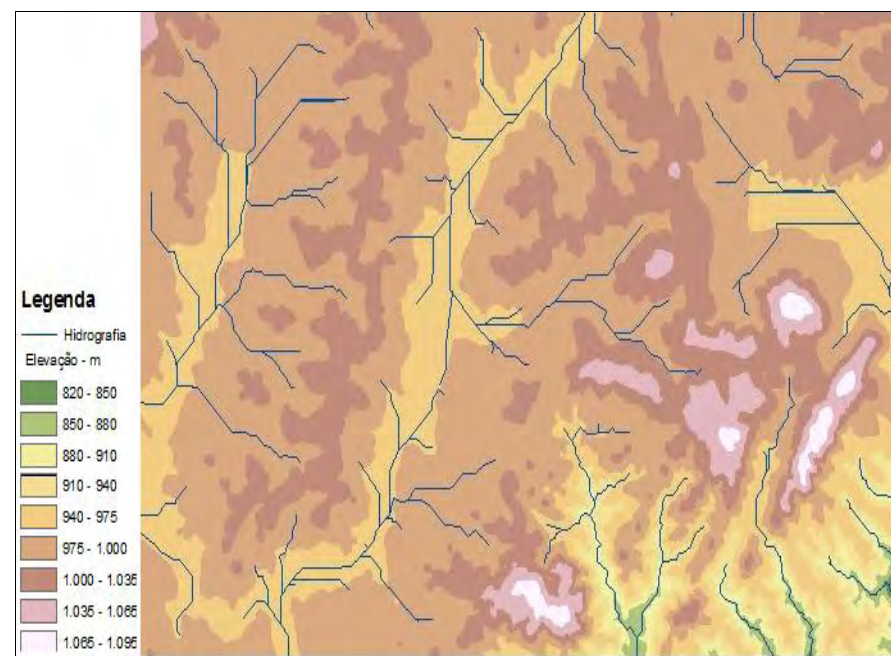
A visualização em perspectiva de unidades de estudo com base nos MDTs, em conjunto com a hidrografia de ambas as unidades de paisagem, possibilitaram uma melhor identificação das regiões que, com características topográficas distintas, refletiram-se como principal suporte para a análise do perfil de uso da terra nos diferentes tipos de relevo encontrados.

Figura 6 – Modelo Digital do Terreno da unidade de paisagem 2



Fonte: A autora

Figura 5 – Modelo Digital do Terreno da unidade de paisagem 1



Fonte: A autora

4.1.2 Gradiente de Encosta

O Gradiente de Encosta ou declividade de uma área é definida como o ângulo de inclinação da superfície do terreno em relação à horizontal, com valores variando de 0° a 90°, porém é expresso na maioria das vezes em porcentagem. Nesta pesquisa, as análises caracterizaram-se por índices de 0 a 42%.

Para a estimativa da declividade é preciso analisar as isolinhas que nas Figuras 7 e 8 aparecem com tons amarelo-avermelhados, sendo que a declividade acentua-se na medida em que elas se juntam.

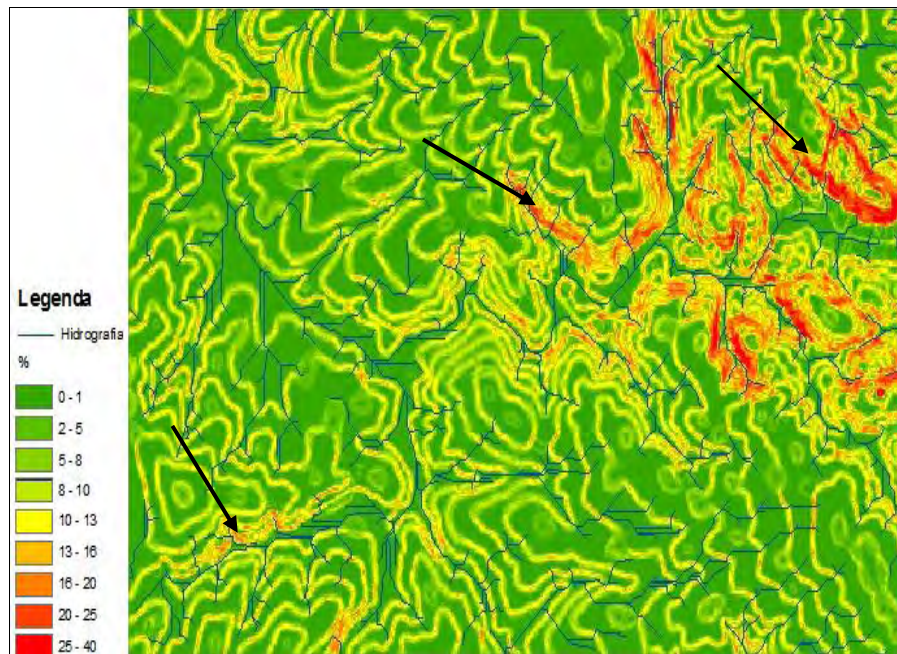
A primeira unidade de paisagem do estudo (Figura 7) apresenta declividades superiores (20 a 40%) numa porção da área que abrange as regiões sul, sudeste, leste-sudeste e nordeste - leste. São percebidos declives semelhantes em porções menos expressivas, como na região sudeste e próximo aos vales dos rios Pitangui e Jotuba (16 a 40%) (setas). Estas áreas se configuram num relevo ondulado e/ou forte ondulado, que pode estar relacionado tanto com as maiores altitudes (1.065m) nas regiões sul e centro leste, como com as menores (780 m), encontradas no extremo sudeste da área. Índices de declividade pouco expressivos (0 a 13%) são observados no restante da área, configurando-se num relevo plano ou suave ondulado.

O índice superior de declividade (16 a 42%) da segunda unidade de paisagem (Figura 8) encontra-se em porções que compreendem as regiões centro-leste e nordeste, configurando-se como forte onduladas, e índices de elevação entre 940 e 970 metros. Índices inferiores (16 a 20%) encontram-se na região sudoeste, em altitudes entre 860 e 880 metros, principalmente sobre os canais fluviais que percorrem parte da área urbana até o rio Pitangui, como pode-se observar na seta indicativa na porção sudoeste. Dessa forma, nesta área (Figura 8) observa-se que as declividades ocorrem, sobretudo, em índices de elevação que variam de 860 a 970 metros encontrados sob os vales dos afluentes do Rio Pitangui, de ambas as margens à jusante, e outras vertentes provenientes da porção urbana. Esta característica diferencia-se da primeira unidade de paisagem, que apresenta declives acentuados tanto nas áreas mais elevadas (1.065 metros), como nas mais baixas (760 metros) da unidade.

A interpretação visual das imagens em conjunto mostra que se trata de unidades de paisagem com padrões físicos heterogêneos. Comprova-se ao cruzar as classes de declives com os percentuais de altitude (Figuras 5 e 6), os quais mostraram que tanto nas porções elevadas como nas mais baixas da primeira unidade de paisagem (Figura 7) ocorreram declividades elevadas. Esse perfil influencia num modelamento topográfico fortemente

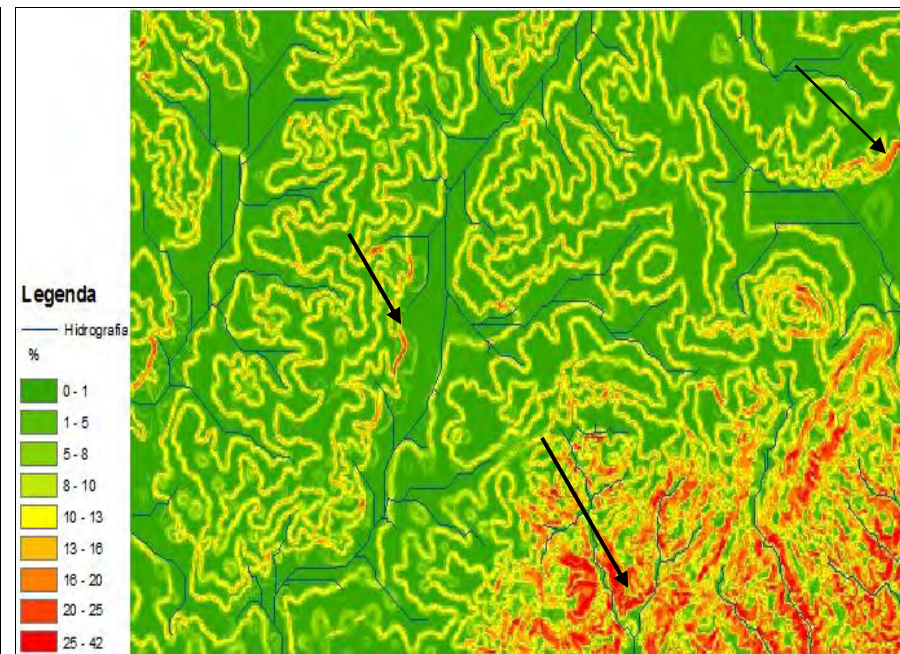
ondulado, observado, principalmente na porção sudeste da área. Tais características impulsionam para uma maior movimentação nessa região e um menor aproveitamento, uma vez que, o comprimento e a declividade das vertentes proporcionam o escoamento superficial, e, podem desencadear maior suscetibilidade litológica e erosão em alguns pontos. As perdas de terra crescem à medida que há aumento da inclinação das vertentes e do escoamento superficial. (TAVARES; VITTE 1993). A segunda unidade de paisagem (Figura 8) contém maiores porções de área com índices superiores de elevação, porém, porções inferiores com índices de declividade elevada. A variável altitude, neste caso, pode não influenciar integralmente para o menor aproveitamento da área, podendo apresentar usos diversos em regiões elevadas, porém, topograficamente mais suaves como nas porções centro-leste e nordeste. As porções da área como ao sul, sudoeste, oeste e noroeste apresentam índices de elevação e declividades que se influenciam visivelmente para o maior aproveitamento, principalmente por cultivos agrícolas.

Figura 8 – Gradiente de Encosta da unidade de paisagem 2



Fonte: A autora

Figura 7 – Gradiente de Encosta da unidade de paisagem 1



Fonte: A autora

4.1.3 Aspecto

Nesta análise, foram adotadas dez classes, cada uma delas representada por uma cor e um sentido (ângulo que está inserida). Os valores obtidos encontram-se entre -1 e 360° , sendo que o valor -1 representa as regiões planas identificadas pela cor cinza nas imagens.

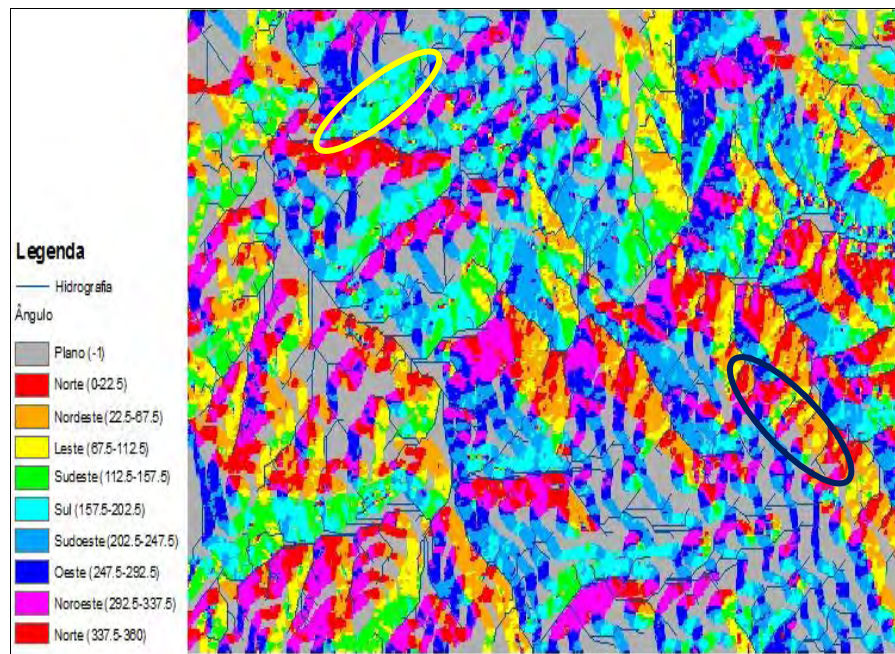
Como já mencionando no Capítulo 3, esta variável está associada à luminosidade solar e também à direção preferencial do escoamento superficial. Como o relevo do Paraná, incluindo as unidades de paisagem de estudo, apresenta-se escalonado de leste para oeste do Estado, a rede hidrográfica também segue essa direção. Este fator pode influenciar nas orientações das encostas das unidades de paisagem, porém, cruzando com as variáveis declividade e altimetria, o resultado apresenta ângulos com várias direções.

Para a primeira unidades de paisagem (Figura 9), as porções mais elevadas (1.000 a 1.065 metros) do terreno são observadas à leste-sudeste, (círculo de cor preta), prevalecendo ângulos voltados para oeste e sudoeste. Em regiões da área onde predominam declividades superiores, como próximo aos vales dos rios, sobretudo do Pitangui e Jotuba, em altitudes igual ou superior a 930 metros e margem direita (círculo vermelho), notam-se orientações significativas voltadas à leste, sul e sudeste. A segunda unidade de paisagem (Figura 10) apresenta maior heterogeneidade nas direções das encostas e em perímetros maiores, conforme se observa nas tonalidades de azul distribuídas pela área, indicando ângulos voltados para sul, sudoeste e oeste (círculo amarelo). Salienta-se que estas áreas encontram-se em porções mais elevadas do terreno (acima de 1.000 metros). Em algumas porções menos elevadas da área (até 1.000 metros aproximadamente), conforme mostra o círculo azul, as direções estão voltadas pala norte, noroeste e leste.

De acordo com as análises físico-visuais da primeira unidade de paisagem (Figuras 5, 7 e 9), pode-se observar maior homogeneidade, principalmente, nos índices de elevação (maior quantidade de área com altitudes entre 900 e 1000), porém, prevalecem, de modo geral, declividades mais expressivas. Para a segunda unidade de paisagem, as primeiras análises (Figuras 6, 8 e 10) demonstram contrastes nos índices de elevação (quantidade expressiva de área com altitudes superiores a 1000 metros) e declividades inferiores. Essas variáveis (altitude e declividade) somadas ao aspecto das unidades, onde se nota uma ordenação ou homogeneização maior no padrão de inclinação, principalmente, na primeira unidade (Figura 9), podem estar relacionadas à litologia local, uma vez que essa área apresenta-se basicamente sob o Complexo Granítico Cunhaporanga, enquanto a segunda unidade de paisagem (Figura 10) encontra-se inserida sob Formação de Furnas, com presença de diques, falhas e fraturas, impulsionando os padrões heterogêneos de aspectos percebidos.

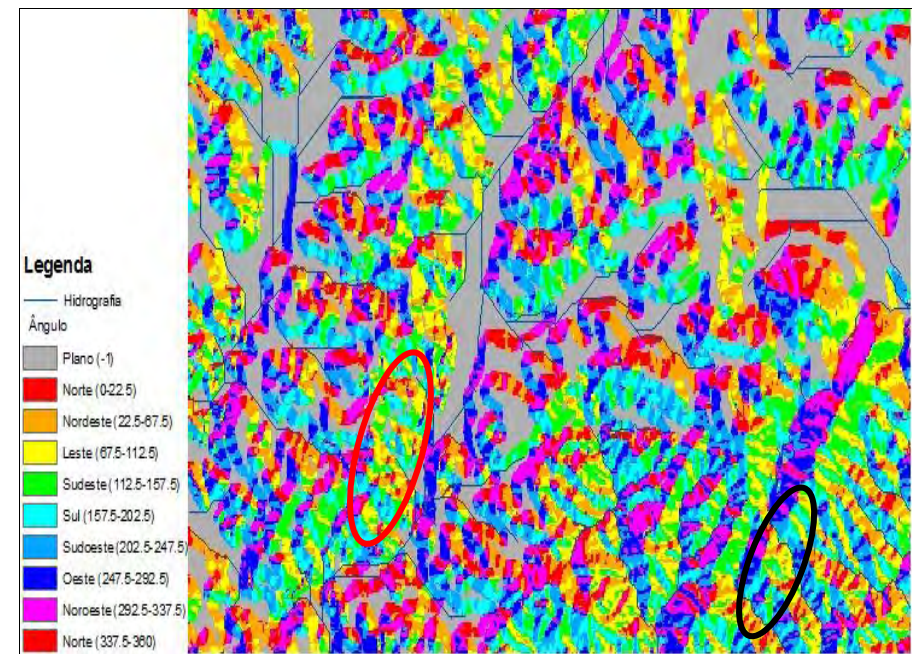
Outro elemento importante na segunda área (Figura 10) refere-se à porcentagem expressiva de inclinação voltada para leste (L). Esta característica, cruzada com a topografia da área, pode denotar perímetros de maior uso e ocupação do solo, uma vez que recebe mais luz solar.

Figura 10 – Aspecto da unidade de paisagem 2



Fonte: A autora

Figura 9 – Aspecto da unidade de paisagem 1



Fonte: A autora

4.1.4 Bloco Diagrama e Superfície 3D

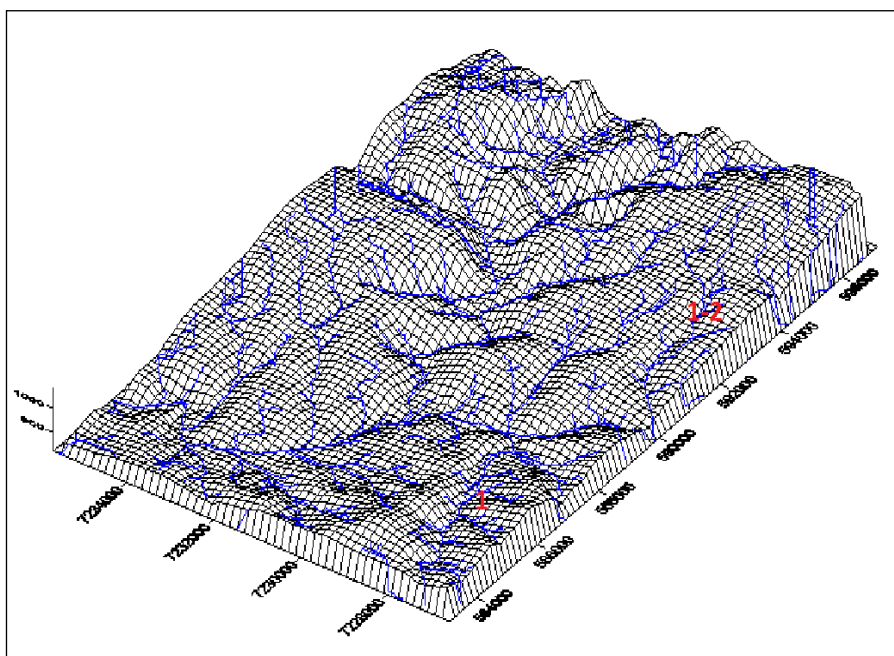
Os Blocos Diagramas são responsáveis por realçar as feições topográficas e interpretar variáveis como o formato do relevo, o ângulo e o tipo das vertentes. As Figuras 11 e 12 correspondem às unidades de paisagem 1 e 2 respectivamente e permitem uma visão geral de sua superfície. Seus detalhamentos topográficos possibilitam uma inferência imediata da declividade, bem como, permitem análises hidrológicas e erosivas locais, por meio da intensidade da malha amostral. Sua representação tridimensional do relevo é mostrada com ângulo de inclinação de 50° em relação à linha do horizonte e 0° considerando-se o norte. Salienta-se que a Figura 12 foi processada com curvas de nível, onde existiam poucos pontos cotados, o que influenciou nas características notadas (aplainamentos).

Neste estudo, observa-se a ocorrência de 3 tipos de vertentes: Retilíneas (1), Côncavas (2) e Convexas (3). Nas vertentes Retilíneas ocorre uma separação equidistante entre as curvas de nível com as porções retilíneas constantes, advertindo que não há curvatura na superfície. As vertentes Côncavas mostram que há uma contiguidade entre as curvas no topo e um maior distanciamento entre elas na base, diminuindo o ângulo de curvatura na porção mais baixa da vertente. Por outro lado, as vertentes Convexas apresentam curvas de nível mais afastadas no topo e próximas entre si na base, aumentando o ângulo de curvatura para a base da vertente.

Neste sentido, a primeira unidade de paisagem (Figura 11) apresenta um perfil topográfico diversificado, suas formas vão do arredondado ao forte ondulado. Tal singularidade paisagística é comprovada também, por meio das variáveis altitude e declividade, que se apresentam marcantes na região, principalmente nas porções sul-sudeste e leste-sudeste. Estas porções da área apresentam altitudes próximas a 1.065 metros e configuram-se por vertentes convexas (3), admitindo declividades de até 40%, influenciando assim, na máxima dispersão do escoamento. Nesta mesma região são encontradas, também, porções que atingem altitudes elevadas, porém, denota-se a formação de vertentes côncavas (2) e/ou côncavas-retilíneas (1-2), possivelmente relacionadas com o aplainamento dos topos.

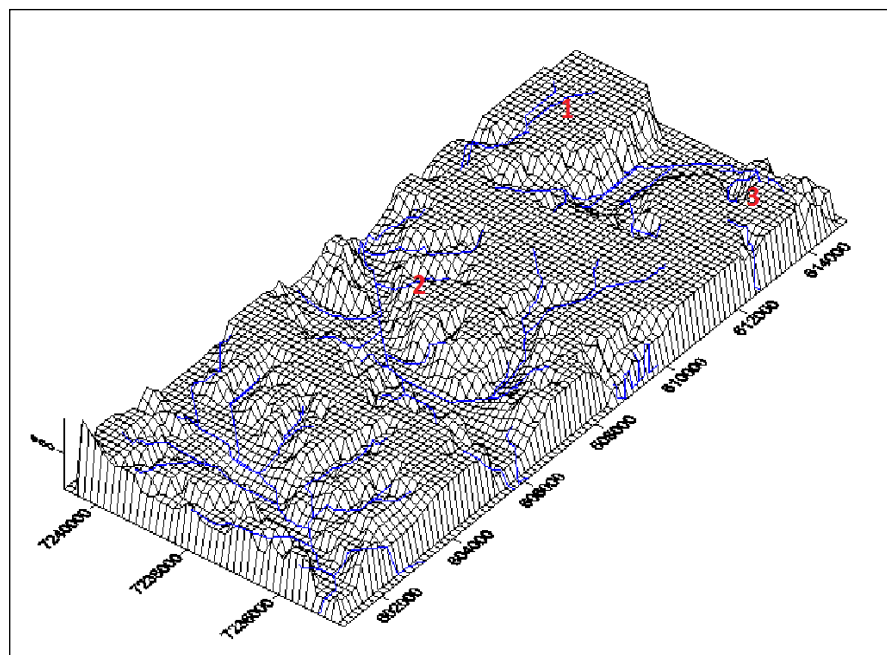
A segunda unidade de paisagem (Figura 12) está configurada por um relevo com características mais suaves, mesmo nas partes norte, nordeste e sudeste que possuem maior elevação, porém, suas formas apresentam-se arredondadas, provavelmente influenciada pelas formas das vertentes que na maioria apresentam-se côncavas (2), característica que predomina a concentração e o acúmulo do escoamento. Há formações de vertentes côncavas-retilíneas (1-2) em outras porções da área, configurando terrenos com perfis planos e condicionando-os para um melhor aproveitamento dos solos.

Figura 12 – Bloco diagrama da unidade de paisagem 2



Fonte: A autora

Figura 11 –Bloco diagrama da unidade de paisagem 1



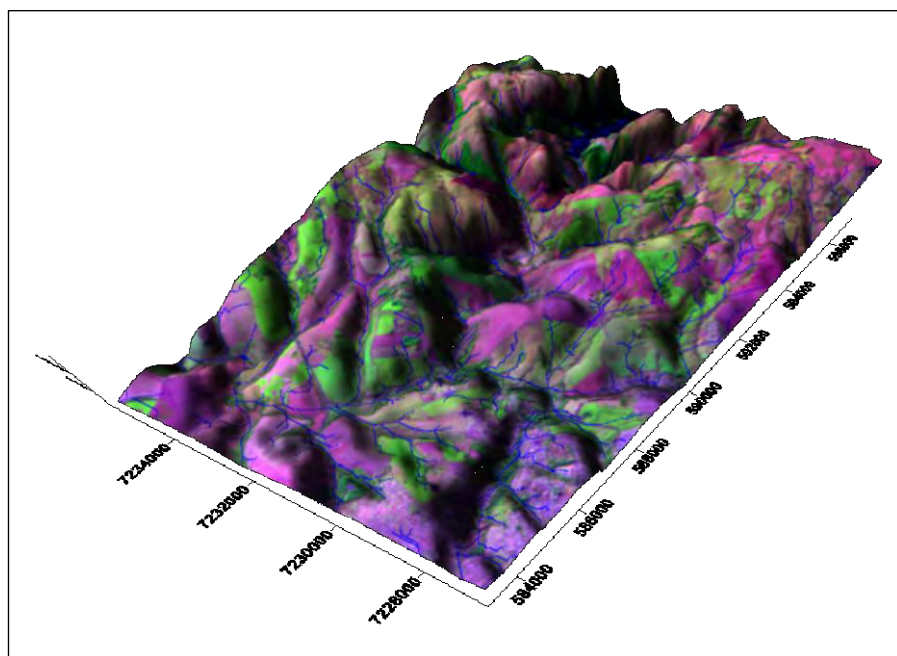
Fonte: A autora

Os modelos de superfícies 3D vistos nas Figuras 13 e 14 possuem a mesma importância que os blocos diagramas, ao analisar a morfologia de áreas, uma vez que também permitem uma perspectiva tridimensional do terreno. A vantagem desta técnica é que ela permite sobrepor mapas temáticos, os quais revelam melhor as características topográficas e a realidade do terreno, podendo contribuir com planejamentos e suportes de áreas. Ambas as imagens possuem um campo de visão (*Field of view*) de 45° , uma rotação (*rotation*) de 58° e uma inclinação (*tilt*) de 57° .

A imagem representativa da primeira unidade de paisagem (Figura 13), conforme análises anteriores está comprovando o perfil singular e heterogêneo da topografia da região. A sobreposição da imagem Landsat 5 TM/2010 e da hidrografia permitem a visualização e aferição de formações morfológicas forte onduladas, suaves e outras planas ou semi-planas, revelando os vales esculpidos pela rede hidrográfica, a qual apresenta padrão paralelo ou subparalelo. As porções sul-sudeste e leste-sudeste caracterizam-se por texturas rugosas, conferindo área de cobertura vegetal mais densa e movimentada. O aplainamento exagerado percebido à nordeste desta área, pode ter sido influenciado pelas curvas de nível, uma vez que, havia ausência de pontos cotados em algumas regiões.

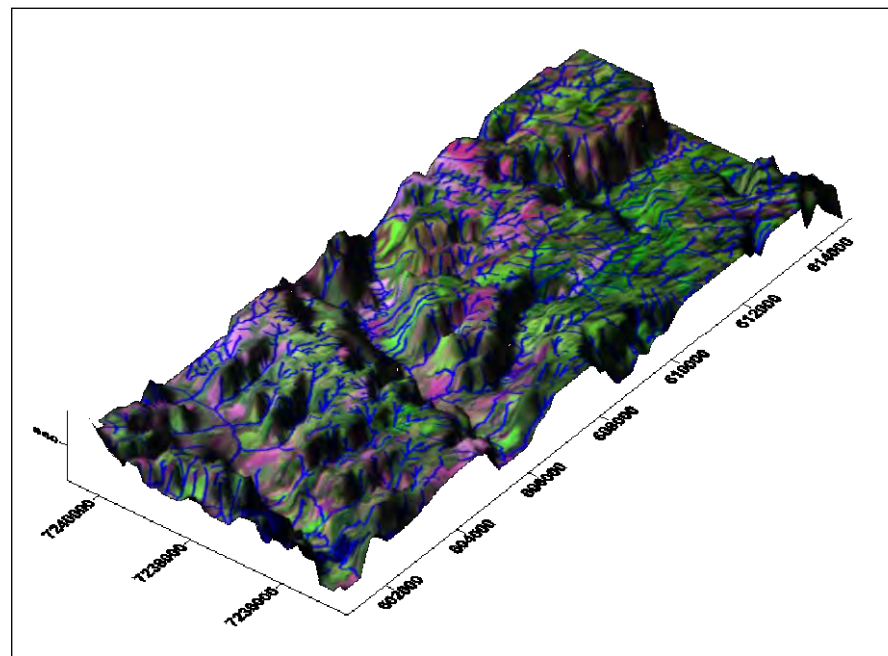
A segunda unidade de paisagem (Figura 14) confere a veracidade das análises anteriores, principalmente da morfologia local. Percebe-se na imagem formas suaves e arredondadas, salientando a esculturação pela rede hidrográfica e que apresenta padrão dendrítico. Apesar de esta unidade possuir porções com altitudes superiores da primeira unidade de paisagem (Figura 13), a imagem Landsat denota maior aproveitamento, sobretudo, nas regiões mais altas, bem como, à sudoeste onde nota-se a presença de parte da área urbana do município de Ponta Grossa.

Figura 14 – Superfície 3 D da unidade de paisagem 2



Fonte: A autora

Figura 13 – Superfície 3 D da unidade de paisagem 1



Fonte: A autora

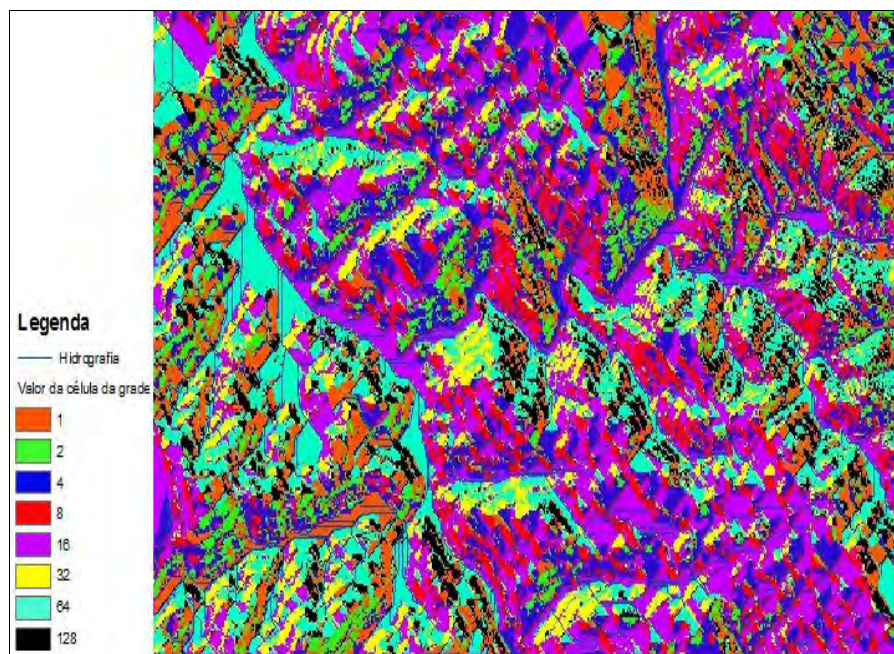
4.1.5 Direção de Escoamento e Sub-bacias

Na análise, a hidrografia está sobreposta para facilitar a compreensão da variável direção de escoamento, bem como do relevo (Figuras 15 e 16). O entendimento dessa variável ocorre ao analisar a sequência de pixels que estão alinhados, pela orientação das vertentes, determinando assim seu caminamento de jusante a montante do fluxo. A orientação do fluxo segue os perfis de vertente, transportando diferentes tipos de cargas, o que tem influência direta sobre o modelamento topográfico.

De acordo com as características morfológicas presentes nas unidades de paisagem escolhidas para o estudo (unidades 1 e 2), associadas às variáveis altimetria, declividade, aspecto e tipos de vertentes, notam-se heterogeneidades na distribuição do padrão de drenagem. Pode-se atribuir a esta peculiaridade dissimilar, principalmente, à diversidade geológica encontrada (Formação Furnas, Grupo Castro, falhas e fraturas), principalmente na segunda unidade (figura 16), as quais contribuem para o desenvolvimento de uma drenagem de padrão dendrítico com controle estrutural. Em contrapartida, a presença dos granitos na primeira unidade de paisagem (figura 15), pode influenciar o desenvolvimento de drenagens de padrão paralelo ou subparalelo.

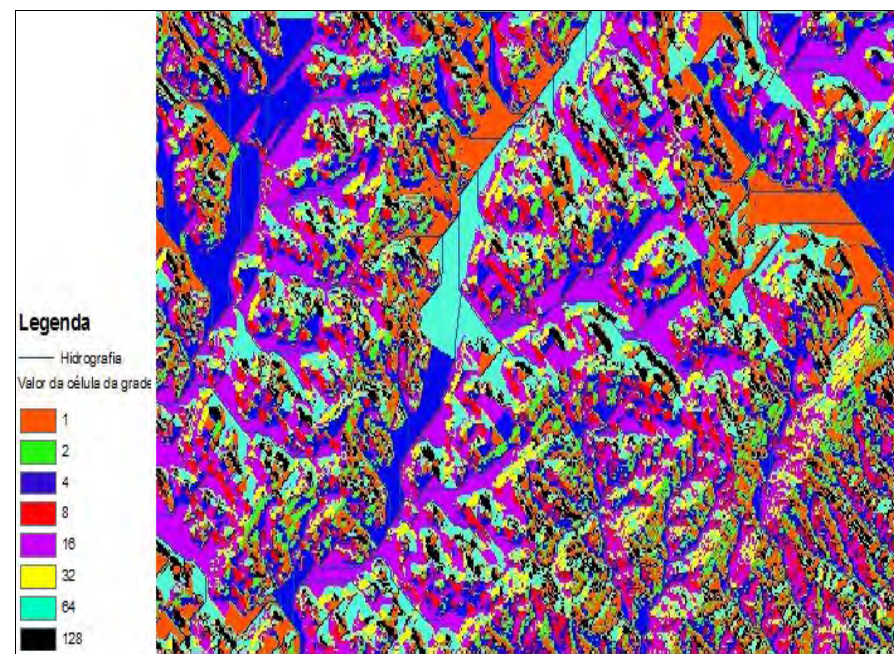
A rede hidrográfica é considerada um dos agentes mais influentes e ativos atuando na transformação e na alteração do relevo. Neste caso, visualmente notam-se em ambas as unidades uma densidade expressiva de afluentes (embora não realizado cálculo), principalmente do Rio Pitangui. A orientação do escoamento segue um controle estrutural tri-direcional, ou seja, a maioria das vertentes e escoamentos segue direções Noroeste/Oeste/Sudoeste. A sinuosidade dos canais é pouco expressiva, porém na segunda unidade de paisagem (figura 16), principalmente sob o canal do Rio Pitangui, nota-se princípios de formas meândricas. Estas particularidades podem estar associadas à configuração morfológica e hidrográfica do Primeiro e do Segundo Planalto Paranaense, que, conforme mencionado anteriormente nesta pesquisa possui escalonamento de leste para oeste e drenagem seguindo em direção ao Rio Paranapanema, oeste do estado.

Figura 16 – Direção de escoamento da unidade de paisagem 2



Fonte: A autora

Figura 15 – Direção de escoamento da unidade de paisagem 1



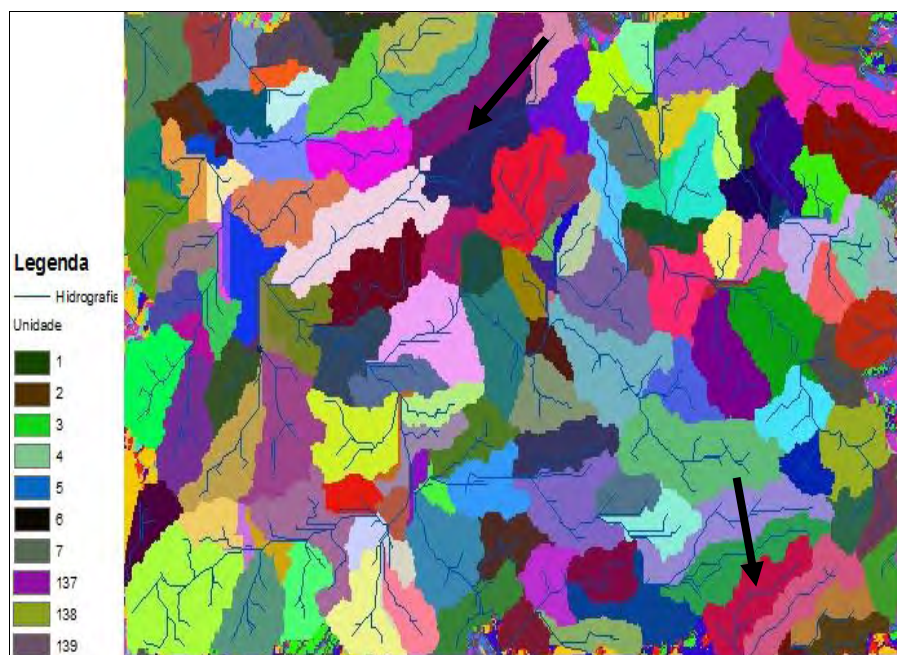
Fonte: A autora

Cada bacia hidrográfica possui suas peculiaridades de acordo com seu processo de formação. Uma das características mais importantes associa-se ao escoamento/drenagem, que nesse caso não se trata apenas de hidrologia, mas a hidrografia que é um fator geográfico. O perfil da bacia compreende áreas entre os seus divisores hidrográficos que determinam a direção do fluxo que escoam para o canal principal. A proporção dessas áreas caracteriza a similaridade ou heterogeneidade geográficas e topográficas da bacia.

Neste sentido, os métodos de delimitação de bacias e de extração automática de drenagens caracterizam-se por apresentarem vantagens operacionais em relação a métodos manuais e conferem maior objetividade ao resultado final.

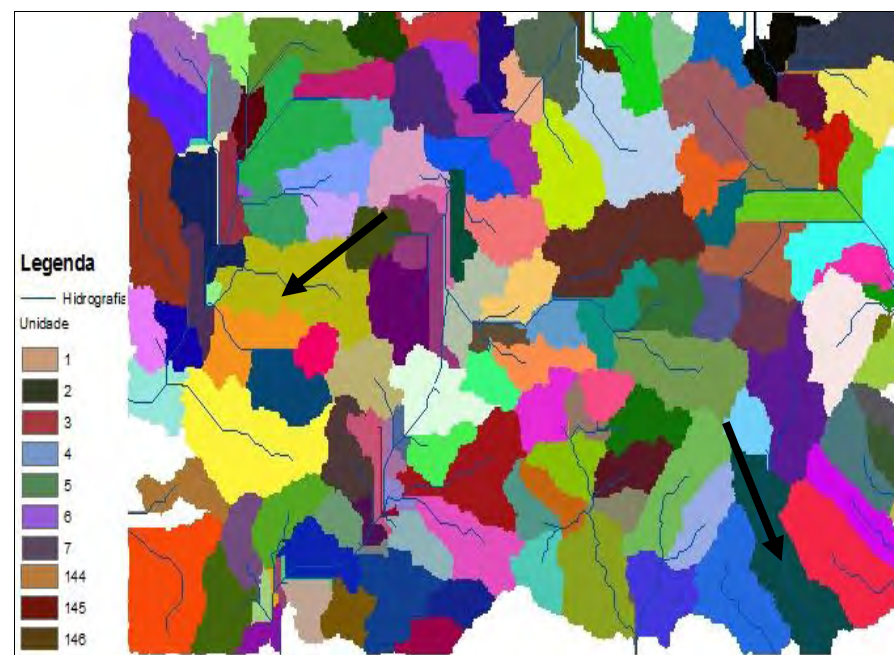
Nesta análise (Figuras 17 e 18) evidenciam-se a forma espacial das sub-bacias, bem como, as orientações observadas. As duas unidades de paisagem em questão possuem perfil de sub-bacias diferenciado, uma vez que, o perfil é definido de acordo com processos hidrológicos e morfológicos. Dessa forma, confere-se que em ambas as unidades, nas porções onde há indícios de orientação, o padrão segue principalmente direções Oeste/Noroeste/Sudoeste, como se pode observar nas setas distribuídas pelas unidades de paisagem, aferindo as direções do escoamento e dos divisores topográficos já analisados. O tamanho de cada sub-bacia está relacionado com o limiar escolhido no processamento (neste caso a limiar foi 500), e as formas predominantemente alongadas deve-se a associação com a geologia e geomorfologia locais, conforme já comentado ao longo da pesquisa.

Figura 18 – Sub-bacias da unidade de paisagem 2



Fonte: A autora

Figura 17 – Sub-bacias da unidade de paisagem 1



Fonte: A autora

4.1.6 Uso atual do solo mediante Classificação Quantitativa com a técnica da Máxima-Verossimilhança (MAXVER)

As imagens representando o uso atual do solo das duas unidades de paisagem desta pesquisa podem ser vistas nas Figuras 19 e 20 e foram elaborados utilizando as classes de acordo com o manual do IBGE (solo exposto, floresta, agricultura, corpo d'água área urbana e sombra).

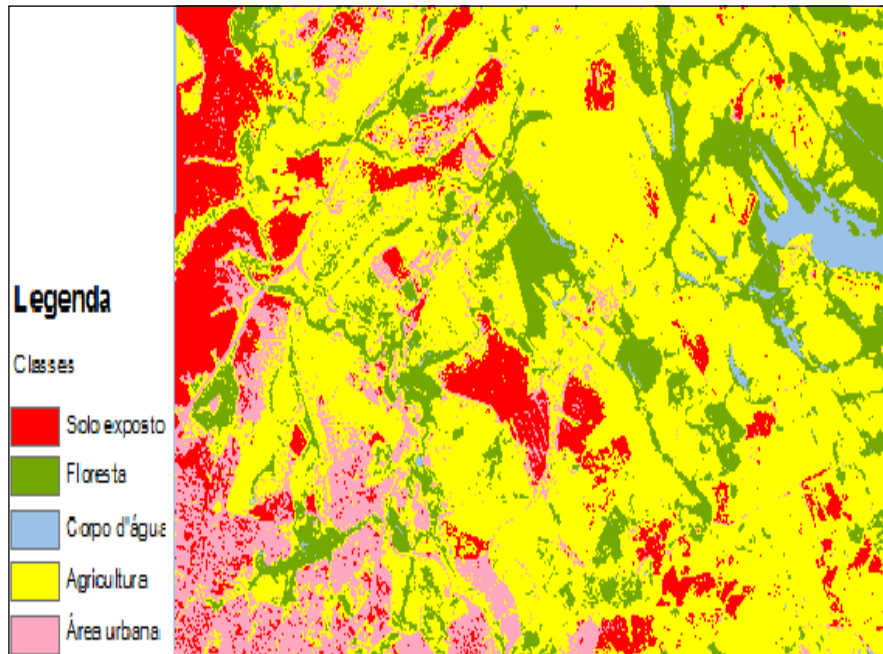
O resultado apresentado pela primeira unidade de paisagem (Figura 19) identificou uma porção expressiva de “floresta”, principalmente nas regiões norte-sudeste, leste-sudeste e centro-oeste. Estas porções são as que apresentam as maiores altitudes e declividades, justificando, assim um menor aproveitamento. A “agricultura” é percebida num índice elevado, menos nas regiões supracitadas. Percebe-se nesta unidade parte da Represa Alagados, tendo como contribuintes, além do Rio Pitanguí o Rio Jotuba que apresentam em suas zonas ripárias remanescentes da Floresta Ombrófila Mista, bem como de estepes. Nesta análise adotou-se a classe “sombra”, uma vez que, sua tonalidade ao fazer-se a coleta das amostras, era confundida com os corpos hídricos, divergindo os resultados quando feitos testes de erros. Contudo, após sua inserção, o resultado da Matriz de Confusão gerou índice de 94% de acuracidade e o índice Kappa de 0,93, aferindo concordância da unidade de paisagem com a realidade.

Na segunda unidade de paisagem (Figura 20) puderam ser comprovados os resultados realizados pela Matriz de Confusão, a qual mostrou um índice de acuracidade de 88%, denotando que houve um erro de omissão, principalmente na classe caracterizada como “Urbana” a qual apresentou pixels similares da classe “solo exposto” alterando-a, como pode ser visto nos tons de rosa da imagem. O índice *Kappa* apontou uma acuracidade de 0,86, o qual indica que a imagem obteve concordância na classificação.

De acordo com a classificação MAXVER é notável a heterogeneidade tanto nas características como no uso e ocupação atual das unidades. A primeira unidade de paisagem (Figura 19), conforme já mencionado, apresenta maior quantidade de vegetação, principalmente em regiões elevadas e com maior declividade (sul-sudeste, leste-sudeste), diferenciando-se da segunda unidade de paisagem (Figura 20), a qual denota usos mais intensos pela agricultura, inclusive, nas regiões mais elevadas (norte, nordeste, sudeste) e pela porção urbana do município de Ponta Grossa (sudoeste). Percebe-se nesta área índice menos vegetação, inclusive nas áreas ribeiras. Tais características podem influenciar, a médio prazo,

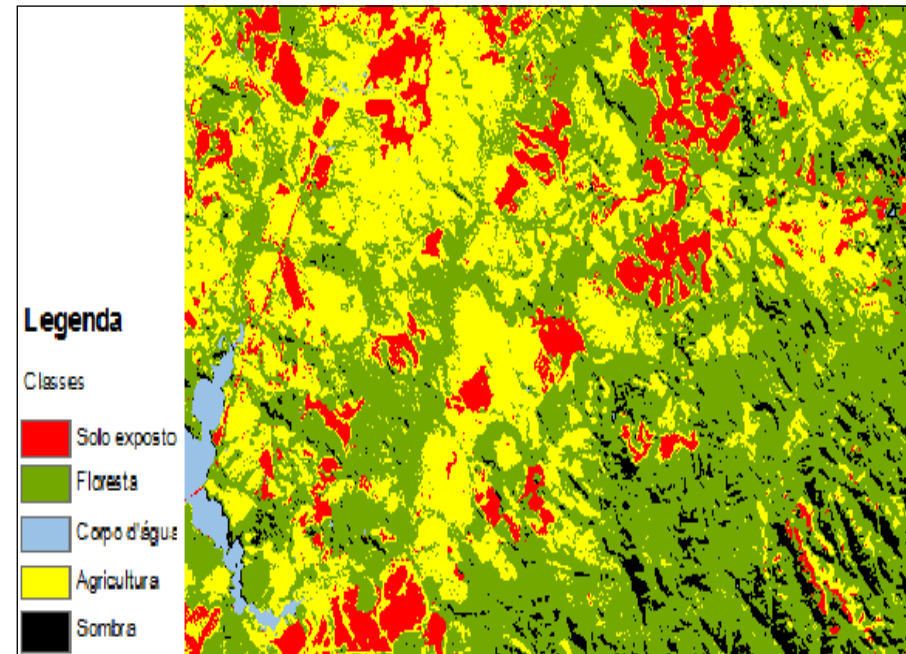
mudanças físicas da paisagem ou até mesmo comprometer sua estrutura, pelos usos e ocupação intensos.

Figura 20 – Uso atual do solo da unidade de paisagem 2



Fonte: A autora

Figura 19 – Uso atual do solo da unidade de paisagem 1



Fonte: A autora

A Análise Visual dos agentes formadores da paisagem considerados para as unidades de estudo (MDT, gradiente de encosta, aspecto, bloco diagrama, superfície 3D, direção do escoamento, sub-bacias e uso e ocupação do solo) foram imprescindíveis para a caracterização e descrição prévia das unidades.

A partir das técnicas de SR, SIG, PDI e modelagem do terreno mediante MDT e associado a imagem das sub-bacias e complementados com a classificação MAXVER possibilitou a caracterização visual das unidades, sendo de suma importância para a visita a campo tanto para a organização dos locais de visita quanto na compreensão das duas unidades de paisagem.

Salienta-se que, a partir desta análise teve-se maior suporte quanto ao conhecimento físico das unidades, contribuindo para que as análises estatísticas ocorressem de forma coerente, conforme nota-se a seguir.

4.2 ANÁLISE ORIENTADA A OBJETOS, ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

4.2.1 Análise Orientada a Objetos

A segmentação da imagem Landsat 5 TM das duas unidades de estudo, na composição espectral (bandas 5R4G3B) (Figuras 21 e 22), bem como na composição de bandas 5R4G3B juntamente com o MDT (banda 4) (Figuras 25 e 26) geraram um total de 35 e 39 variáveis, respectivamente e aproximadamente 1.500 polígonos ou regiões. Estas variáveis possuem características espectrais, espaciais e de textura denominadas de descritores (ver maior detalhamento no Capítulo 2 – subitens da seção 2.3.2).

Neste sentido, cada região gerada representa uma feição do mundo real. As características dessas regiões são transformadas em propriedades numéricas (descritores) baseados na intensidade, e em características espaciais. As unidades de processamento de base das imagens (regiões ou objetos) permitem revelar a organização do sistema natural ou físico das unidades de paisagem.

Para as análises das unidades de paisagem (Figuras 21 e 22) na composição espectral (bandas 5R4G3B), principalmente para a primeira unidade de paisagem (Figura 21), a segmentação acompanhou as classes de vegetação e agricultura distribuídas sob diferentes estágios de crescimento e de perímetros, por isso, as regiões formaram-se de acordo com estas características, muitas vezes menores e em quantidade maior. Ou seja, a segmentação seguiu as diferentes respostas espectrais, uma vez que, o comportamento espectral não segue um padrão estático de resposta e sim reflete em frações de energia emitida e absorvida e que caracteriza o alvo em questão.

Para as análises sobre as imagens Landsat na composição espectral (bandas 5R4G3B) e banda 4 (MDT) das duas unidades de paisagem (Figuras 27 e 28), as regiões foram delimitadas, muitas vezes, em tamanhos maiores e em menor quantidade acompanhando também as características físicas (altitudes) e não somente a resposta espectral de cada alvo, ou melhor, de seu uso. O resultado observado denota que houve maior fusão das regiões se comparado com a segmentação realizada nas imagens somente sob composição espectral (bandas 5R4G3B) (Figuras 21 e 22).

As regiões de tamanhos pequenos em relação a maioria dos segmentos ou divididas são chamadas de ruídos ou objetos espúrios, e, embora eles não alterem o conjunto de variáveis processadas nestas análises, tomou-se cuidado para que fossem melhorados ou

extintos sob cauteloso manuseio do *merge level* (que é a fusão dos objetos espúrios a objetos de interesse). Os valores de *merge level* e *scale level* que melhor representaram as unidades de paisagem sob técnica de segmentação já foram comentados no item 3.6 desta pesquisa, porém, podem também ser consultados na Tabela 2. Na primeira coluna da Tabela 2, observa-se as imagens Landsat 5 TM das duas unidades de paisagem e sob as duas composições (bandas 5R4G3B) e (bandas 5R4G3B e banda 4 MDT). Nas seguintes colunas encontram-se os valores de *Scale Level* e *Merge Level* utilizados para as unidades de paisagens. Nota-se que os valores de *Scale Level* foram iguais para a unidade 2 sob as duas composições (bandas 5R4G3B e bandas 5R4G3B juntamente com a banda 4 MDT) ficando em 45,6%, assim como os percentuais de *Merge Level* para a mesma unidade sob as mesmas composições, ficando em 91,7%. Justificam-se os percentuais diferenciados da unidade 1 para unidade 2, uma vez que a primeira unidade apresenta padrões de usos do solo atual, bem como características físicas de relevo e de drenagem distintas e marcantes como na parte sudeste da cena.

Tabela 2 – Percentuais da Análise Orientada a Objeto.

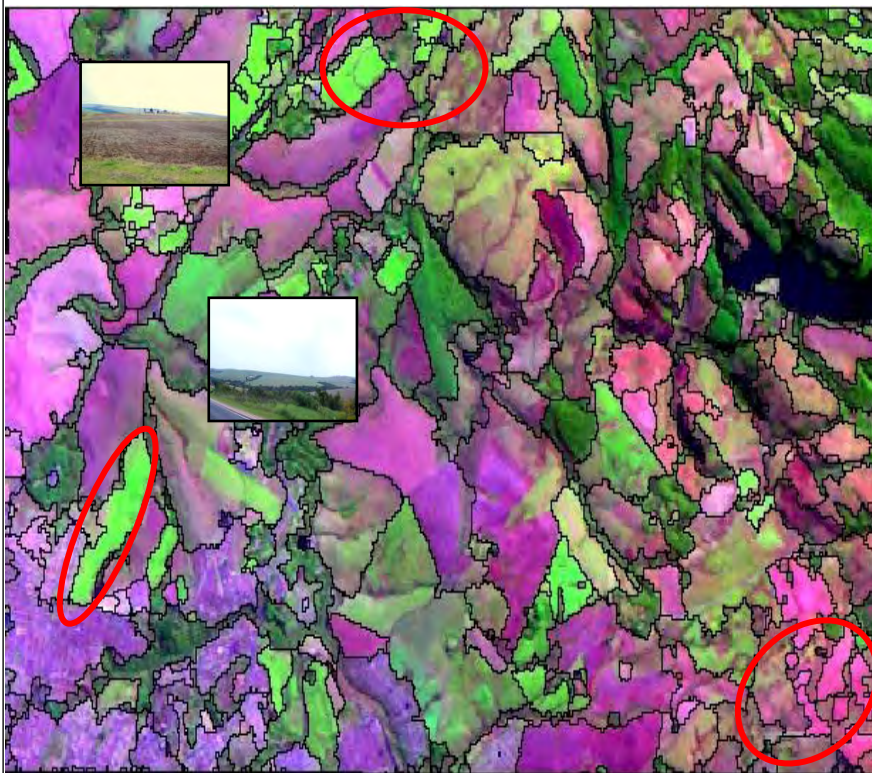
IMAGENS	Análise Orientada a Objetos	
	<i>Scale Level</i>	<i>Merge Level</i>
Landsat bandas 5R4G3B – unidade de paisagem 1	24,9%	92,8%
Landsat bandas 5R4G3B – unidade de paisagem 2	45,6%	91,7%
Landsat bandas 5R4G3B e banda 4 MDT- unidade de paisagem 1	39,9%	81,4%
Landsat bandas 5R4G3B e banda 4 MDT- unidade de paisagem 2	45,6%	91,7%

Fonte: A autora

Para melhor compreender a técnica de segmentação, destacaram-se com círculos vermelhos algumas regiões nas imagens (Figuras 21, 22, 27, 28), os quais mostram os polígonos gerados sob as duas composições. Pode-se observar nos destaques (círculos) da imagem na composição espectral (bandas 5R4G3B) (Figuras 21 e 22), onde se nota que as regiões foram delimitadas muitas vezes com mais divisões, enquanto na composição acrescida da variável altitude (bandas 5R4G3B e banda 4 MDT) (Figuras 27 e 28) as regiões foram delimitadas distintamente, ou seja, havendo uma maior fusão das regiões, comprovando que a inserção da variável física salientou melhor as características topográficas das unidades.

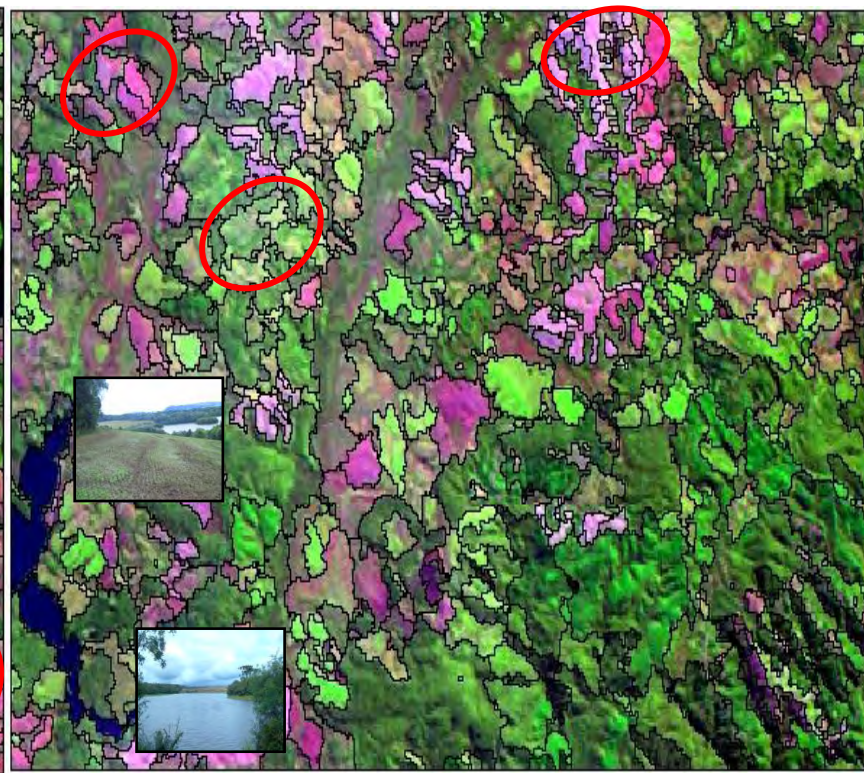
Como já mencionado ao longo da pesquisa, as regiões geradas a partir da segmentação, aludem características do mundo real, ou seja, das unidades de paisagem. Por isso os círculos destacados e posicionados em porções das imagens, remetem às características físicas e de uso do solo atual das unidades de paisagem deste estudo, podendo-se confirmar ao observar as imagens coletadas em campo e que estão inseridas sobre as imagens Landsat 5 TM das duas unidades de paisagem e que podem ser melhor visualizadas em tamanho maximizado (Figuras 23, 24, 25, 26, 29, 30, 31, 32).

Figura 22 – Análise Orientada a Objeto Landsat (bandas 5R4G3B) - unidade de paisagem 2.



Os círculos ao norte e à sudeste mostram as regiões delimitadas com grande número de divisões, enquanto o círculo à sudoeste destaca a forma retangular do polígono. As imagens minimizadas inseridas tanto à noroeste quanto à centro-oste comprovam os usos intensos realizados, percebidos também pelos polígonos maiores delimitados nesta unidade. Fonte: A Autora.

Figura 21 – Análise Orientada a Objeto Landsat (bandas 5R4G3B) - unidade de paisagem 1.



Os três círculos presentes na imagem mostram a técnica de segmentação realizada, a qual delimitou as regiões com mais divisões e seguindo a refletância dos alvos conforme o uso. As imagens minimizadas caracterizam os usos, com presença da represa Alagados, rios Pitanguí e Jotuba e cultivares. Fonte: A Autora.



Figura 24: Agricultura intensiva desenvolvida em áreas de relevo plano. Observa-se o solo preparado para novo plantio agrícola. Unidade de paisagem 2. Fonte: Carla Eva Prichoa, 05/2012.



Figura 23: Entrada do rio Pitangui na Represa Alagados. Nota-se nas bordas vegetação ripária com presença de remanescentes de FOMA e área destinada a agricultura. Unidade de paisagem 1. Fonte: Carla Eva Prichoa, 05/2012.

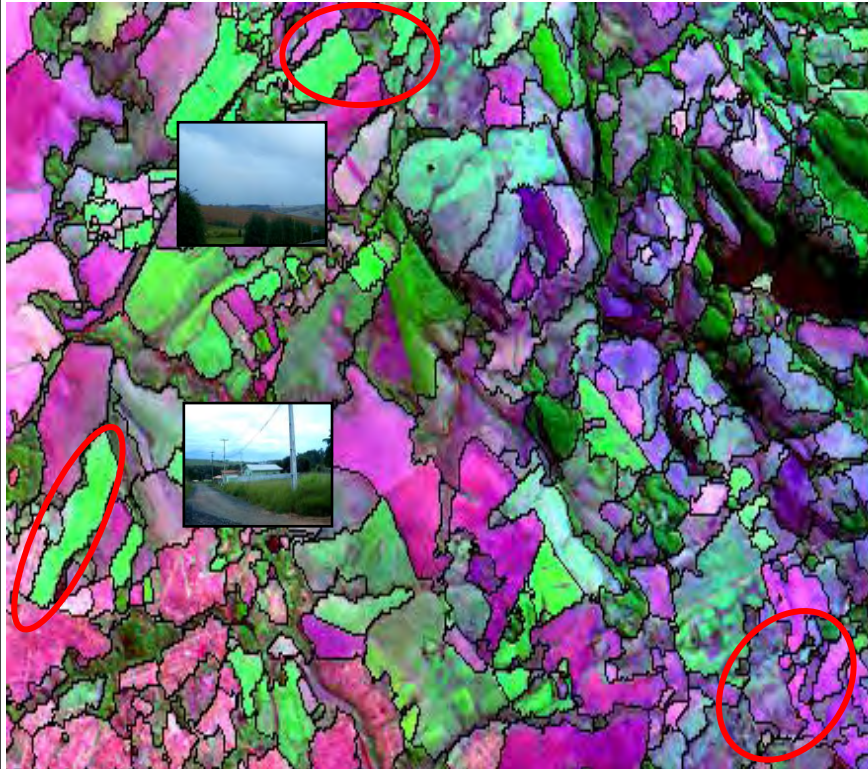


Figura 26: Agricultura sob estágios diferentes de crescimento. Notam-se vertentes localizadas nas áreas agricultáveis contendo baixos índices de vegetação ripária. Unidade de paisagem 2. Fonte: Carla Eva Prichoa, 05/2012.



Figura 25: Pequenas glebas de agricultura observadas em área próxima à Represa Alagados. Unidade de paisagem 1. Fonte: Carla Eva Prichoa, 05/2012.

Figura 28 – Análise Orientada a Objetos Landsat (bandas 5R4G3B e banda 4 MDT) - unidade de paisagem 2.



Os círculos ao norte e à sudeste mostram a fusão nas regiões delimitadas, refletindo também os aspectos físicos e não somente de uso, enquanto o círculo à sudoeste destaca ainda, a forma retangular do polígono. A imagem ao norte – noroeste mostra novamente o uso mais intenso e em perímetros maiores, enquanto a imagem minimizada à oeste caracteriza a ocupação urbana da unidade. Fonte: A Autora.

Figura 27 – Análise Orientada a Objetos Landsat (bandas 5R4G3B e banda 4 MDT) - unidade de paisagem 1.



Os destaques (círculos) apontam as diferenças nas regiões originadas quando da segmentação. Percebem-se nesta imagem regiões formadas sob maior fusão, especialmente salientando as características físicas e não somente de uso e ocupação da unidade. A imagem minimizada à oeste refere-se ao aplainamento entre os rios Pitangui e Jotuba, enquanto a imagem à sudeste refere-se à uma porção mais movimentada da unidade. Fonte: A Autora.

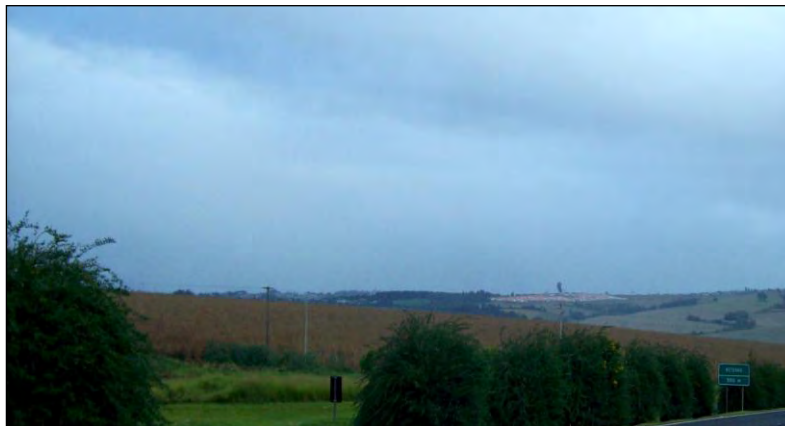


Figura 30: Área com cultivo de soja pronto para ser colhido, região mais plana onde se pode ver longe no horizonte. Ao fundo nota-se início do perímetro urbano de Ponta Grossa. Unidade de paisagem 2. Fonte: Carla Eva Prichoa, 05 /2012.



Figura 29: Área de floresta combinada com agropecuária. Presença de vegetação mais densa em áreas de maiores altitudes e declividades. Unidade de paisagem 1. Fonte: Carla Eva Prichoa, 05/2012.



Figura 32: Início do perímetro urbano de Ponta Grossa. Nota-se área com construções e infraestruturas como estrada e cabos de energia elétrica. Unidade de paisagem 2. Fonte: Carla Eva Prichoa 05/2012



Figura 31: Pastagem desenvolvida em região aplainada do divisor topográfico dos rios Pitangui e Jotuba. Esta região possui altitudes elevadas, porém, sua topografia propícia o uso. Unidade de paisagem 1. Fonte: Carla Eva Prichoa, 05/2012.

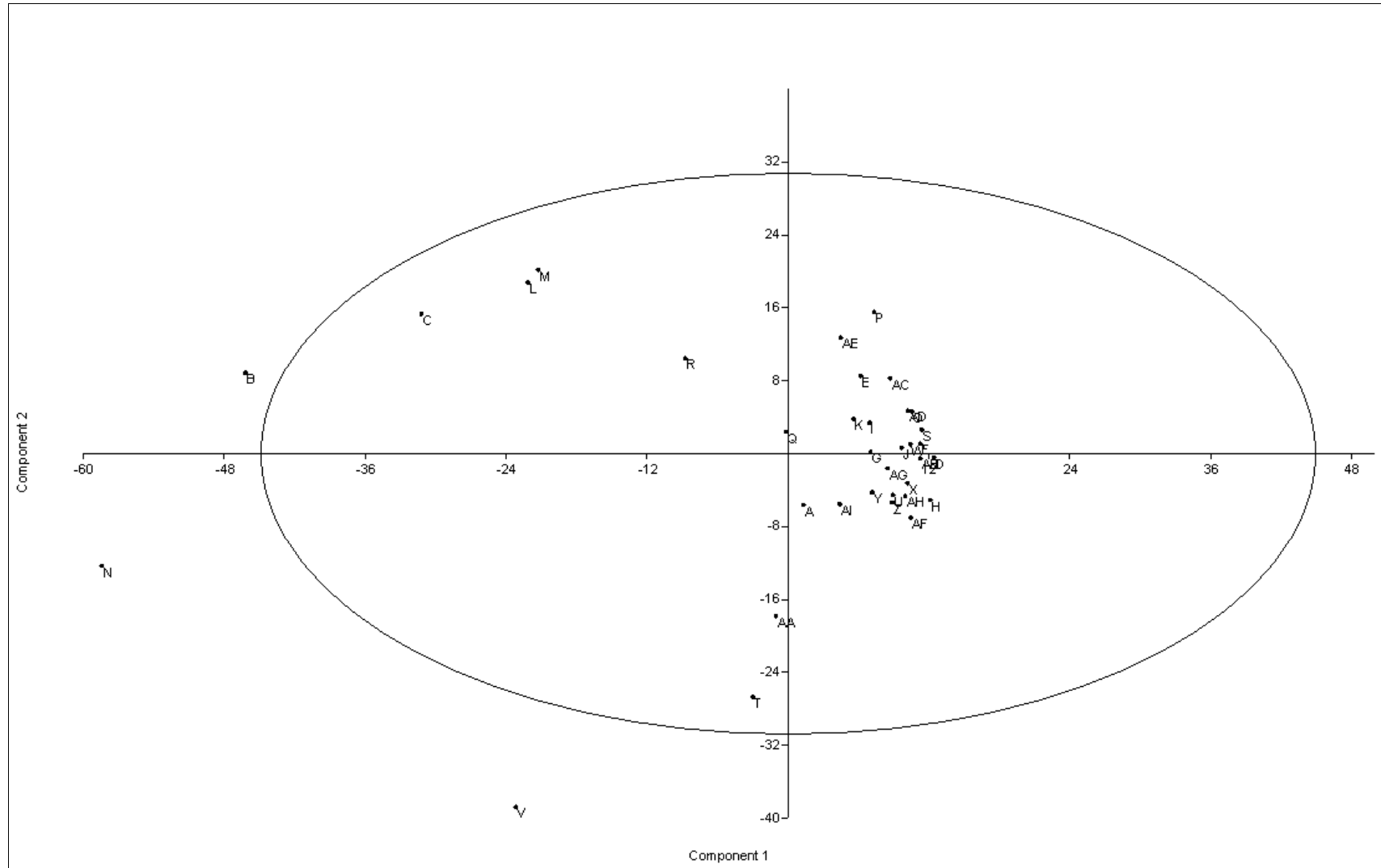
4.2.2 Análise Multivariada por Componentes Principais (ACP)

A Análise de Componentes Principais é uma técnica estatística que mediante correlação e variância forma na primeira componente a maioria das informações contidas em todas as variáveis. Nesta pesquisa, esta análise é utilizada para reduzir a dimensionalidade e concomitantemente avaliar a correlação entre as variáveis (descritores dos segmentos ou regiões).

Dessa forma, a ACP embasou o julgamento e a importância das próprias variáveis originais geradas, ou seja, os descritores advindos da Análise Orientada a Objetos. As variáveis com maior peso ou correlação na combinação linear foram consideradas as mais importantes do ponto de vista estatístico. Esta análise reduziu ao máximo o número de variáveis heterogêneas e, posteriormente, possibilitou a interpretação.

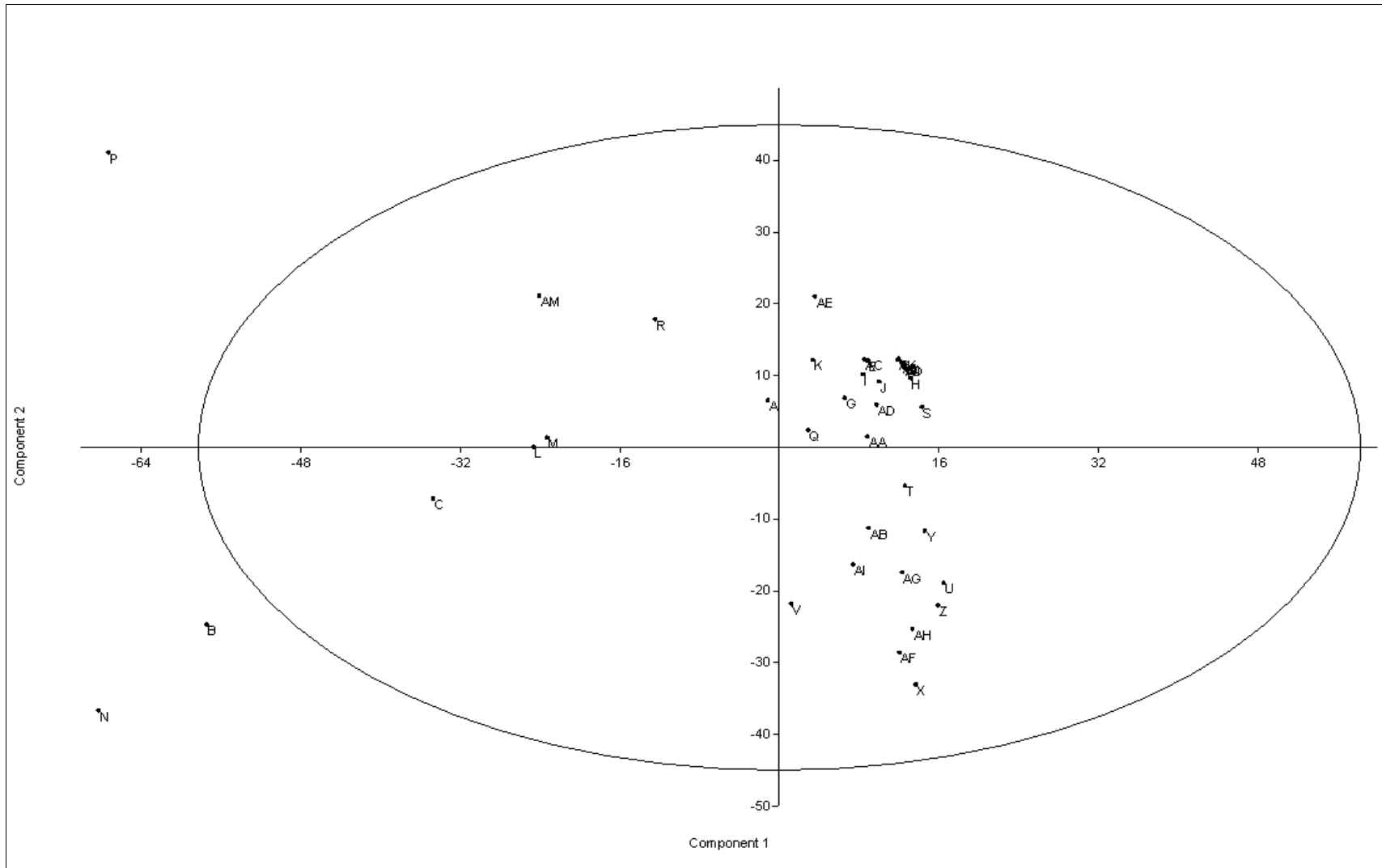
A Figura 33 mostra o gráfico de dispersão contendo todas as variáveis (35) originadas a partir da Análise Orientada a Objeto com as bandas espectrais (bandas 5R4G3B). E a Figura 34 exibe o gráfico contendo o total de variáveis (39) advindas da técnica Orientada a Objeto para as bandas espectrais (bandas 5R4G3B) combinadas com a variável física (banda 4 MDT). Devido ao vasto número de variáveis, nota-se que muitas delas ficaram posicionadas tão próximas umas das outras que impossibilitou a identificação. Entretanto, outras variáveis ficaram posicionadas fora da elipse denotando maior heterogeneidade com as unidades de paisagem. Por isso, para chegar a um número coerente de variáveis, necessitou-se eliminar gradativamente àquelas de menor correlação ou maior heterogeneidade, na medida em que se processavam os gráficos de dispersão e simultaneamente os dendrogramas da análise multivariada de agrupamento que foi processada concomitantemente à análise de Componentes Principais.

Figura 33 – Gráfico de dispersão contendo o total das variáveis (35) extraídas das imagens Landsat 5 TM (bandas 5R4GB3).



Fonte: A autora

Figura 34 – Gráfico de dispersão contendo o total das variáveis (39) extraídas das imagens Landsat 5 TM (bandas 5RG4B 3 e banda 4 MDT).



Fonte: A Autora

Neste sentido, mediante testes realizados, chegou-se ao número de variáveis com correlação aceitável também quando da Análise de Agrupamento e Componentes Principais, uma vez que, as definições das variáveis foram realizadas concomitantemente. Os testes de Correlação realizados com as 35 e 39 variáveis não foram apresentados na pesquisa. Somente o percentual das variáveis finais, ou seja, das 17 de maior correlação, pode ser consultado na Tabela 3. Na primeira coluna encontram-se as composições espectrais utilizadas para este estudo correspondentes a unidades 1 e 2, representadas pela imagem com três bandas do espectro eletromagnético (bandas R5G4B3) Landsat 5 TM e também as mesmas imagens associadas ao MDT .

Tabela 3 – Percentuais de Correlação para as variáveis finais da Análise de Componentes Principais.

IMAGENS	Percentual de Correlação
Landsat bandas 5R4G3B – unidade de paisagem 1	33,86%
Landsat bandas 5R4G3B – unidade de paisagem 2	29,72%
Landsat bandas 5R4G3B e banda 4 MDT- unidade de paisagem 1	47,34%
Landsat bandas 5R4G3B e banda 4 MDT- unidade de paisagem 2	41,44%

Fonte: A autora

A segmentação das variáveis ocorreu mediante testes realizados entre a CP 1 e CP 2, eliminando as variáveis de menor correlação. Julga-se que a homogeneidade das variáveis com as unidades de paisagem depende do posicionamento das variáveis no gráfico de dispersão, ou seja, posicionando-as na parte interior da elipse a heterogeneidade com as unidades será menor. Dessa forma, ao atingir os percentuais de correlação (Tabela 3) para as duas unidades em diferentes composições espectrais (bandas R5G4B3 e R5G4B3 e banda 4 MDT) a correlação foi mais coerente entre 17 variáveis, as quais podem ser vistas na Tabela 4.

Destacam-se na primeira coluna as variáveis Espaciais, a saber: compacidade, convexidade, solidez, fator de forma, retangularidade e relação área-furos; Na segunda coluna têm-se as variáveis Espectrais: intensidade, valor máximo de pixel da banda 1, média do valor digital da banda 1, valor máximo de pixel da banda 2, valor máximo de pixel da banda 3, média do valor digital da banda 3, valor mínimo de pixel da banda 4 MDT, valor máximo de pixel da banda 4 MDT, média do valor digital da banda 4 MDT; Na terceira e última coluna tem-se as variáveis de Textura: textura média e entropia de textura.

O significado das variáveis representantes das unidades de paisagem pode ser consultado na seção 2.3.2 desta pesquisa, onde se encontram elencadas o total de variáveis quando da aplicação da técnica de Análise Orientada a Objeto. A associação das variáveis com unidades de paisagem alude às características tanto de uso do solo quanto físicas e pode ser aplicada sob diferentes unidades e em diferentes escalas têmporo-espaciais.

Tabela 4 – Variáveis de maior homogeneidade com as unidades de paisagem.

Variáveis Espaciais	Variáveis Espectrais	Variáveis de Textura
(D) compacidade; (E) convexidade; (F) solidez; (H) fator de forma; (J) retangularidade; (O) relação área – furos.	(S) intensidade; (Y) valor máximo de pixel da banda 1; (Z) média do valor digital da banda 1; (AC) valor máximo de pixel da banda 2; (AG) valor máximo de pixel da banda 3; (AH) média do valor digital da banda 3; (AJ) valor mínimo de pixel da banda 4 MDT; (AK) valor máximo de pixel da banda 4 MDT; (AL) média do valor digital da banda 4 MDT.	(U) textura média; (W) entropia de textura.

Fonte: A autora

4.2.3 Análise Multivariada por Agrupamento

Após a escolha das variáveis como critério de semelhança, uma das questões vitais da técnica de análise de agrupamento é a definição do coeficiente de similaridade ou dissimilaridade. Neste sentido, elegeu-se o algoritmo euclidiano de agrupamento e o método de formação de grupos, pois, ambos produzem conjuntos que constituem uma proposição sobre a organização básica e desconhecida dos dados, ou seja, o gráfico de esquemas hierárquicos, denominado dendrograma. Como já mencionado nesta pesquisa, esta análise permite a combinação de diferentes dados (espaciais, espectrais e de textura). O uso dessa

técnica pode ser mencionado em muitas pesquisas e, demonstra que a abordagem pode ser eficaz no âmbito de análise de paisagens (BURNETT, 2003; BLASCHKE, 2000).

Para realizar as análises desta etapa, compararam-se as unidades de paisagem, utilizando as imagens sob duas combinações de informações. Dessa forma, analisou-se a primeira unidade sob bandas espectrais 5R4G3B comparando-a com a mesma unidade na composição sob bandas 5R4G3B e banda 4 MDT. O mesmo foi feito para a segunda unidade de paisagem.

Os resultados para a primeira análise (composição espectral bandas 5R4G3B e bandas 5R4G3B + banda 4 MDT) podem ser observados nas Figuras 35 e 36. A interpretação dos dendrogramas é admitida ao analisar as variáveis que formaram os grupos e subgrupos, bem como a distância euclidiana entre os grupos e/ou entre elas. As variáveis que formaram os grupos na menor distância euclidiana possuem características mais homogêneas com as unidades de paisagem deste estudo.

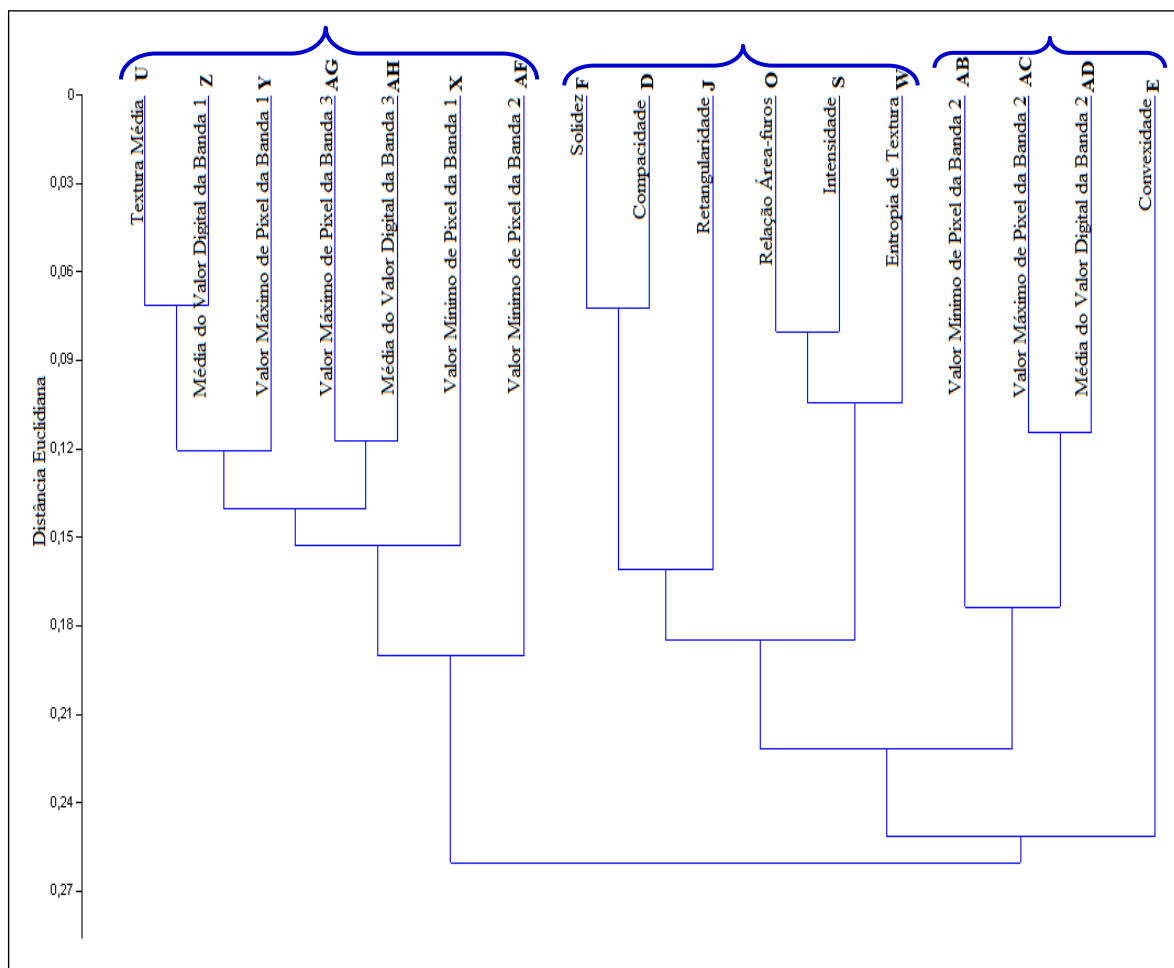
Neste sentido, observam-se três agrupamentos distintos (conforme destaques) formados na Figura 35 sob a distância euclidiana de aproximadamente 0,19, e na composição espectral sob bandas 5R4G3B. As variáveis U (Textura Média) e Z (Média do Valor Digital da Banda 1) se correlacionaram na menor distância (0,075 aproximadamente), formando o primeiro grupo juntamente com Y (Valor Máximo de *Pixel* da Banda 1), AG (Valor Máximo de *Pixel* da Banda 3), AH (Media do Valor Digital da Banda 3), X (Valor Mínimo de *Pixel* da Banda 1) e AF (Valor Mínimo de *Pixel* da Banda 3). Como nota-se, o grupo formou-se reunindo uma variável de textura (U) com o restante em nível espectral (Z, Y, AG, AH, X, AF). Justifica-se esta agregação, pelo fato de esta unidade (1) de paisagem exibir porções de diferentes níveis digitais provenientes dos alvos em diferentes usos do solo, ou seja, alvos como, por exemplo, da porção de vegetação mais densa observada à sudeste (Figura 21) distribuída sob diversos estágios de crescimento.

O segundo grupo formado, numa distância euclidiana próxima a 0,19 teve F (Solidez) e D (Compacidade) agregando-se primeiramente, (distância próxima a 0, 085) seguido de O (Relação Área-furos), S (Intensidade), W (Entropia de Textura) e J (Retangularidade). Neste agrupamento, predominou variáveis espaciais (F) Solidez, (D) Compacidade (na mesma distância) e em distância maior (J) Retangularidade, denotando à unidade regiões delimitadas sob formas mais circulares, associando à refletância de acordo com usos do solo e relacionado à porções de relevo o qual propicia um maior aproveitamento (regiões planas). Outra variável de forma (O Relação Área-furos) associou-se com a variável espectral (S) Intensidade e com a variável de textura (W) Entropia de Textura, associando-se à

unidade de paisagem na forma de organização física e de delimitações das regiões. Consideram-se os diferentes níveis digitais da imagem, salientado, principalmente pela Entropia de Textura (W) que denota certa desordem ou heterogeneidade na distribuição, principalmente sobre a classe vegetação. A intensidade (S) está relacionada com porções que recebem menos luminosidade, como na porção sudeste (Figura 21), a qual exhibe diferenças altimétricas e maior quantidade de vegetação. A variável Relação Área-furos (O) está indicando que as regiões se formaram apresentando ruídos ou segmentos espúrios, denotando distribuição e delimitação das regiões de acordo com as diferentes classes encontradas, principalmente, nesta unidade (1) sob a classe vegetação, ou, por exemplo, como se observa na delimitação das regiões sobre o Rio Pitangui (regiões espúrias), Figura 21.

A associação do terceiro e último grupo de variáveis de maior homogeneidade com a unidade de paisagem em questão ocorreu com as variáveis espectrais: (AB) Valor Mínimo de *Pixel* para a Banda 2, (AC) Valor Máximo de *Pixel* para a Banda 2 e (AD) Média do Valor Digital para a Banda 2 que representa o comprimento de onda do infra vermelho próximo e sabe-se que esta banda espectral tem alta refletância da vegetação.

Figura 35 – Dendrograma Landsat 5 TM (bandas 5R4G3B) da unidade de paisagem 1



Fonte: A autora

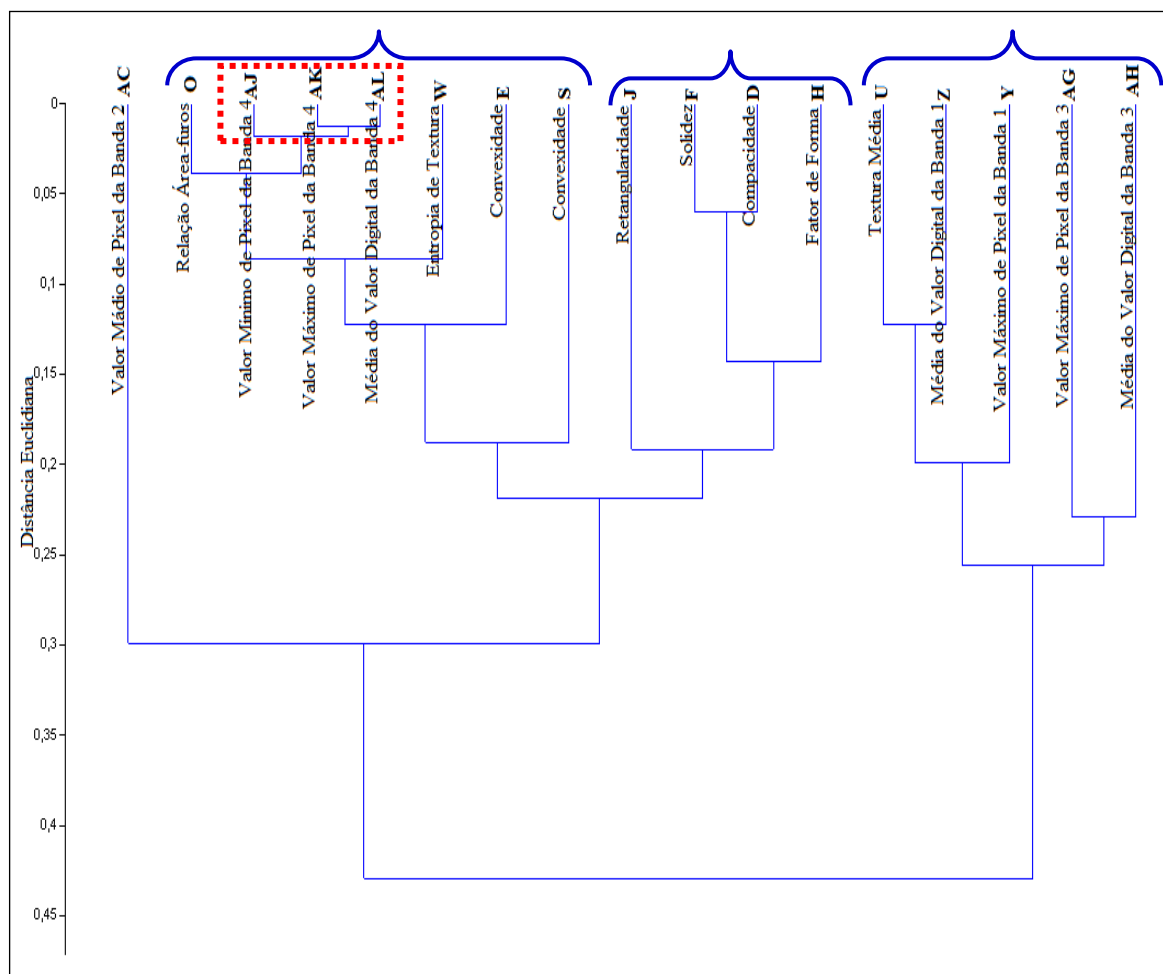
O Dendrograma (Figura 36) apresenta a unidade de paisagem 1 (Figura 27) sob composição espectral de três bandas (5R4G3B) juntamente com a variável física (MDT) que equivale à banda 4. Nota-se três agrupamentos (destacados) gerados em distância euclidiana, sendo dois destes à uma distância de 0,19 e um à distância de 0,24. Julgou-se importante a inserção da variável altitude para dar maior consistência aos resultados de similaridade/dissimilaridade, uma vez que as unidades de estudo possuem perfis topográficos heterogêneos. Destaca-se o primeiro grupo, salientado mediante um retângulo de cor vermelha, e, associado, principalmente pelas variáveis (AJ) Valor Mínimo de *Pixel* para Banda 4, (AK) Valor Máximo de *Pixel* para a Banda 4 e (AL) Média do Valor Digital da Banda 4 numa distância euclidiana de 0,01 e 0,02, lembrando que a banda 4 refere-se ao nível digital do MDT que é utilizado como variável auxiliar em relação a altitude. No mesmo grupo e associadas à distâncias superiores encontram-se (AC) Relação Área-furos (variável espacial), (W) Entropia de Textura (variável de textura), (E) Convexidade (variável de forma)

e (S) Intensidade . Este agrupamento, o qual uniu os três tipos de variáveis (espectrais, espaciais e de textura) está salientando melhor as formas da unidade levando em consideração não somente a refletância espectral, mas as atribuições físicas como a altitude, principalmente notadas nas porções mais elevadas, regiões estas que apresentam relevo plano, propiciando a agricultura.

O segundo agrupamento é composto somente pelas variáveis espaciais: solidez (F), compactidade (D) e fator de forma (H), agregando-se à uma distância euclidiana de aproximadamente 0,19. As variáveis solidez (F) e compactidade (D) salientam as regiões com formas côncavas, associando também fator de forma (H), o que não ocorreu no agrupamento da mesma unidade sem o MDT. As formas côncavas são percebidas mediante glebas de tamanhos pouco expressivos distribuídos pela unidade, principalmente sob relevo plano entre os rios Pitangui e Jotuba que propicia o uso do solo.

Numa distância euclidiana de aproximadamente 0,24 agregaram-se, formando o terceiro grupo, as variáveis: textura média (U), média do valor digital da banda1 (Z), valor máximo de *pixel* da banda 1 (Y), valor máximo de *pixel* da banda 3 (AG) e média do valor digital da banda 3 (AH). Este agrupamento levou em consideração os níveis digitais das bandas supracitadas e representam os usos relacionados à agricultura e ao solo exposto, os quais se ligam à regiões com texturas mais lisas. Comprova-se esta análise pela variável textura média (U) a qual mostra a média entre os usos da unidade, ou seja, divide as feições pouco fractadas, assimétricas e compactas das porções florestadas com as feições de contornos arredondados e assimetria variável da agricultura e com feições de padrão horizontal, pouco assimétrico e de formas suavizadas do solo exposto refletidas nesta unidade (Figura 27).

Figura 36 – Dendrograma Landsat 5 TM (B bandas 5R4G3B e B 4 MDT) da unidade de paisagem 1



Fonte: A autora

Para o dendrograma seguinte (Figura 37) foram utilizados os dados das imagens Landsat 5 TM com 3 bandas espectrais (R5G4B3) da segunda unidade de paisagem (Figura 22). Ocorreram três agrupamentos (salientados) sob três distâncias euclidianas distintas: 0,16, 0,18 e 27,5. O grupo de menor distância euclidiana (0,16) agregou variáveis espectrais como valor mínimo de *pixel* da banda 1 (X), valor mínimo de *pixel* da banda 3 (AF) e valor mínimo de *pixel* da banda 2 (AB). Esta associação reflete os valores digitais mínimos presentes nas 3 bandas espectrais vermelho, infravermelho médio e infravermelho próximo respectivamente, na porção nordeste da cena (Figura 22).

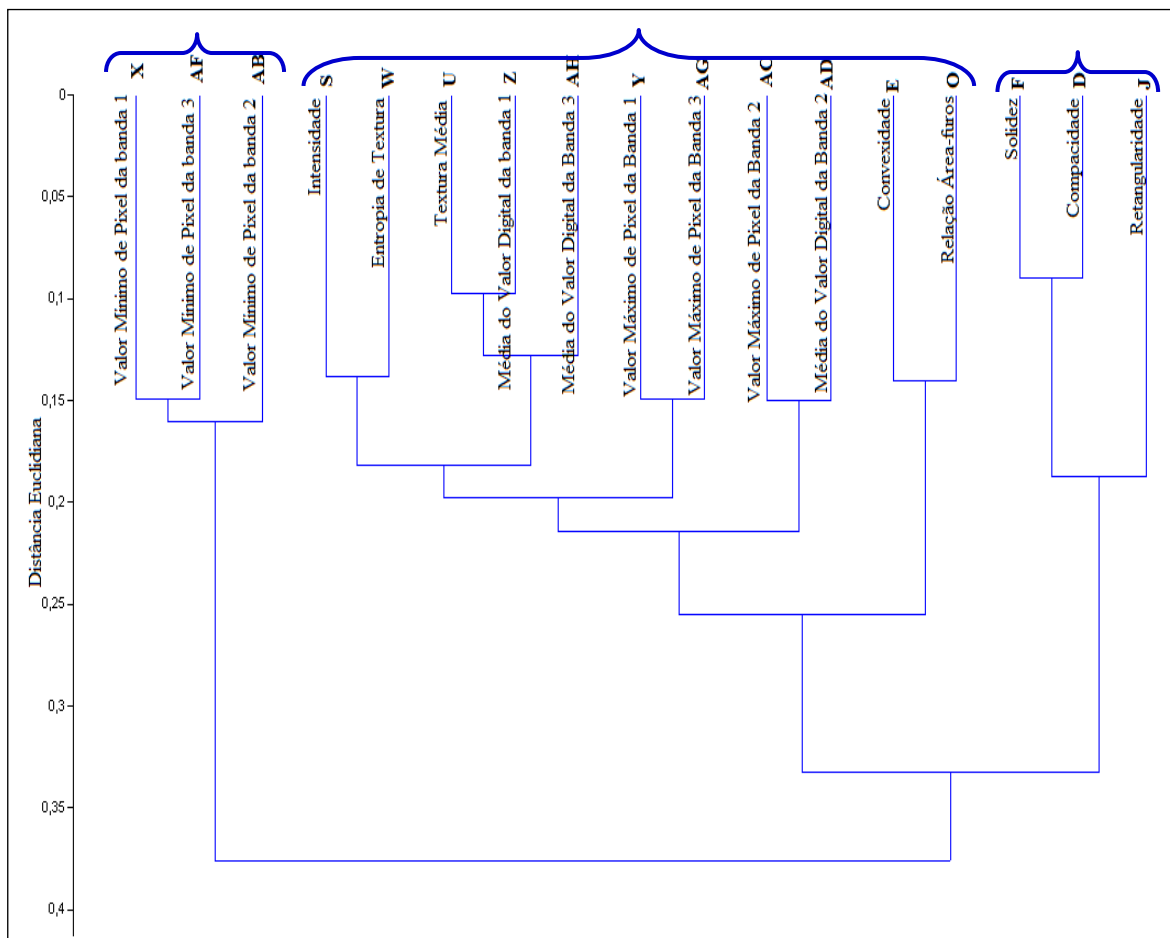
Sob distância euclidiana de aproximadamente 0,18 agruparam-se as variáveis espaciais: solidez (F), compacidade (D) e retangularidade (J). Porém a retangularidade se expressa posteriormente à compacidade e solidez no sub-agrupamento. Estas variáveis refletem as porções de maior aproveitamento quando do uso do solo, que coincidem com

regiões delimitadas em tamanhos maiores e com feições diversas, sendo algumas formas mais sólidas, outras compactas e outras lembrando retângulos.

O último grupo deste dendrograma (Figura 37) agregou uma quantidade expressiva de variáveis espectrais, espaciais e de textura sob distância euclidiana de aproximadamente 27,5. Sendo assim, tem-se características das variáveis intensidade (S), entropia de textura (W), textura média (U), convexidade (E), relação área-furos (O), média do valor digital da banda 1 (AH), valor máximo de *pixel* da banda 1 (Y), valor máximo de *pixel* da banda 3 (AG), valor máximo de *pixel* da banda 2 (AC) e média do valor digital da banda 2 (AD). As variáveis: intensidade (S), entropia de textura (W) e textura média (U) denotam à unidade (Figura 22) refletâncias de porções que recebem maior/menor luminosidade, bem como de outras que não seguem um padrão de organização nos usos e de outras porções que refletem somente a média digital da textura da região. Ligando-se às variáveis supracitadas, a agregação das variáveis relacionadas às bandas espectrais (AH), (Y), (AG), (AC) e (AD) refletem tanto os níveis de ocupação do solo (agricultura, solo exposto etc), como também dos níveis de vegetação, uma vez que nesta unidade (Figura 22) os alvos estão distribuídos de maneira mais organizada ou padronizada se comparada com a unidade de paisagem 1 (Figura 21).

Analisando a primeira unidade de paisagem com a segunda unidade em relação aos agrupamentos, ambas as unidades aliaram primeiro a textura média (U) e média da banda do vermelho (Z) e compacidade (D) com solidez (F). O que muda no sub-grupo de compacidade (D) e solidez (F) da primeira unidade para a segunda unidade é que a retangularidade (J) na segunda unidade se agrupa antes com compacidade (D) e solidez (F) originando as formas das glebas com maior simetria.

Figura 37 – Dendrograma Landsat 5 TM (bandas 5R4G3B) da unidade de paisagem 2



Fonte: A autora

A Figura 38 apresenta o dendrograma proveniente das variáveis relacionadas às bandas espectrais R5G4B3 juntamente com a variável física (MDT) banda 4, da segunda unidade de paisagem (Figura 28). O dendrograma foi dividido em três (destacados) grupos principais sob distâncias euclidianas de 0,19, 0,24 e 0,28. O agrupamento formado na distância euclidiana de aproximadamente 0,24 agregou variáveis espectrais, espaciais e de textura: relação área-furos (O), valor mínimo de *pixel* da banda 4 (AJ), valor máximo de *pixel* da banda 4 (AK) e média do valor digital da banda (AL), convexidade (E), textura de entropia (W) e intensidade (S). Primeiramente destaca-se com um retângulo vermelho, as variáveis relacionadas à banda 4 (MDT): valor mínimo de *pixel* da banda 4 (AJ), valor máximo de *pixel* da banda 4 (AK) e média do valor digital da banda 4 (AL) que agregaram-se numa distância de aproximadamente 0,04, distância esta inferior a qualquer outra variável deste dendrograma (Figura 38). Justifica-se ao analisar a unidade percebendo que ela apresenta usos é mais intensos pela agricultura, em glebas maiores e salientando suas formas

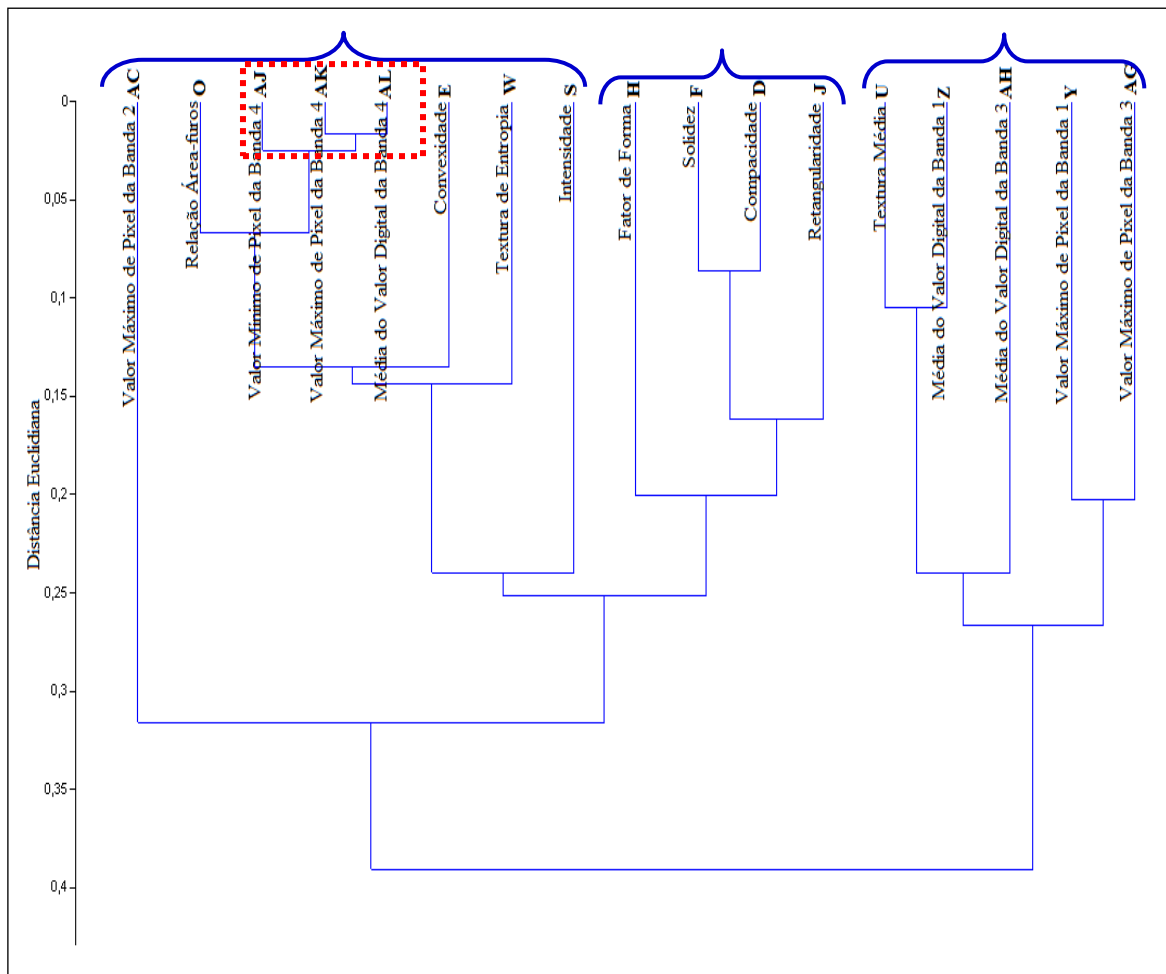
que na grande maioria apresentam-se simétricas, bem como feições espúrias representativas da variável relação área-furos (O) notadas principalmente na porção nordeste da unidade (Figura 28). A inserção da variável física (banda 4 MDT), também salientou as formas convexas da unidade percebidas, principalmente nas proximidades da Represa Alagados à nordeste - leste da unidade (Figura 28). A unidade apresenta valores de entropia de textura (W), uma vez que os alvos foram salientados pelos seus diferentes usos e intensidade espectral.

Salienta-se que quando associado MDT às bandas espectrais 5R4G3B ocorreu o mesmo agrupamento nesta segunda unidade conforme a primeira na mesma composição, sendo que o primeiro grupo foi só em relação a esta variável discriminando mais uma vez o destaque no relevo e altitude

O segundo grupo a ser analisado, agregou-se na distância euclidiana de aproximadamente 0,19, unindo apenas variáveis com características espaciais: fator de forma (H), solidez (F), compacidade (D) e retangularidade (J), as quais denotam à unidade formas compactas e sólidas percebidas pelos usos intensos principalmente da agricultura, associadas às feições côncavas e de baixa declividade da unidade. Percebem-se também, feições simétricas e assimétricas influenciadas pelas glebas, fazendo inferência às variáveis: fator de forma (H) e retangularidade (J). Destaca-se que se agruparam primeiramente as variáveis solidez (F) e compacidade (D) seguido de retangularidade (J) que nesta segunda unidade de paisagem sob composição de bandas espectrais e MDT, a variável retangularidade (J) agrupou-se anterior a variável fator de forma (H) se comparada com o segundo sub-agrupamento da primeira unidade de paisagem.

O terceiro e último grupo agregou numa distância euclidiana próximo a 0,28 variáveis espectrais e de textura: textura média (U), média do valor digital da banda 1 (Z), média do valor digital da banda 3 (AH), valor máximo de *pixel* da banda 1 (Y) e valor máximo de *pixel* da banda 3 (AG). Este agrupamento se justifica ao relacionar os níveis digitais do vermelho e do infravermelho médio, os quais refletem mais as características de uso e ocupação e que nesta unidade (Figura 28) são mais intensos, apresentando assim, as mesmas texturas. Este agrupamento formou-se com similaridade ao agrupamento da primeira unidade de paisagem sob mesma composição (Figura 36) excluindo a variável do infravermelho próximo a qual é responsável pela reflectância dos níveis digitais da vegetação.

Figura 38 – Dendrograma Landsat 5 TM(bandas 5R4G3B e banda 4 MDT) da unidade de paisagem 2



Fonte: A autora

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Numa unidade de paisagem, o fator que determina sua especificidade nem sempre é o mesmo, sua característica determinante pode estar relacionada às formas do relevo, à altitude, declividade, ao uso do solo, à vegetação, à urbanização, entre outros.

Para o reconhecimento e caracterização das unidades de paisagem desta pesquisa, julgou-se fundamental a utilização de técnicas ligadas às geotecnologias. O Sensoriamento Remoto (SR) proporcionou a aquisição dos dados sobre os objetos das imagens por meio da reflectância dos alvos contidos nas cenas das duas unidades nas bandas espectrais de comprimento de onda do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, e que mediante Processamento de Imagens Digitais (PDI) permitiram o reconhecimento prévio das unidades. A utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) possibilitou organizar e manipular o conjunto de informações extraídas das imagens e suportar a realização de análises estatísticas complexas ao integrá-las num banco de dados relacionado e georreferenciado, o que possibilitou a caracterização das unidades de estudo, facilitando a análise e compreensão dos objetos que compõem a paisagem.

Neste sentido, a proposta metodológica desenvolvida para esta pesquisa demonstrou eficácia quando da análise de reconhecimento e caracterização das unidades de paisagem, uma vez que, as técnicas em conjunto proporcionaram a coleta, o armazenamento e a manipulação dos dados, afim de, fornecer de forma clara e quantificada o conjunto de variáveis físicas ambientais capazes de caracterizar as unidades de paisagem delimitadas para esta pesquisa.

Análise visual

O método de Análise Visual expresso sob imagens digitalmente processadas constitui num determinado momento a paisagem, a qual pode ser analisada por cada intérprete, segundo a sua percepção e os seus interesses específicos.

Nesta pesquisa, o processo de Análise Visual baseou-se na interpretação das imagens, mediante identificação e classificação dos alvos de interesse presentes nelas. Foi fundamental a percepção de feições caracterizadas pelos elementos de análise das imagens, como a cor, textura, tamanho, forma, padrão, sombra, altura, localização dos alvos, bem como, outros aspectos associados.

Os Modelos Digitais do Terreno, extraídos das curvas de nível das unidades de estudo geraram uma série de subprodutos, nos quais, aplicando-se a Análise Visual foi possível uma

inferência sob as peculiaridades do relevo e da drenagem, levantando as características homogêneas/heterogêneas dos agentes formadores. A Classificação MAXVER permitiu o levantamento das classes de uso e ocupação presentes em ambas as unidades e comprovando-se mediante análise em campo. Os usos foram classificados como: agricultura, solo exposto, floresta, corpos d'água, área urbana e sombra.

Neste sentido, de acordo com a interpretação visual realizada na **primeira unidade** de paisagem, foi possível distinguir porções topográficas (sudeste), onde, predomina a classe floresta, pois, a altitude entre 760-1065 metros de acordo com o MDT (Figura 05), associada com níveis de declividade próximos de 40% (Figura 07) e que se configuram como forte ondulado dificultam o manejo. Em contrapartida, porções como as localizadas entre os rios Pitangui e Jotuba (divisor topográfico), onde a altitude é superior a 900 metros, notam-se usos intensos pela agricultura, devido, sobretudo ao aplainamento dessa região como podem ser observados na classificação de uso e ocupação MAXVER na Figura 19.

Para a **segunda unidade** de paisagem, foram identificados usos mais intensos de modo geral, tanto nas porções mais elevadas (sudeste, norte-nordeste), como nas mais baixas (restante da área) e podem ser comprovados mediante imagens de MDT (Figura 06) e uso e ocupação MAXVER observados na Figura 20. Essa característica associa-se às formas arredondadas da região, permitindo o cultivo agrícola em maior escala, influenciado também, pelas vertentes côncavas-retilíneas (Figura 12), as quais favorecem a retenção do escoamento. Percebe-se também à sudoeste desta unidade parte da área urbana do município de Ponta Grossa.

Considera-se a Represa Alagados, inserida entre as unidades de paisagem desta pesquisa, como fator relevante nesta análise, uma vez que, ela exerce forte contribuição tanto para a caracterização física quanto de uso e ocupação percebidos não somente nas unidades delimitadas, mas na área total da bacia hidrográfica. É importante salientar também que a Represa está inserida sob o relevo de transição (ED), entre Primeiro e Segundo Planaltos, porção esta caracterizada pela sua singularidade geomorfológica regional.

Com base nas imagens de declividade das duas unidades de estudo (Figuras 07 e 08 respectivamente), observa-se que os níveis predominantes pertencem a gradientes pouco expressivos, indicando que o relevo vai de suave a suave ondulado, ou seja, apresenta topografia pouco acidentada na maioria das unidades, com exceção da porção sul-sudeste da primeira unidade e das porções sudeste e norte-nordeste da segunda unidade, as quais apresentam maior rugosidade topográfica, configurando-se em regiões forte onduladas. No

entorno dos canais fluviais tem-se o predomínio de declividades consideradas médias (13% a 20% ou relevo ondulado), tanto em porções de maior quanto de menor elevação.

As imagens representativas do Aspecto das duas unidades de paisagem podem ser vistas nas Figuras 09 e 10. Os resultados apontam para uma maior homogeneização desta variável para a primeira unidade, com ângulos voltados principalmente à Leste/Sul/Sudeste e para a segunda unidade à Oeste/Sudoeste, atribuindo esta característica, principalmente à litologia local. Nesta análise destacam-se como fator relevante os ângulos de inclinação no que se refere ao uso do solo pela agricultura, pois nota-se maior aproveitamento em porções das unidades que recebem maior luminosidade solar, uma vez que ângulos voltados à leste e norte recebem maior luminosidade, enquanto ângulos inclinados para sul e oeste recebem menos luz solar.

O padrão de drenagem das unidades é caracterizado distintamente, influenciados, sobretudo, pela geologia local, conforme já mencionado ao longo da pesquisa. As direções do escoamento das duas unidades (Figuras 15 e 16) apresentam-se heterogêneas. Nota-se na primeira unidade, padrão hidrográfico paralelo e/ou subparalelo, influenciando na distribuição de forma ordenada da maioria das sub-bacias originadas (oeste-noroeste), podendo ser observadas na Figura 17. A segunda unidade exhibe padrão de hidrografia dendrítico com controle estrutural e sub-bacias majoritariamente desordenadas, ocorrendo indícios ordenação (oeste-sudoeste) em porções à sudeste e noroeste, conforme mostra Figura 18.

Conclui-se que na análise visual puderam-se identificar características homogêneas nas duas unidades de paisagem atribuídas, sobretudo ao relevo, onde, se comprovou que quando este possui uma determinada altitude associada a declividades suave e suave ondulada tem-se uso do solo intenso seja ele agrícola ou urbano. Fato este verificado nas imagens classificadas do uso do solo atual. Pôde-se ainda perceber usos antrópicos menos intensos em porções onde o relevo se apresentada como fator limitante constado mediante as classes de declive.

Quanto a heterogeneidade das unidades o fator mais relevante encontrado está relacionado às drenagens, uma vez que, a primeira unidade de paisagem está inserida no Primeiro Planalto Paranaense, exibindo hidrografia de padrão paralelo e subparalelo, conforme pode-se observar na rede hidrográfica sobreposta à imagem MDT (Figura 05). Este padrão tem forte influência da geologia local, sobretudo, dos granitos, onde nota-se claramente a divisão de afluentes dos rios Pitangui e Jotuba de um lado, e de outro os rios seguindo direção sudeste. Porém, na segunda unidade as características apresentam-se mais marcantes, exibindo uma rede de drenagem dendrítica (drenagem sobreposta ao MDT Figura

06) com controle estrutural, ou seja, os afluentes e subafluentes percorrem vales encaixados influenciados pela geologia peculiar e diversificada existente nesta região de transição do Primeiro para o Segundo Planalto.

Análise orientada a objeto

Ao analisar, extrair e caracterizar os elementos físicos e de uso e ocupação das unidades de paisagem deste estudo, por meio de técnicas de SIG, SR e PDI e em saídas de campo, recorreu-se à técnica de Análise Orientada a Objeto, com intuito de encontrar os segmentos ou regiões aqui chamados de variáveis, responsáveis pela caracterização das unidades mediante procedimentos estatísticos. Por isso, das 39 variáveis (descritores de forma, cor e textura do segmento) originadas nesta análise, selecionou-se mediante testes de Análise de Componentes Principais àquelas que tiveram maior correlação entre si, indicando homogeneidade nas cenas, seja somente espectral ou com o relevo (MDT), que são: (D) compactidade, (E) convexidade, (F) solidez, (H) fator de forma, (J) retangularidade, (O) relação área – furos, (S) intensidade, (Y) valor máximo de pixel da banda 1, (Z) média do valor digital da banda 1, (AC) valor máximo de pixel da banda 2, (AG) valor máximo de pixel da banda 3, (AH) média do valor digital da banda 3, (AJ) valor mínimo de pixel da banda 4 MDT, (AK) valor máximo de pixel da banda 4 MDT, (AL) média do valor digital da banda 4 MDT, (U) textura média; (W) entropia de textura.

As 17 variáveis (descritores) selecionadas e descritas acima resultaram da extração de regiões ou segmentos de Imagem de Satélite Landsat 5 TM, das duas unidades de paisagem, nas composições espectrais sob bandas R5G4B3 e bandas R5G4B3 juntamente com a variável física MDT (banda 4). Estas variáveis possuem características espaciais, espectrais e de textura e são percebidas nas imagens em forma de regiões ou polígonos delimitados e que caracterizam as cenas. Conforme pode ser observadas nas imagens (21, 22, e 27, 28) a técnica mostra as regiões formadas sob as diferentes composições espectrais e espaciais, ocorrendo, muitas vezes, modificações na delimitação dos polígonos. Nota-se maior fusão das regiões (regiões maiores) quando da inserção da variável física (MDT) equivalente a banda 4.

Salienta-se que se deve atribuir atenção especial no momento de segmentação das imagens (regiões). É indispensável que os objetos representem com fidelidade os elementos da imagem que constituem a paisagem, e de acordo com os objetivos propostos para cada estudo. Desta forma é imprescindível que, a análise seja realizada com tempo significativo, pois, o resultado desta análise é que irá mostrar as características das unidades de paisagem, revelando tanto os aspectos físicos quanto os de uso e ocupação.

Nesta Análise Orientada a Objetos conclui-se que ela proporciona um agrupamento em regiões de *pixels* similares mediante critérios estatísticos e que, gera uma nova imagem segmentada com regiões imitando o ser humano que, quando analisa uma cena no nível de abstração do *pixel* agrupa automaticamente alvos, objetos similares. A maior colaboração da Análise Orientada a Objetos para este estudo foi proporcionar o agrupamento de regiões e gerar automaticamente um banco de dados relacional automático com as variáveis, ou seja, descritores que possuem as características espectrais, espaciais e de textura de cada região de cada uma das unidades, fato que proporcionou o estudo estatístico multivariado mediante Componentes Principais e *Clusters* de maneira semi-automática, proporcionando otimização e acurácia nos resultados.

Análise de agrupamento

Os dendrogramas foram definidos de forma que os agrupamentos apresentassem um grau de homogeneidade/heterogeneidade entre as variáveis e/ou subgrupos, espacializados sob distância euclidiana. A Análise de Agrupamento agregou as variáveis que melhor se correlacionaram, sobretudo, sob as diferentes composições (espectrais conjuntamente com as espaciais) das imagens e juntamente com o MDT, representando um dos agentes formadores dos solos e relevo.

Os resultados mostram que os agrupamentos agregaram-se de forma distinta e coerente para as duas composições (bandas R5G4B3 e R5G4B3 com banda 4 - MDT) das duas unidades e paisagem, separando as variáveis de acordo com sua refletância, usos e relevo. Para cada dendrograma respectivo a cada unidade de paisagem e composição espectral, houve três agrupamentos entre distâncias euclidianas de 0,16 e 0,28.

Para a composição espectral sob bandas R5G4B3, a segmentação refletiu melhor os níveis digitais do infravermelho próximo que reflete mais a vegetação sadia, classe predominante na primeira unidade, e dos canais do vermelho e infravermelho médio que refletem melhor os usos e ocupação, peculiaridade observada em maior escala na segunda unidade de estudo, indicando forte influência da área urbana. As variáveis relacionadas às formas e textura agregaram-se de modo que salientam as diferenças na distribuição das regiões de ambas a unidades como, por exemplo, as porções à sudeste da primeira unidade e à nordeste e sudoeste da segunda unidade que apresentam grande variação nos níveis digitais e diferente reflectância dos alvos.

A inserção da variável física (MDT) na composição espectral das bandas R5G4B3 para as duas unidades de paisagem influenciou claramente nos agrupamentos das variáveis.

Nota-se que esta variável (altitude) agregou-se em distâncias euclidianas consideradas baixas (entre 0,01 e 0,04) se comparadas às outras. Isto devido ao relevo presente nas unidades de paisagem que salientou, principalmente, as regiões aplainadas entre os rios Jotuba e Pitangui (divisor topográfico) da primeira unidade, e também os vales destes dois rios. Já na segunda unidade, na transição do Primeiro para o Segundo Planalto, o agrupamento foi influenciado pelo relevo presente à nordeste e sob os vales encaixados dos rios Pitangui e seus afluentes de ambas as margens.

As variáveis espaciais solidez (F) e compacidade (D) agregaram-se sempre na menor distância de seu grupo, tanto para a primeira quanto para a segunda unidade de paisagem e sob as diferentes composições espectrais utilizadas. Estas variáveis são indicadores de regiões formadas sob porções geralmente utilizadas para o manejo agrícola ou agropastoril, conforme se comprovou quando da análise em campo.

Um dos aspectos a serem considerados quando da Análise de Agrupamento em unidades de paisagens ponderando os usos, ocupação e aspectos físicos, implica na utilização da escala temporal da segmentação, uma vez que, o processo de formação de paisagens é dinâmico e evolui ao longo do tempo. Desta forma, a aplicação deste tipo de análise é pertinente à diferentes escalas espaciais e temporais, podendo-se realizar também, estudos ou experimentos para verificação de mudanças de paisagens conforme sua dinâmica temporal, uma vez que, os padrões tendem a ser resultados da combinação entre natureza e homem.

Esta pesquisa apresentou técnicas as quais possibilitaram o reconhecimento e a caracterização de duas unidades de paisagens, considerando aspectos de uso e ocupação, bem como físicos. Julga-se que estudos relacionados à análise de paisagens podem ser ajustáveis à realidade pesquisada, e as técnicas e elementos adotados dependem do objetivo proposto. Dessa forma, neste caso, atribuiu-se maior peso aos aspectos físicos, uma vez que, foram eles os elementos-chave para identificação e caracterização tanto visual quanto estatística das unidades de paisagem desta pesquisa, conforme o notado uso agrícola, principalmente da segunda unidade, a qual apresenta usos sob glebas de maiores áreas, indicando características morfológicas favoráveis para esta atividade.

As técnicas ligadas aos Sistemas de Informação Geográfica, ao Sensoriamento Remoto, ao Processamento de Imagens Digitais, à Análise Orientada a Objeto, à Análise de Componentes Principais e à Análise de Agrupamento, utilizadas nesta pesquisa proporcionaram maior eficácia e otimização no levantamento e manipulação dos dados,

extraindo as variáveis físicas do relevo e da drenagem, permitindo um reconhecimento dos padrões ambientais das unidades e comparando-se ambas, bem como a corroboração da Análise Visual, uma vez que, a partir dela pôde-se caracterizar previamente as unidades de paisagem e obter maior acurácia quando da aplicação das técnicas de análises supracitadas anteriormente.

Após a caracterização física das unidades, tem-se a distribuição do uso e ocupação, que, neste caso são diferenciadas. As unidades de paisagem pertencem à bacia hidrográfica do rio Pitangui e apresentam características físicas próprias para uso da agricultura intensiva, principalmente, na segunda unidade, pois, a região favorece ao plantio em glebas maiores. Entretanto, são percebidos usos intensos pela agricultura também na primeira unidade, porém, com glebas menores, sobretudo, pela influência de uma topografia mais movimentada à sudeste, caracterizando-se como fator limitante para esta atividade. Fato este confirmado na Análise de Agrupamento sob composição espectral R5G4B3, onde se agruparam solidez com compactidade e a retangularidade em maior distância euclidiana. Diferente da combinação com o MDT, onde, a retangularidade é agrupada numa menor distância euclidiana.

Por isso, conforme dito anteriormente, além dos agrupamentos refletirem os usos e formas das unidades, houve uma inferência sob os aspectos físicos quando associado o MDT na análise, salientando regiões de destaque das unidades, como os relevos aplainados vistos sob o divisor topográfico da primeira unidade (Figura 27), bem como os vales por onde percorre o rio Pitangui, tanto da primeira como da segunda unidade de paisagem.

Portanto, em estudos relacionados as paisagens, sobretudo, de análises ambientais é salutar o emprego de técnicas voltadas às geotecnologias, uma vez que, permitem o levantamento e acompanhamento (atualização) das mudanças nas paisagens globais e locais, e possibilitam cada vez mais a otimização e adaptação de recursos atualizados para os diversos campos de pesquisas de levantamentos em gestão do território. As técnicas estatísticas permitem a redução da dimensionalidade dos descritores espaciais mediante Componentes Principais e também conhecimento prévio dos descritores de maior correlação e finalmente a Análise de Agrupamento, associando os sub-agrupamentos de acordo com importância de cada descritor numa aproximação do comportamento humano quando da Análise Visual, isto é, agrupando elementos (alvos ou objetos) similares a eles e elegendo significados.

Salienta-se a importância de trabalhar as unidades sob imagem em nível de segmento e não em nível de abstração do *pixel*, pois, ambas as áreas têm características fortes de forma, verificadas em todos os agrupamentos, destacando sempre o segundo sub-agrupamento de

todos os dendrogramas composto pelas variáveis compactidade e solidez agrupadas na menor distância euclidiana.

6 CONSIDERAÇÕES FUTURAS

Como forma de prosseguir análises relacionadas às utilizadas nesta pesquisa, sugere-se estudos retirando a banda espectral do infravermelho próximo quando da associação de sub-bacias representando a drenagem associada ao relevo e todas as bandas do espectro eletromagnético do sensor Landsat 5 TM, pois, esta banda foi pouco representativa nos agrupamentos.

REFERÊNCIAS

- AGAR, P. M. et al. Mapping the ecological structure of a territory: a case study in Madrid (Central Spain). **Environmental Management**, New York, v.19, n.3, p. 345-357, May/Jun., 1995.
- AMARAL, A.Z., AUDI, R. Fotointerpretação. In: MONIZ, A.C. **Elementos de Pedologia**. v. 41. São Paulo: Edusp, 1972. p.169-263.
- ANTUNES, A. F. B. **Classificação de Ambiente Ciliar Baseada em Orientação a Objeto em Imagens de Alta Resolução Espacial**. 2003. 145 fl. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- BAATZ, M.; SCHÄPE, A. Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: STROBL, J.; BLASCHKE, T. (Hrsg.). **Angewandte Geogr. Informations Verarbeitung XII**, Heidelberg: Wichmann, 2000.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: um esboço metodológico. **Caderno de Ciência da Terra**. São Paulo: USP, n.13, 1972.
- BETHEMONT, J. et al. Les paysages des eaux douces. Le paysage dans tous ses états. **Geoconfluences**. 2006. Disponível em: <<http://geoconfluences.ens-lsh.fr/doc/transv/paysage/Paysage.htm>>. Acesso em: 11 set. 2010.
- BIGARELLA J. J.; BECKER R. D. ; SANTOS G. F. 1994. **Estruturas e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Editora UFSC, Florianópolis - SC, v. I e II.
- BLASCHKE, T. et al. Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications. In: CREMERS, A.; GERVE, K. (Eds.). **Environmental Information for Planning, Politics and the Public**. Metropolis-Verlag, Marburg, v. 2, p. 555-570, 2000.
- BOGNOLA, I. A. et al. Caracterização dos solos do município de Carambeí, PR. EMBRAPA/CNPS. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, n. 8, 2002.
- BOJÓRQUEZ-TAPIA, L. A. et al. Multivariate Approach for Suitability Assessment and Environmental Conflict Resolution. **Journal of Environmental Management**, 41:187-198, 1994.
- BOLÓS, M. de. **Manual de Ciencia Del Paisaje** – teoria, métodos y aplicaciones. MASSON, S.A., Bracelona. 1992. 273p.
- BOROUCHE, J. M., SAPORTA. G. **Análise de dados**. Zahar Editores. Rio de Janeiro, 1982. 116 p.
- BUREL, F; BAUDRY, Y.J. **Ecologia Del Paisaje**. Madrid: Ediciones Mundi Prensa, 2002.

BURNETT, C.; BLASCHKE, T. A multi-scale segmentation/object relationship modeling methodology for landscape analysis. **Ecological Modelling**, v. 168, n.3, p. 233-249, 2003.

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Clarendon Press. England: Oxford, 1986.

_____. **Principales of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment** Clarendon Press. England: Oxford, 1992.

CÂMARA, G. et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996. 197p.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Mapa e suas representações computacionais. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: Embrapa, 1998. Cap.3. p.31-43.

CANTERO, N.O. **Paisajens, memória histórica y identidade nacional**. Ediciones de La Universidad Autónoma de Madrid. España. 2005.

CARVALHO, S. M. **O diagnóstico físico-conservacionista-DFC como subsídio à gestão ambiental da bacia hidrográfica do rio Quebra-Perna, Ponta Grossa-PR**, Tese de Doutorado.UNESP, 2004.

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

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Departamento de Geomática, Curitiba: UFPR, 2003. 210 p.

_____. **Sensoriamento Remoto e Processamentos de Imagens digitais**, Curitiba: Ed. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná. 2004. 219p.

_____. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Curitiba: Ed. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, 2009.

CEREZO, R.G. **Modelos Conceptuales de Funcionamiento de Ríos y Arroyos**. 2003. Disponível em: <http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/lectura-obligatoria-1/gomez-03.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2011.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

_____. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

CORTINA, A.; QUERALT, A. **Covenio Europeo Del Paisaje**. Textos y comentários. Ministério Del Medio Ambiente. Madrid, 2007.

CREPANI, Edison, et al. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. Ministério da Ciência e Tecnologia – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / INPE. São José dos Campos, 2001.

CRUZ, G. C. F. Alguns aspectos do clima dos Campos Gerais. In: MELO, M.S.; MORO, R.S.; GUIMARÃES, G.B. (Eds.). **Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: Ed. UEPG, 2007. p. 59-72.

CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia Fluvial**. In Antonio José Teixeira Guerra e Sandra Baptista da Cunha (org.) **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

DE PABLO, C. T. L. Cartografía ecológica: conceptos e procedimientos para la representación espacial de ecosistemas. **Boletín da Real Sociedad Espanhola del a História Natural** (Sec. Geol.), Madri, v.96, n.1-2, p.57-68, 2000.

DEUS, B. V. et al. Interpolação Espacial de Precipitações Anuais na Bacia do Alto e Médio Teles Pires, MT. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIII., Florianópolis. **Anais...** 21-26 abril 2007, INPE, p. 2525-2531.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. Zoneamento Ecológico para Plantios Florestais no Estado do Paraná**. Brasília: EMBRAPA-DDT, 2006.

FAN, G.; XIA, X.. **A Joint Multicontext and Multiscale Approach to Bayesian Image Segmentation**. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing. v. 39, n. 2, p. 2680-2688, 2001.

FASOLO, P.J. et al. Caracterização dos Solos do Município de Castro, PR. EMBRAPA/CNPQ. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, n. 9, 2002.

FENDRICH, R. et al. **Drenagem e Controle da Erosão Urbana**. 4. ed. Curitiba: Champagnat, 1997.

FORMAN, R.T.T. **Land Mosaics**. The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press, 1995.

FORMAN, R.; GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1986. 620 p.

FREITAS, A. R. **A Repercussão da Legislação na Dinâmica do Uso da Terra na Bacia do Rio Cará-Cará Ponta Grossa PR no período de 1980 a 2007**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2008.

GEALH, A.M.; MELO, M.S.; MORO, R.S. (Orgs.). **Pitangui, Rio de Contrastes: seus lugares, seus peixes, sua gente**. Ponta Grossa: Ed. UEPG, 2010. 199p.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Ed. UFPR, 1994. 319p.

GERHARDT, E. J. et al. Contribuição da análise multivariada na classificação de sítios e povoamentos de Araucária Angustifolia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.2, p.41-57, 2001.

GODOY, L.C. **Radioanomalias no Granito Serra do Carambeí - PR e possíveis Implicações no Uso e Ocupação do Solo**. Curitiba, 2010. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. 216p.

GONÇALVES, D. R. P. **Avaliação da Qualidade das Águas das Sub-bacias do Manancial de Alagados e sua Relação com os Diferentes Sistemas de Uso das Terras**. Ponta Grossa, 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

GONZALES, R.C.; WOODS, R.E. **Digital Image Processing**. Addison-Wesley Publishing Company, 1998. 630p.

_____. **Digital Image Processing**. 2. ed. New York: Prentice Hall, 2002. 793 p.

GUERRA, A.J.T., **O início do processo erosivo**. In Guerra, A.J.T.; SILVA, A. .S. e BOTHELO, R.G.M. (Org) *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p 17-50.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Org.). **Geomorfologia e Meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GUIMARÃES, G. B. **As rochas Granitóides do Complexo Granítico Cunhaporanga, Paraná: Aspectos Geológicos, Geofísicos, Geoquímicos e Mineralógicos**. 2000, 230 fl. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

HERRAIZ, C.S. et AL. **Atlas de Los Paisajens de España**. Ministério de Medio Ambiente. Madrid. 2003.

HUMBOLDT, A. de. **Cosmos**. Ensayo de una descripción física del mundo (1845-1862). Traducción de Bernardo Giner y José de Fuentes, Madrid, Imprenta de Gaspar y Roig, Editores, 4t., 1874-1875, t. II, s/d. p.4.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual de uso da Terra**. Rio de Janeiro. Ed. 2ª. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2010. **Resultados do Censo**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/total_populacao_parana.pdf. Acesso em: Abril/2011

ITT VIS (Visual Information Solutions) ENVI Feature Extraction Module 4.6 User's Guide. 2008.

JAIN, A. K. **Fundamentals of Digital Image Processing**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.1989.

JENSEN J. R. **Remote Sensing of Environment: an Earth Resource Perspective**. New Jersey: Prentice-Hall Series in Geographical Information, 2000, 544 p.

_____. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**. Tradução de J. C. N. Epiphanyo et al. São José dos Campos. São Paulo: Parênteses, 2009.

JENSON, S.K.; DOMINGUE, J.O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing**, v.54, n.11, p. 1593-1600, 1988.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D.W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 1998. 816 p.

_____. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 5. ed. New Jersey: Pearson, 2002.

KAMIYA, I.; SATO, H. 2001. **Slope Gradation as a Useful Tool for Detecting Landform Features**. Bulletin of the Geographical Survey Institute, Geographical Survey Institute, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan, v. 47, p. 29- 34.

KOEPFLER G. et al. Multiscale algorithm for image segmentation by variational method. **SIAM Journal of Numerical Analysis**, v. 31, n.1, p. 282-299, 1994.

LAL, R. **Soil Erosion in the Tropics**. Principles e Management. McGraw-Hill. Inc.EUA. 1990.

LILLESAND, T. M., KIEFER, R.W., CHIPMAN, J.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**: John Wilwy & Sons, Inc. 756 p.2007.

LIMA, W.P. **Função Hidrológica da Mata Ciliar**. Simpósio sobre Mata Ciliar. Fundação Cargill, 1989.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Tradução de Hermann Kux. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LIU, W.T.W. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002. 440p.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro: Brasport, 1999, 406p.

MATHER, P.M. **Computer processing of remotely sensed images**. New York: John Wiley e Sons,Inc., 1999. 292 p.

MELO, M. S. de. **Formas Rochosas do Parque Estadual de Vila Velha**. Ponta Grossa: UEPG, 2006. 154p.

MELO, M. S. et al. Relevo e hidrografia dos Campos Gerais. In: MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. **Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007. p. 49-58.

METZGER, J.P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, v. 1, n. 1 e 2, p. 1-9, 2001.

- MULLER E. **Mapping riparian vegetation along rivers: old concepts and new methods.** Aquatic Botany. 1997, 58: 411-437.
- MINGOTI, S. A. **Análise de Dados por meio de Métodos de Estatística Multivariada: uma abordagem aplicada.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 295 p.
- MOIK, J. G. **Digital Processing of Remotely Sensed Image.** Washington. DC: Government Printing office.1980.
- MOLINA, P. H. **Análisis y Comparación de la Vegetacion de las Riberas de los Rios Ebro, Tajo y Jarama.** Madrid: UAM Ediciones, 2003.
- MOLINERO, F., OJEDA, J.F., TORT, T. **Los PAISAJES agrarios de España : caracterización, evolución y tipificación.** Madrid : Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011.606 p.
- MONTEIRO, C.A.F. **Clima. Grande Região Sul.** Rio de Janeiro: IBGE, 1968. v.4, t.1, p-114-166.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento e Metodologia de Aplicação.** 3.ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 320p.
- MORO, R.S. A vegetação dos Campos Gerais da escarpa devoniana. In: DITZEL, C.H.M.; SAHR, C.L.L. (Org.) **Espaço e Cultura: Ponta Grossa e os Campos Gerais.** Ponta Grossa: Editora da UEPG, 2001. p.481-503.
- MULDERS, M.A. **Introduction Airphoto – Interpretation for Landscape Analysis Soil Survey.** Bodemkunde em geologie. Departament of Soil Science and Geology. Tropical Soils Section. Wagenigen Agricultural University. The Neherlands. 1982, 37p.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto.** Princípios e aplicações. São Paulo: Edgard Blucher, 1989.
- NUCLEAM/ UEPG. **Bacia Hidrográfica do Manancial Alagados.** Ponta Grossa, 2002. Relatório técnico (CD-ROM).
- PELLEGRINO, G. Q.; PINTO, H. S.; ZULLO, J.J.; BRUNINI, O., 1998. **O uso de um Sistema de Informações Geográficas no Mapeamento de Informações Agrometeorológicas.** In: Sistema de Informações Geográficas – Aplicações na Agricultura. EMBRAPA. 2ª ed. p. 329-348.
- PIRES, J.S.R. et al. Percepção dos moradores da comunidade da bacia hidrográfica do rio Mandarina sobre o meio em que vivem. In: ENCONTRO PARANAENSE DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL-EPEA E FÓRUM REGIONAL DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL, 9., 2006. Guarapuava. **Anais...** Guarapuava: Unicentro, 2006. p.222.
- REGAZZI, A. J. **INF 766 - Análise Multivariada.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Departamento de Informática. 2001. 166p.

RIBEIRO, S.R.A. **Integração de Imagens Landsat TM e dados auxiliares para a delimitação automática de unidade fisionômicas (paisagem) e geológicas usando redes neurais artificiais.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

RICHARDS, John. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis - An Introduction.** 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin. 1993. 281p.

_____; JIA, X. **Remote Sensing Digital Image Analysis – An Introduction.** 4. ed. Germany: Ed. Springer, 2006.

ROBINSON, D. J. REDDING, N. J.; CRISP, D. J. **Implementation of a fast algorithm for segmenting SAR imagery.** Australia: DSTO, Electronics and Surveillance Research Laboratory, DSTO-TR-1242, Jan 2002.

ROCHA, C. H. **Ecologia da Paisagem e Manejo Sustentável em Bacias Hidrográficas: Estudo do Rio São Jorge nos Campos Gerais do Paraná.** Curitiba, Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1995. 86p.

ROCHA, C. H.; WEIRICH NETO, P. H. Padrões de uso das terras e implicações ambientais. In: GEALH, A.M.; MELO, M.S.; MORO, R.S. (Orgs.). **Pitangui, Rio de Contrastes: seus lugares, seus peixes, sua gente.** Ponta Grossa: Ed. UEPG, 2010. Cap. 2, p. 23-41.

ROCHA, E. L. et al. Diagnóstico Automatizado de Doenças no Colo do Útero Baseado em Redes Neurais Artificiais e Processamento de Imagens Digitais. **Revista de Iniciação Científica**, Criciúma, v.6, p.1, 2008.

ROSS, J.L.S.; DEL PRETTE, M.E. Recursos hídricos e as Bacias Hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, USP, v.6, p. 17-29, 1992.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento.** Contexto. São Paulo, 2001.

_____. O Registro Cartográficos dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 12, USP- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, 2003.

SABIN, M. A. Contouring - A Review of Methods for Scattered Data. Mathematical Methods. In: BRODLIE, K. (Ed.). **Computer Graphics and Design.** New York: Academic Press, 1980.

SALGUEIRO, Teresa Barata. **Paisagem e Geografia.** Finisterra, XXXVI, 72, 2001, pp. 37-53.

SANTOS, M. P. **O Espaço Humanizado, a Paisagem Humanizada e algumas reflexões sobre a Paisagem em São Paulo no século XVIII e XIX.** 2006, 192 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SANTOS, C. J. B. dos; SILVA, J. F. C. da; MELLO, M. P. de. Avaliação da qualidade de Modelos Digitais do Terreno construídos a partir de diferentes fontes de aquisição de dados. In: CONGRESSO DE CARTOGRAFIA. **Anais...** Porto Alegre. Seção Pôster, Fotogrametria. [CD ROM]. 2001.

SANTOS, M. **Por uma outra Globalização**. 6. ed. Rio de Janeiro: Record, 2001.

SARAIVA, C.C.S. **Avaliação das grades regulares geradas pelos métodos de kriging e Inverso da Distância de uma potência para fins de monorestituição**. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, II. Curitiba, 2001.

SHAPIRO, L.G.; STOCKMAN, G.C. **Computer Vision**. New Jersey: Prentice Hall, 2001.

SCHOWENGERDT, R.A. **Remote Sensing: Models and Methos for Image Processing**. 3. ed. London: Academic Press.1997. 560 p.

SILVA, A. B. de. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: Unicamp, 236 p. 1999. (Coleção Livro-Texto)

SILVA, J. dos S. et al. **Espacialização da Homogeneidade e Heterogeneidade do meio biofísico para planejamento ambiental utilizando análise multivariada**. In: SIMP. DE GEOTECNOL. NO PANTANAL, 1., **Anais...** Campo Grande, nov. 2006.

_____. Zoneamentos Ambientais: Quando uma unidade Territorial pode ser considerada homogênea? **Revista Brasileira de Cartografia**, n.59, v. 1, Abril, 2007.

SIMÕES, M. G.; MOURA, H. A. S. Modelo Digital de Terreno Como Base Cartográfica e Suas Aplicações em Engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, XIV., **Anais...** Gramado, RS, v. 2, p. 441-449, 1989.

SOLBERG, A.H.S. et al. **A Markov random field moel for classification of multisource satellite imagery**. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing. 1996. v.34, n.1, p. 100-112.

TAVARES, A. C.; VITTE, A. C. Erosão dos solos e assoreamento de represas: o caso de Monte Aprazível (SP). **Geografia**, Rio Claro, v. 18, n. 1, p.51-95, 1993.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.

TROLL, C. **Geoforum**. V. 8. p. 43-46,1971.

TURNER, M.G.; GARDNER, R.H.; O'NEILL, R.V. **Landscape Ecology**. Theory and practice-pattern and process. New York: Springer, 2001.

URBAN, D. L. et al. Landscape Ecology. **Bioscience**, v.37, n.2, p.119-127, Feb.1987.

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia de utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008.

VEADO, R. W. ad-V. **Noção de Paisagem Geográfica**. Florianópolis, material inédito distribuído aos alunos da disciplina de Geografia Física/UEDESC, 2006.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L.; LIMA, J. C. A. **Classificação da Vegetação Brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123p. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/classificacaovegetal.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2012.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J.R. Técnicas de Classificação de Imagens para Análise de Cobertura Vegetal. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. (Ed.). **Sistema de Informações Geográficas**. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC. Capítulo 18, p. 351-371, 1998.

VICINI, L.; SOUZA, A. M. **Análise Multivariada da teoria à prática**. Santa Maria. UFSM, 2005. 215P.

VIEIRA, S.L. **Manual de Ciência do Solo com ênfase aos solos tropicais**. Agronômica Ceres, SP, 1988. 464p.

VIEIRA, S.R. Geoestatística Aplicada a Agricultura de Precisão. in: **Agricultura de Precisão, Viçosa, MG, 2000**.

ZILLER S.R.; GALVÃO, F. A degradação da Estepe Gramíneo-Lenhosa no Paraná por Contaminação Biológica de *Pinus elliotti* e *P. taeda*. Curitiba, PR. **Revista Floresta**, v. 32, n. 1, p.41-47, 2002.