

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO  
E METEOROLOGIA – CEP SRM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO  
MESTRADO**

Dissertação de Mestrado

**VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA  
A OBJETOS EM IMAGENS DE SATÉLITE IKONOS II  
E ELABORAÇÃO DE INDICADORES AMBIENTAIS GEORREFERENCIADOS  
NO MUNICÍPIO DE TORRES,  
PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL.**

Por

**Josiane Rovedder**

Orientador

**Profa. Sílvia Beatriz Alves Rolim**

Porto Alegre, Julho de 2007  
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e  
Meteorologia  
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto

**VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS EM  
IMAGENS DE SATÉLITE IKONOS II E ELABORAÇÃO DE  
INDICADORES AMBIENTAIS GEORREFERENCIADOS NO  
MUNICÍPIO DE TORRES, PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE  
DO SUL, BRASIL.**

Por

Josiane Rovedder  
Bióloga (2004/2 – FURG)  
Mestrado em Sensoriamento Remoto (PPGSR – CEPSSRM/UFRGS)

Orientação

Profa. Dra. Sílvia Beatriz Alves Rolim

*Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – UFRGS, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Sensoriamento Remoto*

Linha de Pesquisa: Recursos Naturais e Meio Ambiente  
Orientador: Profa. Dra. Sílvia Beatriz Alves Rolim

Porto Alegre, Julho de 2007

*"A natureza criou o tapete sem fim que recobre a superfície da terra. Dentro da pelagem desse tapete vivem todos os animais respeitosamente. Nenhum estraga, nenhum róí, exceto o homem."*

*Monteiro Lobato*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – por ser uma Universidade Pública a nosso serviço como um instrumento de transformação social. Agradeço ao Centro de Sensoriamento Remoto e toda sua equipe pelo esforço de nos tornarmos capacitados a compreender e manipular uma ferramenta de poucos privilegiados.

Agradeço minha orientadora Silvia por aceitar e entender a multidisciplinaridade, pela ajuda, paciência, críticas, por tudo que desenvolvemos e, principalmente, pela sinceridade das palavras e atitudes.

À empresa Geotec pelo fornecimento das imagens de satélite e também por todas as formas de conhecimento adquirido durante esses dois anos.

À minha família, amigos e amor por acreditarem em mim e também pela tamanha paciência. Por me incentivarem em todos os momentos, por entenderem meus sumiços e mesmo assim estarem sempre presentes.

E, principalmente, agradeço à natureza – atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o oceano, o solo, o subsolo, os elementos da biosfera, a fauna e a flora, etc – que nos assegura a subsistência física e nos dá a possibilidade de desenvolvimento intelectual, moral, social e espiritual.

**VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS EM IMAGENS DE  
SATÉLITE IKONOS II E ELABORAÇÃO DE INDICADORES AMBIENTAIS  
GEORREFERENCIADOS NO MUNICÍPIO DE TORRES, PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO  
GRANDE DO SUL, BRASIL. <sup>1</sup>**

**Autor: Josiane Rovedder**

**Orientador: Profa. Dra. Silvia Beatriz Alves Rolim**

Atualmente faz-se necessária a compreensão da vulnerabilidade ambiental e o mapeamento dos recursos naturais das regiões observadas para monitorar os impactos, visando o planejamento para a proteção dos ambientes naturais e a possível recuperação de áreas afetadas pela invasão humana. Nestes casos, Tecnologias de Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto (PDI), que incluem técnicas de processamento das imagens capturadas pelos satélites, e Sistema de Informações Geográficas (SIG) são reconhecidas como ferramentas efetivas e eficientes. Neste mesmo contexto, outra ferramenta importante são os indicadores ambientais, associados a instrumentos de planejamento e gestão dos espaços urbanos, rurais e costeiros. O objetivo geral no presente estudo é a validação de informações espacializadas, resultantes de uma classificação orientada a objetos de imagens de satélite de alta resolução IKONOS II, que expressem as condições físico-ambientais dos ecossistemas das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Unidade de Conservação (UC) no Município de Torres, Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Os indicadores ambientais apresentam-se como uma forma resumida de situações como a exploração das dunas pela extração de areia e onde 0,39% do total da APP possui algum tipo de edificação; desmatamento da mata ciliar ao longo do percurso do Rio Mampituba, que possui 0,19% da área total ocupada por edificações; utilização dos recursos naturais como as lagoas para atividades antrópicas e que possui 0,08% da sua área total ocupada por algum tipo de edificação, e destaca o bom estado de preservação do Parque Estadual de Itapeva, constantemente monitorado. Os resultados foram obtidos após processos de correção das imagens, assim como a utilização de um método de segmentação multi-resolução baseada em objetos e uma análise classificatória por Máxima Verossimilhança Gaussiana. A acurácia dessa classificação deu-se pelo índice *Kappa*, que acusou uma melhor classificação visual para a classe edificação. A delimitação das APPs e UC do município, juntamente com os indicadores ambientais possibilitaram também a elaboração de um mapa de vulnerabilidade do local, facilitando e auxiliando consultas futuras e tomadas de decisão.

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto e Meteorologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Julho de 2007.

**GEOREFERENCE ENVIRONMENTAL INDEX AND ELABORATION OF A MAP OF  
VULNERABILITY THROUGH IMAGES OF SATELLITE OF SENSOR IKONOS  
IN TORRES, COASTAL PLAIN OF RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL. <sup>2</sup>**

Nowadays becomes necessary the understanding of the natural vulnerability and the mapping of the natural resources in some regions to monitor ambient impacts, objectifying planning for environment protection and the possible recovery of areas affected by the human invasion. In these cases, Technologies of Digital Processing of Images (IDP) of Remote Sense, which includes techniques of processing of the images captured by the satellites, and Geographic Information Systems (GIS) are recognized as efficient and effective tools. In the same context, another important tool is the environment index, associates with instruments of planning and management of the urban, agricultural and coastal spaces. The general objective in the present study is the integration of spacial information that express the physic-ambient conditions of ecosystems of the Areas of Permanent Preservation (APPs) and Unit of Conservation (UC) in Torres, Coastal Plain of the Rio Grande Do Sul. The environment index are presented as an summarized form and quantified situations like the exploration of dunes for the sand extration and where 0.39% of the total of the APP possess some type of construction; deforestation of the galery forest throughout the way of Mampituba river, that possess 0.19% of total area occupied by constructions; use of the natural resources as the lagoons, that also constitute an APP, for irrigation, for example, and that possess 0.08% of its area occupied by some type of construction; and detaches good condition of preservation of the State Park of Itapeva, constantly monitored. The results had been obtained after processes of correction of the images, as well as the use of a segmentation method multi-resolution based on objects and a classification analysis by Maximum Gaussian Probability. The precision of this classification was given for the *Kappa* index, which accused a better visual classification for the classroom construction. The delimitation of APPs and UC of the city, together with the environment index also made possible the elaboration of a map of vulnerability of the place, facilitating and assisting future refers and taking of decision.

<sup>2</sup> Master of Sciences Dissertation in Remote Sensing, Center for Remote Sensing, Center for Remote Sensing and Meteorology, Graduate Program in Remote Sensing at Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, July 2007.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b>	
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Objetivo .....	3
1.1.1 Objetivos específicos .....	3
<b>CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	5
2.1 Sensor IKONOS II .....	5
2.2 Técnicas Auxiliares de Processamento Digital de Imagens .....	6
2.2.1 Correção Geométrica .....	6
2.2.2 Registro de Imagens .....	7
2.2.3 Geração do Modelo Digital do Terreno .....	8
2.2.4 Ortorretificação de Imagens de Satélite .....	9
2.3 Classificação – Abordagem Orientada a Objetos .....	9
2.3.1 Segmentação .....	11
2.3.2 Segmentação Orientada a Regiões .....	12
2.4 Classificação – Classificador de Máxima Verossimilhança Gaussiana ..	12
2.5 Avaliação da Confiabilidade da Classificação .....	15
2.6 Análise <i>Kappa</i> .....	18
2.7 Indicadores Ambientais .....	20
<b>CAPÍTULO 3 – ÁREA DE ESTUDO</b> .....	22
3.1 Localização .....	22
<b>CAPÍTULO 4 – MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	24
4.1 Material .....	24
4.1.1 Dados de Sensoriamento Remoto .....	24
4.1.2 Dados Cartográficos .....	25
4.1.3 <i>Softwares</i> e Aplicativos .....	25
4.2 Métodos .....	26
4.2.1 Trabalho de Campo .....	28
4.2.2 Correção Geométrica .....	28
4.2.2.1 Modelo Digital do Terreno .....	28
4.2.2.2 Ortorretificação .....	31
4.2.3 Segmentação .....	32
4.2.3.1 Seleção de Atributos Espectrais e Espaciais .....	35
4.2.3.2 Definição das Classes .....	40
4.2.3.3 Classificação Baseada em Objetos .....	42
4.2.4 Avaliação da Classificação .....	42
4.2.5 Utilização dos Dados Cartográficos e Elaboração do Mapa de Uso do	

Solo .....	43
4.2.6 Elaboração dos Indicadores Ambientais Georreferenciados .....	44
4.2.6.1 Tipo de Recurso .....	45
4.2.6.2 Processos Predominantes .....	46
4.2.6.3 Funções Associadas .....	46
4.2.6.4 Usos Predominantes .....	46
4.2.6.5 Tipos de Impactos .....	46
4.2.6.6 Área de Abrangência .....	47
4.2.6.7 Número de Ocupações Clandestinas .....	47
4.2.6.8 As Leis de Proteção ao Meio Ambiente .....	47
4.2.7 Elaboração do Mapa de Vulnerabilidade Ambiental .....	47
<b>CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>49</b>
5.1 Classificação Orientada a Objetos do Mosaico das Imagens IKONOS II .....	49
5.1.2 Análise Comparativa entre Classificação Baseada em Objetos e a Fotointerpretação .....	55
5.2 Indicadores Ambientais .....	58
5.2.1 Área de Preservação Permanente – Rio Mampituba .....	58
5.2.2 Área de Preservação Permanente – Lagoas .....	62
5.2.3 Área de Preservação Permanente – Dunas .....	64
5.2.4 Unidade de Conservação – Parque Estadual de Itapeva .....	67
5.3 Mapa de Vulnerabilidade Ambiental do município de Torres .....	72
5.4 Conclusão .....	75
5.5 Considerações Finais .....	78
<b>CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>79</b>



## LISTA DE TABELAS

2.1 – Características do Sensor IKONOS II .....	6
2.2 – Descrição das fontes e distorções geométricas das imagens de satélite .....	7
2.3 – Qualidade da classificação segundo intervalos do coeficiente de concordância <i>Kappa</i> .....	19
4.1 – Especificações das imagens IKONOS .....	25
4.2 – Variáveis espectrais .....	35
4.3 – Variáveis geométricas .....	36
4.4 – Variáveis texturais .....	38
4.5 – Variáveis espaciais e espectrais .....	39
4.6 – Classes definidas para classificação baseada em objetos .....	41
5.1 – Feições de interesse e sua respectiva segmentação .....	52
5.2 – Resultado da avaliação da classificação .....	54
5.3 – Indicadores Ambientais – Área de Preservação Permanente – Rio Mampituba .....	61
5.4 – Indicadores Ambientais – Área de Preservação Permanente – Lagoas .....	63
5.5 – Indicadores Ambientais – Área de Preservação Permanente – Dunas .....	66
5.6 – Indicadores Ambientais – Unidade de Conservação – Parque Estadual de Itapeva .....	70
5.7 – Áreas pertencentes às classes de Vulnerabilidade Ambiental .....	73

## LISTA DE FIGURAS

2.1 – Representação da Matriz de Confusão .....	17
3.1 – Localização geográfica da área de estudo .....	23
4.1 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos .....	27
4.2 – Coordenadas geográficas coletadas no município de Torres .....	29
4.3 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos para ortorretificação ....	31
4.4 – Metodologia de segmentação .....	33
4.5 – Metodologia adotada para geração dos Indicadores Ambientais .....	45
5.1 – Resultado da classificação da imagem IKONOS do município de Torres .....	50
5.2 – Comparação da classificação automática e classificação visual da edificação .....	56
5.3 – Produto final da classificação automática e visual do mosaico IKONOS	57
5.4 – Ambiente ciliar - APP .....	59
5.5 – Mapa de Vulnerabilidade Ambiental do município de Torres .....	74

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

A zona costeira do Rio Grande do Sul está caracterizada por uma ampla planície costeira de 700 km de extensão e até 120 km de largura, onde falésias, cristas de praia, pontais arenosos suspensos, campos de dunas, feixes de cristas de praia, compõe um sistema complexo de barreiras arenosas que aprisionam um grande sistema lagunar (Laguna dos Patos e Mirim) e uma série de outros corpos de água de proporções inferiores (Vilwock, 1984).

Por serem consideradas áreas estratégicas ao desenvolvimento social e econômico, as zonas costeiras sofrem crescentemente uma série de distúrbios ambientais prejudiciais ao funcionamento desses ecossistemas.

Assim, estas regiões devem possuir um plano de manejo específico para que continuem sendo utilizadas sem o esgotamento dos seus recursos. Uma das ferramentas utilizadas como auxílio no desenvolvimento dos planos de manejo são os indicadores ambientais. Esses podem ser conceituados como dados, informações, valores ou descrições que retratam um estado, um diagnóstico pontual de determinada situação. O

indicador pode se referir a uma informação numérica simples, a agregações matemáticas de informações ou mesmo de índices, visando expressar dada situação (Nahas, 2005).

A importância dos indicadores ambientais está associada a sua utilização como instrumento de planejamento e gestão dos espaços urbanos, rurais e costeiros, servindo para o melhor aproveitamento dos recursos naturais e também como medida preventiva de degradação ambiental e de conseqüentes prejuízos econômicos para sua reparação.

O objetivo dos indicadores ambientais georreferenciados é gerar informações espacializadas que expressem de forma sucinta as condições físico-ambientais dos ecossistemas. Em outras palavras, os indicadores ambientais deverão permitir a análise de situações complexas através de índices simplificados, qualificáveis e de fácil comunicação.

Dentro desse contexto de desenvolvimento e planejamento da expansão urbana e utilização dos recursos naturais estão inseridas mudanças contínuas à Terra em resposta à evolução natural e às atividades ali presentes. Para compreender o inter-relacionamento dos fenômenos que causam estas mudanças é necessário fazer observações com uma grande gama de escalas temporais e espaciais. A observação da Terra por meio de satélites é a maneira mais efetiva e econômica de coletar os dados necessários para monitorar e modelar estes fenômenos.

Através de *softwares* dedicados exclusivamente para tratamento de imagens, podem-se gerar imagens com diferentes composições de cores, ampliações de partes das imagens e classificações temáticas dos objetos nelas identificados. Os produtos obtidos como mapas temáticos são utilizados para estudos de geologia, vegetação, uso do solo, relevo, agricultura, rede de drenagem, inundações, entre outras variáveis.

Estes produtos, apresentados sobre áreas específicas ou sobre um contexto mais regional, permitem diagnósticos eficientes, propõem soluções de baixo custo e criam alternativas inteligentes para os desafios enfrentados face às mudanças aceleradas que são observadas em nosso território.

As técnicas de sensoriamento remoto auxiliam na obtenção de informações sobre o uso do solo e na elaboração de um diagnóstico que subsidia o planejamento e a solução de problemas. Estas técnicas são utilizadas para a coleta e integração de informações por várias razões: são normalmente mais baratas e rápidas, proporcionam um melhor entendimento espacial das relações entre os objetos vistos de cima e permitem ainda capturar dados em regiões do espectro eletromagnético que o olho humano não alcança, como, por exemplo, a porção infravermelha do espectro eletromagnético (Congalton e Green, 1999).

A partir de 1994, a maior disponibilidade de novas tecnologias para o uso civil possibilitou um enorme ganho na resolução espacial dos sensores a bordo de satélites que até então chegava a 10m. Hoje já existem sensores com resolução espacial de 1m ou superior. O IKONOS é um exemplo desta nova geração de satélites equipados com sensores de alta resolução espacial cujos dados garantem qualidade e precisão às aplicações urbanas.

### **1.1 Objetivo**

Assim, apresenta-se como objetivo geral no presente estudo a validação da classificação orientada a objetos em imagens de satélite de alta resolução IKONOS II e a utilização dos resultados como subsídio à elaboração de indicadores ambientais georreferenciados e um mapa de vulnerabilidade ambiental do Município de Torres, Planície Costeira do Rio Grande do Sul.

#### **1.1.1 Objetivos específicos**

Neste contexto, os objetivos específicos desta dissertação são:

- a) Testar a metodologia de classificação baseada em objetos para as imagens de satélite IKONOS II da área de interesse;
  
- b) Comparar os resultados obtidos pela classificação baseada em objetos e pela classificação visual de imagens de alta resolução;

c) Elaboração de indicadores ambientais georreferenciados com intuito de apresentar o estado de conservação das Áreas de Proteção Permanente e Unidade de Conservação existentes no município;

d) Elaboração de um mapa de vulnerabilidade ambiental para a região, por meio de técnicas de geoprocessamento em SIG.

A aplicação de técnicas de manipulação e processamento digital de imagens de satélite de alta resolução agregadas às informações já existentes da região de interesse proporcionará uma ferramenta útil de análise e gestão voltada à valorização dos aspectos ambientais, como a manutenção da diversidade biológica, a diversidade paisagística e outros fatores relacionados à qualidade de vida das pessoas. Isto é importante, pois possibilita a análise de locais específicos da cidade de forma sistemática e visual.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste Capítulo são apresentados os conceitos de urbanismo e sensoriamento remoto que fundamentam esta pesquisa e as técnicas aplicadas no desenvolvimento da mesma: correção geométrica, classificação da cobertura do solo e inferências espaciais.

#### **2.1 Sensor IKONOS II**

O sistema sensor IKONOS II, de interesse no presente estudo, é um exemplo da nova geração de satélites. As imagens produzidas por ele possuem resolução espacial de 1 metro no modo pancromático e 3 metros nas bandas que operam no espectro visível e no infravermelho. Foi lançado no dia 24 de Setembro de 1999 e está funcionando desde o início de janeiro de 2000.

Ele é operado pela *Space Imaging* que detém os Direitos de Comercialização mundialmente. As principais características técnicas do sensor IKONOS II estão resumidas na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1: Características do Sensor IKONOS II**

<b>Bandas</b>	<b>Resolução Espectral</b>	<b>Resolução Espacial</b>	<b>Resolução Temporal</b>	<b>Resolução Radiométrica</b>
<b>Azul</b>	0,45 a 0,52 $\mu\text{m}$	4 metros	1,5 dia	8 e 11 bits
<b>Verde</b>	0,52 a 0,60 $\mu\text{m}$	4 metros	1,5 dia	8 e 11 bits
<b>Vermelho</b>	0,63 a 0,69 $\mu\text{m}$	4 metros	1,5 dia	8 e 11 bits
<b>IVP</b>	0,76 a 0,90 $\mu\text{m}$	4 metros	1,5 dia	8 e 11 bits
<b>Pancromática</b>	0,45 a 0,90 $\mu\text{m}$	1 metros	2,9 dias	8 e 11 bits

IVP = Infravermelho

Fonte: Adaptado de Moreira, 2003

## **2.2 Técnicas Auxiliares de Processamento Digital de Imagens**

Por Processamento Digital de Imagens entende-se a manipulação de uma imagem de satélite por computador de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens. O objetivo de se usar processamento digital de imagens é melhorar o aspecto visual de certas feições de interesse para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos.

As técnicas de processamento digital de imagens (PDI), além de permitirem analisar uma cena nas várias regiões do espectro eletromagnético, também possibilitam a integração de vários tipos de dados, os quais devem estar devidamente registrados.

Na seqüência encontram-se descritas algumas das técnicas de processamento digital de imagens utilizadas.

### **2.2.1 Correção Geométrica**

A primeira razão para a realização de correção geométrica de imagens é a existência de distorções sistemáticas introduzidas durante a aquisição das imagens. Portanto, a correção geométrica trata, prioritariamente, da remoção dos erros sistemáticos presentes nas imagens.



O uso de todo o potencial das imagens orbitais de alta resolução espacial requer um modelo matemático adequado ou uma função de interpolação tridimensional baseada na geometria e orientação do sensor (Büyüksalih *et al.*, 2004). Além disso, a correção geométrica de imagens digitais é necessária para a integração de dados de diferentes origens e formatos. Segundo Toutin (2004), imagens originais contêm tantas e significativas distorções que não podem ser sobrepostas diretamente a dados de origem cartográfica num sistema de informações geográficas.

As causas destas distorções, resumidas na Tabela 2.2 estão relacionadas ao processo de aquisição da imagem.

**Tabela 2.2 - Descrição das fontes e distorções geométricas das imagens de satélite.**

Categoria	Sub-categoria	Descrição da fonte de erros
Observador / Sistema de aquisição	Plataforma	Variação de movimento Variação de atitude
	Sensor	Variação na mecânica do sensor Ângulos de visada lateral
	Instrumento de medição	Variações de tempo Sincronia de tempo
Observado	Atmosfera	Refração Turbulência
	Terra	Curvatura Rotação Topografia
	Mapa	Geóide para elipsóide Elipsóide para mapa

FONTE: Adaptada de Toutin (2004)

### **2.2.2 Registro de Imagens**

O uso de transformações polinomiais do 1º e 2º grau é bastante comum no registro de imagens. As transformações polinomiais fazem o vínculo entre as coordenadas de imagem e as coordenadas do sistema de referência (geográficas ou de projeção) através de pontos de controle. Pontos de controle são feições passíveis de identificação na imagem e no terreno, ou seja, são feições homólogas cujas coordenadas são conhecidas na imagem e no sistema de referência.

A determinação dos parâmetros da transformação polinomial selecionada é feita através da resolução de um sistema de equações. Para que esse sistema de equações possa ser resolvido as coordenadas dos pontos de controle devem ser conhecidas tanto na imagem de ajuste (imagem a ser registrada) como no sistema de referência.

Deve-se ter em mente também que a distribuição dos pontos de controle na área a ser registrada é de suma importância, pois as transformações polinomiais tendem a se comportar adequadamente apenas na região onde se encontram os pontos de controle.

### **2.2.3 Geração do Modelo Digital de Terreno**

Modelos Digitais de Terrenos são conhecidos pela sigla MDT ou mais comumente, DTM. É uma técnica de modelagem que permite representar superfícies e terrenos em 3 dimensões para sua interpretação, manipulação e análise.

O objetivo da modelagem por DTMs é representar superfícies, que são entidades contínuas, através de um modelo discreto, baseado em uma amostragem finita.

O procedimento de criação de um DTM parte das amostras originais coletadas. No entanto, estas amostras estão normalmente desordenadas, sendo assim necessário estruturar e ordenar as informações, e suas relações, de modo a possibilitar a modelagem. Esta estruturação é normalmente feita através de dois métodos: criação de uma malha regular ou triangulação.

Para construir a DTM é necessário estimar o valor do atributo (por exemplo, elevação) em cada ponto da malha. Para um determinado ponto na malha, caso exista uma amostra naquela posição, então o valor da malha será igual ao da amostra. Caso contrário é necessário estimar o valor através de um método de interpolação.

Os métodos mais populares são estimativas pelos erros mínimos quadrados, inverso da potência da distância e krigagem. Não há um método superior aos demais para todas as aplicações; a seleção do método depende da disponibilidade de amostras, das características da superfície, e de se adaptar ao tipo de amostras (tipo, precisão, importância) e ao contexto geral (distribuição das amostras).

A triangularização é um método alternativo de estruturação dos dados, para a criação de uma superfície a partir de pontos espaçados irregularmente, sem necessariamente interpolar pontos intermediários (Namikawa, 1994).

#### **2.2.4 Ortorretificação de Imagens de Satélite**

Ortorretificação é a correção da imagem, pixel-a-pixel, com relação à distorção topográfica. Com esta correção toda a imagem parece ser adquirida com visão de topo, isto é, a imagem fica em uma projeção ortográfica.

A ortorretificação é dependente de um modelo para o sensor / satélite utilizado (preexistente no *software* a ser adotado) e de um Modelo Digital de Elevação (DEM), sendo que este último garantirá a correção da imagem com relação à superfície topográfica. É necessário ainda que os pontos de controle sejam adquiridos com precisão, normalmente através de GPS ou DGPS (GPS Diferencial).

#### **2.3 Classificação – Abordagem Orientada a Objetos**

Classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos com o objetivo de mapear as áreas da superfície terrestre. O resultado final de uma classificação de uma imagem é uma imagem temática (mapa), onde os pixels classificados são representados por símbolos gráficos ou cores. Cada cor ou símbolo está associado a uma classe (área urbana, tipos de florestas, tipos de solo, etc.) definida pelo usuário.

Cada objeto de uma determinada área geográfica apresenta características próprias e um comportamento singular ao longo do espectro eletromagnético. A classificação multiespectral pode ser executada por meio da classificação não supervisionada ou pela supervisionada.

No método não supervisionado, o computador classifica a imagem, com pouca intervenção do usuário, pois o mesmo define apenas o número de classes desejadas. Este método de classificação agrupa os pixels com características espectrais

semelhantes organizando-os em grupos, conforme alguns critérios estatisticamente determinados.

Na classificação supervisionada, é necessário conhecer a área de estudo, sendo que a qualidade da informação determinará o resultado da classificação. Neste método, o agrupamento em classes é feito automaticamente, porém, o usuário define as classes ou regiões de interesse. Estas regiões de treinamento irão servir de padrão para a comparação com os demais pixels da imagem.

Existem ainda duas principais metodologias de classificação supervisionada de imagens digitais, a pixel-a-pixel e a orientada a segmentos ou regiões. Uma questão não abordada na metodologia de classificação pixel-a-pixel, é que a aparência espectral de uma área representada por um pixel é influenciada pelas respostas espectrais das áreas que a circunvizinham, representadas pelos pixels adjacentes, Blaschke *et al.* (2001), sendo complexo considerar estas informações, em todas as bandas, nesta metodologia de classificação. Uma solução para este problema é a integração das informações de pixels vizinhos, deixando-se de analisar cada pixel isoladamente para trabalhar-se com regiões relativamente homogêneas, como é realizado na classificação orientada a segmentos ou objetos. Gonzalez & Woods (1993) exprimem que a proposta da segmentação é o particionamento de uma imagem em regiões até a obtenção do isolamento dos chamados objetos ou regiões de interesse, as quais são funções diretas do problema considerado.

O primeiro sistema aplicativo comercial a implementar um sistema de interpretação de imagens baseado em objeto foi o *e-Cognition* (Definiens, 2004). Este *software* usa um algoritmo de segmentação que cria segmentos de imagens baseados em quatro parâmetros: fator de escala, pesos para cada uma das bandas espectrais, pesos para cor e forma e pesos para suavidade e compacidade (Pinho, 2005). Com base nestas considerações, é possível extrair áreas espectralmente homogêneas da imagem e dessa forma, lidar de forma mais eficiente com a complexidade espacial inerente aos alvos urbanos.

### 2.3.1 Segmentação

Em uma classificação orientada ao objeto, a etapa de segmentação multi-resolução é fundamental, pois é ela que delimita os objetos que serão classificados em seus respectivos níveis de detalhe.

A segmentação multi-resolução parte do pressuposto de que as informações contextuais são importantes e, por isto, a interpretação de uma cena deve considerar não apenas a dimensão espectral, como também a dimensão espacial. Para tanto, é necessário que o processo de segmentação seja moldado em função da resolução da imagem e da escala esperada para os objetos (Antunes, 2003).

Os métodos de segmentação podem ser classificados em dois domínios principais: a segmentação baseada em similaridade dos contadores digitais (Gonzalez & Woods, 1993) e a segmentação por descontinuidades, que está fundamentada em particionar a imagem baseando-se nas mudanças bruscas que os contadores digitais podem apresentar. Assim, a segmentação por descontinuidades busca encontrar fronteiras através de algoritmos de detecção pontos isolados (*Detection Isolate Points*), detecção de linhas (*Detection os Lines*) e detecção de bordas (*Detection Edges*). Estes algoritmos utilizam uma máscara de convolução que percorre a imagem à procura de descontinuidades, como exemplo, pode-se citar uma máscara estruturada para detectar pontos (pixels) que apresentem grandes diferenças para com os pixels vizinhos. O procedimento pode ser feito utilizando um filtro tipo passa-alta (filtro para realce) associado a uma regra, que implica que se o resultado da máscara for maior que um determinado limiar ( $|R| > T$ ) então há uma diferença significativa deste pixel com os demais, ou seja, é uma descontinuidade.

A segmentação baseada em similaridade dos contadores digitais busca dividir a imagem em regiões de interesse através das propriedades de distribuição dos pixels. Os métodos de segmentação por similaridade utilizam somente uma característica na imagem: a intensidade dos contadores. Isso faz com que se apresentem insuficiências nos procedimentos de segmentação, devido essencialmente à presença de ruídos e à iluminação não uniforme na imagem, gerando “quebras” nas regiões das fronteiras. Os métodos mais comuns de segmentação por similaridade são caracterizados por

algoritmos de limiarização (*thresholding*), crescimento de regiões (*region growing*) e divisão e fusão (*region spitting and merge*).

### **2.3.2 Segmentação Orientada a Regiões**

A segmentação numa primeira instância é determinada por um grau de homogeneidade que permita um agrupamento de pixels de acordo com uma resolução o mais fina possível. O critério de semelhança é usado para definir a uniformidade dos segmentos. Dois critérios são usados para descrever a separação do objeto da imagem: critério da cor (espectral) e o critério da forma (suavização e compactação) (Antunes, 2003).

Como seu nome implica, o método *crescimento de regiões* é um procedimento que agrupa pixels ou sub-regiões em regiões maiores. A mais simples dessas abordagens é a *agregação de pixels*, que começa com um conjunto de pontos "semente" e, a partir deles, cresce as regiões anexando a cada ponto semente àqueles pixels que possuam propriedades similares (como nível de cinza, textura ou cor).

### **2.4 Classificação - Classificador de Máxima Verossimilhança Gaussiana**

O processo de classificação consiste em inicialmente decidir sobre a forma geral da função de decisão a ser utilizada. Em uma segunda etapa, os parâmetros que constam nesta função são estimados para cada uma das classes presentes na cena sendo analisada, gerando desta forma, para cada classe individual  $w$ , uma particular função de decisão  $G(X)$ . O processo de classificação (ou rotulagem) de padrões individuais (pixels ou objetos) consiste em aplicar a regra que segue:

$$X \in w_i \quad \text{se} \quad G_i(X) > G_j(X) \quad \forall \quad i \neq j \quad (1)$$

Dentre muitas propostas de função discriminante, quando se trata de dados de sensoriamento remoto, a regra de decisão denominada Máxima Verossimilhança Gaussiana (MVG), que é um caso do classificador de *Bayes*, tem modelado de forma aceitável a distribuição dos dados.

No item 2.4 é feita uma rápida revisão do classificador Máxima Verossimilhança Gaussiana (MVG). Nesta abordagem, parte-se da função de probabilidade *a posteriori*:

$$p(w_i | x) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

A regra de decisão consiste em:

$$x \in w_i \quad \text{se} \quad p(w_i | x) > p(w_j | x) \quad \forall \quad i \neq j \quad (3)$$

Esta função de probabilidade pode ser expressa de uma forma mais conveniente utilizando-se o teorema de *Bayes*:

$$p(w_i | x) = \frac{p(x | w_i) \cdot P(w_i)}{p(X)} \quad (4)$$

onde  $P(w_i)$  é a probabilidade *a priori* para a classe  $w_i$ ,  $p(w_i | x)$  é a probabilidade *a posteriori* da classe  $i$  e  $p(x | w_i)$  é o valor da função de densidade de probabilidade de  $X$  no ponto  $x$  observado e substituindo os parâmetros conhecidos por suas respectivas estimativas de máxima verossimilhança.

Sendo a função  $p(X)$  comum a todas as classes, pode ser retirada de (3) sem que o resultado do classificador seja alterado, de modo que a regra de decisão (2) fique,

$$x \in w_j \quad \text{se} \quad p(x | w_i) \cdot P(w_i) > p(x | w_j) \cdot P(w_j) \quad \forall \quad i \neq j \quad (5)$$

O resultado da regra de classificação não será alterado se for utilizada uma função monotonamente crescente de cada termo de (4) e dado que geralmente o pesquisador não possui informação suficiente sobre as probabilidades *a priori* das classes, pode-se considerar pesos iguais para as probabilidades *a priori*.

$$G_i(X) = \ln\{p(x | w_i)\} \quad (6)$$

Assim, a regra de classificação é dada por:

$$X \in w_i \quad \text{se} \quad G_i(X) > G_j(X) \quad \forall \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

Decide-se que  $X$  pertence à classe  $w_i$  se e somente se  $G_i(X) > G_j(X)$  para todo  $j = 1, 2, \dots, m$ .

A efetiva atualização da função decisão (5), requer que seja definida uma forma específica para a função densidade de probabilidade  $f(x|w_i)$ . Como apresentado anteriormente, a experiência tem mostrado que se tratando de dados de sensoriamento remoto, a função de Gauss modela de uma forma aceitável a distribuição dos dados. Neste caso  $w_i = (M_i, \Sigma_i)$ .

Assim, a função de densidade de probabilidade de um padrão  $X$ , dado uma classe  $w_i$ , pode ser descrita por:

$$f(X|w_i) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} |\Sigma_i|} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot (X - M_i)^T \Sigma_i^{-1} (X - M_i)\right) \quad (8)$$

Permitindo assim que a função de decisão (5) fique:

$$G_i(X) = \frac{P(w_i)}{(2\pi)^{n/2} |\hat{\Sigma}_i|} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot (X - \hat{M}_i)^T \hat{\Sigma}_i^{-1} (X - \hat{M}_i)\right) \quad (9)$$

Onde  $\hat{M}_i$  e  $\hat{\Sigma}_i$  são as estimativas de máxima verossimilhança de  $M_i$  e  $\Sigma_i$ , respectivamente.

Sendo assim, a regra de classificação utilizando a densidade de Gauss na forma simplificada fica (Richards, 1998):

$$G_i(X) \propto -\ln|\hat{\Sigma}_i| - (X - \hat{M}_i)^T \hat{\Sigma}_i^{-1} (X - \hat{M}_i) \quad (10)$$

A denominação de classificador de máxima verossimilhança deve-se ao fato de se utilizar o estimador de máxima verossimilhança na regra de classificação.



Ainda assim, as classes de interesse devem ser selecionadas cuidadosamente e definidas para que a classificação da imagem obtenha uma boa performance. Este conceito é fundamentalmente importante ao analista, mas, mais que isto, saber que há uma diferença fundamental entre o que chamamos de “classe de informação” e “classes espectrais” (Jensen *et al.*, 1983; Campbell, 1983). Classes de informação são as que o usuário define. Já as classes espectrais são as que interagem com o dado do sensor remoto e precisam ser identificados e analisados pelo analista. O analista deve entender bem as características espaciais e espectrais do sistema do sensor e ser capaz de relacionar esses parâmetros com os tipos e proporções de materiais encontrados dentro da cena e dentro do pixel (Jensen, 1986).

Nos processos de classificação que envolvem abordagens paramétricas é suposto para cada classe a forma da distribuição de probabilidade. Os parâmetros necessários para o modelo são estimados a partir de amostras de treinamento, que permite assim obter aproximações de funções contínuas de densidade de probabilidade (Schowengerdt, 1997).

Em se tratando de dados de sensoriamento remoto de alta resolução espacial, há um acréscimo significativo na variância espectral interna das classes, devido à variedade e especificidade de elementos captados pelo sensor sobre uma mesma classe, ou seja, com imagens de alta resolução espacial tende-se a ter uma captação de materiais mais específicos dentro de uma mesma classe (aumento de variância) ao invés de uma captação média de vários objetos, quando comparado a sensores de satélites de média resolução espacial. Esse fator aumenta de modo expressivo a variância interna das classes, prejudicando o processo de classificação por métodos paramétricos. No classificador de Máxima Verossimilhança Gaussiana, o aumento da variância interna das classes individuais resulta em um aumento no erro de *Bayes*, degradando a acurácia da imagem temática produzida.

### **2.5 Avaliação da Confiabilidade da Classificação**

Normalmente, a Matriz de Confusão ou de Erros é usada para avaliar o resultado de uma classificação, a fim de verificar a qualidade dos dados contidos nesse mapa. A confiabilidade da matriz de erros depende da amostragem, registro e conhecimento

(Congalton e Green, 1999). Dessa maneira é importante que a amostra de treinamento seja bastante homogênea e representativa. Normalmente, as amostras de treinamento são selecionadas a partir do conhecimento prévio que o analista tem da cena. Esse conhecimento pode ser teórico (conhecimento do comportamento espectral dos alvos) ou prático (adquirido em visitas ao campo, em análises de imagens orbitais) (Novo, 1989).

De acordo com Novo (1989), também é importante na seleção dos elementos amostrais que seu tamanho seja grande o suficiente para permitir a estimativa das características espectrais da classe a ser mapeada. Sendo assim, não é fácil selecionar um tipo apropriado de amostragem para o cálculo da exatidão do mapeamento, assim é difícil gerar uma matriz de erro que seja representativa de todas as classes interpretadas na imagem (Moreira, 2003).

Selecionados o tipo de amostragem e o tamanho dessa amostragem parte-se, então, para elaborar a matriz de erro. Uma matriz de erro compara informações de locais de referência com informações no mapa por um número de elementos amostrais da área. Unidades amostrais são porções do mapa que serão amostradas para avaliação da acurácia. Nessa matriz, usualmente as colunas são tomadas por corretas e o dado de referência e as linhas são usadas para mostrar o que foi classificado no mapa ou na classificação gerada de dados de sensoriamento remoto.

De acordo com Congalton e Green (1999), conforme a Figura 2.1, constrói-se uma matriz de erro com  $n$  elementos amostrais distribuídos dentro de  $k^2$  células, onde cada elemento amostral é atribuído a uma das  $k$  classes na classificação (usualmente as linhas) e, independentemente, para uma mesma classe  $k$  no conjunto de dados de referência (usualmente as colunas). Logo,  $n_{ij}$  denota o número de amostras classificadas dentro da categoria  $i$  ( $i=1, 2, \dots, k$ ) na classificação de sensoriamento remoto e categoria  $j$  ( $j=1, 2, \dots, k$ ) no conjunto de referência.

		$+i = \text{colunas (referência)}$			Total da linha
		1	2	k	$x_{i+}$
$i+ = \text{linhas (classificação)}$	1	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{1k}$	$x_{1+}$
	2	$x_{21}$	$x_{22}$	$x_{2k}$	$x_{2+}$
	k	$x_{k1}$	$x_{k2}$	$x_{kk}$	$x_{k+}$
Total da coluna	$x_{+j}$	$x_{+1}$	$x_{+2}$	$x_{+k}$	N

**Figura 2.1: Representação da Matriz de Confusão**

Fonte: Congalton e Green, 1999

A matriz de erro é uma representação da acurácia do mapa porque permite correlacionar a imagem classificada com dados que são tidos por verdade terrestre.

De acordo com Congalton e Green (1999), a estimativa de acurácia é adquirida pela exatidão global (eg) que é a razão entre a soma de todos os elementos amostrais classificados corretamente pelo número total de elementos. Esta medida é calculada pela expressão:

$$eg = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii}}{N} \quad (11)$$

Onde:

$x_{ii}$  = Elementos da diagonal principal

r = Número de classes

N = Número total de elementos amostrais

A acurácia pode ser analisada individualmente por meio da análise dos erros de inclusão (erros de comissão) e erros de exclusão (erros de omissão) presentes na classificação (Congalton e Green, 1999). Um erro de omissão ocorre ao incluir um objeto na classe a qual ele não pertence e o de omissão quando um objeto é excluído da classe a que pertence. Na matriz de erro esses valores são obtidos por meio das exatidões do usuário e do produtor.

A exatidão do usuário é expressa pela razão do número de elementos distribuídos corretamente em uma classe pelo número total de elementos classificados na mesma. Esta medida reflete os erros de comissão na classificação e indica a probabilidade de um elemento amostral agrupado em uma determinada classe realmente pertencer à mesma (Lillesand e Kiefer, 1994). É calculada segundo a expressão:

$$eu = \frac{x_{ii}}{x_{i+}} \quad (12)$$

Onde:

$x_{ii}$  = Número de elementos classificados corretamente

$x_{i+}$  = Total de elementos classificados para uma classe  $i$

A exatidão do produtor ( $ep$ ) é a razão entre o número de elementos classificados corretamente em uma determinada classe pelo número de elementos de referência amostrados para a mesma classe (Lillesand e Kiefer, 1994). Esta medida reflete os erros de omissão da classificação sendo expressa por:

$$ep = \frac{x_{ii}}{x_{+i}} \quad (13)$$

Onde:

$x_{ii}$  = Número de elementos classificados corretamente

$x_{+i}$  = Total de elementos classificados para uma classe  $i$

Dessa maneira, matriz de erro não é simplesmente uma questão de correto ou incorreto e sim onde está o erro e quais classes estão sendo confundidas. Para essa exatidão ser útil, o usuário deve ter confiança de que a avaliação é uma exata representação da verdade terrestre.

## **2.6 Análise Kappa**

Segundo Congalton e Green (1999), este coeficiente é baseado na diferença entre concordância observada (diagonal principal da matriz de confusão com a concordância entre a classificação e os dados de referência) e a chance de concordância entre os

dados de referência e uma classificação aleatória (produto entre os totais marginais da matriz). A equação que fornece o valor de *Kappa* é dada por:

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}} \quad (14)$$

Onde:

$r$  = Número de classes

$x_{ii}$  = Número de elementos classificados corretamente

$x_{i+}$  = Total de elementos classificados para uma categoria  $i$

$x_{+i}$  = Total de elementos de referência amostrados para uma categoria  $i$

$N$  = Número total de amostras

Landis e Koch (1977) propõem uma escala de avaliação da qualidade da classificação. Esta escala está exposta na Tabela 2.3.

**Tabela 2.3: Qualidade da classificação segundo intervalos do coeficiente de concordância Kappa.**

Valor do Kappa	Qualidade da Classificação
<0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: adaptado de Landis e Koch (1977)

Uma das vantagens alegadas para uso do *Kappa* é que ele incorpora a informação dos pixels mal classificados, e não apenas dos bem classificados como a exatidão global.

De forma simplificada, a exatidão global é um índice que superestima a confiabilidade da classificação, e o *Kappa* é uma avaliação mais adequada.

## **2.7 Indicadores Ambientais**

O confronto entre as atividades econômicas e a utilização racional dos recursos naturais remete a um estado de alerta quanto ao processo contínuo de destruição dos bens ambientais. O desenvolvimento econômico, ao intensificar o processo de retirada dos bens naturais compromete não só a qualidade ambiental como também o próprio desenvolvimento pela reposição a meio ambiente dos resquícios advindos da utilização não sustentável, os quais geram inúmeros custos sociais, custos estes que precisam ser urgentemente contidos.

É nesse sentido que a formulação de variáveis – geoindicadores – a fim de descrever o estado atual do meio ambiente, da biodiversidade e suas mudanças, torna-se elemento chave para a avaliação de processos diversos, naturais e antrópicos, em sistemas ambientais.

A pesquisa dos geoindicadores pode ser um meio de reunir dados sobre as mudanças passadas e presentes, divulgar e utilizar métodos simples de avaliação e controle das mudanças ambientais e ajudar a distinguir as variações naturais das induzidas pelo homem (Coltriani, 2001).

Os indicadores ambientais podem ser desenvolvidos de duas maneiras, refletindo enfoques distintos. O primeiro enfoque refere-se à produção de indicadores ambientais georreferenciados que retratem e espacializem as variáveis físico-ambientais e as pressões exercidas sobre o ambiente. Podem ser indicadores únicos ou primários, tais como: cobertura vegetal, fauna, solos, qualidade da água, qualidade do ar, e indicadores compostos que resultem de duas ou mais variáveis, por exemplo: degradação e exaustão dos solos, ambientes susceptíveis, áreas degradadas, áreas críticas, etc. A estes indicadores podem ainda ser incorporadas as variáveis estatísticas de demografia e atividades produtivas.

O segundo enfoque aplica-se à produção de indicadores ambientais que “revelem a dimensão econômica (eficiência do uso dos recursos) e equitativa (distribuição dos custos e benefícios do uso dos recursos das principais questões ambientais).” (Motta, 1996). Para tanto, é necessário que se tenha como base teórica a sustentabilidade

ambiental, na qual o crescimento econômico deve estar associado à não depauperação dos recursos naturais e a não alteração dos ciclos biogeoquímicos da biosfera.

## **CAPÍTULO 3**

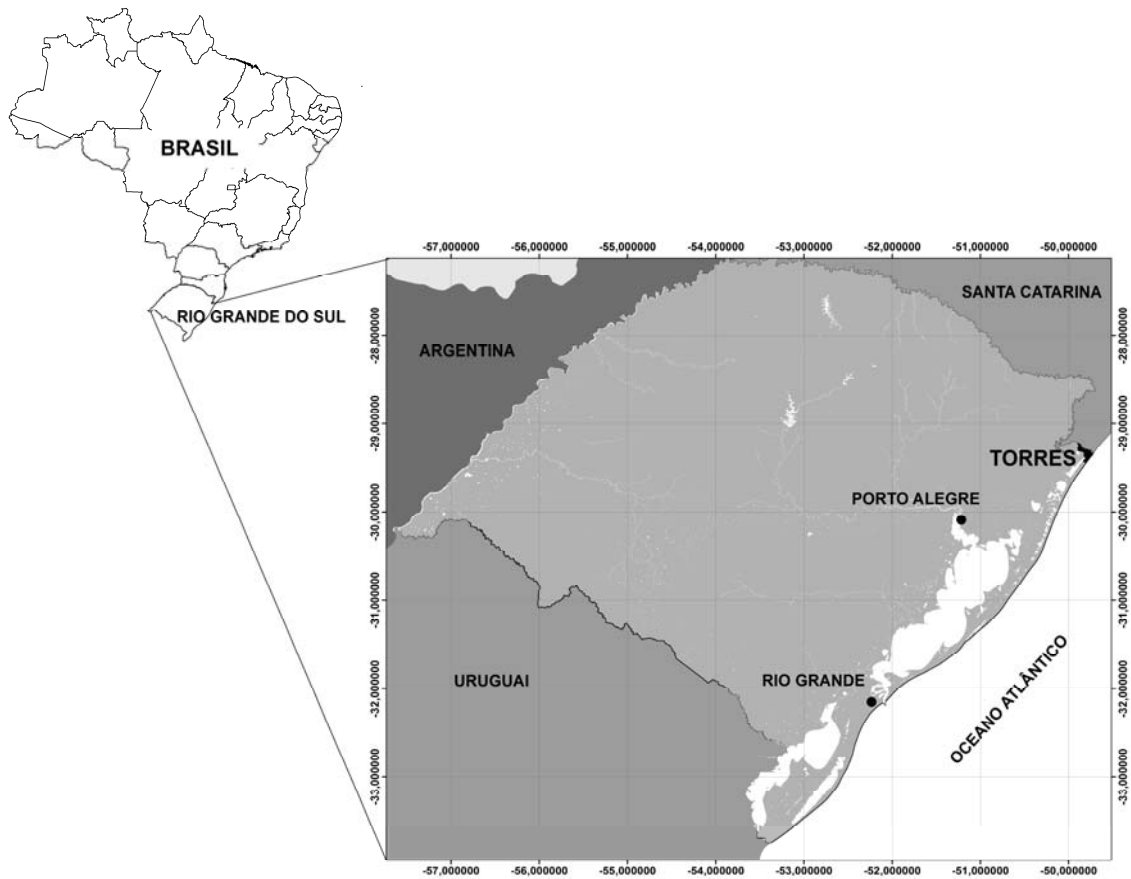
### **ÁREA DE ESTUDO**

#### **3.1 Localização**

Localizado no extremo norte da região costeira do Rio Grande do Sul, o município de Torres (Figura 3.1), caracterizado em maio de 1878, encontra-se nas coordenadas 29°20' de latitude sul e 49°43' de longitude oeste. Ao norte está limitado pelo Rio Mampituba, o qual, neste trecho, corresponde à divisa do Estado do Rio Grande do Sul com o Estado de Santa Catarina. Seus limites a sudoeste são os municípios de Morrinhos do Sul, Três Forquilhas, Três Cachoeiras e Arroio do Sal e, a oeste limita-se com Cambará do Sul.

Distante 196 km de Porto Alegre, capital do Estado, possui 817,80 km<sup>2</sup> de área territorial. Pertence a Micro-Região Homogênea, espaço homogêneo definido como forma de organização da produção pelo IBGE, 027, de Osório, a qual compreende o litoral setentrional do Rio Grande do Sul.





**Figura 3.1: Localização geográfica do município de Torres**

## **CAPÍTULO 4**

### **MATERIAL E MÉTODOS**

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos usados para a elaboração da dissertação.

#### ***4.1 Material***

##### ***4.1.1 Dados de Sensoriamento Remoto***

Analisou-se o mosaico de duas imagens IKONOS (Tabela 4.1) – Pancromática com 1 metro e 4 canais multiespectral com 4 metros de resolução espacial – cedidas gentilmente pela empresa Geotec de Porto Alegre.

**Tabela 4.1 – Especificações das imagens IKONOS.**

	DATA	HORA	TIPO	VISADA LATERAL	BANDAS
<b>IMAGEM 1</b>	31/07/2006	13:46	ORStandard - 2A	30.0193 degrees	PAN 1m 4 MULTI 4m
<b>IMAGEM 2</b>	31/07/2006	13:45	ORStandard - 2A	30.3569 degrees	PAN 1m 4 MULTI 4m

#### **4.1.2 Dados Cartográficos**

A seguir, são apresentados os dados cartográficos utilizados.

- 1- Plano Diretor de Torres - RS.
- 2- Pontos de coordenadas geográficas (166 pontos) do município de Torres, coletados por técnicos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).
- 3- *Shapefiles* contendo os limites das Áreas de Proteção Permanente de interesse: Classe Dunas, Hidrografia (Rios e Lagoas) e Parque Estadual de Itapeva fornecidos pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA).
- 4- *Shapefile* contendo os limites Municipais, elaborado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

#### **4.1.3 Softwares e Aplicativos**

Os *softwares* utilizados estão especificados a seguir:

- 1- Autocad Map 2007: para edição dos arquivos contendo os vetores de geometria ponto cedidos pela UFSM.

- 2- ERDAS Imagine 8.7: utilizado para a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE) e ortorretificação, todos os processos de PDI (processamento digital de imagens), classificação e edição dos dados vetoriais e matriciais e para reunir todos os resultados das demais etapas para elaboração das inferências espaciais.
- 3- e-Cognition 4.0: processo de segmentação pré-classificatória das imagens de satélite.
- 4- ArcGis 9.1: edição dos dados vetoriais e conferência dos resultados de PDI.

#### **4.2 Métodos**

O desenvolvimento deste trabalho foi efetuado nas seguintes etapas: preparação das imagens, estruturação de uma rede semântica, seleção de amostras de treinamento, segmentação, classificação orientada a objetos por máxima verossimilhança (MAXVER), avaliação dos resultados das classificações, vetorização dos usos do solo no município de Torres, elaboração dos indicadores ambientais e análise dos resultados finais.

Os procedimentos metodológicos usados neste trabalho foram realizados de acordo com uma seqüência conforme o fluxograma representado na Figura 4.1.

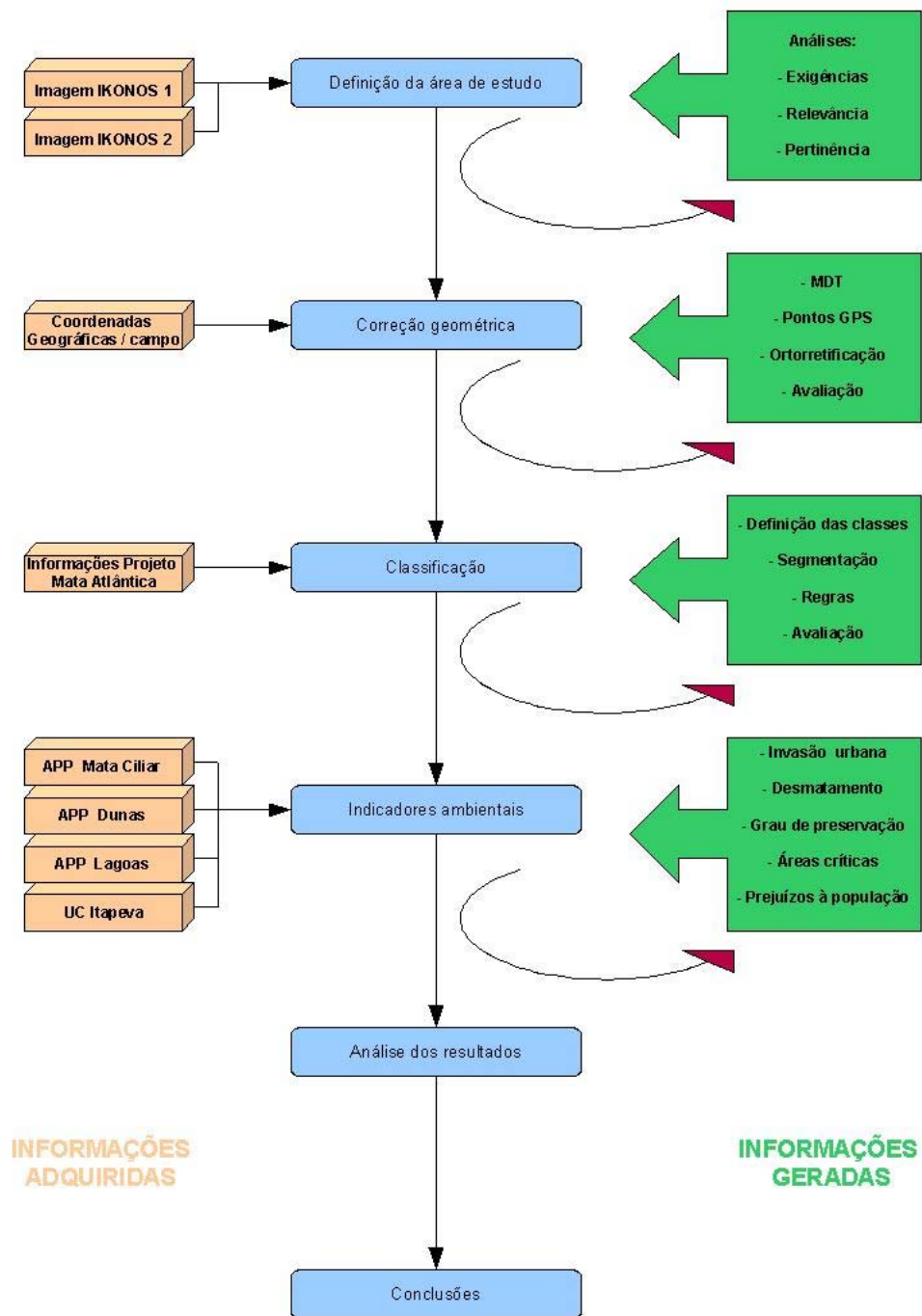


Figura 4.1: Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

#### **4.2.1 Trabalho de campo**

Foram realizadas três visitas a campo. A primeira para auxiliar na seleção das duas áreas para aplicar o processo de classificação, bem como detectar as classes ali existentes. A segunda foi efetuada para selecionar na imagem por meio de amostragem aleatória simples, feições que posteriormente serviram como verdade terrestre. Foram então considerados os elementos para cada classe de acordo com essa verdade terrestre. A terceira foi para analisar visualmente a acurácia temática, ou seja, comparar visualmente o que foi classificado com o que havia no local.

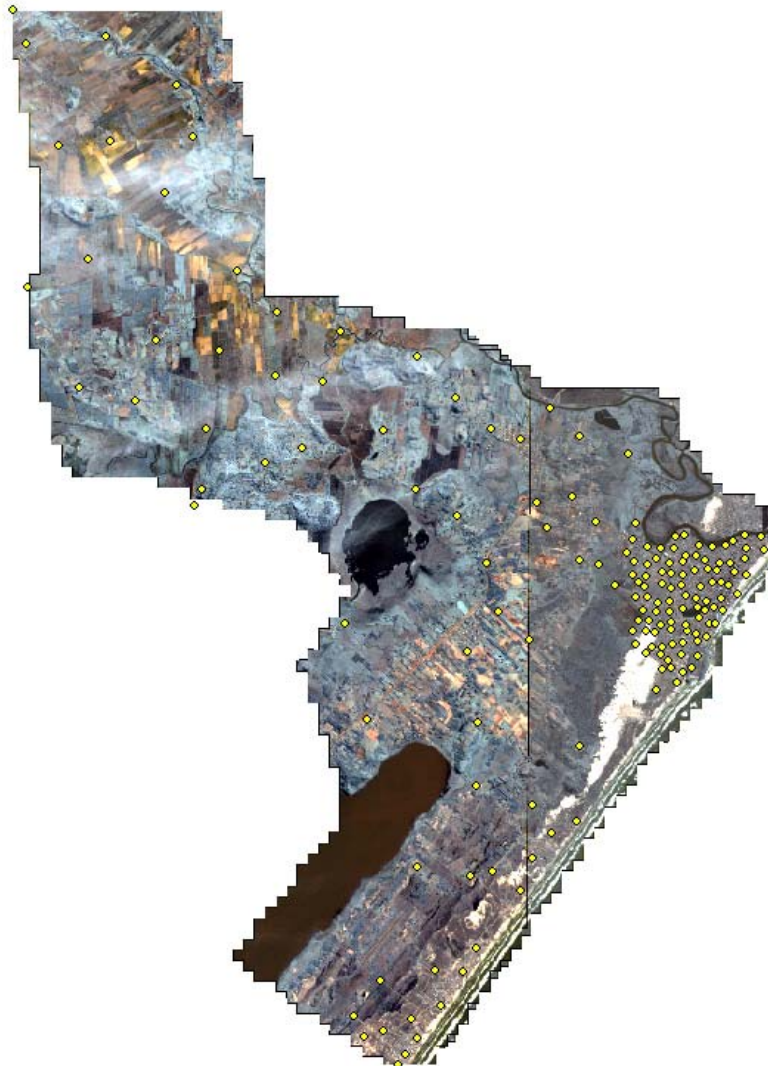
#### **4.2.2 Correção Geométrica**

Para integração de duas imagens e dados cartográficos de diferentes fontes e formatos, foi preciso realizar a correção geométrica das imagens. As etapas deste procedimento compreenderam a coleta dos dados (pontos de controle), a geração de um modelo digital do terreno com resolução adequada, a ortorretificação das imagens e avaliação deste processo.

##### **4.2.2.1 Modelo Digital do Terreno**

Para elaboração do Modelo Digital de Terreno (MDT), necessário para a ortorretificação das imagens de satélite IKONOS, utilizaram-se 150 pontos dos 166 pontos de controle coletados no município de Torres e fornecidos gentilmente pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Estes pontos foram coletados por técnicos do laboratório de Geoprocessamento do INPE, sediado em Santa Maria. Foram fornecidos em um arquivo formato *\*dxf* e em seguida, através do *software* Autocad foi convertido para o formato *shapefile*, para que fosse possível sua manipulação no *software* ArcGis (Figura 4.2).



**Figura 4.2: Coordenadas geográficas coletadas no município de Torres.**

Originalmente foram coletados nas projeções UTM e *datum* WGS 84 as quais foram mantidas coincidindo com os dados das imagens IKONOS de interesse.

O MDT foi gerado no ArcGis pelo método de triangulação com interpolação linear, utilizando-se 150 pontos de controle, deixando outros 16 para conferência da exatidão geométrica das imagens ortorretificadas a partir do MDT gerado.

Com a digitalização dos pontos de controle criou-se uma grade triangular irregular para representar a superfície. Na modelagem da superfície por meio dessa grade, cada polígono que forma uma face do poliedro é um triângulo. Os vértices do triângulo são os pontos amostrados da superfície. Esta modelagem, considerando as arestas dos triângulos, permite que as informações morfológicas importantes, como as descontinuidades representadas por feições lineares de relevo (cristas) e de drenagem (vales), sejam consideradas durante a geração da grade triangular, possibilitando assim, modelar a superfície do terreno preservando as feições geomorfológicas da superfície (Câmara *et al.*, 1997).

A resolução do produto gerado nesta etapa foi a mesma das imagens a serem ortorretificadas, ou seja, 1 metro. Este cuidado foi tomado porque segundo Silva e Vergara (2005), em regiões de grande inclinação do relevo, não muito comum nesta área de estudo, mas existentes, a distância entre dois pontos do MDT adequa-se melhor à realidade do terreno do que se forem utilizadas distâncias maiores. Além disso, como o modelo gerado em formato matricial possui coordenadas planimétricas e altimétricas (nível de cinza) e tem a mesma resolução da imagem IKONOS a ser corrigida, não há perda de informação por degradação da resolução espacial ao se fazer a reamostragem do MDT no processo da ortorretificação. Após a construção do MDT foi necessária a conferência com os outros 16 pontos de controle e teste para que o processo de correção geométrica fosse completado.

Um outro processamento foi necessário para se conseguir associar os valores de elevação ortométrica aos pontos coletados. As cotas de altitude obtidas pelo GPS baseavam-se no elipsóide e por isso devem ser acrescidas do valor da ondulação geoidal em cada ponto para se conseguir as cotas ortométricas (altitude com significado físico – IBGE, 2005a). Estas cotas, referidas ao geóide, são necessárias para se utilizar as informações de altitude nos procedimentos de ortorretificação.

As coordenadas obtidas pelo pós-processamento dos dados de campo foram exportadas para um aplicativo do IBGE, denominado Mapgeo, que usa as coordenadas planimétricas para obter o valor da ondulação geoidal naquele ponto. Na obtenção das altitudes ortométricas estes valores foram somados àqueles das altitudes segundo a equação (15):



$$H = h - N \quad (15)$$

Onde,

H = altitude ortométrica;

h = altitude elipsoidal;

N = ondulação geoidal fornecida pelo programa Mapgeo.

#### 4.2.2.2 Ortorretificação

Com todos insumos necessários adquiridos, gerados e avaliados, ortorretificaram-se as imagens IKONOS através do modelo *racional polinomial* (RPC) no *software* Erdas 8.7. No processo de correção pelo modelo racional polinomial, é possível ortorretificar a imagem fusionada (bandas multi-espectrais com a pancromática), mas neste caso ao selecionar a imagem é preciso indicar os metadados contendo as informações de RPC, que se perdem ao fazer a fusão. O arquivo indicado deve ser aquele que contém as informações da banda PAN, pois a sua geometria se mantém depois de fusionadas as bandas. O esquema da ortorretificação pode ser verificado no fluxograma da Figura 4.3.

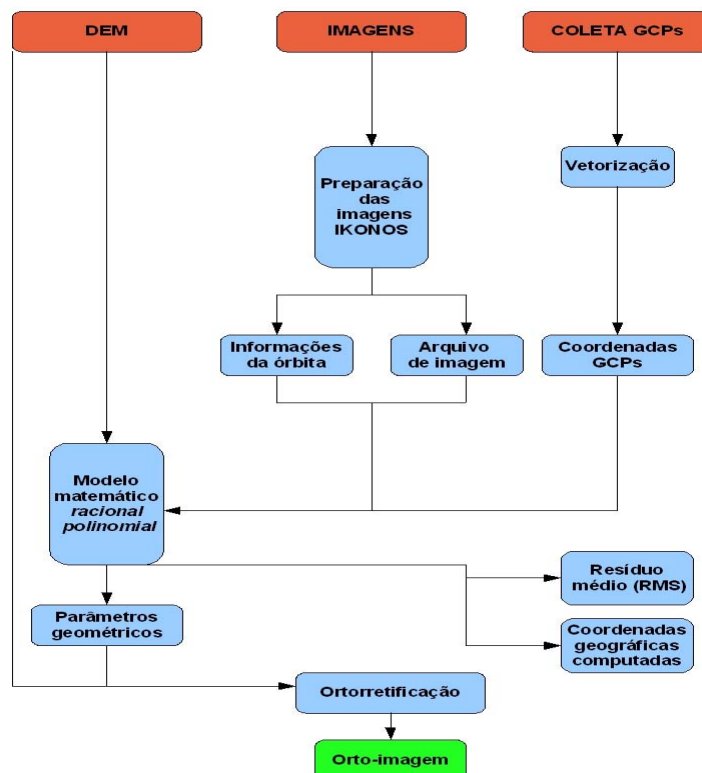


Figura 4.3: Fluxograma dos procedimentos metodológicos para ortorretificação.

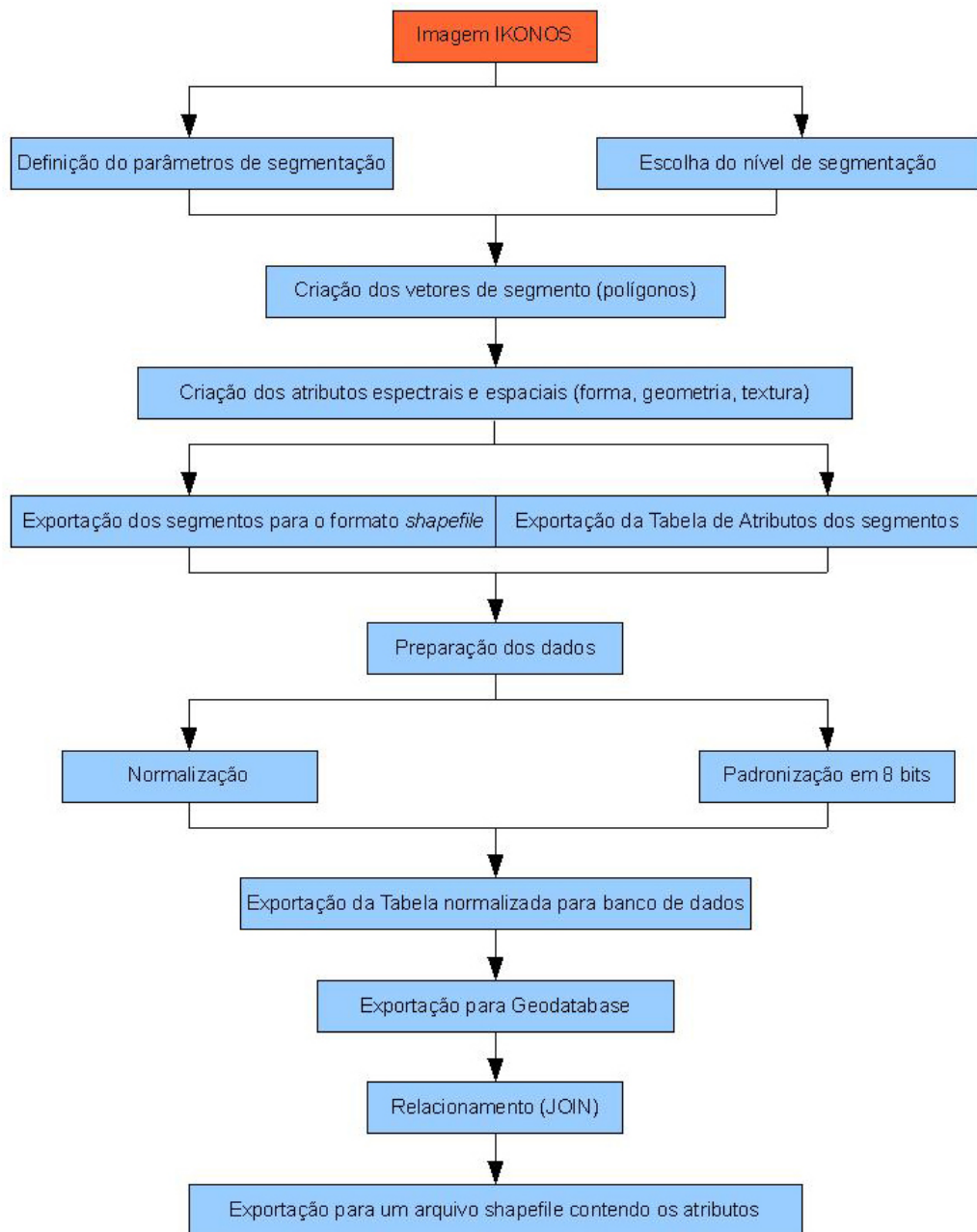
Primeiramente ortorretificaram-se as bandas pancromáticas de cada imagem e posteriormente as multiespectrais e infra-vermelho, nesta mesma ordem, separadamente.

Após, a conferência com relação aos pontos de controle, verificou-se um erro residual médio abaixo dos 4 metros (RMS), erro aceitável para a imagem tipo Geo (Toutin, 2000).

Após as correções geométricas, as imagens foram fusionadas pelo método de principais componentes e então foi feita uma avaliação da qualidade destes produtos. Optou-se em realizar o processo de fusão antes da avaliação da precisão de posicionamento. Esse procedimento auxiliou na identificação das feições e não comprometeu a qualidade da verificação.

#### **4.2.3 Segmentação**

O fluxograma exibindo a seqüência da metodologia adotada para realizar a etapa de segmentação encontra-se ilustrado na Figura 4.4.



**Figura 4.4: Metodologia de Segmentação**

Foi realizada a segmentação multirresolução (ou multiescala) e em níveis hierárquicos, determinados pelo critério de fusão de segmentos que se torna menos rígido conforme se ascende na escala hierárquica, ou vice-versa. Assim, neste estudo foram gerados diferentes testes e conseqüentes resultados de segmentação, com diferentes

tamanhos de objetos. Estes resultados se organizam em níveis inter-relacionados, sendo o nível superior o que possui segmentos maiores. O nível imediatamente inferior possui subobjetos que são formadores dos objetos do nível superior e assim sucessivamente.

Para executar a segmentação, foi necessário definir os seguintes valores:

- a) Peso das bandas, isto é, quais bandas participarão da segmentação;
- b) Parâmetro de escala;
- c) Critérios mistos de heterogeneidade referentes aos valores espectrais e de forma.

O peso das bandas pode ser 1 ou 0, significando respectivamente sua participação ou não no processo de segmentação. O parâmetro de escala pode variar de acordo com o nível de resolução escolhido para a segmentação. Os valores de heterogeneidade (espectral e forma) variam de 0 a 1 e se complementam, de modo que a soma dos pesos para heterogeneidade espectral e forma é sempre igual a 1.

Em todo processo de segmentação foi necessário que o usuário entrasse com valores de limiares testes até obter uma aproximação que o conduzisse a um resultado satisfatório. Os valores testados foram aceitos a partir da avaliação da segmentação, quando esta correspondia à realidade dos limites das feições. Os polígonos foram avaliados quanto à heterogeneidade interna e delimitação da feição, segundo um critério de cor, forma e contexto.

Ao final de uma seqüência de testes utilizando-se diferentes parâmetros, optou-se pela utilização da segmentação chamada aqui de “Nível 8” que foi o nível que melhor resultado apresentou; onde ao parâmetro escala foi atribuído o valor 10, ao parâmetro cor o valor 0.9, forma 0.1, suavidade 0.9 e, finalmente, ao parâmetro compactação foi atribuído o valor 0.1.

#### 4.2.3.1 Seleção dos Atributos Espectrais e Espaciais

A metodologia utilizada nessa etapa foi a mesma utilizada por Batista (2006).

Os atributos espectrais levados em consideração nessa etapa dizem respeito a radiância refletida e/ou emitida pelos objetos de interesse nas diversas regiões do espectro eletromagnético abrangidas pelos dados. Este atributo define o comportamento espectral de cada objeto em particular.

As variáveis espectrais utilizadas nesta dissertação foram definidas conforme a Tabela 4.2.

**Tabela 4.2: Variáveis espectrais.**

<b>Variável Espectral</b>	<b>Definição</b>
<b>Média Espectral</b>	Expressa o valor médio dos contadores digitais de uma banda espectral para cada objeto da imagem segmentada.
<b>Desvio-padrão Espectral</b>	Quantifica a variação dos contadores digitais para cada objeto em uma banda espectral na imagem segmentada.
<b>Razão Espectral</b>	Razão entre a média espectral do segmento de uma banda pelo somatório das médias espectrais sobre todos os segmentos.
<b>Brilho</b>	Componente que carrega a informação espectral da totalidade de bandas espectrais.
<b>Diferença Máxima</b>	Indica a máxima diferença espectral de um segmento entre todas as variáveis espectrais de média.

Fonte: Adaptado Batista, 2006.

Diferentemente dos atributos espectrais, os atributos espaciais não são propriedades de pixels individuais, mas de regiões da imagem. Desta forma, a estimação de atributos espaciais requer uma prévia segmentação da imagem.

As variáveis espaciais normalmente utilizam uma unidade de medida diferente uma das outras por características individuais próprias. Por exemplo, uma variável de área utilizará uma unidade de medida diferente de uma variável que quantifica assimetria

dos objetos. A consequência disso é a necessidade de normalização das variáveis, de modo que haja uma escala comum entre todas as variáveis, permitindo a utilização conjunta de medidas de correlação estatística entre as classes.

Como principal critério para seleção das variáveis e das classes de informação utilizou-se, então, a normalidade dos dados e a quantidade de amostras, respectivamente. A normalidade dos dados foi estimada, também no presente estudo, por aproximação visual através de análise dos histogramas.

Os atributos geométricos utilizados na caracterização dos objetos em uma imagem digital são geralmente aqueles empregados na morfologia matemática, tal como área, perímetro, largura, etc. Para fins de utilização no processo de classificação, esses atributos devem ser invariantes frente transformações como translação, rotação e variações de escala.

Nesta dissertação foram utilizadas as seguintes variáveis geométricas (Tabela 4.3)

**Tabela 4.3: Variáveis Geométricas**

<b>Variável Geométrica</b>	<b>Definição</b>
<b>Área</b>	Medida de quantidade de superfície, definida analiticamente sobre os segmentos de uma imagem, a partir da seguinte regra: um único pixel tem o valor absoluto de um (1) e uma única dimensão no espaço, derivado da sua resolução espacial.
<b>Razão Comprimento Largura</b>	Induz a informação da forma geométrica dos objetos, onde quanto mais próximo do valor um (1) mais regular é o objeto. Para determinação analítica da variável razão comprimento por largura propõe-se a utilização das componentes principais* dos segmentos.
<b>Comprimento</b>	Extensão linear no espaço de uma extremidade à outra em um objeto.
<b>Largura</b>	Extensão linear no espaço de um lado a outro no objeto.

<b>Compactação</b>	Índice de concentração de informações (pixels) sobre um segmento, mensurando o preenchimento de pixels sobre um retângulo inscrito num segmento.
<b>Ajuste Elíptico</b>	Aproximação do objeto em relação à forma geométrica da elipse.
<b>Ajuste Retangular</b>	Segue a mesma proposta do ajuste elíptica, porém com uma aproximação do objeto em relação à forma geométrica retangular.
<b>Comprimento da Borda</b>	Extensão linear no espaço do contorno de um objeto.
<b>Índice de forma</b>	Índice que fornece a informação de suavidade e rugosidade dos contornos de um objeto.
<b>Densidade</b>	Compactação dos objetos. A morfologia de um segmento com a compactação ideal está o mais próximo possível de um quadrado. Quanto mais similar o segmento for da figura geométrica do quadrado, maior densidade ele terá e quanto mais distinto o segmento for de um quadrado, menor densidade ele terá.
<b>Direção Principal</b>	Orientação espacial mais significativa para cada objeto. A direção principal de um segmento é o próprio autovetor da primeira componente deste segmento, em unidade de medida de graus, varando de 0 a 180°.
<b>Assimetria</b>	Regularidade geométrica de um segmento. O segmento que for morfologicamente mais próximo à circunferência e o quadrado terão menor valor de assimetria, ou seja, mais simétrico será.

Fonte: Adaptado Batista, 2006.

\* A fundamentação da análise de componentes principais está baseada na supressão de dados redundantes contidas nas variáveis com alta correlação linear, para uma ou mais componentes, concentrando um maior número de informações. Após a transformação da análise de componentes principais o conteúdo máximo de informação será concentrado na primeira componente principal, havendo decréscimo de informação nas componentes subseqüentes.

No presente estudo foram definidos os atributos espaciais de textura pela utilização de estatísticas de segunda ordem, estimadas a partir das matrizes de coocorrência dos níveis de cinza (Grey Level Cooccurrence Matrix) (GLCM). Enquanto que as medidas de primeira ordem descrevem a distribuição dos níveis de cinza de uma região da imagem, as medidas de segunda ordem, além de descreverem a distribuição, apresentam a relação espacial entre os pixels.

A eficiência das variáveis de homogeneidade, contraste, dissimilaridade, entropia, média, desvio-padrão e correlação, partindo dos contadores digitais individuais para cada segmento, foram quantificados e pesquisados (Tabela 4.4).

**Tabela 4.4: Variáveis Texturais.**

<b>Variável Geométrica</b>	<b>Definição</b>
<b>Homogeneidade</b>	Descreve uma medida de homogeneidade local dos níveis de cinza em uma imagem. A quantificação da medida da homogeneidade receberá os maiores valores para as menores diferenças entre os contadores digitais.
<b>Contraste</b>	Diz respeito à diferença entre os mais altos e os mais baixos valores de um conjunto de pixels adjacentes (frequência espacial).
<b>Dissimilaridade</b>	Quantifica a diferença interna entre os elementos. Quanto maior for a diferença entre os elementos, maior será o valor de dissimilaridade.
<b>Entropia</b>	Estima a desordem dos dados. Está relacionada à energia da GLCM através de uma correlação linear negativa. Menores valores apresentados pela GLCM indicam que menos uniforme será a textura e maior grau de desordem (entropia).
<b>Momento Angular de Segunda Ordem</b>	Avalia a uniformidade da textura, segundo a repetição de pares de CD's. Quando um objeto é homogêneo, apenas os pixels com CD's muito similares estão presentes e quando a textura é uniforme, poucos elementos da GLCM são diferentes de zero, deste



	modo a energia alcança valores próximos ao valor máximo.
<b>Média</b>	Variável espacial de textura, da função da média da matriz de coocorrência dos contadores digitais expressa a média em termos da GLCM.
<b>Desvio-padrão</b>	Variável espacial de textura, da função desvio-padrão da matriz de coocorrência dos contadores digitais, fornece uma medida de dispersão dos dados em torno da média em uma determinada direção, a uma certa distância.
<b>Correlação</b>	Fornece uma informação de medida de ordenação local dos CD's. A correlação apresenta-se padronizada de zero a um. Quanto mais próximo do valor 1, maior a correlação, implicando em uma maior afinidade linear positiva entre os CD's.

Fonte: Adaptado Batista, 2006.

A Tabela 4.5 apresenta todas as variáveis (espectrais e espaciais) selecionadas.

**Tabela 4.5: Variáveis espaciais e espectrais.**

<b>Atributos Espectrais</b>	
<b>Variável 1</b>	Média – Banda 1
<b>Variável 2</b>	Desvio-padrão – Banda 1
<b>Variável 3</b>	Razão – Banda 1
<b>Variável 4</b>	Média – Banda 2
<b>Variável 5</b>	Desvio-padrão – Banda 2
<b>Variável 6</b>	Razão – Banda 2
<b>Variável 7</b>	Média – Banda 3
<b>Variável 8</b>	Desvio-padrão – Banda 3
<b>Variável 9</b>	Razão – Banda 3
<b>Variável 10</b>	Média – Banda 4
<b>Variável 11</b>	Desvio-padrão – Banda 4
<b>Variável 12</b>	Razão – Banda 4
<b>Variável 13</b>	Brilho

Variável 14	Diferença Máxima
<b>Atributos Espaciais (Geometria)</b>	
Variável 15	Área
Variável 16	Comprimento
Variável 17	Largura
Variável 18	Comprimento/Largura
Variável 19	Compactação
Variável 20	Ajuste Retangular
Variável 21	Comprimento da Borda
Variável 22	Índice de Forma
Variável 23	Densidade
<b>Atributos Espaciais (Textura)</b>	
Variável 24	Homogeneidade GLCM
Variável 25	Contraste GLCM
Variável 26	Dissimilaridade GLCM
Variável 27	Entropia GLCM
Variável 28	Média GLCM
Variável 29	Desvio-padrão GLCM
Variável 30	Correlação GLCM
Variável 31	Entropia GLDV

Fonte: Adaptado Batista, 2006.

#### **4.2.3.2 Definição das Classes**

As classes foram definidas a partir da interpretação visual das imagens de satélite, com o suporte das observações de campo. Foram elaboradas chaves de interpretação a partir dos elementos de cor, textura, forma, tamanho, sombra, altura, padrão e localização (Florenzano, 2002).

A seleção e caracterização das classes de interesse foram realizadas com base na interpretação visual da imagem IKONOS II fusionada, procurando identificar os principais tipos de cobertura de feições naturais, como vegetação, por exemplo. A caracterização das classes foi auxiliada pela elaboração de chaves de interpretação, também conhecida como chave de identificação - serve para organizar todo o material utilizado no

reconhecimento dos objetos e na interpretação de seus significados (NOVO, 1989) para cada uma das classes.

Na Tabela 4.6, são apresentadas as classes selecionadas e as suas chaves de interpretação.

**Tabela 4.6: Classes definidas para classificação baseada em objetos**

<b>Classes</b>	<b>Amostra na Imagem (RGB: 321)</b>	<b>Composição colorida (RGB: 432)</b>	<b>Descrição das Feições</b>
<b>Vegetação Nativa</b>			Alta reflectância na banda do infravermelho; Textura rugosa com formas naturais.
<b>Cultivo</b>			Alta reflectância nas bandas do visível; Textura lisa e forma regular; De forma bastante irregular, alguns são naturais e outros de origem antrópica ("lotes").
<b>Solo exposto</b>			Alta reflectância nas bandas do visível; Textura lisa e forma regular; De forma bastante irregular, alguns são naturais e outros de origem antrópica ("lotes").
<b>Dunas</b>			Alta reflectância nas bandas do visível e infravermelho.
<b>Corpo d'água/rio</b>			Baixa intensidade e alta absorção
<b>Corpo d'água/lagoa</b>			Baixa intensidade e alta absorção
<b>Mancha Urbana</b>			Textura rugosa definida Alta reflectância nas bandas do visível

Estabelecidas as classes partiu-se para o processo de classificação das imagens.

#### **4.2.3.3 Classificação Baseada em Objetos**

A análise da imagem de sensoriamento remoto no presente estudo foi baseada em regiões homogêneas contíguas que foram geradas pela segmentação. Conectando todas as regiões, o conteúdo da imagem foi representado como uma rede de objetos da imagem. Estes objetos de imagem funcionam como blocos de construção para a subsequente análise da imagem. Eles são caracterizados por mais propriedades do que a informação espectral pura. Estas propriedades são: forma, textura, vizinhança e contexto.

Na interface do *software* Erdas Imagine 8.2, optou-se pelo algoritmo de Máxima Verossimilhança Gaussiana para efetuar a classificação devido à possibilidade de operar com os descritores que utilizam amostras de treinamento, dado um espaço de atributo.

Utilizando-se então a imagem segmentada, extrairam-se 20 amostras de treinamento e de teste para cada classe – citadas na Tabela 4.7 – através da digitalização de AOIs (*area of interest*), totalizando 180 regiões em toda a imagem. As amostras de teste foram utilizadas na avaliação da classificação.

A quantidade de amostras de treinamento e de testes para cada classe foi o critério de seleção das classes de informação. As assinaturas (espectrais/espaciais) das classes selecionadas, utilizando o valor média de cada variável, foram plotadas para verificar o comportamento geral (individual e combinado) dos atributos e das classes. Utilizaram-se também as informações de campo na definição das classes e na avaliação da classificação, analisando o desempenho do classificador, visualizando não somente os acertos, mas também quais as classes cujas amostras foram erroneamente classificadas e quais classes ocorreram confusão.

#### **4.2.4 Avaliação da Classificação**

Foi realizada uma avaliação temática através de trabalho de campo que teve por finalidade comparar a classificação semi-automática com a verdade terrestre. Mas para analisar estatisticamente a confiabilidade dos dados foram utilizados a Matriz de Confusão ou Erro e o coeficiente de concordância *Kappa*.

Na matriz de confusão, o elemento da linha  $i$  coluna  $k$  (elemento da diagonal,  $i = k$ ) contém o número de pixels identificados pelo usuário como corretamente classificados. Os demais elementos da linha  $i$  fornecem o número e distribuição dos pixels que foram classificados erroneamente. Portanto, a acurácia da classificação para classe  $i$  é dada pelo número de pixels da diagonal dividido pelo número total de pixels de referência para esta classe. A acurácia geral é uma média da acurácia das classes expressa em percentagem (Mather, 1999).

As unidades amostrais tomadas como verdade terrestre foram áreas delimitadas na imagem por meio de verificação *in loco* selecionadas aleatoriamente de forma a ter uma mesma porcentagem de representação de áreas para cada classe. Foi realizada uma amostragem aleatória devido a complexidade da área.

Após a seleção da amostragem de erro se calcula a matriz de confusão ou erro que serve para analisar os erros e acertos no resultado da classificação. Com base na mesma amostragem foi calculado o índice de concordância *Kappa* que fornece a concordância entre a classificação e os dados de referência.

Na avaliação da exatidão da classificação, fez-se primeiramente uma análise visual do resultado comparando-o com as imagens. Como a alta resolução das imagens utilizadas permite o reconhecimento de grande parte dos objetos de interesse, a percepção visual foi utilizada para uma interpretação dos resultados de forma qualitativa. Na verdade esta interpretação moldou a construção de todo processo de classificação por meio de comparações entre os resultados preliminares e a visualização da realidade.

#### **4.2.5 Utilização dos Dados Cartográficos e Elaboração do Mapa de Uso do Solo**

Após o processo de classificação do mosaico das imagens de satélite IKONOS II foram definidos os limites das Áreas de Proteção Ambiental (APPs) e Unidade de Conservação vigentes no município de Torres. Para tal foram utilizados os arquivos *shapefiles* referentes ao Projeto de Conservação da Mata Atlântica, gentilmente doados pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente.

Estes arquivos em formato *shapefile* foram manipulados no *software* ArcGis 9.1 e correspondem às delimitações de hidrografia – rio e lagoas – dunas e também a delimitação do Parque Estadual de Itapeva.

As delimitações das APPs foram geradas para o desenvolvimento do Projeto de Conservação da Mata Atlântica por técnicos da Empresa Geotec em parceria com a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA).

O resultado da classificação orientada à objetos foi comparado às respostas espectrais dos alvos nas bandas 1R, 2G, 3B do sensor IKONOS II. A partir disso foi realizada a edição matricial dos polígonos, mas, dessa vez, classificados por classificação visual. Por isso, foi imprescindível conhecer as principais classes que ocorrem na área de estudo, seus padrões e como se comportam espectralmente.

A partir do mapa de usos do solo gerado para o município de Torres foram calculados valores de distribuição relativa e absoluta desses diferentes usos.

#### **4.2.6 Elaboração dos Indicadores Ambientais Georreferenciados**

O primeiro enfoque refere-se à produção de indicadores ambientais georreferenciados que retratem e espacializem as variáveis físico-ambientais e as pressões exercidas sobre o ambiente.

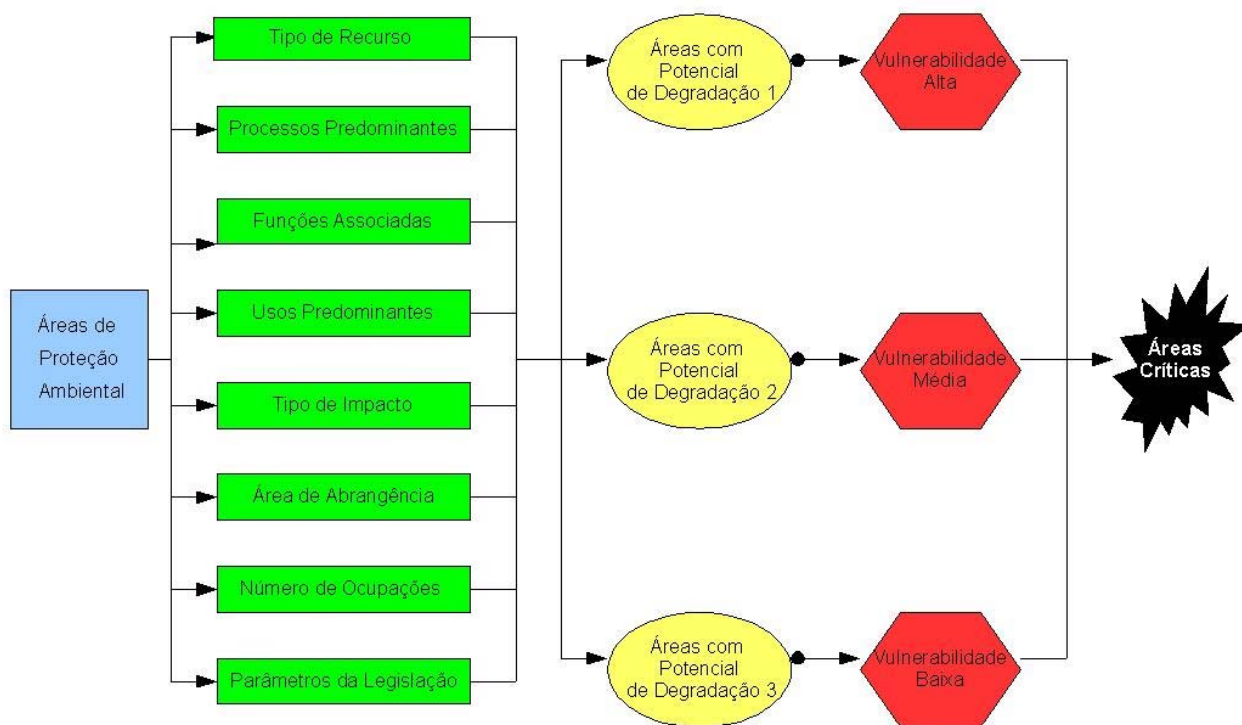
Genericamente, a seqüência de atividades que foram utilizadas para este enfoque deu-se em quatro etapas, descritas a seguir:

- Levantamento das Informações: consistiu no levantamento e na seleção de informações disponíveis sobre o município de Torres e passíveis de utilização na elaboração dos indicadores ambientais georreferenciados.

- Definição dos Indicadores Ambientais Georreferenciados (IAGs) e das informações geradas: os indicadores foram elaborados a partir da seleção, quantificação e cruzamento de parâmetros físico-ambientais (Muller, 1991).

- Análise Ambiental: nesta etapa foram feitos a integração e o cruzamento dos parâmetros selecionados para a definição dos indicadores ambientais.

A Figura 4.3 apresenta-se um fluxograma de processamento dos Indicadores Ambientais.



**Figura 4.3: Metodologia adotada para gerar os Indicadores Ambientais**

#### **4.2.6.1 Tipo de Recurso**

O indicador ambiental “Tipo de Recurso” foi definido levando-se em consideração o principal tipo de recurso a ser protegido na Área de Proteção Permanente. No caso da APP do Rio Mampituba, os principais recursos naturais a serem protegidos por Lei ao longo de todo o percurso do mesmo são mata ciliares e água. Já na APP de dunas, o recurso natural a ser preservado é a areia, o recurso natural das Lagoas é água, e no

Parque Estadual de Itapeva, o indicador ambiental de recursos é composto por areia, água e solo.

#### **4.2.6.2 Processos Predominantes**

A definição do indicador ambiental “Processos Predominantes” em cada Área de Preservação Permanente teve uma perspectiva completamente ecológica e biológica, relacionando-se os tipos de unidades naturais com seus processos e ciclos naturais de renovação e suas funções dentro da caixa preta que chamamos de ecossistema.

Em outras palavras, cada diferente tipo de recurso tratado em cada Área de Preservação possui funções específicas e essenciais ao equilíbrio do ecossistema que encontra-se associado. As principais funções desses recursos constituíram os indicadores definidos como processos predominantes.

#### **4.2.6.3 Funções Associadas**

Para este indicador foram consideradas todas as funções dos recursos em questão, sejam elas bióticas ou antrópicas, ou seja, funções de importância ao equilíbrio do ecossistema local envolvido e também à população que poderá, de uma forma sustentável, utilizar-se do mesmo.

#### **4.2.6.4 Usos Predominantes**

No indicador em questão foram levantados os principais usos dos recursos naturais das Áreas de Preservação Permanente e Unidade de Conservação pela população local.

#### **4.2.6.5 Tipos de Impacto**

Foram definidos ao indicador “Tipos de Impacto” os possíveis impactos que poderão ser causados aos recursos naturais levando-se em consideração os outros quatro indicadores anteriormente descritos. Nenhum deles foi, sob alguma forma, mensurado, assim, para definição do indicador aqui apresentado foram consideradas



situações avançadas de degradação ou uso extremo dos recursos naturais, sem que exista algum plano de manejo ou métodos de utilização sustentável dos mesmos.

#### **4.2.6.6 Área de Abrangência**

Utilizando-se as ferramentas de medidas do *software* ArcGis 9.1 e também através de consultas bibliográficas e legislativas, como também entrevistas técnicas, foram calculadas e mensuradas em formas métricas e percentuais as áreas referentes a cada tipo de recurso natural em questão.

#### **4.2.6.7 Número de Ocupações Clandestinas**

Também utilizou-se os recursos do *software* ArcGis 9.1 para o cálculo da área total ocupada por edificações dentro das Áreas de Proteção Ambiental e Unidade de Conservação.

#### **4.2.6.8 As Leis de Proteção ao Meio Ambiente**

As *Áreas de Preservação Permanente* (APP) são áreas de grande importância ecológica, cobertas ou não por vegetação nativa, que têm como função preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas. Como exemplos de APP estão as áreas de mananciais, as encostas com mais de 45 graus de declividade, os manguezais e as matas ciliares. Essas áreas são protegidas pela Lei Federal do Código Florestal nº 4.771/65 (alterados pela Lei Federal nº 7.803/89).

No presente estudo, para cada tipo diferente de APP procurou-se relacionar as legislações vigentes a fim de verificar as regularidades e irregularidades, podendo-se assim estimar o grau de preservação do local.

#### **4.2.7 Elaboração do Mapa de Vulnerabilidade Ambiental**

O mapa de vulnerabilidade ambiental foi elaborado a partir das distâncias determinadas pela legislação vigente em cada tipo de recurso inserido dentro das Áreas

de Preservação Permanente. Em outras palavras, quanto mais próximo do recurso natural protegido por lei, mais vulnerável.

Uma avaliação de graus de vulnerabilidade ambiental entre diferentes tipos de comunidades vegetais é uma tarefa que exigiria a consideração de uma quantidade enorme de variáveis, praticamente impossíveis de quantificar. Desta forma, optou-se por considerar como fator de vulnerabilidade apenas o critério de proximidade da vegetação protegida por lei na área de estudo, estabelecendo que quanto menor a distância, maior a vulnerabilidade.

Sendo assim, sabe-se que a mata ciliar presente nas margens do Rio Mampituba está legalmente protegida em uma zona tampão de 100 metros de largura a partir das margens do Rio. Essa zona tampão e a própria Área de Preservação, no presente estudo, foi considerada como zona de vulnerabilidade alta.

A zona de vulnerabilidade média para esse fator está delimitada nos 100 metros adjacentes à delimitação da Área de Preservação Permanente e a zona de vulnerabilidade baixa constitui-se do restante da área do município, com exceção das outras Áreas de Proteção e Unidades de Conservação.

O mesmo critério e os mesmos procedimentos de padronização foram utilizados para as Áreas de Preservação Permanente - Lagoas: quanto menor a distância dos recursos hídricos maior a vulnerabilidade.

De acordo com a importância, posteriormente discutida, das unidades naturais representadas pelas dunas, determinou-se, pelos mesmos critérios anteriores, uma maior vulnerabilidade à medida que há uma aproximação desse tipo de ecossistema.

E, finalmente, com relação à Unidade de Conservação – Parque Estadual de Itapeva – foram utilizados os mesmos critérios para a determinação dos níveis de vulnerabilidade.

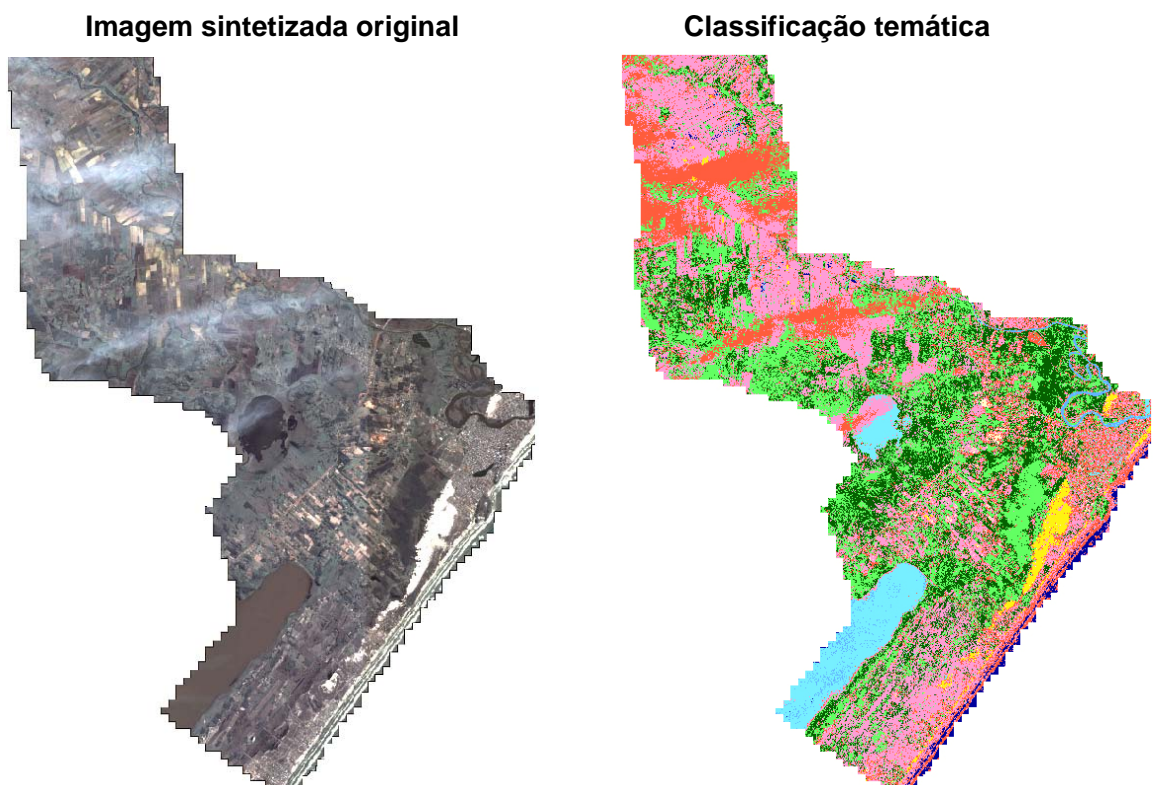
## **CAPÍTULO 5**

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo são apresentados os resultados das três principais etapas deste trabalho, a saber: classificação baseada em objetos do mosaico das imagens IKONOS, indicadores ambientais e mapa de vulnerabilidade ambiental no município de Torres. Serão mostrados também alguns resultados intermediários por etapa além das análises e discussões por assunto.

#### ***5.1 Classificação Orientada a Objetos do Mosaico das Imagens IKONOS II***

De modo geral, o resultado obtido se mostra bem coerente com a realidade do município de Torres (Figura 5.1). Nesta figura podem-se observar características marcantes, como a divisão da orla marítima, rios e lagoas, a reflectância bem definida das dunas.



**Figura 5.1: Resultado da classificação do mosaico IKONOSII do município de Torres.**

O objetivo de um processo de segmentação foi o de dividir uma imagem em regiões, baseado em uma ou mais características que a imagem pode apresentar. Cada região é considerada como um objeto da imagem, estruturada segundo as propriedades de conectividade intra-objetos, intersecção nula e portadora de uma característica comum para todos os contadores digitais de uma mesma região, para toda a imagem.

Sendo assim, a escolha do método de segmentação e de seus parâmetros internos foi preferida a partir de um estudo das características da imagem e dos objetos de interesse, devido à inerência que os segmentos bem caracterizados possuem em uma classificação orientada a objetos bem sucedida. Não existe uma padronização de valores destas variáveis para a obtenção de bons resultados. Neste estudo, foram feitas várias aproximações até a obtenção de um nível de fragmentação da imagem considerado adequado para os resultados esperados. Sob a imagem segmentada, foi aplicada a classificação supervisionada.

Realizou-se uma interpretação baseada no domínio da cena, da imagem e dos segmentos. Primeiramente, a imagem foi analisada qualitativamente, observando e identificando feições do terreno e a seguir confrontando com a realidade do campo, através de visita *in loco*. O conhecimento do comportamento espectral de algumas feições como edificação, vegetação, cultivos e solo exposto foram importantes no domínio da imagem. Considerando, por exemplo, duas regiões da imagem ocupadas por solo exposto e solo urbano, ambas também apresentam respostas espectrais similares em todas as bandas utilizadas, de maneira que a discriminação não foi possível ao nível puramente espectral. No entanto, a separação dessas duas classes pôde ser realizada considerando aspectos de forma. Em geral, áreas de cultivo possuem forma regular, ao contrário de solo urbano mais irregular.

A segmentação da imagem foi realizada através do método de multi-resolução descrito no item 4.2.5.1. A imagem foi segmentada em três diferentes níveis, que permitiram extrair objetos da imagem em diferentes definições. A segmentação em resolução (estruturas finas) possibilitou a extração de objetos primitivos (pequenos) e significativos para a classificação.



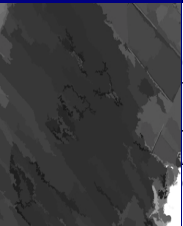


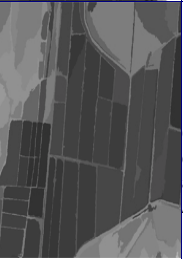


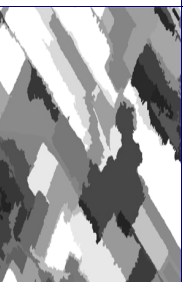




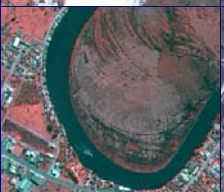
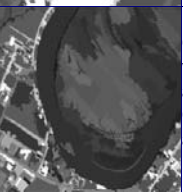
Como já citado no Capítulo 4, o parâmetro da escala ou resolução de segmentação determinou o tamanho médio do objeto da imagem, permitindo uma mudança na heterogeneidade durante todo processo de segmentação.

O fator escala demonstrou ser um valor abstrato dependendo do escopo do trabalho e do tipo de imagem. Neste caso o fator escala foi definido a partir da complexidade dos alvos e seu poder discriminatório avaliado a partir da interpretação no domínio da imagem. Iniciou-se com o menor fator de escala possível (2), que serviu como base às outras segmentações. O fator escala menor permitiu que nos níveis subseqüentes informações sobre textura pudessem ser obtidas. Os objetos adquirem relações, uma vez que, superobjetos são formados pelo agrupamento de subobjetos.

De acordo com o que foi discutido até aqui, poucas classes puderam ser distinguidas apenas por parâmetros espectrais, logo se lançou mão de outras fontes de dados como parâmetros de forma, textura e relações com subobjetos.

O domínio dos segmentos permitiu numa primeira instância observar a forma e tamanho de alguns objetos que a princípio pareciam espectralmente próximos entre si. Pôde ser efetuada uma interpretação visual associando as nuances das formas dos objetos com as feições, como complemento à interpretação espectral da imagem. A Tabela 5.1 apresenta as feições de interesse na cena.

**Tabela 5.1: Feições de interesse e sua respectiva segmentação.**

<i>Classes</i>	<i>Descrição das Feições</i>	<i>Amostra na Imagem (RGB: 123)</i>	<i>Composição colorida (RGB: 432)</i>	<i>Segmentação</i>	<i>Descrição das Feições</i>
<b>Vegetação Nativa</b>	Alta reflectância na banda do infravermelho; Textura rugosa com formas naturais.				Objetos de tamanhos regulares pouco fractados. Assimétricos e compactos.
<b>Cultivo</b>	Alta reflectância nas bandas do visível; Textura lisa e forma regular; De forma bastante irregular, alguns são naturais e outros de origem antrópica ("lotes").				Objetos de contornos arredondados. Assimetria variável.
<b>Solo exposto</b>	Alta reflectância nas bandas do visível; Textura lisa e forma regular; De forma bastante irregular, alguns são naturais e outros de origem antrópica ("lotes").				Padrão horizontal. Pouco assimétrico. Forma suavizada.
<b>Dunas</b>	Alta reflectância nas bandas do visível e infravermelho.				Orientação pouco variável, forma alongada. Objetos assimétricos.
<b>Corpo d'água/rio</b>	Baixa intensidade e alta absorção				Orientação pouco variável, forma alongada. Objetos assimétricos.

<b>Corpo d'água/lagoa</b>	Baixa intensidade e alta absorção				Orientação pouco variável, forma alongada. Objetos assimétricos.
<b>Mancha Urbana</b>	Textura rugosa definida. Alta reflectância nas bandas do visível				Objetos de formas irregulares e pequenos. Assimétricos e pouco compactos

A fim de avaliar o classificador de máxima verossimilhança foram selecionadas amostras para as seguintes classes: vegetação nativa, cultivo, solo exposto, areia, corpos d'água e edificação. A partir dessas amostras foram obtidas as médias e matrizes de variâncias-covariância para as classes envolvidas. Utilizando o algoritmo de máxima verossimilhança, foram determinadas as funções densidade de probabilidade de acordo com a expressão do Teorema de Bayes.

Nas imagens de alta resolução o problema de erros na classificação devido a pixels mistos diminuiu, contudo a variabilidade espectral entre pixels é bem acentuada. Como consequência a classificação por máxima verossimilhança pode produzir muitas classes, porém não bem definidas, e com ruídos, uma vez que esse método baseia-se tão somente nos parâmetros espectrais do dado. Desta forma, fica, em parte, inviabilizado o potencial discriminatório para as classes do ambiente urbano e de cultivo da imagem. O resultado da classificação pode ser observado na Figura 5.1. As maiores confusões entre as classes ocorrem de acordo com a divergência transformada da Tabela 5.2. Muitas áreas de edificações foram classificadas como áreas cultivadas e vice-versa e algumas áreas onde há na realidade corpos hídricos – lagoas – também há confusão entre edificação e ao mesmo tempo área cultivada.

**Tabela 5.2: Resultado da avaliação da classificação.**

Classes/ Amostras	Campo limpo	Mata Ciliar	Cultivo	Dunas	Edificação	Lagoas	Mampituba	Oceano	Solo Exposto	Soma (pixels)
<i>Matriz de Confusão (%)</i>										
Campo Limpo	96.13	4.84	2.53	0.00	1.86	0.00	0.00	0.00	0.06	294024
Mata Ciliar	3.76	93.01	0.18	0.00	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00	151879
Cultivo	0.05	0.47	85.17	0.00	35.18	0.00	0.00	0.00	3.71	302329
Dunas	0.00	0.00	7.48	90.54	1.09	0.00	0.00	0.00	0.55	191968
Edificação	0.06	1.68	3.57	0.00	53.72	0.00	0.00	0.00	4.66	31047
Lagoas	0.00	0.00	0.01	0.00	0.25	96.86	5.21	0.00	0.01	238932
Mampituba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	2.77	94.72	0.00	0.00	191659
Oceano	0.00	0.00	0.12	0.00	0.02	0.01	0.00	97.22	0.00	198944
Solo Exposto	0.00	0.00	0.93	0.00	6.76	0.00	0.00	0.00	91.00	27235
Soma (pixels)	289334	150759	326891	184649	16354	235942	195073	204215	24800	162801
Total										7
Acurácia	0.7978									
<i>Kappa</i>	0.7732									

Obtida a classificação, foi realizado o teste para a avaliação do seu desempenho (Tabela 5.2). Como pode ser verificado nesta tabela, o resultado encontrado é considerado bom. Os valores totais de exatidão e do índice *Kappa* podem ser considerados muito bons (Tabela 2.3). A acurácia geral estimada para o experimento (índice *Kappa*, acurácia média do produtor e acurácia média do usuário) oscilou em torno de 77,32%. Os erros do usuário e do produtor também são considerados bons. Com a exceção das classes “Mancha Urbana” e “Cultivo”, todas as outras tem valores bastante elevados.

Nos casos de “Mancha Urbana” e “Cultivo” este baixo resultado é devido a confusão entre estas classes, embora ela tenha diminuído com a adição de algumas regras. A classe “Mancha Urbana” contou com um número reduzido de amostras de teste pela sua baixa representatividade. O que se verificou é que existe uma tênue diferença entre alguns objetos com alto brilho e outros saturados. Este erro na classificação pode estar relacionado à regra de distinção entre as duas classes, indicando a necessidade de se redefinir os limites entre elas. Outro fator é que na vizinhança de *pixels* saturados (*flare*) sempre existem *pixels* de alto brilho, influenciados por aqueles, o que dificulta a identificação e a separação entre eles. Provavelmente, outros resultados poderiam ser



obtidos se outros limiares e atributos fossem testados visando aumentar a separação das classes.

As técnicas de classificação supervisionada apresentadas baseadas em objeto atingiram bons resultados. Entretanto, todo o processo de classificação está sujeito a erros dos mais diversos tipos e fontes. Tendo em vista que os objetos foram oriundos de segmentação, diferentes critérios de semelhança podem gerar diferentes limites entre objetos.

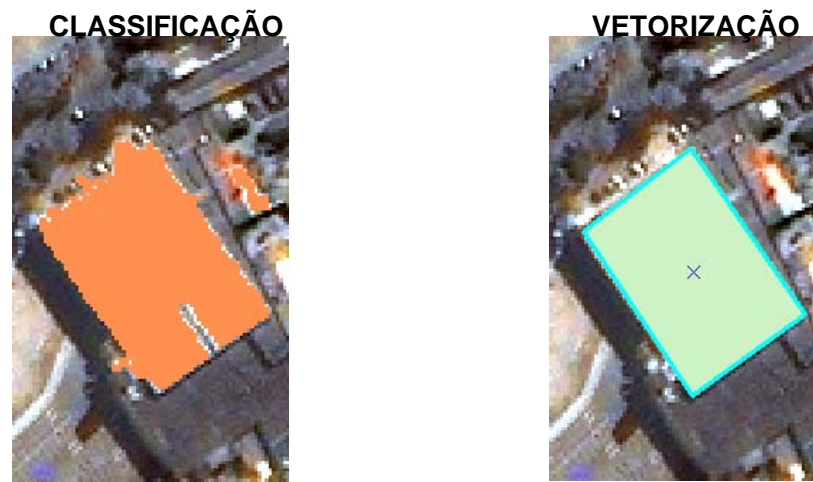
### **5.1.2 Análise Comparativa entre Classificação Baseada em Objetos e a Fotointerpretação**

A interpretação das feições da imagem demandou principalmente o conhecimento do observador sobre a cena. A cognição gerou um processo intuitivo no qual se identificou a semântica da feição representada na cena. Observou-se no processo de classificação, que a capacidade do cérebro humano, especialmente em correlacionar o significado semântico de uma feição com a capacidade de percepção visual, foi inigualável e dificilmente pode ser automatizada. Contudo, percebe-se que a inserção do conhecimento na estrutura classificatória dos objetos simulou de maneira simplificada o raciocínio humano.

A interpretação da imagem possibilitou a identificação simultânea de um maior número de elementos, que agrupados auxiliou a elaboração da semântica da cena. Alguns destes elementos foram quantificados e serviram de parâmetros à verificação dos resultados. Contudo, nem todos elementos percebidos na imagem podem ser processados de mesma maneira pelo classificador, há divergência entre a classificação automática e a visual. Exemplifica-se, neste caso, os valores referentes às áreas totais dos diferentes usos calculados pela classificação máxima verossimilhança são diferentes dos valores calculados através da vetorização visual. Acredita-se que a área calculada pela vetorização foi mais precisa devido, justamente, pela mistura de classes gerada pelo classificador automático do *software*, como pode ser analisado na Tabela 5.2.

Na Figura 5.2, observa-se que as formas dos objetos fotointerpretados se parecem mais com os que são representados no mundo real, se comparados àqueles

segmentados e posteriormente classificados, apesar da subjetividade da interpretação. Os objetos agrupados são uma mera aproximação daquilo que é percebido no mundo real. Os contornos dos objetos são de certa forma *fuzzy*, pois dependem dos critérios de semelhança adotado. Existe, sem dúvida, uma discrepância entre os contornos das classes representada na Figura 5.2 e os objetos classificados.



**Figura 5.2: Comparação da classificação automática e vetorização visual da edificação**

A fotointerpretação auxiliou no melhoramento do grau de eficiência da classificação baseada em objetos, pois de certa maneira o conhecimento adquirido durante a fase de interpretação pôde ser quase que totalmente introduzido no processamento final da classificação da imagem, já que a eficácia do classificador máxima verossimilhança não foi suficiente para retratar fielmente o que se observava na imagem. O produto final da classificação orientada a objetos e posterior classificação visual do mosaico das imagens de satélite IKONOS II utilizado no presente estudo é ilustrado na Figura 5.3, conforme segue.



A recente evolução dos níveis de resolução em dados de sensoriamento remoto orbital tem ampliado a capacidade de discriminação dos alvos. Contudo, a preocupação em obter um maior aproveitamento destas imagens de alta resolução impõe novos desafios. As tradicionais análises por pixel tornam-se limitadas em imagens que captam detalhes de cenas muito heterogêneas e com grande variação interna das classes. Nestes casos, é comum a sobreposição de classes no espaço de atributos, o que dificulta o processo de classificação. Surge, portanto, a necessidade de exploração de ferramentas alternativas que não se limitem apenas a atributos espectrais. Entre estas ferramentas, destaca-se a análise orientada a objetos, que permite a inserção do conhecimento do analista e a utilização de parâmetros de cor, forma, textura e relações de vizinhança na classificação de imagens.

## **5.2 Indicadores Ambientais**

A seguir apresentam-se discutidos cada um dos indicadores ambientais referentes às unidades ambientais de cada Área de Preservação Ambiental e Unidade de Conservação, analisados no presente estudo. Vale aqui lembrar que as áreas de abrangência de cada APP e suas respectivas ocupações clandestinas foram quantificadas através do método de vetorização visual, levando-se em consideração a baixa precisão desse cálculo gerado pelo classificador de máxima verossimilhança para a classe “edificação”.

### **5.2.1 Área de Preservação Permanente – Rio Mampituba**

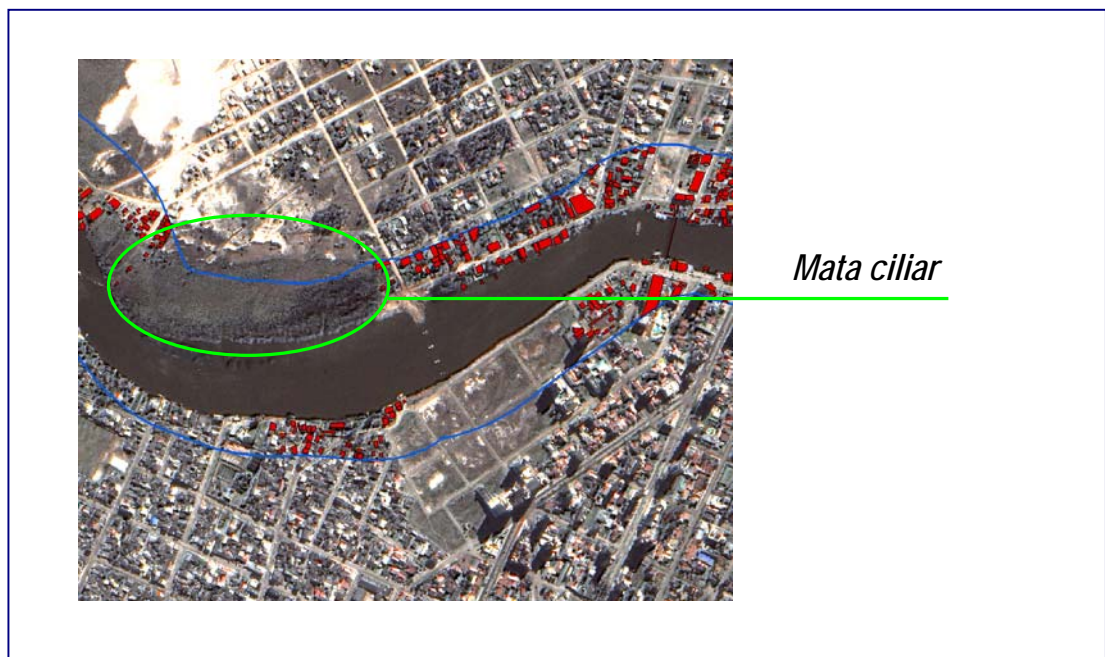
Segundo o Código Florestal (Lei Federal 4771/65) define-se as margens do rio ou qualquer curso d’água como APP. Como o Rio Mampituba possui atualmente uma largura maior que 50 metros e menor que 200 em alguns trechos, sendo assim a faixa de preservação deve ser de 100 metros, segundo o Código Florestal. Observa-se uma certa inexistência de planejamento, pois a APP foi ocupada de maneira irregular.

Mata ciliar é a formação vegetal que ocorre nas margens dos rios, córregos, lagos, lagoas, olhos d’água, represas e nascentes. É considerada pelo Código Florestal (Lei

4.771/65) como área de preservação permanente. Também conhecida por mata de galeria, mata de várzea, vegetação ou floresta ripária.

A mata ciliar funciona como filtro ambiental, retendo poluentes e sedimentos que chegariam aos cursos d'água, sendo fundamental para o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Portanto, a manutenção da mata de galeria protege contra a erosão das ribanceiras e o conseqüente assoreamento dos recursos hídricos, conservando a qualidade e o volume das águas; diminui os processos de erosão e assoreamento, melhorando a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos; regularizar a vazão das águas superficiais pela redução de sua velocidade de escoamento; aumentar a infiltração das águas provenientes das chuvas para o abastecimento dos lençóis freáticos; formar corredores naturais que garantam o fluxo entre populações silvestres que sofreram fragmentação e isolamento pela perda dos seus habitats; conscientizar os proprietários rurais sobre a importância da manutenção da biodiversidade.

Na Figura 5.4 o polígono mostra a pequena faixa remanescente do ambiente ciliar, onde alguns trechos do curso do rio é quase inexistente - em torno de 0,049Km<sup>2</sup>, ou 0,19% do ambiente ciliar amparado por lei já foi ocupado por algum tipo de edificação, de acordo com a análise realizada sobre a imagem classificada.



**Figura 5.4: Ambiente ciliar – APP**

A distribuição das ocupações são bastante pontuais, se considerada toda extensão do Rio nos limites do município, e encontram-se, principalmente, na desembocadura do Rio Mampituba com o oceano. As margens do Mampituba, encontram-se amplamente alteradas nesses locais, tendo sido ocupadas por usos urbanos, muitos dos quais estão consagrados no Plano Diretor Municipal, por estarem já estabelecidos.

O bairro Salinas, onde a ocupação é irregular e mais crítica por estar a menos de dois metros do rio e, lançando nele todos os resíduos sólidos e efluentes, foi considerado no Plano Diretor uma Área de Revitalização Urbana. Tal legislação considera, assim como outras, áreas de núcleos urbanos deteriorados ou irregulares, carentes de infraestrutura e equipamentos urbanos, propondo sua reurbanização, recuperação e regularização fundiária e, permitindo, mesmo antes do estabelecimento de regime urbanístico específico, edificações destinadas a habitação unifamiliar. Essas medidas, no entanto, não são tão restritivas quanto deveriam, permitindo a ocupação de áreas protegidas por legislação estadual e federal e, sendo inclusive contraditórias com relação ao artigo nº 31 do mesmo Plano, o qual considera as zonas de meandros do Rio Mampituba, suas margens, ilhas e banhados como Áreas de Proteção Ambiental, admitindo apenas edificações destinadas ao lazer e recreação.

Outro impacto extremamente relevante para o Rio Mampituba e que pode comprometer a imagem municipal frente à atividade turística, além de prejudicar consideravelmente a qualidade de vida da população residente, refere-se ao destino dos efluentes urbanos. A Estação de Tratamento de Esgotos de Torres não possui capacidade para realizar o tratamento completo e eficiente do montante de efluentes que recebe, lançando, portanto, diretamente no Rio, um conteúdo rico em coliformes fecais, que compromete a qualidade do rio, bem como todas as atividades aí desenvolvidas e já referidas.

Nota-se, assim, que o rio do município possui sua qualidade deteriorada, principalmente na área urbana, prejudicando o turismo e a qualidade de vida da população residente

Na Tabela 5.3, encontram-se o resultado dos indicadores ambientais referentes à APP – Rio Mampituba.

**Tabela 5.3: Indicadores Ambientais – Área de Preservação Permanente – Rio Mampituba.**

<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>
<i>Tipo de Recurso</i>	- Mata Ciliar - Água
<i>Processos Predominantes</i>	- Estoque de água - Transporte de água, nutrientes, sedimentos - Potencialidade recreativa e qualidade cênica
<i>Funções Associadas</i>	- Abastecimento - Dessedentação - Corredor biológico (genético e migratório) - Turismo e recreação
<i>Usos Predominantes</i>	- Irrigação incipiente - Dessedentação de animais domésticos - Turismo - Recreação de contato primário e secundário (pesca) - Disposição de efluentes deficientemente tratados
<i>Tipo de Impacto</i>	- Construção dos Molhes - Contaminação por agrotóxicos, coliformes fecais - Eliminação da vegetação das margens - Erosão das margens - Ocupação das margens
<i>Área de Abrangência</i>	- 25,33 km <sup>2</sup>
<i>Número de Ocupações Clandestinas</i>	- 540 edificações - 0,049 km <sup>2</sup>
<i>Parâmetros da Legislação</i>	- Lei Federal 4.771/65 do Código Florestal - Resoluções 302 e 303/2003 CONAMA - Lei Federal 9.433/1997, Política Nacional dos Recursos Hídricos

Apesar dos dispositivos legais disponíveis, o processo de degradação é contínuo não só das matas ciliares, mas também de florestas de preservação permanente junto às propriedades rurais. As imagens do tipo IKONOS II (multiespectrais) da região, permitem uma visão detalhada do ambiente ciliar, o qual viabiliza o planejamento estratégico de

recomposição e monitoramento das áreas de preservação permanente. As diferentes feições foram interpretadas e verificadas *in loco* de forma a aferir a interpretação da imagem. O conhecimento acurado do mapa do uso do solo é fundamental para qualquer plano de fiscalização e recuperação do ambiente ciliar.

### **5.2.2 Área de Preservação Permanente – Lagoas**

Os principais processos que ocorrem nas Lagoas interiores referem-se ao estoque de água e de nutrientes, estando associados a dessedentação da fauna silvestre e a produção biológica, da qual decorre diretamente a produção de invertebrados, o potencial pesqueiro e a abundância de avifauna, a qual pode ser residente ou migratória e, refletir a qualidade ambiental quando se trata de animais de topo de cadeia.

O aspecto transitório entre ambientes terrestres e lacustres demonstra a complexidade e fragilidade de paisagem em questão, ressaltando-se que o desequilíbrio nas relações dos organismos vivos e destes com o ambiente podem comprometer o corpo d'água como um todo (Würdig *et al.*, 1990). A conservação dos banhados marginais às lagoas e rios é, portanto, fundamental para esses ecossistemas.

Conforme mensurado nos processos de vetorização das imagens IKONOS II do presente estudo, a área abrangente às Áreas de Preservação Permanente que delimitam as Lagoas correspondem à 24,33 km<sup>2</sup>, inseridos no interior do município de Torres. Desta quilometragem, 0,08%, ou 0,02 km<sup>2</sup> estão ocupadas por algum tipo de edificação. Os usos a que estão submetidas as Lagoas no município de Torres relacionam-se principalmente a utilização de água para irrigação, dessedentação de animais domésticos, abastecimento urbano, recreação de contato primário e secundário e, inclusive, disposição de efluentes não tratados, como ocorre na Lagoa do Jacaré, para onde são conduzidos por tubulações todos os efluentes da Colônia de São Pedro, sem qualquer tipo de tratamento, incluindo os efluentes hospitalares (morador local, comunicação oral).

Soma-se, dessa forma, à contaminação dos mananciais por agrotóxicos e material sedimentar erodido de terras altas a contaminação dos mesmos por coliformes fecais, decorrentes do aporte de efluentes citado. Outro impacto refere-se à redução de volume da Lagoa do Morro do Forno, ocorrida a cerca de vinte anos e atribuída, pela população



local, à utilização do manancial para a irrigação das lavouras de arroz, que causam inevitavelmente a alteração hidrológica do sistema.

Duas são as Lagoas inseridas em contextos urbanos, a Lagoa do Violão, na sede municipal e, a Lagoa Jardim, no balneário de mesmo nome. A primeira apresenta-se com a qualidade completamente comprometida, sendo local de disposição dos resíduos sólidos da Estação de Tratamento de Água. A segunda, com condições melhores de qualidade, é amplamente utilizada para recreação de contato primário nos meses de verão.

Observa-se que embora as Lagoas tenham um importante potencial turístico, esse não está sendo explorado, o que é inclusive positivo, uma vez ter-se detectado que o turismo tem carregado consigo problemáticas indesejáveis nos locais onde sua exploração não obedece ações planejadas de execução e monitoramento.

Outra vocação do uso das lagoas refere-se à aquacultura e, poderia tornar-se uma atividade alternativa para a população local. O seu desenvolvimento, no entanto, não é compatível com o atual modelo agrícola adotado, o qual promove a contaminação dos mananciais, inviabilizando a exploração comercial de organismos límnicos.

Na Tabela 5.4, encontram-se o resultado dos indicadores ambientais referentes à APP – Lagoas.

**Tabela 5.4: Indicadores Ambientais – Área de Preservação Permanente – Lagoas.**

<i>Indicador</i>	<i>Resultado</i>
<i>Tipo de Recurso</i>	- Água
<i>Processos Predominantes</i>	- Estoque hídrico - Estoque de nutrientes - Manutenção da diversidade de espécies
<i>Funções Associadas</i>	- Abastecimento - Dessedentação - Irrigação - Recreação - Controle hidrológico

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Produção primária e pesqueira</i></li> <li>- <i>Estoque genético</i></li> </ul>
<i>Usos Predominantes</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Irrigação</i></li> <li>- <i>Dessedentação de animais domésticos</i></li> <li>- <i>Abastecimento urbano</i></li> <li>- <i>Recreação de contato primário e secundário (pesca)</i></li> <li>- <i>Disposição de efluentes não tratados</i></li> </ul>
<i>Tipo de Impacto</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Alteração da hidrologia</i></li> <li>- <i>Lixiviação de agrotóxicos</i></li> <li>- <i>Redução do volume dos mananciais</i></li> <li>- <i>Aumento da turbidez</i></li> <li>- <i>Redução da diversidade</i></li> </ul>
<i>Área de Abrangência</i>	- <i>24,33 km<sup>2</sup></i>
<i>Número de Ocupações Clandestinas</i>	- <i>192 Edificações</i> - <i>0,020 km<sup>2</sup></i>
<i>Parâmetros da Legislação</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Lei Federal 4.771/65 do Código Florestal</i></li> <li>- <i>Resoluções 302 e 303/2003 CONAMA</i></li> </ul>

### **5.2.3 Área de Preservação Permanente – Dunas**

As dunas móveis são feições naturais encontradas adjacentes a praias arenosas e sua formação é devida a interação de fatores bióticos e abióticos (NEMA, 1995). Caracterizam-se pelo desenvolvimento contínuo na forma de uma faixa paralela a praia e pela grande mobilidade sedimentar, cuja taxa está diretamente relacionada a presença de anteparos físicos, representados predominantemente pela vegetação pioneira.

Essas unidades naturais são esparsamente colonizadas, mas constituem-se num sistema único com condições ambientais diversas, onde desenvolve-se vegetação típica, caracterizada pela presença, por exemplo, de breo-da-praia (*Blutaparon portulacoides*) e margarida-da-praia (*Senecio crassiflorus*). A fauna, indo desde insetos, roedores (tucotuco), répteis e aves que aí buscam abrigo e nidificam, apresenta casos de endemismo (NEMA, *op. cit.*). Essa biocenose interrelaciona-se com as comunidades das unidades

adjacentes, o que é imprescindível para a manutenção da qualidade ambiental e de todos os componentes estruturais paisagísticos envolvidos.

Atua, geomorfologicamente como reguladoras do balanço de sedimentos do ambiente costeiro, impedindo a invasão de areias sobre campos e matas e garantindo a estabilidade da linha da costa. Em casos de desestabilização, os campos de dunas podem migrar em direção ao continente, invadindo campos e matas, como ocorre na Área de Proteção Ambiental de Itapeva. Funcionam também como mantenedores da qualidade da água pela pressão de água doce que armazenam (Soares *et al.*, 1993), obstaculizando a penetração da cunha salina subterrânea (Velásquez, 1991).

Como decorrência destas características funcionais e vocacionais e, por constituírem-se em ambientes cujo equilíbrio é bastante tênue, sendo a retirada de areia geralmente um fator que altera sua dinâmica, as dunas são protegidas por legislação federal, estadual e resolução nº004 de 18/07/1985 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Qualquer infrator está sujeito à penalidades. No Rio Grande do Sul, somente o município de Rio Grande considera as dunas como Área de Preservação Permanente pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (NEMA, *op. cit.*).

Embora não se admitam teórica e legalmente qualquer tipo de uso, excetuando-se os preservacionistas e conservacionistas, é possível observar-se no município de Torres uma série de impactos causados sobre o sistema de cordões de dunas litorâneas. Pode-se citar a retirada de areia das dunas por carroceiros, assentamentos e construções irregulares sobre essas áreas, abertura de ruas e acessos à praia com conseqüente ruptura do sistema, trânsito elevado de veículos na praia e excessivo pisoteio por pessoas nos meses de verão.

No que se refere à extração ilegal de areia, o material sedimentar é frequentemente utilizado para aterros, não só de terrenos particulares, mas também de vias e áreas públicas. Geralmente essa areia não é utilizada diretamente para a construção civil, devido a limitação de qualidade imposta pelo alto teor de salitre presente na sua composição.

Em uma área total de 7,8 km<sup>2</sup> em que estão inseridas as dunas caracterizadas como Áreas de Preservação permanente no município de Torres, 0,031 km<sup>2</sup>, ou 0,39% destas estão irregularmente ocupadas já por algum tipo de edificação. Na Tabela 5.5 encontram-se listados os indicadores ambientais desse sistema natural.

**Tabela 5.5: Indicadores Ambientais – Área de Preservação Permanente – Dunas.**

<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>
<i>Tipo de Recurso</i>	- Areia
<i>Processos Predominantes</i>	- Estoque sedimentar - Obstaculização da penetração da cunha salina - Controle estrutural - Continuidade estrutural - Potencialidade recreativa e qualidade cênica
<i>Funções Associadas</i>	- Estabilização da linha de costa - Manutenção da qualidade do lençol freático - Proteção estrutural de áreas adjacentes - Corredor biológico (genético e migratório) - Turismo e recreação
<i>Usos Predominantes</i>	- Turismo - Recreação - Extração irregular de areia - Especulação imobiliária - Construção civil
<i>Tipo de Impacto</i>	- Eliminar vegetação nativa - Desestabilizar o sistema - Alterar balanço sedimentar - Invadir áreas adjacentes
<i>Área de Abrangência</i>	- 7,80 Km <sup>2</sup>
<i>Número de Ocupações Clandestinas</i>	- 475 Edificações - 0,031 km <sup>2</sup>
<i>Parâmetros da Legislação</i>	- Lei Federal 4.771/65 do Código Florestal - Resolução nº004 de 18/07/1985 CONAMA

- nº 7.661, de 16 de maio de 1988 Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC)  
- Art. 31 da Lei Municipal nº 2949

Deve-se salientar que se torna indispensável preservar todos os campos de dunas remanescentes ao Subsistema Praial, devendo esta atitude ser encarada não como uma barreira ao desenvolvimento, e sim como uma necessidade para a manutenção de atividades turísticas e de lazer. Quanto ao campo de Dunas de Itapeva, que embora tenha sido incluído em Área de Preservação Ambiental criada pelo Art. 31 da Lei Municipal nº 2949, tem sofrido ocupação irregular e mesmo extração ilegal de areia.

#### **5.2.4 Unidade de Conservação - Parque Estadual de Itapeva**

O Parque Estadual de Itapeva é uma Unidade de Conservação integrante do Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC, tendo sido criado pelo Decreto Estadual nº 42.009, de 12 de dezembro de 2002, após a realização de duas consultas públicas na cidade de Torres. É uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, cujo objetivo básico é a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico.

O Parque Estadual de Itapeva está localizado no Município de Torres, no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, entre o Balneário Itapeva, ao sul, a Estrada do Mar (RS-389), a oeste, o oceano Atlântico, a leste, e a zona urbana do município de Torres, ao norte. Possui área aproximada de 1.000 ha e uma zona de amortecimento que ultrapassa os 10 km. É hoje administrado pelo Departamento de Florestas e Áreas Protegidas (DEFAP), da Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (SEMA/RS).

Segundo relatado no Plano de Manejo do Parque Estadual de Itapeva, junto ao limite norte do Parque há uma ocupação urbana de caráter periférico-popular, assentada sobre a faixa de restinga, estendendo-se desde o Riacho Doce até a área de dunas interiores. O tempo de moradia no local é predominantemente inferior a dez anos.

Aproximadamente 87,2% das pessoas chegaram aos referidos bairros há menos de 10 anos. Entre estas, 43.6% estão há menos de 5 anos.

Imediatamente ao sul do Parque, segundo o mesmo relatório do Plano de Manejo, localiza-se o balneário da praia de Itapeva. Trata-se de um loteamento urbano de pouca densidade de ocupação em que a maior parte dos domicílios destina-se para uso em temporada de veraneio. Os lotes variam bastante de tamanho, desde dimensões inferiores a 200m<sup>2</sup> até mais de 1.000 m<sup>2</sup>. Estes terrenos maiores concentram-se em área mais afastada da praia e em área de vegetação de maior porte. Os terrenos de tamanho superior a 400 m<sup>2</sup> perfazem 75% dos lotes que foram objeto de levantamento.

Existem vários sítios na área do Parque junto à Estrada do Mar. Trata-se, em geral, de sítios com casas novas ou reformadas sem uso para produção agropecuária. Outros apresentam idade superior a 15 anos de construção, construídas de madeira e com reformas nos últimos três anos.

A maior parte destas propriedades possui registro em cartório. O intervalo de superfície vai de 1 a 13 ha. Não houve registro de arrendamento ou parceria para produção. Cerca da metade dos proprietários planta para consumo próprio. Dois entrevistados declararam plantar batata-doce para comercialização.

Quanto à coleta, um dos entrevistados declarou colher goiabas. A orquídea é uma planta identificada pelos moradores do interior do Parque Estadual de Itapeva e um deles afirmou ser a mata muito fechada e, por isso, não detecta nenhuma ocorrência de coleta. O pouco gado bovino de corte e o leiteiro não visam à comercialização da produção.

A caça não é declarada, mas a pesca foi registrada por metade dos entrevistados, um dos quais relatou pescar “no lago atrás das dunas”. Não houve respostas para as questões sobre a expectativa em continuar na atividade nem para os fatores de estímulo ou não para a produção.

Apenas um dos entrevistados manifestou vontade de vender a propriedade; a metade deles declarou possuir eletrodomésticos, um declarou utilizar adubo orgânico. Não utilizam assistência técnica nem crédito rural.

Diversas atividades antrópicas estão assentadas sobre esta unidade de paisagem, originando manchas de paisagens diferenciadas, que de naturais passam a ser culturais, pois consideram um uso que altera significativamente sua estrutura. Cita-se a urbanização realizada a partir de quinze loteamentos a beira mar; o florestamento por eucalipto e, unidades agrárias baseadas principalmente em estrutura familiar, nas quais os usos são relativamente diversificados, correspondendo predominantemente à criação de gado bovino e policultura de subsistência. Cabe citar a introdução, ainda incipiente, de empreendimentos alternativos, como por exemplo, um ranário, no qual há emprego de mão de obra e estabelecimento de infra-estrutura específica e, o cultivo de plantas ornamentais.

Quanto à pecuária, as espécies bovinas e muares criadas constituem-se de herbívoros que competem com as espécies colonizadoras silvestres e efetuam um pastoreio seletivo, que também culmina na eliminação de espécies nativas tanto da flora quanto da fauna. Os componentes florísticos eliminados, embora inadequados para o pastoreio, exercem importantes funções para a manutenção da qualidade sistêmica ao ocuparem nichos tróficos específicos.

No Parque Estadual de Itapeva, segundo o presente estudo, a área ocupada pelas edificações dentro dos limites dessa Unidade Conservação é de, aproximadamente, 0,034 km<sup>2</sup> ou 0,34% da área total do Parque.

As propriedades assentadas no Parque Estadual de Itapeva possuem padrões diferenciados. Predominantemente caracterizam-se por lotes de dimensões urbanas ou pequenas chácaras, cujas extensões variam, de maneira geral, de 7 a 10 ha. As atividades desenvolvidas aí relacionam-se predominantemente a atividades urbanas de subsistência. Os padrões fundiários estão compostos por propriedades que estendem-se perpendicularmente a praia, constituindo-se em faixas relativamente estreitas, de aproximadamente 50 ha cada. Empregam, de uma maneira geral e efetiva, pouca mão de obra, uma vez que as atividades, predominantemente rurais e relativas à pecuária e florestamento, conforme referido, tendem a ser desenvolvidas extensivamente.

Na Tabela 5.6 encontram-se listados os indicadores ambientais da Unidade de Conservação – Parque Estadual de Itapeva.

**Tabela 5.6: Indicadores Ambientais – Unidade de Conservação – Parque Estadual de Itapeva.**

<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>
<i>Tipo de Recurso</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Areia</li> <li>- Água</li> <li>- Solo</li> </ul>
<i>Processos Predominantes</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biofixação de nutrientes</li> <li>- Continuidade e heterogeneidade estrutural</li> <li>- Pedogênese (baixa intensidade)</li> </ul>
<i>Funções Associadas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produção primária</li> <li>- Corredor biológico (genético e migratório)</li> <li>- Pastoreio</li> </ul>
<i>Usos Predominantes</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pecuária extensiva</li> <li>- Florestamento</li> <li>- Urbanização</li> <li>- Usos diversificados em pequenas propriedades</li> <li>- Policultura de subsistência</li> </ul>
<i>Tipo de Impacto</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eliminação da mata de restinga</li> <li>- Introdução de espécies exóticas</li> <li>- Aplicação de agrotóxicos</li> <li>- redução da diversidade</li> <li>- homogeneização da paisagem</li> <li>- rebaixamento do lençol freático</li> </ul>
<i>Área de Abrangência</i>	- 10 km <sup>2</sup>
<i>Número de Ocupações Clandestinas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 452 Edificações</li> <li>- 0,034 km<sup>2</sup></li> </ul>
<i>Parâmetros da Legislação</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lei Federal no. 4.771, 15 de setembro de 1965 – Institui o Código Florestal.</li> <li>- Lei Federal no. 5.197, 03 de janeiro de 1967 – Dispõe sobre a Proteção à Fauna, e dá outras providências.</li> <li>- Lei Federal no. 6.902, de 27 de abril de 1981 – Dispõe sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental, e dá outras providências.</li> <li>- Lei Federal no. 6.938, de 31 de agosto de 1981 – Política Nacional do Meio Ambiente.</li> </ul>



- *Lei Federal no. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 – Lei de Crimes Ambientais.*
- *Lei Estadual no. 9.519/1992 – Institui o Código Florestal Estadual.*
- *Decreto Federal no. 84.017, de 21 de setembro de 1979 – Aprova o Regulamento dos Parques Nacionais Brasileiros.*
- *Decreto Federal no. 7.347, 24 de julho de 1985 – Disciplina a ação civil pública responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico, e dá providências.*
- *Decreto Federal no. 98.830, 15 de janeiro de 1990 – Dispõe sobre a coleta, estrangeiros, de dados e materiais científicos no Brasil, e dá outras providências.*
- *Decreto Federal no. 99.274, de 06 de junho de 1990 – Regulamenta as Leis 6.902/ 6.938/81.*
- *Decreto Federal no. 8.617, 04 de janeiro de 1993 – Dispõe sobre o mar territorial, zona contígua, a zona econômica exclusiva e a plataforma continental brasileiros, outras providências.*
- *Decreto Federal no. 750, 10 de fevereiro de 1993 – Dispõe sobre o corte, a exploração e a supressão da vegetação primária ou nos estágios avançado e médio de regeneração da Mata Atlântica, e dá outras providências.*
- *Decreto Federal no. 3.179/1999 – Regulamenta a lei de Crimes Ambientais.*
- *Decreto Estadual nº 42.009, de 12 de dezembro de 2002*
- *Decreto Estadual no. 42.010/2002 – Regulamento dos Parques Estaduais.*
- *Resolução no. CONAMA 04, 18 de junho de 1987 – Declara diversas unidades de conservação como sítios ecológicos de relevância cultural.*
- *Resolução no. CONAMA 10, de 03 de dezembro de 1987 – Sobre ressarcimento de danos ambientais causados por obras de grande porte.*
- *Resolução no. CONAMA 11, 14 de dezembro de 1988 – Proteção às Unidades de Conservação.*
- *Resolução no. CONAMA 13, 06 de dezembro de 1990 –*

*Proteção dos Ecossistemas do entorno das Unidades de Conservação.*

*- Resolução no. CONAMA 02, 18 de abril de 1996 – Reparação de danos ambientais causados pela destruição de florestas e outros ecossistemas.*

*- Portaria no. 216, 15 de julho de 1994 – Aprova o Regimento Interno do Conselho Nacional de Unidades de Conservação – CNUC.*

*- Portaria no. 90-N, 02 de setembro de 1994 – Dispõe sobre filmagens, gravações e fotografias em Unidades de Conservação.*

*- Portaria no. 92-N, 02 de setembro de 1994 – Regulamenta a Pesquisa Científica em Unidades de Conservação de uso indireto.*

*- Portaria SAA no. 326/1996 – Regulamenta a pesquisa científica nas UCs estaduais.*

*- Instrução Normativa no. 05/2003 – Uso de imagens nas UCs estaduais.*

### **5.3 Mapa de Vulnerabilidade Ambiental do município de Torres**

Com base na análise do mapa de vulnerabilidade ambiental (Figura 5.5) para a área estudada, pôde-se comprovar que as regiões com maior pressão antrópica, compreenderam as porções de menor vulnerabilidade ambiental. Essas áreas cobriram cerca de 49,97% da superfície total mapeada, englobando aproximadamente 84,95km<sup>2</sup> (Tabela 5.7). No geral, localizadas em regiões mais internas do município, distantes das suas margens, quase totalmente fora do compartimento das Áreas de Proteção Ambiental.

Com relação às áreas de vulnerabilidade ambiental média, essas corresponderam às porções intermediárias entre aquelas de vulnerabilidade alta e baixa, representadas por regiões que sofreram pressão antrópica e econômica relativas. Aparecem distribuídas no município, de maneira indiscriminada em todas as unidades ambientais descritas. Podem se destacar como representantes dessa classe, as dunas fixas e móveis, as áreas

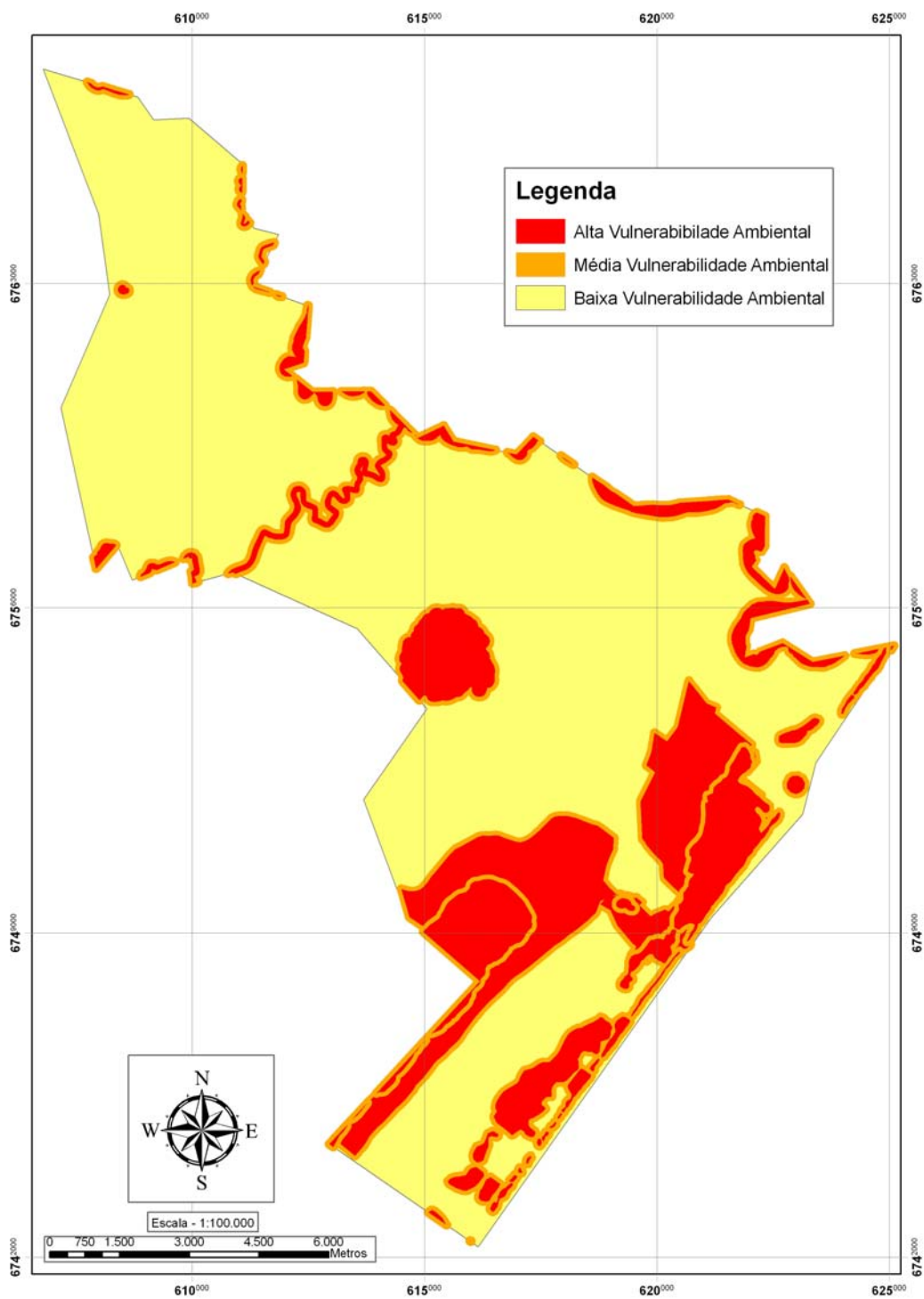
alagadiças e os bolsões de vegetação densa, totalizando aproximadamente 19,32 % da superfície estudada, cerca de 32,85 km<sup>2</sup> (Tabela 5.7).

E como era de se esperar, as regiões com vulnerabilidade ambiental alta, foram representadas por aquelas áreas sob baixa pressão antrópica, localizadas geralmente, em compartimentos de significativa preservação de acordo com as leis vigentes determinadas às Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação locais. Esse conjunto engloba uma superfície de, aproximadamente, 45 km<sup>2</sup> ou 26,46% da área total pesquisada (Tabela 5.7).

**Tabela 5.7: Áreas correspondentes às classes de Vulnerabilidade Ambiental.**

<b>Classe de Vulnerabilidade Ambiental</b>	<b>Áreas em km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentagem (%)</b>
<b>Baixa</b>	84,95 km <sup>2</sup>	49,97%
<b>Média</b>	32,85 km <sup>2</sup>	19,32%
<b>Alta</b>	44,99 km <sup>2</sup>	26,46%
<b>TOTAL</b>	170 km <sup>2</sup>	100%

Todas as análises apontaram para uma dinâmica intensa de ocupação das margens do Rio Mampituba perto da sua conexão com o oceano, constatando uma ampla e descontrolada intervenção humana, principalmente tratando-se da mata ciliar ali, hoje, não mais existente. Essas intervenções influenciam diretamente na dinâmica costeira e nos processos continentais naturais, provocando problemas sérios para as pessoas que vivem nas margens desse Rio e próximas a orla, tornando-se interessante a retirada, ou pelo menos, uma maior prudência no uso dessas áreas mais vulneráveis e um melhor aproveitamento das regiões menos vulneráveis e mais resistentes.



**Figura 5.5: Mapa de Vulnerabilidade Ambiental do município de Torres**

No município de Torres, o processo de verticalização e expansão da malha urbana, a partir de bairros populares e de veraneio, intensificaram-se significativamente nos últimos anos, provocando mais uma série de impactos decorrentes da ausência de planejamento adequado para o seu desenvolvimento. A deficiência de infra-estrutura sanitária, com conseqüente sobrecarga do sistema de esgotamento sanitário e contaminação por coliformes fecais do Rio Mampituba e Lagoa do Violão e, a ocupação irregular de áreas de dunas, banhados e margens do rio e lagoas são apenas alguns exemplos.

#### **5.4 Conclusão**

Neste trabalho, a união de técnicas de processamento digital de imagens e recursos dos sistemas de informações geográficas, aplicadas à imagens IKONOS II e a verificação *in situ* permitiu detectar e demonstraram alto potencial de aplicação e exploração em estudos voltados às questões ambiental e ao uso dos recursos naturais. No entanto, é importante destacar que novos estudos são necessários numa escala de maior detalhe, também com a utilização de sensores de alta resolução espacial, para obtenção de estimativas mais precisas da expansão urbana nas áreas protegidas por legislação ambiental.

Os resultados obtidos demonstram que com a utilização de bases de dados públicas (limites de áreas de preservação) e imagens de alta resolução é possível desenvolver uma metodologia de monitoramento de expansão da ocupação destas áreas, constituindo assim numa ferramenta poderosa para subsidiar a gestão ambiental.

Esse trabalho utilizou uma metodologia pouco explorada, que consistiu na classificação de cobertura da terra para o município de Torres em imagens de alta resolução, ou seja, a classificação de áreas bastante heterogêneas, com alvos de tamanhos variados, sem uma organização territorial como acontece nas áreas urbanas planejadas. Ter uma análise rápida da área, como a caracterização dos sistemas ambientais, a ocupação regular ou não dos mesmos, auxilia o planejamento urbano. Desta maneira, esta análise pode fornecer informações necessárias e de forma rápida para a área interesse, como percentual de áreas explorada por ocupações antrópicas, áreas instaladas em locais ambientalmente protegidos, entre outros, ajudando os

administradores da cidade no controle e intervenção dessas áreas, num curto espaço de tempo e a um menor custo.

As visitas em campo, analisando as áreas de interesse dentro dos limites do município de Torres possibilitou diferenciar feições que, apenas pela resposta espectral não seria possível, devido à mistura de algumas classes, resultante da classificação automática. Outros classificadores já dispõem de ferramentas além das espectrais que facilitam a classificação, mas a utilização dos atributos, disponíveis no *eCognition* ajudaram muito no processo de atribuir objetos às classes mais corretas. Um exemplo disso é a diferenciação de alvos, que espectral ou textualmente não são discrimináveis, como água de rio e lagoas.

Houve dificuldade na separabilidade entre as classes de coberturas de edificação (mancha urbana) e solo exposto nas imagens utilizadas neste estudo. A tentativa de distinção destas classes, pelo método de vizinho mais próximo, aumentou a confusão e diminuiu a qualidade da classificação. Porém, os resultados encontrados na avaliação da qualidade da classificação indicaram a possibilidade de usá-la na etapa seguinte deste trabalho.

Constatou-se que os resultados, expressos numericamente, permitem uma análise mais precisa sobre a ocupação das unidades ambientais protegidas. No entanto, deve-se considerar a margem de erro de todo o processo: desde a escala de estudo até a qualidade e detalhamento da classificação.

O intuito de testar a aplicabilidade do método de classificação de imagens baseada em objetos foi muito encorajador. Os resultados tanto na área teste quanto na de validação foram suficientemente satisfatórios, com exceção às classes edificação e solo exposto, conforme tratado anteriormente.

Com a realização desta pesquisa, foi compreendido que a utilização do conceito de objeto é crucial em classificações de imagens quando se deseja um nível de detalhamento próximo às feições do mundo real, pois a informação semântica necessária para interpretação de uma imagem não está presente no pixel e sim nos objetos da imagem e nas relações entre eles. Este é um diferencial do *eCognition*, pois fazendo testes de segmentação obtém-se um resultado muito bom numa imagem com uma

resolução espacial próxima a do objeto. Assim, quanto maior for a escala da imagem, melhores serão seus resultados, e a classificação obtida terá feições mais próximas aos objetos reais, possibilitando, até medidas com grande precisão e acurácia.

Com relação aos indicadores ambientais, percebe-se a relevância de tal ferramenta, na medida em que esta possa representar um corte significativo da realidade como expressão momentânea desta, inclusive provendo com informações de advertência, possibilitando reação adequada. Como afirma Bellen (2005), os indicadores são modelos da realidade, mas não a realidade, mesmo que constituídos a partir de uma sólida e coerente metodologia.

Não obstante as críticas de cunho científico ou político aos métodos empregados e sua natureza, a utilização destas ferramentas e o impacto que causam ao serem divulgadas, traz foco a problemas que muitas vezes passam despercebidos ao público alvo ou a sociedade em geral. Assim, o potencial educativo destes instrumentos nas várias esferas de ação é muito forte, pois busca na sua síntese expor um determinado corte na realidade que a depender do contexto em que é apresentado atua positivamente.

Acredita-se, que um trabalho desta natureza possa contribuir no processo de construção e elaboração de um sistema de indicadores que possa cooperar não só na questão das Unidades de Conservação e Áreas de Proteção, como nos estudos ambientais de maneira geral, entendendo sempre a dimensão espaço-temporal dos fenômenos que configuram o território.

Nesse sentido, as informações e resultados obtidos no presente trabalho devem embasar um planejamento que proponha ações de recuperação e monitoramento ambiental, que venham a ser tomadas por entidades governamentais e não-governamentais locais, a fim de possibilitar um desenvolvimento racional do ambiente. A preservação de áreas significativas da paisagem observada deve ser propiciada, permitindo, dessa forma, conciliar-se qualidade ambiental com utilização do território, incluindo-se ocupação urbana.

### **5.5 Considerações Finais**

Segundo Agra Filho (1993), as interações humanas com o sistema natural se desenvolvem essencialmente pelas formas e condições de ocupação do território, de apropriação dos recursos naturais e da organização social adotadas para o atendimento de suas necessidades, expressas pelo padrão de consumo de cada sociedade.

Destes fatores advém a problemática relacionada principalmente à especulação imobiliária, à disposição de resíduos urbanos e saneamento e sua interrelação com a destruição ou desestabilização de ecossistemas naturais.

Na situação particular de Torres, para enfrentar essa situação não foi desenvolvido um planejamento adequado e integrado para a utilização, e mesmo otimização do território, identificando-se, assim, uma série de rupturas no equilíbrio natural do sistema, as quais são potencialmente causadoras de impacto. A primeira e principal consequência desta utilização não planejada do território (e, portanto, muitas vezes indevida) é a perda quali e quantitativa dos recursos naturais disponíveis.

Identifica-se, então, a necessidade da adoção de políticas de desenvolvimento que permitam a manutenção da qualidade, o que, se executando de forma coerente, permitirá manter e incentivar o potencial da região como pólo turístico que busca firmar-se, garantindo os recursos que esta atividade traz à economia local.

As informações e resultados obtidos no presente trabalho devem embasar um planejamento que proponha ações de recuperação e monitoramento ambiental, que venham a ser tomadas por entidades governamentais e não-governamentais, a fim de possibilitar um desenvolvimento racional do ambiente. A preservação de áreas significativas da paisagem observada deve ser propiciada, permitindo dessa forma conciliar-se qualidade ambiental com utilização do território, incluindo-se ocupação urbana.

Essa circunstância reforça a urgência que se impõe na adoção de políticas de planejamento costeiro, pois a capacidade de destruição do homem com relação ao meio ambiente está diretamente relacionada à pressão de ocupação que o mesmo exerce crescentemente na região litorânea.



## CAPÍTULO 6

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA FILHO, R. – 1995 – *Integração, manipulação e análise espacial de dados na pesquisa mineral através de modelos empíricos de prospecção: Um exemplo no planalto de Poços de Caldas*. Revista Brasileira de Geofísica, vol. 13, N02, p.127-142.

ANDERSON, P. S. & RIBEIRO, A. J. *Introdução a fotointerpretação*. In: ANDERSON, S. P. *Elementos para interpretação*. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 1982. p.1-6.

ANTUNES, A. F. B. *Classificação de Ambiente Ciliar Baseada em Orientação a Objeto em Imagens de Alta Resolução Espacial*. Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

ARANOFF, S., 1982. The map accuracy report: A user's view. . *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 48:1039-1312.

ARONOFF, S. *Classification accuracy: a user approach*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 48, n. 8, p. 1299-1307, 1982.

BAATZ, M & SCHÄPE, A. *Mutiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation*. München. Disponível em <[www.definiens.com](http://www.definiens.com)>

BAATZ, M., A. SCHÄPE, 1999. *Object-oriented and multi-scale image analysis in semantic networks, in: proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium: Operationalization of Remote Sensing*, 16-20 August, ITC, NL, 1999.

BENZ, U., HOFMANN, P., WILLHAUCK, G., LINGENFELDER, I. and M. HEYNEN (2004): [Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information.](#) In: ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 58 (2004), 239-258.

BENZ, U.; HOFMANN, P.; WILLHAUCK, G.; LINGENFELDER, I.; HEYNEN, M. *Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information.* ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, v. 58, n. 3-4, p. 239-258, Jan. 2003.

BLASCHKE, T, LANG, S, LORUP, E, STROBL, J & ZEIL, P. *Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications.* *Environmental information for planning.* Vol 2. Metropolis-Verlag. 2000.

BLASCHKE, T.; STROBL, J. (2001). What's Wrong With Pixels? Some Recent Developments Interfacing Remote Sensing and GIS. In GIS-Zeitschrift für Geoinformationssysteme, Heft 6, p12-17.

BOW, S. T. *Pattern Recognition and Image Preprocessing.* Marcel Dekker, 1992.

BURSZTYN, Marcel. (1993), "Estado e meio ambiente no Brasil: desafios institucionais", in BURSZTYN, Marcel (org), *Para Pensar o Desenvolvimento Sustentável*, São Paulo, Editora Brasiliense.

CLARK, J. 1996. *Coastal Zone Management Handbook.* New York: Lewis Publisher/CRC Press. 694 p.

CLAUDE, M.; PIZARRO, R. *Indicadores de sustentabilidad y contabilidad ambiental para el caso chileno.* In: SUNKEL, Osvaldo (Ed.). *Sustentabilidad ambiental del crecimiento económico chileno.*

CONGALTON, R. & BIGING, G., 1992. *A pilot study ground reference data collection efforts for use in forest inventory.* *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 58:1669-1671.

CONGALTON, R. & GREEN, K., 1999. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices.* CRC Press, Danvers, EUA.

CONGALTON, R., 1983. *A quantitative method to test for consistency and correctness in photointerpretation.* *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 49:69-74.

CONGALTON, R., 1988. *A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data.* *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 54:593-600.

CONGALTON, R., 1991. *A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data.* *Remote Sensing of environment*, 37:35-46.

CONGALTON, R., 2001. *Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information.* *International Journal of Wildland Fire*, 10:321-328.

CONGALTON, R; GREEN, K 1999. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. Lewis Publishers, USA. 1999b.

CRÓSTA, A. P. (1992). *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. São Paulo, 173P. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Campinas.

DEFINIENS, 2004. "*Definiens Imaging, eCognition*" Web page, [accessed 11 February 2004]. Available <http://www.definiens-imaging.com>

ECOGNITION. *User's Guide*. Definiens Imaging. Muchen. Germany, 2003.

EHLERS, R.S. (2005) *Análise de Séries Temporais*. Departamento de Estatística, UFPR.

FEITOSA, J. R. P. *Uso de Técnica de Sensoriamento Remoto e Imagens Landsat-Tm e NOAA-AVHRR na estimativa do balanço de radiação à superfície*. 164f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Programa Institucional de Pós-graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2005.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA SIEGFRIED EMANUEL HAUSER (FEE). [www.fee.tche.br](http://www.fee.tche.br)

GONZALEZ, R. ; WOODS, R. *Processamento de Imagens Digitais*. Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 2000.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. , 2000. *Processamento de imagens digitais*. São Paulo: Edgard Blücher.

HOFFMANN, C. M., 2001. *Robustness In Geometric Computations. Technical Report*, Computer Science Dept., Purdue University.

ISHIKAWA, M. I.: *Potencialidades de uso de imagens IKONOS/GEO para aplicações em Áreas Urbanas*. Dissertação de Mestrado, UNESP, Presidente Prudente. São Paulo. 2001 82 p.

JANSSEN L.F., MOLENAAR M., 1995. *Terrain objects, their dynamics and their monitoring by the integration of GIS and remote sensing. IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 33, no. 3, pp. 749-758.

JENSEN, J. R. *Introductory digital image processing*. Englewood Cliffs: Prentice - Hall, 1986. 51 p. Schiwe, J., Tufte, L. Ehlers, M., *Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing*. *GeoBIT/GIS* n. 6, p. 34-39, June 2001.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-174. 1977.

LEINZ, V. *Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil*. Boletim da Faculdade de Ciências e Letras, v.5, p.01-61, 1949.

LILLESAND, T.M.; KLEFER, R.W. *Remote sensing and image interpretation*. New York, John Wiley and Sons, 1994. 750p.

MALLAT, S. G. (1989), "A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v. 11, p. 674-693.

MARTINS LR, VILLWOCK JA & MARTINS IR. 1972. *Estudo preliminar sobre a distribuição fisiológica da plataforma Continental Brasileira*. Pesquisas, (1): 51-56, Porto Alegre. CECO/IG/UFGRS.

MOREIRA, M. A. *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação*. 2.ed. Viçosa: Editora UFV, 2003.

NAHAS, M.I.P. *Bases teóricas, metodologia de elaboração e aplicabilidade de indicadores intra-urbanos na gestão municipal da qualidade de vida urbana em grandes cidades: o caso de Belo Horizonte*. Tese de Doutorado. Programa de Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos: UFSCar / Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2002. p. 373.

NAHAS, Maria Inês Pedrosa. (2005) *Banco de Metodologias de Sistemas de Indicadores*. In: BRASIL, Ministério das Cidades. 2ª Conferência das Cidades: Política Nacional de Desenvolvimento Urbano, Desenvolvimento do Índice de Qualidade de Vida Urbana Brasil, Ministério das Cidades, 2005 (Disponível em CDROM).

NAHAS, Maria Inês Pedrosa. *Metodologia de construção de índices e indicadores sociais, como instrumentos balizadores da gestão municipal da qualidade de vida urbana: uma síntese da experiência de Belo Horizonte*. In HOGAN et al (org). Migração e Ambiente nas Aglomerações Urbanas. Campinas: Núcleo de Estudos de População/UNICAMP, 2001. p. 461-487.

NOVO, E.M.L. de M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo: Edgard Blucher, 1989, 307p.

ORUC, M., A. M. MARANGOZ, G. BUYUKSALIH (2004): [Comparison of pixel-based and object-oriented classification approaches using Landsat-7 ETM spectral bands](#). In Proceedings of the ISPRS 2004 Annual Conference, Istanbul, Turkey. July 19 - 23.

PINHO, C. M. D, FEITOSA, F. F. e KUX, H. *Classificação automática de cobertura do solo urbano em imagem IKONOS: Comparação entre a abordagem pixel-a-pixel e orientada a objetos*. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. 12, 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4217 - 4224. CD-ROM.

PINHO, C. M. D. *Análise orientada a objetos de imagens de satélite de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos – SP*. 2005. 179p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

PINHO, C.M., KUX, H. *Dados do Quickbird para subsidiar o planejamento urbano: uma proposta metodológica*, município de São José dos Campos, SP, Brasil. In: *Simposio Latinoamericano sobre Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial*, 11., 2004,

RICHARDS, J. A & JIA. X. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer. 3 rd edition. Canberra, 1998.

- ROSENFELD, G. & FITZPATRICK-LINZ, K., 1982. *Sampling for thematic map accuracy testing. Photogrametric Engineering & Remote Sensing*, 48:131-137.
- ROSENFELD, G., 1982. *Sample design for estimating change in land use and land cover. Photogrametric Engineering & Remote Sensing*, 48:793-801.
- Santiago: Universidad de Chile, 1996.
- SCHOWENGERDT, R.A. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. 2nd Edition, Academic Press, Inc, 1997.
- TAGLIANI, C. R. et al. 1992. *Geologia e geomorfologia da Porção Sul do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, RS, Brasil*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, SBG / SP, São Paulo. Boletim de Resumos Expandidos, 2:292-293
- TAGLIANI, P. R. A. 1995. *Estratégia de planificação ambiental para o sistema ecológico da Restinga da Lagoa dos Patos-Planície Costeira do Rio Grande do Sul*. São Carlos: Universidade de São Carlos. (Doctorate's dissertation).
- TOLMASQUIM, M. T. et al. , *A Matriz Energética Brasileira na virada do milênio*, Rio de Janeiro : Setor de Publicações e Programação Visual/COPPE, 2000.
- TOUTIN, Th., 2004. *Comparison of Stereo-Extracted DTM from Different High-Resolution Sensors: SPOT-5, EROS, IKONOS and QuickBird*, IEEE-TGARS, 42(9), (in press). [http://dweb.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/db/biblio/paper\\_e.cfm?BibliolD=13383](http://dweb.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/db/biblio/paper_e.cfm?BibliolD=13383)
- VILLWOCK JA & TOMAZELLI LJ. 1995. *Geologia costeira do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas*, 8: 1-45. CECO/IG/UFRGS.
- VILLWOCK JA, TOMAZELLI LJ, LOSS EL, DEHNHARDT EA, HORN NO, BACHI FA & DEHNHARDT BA. 1986. *Geology of the Rio Grande do Sul coastal plain*. In: Rabassa, J. (Ed) Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. A.A. Balkema, Rotterdam. 4: 79-97.
- VILLWOCK JA. 1984. *Geology of the coastal province of the Rio Grande do Sul, Southern Brazil*. A Synthesis. Pesquisas 16: 5-49. CECO/IG/UFRGS.