

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Campus de Rio Claro

**EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E COBERTURA  
DO SOLO NAS ESTÂNCIAS TURÍSTICAS DE AVARÉ E  
PARANAPANEMA, NO RESERVATÓRIO DE JURUMIRIM (SP).**

**Sofia de Amorim Mascaro**

Dissertação de Mestrado elaborada  
junto ao Curso de Pós-Graduação em  
Geografia Área de Concentração em  
Análise da Informação Espacial, para  
obtenção do Título de Mestre em  
Geografia.

Rio Claro (SP)  
2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Campus de Rio Claro

**EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E COBERTURA  
DO SOLO NAS ESTÂNCIAS TURÍSTICAS DE AVARÉ E  
PARANAPANEMA, NO RESERVATÓRIO DE JURUMIRIM (SP).**

**Sofia de Amorim Mascaro**

*Orientador.* **Prof. Dr. Marcos César Ferreira**

Dissertação de Mestrado elaborada  
junto ao Curso de Pós-Graduação em  
Geografia Área de Concentração em  
Análise da Informação Espacial, para  
obtenção do Título de Mestre em  
Geografia.

Rio Claro (SP)  
2004

**Comissão Examinadora**

Prof. Dr. Marcos César Ferreira

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Diana Sarita Hamburger

Prof. Dr. Ailton Luchiari

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Isabel Castreghini Freitas

Prof. Dr. Antônio Carlos Vitte

Sofia de Amorim Mascaro  
- aluna -

Rio Claro, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de  
\_\_\_\_\_

Resultado:  
\_\_\_\_\_

***Aos meus pais, Sonia e Carlos, com muito amor,  
dedico este trabalho e todas as minhas conquistas.***

## **AGRADECIMENTOS**

---

**Ao Prof. Dr. Marcos César Ferreira** pela orientação e amizade, muito importantes para a realização deste trabalho, e pelo apoio na fase de transição entre os programas de Pós-Graduação.

**À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Celina Foresti** (*in Memoriam*) pela orientação, incentivo e amizade durante toda minha graduação e início do mestrado, e por ter me introduzido ao sensoriamento remoto e à pesquisa. Minha eterna gratidão.

**À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)** pela concessão da bolsa de estudos e apoio financeiro, imprescindíveis para a execução desta pesquisa.

**À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Iandara Alves Mendes**, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP/Rio Claro, pelo apoio na fase de transição entre os programas de Pós-Graduação.

**À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Diana Sarita Hamburger** pela amizade e contribuições no exame de qualificação. Agradeço também, pelas contribuições no exame de qualificação, **ao Prof. Dr. Ailton Luchiari**, do Departamento de Geografia, da Universidade de São Paulo.

**À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paulina Setti Riedel**, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP/Rio Claro, pelo apoio e amizade durante o mestrado.

**Aos funcionários e técnicos do CEAPLA (UNESP)** pelo auxílio com os mapas.

**Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação**, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP/Rio Claro, pela atenção e prontidão que auxiliaram no bom andamento desta pesquisa.

**Aos professores e funcionários do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA-USP)** pela atenção dispensada no início do mestrado.

**Ao Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT)** pelas fotografias aéreas.

**Às Prefeituras Municipais das Estâncias Turísticas de Avaré e de Paranapanema** pelas valiosas informações que contribuíram para a realização desta pesquisa.

**Ao Sr. Abílio Kawagushi** por toda ajuda no trabalho de campo pelo reservatório de Jurumirim.

**Aos meus pais, Sonia e Carlos**, por todo amor, dedicação, compreensão, apoio e amizade, orientando-me em todas as etapas da minha vida e também pela alegria e incentivo quando da minha “volta ao lar” e no auxílio da revisão do texto e dos inúmeros trabalhos de campo.

**Ao meu irmão Fernando**, pelo apoio, amizade e incentivo nesta fase importante da minha vida.

**Aos meus avós e tios**, por todo carinho e apoio.

**À querida amiga Liló**, pela amizade, cumplicidade e hospitalidade presentes em todos os momentos de nossa longa amizade, e também pelo apoio e auxílio valiosos desde o início até a finalização desta dissertação. **Agradeço também ao Fábio** pela amizade e hospitalidade.

**Às queridas amigas Anna Paola, Denise, Mariana, Maura, Pitch, Roseli e Simone** por toda amizade, cumplicidade e maravilhosa convivência, na pesquisa, na Rep e nas baladas.

**Aos amigos Carina e André, Flávia, Luciana, Priscilla e Vanessa**, que mesmo longe, estiveram sempre presentes.

**Aos amigos do CRHEA-USP, Caê, Carol, Fernanda, Jucélia, Maurício, Patrícia, Rinaldo, Silvana, Tatiana, Valdir e William**, pela amizade nesta etapa tão importante.

**Aos novos amigos da Faculdade Sudoeste Paulista, Adriano, Alessandro, Cláudia, Cláudio, Eliane, Elisabeth, Fernando, Fiorella, Gilberto, Gustavo, Irineu, Luciana, Márcia, Maressa, Mário, Mauricio, Naiara, Stein, Tânia, Teresa, Vilma e Yara**, pelo apoio e troca de idéias sobre o fascinante mundo do Turismo.

**À minha cachorrinha Flora**, sempre alegre e companheira.

E finalmente, **à Represa de Jurumirim e à Enseada Azul**, fontes inesgotáveis de inspiração e contemplação, desde o início de minha vida!

## SUMÁRIO

Índice.....	i
Índice de Tabelas.....	iv
Índice de Figuras.....	v
Índice de Quadros.....	ix
Resumo.....	x
Abstract.....	xi
1 – Introdução.....	01
2 - Revisão Bibliográfica.....	05
3 - Materiais e Métodos.....	61
4 - Processamento Digital de Imagens.....	86
5 - Uso e cobertura do solo nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema no período de 1972 a 2003.....	108
6 - O Turismo nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema.....	132
Conclusões e Considerações Finais.....	147
Referências Bibliográficas.....	155
Anexos.....	172

## ÍNDICE

1		- 01
Introdução.....		
1.1. Objetivos		02
1.2. Estrutura da Dissertação		03
2	-	Revisão 05
Bibliográfica.....		
2.1. Turismo em reservatórios no Estado de São Paulo		05
2.1.1. Introdução ao Turismo		05
2.1.2. O Turismo em águas interiores		08
2.2. A vegetação do cerrado		13
2.3. Sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica no estudo do uso e cobertura do solo		19
2.3.1. Uso e cobertura do solo		19
2.3.2. Introdução ao sensoriamento remoto		20
2.3.3. O sistema de classificação do uso e cobertura do solo para dados de sensoriamento remoto elaborado por Anderson et al. (1979)		24
2.3.4. Aplicações do sensoriamento remoto no mapeamento e estudo do uso e cobertura do solo		26
2.3.5. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)		28
2.3.6. Aplicação do sensoriamento remoto e do SIG no estudo do uso e cobertura do solo		32
2.4. Técnicas de processamento de imagens no SIG IDRISI		32
2.4.1. Correção de imagens		38
2.4.1.1. Correção radiométrica		38
2.4.1.2. Correção geométrica		39
2.4.2. Realce de imagens		40
2.4.2.1. Filtragem		40
2.4.2.2. Composição		41

2.4.3. Transformação de imagens	41
2.4.3.1. Transformação HSI	41
2.4.3.2. Índice de Vegetação	42
2.4.4. Classificação de imagens	43
2.4.4.1. Classificação digital supervisionada	46
2.4.4.2. Classificação não supervisionada	51
2.4.5. Exatidão da classificação digital	54
3 - Materiais e Métodos.....	61
3.1. Área de estudo	61
3.2. Materiais	68
3.3. Métodos	69
3.3.1. Uso e cobertura do solo em 1972	69
3.3.2. Técnicas de processamento digital de imagens no uso e cobertura do solo em 2003	71
3.3.2.1. Correção de imagens	72
3.3.2.2. Realce de imagens	73
3.3.2.3. Classificação digital supervisionada de imagens	74
3.3.2.4. Reclassificação e filtragem	79
3.3.2.5. Exatidão da classificação digital	79
3.3.3. Análise da evolução espaço-temporal do uso e cobertura do solo no período de 1972 a 2003	81
3.3.3.1. Escolha da imagem classificada	81
3.3.3.2. Cálculo da taxa de variação da área das categorias de uso cobertura do solo	82
3.3.3.3. Cruzamento dos mapeamentos de uso e cobertura do solo de 1972 e de 2003	82
4 - Processamento digital de imagens.....	86
4.1. Realce: técnica HSI e NDVI	86
4.2. Correção geométrica	89
4.3. Classificação digital	89

4.4. Exatidão da classificação digital	98
5 - Uso e cobertura do solo nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema	
no período de 1972 a 2003.....	108
5.1. O uso e cobertura do solo em 1972	108
5.2. Uso e cobertura do solo em 2003	111
5.3. Mudanças no uso e cobertura do solo no período de 1972 a 2003	119
6 - O Turismo nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema.....	132
6.1. O Turismo na Estância Turística de Avaré	135
6.2. O Turismo na Estância Turística de Paranapanema	142
Conclusões e Considerações	147
Finais.....	
Referências Bibliográficas.....	155
Anexos.....	172
....	

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Intervalos de qualidade do Índice de Kappa.	57
Tabela 3.1. Percentual das categorias de uso e cobertura do solo especificadas previamente, para a classificação digital pelo algoritmo Máxima Verossimilhança.	78
Tabela 3.2. Percentual de exatidão, erro permissível e tamanho da amostra para a exatidão da classificação digital.	80
Tabela 4.1. Exatidão global e Índice de Kappa dos mapeamentos do uso e cobertura do solo do reservatório de Jurumirim, em 2003.	98
Tabela 4.2. Matrizes de erro das classificações digitais.	100
Tabela 4.3. Exatidão do produtor e usuário para a categoria cerrado.	101
Tabela 4.4. Exatidão do produtor e usuário para a categoria água.	103
Tabela 4.5. Exatidão do produtor e usuário para a categoria pastagem.	103
Tabela 4.6. Exatidão do produtor e usuário para a categoria outras culturas.	104
Tabela 4.7. Exatidão do produtor e usuário para a categoria reflorestamento.	105
Tabela 4.8. Exatidão do produtor e usuário para a categoria areia.	106
Tabela 4.9. Medidas de exatidão do algoritmo MAXLIKE/EP.	107
Tabela 5.1. Categorias de uso e cobertura do solo e respectivas áreas, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, em 1972.	108
Tabela 5.2. Categorias de uso e cobertura do solo e respectivas áreas, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, em 2003.	111
Tabela 5.3. Variação das categorias de uso e cobertura do solo, no período de 1972 a 2003, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema.	120
Tabela 5.4. Índices de Kappa global e por categorias para 1972 e 2003, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema.	130

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Distribuição da área nuclear dos cerrados no Brasil.	13
Figura 2.2. Fisionomias do cerrado.	16
Figura 2.3. Componentes típicos de um SIG.	30
Figura 2.4. Fundamentos da classificação digital.	44
Figura 2.5. Exemplo de um histograma unimodal da categoria pastagem.	47
Figura 2.6. Algoritmo mínima distância.	48
Figura 2.7. Algoritmo paralelepípedo.	49
Figura 2.8. Extensão de duas bandas do algoritmo máxima verossimilhança.	50
Figura 2.9. Fundamentos da análise não supervisionada.	52
Figura 2.10. Histograma dos picos, vales e "shoulders" que ocorrem quando dois grupos adjacentes se sobrepõem em uma significativa extensão.	53
Figura 3.1. Localização das Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, no reservatório de Jurumirim-SP.	62
Figura 3.2. Mapa geológico da área da bacia hidrográfica do reservatório de Jurumirim-SP.	66
Figura 3.3. Mapa geomorfológico da área da bacia hidrográfica do reservatório de Jurumirim-SP.	67
Figura 3.4. Metodologia adotada para os mapeamentos do uso e cobertura do solo de 1972 e 2003, e para as análises espaço-temporais no período.	84
Figura 3.5. Metodologia adotada para o a classificação digital supervisionada de imagens.	85
Figura 4.1. Histograma da imagem NDVI, em 2000, no reservatório de Jurumirim-SP.	86
Figura 4.2. Imagem NDVI do reservatório de Jurumirim-SP, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, em 2000.	87
Figura 4.3. Imagem HSI do reservatório de Jurumirim-SP, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, em 2000.	88
Figura 4.4. Amostras de treinamento da classificação digital.	90
Figura 4.5. Histograma monomodal da categoria água, "subtipo" 1.	91
Figura 4.6. Histograma monomodal da categoria cerrado, "subtipo" 1.	91

Figura 4.7. Mapeamento do uso e cobertura do solo nas Estâncias de Avaré e Paranapanema, em 2003, produzido pelo algoritmo MAXLIKE/EP.	92
Figura 4.8. Mapeamento do uso e cobertura do solo nas Estâncias de Avaré e Paranapanema, em 2003, produzido pelo algoritmo MAXLIKE/IP.	93
Figura 4.9. Mapeamento do uso e cobertura do solo nas Estâncias de Avaré e Paranapanema, em 2003, produzido pelo algoritmo MINDIST/NI.	94
Figura 4.10. Mapeamento do uso e cobertura do solo nas Estâncias de Avaré e Paranapanema, em 2003, produzido pelo algoritmo MINDIST/RI.	95
Figura 4.11. Mapeamento do uso e cobertura do solo nas Estâncias de Avaré e Paranapanema, em 2003, produzido pelo algoritmo PIPED/Z 1.96.	96
Figura 4.12. Mapeamento do uso e cobertura do solo nas Estâncias de Avaré e Paranapanema, em 2003, produzido pelo algoritmo PIPED/Z 2.58.	97
Figura 5.1. Mapa de uso e cobertura do solo nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, no reservatório de Jurumirim-SP, em 1972.	110
Figura 5.2. Mapa de uso e cobertura do solo das Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, no reservatório de Jurumirim-SP, em 2003.	112
Figura 5.3. Área de pastagem que se estende até as margens do reservatório de Jurumirim-SP, na Estância Turística de Avaré.	113
Figura 5.4. Área de pastagem que se estende até as matas de galeria, na Estância Turística de Paranapanema.	113
Figura 5.5. Erosão em área de pastagem nas margens do reservatório de Jurumirim-SP, na Estância Turística de Avaré.	114
Figura 5.6. Fragmento de cerrado na margem do reservatório de Jurumirim-SP, circundado por pastagem, na Estância Turística de Avaré.	115
Figura 5.7. Em primeiro plano, área de pastagem; e ao fundo remanescente de cerrado, na Estância Turística de Avaré.	115
Figura 5.8. Fragmento de cerradão transformado em RPPN, na Estância Turística de Paranapanema.	116
Figura 5.9. Ilha coberta por vegetação de cerrado e protegida por lei, no reservatório de Jurumirim-SP.	116
Figura 5.10. Mata galeria ausente no ribeirão São João do Pinhal, na Estância Turística de Paranapanema.	117

Figura 5.11. Em primeiro plano, mata de galeria (A), e ao fundo, área de reflorestamento de Pinus sp. (B) na Estância Turística de Paranapanema.	117
Figura 5.12. Pivôs centrais de irrigação na Estância Turística de Avaré.	118
Figura 5.13. Área de praia (areia) formada pela diminuição do nível do reservatório e utilizada para lazer e turismo, na Estância Turística de Avaré.	119
Figura 5.14. Áreas de expansão do reflorestamento no período de 1972 a 2003, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema.	122
Figura 5.15. Áreas de substituição das outras culturas no período de 1972 a 2003, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema.	123
Figura 5.16. Áreas de substituição da água em 1972 por outros usos e coberturas do solo em 2003, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema.	124
Figura 5.17. Áreas de substituição do cerrado em 1972 por outros usos e coberturas do solo em 2003, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema.	126
Figura 5.18. Áreas de substituição da pastagem em 1972 por outros usos e coberturas do solo em 2003, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema.	127
Figura 5.19. Expansão da areia em 2003, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema.	128
Figura 5.20. Evolução temporal das categorias de uso e cobertura do solo no período de 1972 a 2003, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema.	129
Figura 6.1. Expansão das instalações turísticas em 2003, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema.	134
Figura 6.2. Residências secundárias do Condomínio Village Cabo Santa Bárbara, na Estância Turística de Avaré.	137
Figura 6.3. Lotes ocupados por cerrado no Loteamento Quinta do Lago, na Estância Turística de Avaré.	138
Figura 6.4. Acqua Ville Hotel, às margens do reservatório de Jurumirim-SP, na Estância Turística de Avaré.	139
Figura 6.5. Concentração das instalações turísticas nas proximidades da ponte Carvalho Pinto, na Estância Turística de Avaré.	140

Figura 6.6. Concentração das instalações turísticas e área de cerrado próximos à ponte Carvalho Pinto, na Estância Turística de Avaré.	141
Figura 6.7. Segundas residências do Loteamento Enseada Azul, na Estância Turística de Paranapanema.	143
Figura 6.8. Área de praia do Loteamento Enseada Azul, na Estância Turística de Paranapanema.	143
Figura 6.9. Loteamento Terras de Santa Cristina VI e Hotel de Lazer Santa Cristina, na Estância Turística de Paranapanema.	144
Figura 6.10. Quadras e lotes do Loteamento Terras de Santa Cristina VII com vegetação de cerrado (A); e retirada da vegetação de uma encosta (B), na Estância Turística de Paranapanema.	144
Figura 6.11. Loteamentos Enseada Azul (A), Santa Cristina VI (B) e VII (C), Hotel de Lazer Santa Cristina (D), Reserva Particular do Patrimônio Natural (E) e pastagem (F), na Estância Turística de Paranapanema.	145

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1. Sistema de uso e cobertura do solo proposto por Anderson et al. (1979) e adaptado por Biazon (1981) para a Estância Turística de Avaré.	25
Quadro 2.2. Vantagens e desvantagens dos algoritmos mínima distância, paralelepípedo e máxima verossimilhança.	51
Quadro 2.3. Esquema de uma matriz de erro.	55
Quadro 3.1. Características do reservatório de Jurumirim-SP.	64
Quadro 4.1. Fotografias aéreas do mapeamento do uso e cobertura do solo das Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, em 1972.	70
Quadro 6.1. Condomínios e loteamentos de residências secundárias e respectivos número de lotes, casas e área total, na Estância Turística de Avaré, em 2004.	136
Quadro 6.2. Instalações e serviços dos hotéis localizados no entorno do reservatório de Jurumirim-SP, na Estância Turística de Avaré.	139
Quadro 6.3. Características dos loteamentos na Estância Turística de Paranapanema.	142

## RESUMO

O objetivo principal desta pesquisa foi mapear e estudar a evolução espaço-temporal do uso e cobertura do solo na área de influência do reservatório de Jurumirim, sudoeste do Estado de São Paulo, utilizando dados de sensoriamento remoto e processamento digital em SIG. Alguns dos algoritmos da classificação digital supervisionada foram testados e comparados para determinar a classificação que produz os mapeamentos mais exatos. Os resultados indicaram que o principal uso do solo na área desde 1972 é a pastagem; o reflorestamento e o turismo são atividades em crescimento enquanto o cerrado está diminuindo em 2003. Os algoritmos máxima verossimilhança e mínima distância são os melhores classificadores quanto a exatidão global e para a categoria cerrado. A implementação de dados de sensoriamento remoto em SIG é uma metodologia muito eficiente para o planejamento ambiental.

Palavras chave: Uso e cobertura do solo, sensoriamento remoto, reservatório de Jurumirim, cerrado, turismo.

## ABSTRACT

The major objective of this research was map and study the temporal-space evolution of the land-use and land-cover in the influence area of Jurumirim reservoir, southwest of São Paulo State, using remote sensing data and digital processing in GIS. Some of the supervised classification algorithms were tested and compared to determine the classification that produces the most accuracy maps. The results indicate that the major land-use in the area since 1972 is the crop; reforestation and tourism are increasing activities while cerrado is decreasing in 2003. Maximum likelihood and minimum distance are the best algorithms to global accuracy and for cerrado forest category mapping. Remote sensing data implemented in SIG is a efficient methodology to improve environmental planning.

Key words: Land-use and land-cover, remote sensing, Jurumirim reservoir, cerrado, tourism.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

---

---

O reservatório de Jurumirim, situado no sudoeste do Estado de São Paulo, é o maior reservatório paulista, destacando-se como local de referência para o turismo na região.

Formado em 1962, Jurumirim é o primeiro de uma série de reservatórios formados pelo barramento do rio Paranapanema, um dos poucos sistemas ainda não atingidos pela poluição no Estado de São Paulo. Suas principais finalidades originais eram a geração de energia elétrica e a regularização da vazão do rio Paranapanema.

A nova paisagem formada pelo represamento do rio Paranapanema, possibilitou o surgimento da atividade turística, que passou a contribuir também para o desenvolvimento regional. Uma das conseqüências ambientais desta nova atividade foi a intensificação da ocupação das margens do reservatório, que passaram a ser utilizadas como área de lazer pela população dos municípios do entorno e região, e também por alguns municípios mais distantes, como São Paulo, Campinas, Sorocaba e Piracicaba.

Além da atividade turística, a região do reservatório destaca-se pela presença de remanescentes de vegetação nativa do cerrado, representado pelas fisionomias do campo sujo, campo cerrado, cerrado stricto sensu e cerradão.

No entanto, as áreas de cerrado estão sujeitas à degradação pela atividade turística, devido à intensificação da ocupação do solo das margens e da região de entorno do reservatório por loteamentos, condomínios, hotéis e clubes náuticos.

Torna-se necessário, portanto, o conhecimento do uso e da cobertura do solo da região do reservatório, bem como de sua dinâmica de ocupação, possibilitando uma melhor compreensão dos processos que estão ocorrendo na área em decorrência do desenvolvimento da atividade turística.

Desta forma, dados provenientes de sensoriamento remoto, como imagens de satélite e fotografias aéreas, têm sido amplamente utilizados no estudo do uso e cobertura do solo de uma região. Estes dados, quando processados em Sistemas de

Informação Geográfica (SIGs), possibilitam a realização de mapeamentos temáticos e o estudo multi-temporal de imagens, gerando subsídios para o monitoramento espaço-temporal da dinâmica do uso e cobertura do solo e de atividades antrópicas, como o turismo.

Para tanto, algumas das técnicas de processamento de imagens de satélite, como a classificação digital supervisionada de imagens, devem ser testadas e avaliadas para a obtenção do desempenho dos algoritmos e dos valores de exatidão da classificação, tornando possível a produção de mapas de uso e cobertura do solo que contenham um mínimo de precisão e confiabilidade.

Surge neste contexto, o interesse em mapear o uso e cobertura do solo no entorno do reservatório de Jurumirim e estudar sua dinâmica de ocupação, especificamente nos municípios das Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, aonde a atividade turística vem se destacando e é considerada de grande relevância para o desenvolvimento da região.

O presente trabalho tem como finalidade principal realizar um mapeamento espaço-temporal do uso e cobertura do solo, implementando dados provenientes de sensoriamento remoto em SIG, para uma melhor compreensão dos processos de ocupação que estão ocorrendo na região do entorno do reservatório de Jurumirim.

### **1.1. OBJETIVOS**

O objetivo geral desta pesquisa consiste no estudo da evolução espaço-temporal do uso e cobertura do solo e o turismo na área de entorno do reservatório de Jurumirim, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, no período de 1972 a 2003.

O trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar comparativamente o desempenho dos algoritmos Máxima Verossimilhança, Mínima Distância e Paralelepípedo na classificação digital supervisionada de imagens do satélite Landsat 7/ETM+ para o mapeamento do uso e cobertura do solo em 2003;

- Mapear o uso e cobertura do solo em 1972 e em 2003, e identificar e localizar as áreas remanescentes de cerrado e as instalações turísticas;
- Obter os valores de exatidão global e por categorias de uso e cobertura do solo em 2003, bem como o Índice de Concordância de Kappa (KIA) dos mapeamentos da classificação digital supervisionada;
- Estudar a dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura do solo e do turismo no período de 1972 a 2003.

## 1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos, apresentados da seguinte forma:

- Capítulo 1** Apresenta uma breve introdução aos assuntos que serão discutidos no trabalho, o objetivo geral e os específicos;
- Capítulo 2** Refere-se à revisão bibliográfica da pesquisa, focada em quatro temas principais: turismo em reservatórios; vegetação de cerrado; sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica e métodos e técnicas de processamento digital de imagens no SIG IDRISI 32;
- Capítulo 3** Apresenta a localização e caracterização da área de estudo; a relação dos materiais utilizados e a metodologia adotada para o desenvolvimento da pesquisa;
- Capítulo 4** Apresentação e discussão dos resultados referentes ao processamento de imagens no SIG IDRISI 32: realce e transformação; correção geométrica; classificação digital supervisionada; exatidão global e por categorias dos

mapeamentos produzidos pelos algoritmos Máxima Verossimilhança, Mínima Distância e Paralelepípedo no mapeamento do uso e cobertura do solo de 2003;

**Capítulo 5** Apresenta o mapeamento do uso e cobertura do solo em 1972 e em 2003, e discussão das análises espaço-temporais do uso e cobertura do solo no período de 1972 a 2003;

**Capítulo 6** Apresenta o turismo nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, e sua evolução no período de 1972 a 2003.

## **CAPÍTULO 2**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

---

#### **2.1. TURISMO EM RESERVATÓRIOS NO ESTADO DE SÃO PAULO.**

##### **2.1.1. Introdução ao Turismo**

O turismo ao longo do século XIX, e principalmente do século XX, se desenvolveu como fruto da Segunda Revolução Científico-tecnológica (a Revolução Industrial), recebendo um grande impulso da Terceira Revolução (do conhecimento) no final do século XX, quando a comunicação e a informação provocaram como efeito imediato a diminuição da jornada de trabalho e o aumento do tempo livre (DIAS, 2003).

Segundo Dias (2003), a maior disponibilidade de tempo para o lazer incentivou e continua incentivando um grande número de pessoas a incorporar o turismo como uma necessidade vital que influencia diretamente na qualidade de vida.

Nos dias atuais, o turismo é visto como importante atividade econômica, sendo considerado por alguns autores como a maior indústria do mundo, ficando ao lado da indústria bélica, petrolífera e automobilística (RUSCHMANN, 1997).

O turismo é uma atividade em expansão no mundo todo, movimentando cada vez mais um número maior de pessoas e um volume maior de capital; representando importante fonte de geração de renda, empregos e divisas para vários países e regiões (AULICINO, 1997).

No Brasil a intensificação do desenvolvimento do turismo ocorreu a partir da década de 50, acompanhando a fase de consolidação da indústria automobilística e a pavimentação de um maior número de estradas (LOMBARDO e CASELLA, 1997).

Segundo Barretto (2002) "Turismo é o fenômeno de interação entre o turista e o núcleo receptor e de todas as atividades decorrentes dessa interação".

Dias (2003) define o turismo como o

Conjunto de atividades que as pessoas realizam durante suas viagens e estadas em lugares diferentes ao de seu entorno habitual, por um período de tempo consecutivo e inferior a um ano, com o objetivo de lazer, negócios ou outros motivos, não relacionados com a atividade remunerada no lugar visitado.

Molina (1997 apud DIAS, 2003) cita vários benefícios decorrentes desta interação entre o turista e o núcleo receptor, dentre os quais destacam-se a geração de divisas e empregos e a contribuição para o resgate e conservação da cultura local e dos recursos naturais.

Sendo assim, tal como em muitas cidades do mundo, as cidades brasileiras passaram também a desenvolver mais intensamente o turismo, uma vez que esta atividade vem se destacando por promover o desenvolvimento local e regional (VASCONCELOS, 1998).

No entanto, o fluxo turístico provoca mudanças econômicas, sociais, culturais e ambientais significativas que, se não bem dimensionadas, podem transformar a atividade turística em um problema para as comunidades receptoras, na medida em que pode provocar a destruição de modos de vida tradicionais e de regiões ecologicamente preservadas. Assim, o turismo quando não planejado e monitorado permanentemente pode ocasionar efeitos negativos no núcleo turístico receptor (DIAS, 2003).

Segundo Irving (1998), o turismo vem se desenvolvendo com velocidade crescente, principalmente em regiões menos favorecidas sob a ótica sócio-econômica, mas privilegiadas quanto ao seu patrimônio cultural e ambiental, podendo ocasionar a descaracterização cultural e ambiental.

Segundo Ruschmann (1994), o turismo contemporâneo é um grande consumidor da natureza e sua evolução nas últimas décadas ocorreu como conseqüência da "busca do verde" e da "fuga" dos tumultos dos grandes conglomerados urbanos, quando as pessoas passam a entrar em contato com os ambientes naturais, durante o seu tempo livre.

Ruschmann (1997) afirma que turismo e natureza são realidades que sempre

estiveram intimamente relacionadas, pois os recursos naturais constituem um dos principais fatores motivadores dos fluxos turísticos.

Muitas vezes, o turismo implica na ocupação e na destruição de áreas naturais que se tornam urbanizadas e poluídas pela presença e tráfego intenso de turistas. Uma de suas conseqüências mais conhecidas é a modificação da paisagem, ocasionada principalmente pela alteração da cobertura vegetal em função do desmatamento (RUSCHMANN, 1997).

O turismo pode ocasionar impactos ambientais em todos os recursos naturais: água; terra; flora e fauna. No caso da terra, um exemplo é a redução do espaço natural livre, que é objeto da atividade turística, pela construção de loteamentos; a água de rios, lagos, reservatórios e praias, pode ser poluída pela deposição de lixo e esgoto; as matas são derrubadas para a implantação de megaprojetos e hotéis, bem como para a construção de loteamentos (ALVES, 2003).

Ruschmann (1997) afirma que algumas explorações intensivas dos recursos naturais e alteram o ambiente de forma irreversível. Segundo Aulicino (1997) a modificação da paisagem pode vir a comprometer a qualidade de vida e o próprio recurso natural que está sendo explorado.

Segundo Font (1992 apud PIRES, 1996), o turismo pode ser concebido como uma experiência geográfica na qual a paisagem se constitui num elemento essencial, identificando esta atividade como uma das maiores causas de sua degradação.

Bertrand (1970 apud ASSAD, HAMADA e CAVALIERI, 1998) definiu paisagem como

A porção do espaço caracterizada por um tipo de combinação dinâmica, portanto instável, de elementos geográficos diferenciados (físicos, biológicos e antrópicos) que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um 'conjunto geográfico' indissociável, que evolui em bloco, tanto sob efeito das interações entre os elementos que a compõe, quanto sob o efeito da dinâmica própria de cada um de seus elementos considerados separadamente.

No entanto, é preciso considerar a utilização dos recursos naturais para o turismo, que se constitui numa atividade importante para o desenvolvimento sócio-econômico de muitas regiões.

A atividade turística no Brasil também está centrada nas possibilidades de exploração de seus recursos naturais como principal oferta de motivação. Para isso, contribuem a dimensão territorial, a extensa faixa litorânea, o clima tropical, a diversidade dos ecossistemas e a variedade paisagística, constituída pela rica fauna e flora do Pantanal, da mata atlântica, da Amazônia e do cerrado (AULICINO, 1997; CONTI, 1997). Assim, os diferentes ecossistemas do Brasil tornaram-se atrativos em potencial para o turismo (CRUZ, 1997).

### **2.1.2. O turismo em águas interiores**

No Brasil, devido ao seu alto potencial hidroenergético, existe uma tendência natural para a construção de grandes barragens, visando a utilização da água para múltiplos fins (BRANCO e ROCHA, 1977).

A construção de barragens levou ao surgimento de grandes e sucessivos reservatórios onde havia apenas um curso d'água, originando profundas alterações no regime hídrico e no ambiente em sua volta (ZOCCHI, 2002).

As geradoras de energia passaram a dar ênfase ao uso múltiplo dos reservatórios. Além de suas finalidades básicas (abastecimento de água, geração de energia elétrica e regularização da vazão dos rios) os usos passaram a incluir o incremento do turismo e lazer, irrigação de lavouras, atividades de extração mineral (argila, areia e cerâmica) e a pesca esportiva e profissional (ZOCCHI, 2002; BRANCO e ROCHA, 1977).

Segundo Marouelli et al. (1988), a causa das alterações negativas sobre o ambiente do reservatório deve ser buscada na crescente pressão populacional na área do seu entorno, e nos processos que se seguem a ela, como escassez de terras férteis e desenvolvimento sócio-econômico da região, com conseqüentes modificações no uso e cobertura do solo.

De acordo com Branco e Rocha (1977), o turismo é uma das atividades que se desenvolve aliada à presença da nova paisagem formada pelo represamento.

O turismo em águas interiores no Brasil dispõe de atividades de recreação e lazer junto aos rios e suas praias, reservatórios, eclusas, bem como em parques das imediações, tanto em amplitude municipal e estadual, como também nacional

(BRUNA, 1999).

Deste modo, torna-se importante a efetivação de medidas de proteção da qualidade da água e uso adequado do solo (BRANCO e ROCHA, 1977).

Em algumas áreas, como por exemplo a da Grande São Paulo, as poucas possibilidades de entretenimento e contato com a natureza provocam o deslocamento da população para outras regiões em busca de atrativos naturais (BRANCO e ROCHA, 1977).

Segundo Grossi (1999) e Delfino (1991), uma das opções escolhidas para “escapar” dos congestionamentos de trânsito e praias lotadas do litoral paulista é o deslocamento para o interior do Estado, onde são encontradas mais de dez represas localizadas em um raio de até quatro horas de carro da capital.

No Estado de São Paulo existem vários reservatórios que se tornaram atrativos turísticos e passaram a fazer parte do desenvolvimento da região onde estão localizados. Dentre eles, destacam-se os reservatórios de Jurumirim (região de Avaré), Barra Bonita (Barra Bonita), Lobo ou Broa (Itirapina), Jaguari (Bragança Paulista), Atibainha (Nazaré Paulista), Paulo de Paiva e Castro (Mairiporã), Igaratá (Igaratá), Guarapiranga (São Paulo) e Itupararanga (região de Sorocaba) (GROSSI, 1999).

Nos finais de semana e feriados, muitos paulistas se deslocam para as represas de Jurumirim e do Broa em busca de sossego e contato com a natureza (DELFINO, 1991). O camping municipal da Estância Turística de Avaré recebe mais de seis mil campistas por dia; a praia do Broa chega a receber até 2.500 carros nos finais de semana (GROSSI, 1999).

As represas situadas mais próximas das cidades, com o passar do tempo, passaram a fazer parte da área urbana, transformando-se em locais de recreação (BRANCO e ROCHA, 1977).

Um exemplo de forte pressão populacional é o da represa de Guarapiranga, que possui suas margens ocupadas por clubes, marinas, condomínios e loteamentos.

No reservatório do Atibainha, município de Nazaré Paulista, estão implantados aproximadamente 20 restaurantes e vários hotéis e pousadas às margens da represa, ao longo da Rodovia Dom Pedro I (GROSSI, 1999).

A Estância Turística de Avaré, maior município localizado às margens do reservatório de Jurumirim, tem seu desenvolvimento turístico ligado ao reservatório (ZOCCHI, 2002). O reservatório é considerado um dos maiores fenômenos imobiliários paulistas, pois anualmente aparecem dezenas de novos condomínios de segundas residências às suas margens e arredores (VIAJANDO: A REVISTA DE TURISMO DO INTERIOR, 2002 b).

De acordo com Tulik (2000), residências secundárias ou segundas residências, são termos já bem consagrados pelo uso na literatura específica de turismo, e constituem-se de alojamentos turísticos particulares, utilizados temporariamente, nos momentos de lazer, por pessoas que têm seu domicílio permanente em outro lugar. A autora acrescenta que este conceito está ligado ao imóvel e não à condição de propriedade, ou seja, ao fato de ser próprio, alugado, arrendado ou emprestado.

Segundo a autora, na região sul do Estado de São Paulo, "a área de concentração de residências secundárias se insinua entre Ourinhos e Avaré, se prolonga no rumo de Itapeva, Itapetininga, Capão Bonito, e Registro e envolve Sorocaba", tornando esta região um centro de demanda por residências secundárias no Estado.

Ungaretti (1999), em sua reportagem sobre o lazer náutico e country da Estância Turística de Avaré, concluiu que "um alentado e crescente grupo de paulistas"... "atraídos por uma incrível mistura de praia e campo estão se estabelecendo em Avaré". Segundo o autor, a ocupação das margens do reservatório se intensificou a partir da década de 80, quando um grupo de empresários paulistanos começou a edificar suas casas de segundas residências no entorno da represa. O reservatório, que tem 100 quilômetros de extensão, possui cerca de 30% das margens ocupadas por aproximadamente duas mil casas de segunda residência, dos mais variados padrões.

O reservatório do Broa, localizado na região centro-leste do Estado de São Paulo, é outro exemplo da modificação da paisagem pela retirada da vegetação natural em função do crescimento da atividade turística e da demanda por segundas residências.

Situado entre os municípios de Brotas e Itirapina, o reservatório do Broa (ou Lobo) é uma área que passa por mutações desde sua formação em 1929. Primeiramente, o reservatório exerceu a função de produção de energia elétrica, mas atualmente é utilizado como local de pesquisa e lazer, ocupando papel de destaque para a população rural e urbana, pois é uma das poucas opções de lazer da região (QUEIROZ e VENÂNCIO, 1998).

Segundo Marinelli e Leite (2000), o Broa é o principal pólo turístico regional. A presença de três condomínios e um iate clube nas margens da represa, atrai a população de muitos municípios da região, chegando a receber até 50 mil pessoas em feriados prolongados.

Uma pesquisa feita por Queiroz e Venâncio (1998) concluiu que no decorrer dos últimos vinte anos, o corpo d'água vem sofrendo vários tipos de impactos ambientais, como desmatamento e assoreamento de suas margens, e recebimento de dejetos líquidos e sólidos devido à utilização de seu entorno e de seus recursos hídricos para fins recreacionais e de lazer. Este tipo de uso acarreta alterações significativas ao meio ambiente local, impactando pontos do reservatório, principalmente em períodos de maior fluxo de turistas.

No final da década de 70, a vegetação de cerrado no entorno do reservatório do Broa ainda era abundante; a área de reflorestamento estava se expandindo; os morros eram cobertos de mata; as áreas de agricultura localizavam-se no entorno da zona urbana de Itirapina e as pastagens concentravam-se mais ao centro-sul da área. Na década de 90 o reflorestamento expandiu-se; o cerrado diminuiu; e as culturas agrícolas e a área urbana cresceram significativamente (QUEIROZ e VENÂNCIO, 1998).

Segundo Queiroz e Venâncio (1998), os loteamentos e condomínios de segundas residências também se expandiram no entorno do reservatório desde a década de 70, transformando a paisagem local, impermeabilizando o solo, removendo porções de terra que acabam assoreando o reservatório, causando risco de contaminação do lençol freático devido à construção de fossas (QUEIROZ e VENÂNCIO, 1998).

A bacia do ribeirão do Lobo, um dos ribeirões que abastece o reservatório, possui em seu perímetro várias atividades e usos, como mineração de areia,

agricultura, turismo, desmatamento e descarga de esgoto doméstico não tratado (REIS, CASSIANO e ESPÍNDOLA, 2000). Segundo Tundisi et al. (2000), estas atividades representam os principais impactos antrópicos no reservatório, juntamente com a pesca esportiva em excesso.

Portanto, o que se observa na área de entorno de grande parte dos reservatórios do Estado é a implantação de loteamentos, condomínios e chácaras de segundas residências ou segundas residências, bem como hotéis, pousadas, campings, marinas, clubes náuticos e áreas de lazer.

De acordo com Ruschmann (1997), o turismo é uma atividade dinâmica e suas conseqüências mudam constantemente, tornando o seu monitoramento periódico imprescindível. No entanto, a ausência quase que total de pesquisas científicas e a conseqüente falta de dados impedem uma avaliação mais precisa das conseqüências do turismo sobre o meio ambiente.

A autora afirma que a preservação dos recursos naturais explorados pelo turismo irá depender também de uma política turística eficaz, visando salvaguardar a atratividade e originalidade dos recursos para as gerações futuras, promovendo desta forma o turismo sustentável.

Lombardo e Casella (1997) colocam o planejamento como um dos mecanismos mais eficientes para a condução do processo de desenvolvimento turístico, na medida em que estabelece condições favoráveis para alcançar os objetivos propostos e prevê soluções para evitar ou minimizar os problemas futuros.

O Ministério do Turismo (2003)<sup>1</sup> observa que a multidisciplinaridade do setor e os impactos econômicos, sociais, ambientais, políticos e culturais gerados pelo turismo exigem um processo de planejamento e gestão que oriente, discipline e se constitua em um poderoso instrumento de aceleração do desenvolvimento nos níveis municipal, regional e nacional. O turismo, quando bem planejado, gera empregos, promove a distribuição de renda, a melhoria da qualidade de vida da população e a valorização e conservação do patrimônio cultural e natural.

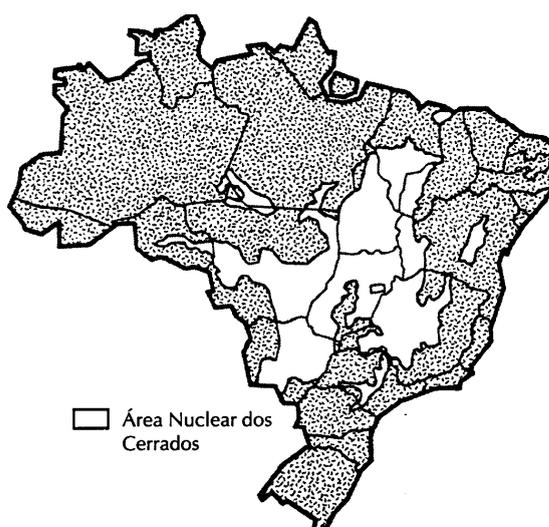
---

<sup>1</sup>[www.turismo.gov.br](http://www.turismo.gov.br)

## 2.2. A VEGETAÇÃO DO CERRADO

O cerrado é uma das macrounidades paisagísticas mais características dentre as que integram o conjunto de paisagens da Terra em sua fase evolutiva pós-quadernária. Ocupam a parte central do território brasileiro, envolvido sob todos os quadrantes por outras paisagens e vegetação (MELLO FILHO, 1992-93).

Os cerrados representam o segundo maior bioma da América do Sul e sua distribuição no território brasileiro está representada nos Estados de Mato Grosso, Goiás, Tocantins, Mato Grosso do Sul, oeste da Bahia e de Minas Gerais, Distrito Federal e - fora do Brasil Central - no Maranhão, Piauí, Rondônia, São Paulo, Amazônia e em áreas disjuntas do Nordeste (PEIXOTO e CORADIN, 1992-93) (Figura 2.1.).



**Figura 2.1. Distribuição da área nuclear dos cerrados no Brasil (SÃO PAULO, 1997).**

Os cerrados ocorrem na Amazônia Setentrional, de Roraima aos tabuleiros do Amapá; no interior e litoral do Nordeste; no planalto sedimentar da bacia do rio Paraná; na região Sudeste e no Sul do País, e em algumas partes do Planalto Meridional. No Estado de São Paulo, as formações de cerrado não são contínuas, ocorrendo como enclaves em meio à floresta mesófila, que é o bioma predominante no Estado (KRONKA et al., 1998).

Os cerrados se destacam por sua grande diversidade, que advém de sua extensão, de sua variação latitudinal e altitudinal, da penetração em sua área de extensos cordões lineares de outros domínios de paisagem, dos ecótonos pelos quais transiciona para as demais macrounidades paisagísticas limítrofes e das influências antrópicas, cada vez mais intensas, que o simplificam, degradam ou eliminam (MELLO FILHO, 1992-93).

Devido a sua ampla extensão territorial, posição geográfica, heterogeneidade vegetal e, por ser cortado por três grandes bacias hidrográficas da América do Sul, a vegetação de cerrado destaca-se pela sua biodiversidade. É composta por 429 espécies de árvores e arbustos e sua flora é considerada a mais rica dentre as savanas do mundo (WWF, 1995).

A vegetação de cerrado abrange aproximadamente um quarto do território brasileiro e ocorre predominantemente na região centro-oeste, ocupando cento e cinquenta milhões de hectares (KRONKA, NALON e MATSUKUMA, 1998).

Apesar de constituir-se na segunda maior formação vegetal brasileira, depois da Floresta Amazônica, os cerrados não foram incluídos no Capítulo 6<sup>o</sup> – Meio Ambiente, artigo 225, parágrafo 4<sup>o</sup>, da Constituição Brasileira, que protege os grandes biomas transformando-os em Patrimônio Nacional. Assim, esta formação vegetal torna-se frágil perante a legislação, somente sendo protegida pelo Código Florestal (Lei Federal nº7803/89) (SÃO PAULO, 1997).

A cobertura vegetal primitiva do Estado de São Paulo no período colonial, chegou a recobrir mais de 80% do território paulista, mas atualmente, está reduzida a cerca de 12%. (SÃO PAULO, 1997).

O ecossistema do cerrado também sofreu intensa degradação, principalmente a partir da década de 50, com o surgimento de Brasília e de uma política de expansão agrícola, por parte do Governo Federal, quando iniciou-se uma acelerada e desordenada ocupação da região do cerrado, baseada em um modelo de exploração fundamentalmente extrativista e, em muitos casos, predatória<sup>1</sup>.

Estima-se que atualmente cerca de 37% da área do cerrado já perderam a cobertura original, dando lugar à diferentes paisagens antrópicas. Da área remanescente do cerrado, estima-se que 63% estejam em áreas privadas, 9% em

---

1 <http://orbita.starmedia.com/~mlinho/c03.html>

áreas indígenas e apenas 1% da área total do cerrado encontra-se sob a forma de Unidades de Conservação Federais<sup>1</sup>.

A utilização de técnicas de monitoramento revelou que, mesmo com o aprimoramento da legislação ambiental, a taxa de desmatamento ainda é muito alta (SÃO PAULO, 1997).

Segundo Kronka, Nalon e Matsukuma (1998), as formações de cerrado no Estado de São Paulo não são contínuas, ocorrendo como “enclaves” em meio à floresta mesófila, que é o bioma predominante no Estado. As concentrações mais expressivas e contínuas dos cerrados paulistas distribuíam-se nas regiões de Ribeirão Preto, Sorocaba, Bauru e Campinas. Nos dias atuais sua ocorrência é mínima, restringindo-se ao extremo oeste; curso superior do rio Tietê; regiões que margeiam o rio Paraná e em algumas regiões do leste paulista, incluindo o vale do rio Paraíba, região de São Paulo e Bragança Paulista.

A redução da vegetação de cerrado ocorre desde o início do século XX, devido principalmente ao grande potencial desta formação como fornecedora de lenha, carvão vegetal, moirões de cerca, além de sua utilização como pasto natural e como área de reflorestamentos de *Eucaliptus* sp. (CAVASSAN 1990 apud SÃO PAULO, 1997). O grau de intervenção humana nas áreas de cerrado é maior que nas demais formações devido também ao relevo plano ou suavemente ondulado onde se encontram (FISCHER, SOARES e FRANZ, 1991).

O complexo fisionômico representado pelos cerrados ocupava, até há algumas décadas, uma extensão territorial estimada em 1,8 milhão de quilômetros quadrados (COUTINHO, 1990).

Até a década de 70, a região dos cerrados possuía uma pequena atividade agrícola, destinada principalmente aos cultivos de subsistência e à criação extensiva de gado. Atualmente, a região dos cerrados já contribui com mais de 25% da produção nacional de alimentos e abriga 40% do rebanho bovino do país (GOEDERT 1989 apud SILVA et al., 1994).

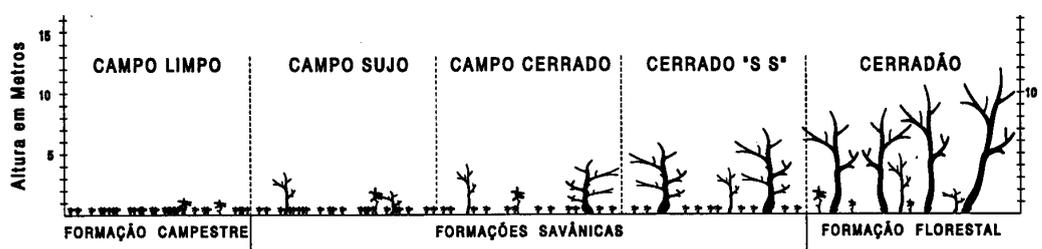
O cerrado é destacado neste trabalho devido à sua significativa presença na área estudada, pois estes remanescentes de vegetação estão localizados nas proximidades do reservatório de Jurumirim (SP).

---

Segundo Ferri (1960 apud ALONSO, 1977), o solo desta vegetação é revestido especialmente com gramíneas. As árvores e arbustos impressionam pelo aspecto tortuoso, cujos caules recobrem-se de espessa casca, apresentando folhas coriáceas brilhantes ou revestidas por pêlos, apresentando aparência de vegetação adaptada às condições de seca.

A vegetação do cerrado caracteriza-se em sua maior parte por savanas estacionais, com a presença de florestas de galeria perenes ao longo dos rios. No Brasil é composta por 429 espécies de árvores e arbustos, e sua flora é considerada a mais rica dentre as savanas do mundo (WWF, 1995).

O cerrado não se constitui de uma única fisionomia, apresentando gradações que vão das florestas xeromorfas (cerradões) às formações herbáceo-arbustivas (cerrados ralos), passando por formações intermediárias que correspondem ao cerrado típico (ALONSO, 1977). Estas fisionomias diferenciam-se entre si em relação à composição botânica e à estrutura da vegetação (WWF, 1995) (Figura 2.2.).



**Figura 2.2. Fisionomias do cerrado (SÃO PAULO, 1997).**

As formações fitossociológicas do cerrado irão depender de variações na disposição de nutrientes e água, do clima, da intensidade e frequência do fogo, e da ação de herbívoros (GUTBERLET, 1998).

O cerrado típico (stricto sensu ou ss) apresenta dois estratos: o superior, que é formado por arbustos e árvores de pequeno porte distantes entre si, e o inferior, herbáceo e disposto de forma mais ou menos contínua ou em tufos. A maioria das espécies de cerrado é arbustiva, sendo que as espécies mais comuns que ocorrem no estrato superior são a lixeira (*Curatella americana*), o pequi (*Caryocar brasiliensis*) e o pau-santo (*Kielmeyera coriacea*), enquanto no estrato inferior ocorrem Gramíneas e Ciperáceas (HUECK, 1972; ALONSO, 1977).

O campo cerrado é um tipo de savana com vegetação arbórea bem esparsa. É caracterizado pela presença de pequenas árvores e de inúmeros arbustos que crescem sobre uma cobertura de ervas e capins, e possuem casca grossa e tronco retorcido (HUECK, 1972).

O cerradão é uma formação mais alta e densa que o cerrado típico, porém mais baixa e menos densa que a mata. Suas árvores não são retorcidas como no campo cerrado, e crescem altas como as árvores comuns da floresta (RIZZINI, 1979). Sua estratificação é formada por três estratos distintos: o primeiro estrato (superior) é arbóreo, chegando a atingir 8 a 10 metros em média (em alguns lugares podem aparecer espécies de 20 metros). Neste estrato destacam-se os gêneros *Bowdichia*, *Sclerolobium*, *Qualea*, *Machaerium* e *Caryocar*. O segundo estrato é arbustivo, com indivíduos de 1 a 3 metros de altura, e formado principalmente pelos gêneros *Bauhinia*, *Casearia*, *Copaifera*, *Miconia*, e *Himatanthus*. O terceiro estrato é herbáceo e mais ralo, constituído principalmente por Gramíneas, Ciperáceas e Bromeliáceas (ALONSO, 1977). Esta formação é restrita às áreas areníticas lixiviadas com solos profundos, ocorrendo em clima tropical eminentemente estacional (IBGE, 1992).

Neste tipo de variação de cerrado há a presença de “brejos estacionais”, que constituem campos úmidos gramíneos, encharcados na estação chuvosa, e secos na estação de baixa precipitação. Sua ocorrência se dá nas encostas dos vales, onde formam faixas que orlam as florestas galerias, separando-as do cerrado de interflúvio (EITEN, 1983).

O campo limpo é considerado por Eiten (1972) como um gramado com ausência das mais altas plantas lenhosas visíveis. Sua flora está representada praticamente pelas mesmas espécies de gramíneas que estão presentes no campo cerrado. Quando o gramado do cerrado apresenta poucos e baixos arbustos, que se distribuem de forma muito esparsa, mas são notáveis, são denominados de campo sujo.

A cobertura arbórea reflete o nível de sombreamento do solo devido à presença de árvores. O campo sujo apresenta 6% do solo sombreado, enquanto o sombreamento chega a ser de 34% no cerrado e 93% no cerradão (WWF, 1995).

Os cerrados e florestas galerias ocorrem no domínio dos chapadões tropicais do Brasil Central (AB'SABER, 1971), sendo a vegetação típica das áreas de clima semi-úmido com duas estações bem definidas (chuvosa e seca) (ALONSO, 1977).

As rochas que dão origem aos solos do cerrado são antigas, com idades que variam de 570 milhões a 4,7 bilhões de anos (WWF, 1995). Os solos do cerrado são latossolos vermelhos submetidos a profundo intemperismo, tipicamente profundos, uniformes, porosos, ácidos, pobres em bases trocáveis e ricos em óxidos de alumínio e ferro (AB'SABER, 1971; GOODLAND, 1979).

Ab'Saber (1971) constatou que os cerradões, cerrados e campos, ocupam formas topográficas planas e maciças, nos interflúvios dos chapadões, e descem até a base das vertentes, onde ocorrem os depósitos aluvionares dos vales, onde implantam-se as florestas galerias, geralmente largas e contínuas.

A drenagem superficial da área de cerrado é composta por duas nervuras hidrográficas que somente se integram durante a estação chuvosa. A drenagem perene no fundo dos vales, responde pela alimentação das florestas galerias no período de seca, e uma trama fina e mal definida de caminhos d'água intermitentes, associada à pobreza relativa dos solos, responde pela ecologia do cerrado (AB'SABER, 1971).

## **2.3. SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO ESTUDO DO USO E COBERTURA DO SOLO**

### **2.3.1. Uso e cobertura do solo**

O conhecimento e atualização constantes da distribuição espacial do uso e cobertura do solo são essenciais para o desenvolvimento equilibrado das atividades humanas frente aos recursos naturais (PEREIRA, KURKDJIAN e FORESTI, 1989), principalmente devido à velocidade de ocupação do espaço físico e ao pouco conhecimento dos recursos naturais existentes (VENTURIERI e SANTOS, 1998).

O uso do solo está relacionado à "atividade do homem na terra, que se acha diretamente relacionada com a terra" (CLAWSON e STEWART 1965 apud ANDERSON et al., 1979). Já o revestimento ou cobertura do solo refere-se à "a vegetação e construções artificiais, que recobrem a superfície da terra" (BURLEY 1961 apud ANDERSON et al., 1979).

O estudo do uso e cobertura do solo consiste em buscar o conhecimento da sua utilização por parte do homem ou, quando não utilizado por ele, a caracterização dos tipos de vegetação natural que revestem este solo, como também suas respectivas localizações (ROSA, 1990).

O conhecimento das informações a respeito do uso do solo e do revestimento/cobertura do solo auxilia na tomada de decisões nas esferas federais, estaduais e municipais, na medida em que se tenta superar os problemas da ocupação humana descontrolada, da deterioração da qualidade ambiental e de vida, da perda de terras agrícolas e da destruição de habitats (ANDERSON et al., 1979).

Dentre os usos e coberturas do solo, Anderson et al. (1979) cita a terra urbana ou construída, terra agrícola, pastagem, terra florestal, água, terras úmidas e terras áridas.

Segundo o autor, tão importante quanto o uso atual das terras, é também o conhecimento sobre as mudanças do uso e cobertura do solo ao longo dos anos, possibilitando a compreensão de sua dinâmica.

Considerando a dinâmica da ocupação do uso e cobertura do solo, é importante que estas informações sejam atualizadas, bem como os mapas temáticos

correspondentes, pois com o acompanhamento das alterações do uso e cobertura do solo ocorridas no tempo, é possível avaliar como vem ocorrendo os processos de ocupação na superfície terrestre (PEREIRA, KURKDJIAN e FORESTI, 1989).

De acordo com Fischer, Soares e Franz (1991), através do conhecimento da realidade do ambiente é possível propor medidas de reordenamento do território de forma mais conservacionista.

Desta forma, as pesquisas que abordam o uso e cobertura do solo e a análise de sua evolução espacial e temporal, constituem-se em um importante instrumento para o planejamento de uma localidade ou região (CRISCUOLO, VASCONCELOS e SILVA, 2000).

A disponibilidade de informação espacial atualizada e precisa é também essencial para o planejamento e gestão dos ecossistemas antrópicos e dos recursos naturais (HAACK e BECHDOL, 1999; FLORES e MARTÍNEZ, 2000).

Sendo assim, dados atuais, precisos e de confiança sobre a superfície terrestre podem ser adquiridos por meio da tecnologia do sensoriamento remoto (HAACK e BECHDOL, 1999).

### **2.3.2. Introdução ao sensoriamento remoto**

O sensoriamento remoto permite a aquisição de imagens da superfície terrestre através de sensores que captam a energia eletromagnética emitida ou refletida pelos vários alvos imageados na Terra (CHUVIECO, 2000).

Segundo Novo (1998), o sensoriamento remoto é a "utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves, entre outros, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes da Terra, em suas mais diversas manifestações".

Sendo assim, as imagens de satélite e as fotografias aéreas tornaram-se ferramentas importantes para a aquisição de dados da superfície terrestre para múltiplas finalidades, dentre elas, o mapeamento do uso e cobertura do solo (PEREIRA, KURKDJIAN e FORESTI, 1989).

O sensoriamento remoto passou a complementar os levantamentos baseados em observações e registros feitos em terra, tornando possível a realização de um inventário atual e preciso de uso corrente dos recursos naturais e da ocupação do homem na superfície terrestre (ANDERSON et al., 1979).

Os conceitos relacionados com revestimento do solo e atividade de uso da terra estão intimamente ligados e, em muitos casos, têm sido utilizados alternativamente. As finalidades para as quais as terras estão sendo usadas, geralmente estão relacionadas com tipos de revestimento, seja ele florestal, agrícola, residencial ou industrial. Os equipamentos de sensoriamento remoto para a formação de imagens não registram a atividade diretamente. O sensor remoto obtém uma resposta baseada em muitas características da superfície terrestre, inclusive o revestimento natural ou o artificial. O interprete vale-se de modelos, tonalidades, texturas, formas e associações no terreno a fim de obter informações sobre atividades de uso da terra, a partir de que, basicamente constituem formação sobre o revestimento do solo (ANDERSON et al., 1979).

O uso de fotografias aéreas para fins de mapeamento do uso e cobertura do solo vem sendo feito desde meados dos anos 40, a partir de fotografias aéreas tiradas no final da década de 30 e no começo da década de 40 pelos Estados Unidos (ANDERSON et al., 1979).

Os satélites de reconhecimento para fins civis são disponíveis desde 1972 quando a NASA (National Space and Space Administration) lançou o ERTS1 (Earth Resources Technology Satellite), primeiro satélite de coleta sistemática de dados repetitivos e multiespectrais da superfície terrestre.

Desde então o sensoriamento remoto vem passando por grandes mudanças nas últimas duas décadas devido aos avanços em três áreas principais: (1) desenvolvimento de sensores capazes de coletar informações em novas porções ou utilizando combinações de porções do espectro eletromagnético; (2) o uso de plataformas espaciais incluindo satélites orbitais e geoestacionários; e (3) utilização de computadores e programas nos vários aspectos da aquisição, tratamento, análise e utilização dos dados adquiridos (HAACK e BECHDOL, 1999).

A aquisição de dados de sensoriamento remoto pode ser feita através de sensores instalados em plataformas orbitais. Estes sensores são representados,

tradicionalmente, pelo MSS-Multispectral Scanner Subsystem (instalados a bordo dos primeiros satélites da série Landsat); o TM-Thematic Mapper (a bordo dos satélites Landsat 4 e 5); e os sensores HRV- High Resolution Visible, a bordo do satélite francês SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) (GALO, 2000).

O satélite Landsat 7 é o mais recente satélite em operação do programa Landsat, financiado pelo Governo Norte Americano. O satélite foi lançado em abril de 1999 e possui um novo sensor a bordo denominado ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). A operação do satélite em órbita é administrada pela NASA e sua produção e comercialização de imagens ficam sob os cuidados da USGS (United States Geological Survey)<sup>1</sup>.

Uma imagem LANDSAT 7, sensor ETM+, é composta por 8 bandas espectrais que podem ser combinadas em inúmeras possibilidades de composições coloridas e opções de processamento. Entre as principais melhorias técnicas comparadas ao seu antecessor, o satélite Landsat 5, destacam-se a adição de uma banda espectral (banda Pancromática) com resolução espacial de 15 metros (definida no intervalo espectral entre 0,52 e 0,90  $\mu\text{m}$ ), perfeitamente registrada com as demais bandas; melhorias nas características geométricas e radiométricas; aumento da resolução espacial da banda termal para 60 metros. Esses avanços tecnológicos permitiram qualificar o LANDSAT 7 como sendo o satélite mais interessante para a aquisição de imagens com aplicações diretas até a escala 1:25.000, em áreas rurais principalmente e em grandes extensões de território, como acontece freqüentemente no Brasil<sup>2</sup>.

Outra característica importante é que o satélite LANDSAT 7 tem o mesmo período de revisita que o Landsat 5 (16 dias), a mesma área imageada (185 x 185 km por cena) e as características de sua órbita resultaram na mesma grade de referência do LANDSAT 5. A conservação destes parâmetros técnicos facilita o processo de pesquisa de imagens, que pode ser feito com a mesma grade de referência e a perfeita integração no processamento das imagens do LANDSAT 7 com dados históricos do LANDSAT 5, existentes desde 1985, no caso de utilização dos dois tipos de dados simultaneamente no mesmo projeto para a mesma área como, por exemplo, em estudo multitemporal<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> [www.engesat.com.br/satelites/](http://www.engesat.com.br/satelites/)

<sup>2</sup> [www.engesat.com.br/satelites/](http://www.engesat.com.br/satelites/)

Os satélites SPOT 1, SPOT 2, SPOT 4 e SPOT 5 permitem o acesso de qualquer ponto da Terra em menos de 24 horas. Este último da série, o SPOT 5, gera imagens com 5 e 2,5 metros de resolução no modo pancromático, o que possibilita seu uso para aplicações nas escalas entre 1:10.000 e 1:25.000<sup>1</sup>.

As imagens do satélite SPOT possibilitam o estudo e pesquisa nas áreas da agricultura; planejamento, uso e cobertura do solo; mapeamento cadastral; cartografia e topografia; planejamento urbano; florestal; planejamento e manejo de reservas naturais; riscos e perigos naturais (enchentes, queimadas, erosão); monitoramento da poluição; exploração mineral e geológica; recursos hídricos; estudos costeiros e oceanográficos; vigilância e monitoramento (veículos e cargas); dentre outras áreas<sup>2</sup>.

O satélite IKONOS II, lançado pelos Estados Unidos em 24 de setembro de 1999, possui resolução espacial de 1 metro no modo pancromático e 4 metros no modo multiespectral, possibilitando estudos nas áreas de: elaboração de projetos de redes de telecomunicações; elaboração de mapas urbanos básicos; elaboração/atualização de mapas de arruamentos e cadastro; mapeamento de cadastro urbano e rural; trabalhos com GPS; monitoramento e mapeamento do uso e ocupação do solo; meio ambiente; regularização de propriedades e demarcação de pequenas glebas; engenharia; agricultura (com ênfase em previsão de safras e controle de pragas); agricultura de precisão; recursos florestais (estimativa de potencial econômico, projetos de desenvolvimento sustentável e censo de árvores); turismo (mapeamento dos atrativos turísticos naturais e culturais e elaboração de roteiros turísticos); dentre outras áreas<sup>1</sup>.

A bordo do satélite EO-1 da NASA, o imageador hiperespectral Hyperion é o primeiro imageador hiperespectral da NASA a estar operando em órbita. O Hyperion dispõe de um imageador de alta resolução capaz de analisar 220 bandas espectrais (de 0,4 a 2,5 µm) com uma resolução de 30 metros. O imageamento hiperespectral possui muitas aplicações nas áreas da geologia de mineração, silvicultura, agricultura e gerenciamento do ambiente. As classificações detalhadas do solo que são obtidas através do Hyperion possibilitam, por exemplo, a exploração mineral mais precisa, melhores previsões de boas safras e assentamentos e mapeamentos do uso e

---

<sup>1</sup> [http://www.spotimage.fr/spot5/spot5\\_eng.html](http://www.spotimage.fr/spot5/spot5_eng.html)

cobertura do solo mais preciso<sup>1</sup>.

O Programa CBERS é uma parceria entre o governo do Brasil e o governo da China no setor técnico-científico espacial. O satélite C-BERS 1, o primeiro da série, foi lançado em 14 de outubro de 1999. Os satélites da série CBERS vêm sendo utilizados no Brasil para o controle de desmatamento e queimadas, monitoramento dos recursos hídricos, áreas agrícola, crescimento urbano e ocupação do solo<sup>3</sup>.

Portanto, as imagens de satélite passaram a representar uma das únicas formas viáveis de monitoramento da superfície terrestre em escalas locais e globais, devido à rapidez, eficiência, periodicidade e visão sinóptica que as caracterizam (CRÓSTA, 1992).

O sensoriamento remoto em nível aéreo e orbital tem sido utilizado na identificação de tipos diferentes de ocupação da terra nas diferentes escalas de abordagem (FORESTI e HAMBURGER, 1991).

Os produtos de sensoriamento remoto têm sido importantes não só na aquisição primária de informações, como no inventário e gerenciamento da paisagem agroflorestal em países de dimensões continentais, como o Brasil (VENTURIERI e SANTOS, 1998; LIOUBIMTSEVA e DEFOURNY, 1999). Bertolami (1997) acrescenta que os sensores remotos podem ser utilizados amplamente no estudo da vegetação natural e na agricultura.

Um aspecto fundamental da aplicação do sensoriamento remoto no mapeamento do uso e cobertura do solo é a definição de um sistema de classificação, o qual fornecerá um quadro de referência para a organização e hierarquização da informação (BERTOLAMI, 1997).

### **2.3.3. O sistema de classificação do uso e cobertura do solo para dados de sensoriamento remoto elaborado por Anderson et al. (1979)**

O tamanho da área mínima capaz de ser descrita como pertencendo a uma determinada categoria de uso e cobertura do solo, depende da escala e resolução dos dados originais do sensor remoto ou outra fonte, a partir da qual o uso e cobertura do solo são identificados e interpretados. Depende também da escala da

---

<sup>1</sup> [www.engesat.com.br/satelites/](http://www.engesat.com.br/satelites/)

<sup>3</sup> [http://www.cbbers.inpe.br/pt/programas/p\\_historico.htm](http://www.cbbers.inpe.br/pt/programas/p_historico.htm)

compilação dos dados, bem como da escala final de apresentação da informação do uso e cobertura do solo (ANDERSON et al., 1979).

O sistema de classificação do uso e cobertura do solo proposto por Anderson et al. (1979) apresenta quatro níveis de abordagem, detalhando as informações do primeiro para o quarto nível, considerando as atividades desenvolvidas na área de estudo e suas características físico-espaciais (FORESTI e HAMBURGUER, 1991).

Segundo Anderson et al. (1979), o tipo e a quantidade de informação sobre o uso e cobertura do solo que podem ser obtidos por diferentes sensores, dependem da altitude e da resolução de cada sensor.

A classificação elaborada e proposta pelos autores, e adaptada por Biazon (1981) para o mapeamento do uso e cobertura do solo da Estância Turística de Avaré pode ser observada no Quadro 2.1. a seguir.

**Quadro 2.1. Sistema de uso e cobertura do solo proposto por Anderson et al. (1979) e adaptado por Biazon (1981) para a Estância Turística de Avaré.**

Nível I	Nível II	Nível III	Nível IV
Solo urbano e construído	Residencial e comercial	Quarteirões em grupo	Quarteirões individuais Edifícios rurais Área de lazer
Solo de cultura e pastagem	Solo de cultura  Pastagens	Áreas de cultivo  Solo nu  Pastagens naturais ou cultivadas	Cultivo anual Cultivo semipermanente Cultivo permanente Terra preparada para cultivo Campos limpos Campos sujos e cerrados Cultivadas
Solo florestal	Mata e reflorestamento	Matas  Reflorestamento	Matas Matas galeria Reflorestamento
Terras úmidas	Terras úmidas	Terras úmidas	Área de pântanos, brejos, várzeas inundadas.
Sistema viário	Sistema viário	Rodovias asfaltadas	Rodovias asfaltadas

		Estrada de ferro	Estradas de terra Caminhos vicinais Estradas de ferro
Água	Cursos d'água  Represas	Cursos d'água  Lagoas naturais Represas	Cursos d'água em diferentes níveis Lagoas naturais Represas Açudes

As informações nos Níveis I e II, segundo Anderson et al. (1979), geralmente são de interesse para usuários que desejam dados em uma base nacional, interestadual ou em âmbito estadual. Dados mais detalhados sobre o uso e cobertura do solo, sejam aqueles categorizados nos Níveis III e IV, em geral serão utilizados por aqueles que necessitam de informação em nível intra-estadual, regional, municipal ou distrital. Pretende-se que estes últimos níveis de categorização sejam desenvolvidos pelos próprios grupos de usuários para que suas necessidades específicas possam ser satisfeitas pelas categorias por eles mesmos introduzidas na estrutura.

O autor afirma que as informações dos Níveis I e II podem ser recolhidas com eficiência e economia sobre grandes áreas por um satélite da série Landsat. No entanto, na medida em que se utilizam níveis de categorização mais detalhados, uma maior dependência deve ser depositada nos dados de sensoriamento remoto de maior resolução e nos levantamentos suplementares feitos em terra.

No Nível III prevê-se a utilização de quantidades apreciáveis de informação suplementar, em adição aos dados de sensoriamento remoto; e o Nível IV exige informação suplementar aos dados de sensoriamento remoto superiores às aquelas requeridas para o Nível III (ANDERSON et al., 1979).

#### **2.3.4. Aplicações do sensoriamento remoto no mapeamento e estudo do uso e cobertura do solo**

Os textos citados a seguir são exemplos de trabalhos de pesquisadores que utilizaram os produtos do sensoriamento remoto, como fotografias aéreas e imagens

de satélite, para a obtenção de dados da superfície terrestre para o conhecimento e estudo do uso e cobertura do solo de várias regiões do Brasil.

Biazon (1981) utilizou três produtos do sensoriamento remoto para a análise do uso e cobertura do solo na Estância Turística de Avaré, sudoeste do Estado de São Paulo. Integrados, os dados das fotografias aéreas, imagens de radar e imagens de satélite possibilitaram o mapeamento das seguintes categorias de uso e cobertura do solo: cultivo anual, semipermanente e permanente; solo nu; pastagem natural e cultivada; cerrado, mata, mata galeria e reflorestamento; terras úmidas (áreas de brejo), represas, açudes, lagos e cursos d'água.

Florenzano et al. (1986), mapeou o uso e cobertura do solo no município de São José dos Campos (SP) a partir de dados do satélite TM-Landsat 5, identificando as seguintes classes de uso e cobertura do solo: mata, reflorestamento, pastagem, cultura temporária, área urbana e água.

Alves e Teotia (1986) também utilizaram produtos do sensoriamento remoto para obter o mapeamento das classes de uso e cobertura do solo em uma região do semi-árido da Paraíba, visando a utilização adequada dos solos daquela região.

Quintela e Silva (1986) avaliaram as mudanças espaço-temporais no uso e cobertura do solo em uma área da bacia hidrográfica do rio São Francisco (BA) por meio de fotografias aéreas. O estudo mostrou a expansão das áreas ocupadas por pastagem e agricultura e uma supressão das áreas cobertas por mata e areia. Deste modo, a utilização de dados provenientes do sensoriamento remoto permitiu uma análise da dinâmica do uso e cobertura do solo, tornando possível o monitoramento da bacia hidrográfica em questão.

Pereira (1986) fez o mapeamento do uso e cobertura do solo no município de Guaíba- RS, enquanto Bertolami (1997) estudou o uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Claro-SP. Ambos utilizaram o sensoriamento remoto e fizeram propostas para um planejamento mais adequado para o uso e cobertura do solo.

Brum et al. (1990) mapeou e analisou o uso e cobertura do solo no entorno do reservatório de Sobradinho (BA), através de dados dos sensores MSS e TM do satélite Landsat, com o objetivo de fornecer subsídios ao planejamento de medidas

preventivas para a conservação ambiental e o zoneamento do uso e cobertura do solo nas margens do reservatório.

Na pesquisa de Soares (1991), foram utilizadas imagens do satélite Landsat-5 do Distrito Federal. Analisadas, as imagens possibilitaram a identificação de loteamentos concentrados ao longo dos principais eixos de comunicação terrestre, evidenciando a carência de um planejamento adequado para minimizar a degradação ambiental e a queda na qualidade de vida das populações. Desta forma, essas informações poderão subsidiar ações para o processo de tomada de decisão para o planejamento urbano local e regional.

Nas pesquisas de monitoramento da dinâmica do uso e cobertura do solo por meio de dados de sensoriamento remoto, há a possibilidade de utilização de programas especiais para analisar informações multi-temáticas e multi-temporais (VALÉRIO FILHO, 1995). Sendo assim, a implementação de dados de sensoriamento remoto em Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) é uma proposta discutida por vários autores, sendo unânime a consideração do sensoriamento remoto como uma das principais fontes de informação (ARNOFF 1989 apud CASTRO, 1992).

### **2.3.5. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)**

Os dados coletados por sensores remotos podem ser processados em programas específicos, possibilitando a confecção de mapas e outros produtos que auxiliam no estudo das mudanças do uso e cobertura do solo e da paisagem (LIOUBIMTSEVA e DEFOURNY, 1999).

O Geoprocessamento, por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), permitem a realização de análises complexas pois possibilitam a integração de dados de diversas fontes e cria um banco de dados georreferenciados (CÂMARA e MEDEIROS, 1998).

Segundo Câmara e Medeiros (1998) "o termo Geoprocessamento denota uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas".

Os SIGs são definidos por Eastman (1999) como “sistemas assistidos por computador para aquisição, armazenamento, análise e apresentação de dados geográficos”

O desenvolvimento dos SIGs iniciou-se na década de 60, nos EUA, por Howard Fischer, que desenvolveu o pacote de mapeamento SYMAP em 1963, e por Jack Dangermond, que fundou em 1969 o Environmental Systems Research Institute (Instituto que lançou o ARC/INFO, em 1982); e no Canadá, por R. Tomlinson que desenvolveu o Canadian Geographic Information System em 1966 para o governo canadense (CÂMARA e MEDEIROS, 1998).

Os SIGs envolvem a manipulação e interpretação de dados de sensoriamento remoto com a finalidade de facilitar a identificação e extração das informações contidas nesses dados (GALO, 2000).

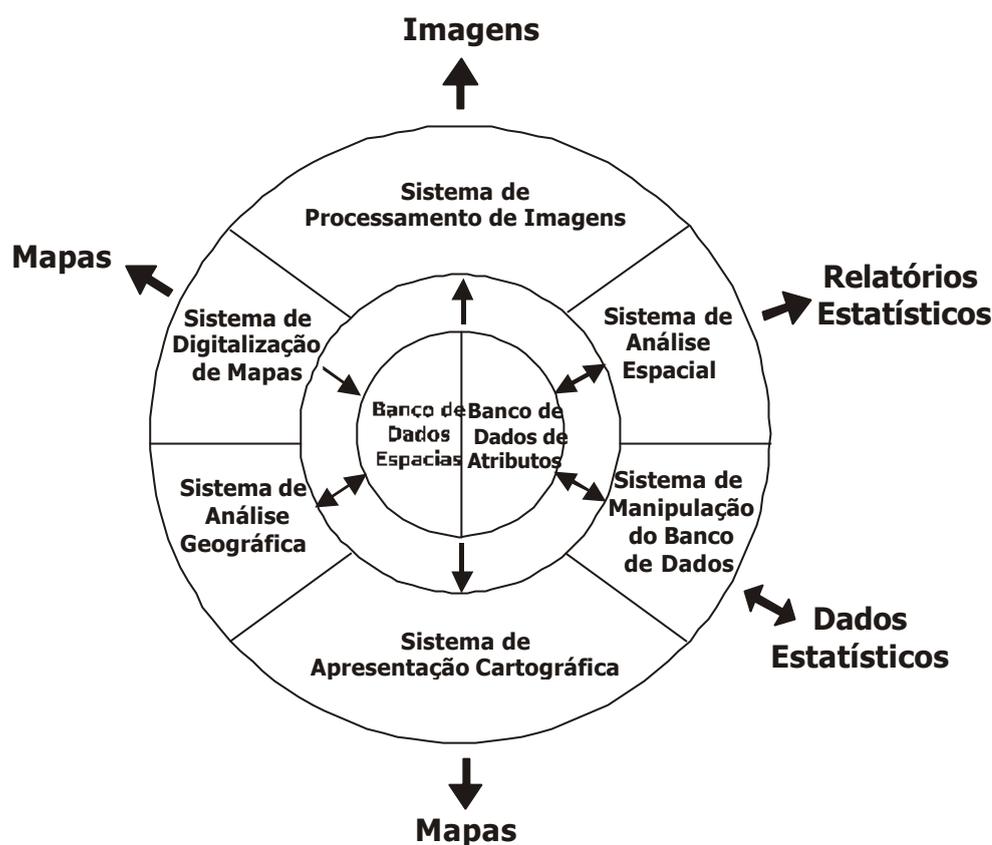
Segundo Câmara e Medeiros (1996, 1998), os SIGs permitem realizar análises que integram dados de diversas fontes, possibilitando a criação de um banco de dados georreferenciados.

Para Burrough (1996), o SIG é um “conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real”.

Um dos principais objetivos no SIG é o suporte à tomada de decisões, no monitoramento e gerenciamento do uso e cobertura do solo, dos recursos hídricos, dos ecossistemas aquáticos e terrestres, ou qualquer entidade distribuída espacialmente (COSTA e CINTRA, 1998).

De acordo com Ferreira (1997), os SIGs apresentam um conjunto de funções de aplicações espaciais voltada para a integração de dados desenvolvidos em diversas áreas do conhecimento, como na agricultura, botânica, computação, economia, matemática, fotogrametria, cartografia e principalmente na geografia.

As funções e estruturas do SIG IDRISI 32 utilizadas para o processamento das imagens de satélite deste trabalho são apresentadas por Eastman (1999) na Figura 2.3.



**Figura 2.3. Componentes típicos de um SIG (EASTMAN, 1999).**

Os componentes básicos de um SIG, segundo Eastman (1999) são:

- Banco de dados espaciais e de atributos (BD): o banco de dados é o núcleo do sistema e pode ser entendido como uma coleção de mapas e informações associadas na forma digital. O BD é composto por dois elementos, um BD espacial descrevendo a geografia (forma e posição) das características da superfície do terreno; e um BD de atributos, descrevendo as qualidades destas características;
- Sistema de apresentação cartográfica: módulo que permite a extração de elementos selecionados do banco de dados e a produção de mapas no monitor de vídeo, ou cópia impressa utilizando impressora ou plotter;
- Sistema de digitalização de mapas: permite que mapas existentes, em papel por exemplo, sejam convertidos para o formato digital.

Este sistema, além de conter módulos para a digitalização, é provido de ferramentas para a edição de mapas;

- Sistema de gerenciamento de banco de dados (DBMS): incorpora, além de um tradicional sistema gerenciador de banco de dados, também uma variedade de utilitários para gerenciar os componentes espaciais e de atributos do dado geográfico armazenado;

- Sistema de análise geográfica: com este módulo amplia-se a capacidade de consultas ao banco de dados, incluindo a potencialidade da análise de dados baseada em sua localização. As questões ao banco de dados são respondidas quando se consideram atributos pertencentes a uma mesma característica. A componente geográfica dá ao SIG sua verdadeira identidade sendo uma função denominada overlay a marca registrada de um SIG. São diversas as operações, dentre elas: soma, subtração, divisão e multiplicação;

- Sistema de processamento de imagens: possibilita a análise de dados de sensoriamento remoto, tais como imagens dos satélites Landsat e Spot, através da conversão dessas imagens em dados de mapas, interpretados de acordo com vários processos de classificação;

- Sistema de análises estatísticas: oferece procedimentos estatísticos tradicionais e rotinas especializadas para a análise estatística do dado espacial.

Outro SIG muito utilizado é o SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e tem funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno, consulta a bancos de dados espaciais, dentre outras.

### **2.3.6. Aplicação do sensoriamento remoto e do SIG no estudo do uso e cobertura do solo**

Os autores citados a seguir produziram trabalhos integrando dados provenientes de sensoriamento remoto e SIGs no estudo do uso e cobertura do solo e também para o desenvolvimento de novas metodologias de análise ambiental.

O objetivo do trabalho de Castro (1992) foi o desenvolvimento de uma metodologia de apoio a programas de manejo e gerenciamento ambiental de bacias hidrográficas. Para tanto, os dados provenientes de fotografias aéreas e imagens do satélite TM-Landsat 5 foram implementados num SIG. O SIG permitiu o armazenamento e integração analítica de várias informações, possibilitando a criação e atualização de um banco de dados e a confecção de inúmeras alternativas analíticas de monitoramento operacional de bacias hidrográficas nas mais diversas escalas de observação.

Santos e Brown (1993) realizaram o mapeamento do uso e cobertura do solo em duas comunidades do rio Capim (PA) por meio de dados provenientes de imagens do satélite TM-Landsat 5 e fotografias aéreas, ambas analisadas no SIG IDRISI. Este estudo temporal mostrou um crescimento significativo na taxa de desmatamento no período de 1986 a 1991. A partir desses resultados, foi possível a identificação das áreas que estavam sendo mais afetadas pelo desmatamento, permitindo a efetivação de medidas relativas ao uso mais adequado das terras das comunidades.

Em seu trabalho sobre gerenciamento de bacias hidrográficas, Valério Filho (1995) utilizou um SIG para analisar dados dos satélites Landsat e Spot. Foi possível assim, extrair informações que foram usadas para a identificação de áreas que apresentavam impactos negativos provocados pela ocupação humana inadequada sobre o meio físico, como processos erosivos dos solos e assoreamento dos reservatórios.

Shimabukuro et al. (1995) utilizaram sensoriamento remoto e SIG no monitoramento espacial e temporal das mudanças no uso e cobertura do solo e na quantificação e qualificação dos remanescentes de vegetação, verificando a intensa destruição da cobertura vegetal original da bacia do rio Jacaré-Pepira (SP).

No trabalho de Dupas (1997), foram utilizadas imagens dos satélites TM-Landsat e SPOT HRV e o SIG IDRISI no estudo multi-temporal de imagens para a determinação das causas impactantes da degradação da vegetação em área de mineração na Amazônia.

No estudo da bacia do ribeirão Pederneiras, Bortolozzi (1998) utilizou imagens do satélite TM-Landsat, fotografias aéreas e o SIG SAMPA no mapeamento do uso e cobertura do solo, promovendo o confronto entre o uso potencial e o uso real do solo. O SIG possibilitou a realização de análises para quantificar as áreas utilizadas adequadamente e as áreas utilizadas abaixo ou acima da intensidade máxima recomendada.

A pesquisa de Barguil (1998) teve como objetivo estudar um método de monitoramento de áreas de cerrado integrando também o sensoriamento remoto e o SIG. A partir de mapas temáticos produzidos pelo processamento e análise dos dados das imagens do satélite TM-Landsat 5 no SIG IDRISI, foi possível identificar e quantificar as áreas de cerrado remanescentes na parte noroeste da APA Corumbataí (SP), e avaliar a influência de fatores ambientais (pedologia, declividade, hidrografia) na alteração da vegetação. Para a classificação digital das imagens foi utilizado o algoritmo Máxima Verossimilhança.

A autora afirma que a rapidez e a facilidade na sobreposição e geração de dados comprovam a importância da utilização do sensoriamento remoto e do SIG para o planejamento e monitoramento dos recursos naturais.

Na pesquisa de Pivello et al. (1998) foi elaborada uma proposta de zoneamento para a Reserva de Cerrado Pé-de-Gigante (SP). Para tanto, dados sobre a topografia, hipsometria, declividade, orientação de vertentes, geologia, geomorfologia e fitofisionomias foram implementados no SIG IDRISI. O cruzamento das informações espacializadas gerou subsídios para a elaboração de um plano de manejo e para o zoneamento da reserva. Os autores concluem que no SIG IDRISI as informações sobre a superfície terrestre podem ser agrupadas e espacializadas, provando sua utilidade em trabalhos de ecologia aplicada.

Mesquita Junior (1998) e Bitencourt et al. (1997) também desenvolveram trabalhos na Reserva de Cerrado Pé-de-Gigante (SP). Nos dois trabalhos foram usadas imagens TM-Landsat 5 e o SIG IDRISI para auxiliar a identificação das

fisionomias de cerrado, por meio da imagem índice de vegetação. Na pesquisa de Mesquita Junior (1998), os dados meteorológicos, topográficos, pedológicos, fitossociológicos, de temperatura, dentre outros, contribuíram também para a identificação das fisionomias do cerrado.

Prado (1999) utilizou imagens do satélite TM-Landsat 5 de duas datas (1985 e 1997), o SIG IDRISI, dados de qualidade de água e um modelo matemático de autodepuração, objetivando desenvolver uma metodologia para a determinação da influência do uso e cobertura do solo na qualidade da água na região da bacia do médio rio Pardo (SP). Os mapas temáticos resultantes da classificação digital supervisionada (algoritmo Máxima Verossimilhança) das imagens e da integração dos dados de poluição das águas, permitiram a identificação das áreas que poderiam estar contribuindo para a redução da qualidade da água, bem como a detecção da redução da metade da vegetação natural, no período estudado. Essas áreas incluem o desmatamento das matas ciliares, que possuem papel indiscutível na manutenção da qualidade das águas dos rios da bacia do médio rio Pardo.

Criscuolo, Vasconcelos e Silva (2000) realizaram um estudo espaço-temporal do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio do Monjolinho (SP), nos anos de 1965 e 1998. Para o mapeamento em 1965 foram utilizadas cartas topográficas (IBGE), e em 1998 foram usados dados extraídos de imagens do satélite TM-Landsat 5 pelo SIG SPRING, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A análise dos resultados obtidos constatou que a bacia hidrográfica do rio do Monjolinho apresenta-se muito modificada pelas ações antrópicas. A expansão urbana e a substituição de áreas de vegetação natural por agricultura configuraram a paisagem atual. Os autores apresentam também algumas sugestões para um melhor disciplinamento do uso e ocupação da área da bacia.

Tabaczenski (2000) discute uma metodologia de monitoramento ambiental em unidades de conservação, utilizando imagens do satélite TM-Landsat 5 e o SIG IDRISI na análise da dinâmica ambiental destas áreas, concluindo que estas duas ferramentas aliadas são eficientes na gestão de áreas protegidas.

O objetivo principal do trabalho de Alves et al. (2003), consiste em divulgar aos visitantes e turistas do município de Campo dos Goytacazes (RJ), a cultura geológica do município, através de informações distribuídas em locais estratégicos.

Para tanto, utilizaram imagens do satélite Landsat 7 ETM+ e o SIG SPRING para espacializar os pontos com potencial para o desenvolvimento do turismo geológico-ecológico. Desta forma, foi possível a identificação de vários pontos turísticos, como por exemplo a Lagoa de Cima, a cachoeira do Imbé, o Farol de São Thomé e a Pedra Lisa, que possibilitaram a elaboração de um roteiro turístico, auxiliando no desenvolvimento turístico da região.

Andrade e Calheiros (2003) estudaram as alterações recentes no espaço geográfico dos municípios integrantes do litoral sul alagoano, provenientes tanto da penetração do turismo, possibilitando uma especulação imobiliária (loteamentos), quanto da possibilidade de expansão urbana (condomínios). Para tanto se utilizou o SIG Sistema de Análise Geo-Ambiental (SAGA/UFRJ), base cartográfica e dados adquiridos em campo. Quanto à atualização do mapa de uso do solo e cobertura vegetal, este não foi realizado pela ausência de dados de sensoriamento remoto (imagem de satélite e/ou fotografias aéreas). A pesquisa possibilitou a avaliação do potencial turístico sul alagoano, que foi classificado em baixíssimo, baixo, médio, alto e altíssimo, levando em consideração os parâmetros de altitude, litologia, geomorfologia, cobertura vegetal e uso do solo, proximidades de áreas urbanas e industriais, de rede viária e de elementos de atração turística.

O objetivo do trabalho de Barbosa, Soares e Medeiros (2003), consistiu em ordenar as unidades de paisagem de valor para o ecoturismo, sintetizando as informações através de uma documentação cartográfica adaptada do sistema de ícones da Embratur (2001), nos municípios de Capitólio e numa parte dos municípios de São João Batista do Glória e São José da Barra, na região do médio Rio Grande (sudoeste de Minas Gerais). A base de dados levantada irá servir de subsídio ao planejamento de atividades de ecoturismo, contribuindo também para o desenvolvimento de atividades futuras relacionadas ao agroturismo. Para tanto, os autores utilizaram imagens dos satélites Landsat 7 ETM+ (datadas de 07/08/2001) e TM-Landsat 5 (datadas de 20/07/1990), levantamento aero-fotográfico da área (02/08/2001), em escala 1:25.000 e o SIG SPRING. Um dos processamentos de imagem efetuados foi a fusão da banda pancromática e das bandas espectrais 3, 4 e 5 do Landsat 7 ETM+, através do espaço de cores IHS-RGB. Os elementos atualizados através dos produtos de sensoriamento remoto foram: uso da terra,

cobertura vegetal natural, traçado de malhas viárias, redes de drenagem, manchas urbanas, represas, contorno do reservatório, pistas de pouso, pontes, áreas de várzeas, dentre outras.

Fortes et al. (2003) utilizaram em sua pesquisa a integração de dados de sensoriamento remoto (imagens dos satélites TM-Landsat 5 e Landsat 7 ETM+) e SIG, como apoio aos cursos de capacitação em geocoturismo de guias e educação ambiental da população urbana local, com o objetivo de contribuir para a preservação ambiental da região da cidade de Cavalcante, nas proximidades da Chapada de Veadeiros, nordeste do Estado de Goiás. Para tanto, foram elaborados e analisados mapas temáticos de uso e cobertura do solo, possibilitando constatar um crescimento de 71% das áreas destinadas à atividade agropecuária e um crescimento da área urbana em torno de 58%, de 1990 a 1999. Neste mesmo período ocorreu um decréscimo das áreas de vegetação natural (uma diminuição de 13% de cerrado, 6% de cerrado denso e mata e 9% de mata de galeria). A pesquisa mostrou que parte das áreas de vegetação natural, principalmente o cerrado, estão sendo transformadas em áreas agropecuárias e em área urbana.

Simi et al. (2003) realizaram uma pesquisa na porção sul do município de Balneário Camboriú (SC), conhecida como Costa Brava, numa área de forte ocupação, ocasionada pelo crescimento do turismo massivo de praia. Foram utilizadas imagens dos satélites SPOT (junho de 1997), TM-Landsat 5, (julho de 1985, julho de 1993, maio de 1995, maio de 1997 e junho de 1999) e Landsat 7-ETM+ (maio de 2001), que foram processadas no SIG SPRING. Além de mapas temáticos sobre o uso e cobertura do solo da região, foi possível também a criação de um banco de dados georreferenciados e a elaboração de uma Carta das Áreas Urbanizáveis, que apontou que são poucas as áreas com possibilidade legal de ocupação. Os autores concluíram que o sensoriamento remoto aliado ao SIG constitui-se de uma ferramenta eficaz na análise dos impactos ambientais, se apresentando como ferramenta de auxílio ao planejamento territorial, particularmente no controle do crescimento e ocupação desordenadas.

É importante que se esclareça que na maioria dos trabalhos citados neste capítulo se implementou também dados provenientes de outras fontes além do sensoriamento remoto nos SIGs. Dentre as fontes, podem ser citadas: folha

topográfica, carta planialtimétrica, carta pedológica, mapa geológico e geomorfológico, dados obtidos por meio de GPS (Global Positioning System), entre outros.

Moller-Jensen (1997) afirmam que a velocidade e flexibilidade com que as informações podem ser produzidas e analisadas colocam o sensoriamento remoto e os SIGs como ferramentas essenciais no estudo da dinâmica do uso e cobertura do solo e no monitoramento dos vários problemas que refletem a distribuição espacial dos fenômenos da superfície terrestre.

## **2.4. TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS NO SIG IDRISI 32**

O processamento digital de imagens de sensoriamento remoto trata especificamente das técnicas e ferramentas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para posterior interpretação, a partir de uma grande quantidade de dados que usualmente compõe essas imagens. O resultado deste processo é a produção de outras imagens que contêm informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas (CRÓSTA, 1992).

Neste capítulo serão descritas algumas técnicas de processamento digital de imagens de satélite disponíveis no Sistema de Informação Geográfica IDRISI 32 (EASTMAN, 1999), a saber: correção de imagens (correção radiométrica e correção geométrica); realce de imagens (composição e filtragem); transformação de imagens (Índice de vegetação – NDVI, e transformação do espaço de cor - Colspace ou IHS/HSI); classificação de imagens (classificação supervisionada e não supervisionada); exatidão da classificação e análises/operações de mudança entre pares de imagens.

### **2.4.1. Correção de imagens**

#### **2.4.1.1. Correção radiométrica**

As imagens de satélite normalmente são obtidas de uma grande distância da superfície terrestre. Como resultado, a energia eletromagnética percorre um longo caminho na atmosfera até atingir o sensor, podendo sofrer algumas distorções decorrentes das condições atmosféricas (turbulência, umidade, partículas em suspensão); de problemas relacionados à calibração dos detectores; de ruídos devido à imprevisível performance dos sensores ou da transmissão dos dados; e de perda de sinal pelos detectores (EASTMAN, 1999).

Assim, a correção radiométrica tem a função de minimizar as diferenças entre os níveis de cinza registrados pelos detectores (KÖFFLER, 1992; NOVO, 1998), suavizando os contrastes espaciais presentes na imagem em decorrência de

distorções da atmosfera e de problemas de calibração dos sensores (CHUVIECO, 2000).

O SIG IDRISI 32 apresenta a correção radiométrica localizada no menu Analysis/Image Processing/Restoration, com a opção DESTRIPE, que remove as "listras" causadas pela variação na resposta de cada detector; e RADIANCE, que converte os níveis digitais para valores absolutos de radiância, minimizando os problemas de calibração dos sensores – necessário para análises de várias imagens tomadas por sensores diferentes, como Landsat 2 e Landsat 5. As funções estão localizadas no menu Analysis/Mathematical Operators e Analysis/Image Processing/Transformations com a função SCALAR e PCA, respectivamente.

#### **2.4.1.2. Correção geométrica**

A alta altitude das plataformas onde estão localizados os sensores resulta em imagens que contêm um mínimo de deslocamento com a realidade (EASTMAN, 1999). Assim, a correção geométrica reorganiza os "pixels" da imagem em relação a determinado sistema de projeção cartográfica (NOVO, 1998).

As coordenadas coluna e linha da imagem são corrigidas em função das coordenadas coluna e linha de uma imagem de entrada ou de referência, ou das coordenadas de um mapa georreferenciado que se pretende sobrepor a imagem. O objetivo é encontrar uma relação que transfira os níveis digitais da imagem a sua posição cartográfica, na projeção requerida (habitualmente a Universal Transversal de Mercator-UTM) (CHUVIECO, 2000).

Segundo Eastman (1999) o georreferenciamento é um método de reorientação dos dados para responder à necessidade específica de projeção do usuário dos dados.

No SIG IDRISI 32, este procedimento se dá na construção de uma grade nova com valores das coordenadas x e y de uma imagem/mapa de referência, que irá substituir a antiga grade de coordenadas das imagens originais, por meio de equações polinomiais (linear, quadrática ou cúbica). Para tanto, devem ser localizados pontos de controle comuns entre a imagem a ser georreferenciada e a imagem/mapa de referência. Esta operação é efetuada pela função RESAMPLE

localizada no menu Analysis/Image Processing/Restoration.

## 2.4.2. Realce de imagens

### 2.4.2.1. Filtragem

As imagens de satélite possuem limites (ou bordas) entre áreas com diferentes respostas espectrais, que podem ser diferentes coberturas do terreno (solo exposto, vegetação, área urbana), ou podem representar o contato entre áreas com diferentes condições de iluminação, devido ao sombreamento topográfico. Os limites podem ser denominados de feições de baixa frequência, quando variam mais uniformemente com a distância ou feições de alta frequência, quando variam muito em áreas pequenas. Como a mistura de frequências em uma imagem dificulta a sua interpretação, são utilizadas técnicas de filtragem espacial de frequências (CRÓSTA, 1992).

Segundo Eastman (1999), a filtragem é um procedimento que cria uma nova imagem, utilizando uma operação matemática na qual o valor de cada pixel está baseado em seu valor e nos valores dos pixels vizinhos. De acordo com o autor, além da correção radiométrica, a filtragem de imagens é usada para uma variedade de propósitos, dentre eles, melhorar (realçar) a visualização da cena.

No SIG IDRISI 32 estão disponíveis diversos métodos de filtragem, localizados no menu Analysis/Image Processing/Enhancement, dentre eles: **filtro de média e Gaussian** (Mean e Gaussian - generaliza uma imagem); **filtro de mediana** (Median - remove ruído); **filtro de moda** (Mode - preenche aberturas ou falhas entre polígonos, depois uma conversão vetor-para-raster); **filtro de realce de extremidades Laolacian** (Edge enhancement - acentua áreas de mudança em superfícies contínuas); **filtro passa-baixa** (High-pass - enfatiza áreas de mudança abrupta das áreas de mudança gradual); **filtro de detecção de extremidades Sobel** (Sobel Edge Detector – enfatiza áreas de mudança abrupta relativa a áreas de mudança gradual), dentre outros.

Para uma leitura mais completa sobre as técnicas de correção e realce de imagens, recomenda-se consultar os autores Eastman (1999), Chuvieco (2000) e Novo (1998).

#### **2.4.2.2. Composição**

A composição de imagens é primeiramente utilizada para facilitar a análise visual, associando as cores primárias azul, verde e vermelho a cada uma das três bandas de interesse. A imagem resultante poderá auxiliar na fase de coleta das amostras de treinamento para a classificação digital supervisionada, e para a classificação não-supervisionada (CLUSTER). Esta operação é efetuada pela função COMPOSITE localizada no menu Analysis/Image Processing/Enhancement.

#### **2.4.3. Transformação de imagens**

##### **2.4.3.1. Transformação HSI**

Segundo Crósta (1992), o espaço de cores conhecido por HSI (Hue, Saturation, Intensity) é uma forma alternativa ao espaço RGB de representação de cores. Ao contrário do sistema RGB, os atributos no espaço HSI podem ser manipulados e analisados individualmente. No espaço RGB, as cores são definidas por quantidades das cores vermelho, verde e azul, enquanto que no espaço HSI as cores são definidas por três atributos, que são:

- **Matiz (Hue-H)**: é a medida do comprimento de onda médio da luz que o objeto reflete ou emite (define a cor do objeto);
- **Saturação (Saturation-S)**: expressa o intervalo de comprimento de onda ao redor do comprimento de onda médio no qual a energia é refletida ou transmitida.
- **Intensidade (Intensity-I)**: medida da energia total envolvida em todos os comprimentos de onda (responsável pela sensação de brilho).

O objetivo desta técnica é complementar a informação espectral de uma imagem, com a informação espacial de um canal pancromático de tal forma a melhorar notavelmente o detalhe espacial da imagem resultante (CHUVIECO, 2000), podendo ser utilizada para combinar diferentes tipos de imagens ou mesmo imagens de naturezas diferentes (CRÓSTA, 1992).

Segundo Eastman (1999), este método pode ser utilizado, por exemplo, para realçar imagens ou para unir (ou fundir) dados da banda pancromática do satélite SPOT (resolução espacial de 10 metros) com dados multiespectrais (bandas com resolução espacial de 20 metros).

Este procedimento é efetuado pela função COLSPACE localizada no menu Analysis/Image Processing/Transformation.

#### **2.4.3.2. Índice de Vegetação**

A análise da vegetação e a detecção das mudanças nos padrões de vegetação são chaves para avaliação e monitoramento dos recursos naturais (EASTMAN, 1999).

Os índices de vegetação usam várias combinações de dados multi-espectrais de satélite para produzir uma única imagem representando a quantidade ou o vigor da vegetação presente (biomassa). Baixos valores de índices normalmente indicam vegetação com pouco vigor, e altos valores, vegetação exuberante (TABAKZENSKI, 2000).

Vários índices de vegetação vêm sendo desenvolvidos para auxiliar o monitoramento da vegetação. A maioria desses índices é baseada nas diferenças de interações entre a vegetação e a energia eletromagnética nos comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho próximo. A reflectância na região do vermelho (0,63 – 0,69  $\mu\text{m}$ ) é baixa devido à forte absorção da energia eletromagnética pelos pigmentos das folhas (principalmente a clorofila). No entanto, a região do infravermelho (0,76 – 0,9  $\mu\text{m}$ ) mostra alta reflectância devido ao espalhamento da radiação pela estrutura das células das folhas. São estes contrastes que são utilizados para desenvolver os índices de vegetação (EASTMAN, 1999).

Um dos índices muito utilizados é o NDVI - Normalized Difference e Vegetation Index ou Índice de vegetação de diferença normalizada. Este índice é derivado das medidas de reflectância nas porções do vermelho e infra-vermelho do espectro eletromagnético, e descreve a quantidade relativa de biomassa verde de uma área para a próxima (EASTMAN, 1999).

O NDVI é calculado pela seguinte fórmula:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

onde: NIR = banda no infravermelho próximo

R = banda no vermelho

A escala de medida varia de -1 a 1, com o zero representando o valor limite de áreas com e sem vegetação, isto é, valores negativos representam superfícies sem vegetação, e positivos, as regiões com vegetação (TABAKZENSKI, 2000).

Esta operação é efetuada pela função OVERLAY localizada no menu Analysis/Database Query, Analysis/Mathematical Operators ou Analysis/Change/Time Series.

Para mais informações a respeito dos Índices de vegetação, recomenda-se consultar os autores Foresti e Hamburger (1997), Ceccato (1994), Foresti e Ceccato (1995), Bitencourt et al. (1997), Mesquita Junior (1998) e Thiam e Eastman (1999).

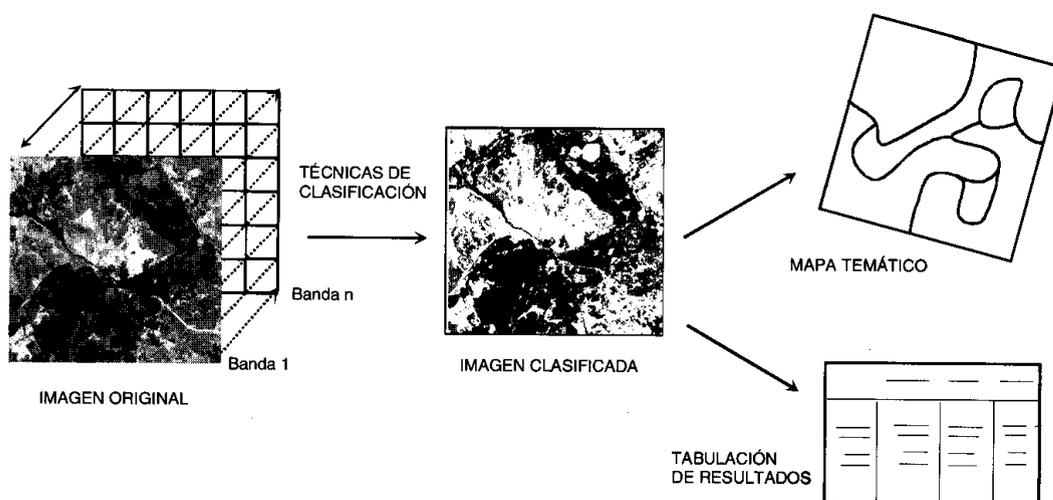
#### **2.4.4. Classificação de imagens**

As imagens de satélite contêm informações sobre a superfície da terra, estruturadas com base no registro da energia eletromagnética, refletida pela vegetação, solo, água, rochas, estruturas, entre outros objetos da Terra (TABACZENSKI, 2000).

Segundo Tabaczenski (2000), para entender, classificar e interpretar as informações contidas nas imagens é necessário:

- Conhecer o tema objeto da interpretação;
- Ter conhecimento específico da região geográfica imageada;
- Deter conhecimento sobre conceitos de sensoriamento remoto.

Chuvieco (2000) afirma que a partir da classificação digital de imagens, obtém-se entre outros produtos, um inventário das categorias/classes de uso e ocupação do solo da área de em estudo. A imagem original converte-se em uma nova imagem, com características similares à original, mas com a importante diferença: o ND (nível digital) que define cada pixel não está relacionado à radiância detectada pelo sensor, mas trata-se de uma "etiqueta" que identifica a categoria à qual está atribuída este pixel. Desta forma, a partir de uma imagem bruta original pode-se gerar um mapa temático (Figura 2.4.).



**Figura 2.4. Fundamentos da classificação digital (CHUVIECO, 2000).**

O objetivo da classificação é o de agrupar os pixels para que cada um deles seja associado com outros que possuem características relativamente similares, e que sejam separados dos pixels com características claramente diferentes. A classificação é feita por análises estatísticas da radiação coletada para cada pixel e atribuindo ao pixel a apropriada categoria (CAMPBELL, 1991).

As técnicas de classificação digital implicam na implementação de um processo de decisão para que o computador possa atribuir certo conjunto de pontos da imagem (pixels) a uma determinada classe (NOVO, 1998).

Tradicionalmente, os métodos de classificação se dividem em dois grupos: o supervisionado e o não supervisionado (CHUVIECO, 2000).

Segundo o autor, o método supervisionado parte de um conhecimento prévio do terreno, a partir do qual se seleciona as amostras para cada uma das categorias. Já o método não supervisionado procede a uma busca automática dos grupos de valores de NDs homogêneos dentro da imagem.

Eastman (1999) descreve que a classificação supervisionada segue os seguintes passos:

- 1<sup>o</sup>) Definição e digitalização das amostras de treinamento para cada categoria/classe de uso e cobertura do solo;
- 2<sup>o</sup>) Extração das assinaturas espectrais a partir dos dados das amostras de treinamento;
- 3<sup>o</sup>) Classificação digital da imagem a partir das assinaturas espectrais e do classificador (ou algoritmo) determinado;
- 4<sup>o</sup>) Generalização da imagem, que consiste na remoção dos pixels que ficaram isolados na classificação (filtragem);
- 5<sup>o</sup>) Avaliação da classificação digital (exatidão da classificação).

Na classificação não-supervisionada o objetivo consiste em “descobrir” as principais classes de uso e cobertura do solo existentes em uma imagem, sem o conhecimento prévio do que estas classes significam. Genericamente, tal procedimento baseia-se nas análises clusters, que procura por grupos de pixels com reflectância similar em uma imagem multi-banda. Como esta técnica tende a generalizar os tipos de cobertura terrestre que existem na imagem, tende também a ignorar as classes que possuem uma baixa frequência de ocorrência (EASTMAN, 1999).

A seguir são apresentados alguns algoritmos da classificação supervisionada de imagens.

### **2.4.4.1. Classificação digital supervisionada**

Como foi dito anteriormente, a técnica de classificação digital supervisionada de imagens adota como pressuposto a necessidade de conhecimento prévio da área de estudo, obtido de trabalhos de campo, de tal forma a permitir ao intérprete, delimitar sobre a imagem, áreas suficientemente representativas de cada uma das categorias que compõem a legenda, chamadas de amostras de treinamento (training sites). É a partir destas amostras que o classificador calcula estatisticamente os NDs que definem cada uma das classes, e designa o restante dos pixels da imagem à uma destas categorias em função da comparação do ND desta categoria ao ND obtido das amostras (CHUVIECO, 2000).

Segundo o autor, podem-se distinguir 3 fases na classificação digital supervisionada:

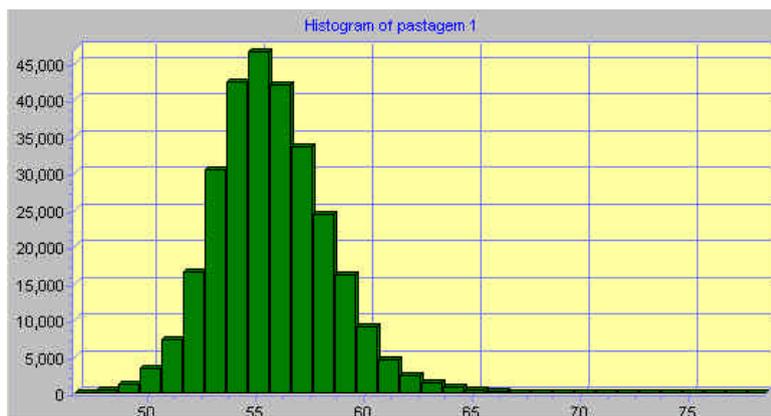
1<sup>ª</sup>) Fase de treinamento: etapa na qual há a definição digital das categorias (amostras de treinamento); é a etapa mais importante, constituindo-se na "coluna vertebral" da classificação numérica;

2<sup>ª</sup>) Fase de designação: momento em que há a atribuição de cada pixel a uma das categorias;

3<sup>ª</sup>) Fase de comprovação e verificação dos resultados.

Novo (1998) afirma que, para o sucesso da classificação supervisionada, é necessário que as amostras sejam homogêneas e representativas da respectiva classe de interesse, sendo estas selecionadas a partir de conhecimento prévio do analista sobre a cena e a área de estudo, podendo ser deduzido de dados secundários (comportamento espectral dos alvos) ou prático (adquirido em visitas ao campo).

Para analisar a homogeneidade das amostras de treinamento basta examinar seu histograma, que deve ser unimodal, isto é, possuir classes homogêneas em seus elementos. Se a amostra inclui componentes de mais de uma classe, seu histograma será multimodal (NOVO, 1998) (Figura 2.5.).



**Figura 2.5. Exemplo de um histograma unimodal da categoria pastagem.**

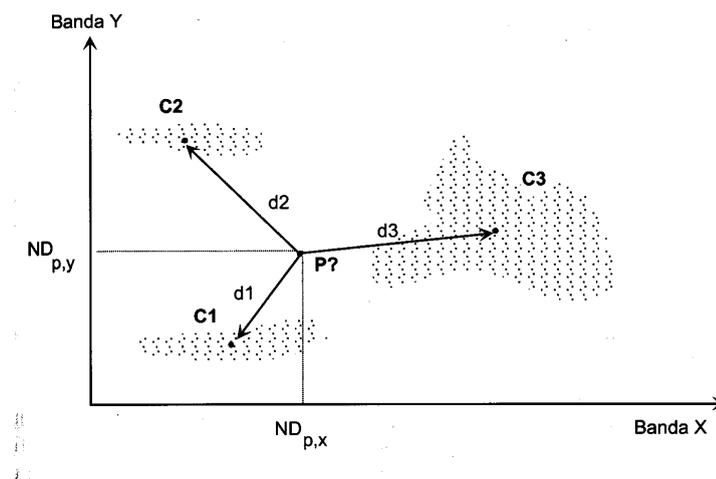
O tamanho das amostras de treinamento também é um fator importante. O número de pixels das áreas de treinamento deve ser suficientemente grande para permitir a estimativa das características espectrais da classe imageada (NOVO, 1998).

Eastman (1999) afirma que o número de pixels para cada amostra deve ser 10 vezes superior ao número de bandas em uma imagem a ser classificada. Por exemplo, para uma imagem do satélite TM-Landsat 5 com 7 bandas espectrais, se deve ter pelo menos 70 pixels para cada classe de amostras. Segundo Schowengerdt (1983 apud CHUVIECO, 2000), as amostras devem ter um tamanho mínimo de  $m+1$  pixels por categoria, sendo  $m$  o número de bandas que integram a análise.

Os algoritmos de classificação digital supervisionada, mínima distância, paralelepípedo e máxima verossimilhança, são baseados em uma lógica que descreve a posição esperada de uma classe (baseada nas amostras de treinamento) no que é conhecido como espaço de banda (atributos). Assim, é aferida a posição de cada pixel a ser classificado no mesmo espaço de banda relativo a essas posições das classes (EASTMAN, 1999).

### ❖ Algoritmo Mínima Distância

O critério nesta classificação é o de designar um pixel a uma das categorias incluindo-o na mais próxima, isto é, naquela em que há a mínima distância entre o pixel e o centróide da classe (CHUVIECO, 2000) (Figura 2.6.).



**Figura 2.6. Algoritmo mínima distância (CHUVIECO, 2000).**

Este método é baseado na reflectância média em cada banda para cada assinatura. Os pixels são designados à classe com o valor de reflectância média mais próximo do valor daquele pixel (EASTMAN, 1999).

Apesar da simplicidade e rapidez desta técnica, o fato de caracterizar cada classe somente pela sua reflectância média pode levar a erros de classificação, pois se sabe que algumas classes são de natureza mais variável que outras (EASTMAN, 1999).

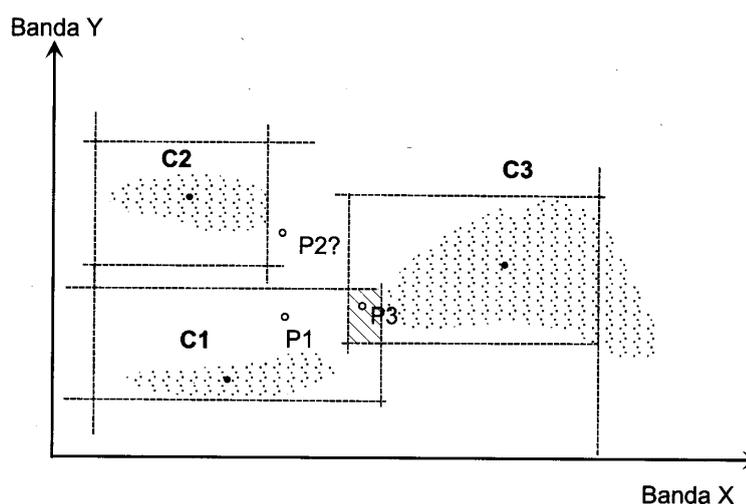
### ❖ Algoritmo Paralelepípedo

Esta técnica é baseada na determinação de um conjunto de reflectâncias mínimas e máximas, determinado para uma dada assinatura em cada banda. Para ser nomeado na categoria em particular, o pixel deve exibir reflectâncias dentro do intervalo de reflectâncias para toda a banda considerada, isto é, seus NDs devem estar dentro desta área de domínio (EASTMAN, 1999).

Segundo Chuvieco (2000), quanto maior a área de domínio, maior será o número de pixels incluídos na categoria, mas também será maior o risco de confusão com as categorias vizinhas. Uma área de domínio com um valor menor garantiria maior confiabilidade da classificação, mas supõe um maior número de pixels não classificados (Figura 2.7.).

Segundo Eastman (1999) e Chuvieco (2000), este critério de classificação

tende a delinear polígonos multidimensionais de lados paralelos ao redor do centro de cada categoria. Consiste em um método que leva em consideração a diferente variabilidade das classes, sendo utilizado para uma primeira classificação de uma imagem (assinalando as categorias mais singulares para posteriormente ser aplicado outro critério de classificação).



**Figura 2.7. Algoritmo paralelepípedo. Observam-se alguns dos problemas deste método. No caso do pixel 1 (P1) não há problemas; o pixel 2 (P2) não se enquadra em nenhuma categoria (não sendo classificado); e o pixel 3 (P3) poderá ser designado aleatoriamente a duas categorias distintas (CHUVIECO, 2000).**

Os autores Eastman (1999) e Chuvieco (2000) afirmam ainda que a desvantagem do método consiste na sobreposição dos paralelepípedos (áreas de domínio), o que conduz ao problema de um pixel ser atribuído a duas categorias. Segundo Chuvieco (2000), a solução seria ampliar paulatinamente a área de domínio, estabelecendo um equilíbrio entre os pixels não classificados e a sobreposição entre as classes vizinhas.

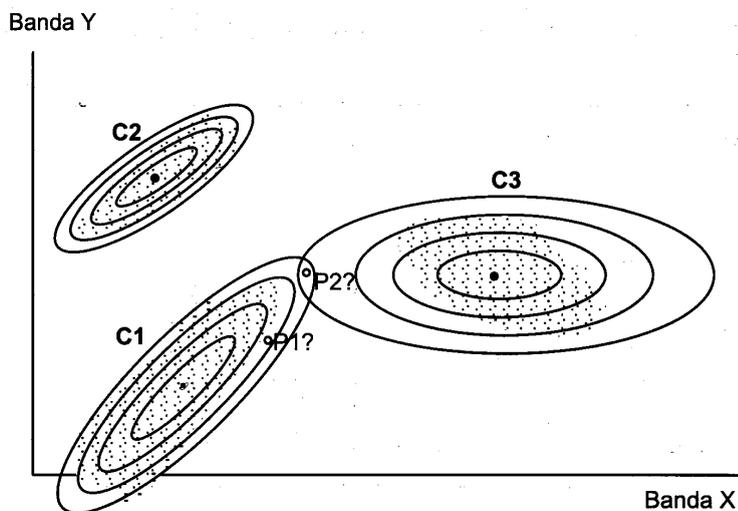
### ❖ Algoritmo Máxima Verossimilhança

Este método, também conhecido como classificador de máxima probabilidade, considera que os NDs de cada classe ajustam-se à uma distribuição normal (CHUVIECO, 2000). Apóia-se na teoria da probabilidade Baiesiana, a qual utiliza dados da média e variância/covariância das assinaturas espectrais de um

conjunto de amostras de treinamento com o objetivo de estimar a probabilidade de um dado pixel pertencer à cada uma das classes (EASTMAN 1999; CHUVIECO, 2000).

Segundo Eastman (1999), este classificador incorpora informação sobre a covariância entre bandas, bem como sua inerente variância, produzindo o que pode ser conceitualmente, uma zona elíptica da caracterização da assinatura. Na realidade, é calculada a probabilidade para cada classe, onde a probabilidade é mais alta na posição média da classe, diminuindo em um padrão elíptico, caminhando para longe da média (Figura 2.8.).

Existe também, neste método, a possibilidade da sobreposição das elipses, havendo risco de confusão na classificação. Este classificador é mais complexo do que os descritos anteriormente, pois necessita de maior volume de cálculos, mas é o mais empregado em sensoriamento remoto por sua robustez e por ajustar-se com mais rigor à disposição original dos dados (CHUVIECO, 2000).



**Figura 2.8. Extensão de duas bandas do algoritmo máxima verossimilhança (CHUVIECO, 2000).**

O Quadro 2.2., a seguir, apresenta algumas vantagens e desvantagens dos algoritmos de classificação digital supervisionada de imagens, mínima distância, paralelepípedo e máxima verossimilhança, segundo os autores Eastman (1999) e Chuvieco (2000).

### Quadro 2.2. Vantagens e desvantagens dos algoritmos mínima distância, paralelepípedo e máxima verossimilhança.

ALGORÍTMOS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
MÍNIMA DISTÂNCIA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• indicado quando existem dúvidas sobre a qualidade das amostras de treinamento, principalmente quanto a sua uniformidade (não são homogêneas) (EASTMAN, 1999);</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• o fato de caracterizar cada classe somente pela sua reflectância média pode levar a erros de classificação, pois algumas classes são de natureza mais variável que outras (EASTMAN, 1999);</li> </ul>
PARALELEPÍPEDO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• considera a diferente variabilidade das classes, sendo utilizado para uma primeira classificação de uma imagem (EASTMAN, 1999; CHUVIECO, 2000);</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sobreposição dos paralelepípedos (áreas de domínio) propiciando erros e omissão na classificação (EASTMAN, 1999; CHUVIECO, 2000).</li> </ul>
MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• indicado quando se têm um número representativo de amostras de treinamento e quando estas são bem definidas (homogêneas); incorpora informação sobre a covariância entre bandas EASTMAN (1999);</li> <li>• ajusta-se com mais rigor à disposição original dos dados – distribuição normal (CHUVIECO, 2000).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• possibilidade da sobreposição das elipses, havendo também risco de erro na classificação;</li> <li>• necessita de maior volume de cálculos (CHUVIECO, 2000).</li> </ul>

#### 2.4.4.2. Classificação não supervisionada

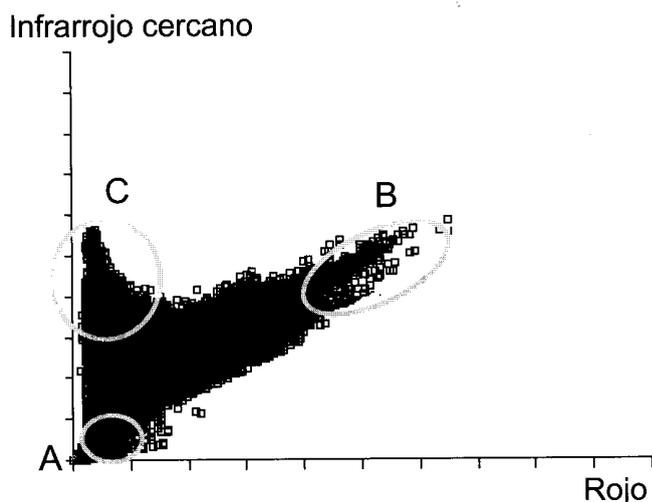
Segundo Chuvieco (2000), a classificação não supervisionada se dirige a definir as classes espectrais presentes na imagem. Este método não implica em nenhum conhecimento prévio da área de estudo, pois a intervenção humana se concentra mais na interpretação do que na consecução dos resultados.

A seguir será apresentada uma breve discussão sobre a análise Cluster. Os demais métodos para a classificação não supervisionada não serão discutidos pois o objetivo do trabalho se concentra na classificação supervisionada de imagens.

#### ❖ ANÁLISE CLUSTER

A técnica de análise Cluster desenvolveu-se para repartir conjuntos de dados multi-dimensionais em grupos discretos de dados, de acordo com algum critério (McCLOY, 1995), reduzindo a complexidade dos dados para um definido conjunto de classes multivariadas (BURROUGH, 1996).

O método pesquisa os picos procurando-os em circunstâncias onde a frequência é mais alta do que a imediata redondeza (vizinho) em ambos os lados (EASTMAN, 1999). Segundo Chuvieco (2000), assume-se que os ND da imagem formam uma série de agrupamentos ou conglomerados (clusters), mais ou menos nítidos, equivalentes a pixels com comportamento espectral homogêneo, que devem portanto, definir classes temáticas de interesse (Figura 2.9.).



**Figura 2.9. Fundamentos da análise não supervisionada. A distribuição dos ND na imagem implica que existem alguns agrupamentos de pixels, que se correspondem com as classes de interesse (CHUVIECO, 2000).**

Segundo McCloy (1995) a análise Cluster pode ser utilizada de várias formas no processo de classificação: (1) definir classes espectrais dentro das classes informacionais; (2) identificar grupos espectrais para classificação; e (3) refinar estatísticas de treinamento:

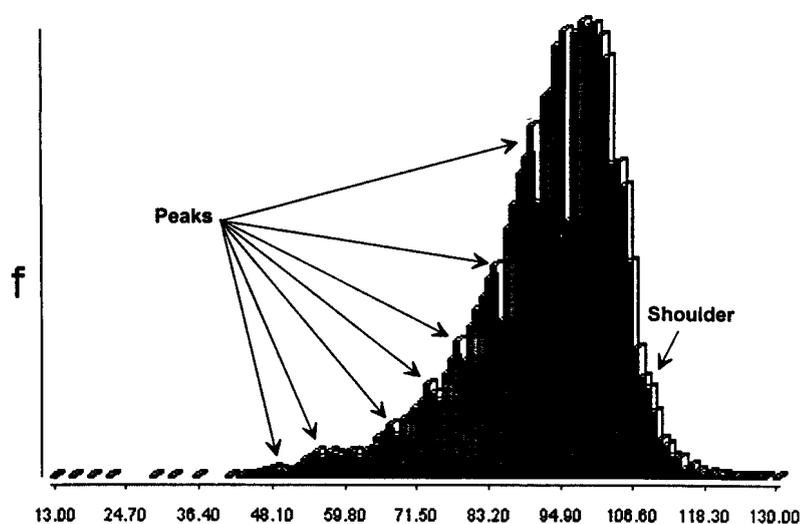
(1) Uma classe informacional é uma classe que contém uma exclusiva informação em relação ao que o usuário necessita. A análise Cluster pode ser usada para procurar grupos nos dados para uma classe informacional, que divide os dados em classes espectrais que podem ter um ajuste aceitável para a distribuição normal;

(2) O objetivo é desenvolver parâmetros de classe para a classificação sem a interferência do usuário/analista;

(3) Amostras de treinamento podem incluir os pixels ocasionalmente desordenados, podendo isolá-los das amostras de treinamento.

A análise de Clusters implica na determinação de grupos de dados tal que a distância média entre os valores dentro de um grupo é muito menor que a distância entre os grupos. O critério usualmente utilizado nesta análise é o de maximizar a diferença da distância entre as classes e dentro das classes (McCLOY, 1995).

Na Figura 2.10. observa-se um histograma dos valores de reflectância de uma banda, que normalmente mostra um certo número de picos e vales. Os picos representam os grupos de maior frequência de valores associados com os tipos de cobertura que ocorrem mais comumente (EASTMAN, 1999).



**Figura 2.10. Histograma mostrando os picos, vales e "shoulders", que ocorrem quando dois grupos adjacentes se sobrepõem em uma significativa extensão (EASTMAN, 1999).**

Segundo Eastman (1999) este método é consideravelmente eficiente para descobrir a estrutura básica da cobertura do solo de uma imagem. Os agrupamentos formados nesta análise podem ser usados como amostras de treinamento para um segundo estágio de classificação usando o classificador de máxima verossimilhança.

No SIG IDRISI 32 existem outros algoritmos que também realizam uma análise de agrupamento, são eles: Isoclust e Isodata.

Os algoritmos para a classificação digital supervisionada e não supervisionada estão localizados no menu Analysis/Image Processing/Hard Classifiers.

Para complementar a leitura sobre os métodos que foram discutidos, bem como aqueles que não foram apresentados, recomenda-se consultar os autores

Eastman (1999), Chuvieco (2000) e McCloy (1995).

#### **2.4.5. Exatidão da classificação digital**

A fase final da classificação digital consiste na comprovação e verificação dos resultados, isto é, avaliar a exatidão do mapeamento realizado pelos algoritmos da classificação (CHUVIECO, 2000; EASTMAN, 1999).

Eastman (1999) afirma que a avaliação da exatidão das imagens finais produzidas consiste em uma etapa indispensável, tanto para a classificação digital supervisionada quanto para a classificação digital não supervisionada de imagens.

O método mais comum para representar a exatidão da classificação de mapas obtidos de classificação digital de dados orbitais, é a matriz de erro ou tabela de contingência (CONGALTON, ODERWALD e MEAD, 1983; PONZONI e ALMEIDA, 1996). Esta matriz expressa o cálculo da concordância e discordância entre as categorias classificadas de um mapa de uso e cobertura do solo e a verdade terrestre (ROSENFELD, 1986; ROSENFELD e FITZPATRICK-LINS, 1986; PONZONI e ALMEIDA, 1996).

A matriz de confusão ou tabela de contingência, é derivada de cálculos realizados a partir da amostragem dos dados classificados (STORY e CONGALTON, 1986). CONGALTON, ODERWALD e MEAD (1983), STORY e CONGALTON (1986) e JENSEN (1996), explicam que as colunas desta matriz representam a verdade terrestre ou os dados de referência, enquanto as linhas indicam os dados classificados pelo algoritmo da classificação digital. A diagonal principal da matriz de erro indica a concordância entre estes dois grupos de dados. A exatidão global para o mapeamento é calculada pela razão entre a soma dos elementos da diagonal principal e o número total de amostras tomadas. Segundo Congalton, Oderwald e Mead (1983), a situação ideal seria aquela onde todos os elementos localizados fora da diagonal principal da matriz de erro assumissem o valor zero, indicando que todos os pixels (amostras de referência) foram classificados corretamente (ausência dos erros de inclusão e omissão).

A matriz de erro também permite determinar a exatidão para cada categoria mapeada (CONGALTON, ODERWALD e MEAD, 1983). De acordo com Story e Congalton (1986), quando o número de amostras classificadas corretamente em uma

dada categoria é dividido pelo número total das amostras de referência desta categoria, o resultado percentual indica a probabilidade da amostra de referência ter sido classificada corretamente. Estima-se assim, a “exatidão do produtor” e os erros de omissão. No entanto, os erros de classificação não são apenas erros de omissão da categoria correta, mas erros de inclusão em outra categoria. Assim, quando o número de amostras classificadas corretamente em uma dada categoria é dividido pelo número total das amostras que foram classificadas naquela categoria, a porcentagem resultante indica a probabilidade da amostra representar aquela categoria na superfície terrestre. Estimam-se assim a “exatidão do usuário” e os erros de inclusão (Quadro 2.3.).

**Quadro 2.3. Esquema de uma matriz de erro (Adaptado de STORY e CONGALTON, 1986).**

Dados de referência (verdade terrestre)					
Dados classificados	Categorias	A	B	C	Σ das linhas
	A	<b>28</b>	14	15	57
	B	1	<b>15</b>	5	21
	C	1	1	<b>20</b>	22
	Σ das colunas	30	30	40	100

Σ da diagonal principal =  $28+15+20 = 63 \Rightarrow$  Exatidão total  $63/100 = 63\%$

**Exatidão do produtor:**

$$A = 28/30 = 93\%$$

$$B = 15/30 = 50\%$$

$$C = 20/40 = 50\%$$



**Erros de omissão:**

$$A = 100\% - 93\% = 7\%$$

$$B = 100\% - 50\% = 50\%$$

$$C = 100\% - 50\% = 50\%$$

**Exatidão do usuário:**

$$A = 28/57 = 49\%$$

$$B = 15/21 = 71\%$$

$$C = 20/22 = 91\%$$



**Erros de inclusão:**

$$A = 100\% - 49\% = 51\%$$

$$B = 100\% - 71\% = 29\%$$

$$C = 100\% - 91\% = 9\%$$

Story e Congalton (1986) afirmam que os erros de inclusão são tão importantes quanto os erros de omissão, pois o usuário do mapa temático está interessado em quanto aquele mapeamento representa a realidade terrestre. Segundo os autores, é importante e necessário o cálculo da exatidão individual das categorias, para que se possa avaliar completamente a valia do mapa temático para uma aplicação específica.

Além de estimar os erros de omissão e inclusão, a matriz de erro permite uma análise multivariada discreta. Durante as décadas de 60 e 70 pesquisou-se um único coeficiente que representasse adequadamente a exatidão da classificação temática, e também a exatidão para cada categoria dentro de um mapa (ROSENFELD e FITZPATRICK-LINS, 1986).

Cohen (1960 apud ROSENFELD e FITZPATRICK-LINS, 1986), desenvolveu um coeficiente de concordância para escalas nominais, o Índice de Kappa (K). O valor de K é computado para cada matriz de erro e estima a medida de concordância da classificação com os dados de referência (CONGALTON, ODERWALD e MEAD, 1983). Segundo Congalton, Oderwald e Mead (1983) e Hudson e Ramm (1987), o cálculo do coeficiente de Kappa (K) é efetuado por meio da seguinte relação:

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

- onde: - N é o número total de pixels contemplados na matriz de erro;
- x é o elemento da matriz de erro;
  - r é o número de categorias presentes na matriz de erro;
  - $x_{ii}$  são os elementos da diagonal principal;
  - $x_{i+}$  é o total da linha para uma dada categoria informacional;
  - $x_{+i}$  total da coluna para uma dada categoria informacional.

O valor de Kappa é zero (K=0) quando a concordância obtida é igual a probabilidade de concordância. Os valores positivos de Kappa ocorrem quanto maior

for a probabilidade de concordância; os valores negativos de Kappa ocorrem quanto menor for a probabilidade de concordância. O máximo valor de Kappa (+1) ocorre somente quando existe perfeita concordância entre os dados (ROSENFELD e FITZPATRICK-LINS, 1986).

De acordo com Landis e Koch (1977), a Tabela 2.1. a seguir classifica e qualifica os intervalos de valores de Kappa.

Tabela 2.1. Intervalos de qualidade do Índice de Kappa.

Índice de Kappa	Concordância
< 0,00	Péssima
0,00-0,20	Ruim
0,21-0,40	Razoável
0,41-0,60	Boa
0,61-0,80	Muito bom
0,81-1,00	Excelente

Segundo Congalton, Oderwald e Mead (1983), o Índice de Kappa é um tipo de indicador multivariado discreto, designado especificamente para dados categóricos. O índice não exige a existência de independência entre as categorias e nenhuma transformação dos dados.

Rosenfield e Fitzpatrick-Lins (1986) afirmam que o Índice de Kappa é um dos poucos coeficientes adotados como estimadores de correlação entre dados nominais que considera todas as células da matriz de erro, e não somente os dados das células da diagonal principal. Desta forma, são considerados também os erros de inclusão e os de omissão.

Os autores Congalton, Oderwald e Mead (1983), Rosenfield e Fitzpatrick-Lins (1986), Story e Congalton (1986), Dicks e Lo (1990) e Ponzoni e Almeida (1996), recomendam a elaboração de matrizes de erros e o cálculo do Índice de Kappa, para avaliar mapeamentos derivados de dados de produtos de sensoriamento remoto, como uma medida para se estimar a exatidão da classificação temática de forma global, e para cada categoria mapeada.

Para gerar a matriz é realizado um procedimento amostral no qual um certo número de pontos pertencentes a uma dada categoria (tema) é verificado em campo ou em outro mapa (considerado como referência ou verdade terrestre), a fim de comprovar ou não a atribuição correta destes pontos à categoria em questão (PONZONI e ALMEIDA, 1996).

Segundo os autores, especificamente para as comparações entre dois mapas e/ou entre mapas e dados de campo, as funções presentes em um SIG permitem a rápida elaboração de matrizes de erros baseada na averiguação pixel a pixel entre mapas.

Muitos autores discutem o tamanho ideal da amostra (N) utilizada para a coleta dos dados de referência (HORD, 1976; GENDEREN e LOCK, 1977; ARONOFF, 1981; ARONOFF, 1982; FITZPATRICK-LINS, 1981; HORD, 1986; GONG e HOWARTH, 1990; DICKS e LO, 1990; BRITES, SOARES e RIBEIRO, 1996; CHUVIECO, 2000 e JENSEN, 1996).

Segundo Jensen (1996), o número efetivo de amostras utilizado como referência para se determinar a exatidão individual das categorias na classificação é difícil de ser determinado. O método ideal seria unir as recomendações estatísticas para se obter uma amostra adequada e gerar uma matriz de erro apropriada, ao tempo, custo e limitações práticas do projeto em questão.

Segundo Jensen (1996), Chuvieco (2000) e Fitzpatrick-Lins (1981), determina-se o tamanho da amostra a partir de uma equação baseada na distribuição binomial (mede uma variável binomial: acerto-erro). Os autores sugerem a utilização da fórmula da teoria da probabilidade binomial:

$$N = \frac{Z^2(p)(q)}{E^2}$$

onde: - p é o percentual de exatidão esperado;

- q = 100 – p;

- E é o erro permissível (intervalo de confiança);

- Z = 2, pelo desvio padrão normal de 1,96 para 95% de intervalo de confiança.

A estratégia ou padrão de amostragem a ser adotado também é um tema muito discutido. O padrão de amostragem é a maneira, em termos espaciais, segundo o qual as amostras serão tomadas sobre uma dada área, constituindo-se em uma etapa muito importante, pois a depender do padrão adotado, pode ocorrer a incorporação de amostras com alta correlação espacial (DICKS e LO, 1990; BRITES, SOARES e RIBEIRO, 1996). Sendo assim, Gong e Howarth (1990) recomendam a amostragem pixel a pixel a fim de minimizar os efeitos da correlação espacial, apresentando resultados mais exatos.

A seleção da melhor estratégia de amostragem constitui-se de uma tarefa complexa, pois as diferentes análises da matriz de erros são baseadas em diferentes estratégias de amostragem e dependem dos objetivos da pesquisa (STEHMAN, 1992).

Diversos autores têm discutido e comparado a melhor entre as diferentes estratégias de amostragem: a aleatória, a aleatória estratificada, a sistemática, a sistemática estratificada não alinhada e a amostragem por conglomerado (GENDEREN e LOCK, 1977; HAY, 1979; FITZPATRICK-LINS, 1981; DICKS e LO, 1990; GONG e HOWARTH, 1990; STEHMAN, 1992; BRITES, SOARES e RIBEIRO, 1996; JENSEN, 1996; CHUVIECO, 2000).

A extração casual de amostras no campo é um fator decisivo para a confiabilidade estatística dos dados resultantes da interpretação. No entanto, em virtude dos diferentes tipos de cobertura do solo não ocorrerem de forma casual na natureza, uma amostragem casualizada pode não representar adequadamente todas as categorias de uso e cobertura do solo espectralmente discerníveis (WARREN et al., 1990 apud BRITES, SOARES e RIBEIRO, 1996).

Dozier e Strahler (1983 apud BRITES, SOARES e RIBEIRO, 1996) postulam que no caso da existência de correlação espacial e de um pequeno número de pontos a serem amostrados, a amostragem sistemática será representativa e mais precisa.

No SIG IDRISI 32 é possível obter a exatidão da classificação digital a partir da função SAMPLE (produz um arquivo vetorial de pontos para serem verificados em campo, de acordo com o padrão de amostragem escolhido – sistemático, aleatório ou aleatório estratificado) e ERRMAT (produz uma matriz de erro, e tabula os erros

de omissão, inclusão e o coeficiente de concordância de Kappa para cada categoria temática) no menu Analysis/Image Processing/Accuracy Assessment ou Analysis/Decision Support.

### 3.1. ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi desenvolvido nos municípios das Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, ambos localizados na área de influência do reservatório de Jurumirim, na região sudoeste do Estado de São Paulo.

A definição da área de estudo estabeleceu-se em função da intensificação da atividade turística na região das Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, no reservatório de Jurumirim. Para a delimitação da área foram realizados trabalhos de campo preliminares com o objetivo de conhecer e compreender melhor a região, buscando identificar os locais de maior concentração de loteamentos e condomínios de segundas residências, bem como hotéis, camping e outras áreas destinadas à atividade turística.

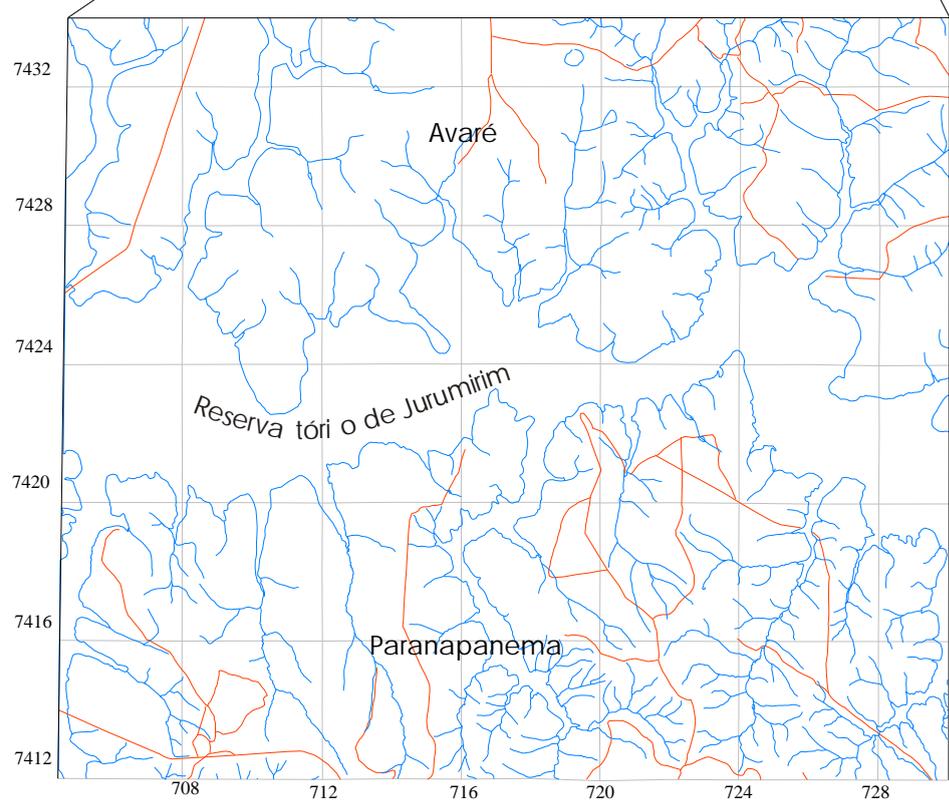
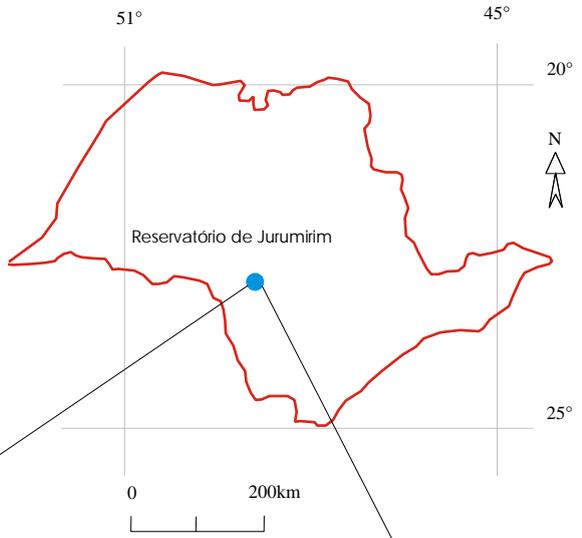
A área de estudo, portanto, está compreendida entre as coordenadas UTM 704.689 mE, 729.985 mE, 7.412.015 mN e 7.433.960 mN, possuindo 55.510 hectares (Figura 3.1.).

A Estância Turística de Avaré localiza-se nas coordenadas 23°6' de latitude Sul e 48°55' de longitude Oeste e possui uma população urbana de 74.158 habitantes e uma população rural de 5.679 habitantes.

A vegetação é caracterizada pela floresta latifoliada tropical (residual) (CRUZ FILHO, 1998). A Estância possui 56,2% da vegetação do cerrado remanescente da Região Administrativa de Sorocaba e 3,25 do cerrado ainda presente no Estado de São Paulo (KRONKA et al., 2001). De acordo com Cruz Filho (1998), a Estância possui seis hotéis, um camping municipal, cinco pousadas e vários loteamentos e condomínios de segundas residências.

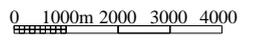


Localização no Estado de São Paulo



Legenda

-  Açudes
-  Drenagem
-  Estradas



A Estância Turística de Paranapanema, localizada nas coordenadas 23°23' de latitude Sul e 48° 40' de longitude Oeste, possui uma população urbana de 12.500 habitantes e uma população rural de 7.388 habitantes. A vegetação é caracterizada por floresta latifoliada semidecídua (AOKI et al., 1998). Segundo Menk (1998), o desenvolvimento turístico do município conta com loteamentos de segundas residências instalados nas margens da represa.

Recentemente, os municípios de Paranapanema e Avaré transformaram-se, respectivamente em 2001 e 2002, em Estâncias Turísticas. Juntamente com a Estância Turística de Piraju, Avaré e Paranapanema passaram a integrar o circuito de turismo do interior paulista. As três Estâncias têm em comum a proximidade do reservatório de Jurumirim, um dos únicos não poluídos do Estado (VIAJANDO: A REVISTA DE TURISMO DO INTERIOR, 2002 a).

Segundo Silvano Porto Rodrigues, Secretário do Turismo da Prefeitura Municipal da Estância Turística de Avaré "O turismo é nossa vocação comum e temos de explorá-lo para incrementar a economia regional". De acordo com o Secretário, o título de Estância irá otimizar os negócios, que poderão gradualmente modificar o perfil das cidades (VIAJANDO: A REVISTA DE TURISMO DO INTERIOR, 2002 a).

O Prefeito Municipal da Estância Turística de Paranapanema, Edilberto Mendes, concorda com a vocação turística de Paranapanema e afirma "Nosso município é dotado de um manancial hídrico, de natureza viva, ar puro, clima ameno, onde o turismo e o crescimento econômico estão alinhados para um futuro muito próspero" (VIAJANDO: A REVISTA DE TURISMO DO INTERIOR, 2002 a).

Conclui-se, portanto, que a transformação dos municípios de Avaré e Paranapanema em Estâncias Turísticas, dentre outros fatores, está intimamente ligada à paisagem formada pelo represamento do rio Paranapanema, que originou o reservatório de Jurumirim.

O reservatório, conhecido também como reservatório Engenheiro Armando Laydner, insere-se na bacia hidrográfica do alto Paranapanema (PIÃO, 1995), localizando-se entre os paralelos 23°08'S e 23°35'S e os meridianos 48°30'W e 49°13'W (TUNDISI, 1980).

Jurumirim é o primeiro de uma série de "reservatórios em cascata" encontrados ao longo do rio Paranapanema no sentido nascente-foz (HENRY, 1998). Formado pela confluência do rio Paranapanema com o rio Taquari, apresenta um

espelho d'água de cerca de 485km<sup>2</sup> e um perímetro de 1.115km, que variam em função do regime de chuvas (HENRY e NOGUEIRA, 1999) (Quadro 3.1.).

**Quadro 3.1. Características do reservatório de Jurumirim-SP.**

<b>Características</b>	<b>Dimensões</b>
Área	546 Km <sup>2</sup>
Volume	7,9 x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>
Comprimento	100 Km
Largura máxima	10,50 Km
Profundidade máxima	40 m
Profundidade média	12,9 m
Perímetro	1 115 Km
Área da bacia hidrográfica	17 800 Km <sup>2</sup>

Fonte: Henry (1990 apud Ferreira, 1981).

O reservatório, concluído em 1962 com as finalidades principais de regularizar a vazão do rio Paranapanema, armazenar água para as usinas a jusante da barragem e gerar energia elétrica (LORENTZ, CALIJURI e CALIJURI, 1996), passou a ser utilizado também para outras atividades, dentre as quais: irrigação, pesca, recreação, aqüicultura e turismo (NOGUEIRA, 1996).

Segundo Henry e Gouveia (1993 apud HENRY e NOGUEIRA, 1999), os principais usos do solo na área da bacia de drenagem do reservatório são: florestas e áreas reflorestadas (35,2%), pastagens (30,3%), áreas agrícolas (17%), culturas temporárias (10%) e outros usos (7,5%).

De acordo com Nogueira (1996), parte considerável de sua bacia de drenagem se encontra no interior de duas Áreas de Proteção Ambiental (APA-Botucatu e APA-Tejupá), além de conter no seu entorno dez municípios, a saber: Angatuba, Paranapanema, Itaí, Taquarituba, Tejupá, Piraju, Cerqueira César, Arandu, Avaré e Itatinga, totalizando aproximadamente 200 mil habitantes.

O clima da área, segundo a classificação de Köeppen, é do tipo Cwa, com clima quente e úmido, com inverno seco. As temperaturas médias são de 22<sup>o</sup>C para o mês mais quente, e 18<sup>o</sup>C para o mês mais frio (BIAZON, 1981). A pluviosidade varia de 1.100 a 1.300 mm (totais anuais), sendo o período entre os meses de abril e

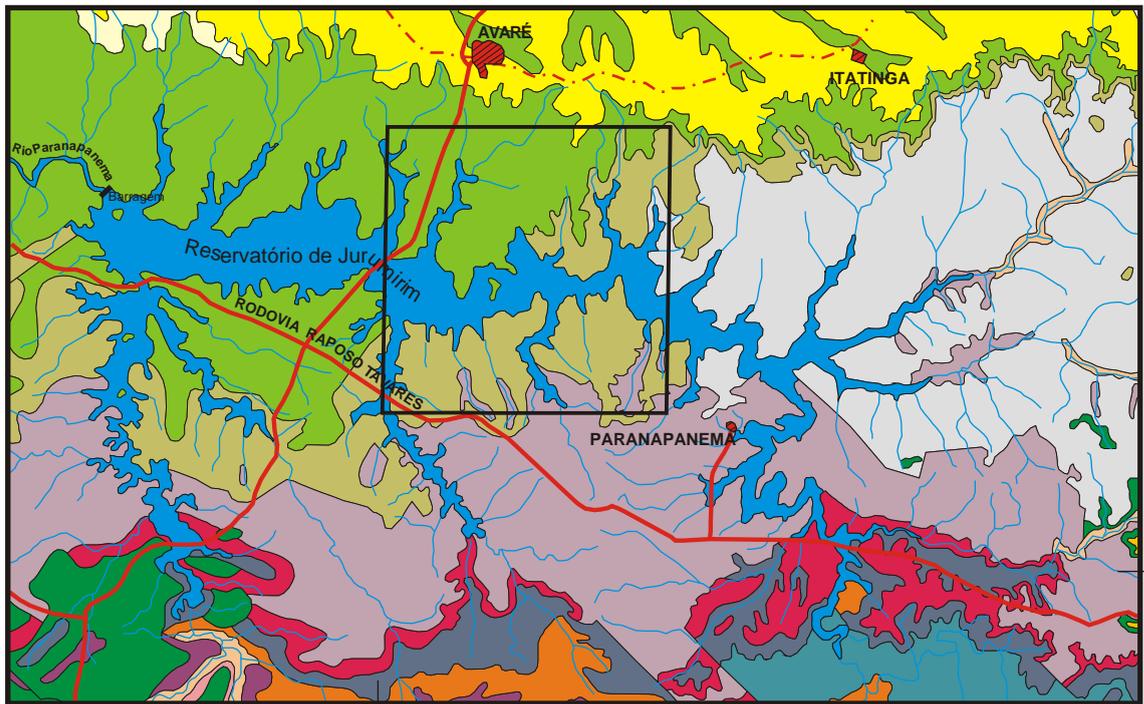
setembro o de menor pluviosidade, e entre os meses outubro e março o de maior pluviosidade (SCHRÖDER 1956 apud BIAZON, 1981).

A bacia hidrográfica do reservatório de Jurumirim está inserida na Depressão Periférica Paulista (MOREIRA e CAMELIER, 1977). Na margem direita do reservatório, está situada a Cuesta de Botucatu, que divide as duas províncias geomorfológicas, a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental Paulista, nessa região do Estado (HENRY e NOGUEIRA, 1999).

As três principais formas de relevo encontradas na bacia de drenagem do reservatório são colinas amplas e suaves, morrotes e morros. As nascentes dos seus principais tributários, os rios Paranapanema e Taquari, localizam-se no Planalto Atlântico (HENRY e NOGUEIRA, 1999).

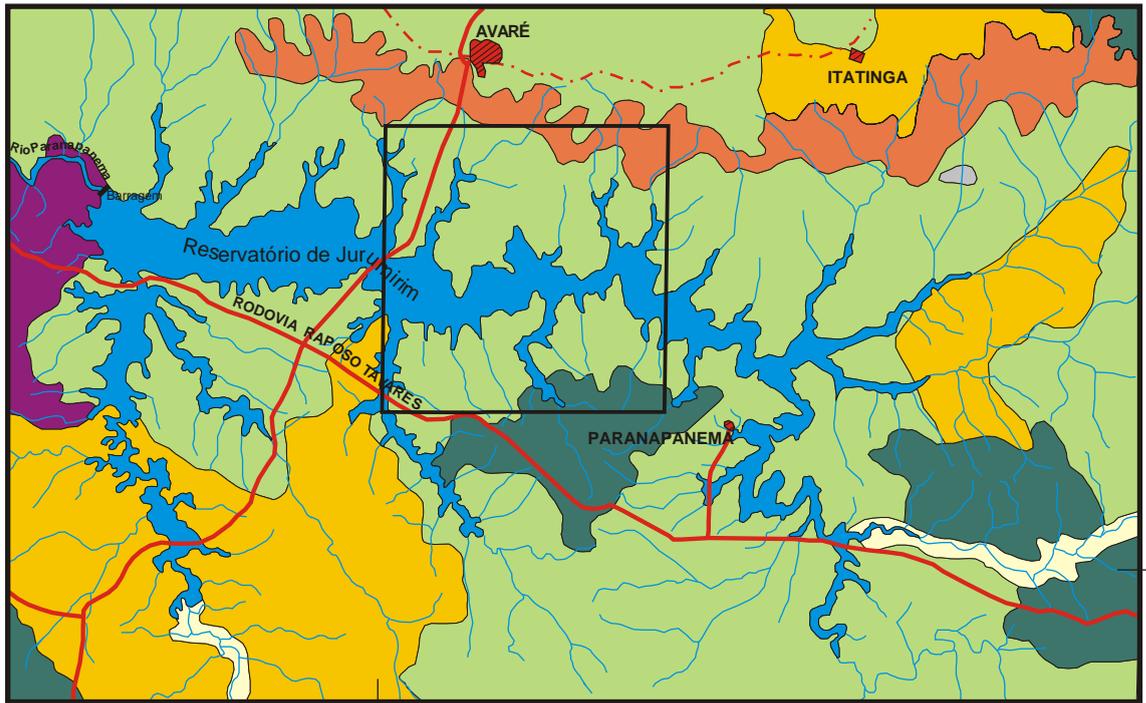
Segundo mapeamento geológico e geomorfológico da área, a bacia de drenagem do reservatório de Jurumirim apresenta as seguintes características (IPT, 1981 a e b):

- Características geológicas: presença das formações do Grupo Bauru (Formações Marília e Adamantina), Grupo São Bento (Formações Serra Geral, Botucatu, Pirambóia), Grupo Passa Dois (Formações Teresina, Serra Alta, Irati), Grupo Tubarão (Formações Palermo, Rio Bonito, Tatuí, Itararé), rochas intrusivas básicas e sedimentos aluvionares (Figura 3.2.);
- Características geomorfológicas: caracterizada por escarpas estonadas, colinas médias e amplas, morrotes alongados e espigões, mesas basálticas, planícies aluviais e morros arredondados (Figura 3.3.).



### LEGENDA

GRUPO BAURU	 Sedimentos Aluvionares	
	 Formação Marília	 Estrada pavimentada
	 Formação Adamantina	 Linha férrea
GRUPO SÃO BENTO	 Formação Serra Geral	 Município
	 Rochas Intrusivas Básicas	 Limite da área de estudo
	 Formação Botucatu	 Drenagem
	 Formação Pirambóia	
GRUPO PASSA DOIS	 Formação Teresina	
	 Formação Serra Alta	
	 Formação Irati	
GRUPO TUBARÃO	 Formação Palermo	
	 Formação Tatuí	
	 Formação Rio Bonito	
	 Formação Itararé	



### LEGENDA

- |   |                               |  |                     |
|---|-------------------------------|--|---------------------|
|  | Limite da área de estudo      |  | Estrada pavimentada |
|  | Drenagem                      |  | Linha férrea        |
|  | Colinas amplas                |  | Município           |
|  | Morrotes alongados e espigões |  |                     |
|  | Colinas médias                |  |                     |
|  | Escarpas estonadas            |  |                     |
|  | Mesas basálticas              |  |                     |
|  | Planícies aluviais            |  |                     |
|  | Morros arredondados           |  |                     |

### 3.2. MATERIAIS

A seguir são apresentados todos os materiais utilizados para a realização desta pesquisa:

- Folhas topográficas dos municípios de Avaré (SF 22-Z-D-II-1) e Paranapanema (SF 22-Z-D-II-3), 1973/74, escala 1:50 000, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
- Mapa geológico e geomorfológico do Estado de São Paulo, 1981, escala 1: 100.000, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT);
- Xerocópia colorida das fotografias aéreas, 1972, escala 1:25:000, Projeto IBC-GERCA, fornecidas pelo IPT;
- Ampliação fotográfica da composição colorida obtida pela fusão digital das bandas 453/RGB+Pan, do satélite Landsat 7/ETM+, órbita 220, ponto 76, de 24.06.00, na escala 1:50.000;
- Imagens do satélite Landsat 7/ETM+, órbita 220, ponto 76, bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7, e 8, de 24.06.00, formato TIF (Targged Information Format files), adquiridas na INTERSAT Imagens de Satélite LTDA.;
- Xerocópia do mapa cadastral de propriedades, elaborado pelo Departamento de Cadastro Imobiliário da Prefeitura Municipal da Estância Turística de Avaré, 1995;
- Mapa rodoviário do município da Estância Turística de Paranapanema;
- Cópia heliográfica dos projetos dos loteamentos aprovados pela Prefeitura Municipal da Estância Turística de Paranapanema;
- Sistema de Informação Geográfica IDRISI 32 (EASTMAN, 1999);
- Software CartaLinx (HAGAN, EASTMAN e AUBLE, 1998);
- Software CorelDRAW e Corel PHOTO-PAINT, versão 9;
- Software AutoCAD 14;
- Scanner HP PrecisionScan LTX;
- Scanner A0;
- Global Positioning System eMap Garmin;

- Estereoscópio de espelho ZEISS;
- Aero-Sketchmaster;
- Mesa digitalizadora Summagraphics MM series v2.0;
- Microcomputador com processador Intel (Pentium III/800 Mhz), memória DIMM 384 MB, disco rígido 20,4 GB;
- Máquina fotográfica digital Sony Mavica;
- Papel poliéster (terkron), lápis borracha, borracha, apontador, régua acrílica, fita mágica, grafites coloridas, lapiseira (todos materiais utilizados para a confecção dos layers da fotointerpretação);
- Impressora HP A3;
- Barco com motor e automóvel para a locomoção nos dias de trabalho de campo;
- CDs para gravar os arquivos do trabalho;
- Filme fotográfico KODAK Kodacolor;

### **3.3. MÉTODOS**

#### **3.3.1. Uso e cobertura do solo em 1972**

O uso e cobertura do solo de 1972 foram obtidos a partir da fotointerpretação de 32 pares estereoscópicos de fotografias aéreas, na escala 1:25.000, por meio de estereoscópio de espelho da marca ZEISS. O aerolevanteamento foi realizado pelo Projeto IBC-GERCA e datado de 1972, fornecidas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). A linha de vôo seguiu a direção E-W. As faixas e fotos utilizadas no trabalho, que compreendem partes dos municípios das Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, estão descritas na direção Norte- Sul, e especificadas no Quadro 4.1..

**Quadro 4.1. Fotografias aéreas do mapeamento do uso e cobertura do solo das Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, em 1972.**

Nº Faixa	Nº Fotos
13	32106 – 32118
01	30581 - 30569
01	30608 - 30596
04	30695 - 30685
13	32157 - 32145

O sistema de classificação de uso e cobertura do solo baseou-se no proposto por Anderson et al. (1979) e adaptado por Biazon (1981) para a Estância Turística de Avaré.

O nível de abordagem utilizado para a definição das categorias de uso e cobertura do solo para a fotointerpretação foi o nível III, que de acordo com Anderson et al. (1979), produz informações em nível intra-estadual, regional, municipal ou distrital (escala 1:20.000 a 1:80.000).

Considerando os elementos de reconhecimento tonalidade, forma; padrão; densidade; declividade; textura; tamanho; sombra; posição e adjacências dos alvos de interesse na superfície terrestre foram definidas e mapeadas as seguintes categorias de uso e cobertura do solo: **cerrado, água, pastagem, reflorestamento e outras culturas.**

A categoria **cerrado** incluiu a vegetação arbórea, arbustiva e herbácea, característica das fisionomias do cerrado. Nesta categoria estão incluídas também as áreas de matas de galeria ao longo dos rios, ribeirões e córregos.

A **pastagem** constituiu-se de áreas cobertas predominantemente por gramíneas e arbustos esparsos, e em alguns casos por vegetação arbórea e arbustiva esparsa. Observou-se também a presença de rebanhos, bem como de piquetes e estruturas de cercas delimitando propriedades.

O **reflorestamento** representou áreas reflorestadas por espécies exóticas, como as culturas de Eucalyptus.

A categoria denominada **outras culturas** caracterizou-se por culturas que não as de Eucalyptus e Pinus, como por exemplo a fruticultura, bem como áreas que apresentavam o solo sendo preparado para o plantio e áreas já colhidas.

A **água** é categoria associada aos cursos d'água e canais, incluindo os rios, ribeirões, córregos e outros corpos d'água lineares; lagos; açudes e o reservatório.

A compatibilização das escalas dos layers de uso e cobertura do solo (1:25.000) interpretados das fotografias aéreas com a base topográfica (1:50.000) foi realizada no aparelho Aero-Sketchmaster.

Desta forma elaborou-se um mapa de uso e cobertura do solo (em papel poliéster), para o ano de 1972, na escala 1:50.000, contendo os resultados da fotointerpretação. Este mapa foi escaneado no formato TIF (Tagged Information Format files) e importado para o SIG IDRISI 32 a partir do menu File/Import/Desktop Publishing Formats/Tifidris.

A correção geométrica do mapa de uso e cobertura do solo de 1972 foi realizada com a identificação de 84 pontos de controle em comum no mapa de 1972 e na imagem HSI de 2000 (técnica de transformação de imagens HSI a ser descrito no item 3.3.2.2. Realce de imagens) (ANEXO 1).

O georreferenciamento foi efetuado pela função RESAMPLE, no menu Analysis/Image Processing/Restoration. Foi adotado o polinômio de primeiro grau (linear) e o método "vizinho mais próximo" (nearest neighbor).

No georreferenciamento do mapa de uso e cobertura do solo de 1972 foram descartados nove pontos de controle que apresentaram erro superior a 15 metros.

Após o georreferenciamento, o mapa de 1972 foi exportado e digitalizado no software CartaLinx 1.0, e exportado novamente para o SIG IDRISI 32, iniciando-se assim um banco de dados para a área de estudo.

### **3.3.2. Técnicas de processamento digital de imagens no uso e cobertura do solo em 2003**

Os procedimentos para o processamento digital das imagens do satélite Landsat 7/ETM+ foram efetuados no SIG IDRISI 32 (EASTMAN, 1999).

As imagens foram adquiridas no formato TIF (Tagged Information Format files) e importadas para o SIG a partir do menu File/Import/Desktop Publishing Formats/Tifidris.

### 3.3.2.1. Correção de imagens

Inicialmente foi efetuado um “recorte” da cena da imagem, em todas as bandas (1, 2, 3, 4, 5, 7 e 8) do satélite Landsat 7/ETM+, a fim de delimitar a área de estudo e torná-la mais facilmente manipulável (menor quantidade de dados). Para o recorte foi utilizada a função WINDOW localizada no menu Reformat.

Posteriormente foi feito um realce das imagens das bandas 3, 4 e 5, elaborando uma composição colorida 3B4R5G pela função COMPOSITE no menu Analysis/Image Processing/Enhancement. A composição facilitou a localização dos pontos de controle, devido a melhor visualização dos alvos da superfície terrestre.

A correção geométrica das imagens iniciou-se pela localização de 53 pontos identificados em comum na base topográfica e na composição colorida 3B4R5G (georreferenciamento mapa base/imagem). Buscou-se cobrir toda a área de estudo, principalmente as extremidades da área, para garantir uma maior confiança no georreferenciamento, gerando um mapa de maior precisão. Utilizou-se mesa digitalizadora Summagraphics MM series v2.0 e o software AutoCAD 14 para definir e identificar as coordenadas geográficas na base topográfica, “x” e “y” em UTM; e as coordenadas “coluna” e “linha” da composição colorida. Foi então criado um arquivo de correspondência (.cor) pelo menu Data Entry/Edit, listando as coordenadas “antigas” (da imagem) e “novas” (da base cartográfica) dos 53 pontos de controle (ANEXO 2).

O georreferenciamento foi efetuado pela função RESAMPLE, no menu Analysis/Image Processing/Restoration. Foi adotado o polinômio de primeiro grau (linear) e o método “vizinho mais próximo” (nearest neighbor).

As bandas 1, 2, 3, 4 e 5, com resolução espacial de 30 metros, foram georreferenciadas, uma a uma, adotando-se o sistema de projeção Universal Transversal de Mercator (UTM), por ser o sistema mais usual e por fornecer valores de distância em unidades métricas.

O erro médio quadrado (RMS) alcançando foi de 1,82 metros. Para alcançar esse valor de RMS, foram descartados nove pontos de controle que apresentaram erro superior a 15 metros (ANEXO 2).

Posteriormente foi efetuada a correção geométrica da banda 8

(pancromática), que apresenta resolução espacial de 15 metros. Elaborou-se uma composição colorida 3B4R5G das bandas já georreferenciadas, que auxiliaram na localização dos 29 pontos de controle identificados em comum na composição colorida e na imagem da banda 8 (georreferenciamento imagem/imagem). O método utilizado foi o mesmo método utilizado para o georreferenciamento mapa base/imagem. O RMS alcançado foi de 0,79 metros, omitindo 10 pontos que apresentaram erro superior a 15 metros (ANEXO 3).

É importante que na omissão dos pontos que apresentaram um erro superior a 15 metros, no objetivo de alcançar um menor RMS, tome-se o cuidado de não deixar as extremidades da área de estudo sem pontos de controle.

Após a etapa do georreferenciamento das imagens, efetuou-se um novo recorte das bandas 1, 2, 3, 4 e 5, com base no número de linhas e colunas da banda 8 (devido a sua resolução espacial de 15 metros), resultando em imagens com 1687 colunas e 1463 linhas.

A correção radiométrica e atmosférica foram previamente efetuadas pela empresa INTERSAT, para minimizar os possíveis problemas relacionados à calibração dos detectores e a presença de nuvens.

### **3.3.2.2. Realce de imagens**

Nesta etapa foi efetuada duas técnicas de realce de imagens, a transformação HSI e o NDVI, com o objetivo de auxiliar na visualização da área de estudo para a classificação digital.

Na transformação HSI foram usadas as bandas 3, 4, 5 e 8 (vermelho, infra-vermelho próximo, infra-vermelho médio e pancromático, respectivamente). O objetivo desta técnica foi o de integrar a resolução espectral das bandas 3, 4 e 5 à resolução espacial da banda 8 (15 metros), para uma melhor observação da cena da área de estudo, bem como dos alvos imageados da superfície terrestre, com a finalidade de auxiliar o trabalho de campo e a definição das amostras de treinamento para a classificação digital supervisionada. Este procedimento é efetuado pela função COLSPACE no menu Analysis/Imaging Processing/Transformation.

Para auxiliar no mapeamento da vegetação, foi feita a técnica de realce

conhecida como NDVI (Normalized Difference of Vegetation Index). Esta operação é efetuada pela função OVERLAY no menu Analysis/Database Query, Analysis/Mathematical Operators ou Analysis/Change/Time Series.

### **3.3.2.3. Classificação digital supervisionada de imagens**

O primeiro passo para a classificação digital supervisionada das imagens foi a observação das imagens HSI e NDVI, considerando os elementos de reconhecimento tonalidade, forma; padrão; densidade; textura; tamanho; sombra; posição e adjacências dos alvos de interesse na superfície terrestre. Nesta primeira observação procurou-se identificar o padrão de respostas espectrais dos alvos bem conhecidos como, por exemplo, o comportamento espectral da água e a da areia. A água tem a característica de absorver grande parte da energia eletromagnética, apresentando-se com tonalidades escuras na imagem HSI; a areia, que reflete grande parte da energia eletromagnética, apresenta-se na imagem com tonalidades claras.

Após a observação da imagem e dos alvos da superfície terrestre, foram realizados vários trabalhos de campo na área de estudo com o objetivo de verificar a verdade terrestre. Esta etapa é fundamental e imprescindível para as etapas seguintes da classificação digital: a definição das amostras de treinamento e a análise dos resultados da classificação (exatidão /matriz de erro).

Os trabalhos de campo compreenderam o trajeto aquático (no reservatório) e terrestre pelas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, e foram realizados no período de 17 a 20 de abril e de 08 a 14 de outubro de 2001; de 13 a 19 de fevereiro de 2002; e de 14 a 18 de julho de 2003.

Em todos os pontos visitados no campo foram utilizadas as folhas Avaré e Jurumirim (IBGE); mapa rodoviário da Estância Turística de Paranapanema; plantas dos projetos dos loteamentos na Estância Turística de Paranapanema; mapa cadastral das propriedades da Estância Turística de Avaré; GPS para verificar as coordenadas e câmera digital Sony Mavica para registrar os usos e coberturas do solo na área. Foram visitados 90 pontos na área terrestre e 75 pontos na área aquática, totalizando 165 pontos visitados.

É importante ressaltar que a etapa do trabalho de campo é importantíssima em pesquisas de mapeamento do uso e cobertura do solo a partir de dados de sensores remotos. Um bom trabalho de campo, compreendendo, se possível, a maior parte da área de estudo, possibilita um melhor conhecimento da realidade terrestre, permitindo que a etapa de definição das amostras de treinamento para a classificação digital e para a avaliação dos resultados seja executada com maior confiabilidade e precisão.

Posteriormente a observação da imagem e ao trabalho de campo foram definidas as seguintes categorias de uso e cobertura do solo de interesse para esta pesquisa: **cerrado, água, pastagem, reflorestamento, outras culturas, areia e instalação turística.**

O nível de abordagem utilizado para a definição das categorias de uso e cobertura do solo para a classificação das imagens também foi o nível III, (ANDERSON et al., 1979), compatibilizando as categorias da imagem e das fotografias aéreas, tornando possível a análise espaço-temporal do uso e cobertura do solo em uma mesma escala de abordagem.

No entanto, observando as imagens de satélite de 2000, foram identificadas duas categorias que não foram mapeadas em 1972: a areia e a instalação turística. A areia surgiu em função da diminuição do nível do reservatório; a instalação turística, insipiente em 1972, passa a se desenvolver a partir de então.

A categoria **cerrado** incluiu a vegetação arbórea, arbustiva e herbácea, característica das fisionomias do cerrado (cerradão, cerrado ss, campo cerrado e campo sujo). Nesta categoria estão incluídas também as áreas de matas de galeria ao longo dos rios, ribeirões e córregos. Esta categoria apresentou-se bastante heterogênea, principalmente por constituir-se de várias fisionomias do cerrado (da formação florestal à formação savânica).

A **pastagem** constituiu-se de áreas cobertas predominantemente por gramíneas e arbustos, e em alguns casos por vegetação arbórea e arbustiva esparsa, podendo ser formada por pasto natural e/ou plantado. Observou-se também a presença de rebanhos de eqüinos, bovinos e ovinos, bem como de piquetes, estruturas de cercas e de desedentação e alimentação dos animais.

O **reflorestamento** representou as culturas de *Eucalyptus* e *Pinus* sp., diferenciadas durante o trabalho de campo. Esta categoria incluiu áreas de talhões novos e adultos, bem como os talhões que foram desbastados. Por este motivo esta categoria apresenta-se também bastante heterogênea.

A categoria denominada **outras culturas** caracterizou-se por culturas temporárias e permanentes, como a soja e a fruticultura respectivamente. Observou-se no campo a presença de pivôs centrais de irrigação, que também foram identificados na imagem, em decorrência de sua forma circular. As culturas de *Eucalyptus* e *Pinus* sp. não foram incluídas nesta categoria.

A categoria **areia** está localizada às margens do reservatório e surgiu em decorrência da diminuição do nível do reservatório no período de seca, propiciando a formação de extensas praias.

A **água** é categoria associada aos cursos d'água e canais, incluindo os rios, ribeirões, córregos e outros corpos d'água lineares; lagos; açudes e o reservatório.

A categoria **instalação turística** é representada por loteamentos e condomínios de segundas residências (ou residências secundárias), hotéis, clubes náuticos, camping, marina e áreas de lazer implantadas às margens do reservatório, bem como nas áreas mais interiores dos municípios. Algumas destas instalações são possíveis de serem identificadas na imagem HSI pela forma quadriculada que se apresentam, decorrentes dos arruamentos e lotes, no entanto, existem outras instalações que somente durante o trabalho de campo foram identificadas. Esta categoria apresentou-se também bastante heterogênea.

Depois de identificadas as categorias, a etapa seguinte consistiu na definição das amostras de treinamento. As categorias foram divididas em "subtipos", pois como foi descrito, apresentaram variabilidade em seu comportamento espectral. Foram então estabelecidos os "subtipos" das seis categorias de uso e cobertura do solo, de acordo com as respectivas variabilidades espectrais:

- quatro "subtipos" para o cerrado;
- quatro "subtipos" para a água;
- dois "subtipos" para a pastagem;
- dois "subtipos" para as outras culturas;

- quatro “subtipos” para o reflorestamento;
- dois “subtipos” para a areia.

Desta forma, foi possível delimitar e definir amostras homogêneas (com histogramas unimodais/monomodais) e representativas de cada categoria de interesse.

Todas as categorias e seus “subtipos” foram digitalizadas pelo módulo DIGITIZE, criando-se um arquivo vetorial com as respectivas amostras de treinamento.

Em seguida foram extraídas as assinaturas espectrais de todas as categorias pelo módulo MAKESIG no menu Analysis/Imaging Processing/Signature Development.

Após a definição das amostras de treinamento e a extração das assinaturas espectrais, realizou-se a classificação propriamente dita, ou seja, a atribuição de cada pixel a uma das categorias. Para tanto, foram utilizados os seguintes algoritmos e especificidades:

#### ❖ **Algoritmo Máxima Verossimilhança (MAXLIKE):**

- ✓ igual probabilidade de ocorrência para cada assinatura – MAXLIKE/IP;
- ✓ probabilidade especificada previamente – MAXLIKE/EP.

Nos dois métodos da classificação pelo algoritmo Máxima Verossimilhança, a proporção de exclusão dos pixels foi de 0%, classificando-se assim todos os pixels da imagem.

Para especificar previamente a probabilidade de ocorrência das assinaturas espectrais, calculou-se a área (em número de células) e a porcentagem de ocorrência de cada categoria de uso e cobertura do solo (com exceção da categoria instalação turística) com base na amostragem de 144 pontos dispostos de forma sistemática sobre a imagem HSI (o procedimento para a seleção desta amostragem é explicado no item a seguir, sobre a exatidão da classificação digital). Os valores de porcentagem encontrados foram divididos de acordo com os “subtipos” de uso e

cobertura do solo de cada categoria, e então colocados na tabela Probability Definition (Tabela 3.1.).

**Tabela 3.1 Percentual das categorias de uso e cobertura do solo especificadas, previamente, para a classificação digital pelo algoritmo Máxima Verossimilhança.**

<b>CATEGORIA</b>	<b>ÁREA (CÉLULAS)</b>	<b>VALOR EM PORCENTAGEM (%)</b>
1- Cerrado	26	19 (6,33% para cada subtipo)
2- Água	31	23 (7,66% para cada subtipo)
3- Pastagem	66	48 (24% para cada subtipo)
4-Outras culturas	1	1 (0,5% para cada subtipo)
5- Reflorestamento	10	7 (1,75% para cada subtipo)
6- Areia	3	2 (1% para cada subtipo)
<b>TOTAL</b>	<b>137</b>	<b>100%</b>

❖ **Algoritmo Mínima Distância (MINDIST):**

- ✓ distância pura MINDIST/RI;
- ✓ distância normalizada MINDIST/NI.

Nas duas opções, adotou-se como distância máxima a infinita.

❖ **Algoritmo Paralelepípedo (PIPED):**

- ✓ Z-score de 1,95 (PIPED/Z1,96);
- ✓ Z-score de 2,58 (PIPED/Z2,58).

Nesta classificação foram retirados, respectivamente, 5% e 1% dos pixels menos similares às assinaturas espectrais.

A categoria instalação turística, por apresentar amostras com maior heterogeneidade espectral (área construída, arruamento, lotes vagos, vegetação arbórea e arbustiva, área gramada) foi digitalizada com base nas coordenadas adquiridas em campo via GPS e nas informações dos mapas dos projetos dos loteamentos e do mapa cadastral das propriedades presentes nos municípios. O arquivo vetorial foi então convertido para o formato raster, e adicionado às imagens finais após a classificação digital, o que permitiu que a esta categoria fosse igualmente analisada.

Havia na imagem uma área que não pertencia a nenhum dos municípios

estudados, e sim aos municípios vizinhos: Itaí e Cerqueira Cezar. Utilizando o mesmo procedimento utilizado para a categoria instalação turística, a área destes municípios foi também digitalizada e adicionada às imagens finais após a classificação digital, sendo denominada por área não mapeada.

Os algoritmos para a classificação digital supervisionada de imagens localizam-se no menu Analysis/Image Processing/Hard Classifiers.

#### **3.3.2.4. Reclassificação e filtragem**

A reclassificação das imagens classificadas teve como objetivo agrupar cada categoria de uso e cobertura do solo e seus respectivos "subtipos", por meio do módulo RECLASS no menu Analysis/Database Query.

Foi então estabelecida uma legenda correspondente às categorias de uso e cobertura do solo: cerrado, água, pastagem, outras culturas, reflorestamento, areia, instalação turística e área não mapeada.

Após a reclassificação das imagens foi aplicado o filtro de média (janela 5x5), pelo módulo FILTER, no menu Analysis/Image Processing/Enhancement/Filter. O objetivo deste procedimento foi o de remover os pixels que ficaram isolados na classificação digital.

A classificação digital das imagens gerou um total de seis mapas de uso e cobertura do solo de 2003; cada um gerado a partir de um determinado algoritmo e suas especificidades.

#### **3.3.2.5. Exatidão da classificação digital**

A última etapa da classificação digital consistiu na avaliação dos resultados, ou seja, na exatidão das classificações, permitindo avaliar o desempenho de cada algoritmo utilizado.

Primeiramente foi determinado o tamanho da amostra (N), estipulando-se o percentual de exatidão (p) de 90%, como sugerido por Anderson et al. (1972 apud Genderen e Lock, 1977), e adotado o erro permissível (E) de 5% de acordo com Brites, Soares e Ribeiro (1996) e com a fórmula a seguir:

$$N = \frac{Z^2(p)(q)}{E^2}$$

onde: - p é o percentual de exatidão esperado;

- q = 100 – p;

- E é o erro permissível (intervalo de confiança);

- Z = 2, pelo desvio padrão normal de 1,96 para 95% de intervalo de confiança.

Portanto, o tamanho da amostra (N) determinado foi de 144 pontos (Tabela 3.2.).

**Tabela 3.2. Percentual de exatidão, erro permissível e tamanho da amostra para a exatidão da classificação digital.**

PERCENTUAL DE EXATIDÃO (p)	ERRO PERMISSÍVEL (E)- 5%	PIXELS A SEREM AMOSTRADOS (N)
0.85	0.05	204
<b>0.9</b>	<b>0.05</b>	<b>144</b>
0.95	0.05	76
0.96	0.05	61
0.97	0.05	46
0.98	0.05	31
0.99	0.05	16

O arquivo vetorial contendo os 144 pontos representativos da verdade terrestre foi então elaborado pelo módulo SAMPLE no menu Analysis/Image Processing/Accuracy Assessment.

O padrão de amostragem adotado para a distribuição das amostras (os 144 pontos), foi o padrão sistemático, como sugerido por Stehman (1992). De acordo com o autor, as amostras distribuídas sistematicamente são amostras de igual probabilidade, pois cada categoria possui a mesma probabilidade de ser incluída na amostragem. Chuvieco (2000) explica que no padrão sistemático as amostras se distribuem a intervalos regulares, a partir de um ponto de origem assinalado de forma aleatória.

O arquivo vetorial com os 144 pontos foi sobreposto a imagem HSI pelo módulo ADD LAYER, com os objetivos de certificar se ocorreu ao menos um ponto amostral por categoria de uso e cobertura do solo e digitalizar (módulo DIGITIZE) cada ponto amostral atribuindo-o à categoria correspondente à verdade terrestre, formando novos arquivos no formato vetorial para cada categoria.

O conhecimento da verdade terrestre constituiu-se de informações obtidas durante os trabalhos de campo e do conhecimento espectral dos alvos imageados.

Foram formados então os arquivos vetoriais para cada categoria de uso e cobertura do solo, assim definidas: cerrado, água, pastagem, outras culturas, reflorestamento, areia e instalação turística. Estes arquivos foram convertidos para o formato raster (POINTRAS) e adicionados (OVERLAY) a fim de produzir somente um arquivo raster contendo todos os 144 pontos amostrais da verdade terrestre.

O próximo passo consistiu em comparar os dados classificados de cada um dos seis mapas de uso e cobertura do solo com os dados da verdade terrestre. Esta análise foi executada por meio do módulo ERRMAT no menu Analysis/Image Processing/Accuracy Assessment da seguinte forma: inseriu-se o arquivo raster referente à verdade terrestre (resultante dos 144 pontos amostrais) na janela especificada como Ground truth image, e os mapas gerados a partir da imagem classificada foram inseridos, um a um, na janela Categorical map image. Os resultados foram tabulados, na forma de matrizes de erro, representando os erros de omissão e de inclusão (de cada categoria) e o coeficiente de concordância de Kappa (Kappa global e também para cada uma das categorias). Repetiu-se este procedimento para cada mapeamento, resultando num total de seis matrizes de erro.

### **3.3.3. Análise da evolução espaço-temporal do uso e cobertura do solo no período de 1972 a 2003**

#### **3.3.3.1. Escolha da imagem classificada**

Para a escolha do mapeamento representativo da data de 2003, foram avaliadas e comparadas as matrizes de erro das seis classificações geradas, considerando-se os valores de exatidão global e o Índice de Kappa global. Optou-se

pela classificação que apresentou os valores mais próximos de 100%, ou seja, o mapeamento que melhor representasse a verdade terrestre.

Para as análises subseqüentes, correspondentes à evolução espaço-temporal do uso e cobertura do solo da área de estudo, foram utilizados portanto, o mapeamento proveniente da fotointerpretação das fotografias aéreas de 1972 e o mapeamento de 2003 proveniente da classificação digital das imagens pelo algoritmo Máxima Verossimilhança quando se especificou, previamente, a probabilidade de cada categoria - MAXLIKE/EP.

### **3.3.3.2. Cálculo da taxa de variação da área das categorias de uso cobertura do solo**

O cálculo da taxa de variação (TV%) das categorias de uso e cobertura do solo, no período de 1972 a 2003, permite identificar o acréscimo ou a diminuição de área por categorias, em valores percentuais. A taxa de variação foi calculada pela seguinte relação:

$$TV\%_{72/03} = \frac{\text{área}_{03} - \text{área}_{72}}{\text{área}_{72}}$$

onde:

- área<sub>03</sub>: é a área de uma dada categoria x em 2003;
- área<sub>72</sub>: é a área da mesma categoria x em 1972.

### **3.3.3.3. Cruzamento dos mapeamentos de uso e cobertura do solo de 1972 e de 2003**

O módulo CROSSTAB, no menu Análisis/Database Query, permite realizar duas operações de análises de mudança entre pares de imagens. Na primeira, tabulação cruzada entre imagens (CROSSTABULATION), as categorias de uma imagem são comparadas às categorias de outra imagem, resultando em uma tabela

que informa os valores da proporção das áreas que foram modificadas no período. O resultado desta operação possibilita obter medidas de associação entre as duas imagens (EASTMAN, 1999).

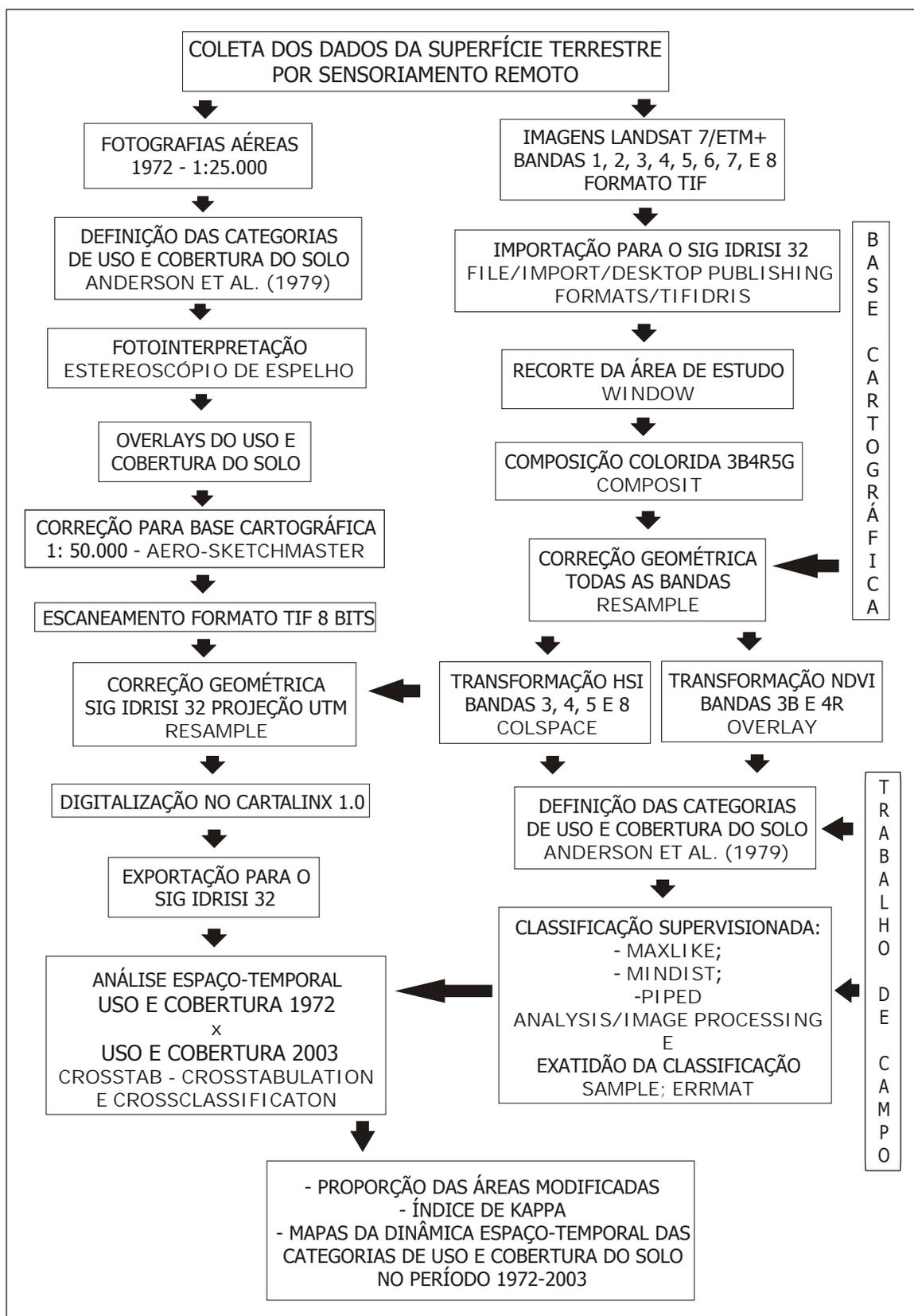
Com base nos dados desta tabela é calculado o Índice de Concordância de Kappa. Este índice é obtido por categoria, e somente tem sentido se as categorias dos dois mapas descreverem o mesmo tipo de dado, com as mesmas categorias estabelecidas.

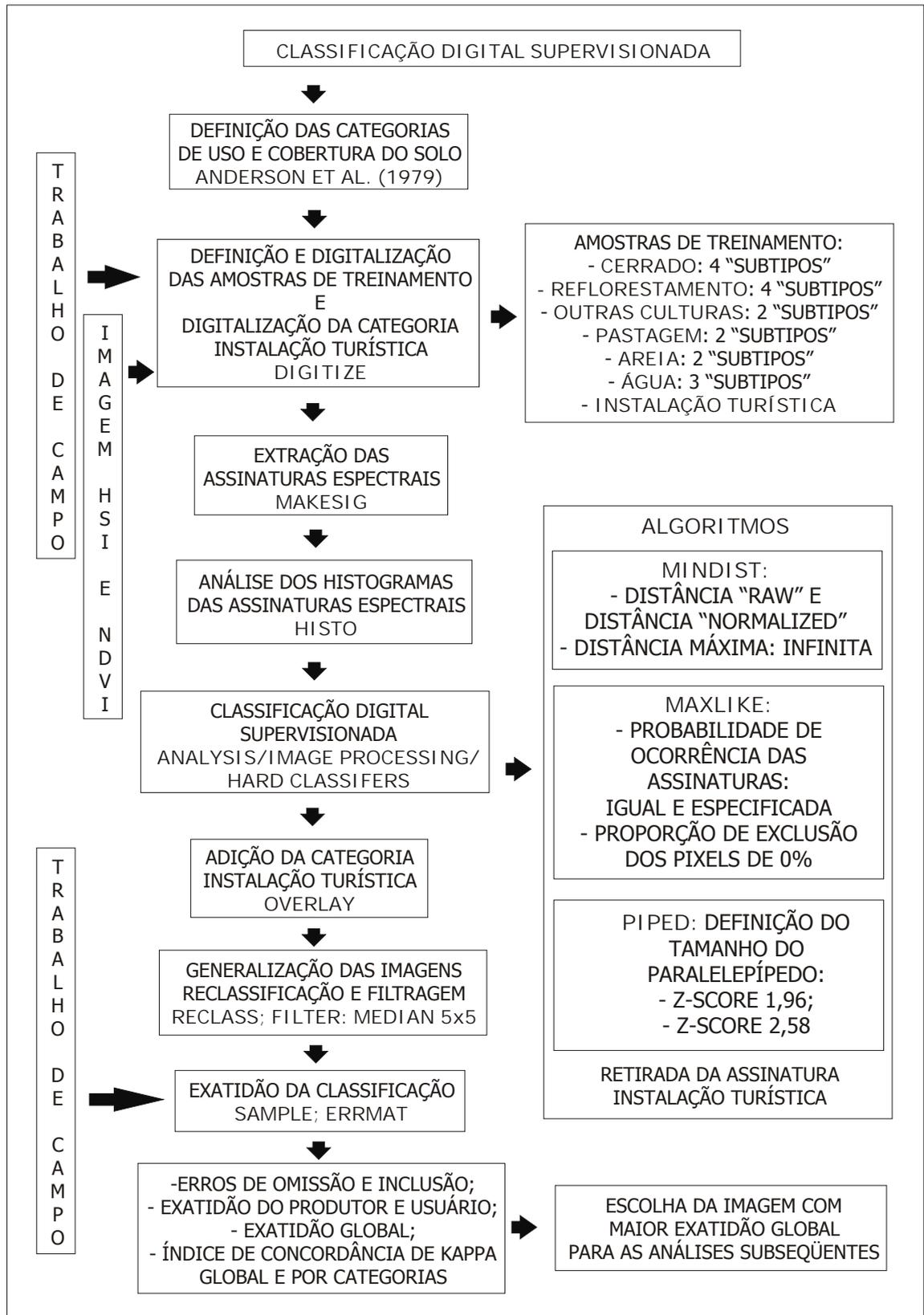
De acordo com EASTMAN (1999) o Índice de Kappa (KIA) possui uma amplitude de variação entre 0,0 (indicando nenhuma correlação) e 1,0 (indicando perfeita correlação). Segundo Rosenfield e Fitzpatrick-Lins (1986) os valores negativos não são levados em consideração, pois são valores menores que a probabilidade de concordância.

A segunda operação de análise presente no módulo CROSSTAB é a classificação cruzada entre duas imagens (CROSSCLASSIFICATION). Esta operação produz uma nova imagem localizando todas as combinações entre as categorias de duas imagens originais (múltiplo overlay). A imagem resultante pode ser reclassificada pelo módulo RECLASS, gerando mapas binários localizando as mudanças ou as concordâncias espaciais entre as categorias.

As duas operações foram utilizadas para produzir os valores da proporção das áreas que foram modificadas no período de 1972 a 2003, bem como os mapas temáticos das mudanças espaço-temporais do uso e cobertura do solo no período.

A metodologia e os procedimentos adotados para a confecção do mapa de uso e cobertura do solo de 1972 e 2003 por meio de dados de sensoriamento remoto, bem como para as análises espaço-temporais no período são apresentados nas Figuras 3.4. e 3.5., a seguir.

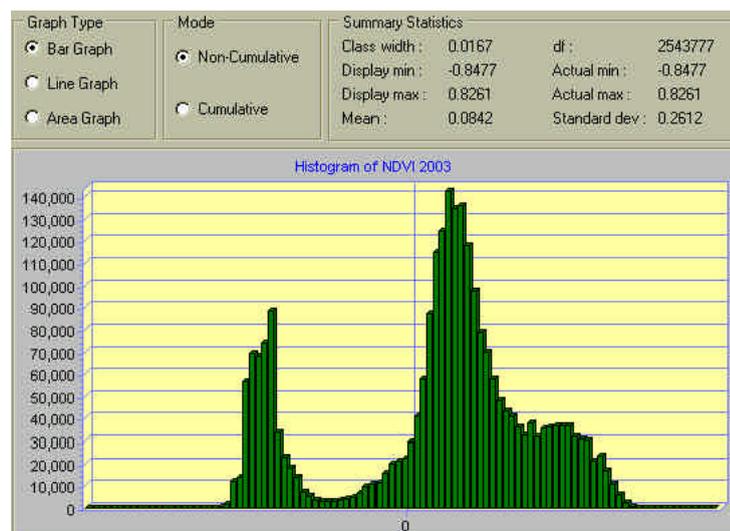




## PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

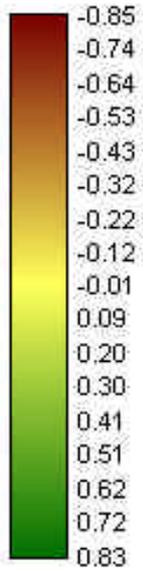
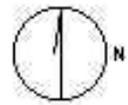
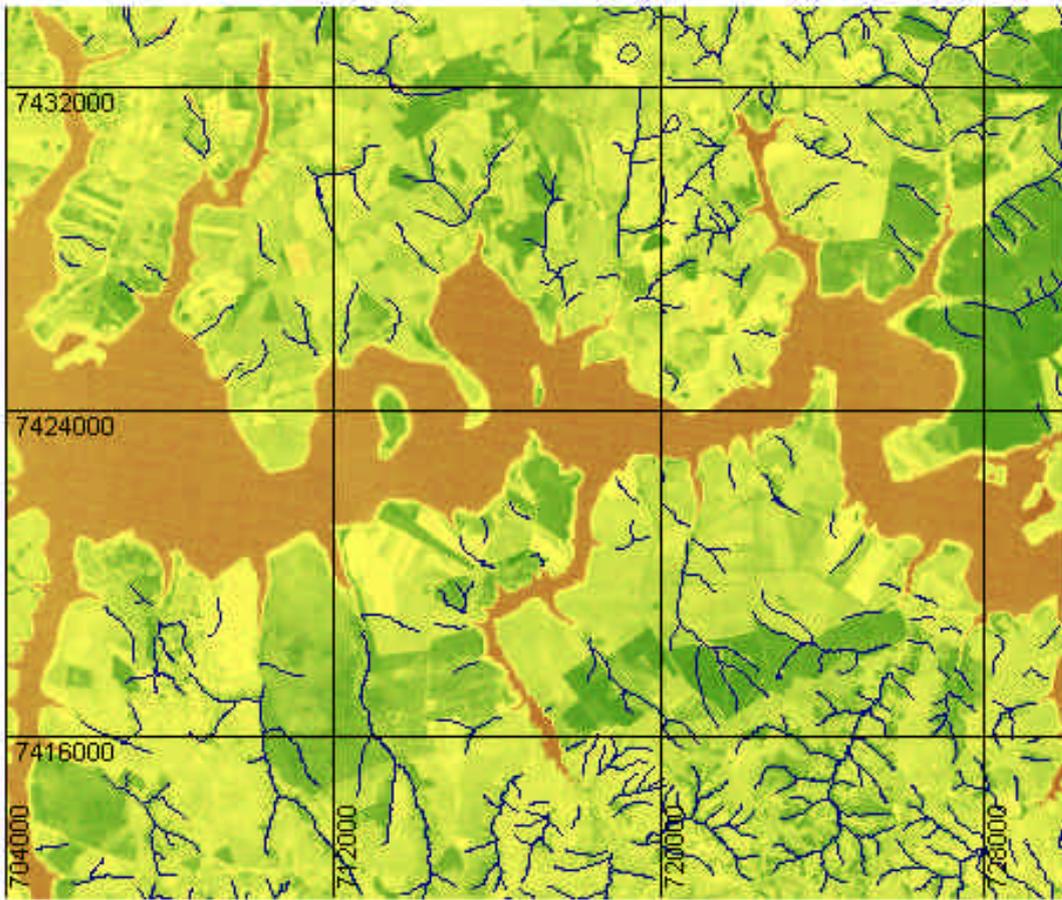
## 4.1. REALCE: TÉCNICA HSI E NDVI

A Imagem Índice de Vegetação (NDVI) possibilitou a observação do vigor da vegetação de cerrado por meio dos valores apresentados por seus índices, que variaram de -0,85 a +0,83 (padrão de escala esperado: valores entre -1 e +1) (Figura 4.1. e 4.2.).



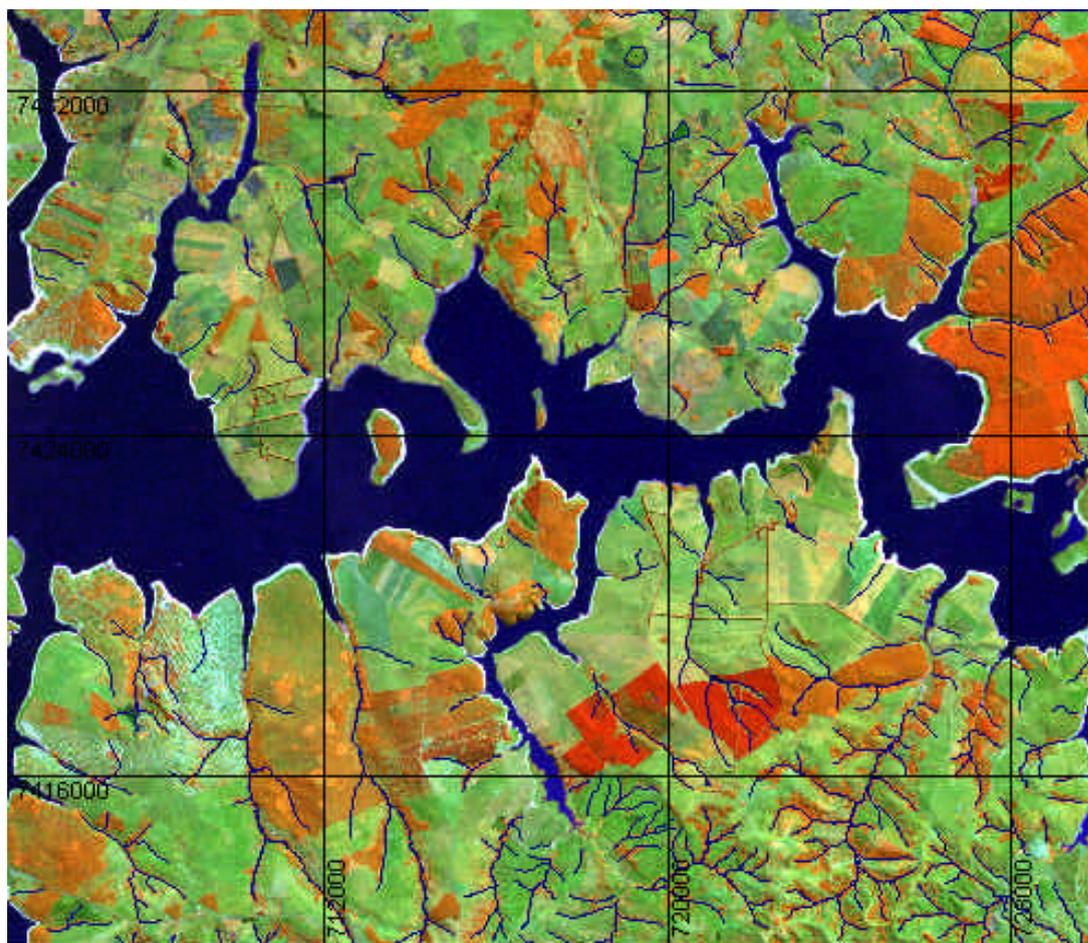
**Figura 4.1. Histograma da imagem NDVI, em 2000, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, no reservatório de Jurumirim (SP).**

A imagem resultante da técnica HSI possibilitou uma melhor observação dos alvos de interesse para a coleta das amostras de treinamento para a classificação digital e para a análise da exatidão digital, uma vez que possibilitou a união da resolução espectral das bandas 3, 4 e 5 à resolução espacial da banda 8 (Figura 4.3.).



 hidrografia





hidrografia



## 4.2. CORREÇÃO GEOMÉTRICA

O georreferenciamento do mapa de uso e cobertura do solo de 1972 alcançou um “erro médio quadrado” (RMS) de 1,8 metros, com o descarte de nove pontos de controle que apresentaram erro superior a 15 metros. (ANEXO 1).

A correção geométrica das bandas 1, 2, 3, 4 e 5 alcançou um RMS de 1,82 metros, omitindo nove pontos; a correção da banda 8 atingiu um RMS de 0,79 metros, omitindo 10 pontos que apresentaram erro superior a 15 metros (ANEXOS 2 e 3).

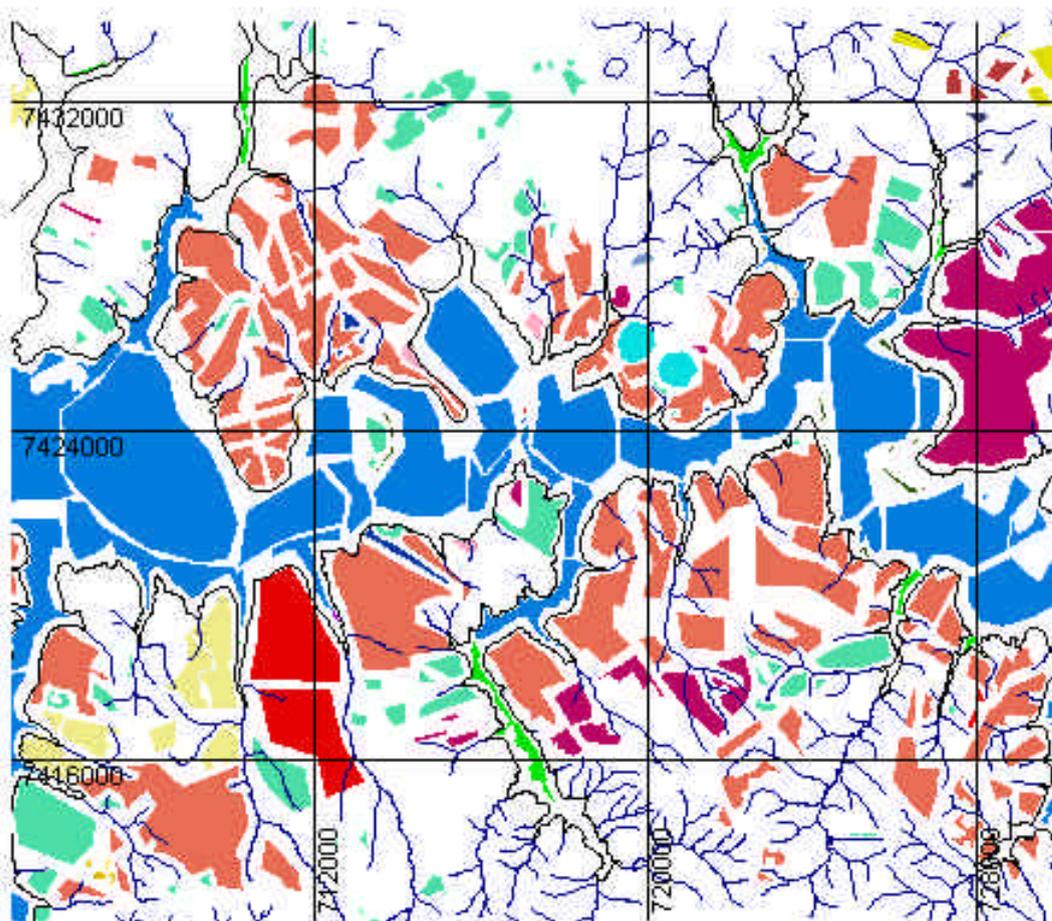
Segundo Chuvieco (2000) e Novo (1998), é recomendável que o RMS seja inferior a um pixel. Portanto, os valores de RMS alcançados no georreferenciamento das imagens se enquadram neste critério, uma vez que o pixel das bandas 1, 2, 3, 4, e 5 têm dimensões de 30 x 30 metros e o da banda 8, 15 x 15 metros.

## 4.3. CLASSIFICAÇÃO DIGITAL

A digitalização das amostras de treinamento para a classificação digital resultou em 18 “subtipos” de uso e cobertura do solo, de acordo com as respectivas variabilidades espectrais (Figura 4.4.):

- quatro “subtipos” para o cerrado;
- quatro “subtipos” para a água;
- dois “subtipos” para a pastagem;
- dois “subtipos” para as outras culturas;
- quatro “subtipos” para o reflorestamento;
- dois “subtipos” para a areia.

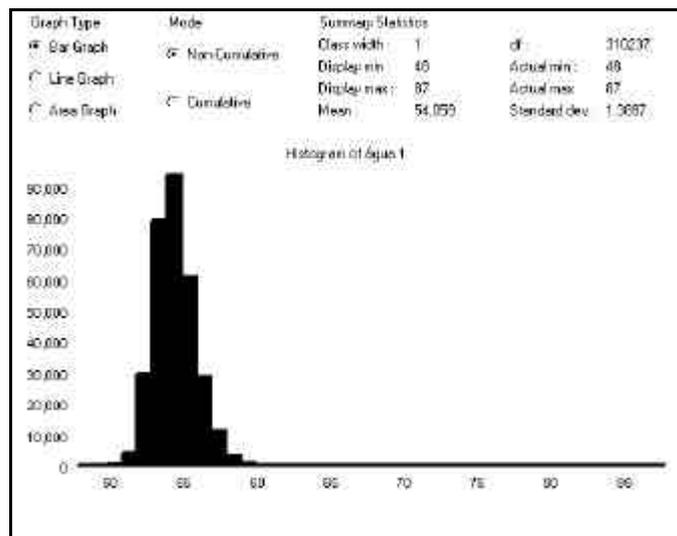
As amostras de treinamento que originaram as assinaturas espectrais têm como características a representatividade e a homogeneidade de cada categoria de interesse, observados nos respectivos histogramas, que apresentaram um comportamento monomodal (Figuras 4.5. e 4.6.).



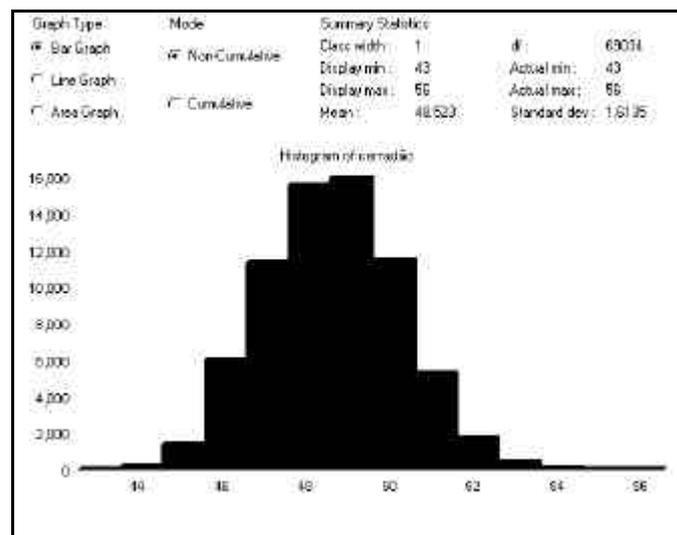
- cerrado s/btipo 1
- água s/btipo 1
- cerrado s/btipo 2
- cerrado s/btipo 3
- cerrado s/btipo 4
- água s/btipo 4
- lavoura agrícola
- pastagem s/btipo 1
- outras culturas s/btipo 1
- reflorestam e mb s/btipo 1
- areia s/btipo 1
- areia s/btipo 2
- água s/btipo 2
- água s/btipo 3
- pastagem s/btipo 2
- reflorestam e mb s/btipo 2

hidrografia





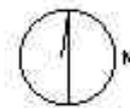
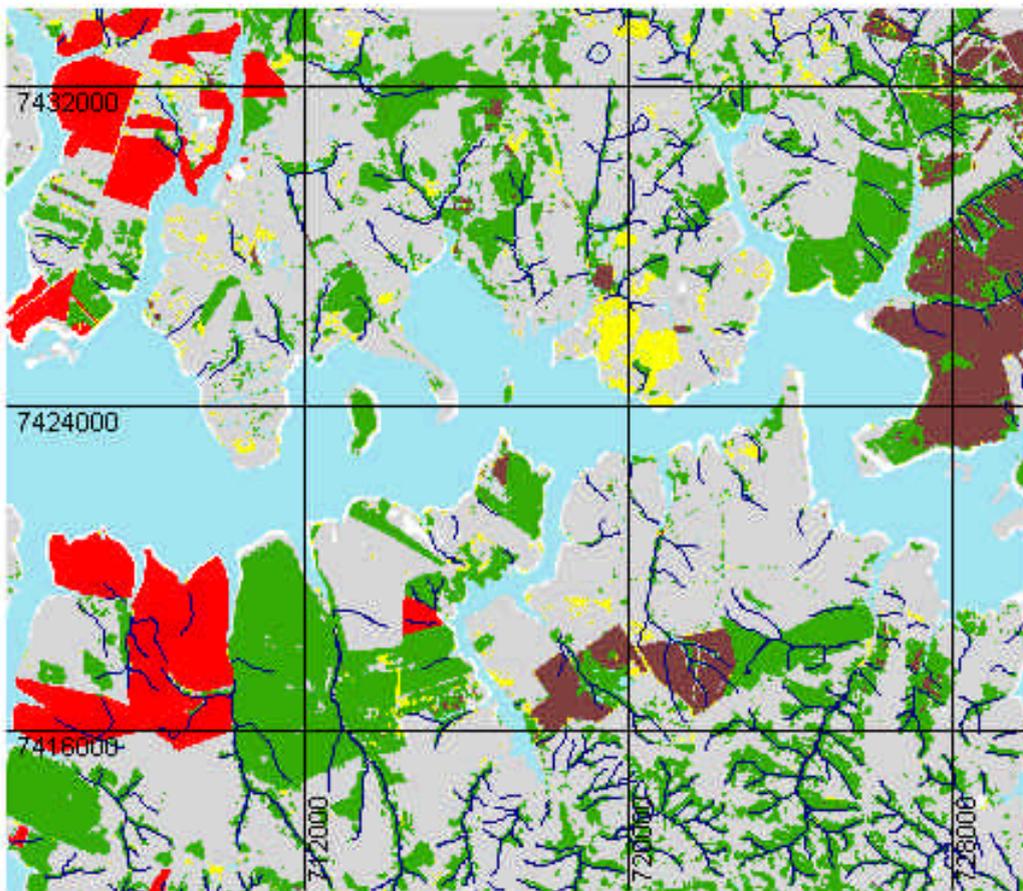
**Figura 4.5. Histograma monomodal da categoria água, “subtipo” 1.**



**Figura 4.6. Histograma monomodal da categoria cerrado, “subtipo” 1.**

A fase de atribuição dos pixels da imagem a cada uma das categorias de uso e cobertura do solo produziu seis mapas de uso e cobertura do solo de 2003, de acordo com os algoritmos e especificidades aplicadas (Figuras 4.7. a 4.12.).

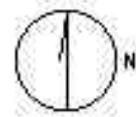
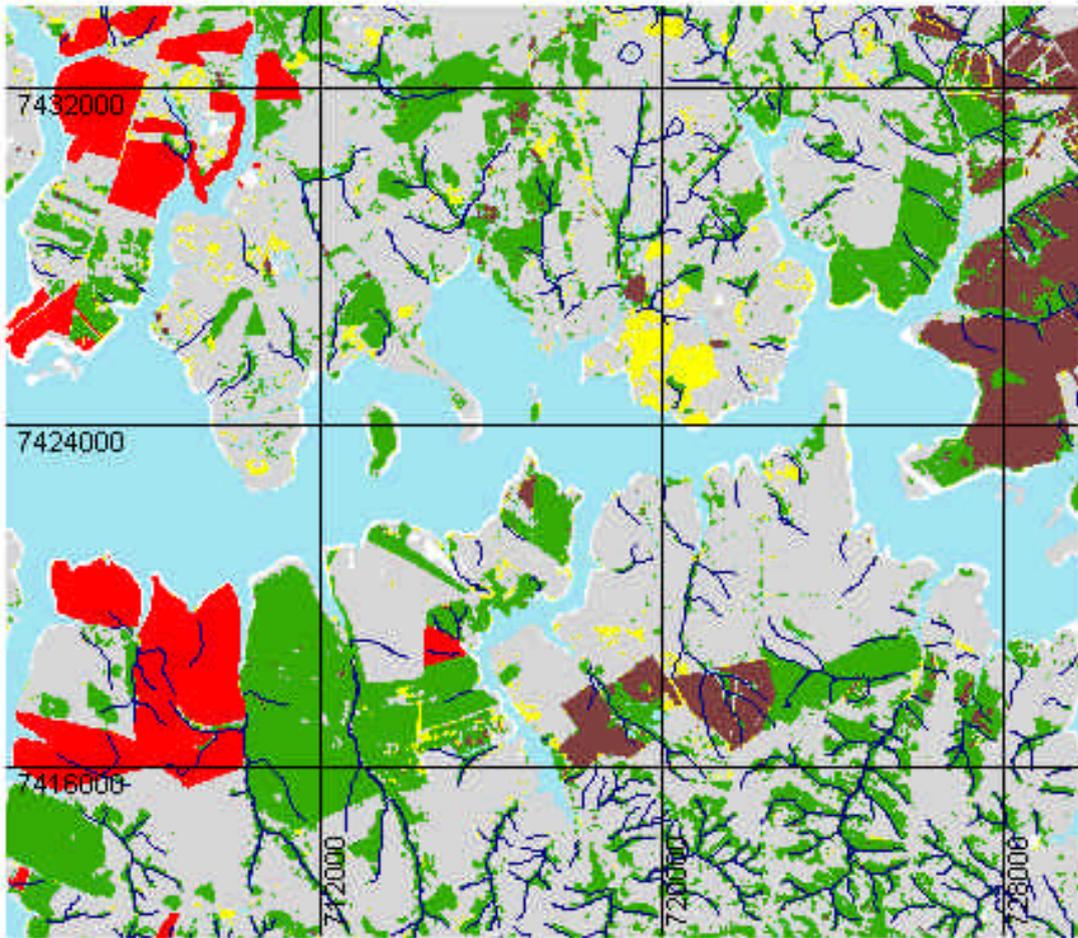
A categoria instalação turística foi adicionada às imagens finais, que posteriormente foram filtradas (filtro de média, janela 5X5).



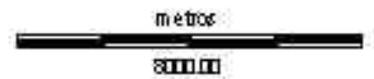
-  cerrado
-  água
-  pastagem
-  outras culturas
-  reflorestamento
-  areia
-  instalação turística

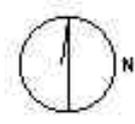
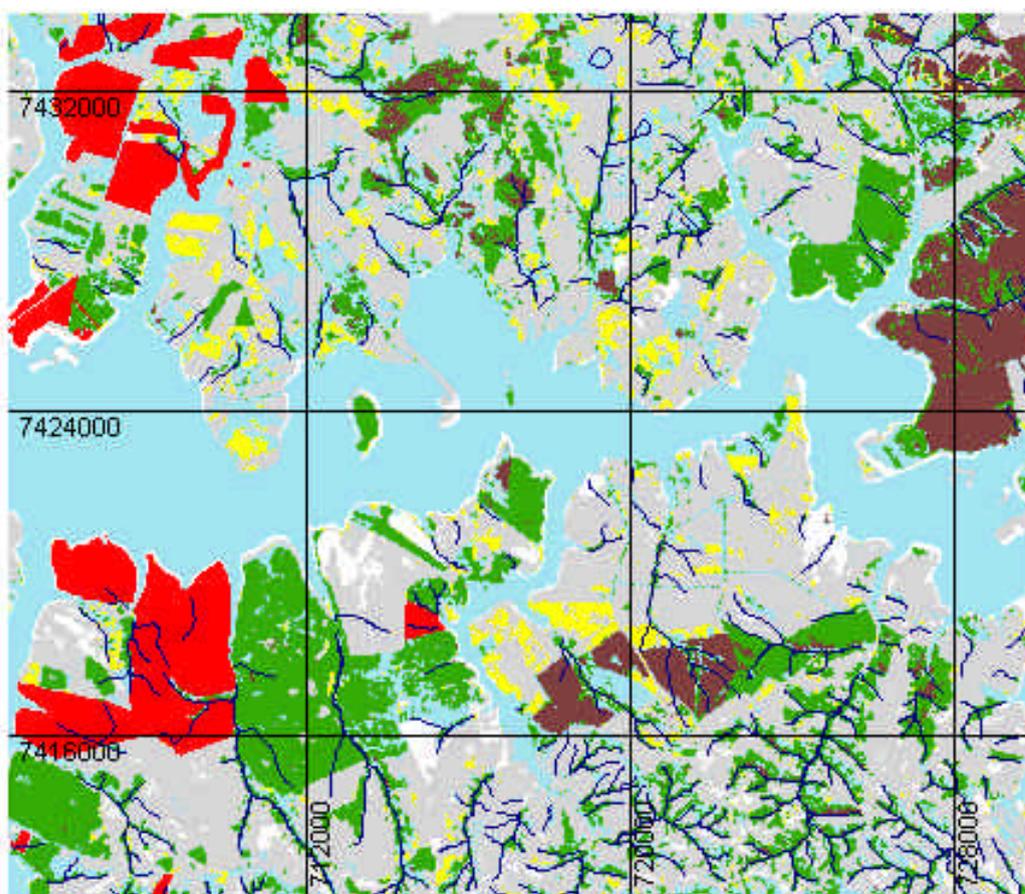
 hidrografia



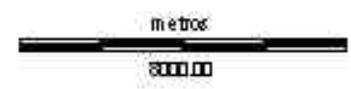


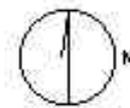
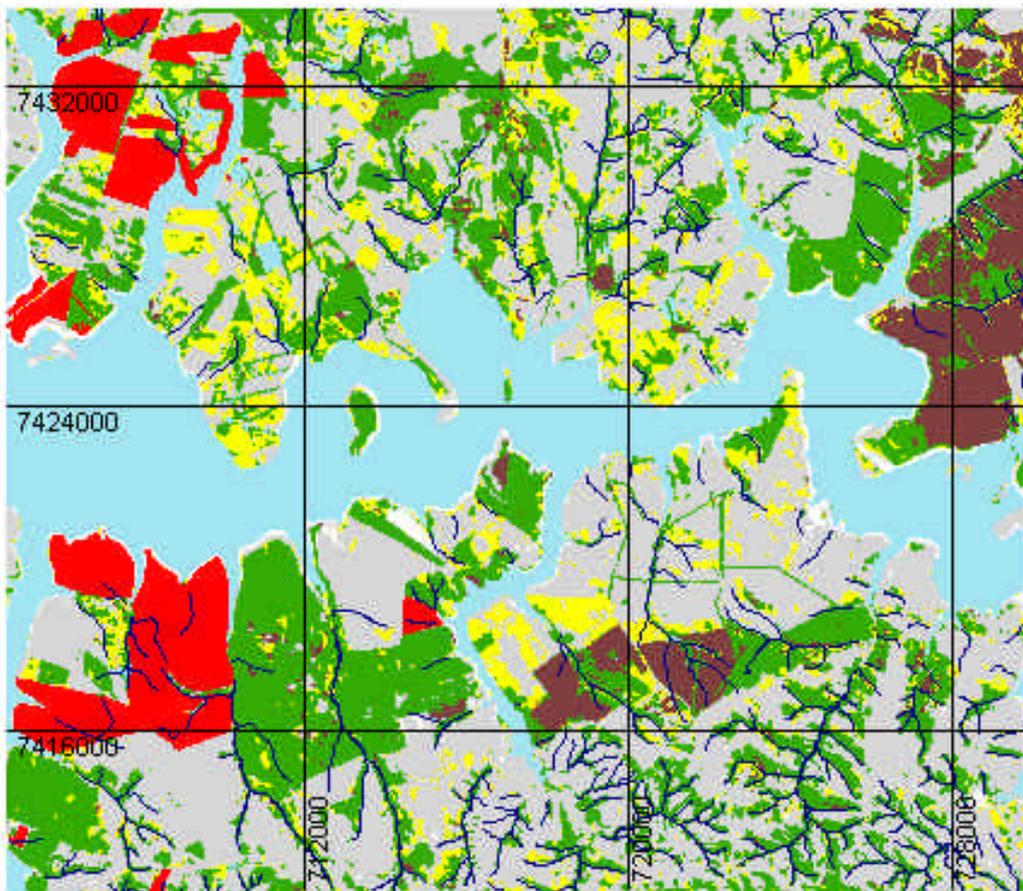
-  cerrado
-  água
-  pastagem
-  outras culturas
-  reflorestamento
-  areia
-  instalação turística
-  hidrografia





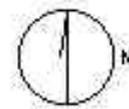
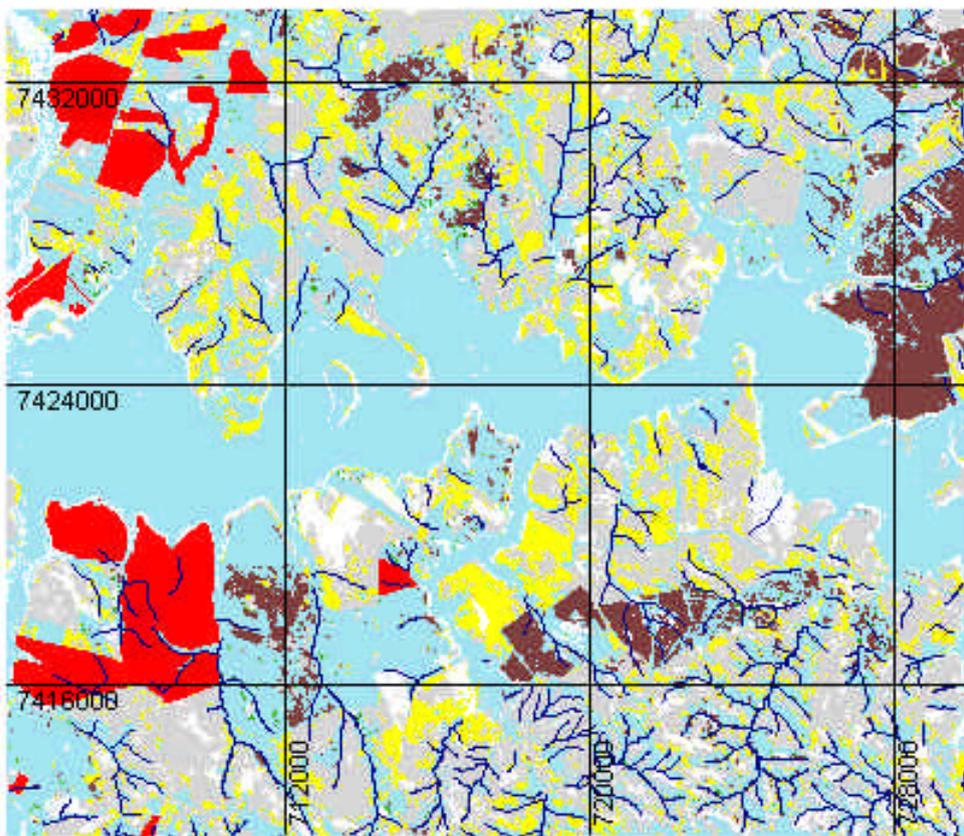
-  cerrado
-  água
-  pastagem
-  outras culturas
-  reflorestamento
-  areia
-  instalação turística
-  hidrografia





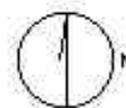
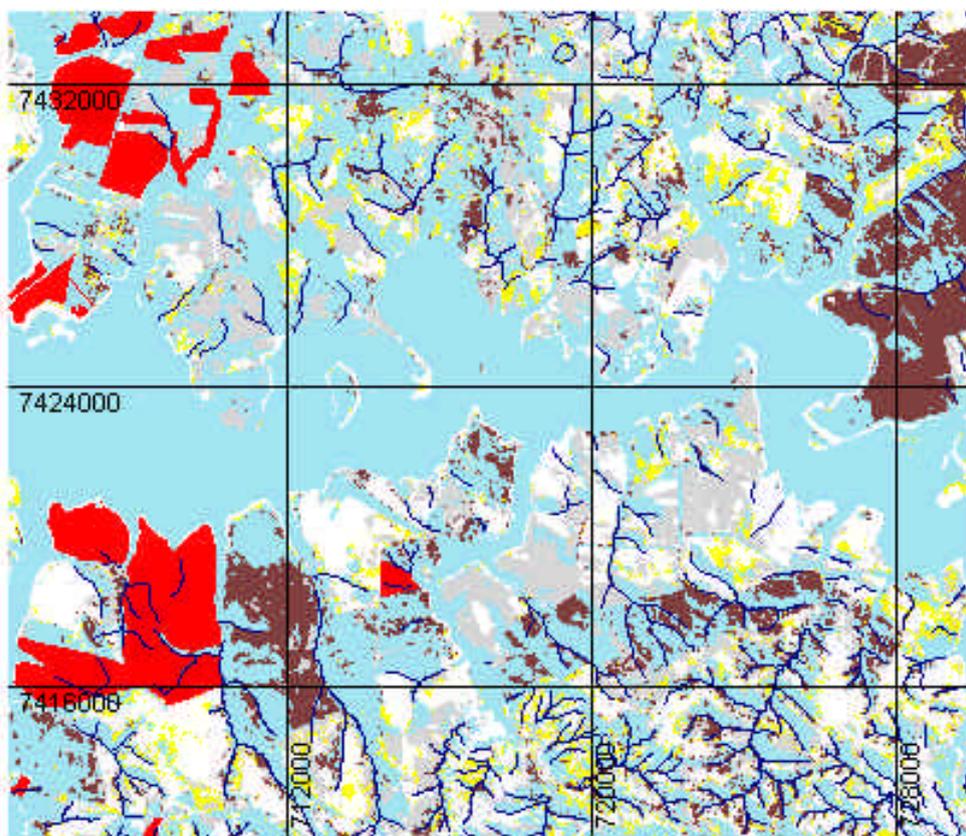
-  cerrado
-  água
-  pastagem
-  outras culturas
-  reflorestamento
-  areia
-  instalação turística
-  hidrografia





-  pixels não classificados
-  cerrado
-  água
-  pastagem
-  outras culturas
-  reflorestamento
-  areia
-  instalação turística
-  hidrografia





-  pixels não classificados
-  cerrado
-  água
-  pastagem
-  outras culturas
-  reflorestamento
-  areia
-  instalação turística
-  hidrografia



#### 4.4. EXATIDÃO DA CLASSIFICAÇÃO DIGITAL

A classificação digital supervisionada de imagens produziu seis mapas de uso e cobertura do solo de 2003 de acordo com os algoritmos empregados, que foram avaliados e comparados considerando-se os valores de exatidão global e por categorias (erro de omissão e inclusão; exatidão do produtor e do usuário), e o Índice de concordância de Kappa global e por categorias.

A exatidão global e o Índice de Kappa global do mapeamento do uso e cobertura do solo nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, em 2003, são apresentados na Tabela 4.1..

**Tabela 4.1. Exatidão global e Índice de Kappa dos mapeamentos do uso e cobertura do solo do reservatório de Jurumirim-SP, em 2003.**

algoritmos	probabilidade da categoria	exclusão dos pixels (%)	exatidão global (%)	Kappa (%) (KIA)
Máxima Verossimilhança	especifica-se	0	88	83
Máxima Verossimilhança	igual	0	86	80
Mínima Distância	distância normalizada	0	85	80
Mínima Distância	distância pura	0	83	77
Paralelepípedo	igual	1	52	40
Paralelepípedo	igual	5	44	32

O mapa de uso e cobertura do solo produzido pelo algoritmo Máxima Verossimilhança, quando se especificou previamente a probabilidade de ocorrência de cada uma das categorias (MAXLIKE/EP), alcançou o maior valor de exatidão global, de 88%, e o maior valor do Índice de Kappa global, de 83%. Os resultados indicam que a seleção aleatória de uma área do mapeamento tem a probabilidade de 88% de ter sido classificada corretamente. O mapa, de acordo com Landis e Koch (1977), apresenta uma concordância (KIA) considerada excelente.

Pode-se inferir que a especificação prévia da probabilidade de ocorrência de cada categoria de uso e cobertura do solo, no processo de classificação pelo algoritmo MAXLIKE, produz valores de exatidão global e de KIA superiores às demais classificações.

Os mapas de uso e cobertura do solo produzidos pelos algoritmos Máxima Verossimilhança, quando a probabilidade de ocorrência das categorias é a mesma

(MAXLIKE/IP), e Mínima Distância, com a opção de distância normalizada (MINDIST/NI), alcançaram, respectivamente, a exatidão global de 86% e 85%, e valores do Índice de Kappa global de 80%.

O valor de exatidão global produzido por estes algoritmos ocorreu, provavelmente, em função da consideração das diferenças na variabilidade das assinaturas espectrais, o que permitiu um ajuste mais adequado dos dados das imagens na fase da atribuição dos pixels às categorias de uso e cobertura do solo em questão.

As classificações produzidas pelos algoritmos Mínima Distância, utilizando as bandas puras (raw - MINDIST/RI), e Paralelepípedo (PIPED/Z1,96 e PIPED/Z2,58) apresentaram, respectivamente, valores de exatidão global de 83%, 52% e 44%. Os valores do Índice de Kappa global foram, respectivamente, 77%, 40% e 32%. Os valores inferiores de exatidão e de KIA produzidos por esses algoritmos, quando comparados aos demais algoritmos, justificam-se, muito provavelmente, pelo fato de que os algoritmos Mínima Distância, utilizando as bandas puras (raw - MINDIST/RI), e o Paralelepípedo não consideraram a variabilidade das assinaturas espectrais, o que ocasionou uma quantidade maior de erros de inclusão e omissão na classificação digital. No entanto, segundo Landis e Koch (1977), os valores de KIA entre 0,21-0,40, 0,41-0,60 e 0,61-0,80 são considerados, respectivamente, razoáveis, bons e muito bons.

Segundo Fitzpatrick-Lins (1981) e Brites, Soares e Ribeiro (1996) a exatidão global mínima requerida para a maioria das aplicações é de 85%.

Portanto, pode-se afirmar que os mapas de uso e cobertura do solo no reservatório de Jurumirim produzidos pelos algoritmos MAXLIKE/EP, MAXLIKE/IP e MINDIST/NI alcançaram valores de exatidão global superiores ao valor requerido para a maioria das aplicações. Nesses casos, os usuários terão um mínimo de confiabilidade e precisão nos mapeamentos da área, de forma global.

As matrizes de erro dos algoritmos Máxima Verossimilhança, Mínima Distância e Paralelepípedo são apresentadas na Tabela 4.2., a seguir.

**Tabela 4.2. Matrizes de erros das classificações digitais.**

CLASSIFICAÇÃO	VERDADE TERRESTRE							pixels amostrados	erros de inclusão (%)	exatidão do usuário (%)	Kappa (KIA) %		
	cerrado	água	pastagem	culturas temporárias	reflorestamento	areia	loteamento				imagem classificada	verdade terrestre	
											imagem classificada	verdade terrestre	
<b>MAXI/KEP</b>	cerrado	24	0	5	0	3	0	0	32	25	75	69	90
	água	0	30	0	0	0	0	0	30	0	100	100	96
	pastagem	1	0	60	1	2	1	0	65	8	92	86	83
	outras culturas	1	0	1	0	1	0	0	3	100	0	0	0
	reflorestamento	0	0	0	0	4	0	0	4	0	100	100	38
	areia	0	1	0	0	0	2	0	3	33	67	66	66
	instalações turísticas	0	0	0	0	0	0	6	6	0	100	100	100
	pixels amostrados	26	31	66	1	10	3	6	126			KIA global = 83%	
	erros de omissão (%)	8	3	9	100	60	33	0					
	exatidão do produtor (%)	92	97	91	0	40	67	100		Exatidão global = 126/143 = 88%			
<b>MAXI/KE/JP</b>	cerrado	21	0	5	0	2	0	0	28	25	75	69	76
	água	0	30	0	0	0	0	0	30	0	100	100	96
	pastagem	2	0	59	0	2	1	0	64	8	92	85	81
	outras culturas	1	0	2	1	2	0	0	6	83	17	16	100
	reflorestamento	2	0	0	0	4	0	0	6	33	67	64	37
	areia	0	1	0	0	0	2	0	3	33	67	66	66
	instalações turísticas	0	0	0	0	0	0	6	6	0	100	100	100
	pixels amostrados	26	31	66	1	10	3	6	123			KIA global = 80%	
	erros de omissão (%)	19	3	11	0	60	33	0					
	exatidão do produtor (%)	81	97	89	100	40	67	100		Exatidão global = 123/143 = 86%			
<b>MIND/IST/NI</b>	cerrado	23	0	2	0	2	0	0	27	15	85	82	86
	água	2	30	5	0	2	0	0	39	23	77	71	96
	pastagem	0	0	56	0	0	1	0	57	2	98	97	75
	outras culturas	0	0	0	1	1	0	0	2	50	50	50	100
	reflorestamento	1	0	0	0	4	0	0	5	20	80	79	38
	areia	0	1	3	0	1	2	0	7	71	29	27	65
	instalações turísticas	0	0	0	0	0	0	6	6	0	100	100	100
	pixels amostrados	26	31	66	1	10	3	6	122			KIA global = 80%	
	erros de omissão (%)	12	3	15	0	60	33	0					
	exatidão do produtor (%)	88	97	85	100	40	67	100		Exatidão global = 122/143 = 85%			
<b>MIND/IST/RI</b>	cerrado	22	0	5	0	3	0	0	30	27	73	67	81
	água	0	30	0	0	0	0	0	30	0	100	100	96
	pastagem	0	0	55	0	1	1	0	57	4	96	93	72
	outras culturas	3	0	6	1	2	1	0	13	92	8	7	100
	reflorestamento	1	0	0	0	4	0	0	5	20	80	79	38
	areia	0	1	0	0	0	1	0	2	50	50	49	32
	instalações turísticas	0	0	0	0	0	0	6	6	0	100	100	100
	pixels amostrados	26	31	66	1	10	3	6	119			KIA global = 77%	
	erros de omissão (%)	15	3	17	0	60	67	0					
	exatidão do produtor (%)	85	97	83	100	40	33	100		Exatidão global = 119/143 = 83%			
<b>PIPED/Z1.96</b>	cerrado	2	0	0	0	0	0	0	2	0	100	100	6
	água	18	29	8	0	2	0	0	57	49	51	37	89
	pastagem	0	0	32	1	2	1	0	36	11	89	79	31
	outras culturas	0	0	20	0	0	1	0	21	100	0	0	0
	reflorestamento	4	0	0	0	4	0	0	8	50	50	46	36
	areia	0	1	1	0	1	1	0	4	75	25	23	31
	instalações turísticas	0	0	0	0	0	0	6	6	0	100	100	100
	pixels amostrados	26	31	66	1	10	3	6	74			KIA global = 40%	
	erros de omissão (%)	92	6	52	100	60	67	0					
	exatidão do produtor (%)	8	94	48	0	40	33	100		Exatidão global = 74/143 = 52%			
	pixels não classificados	2	1	5	0	1	0	0					
<b>PIPED/Z2.58</b>	cerrado	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	0	0
	água	12	31	18	0	2	1	0	64	52	48	34	100
	pastagem	1	0	19	1	1	0	0	22	14	86	75	16
	outras culturas	0	0	6	0	1	0	0	7	100	0	0	0
	reflorestamento	13	0	1	0	5	0	0	19	74	26	21	42
	areia	0	0	22	0	1	2	0	25	92	8	6	60
	instalações turísticas	0	0	0	0	0	0	6	6	0	100	100	100
	pixels amostrados	26	31	66	1	10	3	6	63			Kappa global = 32	
	erros de omissão (%)	100	0	71	100	50	33	0					
	exatidão do produtor (%)	0	100	29	0	50	67	100		Exatidão global = 63/143 = 44%			

As matrizes de erro dos seis mapeamentos do uso e cobertura do solo foram ordenadas pelos valores de exatidão e KIA global. Na matriz de erro foram relacionados os erros de omissão e inclusão, associados, respectivamente, a exatidão do produtor e do usuário. As matrizes apresentaram também o KIA para cada categoria de uso e cobertura do solo. Na diagonal principal da matriz (em negrito) posicionou-se o número de pixels que foram classificados corretamente e que corresponderam à exatidão global do mapeamento.

No caso da categoria **cerrado** o maior valor de exatidão do produtor foi 92%, com um KIA de 69%, ambos na classificação produzida pelo algoritmo MAXLIKE/EP. Ocorreu erro de omissão de apenas 8% dos pixels. A exatidão do usuário ficou em 75%, com erro de inclusão de 25%. Os resultados indicam que 92% das áreas que foram mapeadas como cerrado (exatidão do produtor), 75% correspondem de fato ao cerrado (exatidão do usuário) (Tabela 4.3.).

**Tabela 4.3. Exatidão do produtor e usuário para a categoria cerrado.**

Algoritmo	Categoria Cerrado	
	Exatidão do Produtor	Exatidão do Usuário
MAXLIKE/EP	92	75
MAXLIKE/IP	81	75
MINDIST/NI	88	85
MINDIST/RI	85	73
PIPED Z1,96	8	100
PIPED Z2.58	0	X

\* Dado não obtido pelo algoritmo.

Na classificação produzida pelo algoritmo MINDIST/NI o cerrado apresentou exatidão do produtor na ordem de 88%, com erro de omissão de apenas 12% dos pixels. A exatidão do usuário foi de 85%, com erro de inclusão de 15% e um KIA de 82%. Este resultado significa que 88% das áreas que foram mapeadas como cerrado (exatidão do produtor), 85% correspondem de fato ao cerrado (exatidão do usuário) (Tabela 4.3.).

Na classificação pelo algoritmo PIPED/Z1,96, apesar de uma exatidão do usuário de 100% e um Índice de Kappa também de 100%, foram somente mapeadas 8% das áreas de cerrado (exatidão do produtor). Na classificação

PIPED/Z2,58 o cerrado não apresentou exatidão do usuário pois nenhum dos pontos amostrais foi representativo (Tabela 4.3.).

Os demais algoritmos analisados evidenciaram uma exatidão do usuário entre 73 e 75%, com erro de inclusão entre 27 e 25%. Os erros de inclusão desta categoria estão relacionados à inclusão de algumas áreas de pastagem e reflorestamento na categoria cerrado. Isto ocorreu, muito provavelmente, devido à confusão espectral destas três categorias que, em alguns locais, apresentaram comportamento espectral semelhante (Tabela 4.3.).

Portanto, quanto a exatidão da categoria cerrado, os mapeamentos produzidos pelos algoritmos Máxima Verossimilhança e Mínima Distância podem ser utilizados com certa precisão, sendo que os algoritmos MAXLIKE/EP e MINDIST/NI alcançaram os maiores valores de exatidão.

Já os mapeamentos produzidos pelo algoritmo Paralelepípedo, para o cerrado, não deve ser utilizado, pois apresentaram valores de exatidão do produtor e do usuário muito inferiores, quando comparados aos valores alcançados pelos demais algoritmos estudados.

A categoria **água** apresentou 100% de exatidão do usuário e 97% de exatidão do produtor nas classificações pelos algoritmos MAXLIKE/EP, MAXLIKE/IP e MINDIST/RI. Apresentou também uma alta concordância do mapeamento realizado com a verdade terrestre, com Índice de Kappa de 100% para a imagem classificada e 96% para a verdade terrestre. O erro de inclusão foi de 0% e o de omissão foi de 3%. Portanto, 97% das áreas classificadas como água, 100% são de fato água. As demais classificações apresentaram a exatidão do usuário entre 48 e 77% (Tabela 4.4.).

Os altos valores de exatidão obtidos para a categoria água, tanto para o produtor como para o usuário, podem ser explicados pelo alto nível de pureza e homogeneidade das amostras de treinamento coletadas para esta categoria e pela definição de quatro subtipos de amostras de acordo com a sua variabilidade espectral.

**Tabela 4.4. Exatidão do produtor e usuário para a categoria água.**

Algoritmo	Categoria Água	
	Exatidão do Produtor	Exatidão do Usuário
MAXLIKE/EP	97	100
MAXLIKE/IP	97	100
MINDIST/NI	97	77
MINDIST/RI	97	100
PIPED Z1,96	94	51
PIPED Z2.58	100	48

Portanto o usuário que tiver interesse no mapeamento para a categoria água deverá, preferencialmente, analisar os mapas produzidos pelos algoritmos MAXLIKE e MINDIST/RI.

Nos mapeamentos produzidos pelos algoritmos MAXLIKE/EP, MAXLIKE/IP, MINDIST/NI e MINDIST/RI a categoria **pastagem** apresentou exatidão do usuário entre 92 e 98% e exatidão do produtor entre 83 e 91%. Os valores do Índice de Kappa variaram de 86 a 97%, conferindo alta concordância no mapeamento, para esta categoria. Os erros de inclusão e omissão variaram, respectivamente, de 2 a 8% e de 9 a 17% (Tabela 4.5.).

A maior exatidão do usuário para a categoria pastagem foi de 98% na classificação pelo algoritmo MINDIST/NI. Neste caso, 85% das áreas que foram classificadas como pastagem, 98% são de fato pastagem. A maior exatidão do produtor foi de 91% na classificação produzida pelo MAXLIKE/EP.

**Tabela 4.5. Exatidão do produtor e usuário para a categoria pastagem.**

Algoritmo	Categoria Pastagem	
	Exatidão do Produtor	Exatidão do Usuário
MAXLIKE/EP	91	92
MAXLIKE/IP	89	92
MINDIST/NI	85	98
MINDIST/RI	83	96
PIPED Z1,96	48	89
PIPED Z2.58	29	86

A exatidão alcançada por esta categoria está também relacionada à homogeneidade das amostras de treinamento, bem como à eficiência que se tem quando se definem dois subtipos de amostras de pastagem de acordo com a sua variabilidade espectral.

Os algoritmos PIPED/Z1,96 e PIPED/Z2,58 apesar de apresentarem uma exatidão para o usuário de, respectivamente, 89% e 96% obtiveram uma exatidão do produtor inferior, respectivamente, de 48% e 29% em decorrência dos erros de omissão que variaram de 52 a 71% na categoria pastagem.

No interesse pela categoria pastagem, o usuário deverá dar preferência aos algoritmos MAXLIKE e MINDIST.

A categoria **outras culturas** foi a que apresentou os menores valores de exatidão. O algoritmo MINDIST/NI apesar de produzir um mapeamento com 100% de exatidão para o produtor, produziu erro de inclusão de 50% (50% de exatidão do usuário) e um Índice de Kappa de 50% em relação a imagem classificada e 100% em relação a verdade terrestre. Estes resultados indicam que 100% das áreas mapeadas como outras culturas, somente 50% correspondem de fato a esta categoria (Tabela 4.6.).

Os demais algoritmos apresentaram exatidão do usuário variando de 0 a 17%, erros de inclusão variando de 83 a 100% e Índices de Kappa variando de 0 a 16%. Os erros de inclusão ocorreram pela inclusão de algumas áreas de cerrado, pastagem, reflorestamento e areia na categoria outras culturas.

**Tabela 4.6. Exatidão do produtor e usuário para a categoria outras culturas.**

Algoritmo	Categoria Outras Culturas	
	Exatidão do Produtor	Exatidão do Usuário
MAXLIKE/EP	0	0
MAXLIKE/IP	100	17
MINDIST/NI	100	50
MINDIST/RI	100	8
PIPED Z1,96	0	0
PIPED Z2.58	0	0

Os menores valores de exatidão alcançados para esta categoria podem ser explicados também em decorrência do reduzido número de amostras coletadas (um pixel) para esta categoria para a verificação da verdade terrestre.

Portanto, a categoria outras culturas foi melhor representada no mapeamento produzido pelo algoritmo MINDIST/NI, mapeamento este que o usuário deverá analisar.

O **reflorestamento** apresentou 100% de exatidão do usuário e Índice de Kappa também de 100% com o algoritmo MAXLIKE/EP. No entanto, a exatidão do produtor ficou a desejar para esta categoria, que alcançou um valor de 40%, com erros de omissão de 60%. Os demais algoritmos apresentaram valores similares de exatidão do produtor e valores inferiores de exatidão do usuário (Tabela 4.7.).

**Tabela 4.7. Exatidão do produtor e usuário para a categoria reflorestamento.**

Algoritmo	Categoria Reflorestamento	
	Exatidão do Produtor	Exatidão do Usuário
MAXLIKE/EP	40	100
MAXLIKE/IP	40	67
MINDIST/NI	40	80
MINDIST/RI	40	80
PIPED Z1,96	40	50
PIPED Z2.58	50	26

Os erros de inclusão para a categoria reflorestamento decorreram da inclusão de áreas de cerrado como sendo áreas de reflorestamento; os erros de omissão decorreram da omissão de amostras de reflorestamento desta categoria. O número reduzido de amostras para esta categoria (dez pixels) também pode ter contribuído para esta menor exatidão.

O usuário que necessitar utilizar o mapeamento para a categoria reflorestamento deverá optar pelo mapeamento produzido pelo algoritmo MAXLIKE/EP, onde 40% das áreas mapeadas como reflorestamento, 100% delas representam esta categoria.

A categoria **areia**, representada pelas áreas de praia formadas no entorno do reservatório, obtiveram 67% de exatidão do usuário e produtor pelos algoritmos MAXLIKE/EP e MAXLIKE/IP. Os erros de inclusão de 33% estão relacionados a inclusão de algumas áreas representadas pela categoria água na categoria areia. Pode-se inferir que o erro de inclusão se deu pelo fato de que as categorias água e areia estão, geograficamente, muito próximas, pois fazem limite uma com a outra. Neste caso, 67% das áreas mapeadas como areia, 67% são de fato areia.

A exatidão do usuário para os demais algoritmos variou de 8 a 50%. O número reduzido de amostras para esta categoria (três pixels) também pode ter contribuído para esta baixa exatidão (Tabela 4.8.).

**Tabela 4.8. Exatidão do produtor e usuário para a categoria areia.**

Algoritmo	Categoria Areia	
	Exatidão do Produtor	Exatidão do Usuário
MAXLIKE/EP	67	67
MAXLIKE/IP	67	67
MINDIST/NI	67	29
MINDIST/RI	33	50
PIPED Z1,96	33	25
PIPED Z2.58	67	8

A categoria **instalações turísticas** foi a única categoria que apresentou 100% de exatidão para o usuário e para o produtor e Índices de Kappa de 100% em todas as classificações produzidas. Os erros de omissão e inclusão para esta categoria foram zero. Este resultado explica-se pelo método empregado na digitalização desta categoria: as instalações turísticas foram digitalizadas com base no mapa cadastral de propriedades e nas coordenadas geográficas obtidas nos trabalhos de campo, e foram então adicionadas aos mapeamentos finais, obtendo assim uma perfeita exatidão e concordância com a verdade terrestre. Este procedimento foi adotado devido a grande heterogeneidade da categoria.

Considerando, portanto, a exatidão global e o Índice de Kappa global para o mapeamento como um todo; o Índice de Kappa para a verdade terrestre, a exatidão do produtor e os erros de omissão para a categoria cerrado, definiu-se a classificação produzida pelo algoritmo MAXLIKE/EP para representar o mapeamento do uso e

cobertura do solo nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema em 2003, e para as análises espaço-temporais subseqüentes a classificação digital (Tabela 4.9.).

**Tabela 4.9. Medidas de exatidão do algoritmo MAXLIKE/EP.**

Medidas de exatidão do mapeamento pelo algoritmo MAXLIKE/EP (%)				
Exatidão Global	KIA Global	KIA VT* **	Exatidão Produtor*	Erros de Omissão*
<b>88</b>	<b>83</b>	<b>90</b>	<b>92</b>	<b>8</b>

\*Valores de Exatidão para a categoria Cerrado; \*\*Verdade terrestre.

# USO E COBERTURA DO SOLO NAS ESTÂNCIAS TURÍSTICAS DE AVARÉ E PARANAPANEMA NO PERÍODO DE 1972 A 2003

---

---

### 5.1. O USO E COBERTURA DO SOLO EM 1972

No mapeamento do uso e cobertura do solo de 1972, obtido por meio da fotointerpretação das fotografias aéreas, foram identificadas as seguintes categorias de uso e cobertura do solo: **pastagem, água, cerrado, outras culturas e reflorestamento**. As categorias representaram, respectivamente, 26.817, 13.589, 12.592, 2.054 e 181 hectares da área (Tabela 5.1.).

A área identificada como **área não mapeada**, compreende 276 hectares dos municípios de Itaí e Cerqueira César, cujo uso e cobertura do solo não foram identificados, pois estes municípios não fazem parte do objetivo da pesquisa.

**Tabela 5.1. Categorias de uso e cobertura do solo e respectivas áreas, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, em 1972.**

categorias de uso e cobertura do solo	área (hectares)
pastagem	26817
água	13589
cerrado	12594
outras culturas	2054
reflorestamento	181
Total	55235

O nível de abordagem utilizado na fotointerpretação foi o nível III. Segundo Anderson et al. (1979), este nível produz informações em nível intra-estadual, regional, municipal ou distrital e é compatível com dados de escala entre 1:20.000 e 1:80.000.

Observou-se que em 1972 o padrão de organização do espaço estava

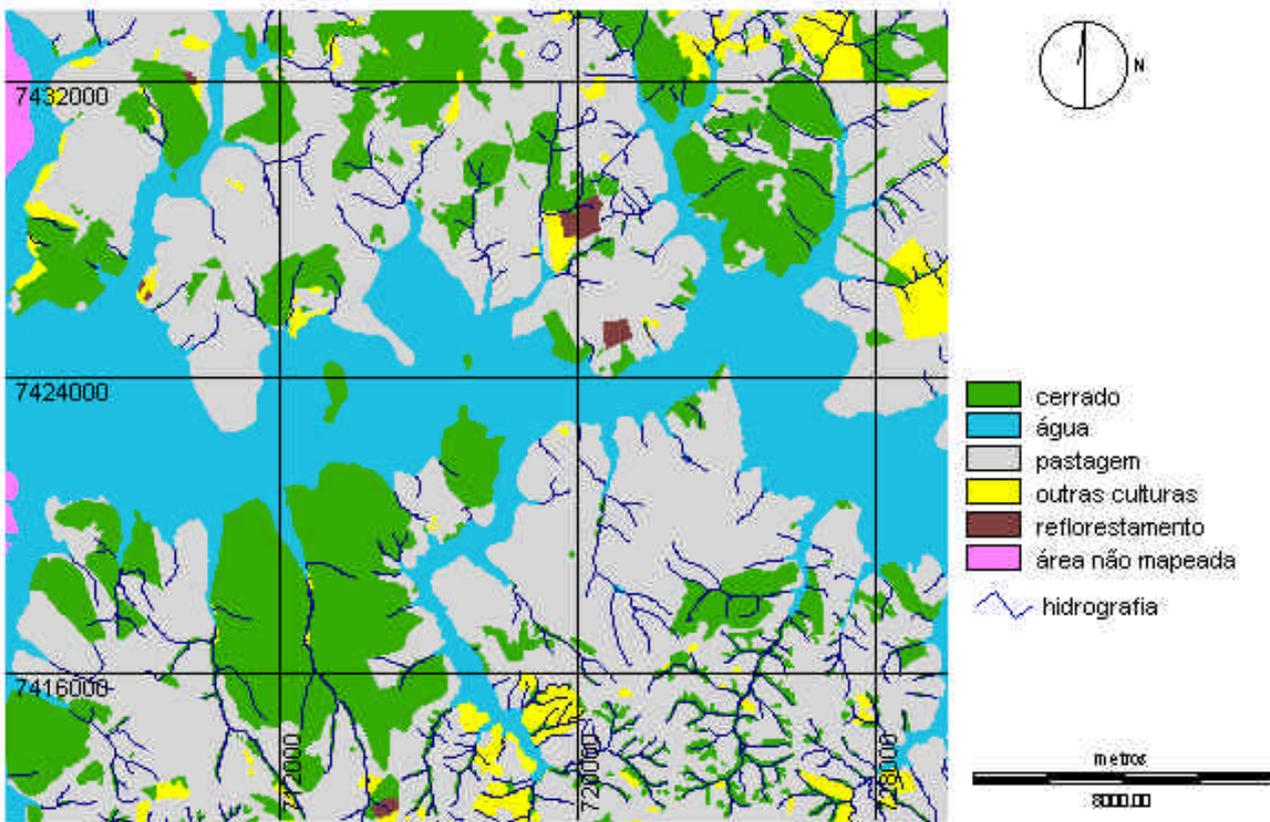
baseado na densidade de drenagem e no relevo, que foram responsáveis pela diferenciação espacial do uso e cobertura do solo.

Na porção sul da área, localizada entre as coordenadas 7.413.000 mN e 7.416.000 mN e correspondente à área do município da Estância Turística de Paranapanema, a densidade de drenagem era de média a alta, apresentando um padrão dendrítico e diversas nascentes que abasteciam o reservatório, constituindo-se em importante área de mananciais. O relevo nesta porção da área era recortado e fortemente ondulado. O uso do solo predominante era a pastagem. Ocorria também, só que de forma mais pontual, algumas áreas de cultura (denominadas pela categoria outras culturas), localizadas nas terras mais próximas às margens do reservatório e dos rios; e de reflorestamento, representado por um único fragmento. A vegetação era formada, predominantemente, por matas de galeria presentes em vales fechados ao longo dos rios, e por vegetação de cerrado localizada nas áreas de relevo mais plano.

Já na porção mais central da área de estudo, ainda na Estância Turística de Paranapanema e compreendida entre as coordenadas 7416000 mN e 7423000 mN, a densidade de drenagem era menor, quando comparada à densidade de drenagem da porção sul, e o seu padrão era subdendrítico. O relevo era predominante de colinas amplas com topos extensos e aplainados e vales abertos. O uso e cobertura do solo eram representados, respectivamente, por áreas extensas e contínuas de pastagem e cerrado.

A porção norte da área de estudo, correspondente ao município da Estância Turística de Avaré e compreendida entre as coordenadas 7423000 mN e 7434000 mN, apresentava um padrão de drenagem subdendrítico e o predomínio de um relevo caracterizado por colinas amplas. O uso e cobertura do solo eram mais diversificados, quando comparados com a porção central e sul da área, caracterizando-se por extensas áreas de pastagem; áreas ainda isoladas e menos expressivas de reflorestamento; áreas ocupadas por outras culturas, que não reflorestamento, e mais bem distribuídas pelo município; e áreas cobertas por fragmentos de cerrado (Figura 5.1.).

USO E COBERTURA DO SOLO NAS ESTÂNCIAS TURÍSTICAS DE AVARÉ E PARANAPANEMA EM 1972



## 5.2. USO E COBERTURA DO SOLO EM 2003

No mapeamento do uso e cobertura do solo de 2003, obtido por meio da classificação digital supervisionada de imagens do satélite Landsat 7/ETM+, foram identificadas as seguintes categorias de uso e cobertura do solo: **pastagem, água, cerrado, outras culturas, reflorestamento, areia** e **instalações turísticas**. As categorias representaram, respectivamente, 24.675, 11.580, 11.441, 2.949, 2.439, 1.045 e 1.043 hectares da área de estudo (Tabela 5.2.).

**Tabela 5.2. Categorias de uso e cobertura do solo e respectivas áreas, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, em 2003.**

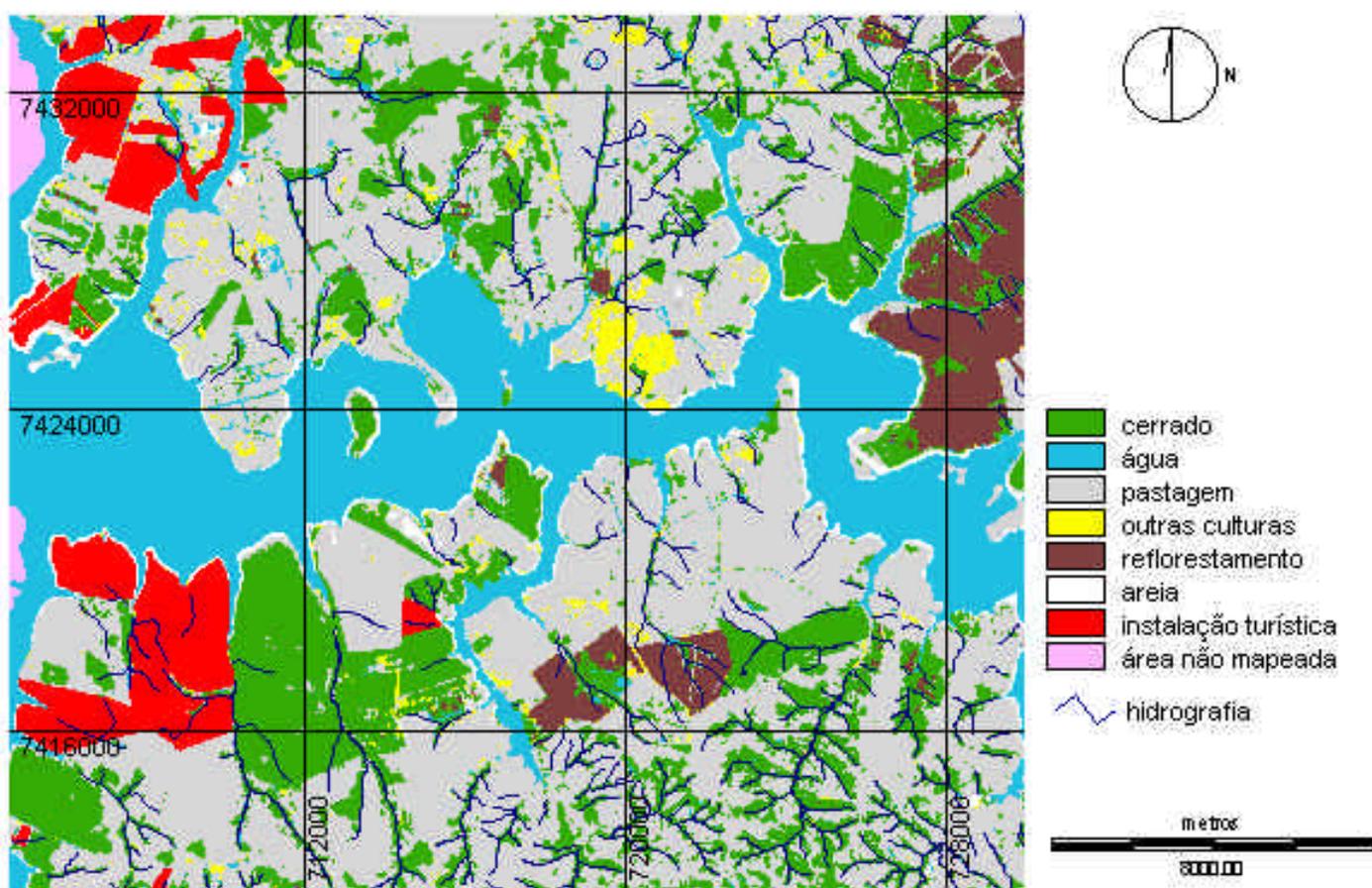
categorias de uso e cobertura do solo	área (hectares)
pastagem	24675
cerrado	11580
água	11441
instalações turísticas	2949
reflorestamento	2439
areia	1045
outras culturas	1043
<b>Total</b>	<b>55172</b>

A área identificada como **área não mapeada**, compreendeu 338 hectares dos municípios de Itaí e Cerqueira César, cujo uso e cobertura do solo não foram identificados, pois estes municípios não fazem parte do objetivo da pesquisa.

O mapeamento do uso e cobertura do solo atuais das Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema definido para as análises espaço-temporais foi produzido pelo algoritmo MAXLIKE/EP (Figura 5.2.).

O uso e cobertura do solo atuais das Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, considerando todas as categorias de uso e cobertura do solo, são discutidas a seguir.

USO E COBERTURA DO SOLO NAS ESTÂNCIAS TURÍSTICAS DE AVARÉ E PARANAPANEMA EM 2003



A **pastagem** constitui-se de áreas cobertas predominantemente por gramíneas e arbustos, e em alguns casos por vegetação arbórea e arbustiva esparsa, podendo ser formada por pasto natural e/ou plantado.

As áreas de pastagens correspondem às propriedades de criação de bovinos, ovinos e eqüinos, e que se estendem até as áreas de cerrado, de mata galeria e do reservatório (Figuras 5.3. e 5.4.).



**Figura 5.3. Área de pastagem que se estende até as margens do reservatório de Jurumirim-SP, na Estância Turística de Avaré (Foto da autora, 11/10/2001).**



**Figura 5.4. Área de pastagem que se estende até as matas de galeria, na Estância Turística de Paranapanema (Foto da autora, 10/10/2001).**

As pastagens estão amplamente distribuídas na Estância Turística de Paranapanema, caracterizada por um relevo mais acidentado e uma densidade de drenagem de média a alta (porção sul e central da área), e na Estância Turística de Avaré (porção central e norte), que apresenta densidade de drenagem baixa e relevo predominante de colinas amplas.

Algumas áreas de pastagens, localizadas às margens do reservatório de Jurumirim, encontram-se erodidas, podendo representar áreas pontuais com princípio de assoreamento (Figura 5.5.).



**Figura 5.5. Erosão em área de pastagem nas margens do reservatório de Jurumirim-SP, na Estância Turística de Avaré (Foto da autora, 13/10/2001).**

Observou-se também a presença de rebanhos de eqüinos, bovinos e ovinos, bem como de piquetes, estruturas de cercas e de desedentação e alimentação dos animais.

A categoria **cerrado** incluiu a vegetação arbórea, arbustiva e herbácea, característica das fisionomias do cerrado (cerradão, cerrado ss, campo cerrado e campo sujo). Nesta categoria estão incluídas também as áreas de matas de galeria ao longo dos rios, ribeirões e córregos.

Esta categoria apresentou-se bastante heterogênea, principalmente por constituir-se de várias fisionomias do cerrado (da formação florestal à formação savânica).

Na porção sul, central e norte da área de estudo, observou-se fragmentos de cerrado localizados tanto nas áreas de entorno do reservatório como nas áreas mais

interiores das duas Estâncias Turísticas. O uso do solo circundante aos fragmentos florestais é formado, predominante, por pastagem (Figuras 5.6. e 5.7.).



**Figura 5.6. Fragmento de cerrado na margem do reservatório de Jurumirim-SP, circundado por pastagem, na Estância Turística de Avaré (Foto da autora, 13/10/2001).**



**Figura 5.7. Em primeiro plano, área de pastagem e ao fundo remanescente de cerrado, na Estância Turística de Avaré (Foto da autora, 11/10/2001).**

Constatou-se em 2002 que um fragmento de cerradão de aproximadamente 460 ha, localizado às margens do reservatório de Jurumirim, na Estância Turística de Paranapanema, foi transformado, em Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN). Esta iniciativa particular é muito importante para a conservação do cerrado paulista e da região, uma vez que na área ao lado da RPPN estão localizados os maiores condomínios de segundas residências e o maior hotel de lazer da região, e que podem se expandir com o desenvolvimento turístico (Figura 5.8.).



**Figura 5.8. Fragmento de cerrado transformado em RPPN, na Estância Turística de Paranapanema (Foto da autora, 01/09/2001).**

O cerrado encontra-se protegido também em outras áreas, como é o caso da vegetação que cobre duas das várias ilhas que se distribuem pelo reservatório de Jurumirim (Figura 5.9.).



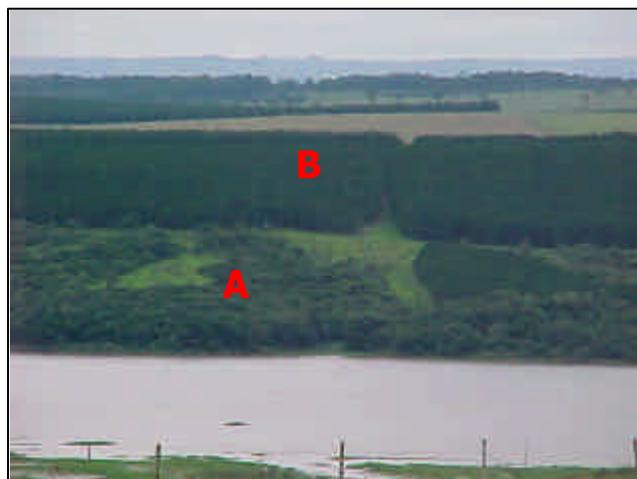
**Figura 5.9. Ilha coberta por vegetação de cerrado e protegida por lei, no reservatório de Jurumirim-SP (Foto da autora, 13/10/2001).**

A vegetação de mata galeria encontra-se em faixas estreitas ao longo de grande parte da drenagem. No entanto, em alguns pontos visitados a pastagem substituiu a mata de galeria (Figura 5.10.).



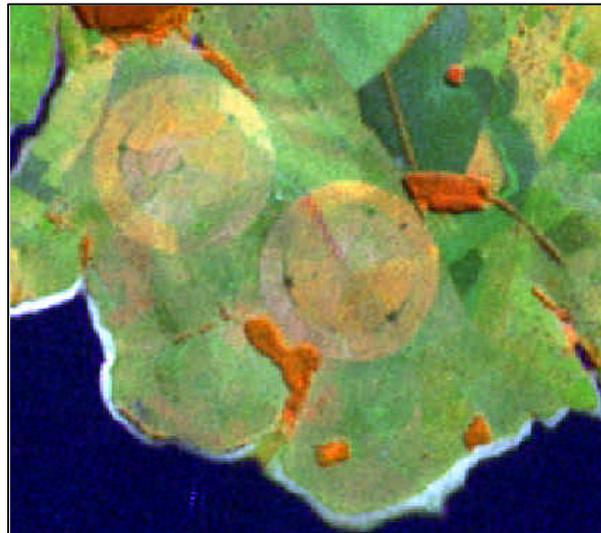
**Figura 5.10. Mata galeria ausente no ribeirão São João do Pinhal, na Estância Turística de Paranapanema (Foto da autora, 10/10/2001).**

O **reflorestamento**, atividade presente nos dois municípios, inclui áreas de talhões novos, adultos e talhões que foram desbastados de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.. Na Estância Turística de Paranapanema o reflorestamento situa-se na região central e na Estância Turística de Avaré na região leste do município, se estendendo no município de Itatinga (Figura 5.11.).



**Figura 5.11. Em primeiro plano, mata de galeria (A), e ao fundo, área de reflorestamento de *Pinus* sp. (B) na Estância Turística de Paranapanema (Foto da autora, 10/10/2001).**

A categoria **outras culturas** está representada por culturas temporárias e permanentes, que não sejam culturas de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp., como o feijão e a soja. Observou-se a presença de práticas modernas de agricultura, como a implantação de pivôs centrais de irrigação, que foram identificados na imagem em decorrência de sua forma circular (Figura 5.12.).



**Figura 5.12. Pivôs centrais de irrigação na Estância Turística de Avaré (Imagem Landsat 7 ETM+, composição HSI bandas 3, 4, 5 e 8, em 2000).**

A categoria **água** está associada aos cursos d'água e canais, incluindo os rios, ribeirões, córregos e outros corpos d'água lineares; lagos; açudes e o reservatório, ocupando uma área de aproximadamente 11.500 hectares.

A **areia** corresponde às áreas de areia sem vegetação que se formam nas margens do reservatório no período de seca e que formam praias em praticamente todo o entorno do reservatório de Jurumirim. Este fato pode ser explicado pela baixa precipitação no ano 2000, o que resultou em uma diminuição do nível do reservatório em função do abastecimento dos reservatórios à jusante. As áreas de praia formadas de junho a janeiro são frequentemente utilizadas para o lazer e o turismo na região (Figura 5.13.).



**Figura 5.13. Área de praia (areia) formada pela redução do nível do reservatório e utilizada para lazer e turismo, na Estância Turística de Avaré (Foto da autora, 11/10/2001).**

A categoria **instalações turísticas**, representada por loteamentos e condomínios de segundas residências, hotéis, pousadas, campings, marina, clubes náuticos e áreas de lazer, passou a se desenvolver mais significativamente a partir de 1973, quando da implantação dos primeiros loteamentos turísticos de segundas residências. O turismo na região será discutido no Capítulo 6.

### **5.3. MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DO SOLO NO PERÍODO DE 1972 A 2003**

As mudanças no uso e cobertura do solo no período de 1972 a 2003 foram analisadas por meio da tabulação cruzada entre as imagens (CROSSTABULATION), quando as categorias de uso e cobertura do solo mapeadas em 1972 foram comparadas às categorias mapeadas em 2003. O resultado informou os valores da proporção do uso e cobertura do solo que foram modificados e/ou substituídos no período estudado.

A segunda operação de análise foi a classificação cruzada entre os dois mapeamentos (CROSSCLASSIFICATION), e que produziu uma nova imagem localizando todas as combinações entre as categorias de uso e cobertura do solo. A

imagem resultante foi reclassificada, produzindo mapas temáticos localizando as mudanças espaço-temporais das categorias.

A pastagem, o reflorestamento e as outras culturas eram as atividades antrópicas predominantes na área de estudo em 1972, representando 52,3% da área. Dentre estas categorias, a pastagem era a mais representativa, ocupando 48% da área. Os demais usos, tais como o reflorestamento e as outras culturas representavam apenas 4,3%. As áreas de cerrado ocupavam 23% da área e a lâmina d'água, juntamente com rios, ribeirões e córregos cobriam 24% das terras (Tabela 5.3.).

As categorias instalações turísticas e areia não foram mapeadas para o ano de 1972. A atividade turística em 1972 ainda não tinha se desenvolvido na região, apesar de todo o seu potencial, que passou a ser explorado a partir de 1974. Já a categoria areia não foi mapeada nesta data pela ausência de praias no entorno do reservatório na época da tomada das fotografias aéreas.

O uso e cobertura recentes do solo, mapeados para 2003, revelaram que 55,4% do uso e cobertura do solo correspondem às atividades antrópicas e 21% à vegetação de cerrado. Dentre os usos antrópicos, a pastagem permaneceu a atividade predominante (44%), seguida pelas instalações turísticas (5%), reflorestamento (4,4%) e outras culturas (2%) (Tabela 5.3.).

**Tabela 5.3. Área absoluta, área relativa e taxa de variação das categorias de uso e cobertura do solo, no período de 1972 a 2003, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema.**

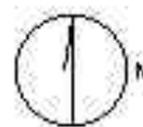
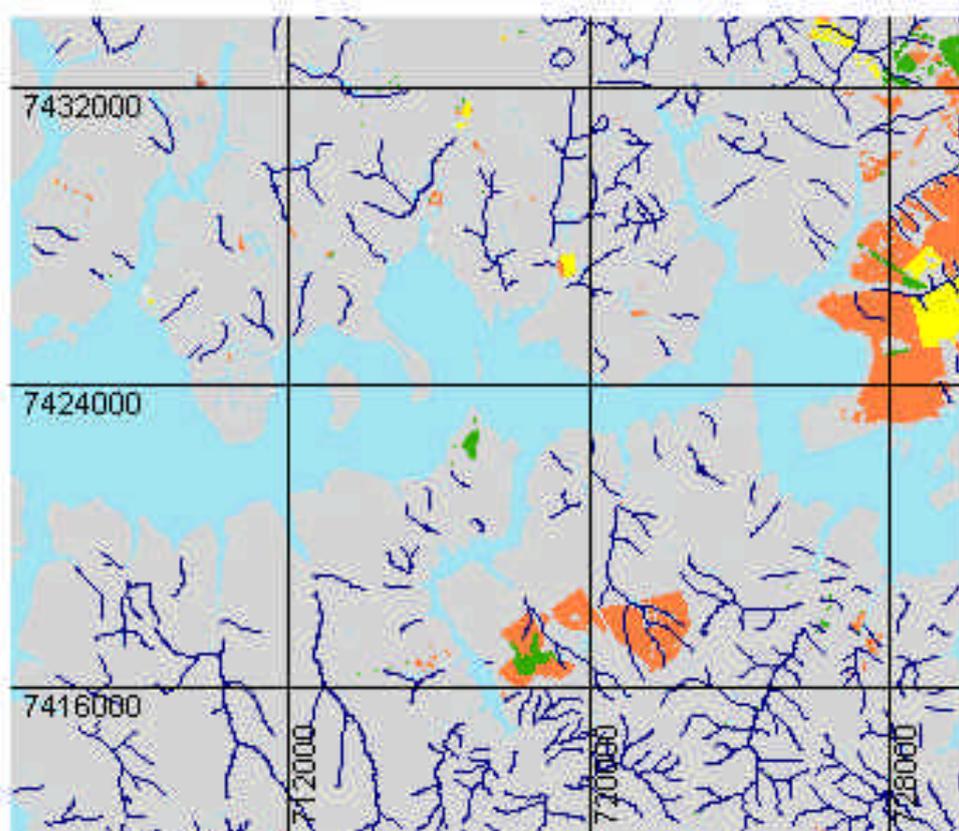
categorias de uso e cobertura do solo	área (ha) em 1972		área (ha) em 2003		taxa de variação das categorias (%)
	absoluta	relativa	absoluta	relativa	
pastagem	26817	48	24675	44	-8
água	13589	24	11441	21	-16
cerrado	12594	23	11580	21	-8
instalações turísticas	0	0	2949	5	*
reflorestamento	181	0.3	2439	4.4	1244
outras culturas	2054	4	1043	2	-49
areia	0	0	1045	2	*
área não mapeada	276	0.5	338	1	23
<b>total</b>	<b>55510</b>	<b>100</b>	<b>55510</b>	<b>100</b>	

\* Não existe taxa de variação das categorias areia e instalações turísticas pois no mapeamento de 1972 as mesmas não se apresentaram.

Dentre as atividades antrópicas, o reflorestamento apresentou a maior taxa de variação no período de 1972 a 2003 (1244%), se expandindo em uma área correspondente a 1.832 hectares onde ocorria pastagem, 319 hectares onde ocorriam outras culturas e 273 hectares onde ocorria cerrado (Figura 5.14.).

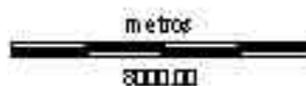
As áreas ocupadas pela categoria outras culturas diminuíram praticamente pela metade, sendo substituídas por áreas de pastagem (1.166 hectares), cerrado (397 hectares), reflorestamento (319 hectares), instalações turísticas (98 hectares), água (25 hectares) e areia (8 hectares) (Figura 5.15).

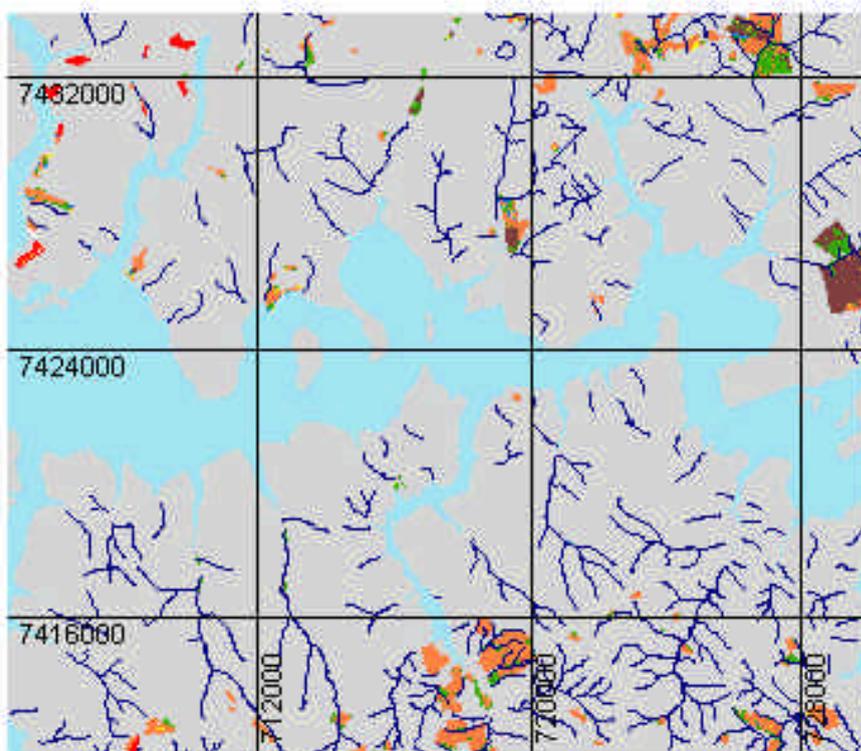
A água diminuiu em 16% principalmente em decorrência da diminuição do nível do reservatório no período de seca, propiciando o aparecimento de áreas de areia, formando praias em praticamente todo o entorno do reservatório. A água foi substituída, principalmente, por 1.244 hectares de pastagem, 831 hectares de areia, 318 hectares de cerrado, 147 de instalações turísticas, 96 hectares de outras culturas e 11 hectares de reflorestamento (Figura 5.16.).



- expansão em área de cerrado
- expansão em área de reservatório
- expansão em área de pastagem
- expansão em área de outras culturas
- área de reflorestamento sem mudança
- área sem expansão do reflorestamento
- reservatório e açudes

Hidrografia

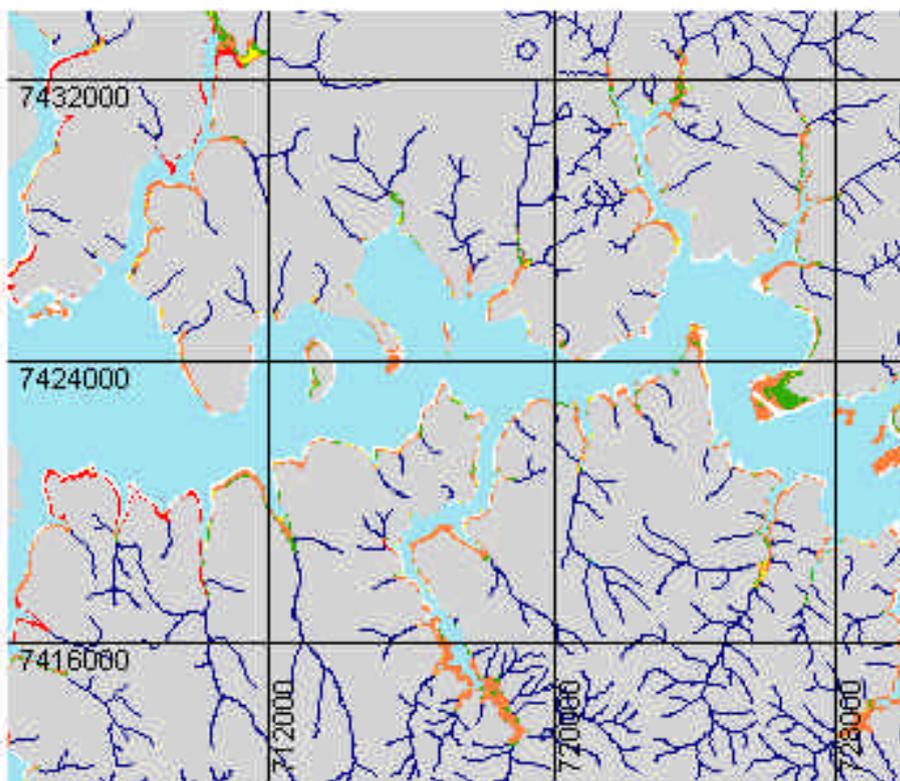




- outras culturas em 1972 - cerrado em 2003
- outras culturas em 1972 - água em 2003
- outras culturas em 1972 - pastagem em 2003
- outras culturas em 1972 - reflorestamento em 2003
- outras culturas em 1972 - areia em 2003
- outras culturas em 1972 - instalação turística em 2003
- outras culturas em 1972 e em 2003
- área sem outras culturas em 1972 e em 2003
- reservatório e açudes

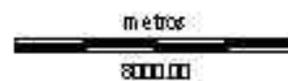
Hidrografia





- água em 1972 - cerrado em 2003
- água em 1972 - pastagem em 2003
- água em 1972 - outras culturas em 2003
- água em 1972 - reflorestamento em 2003
- água em 1972 - areia em 2003
- água em 1972 - instalação turística em 2003
- água em 1972 e em 2003
- área sem água em 1972 e em 2003

Hidrografia

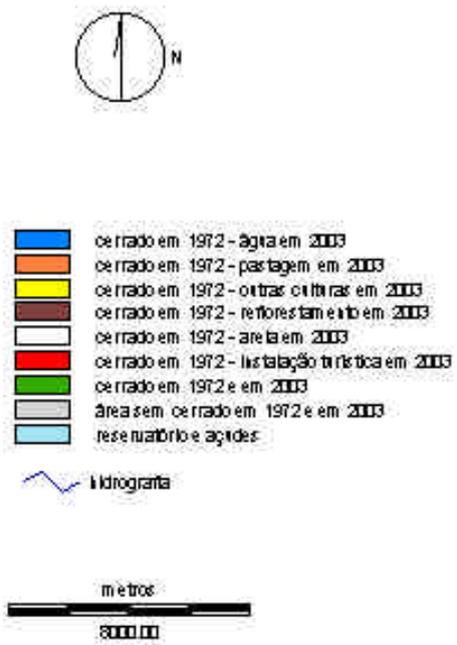
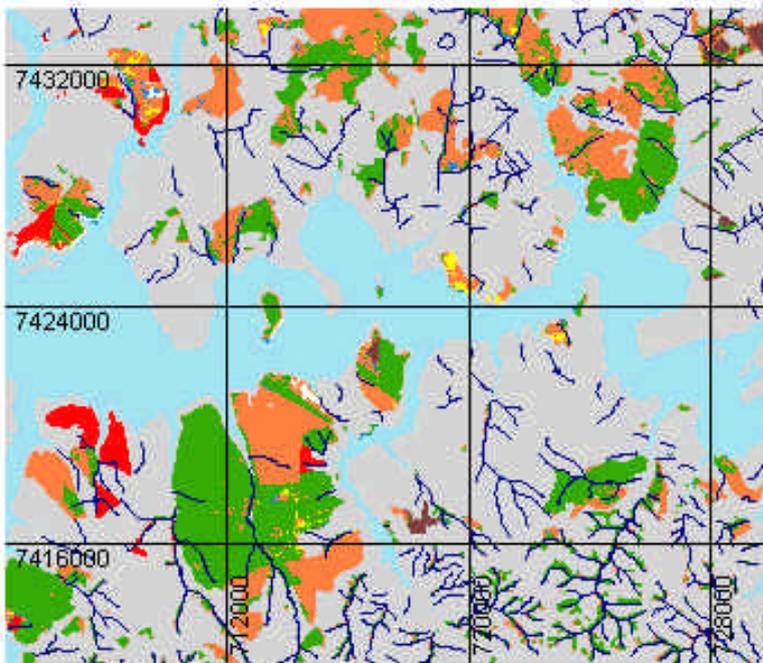


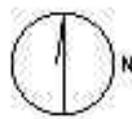
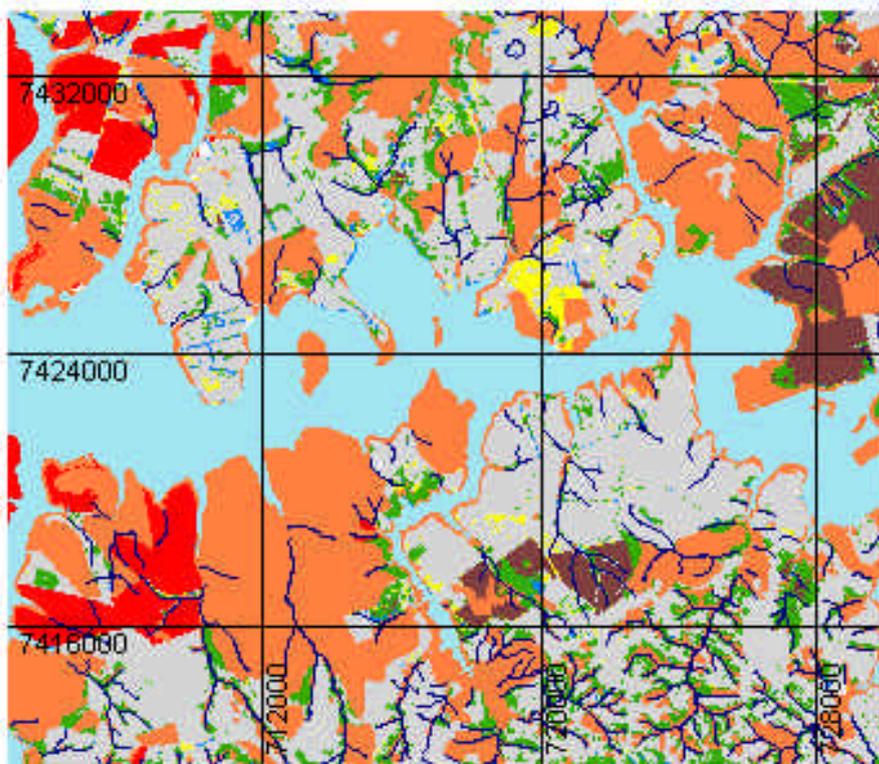
As áreas de cerrado diminuíram 8%, sendo substituídas por 4.875 hectares de pastagem, 613 hectares de instalações turísticas, 273 hectares de reflorestamento, 191 hectares de outras culturas, 134 hectares de água e 96 hectares de areia (Figura 5.17.).

As pastagens, uso predominante na área, diminuíram 8% e foram substituídas por 4.437 hectares de cerrado, 2.091 hectares de instalações turísticas, 1.832 hectares de reflorestamento, 671 hectares de outras culturas, 401 hectares de água e 110 hectares de areia (Figura 5.18.).

A areia, ausente em 1972 na data da tomada das fotografias aéreas, fez-se presente no mapeamento de 2003 em decorrência da diminuição do nível da água do reservatório em 2000 (Figura 5.19.).

Observa-se que as instalações turísticas, pouco desenvolvidas em 1972, se desenvolveram mais intensamente a partir da década de 80. Atualmente correspondem a 2.686 ha nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema.



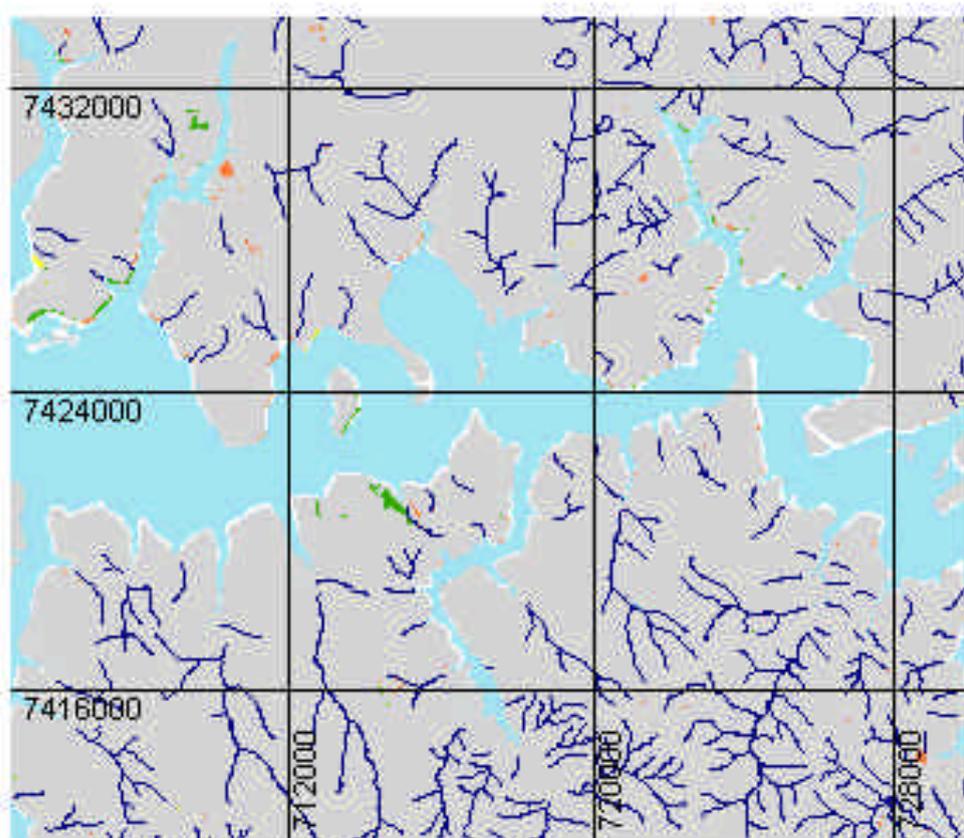


- pastagem em 1972 - cerrado em 2003
- pastagem em 1972 - água em 2003
- pastagem em 1972 - outras culturas em 2003
- pastagem em 1972 - reflorestamento em 2003
- pastagem em 1972 - areia em 2003
- pastagem em 1972 - instalação turística em 2003
- pastagem em 1972 e em 2003
- área sem pastagem em 1972 e em 2003
- reservatório e açudes

Hidrografia

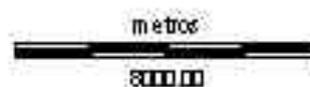
metros

8000.00

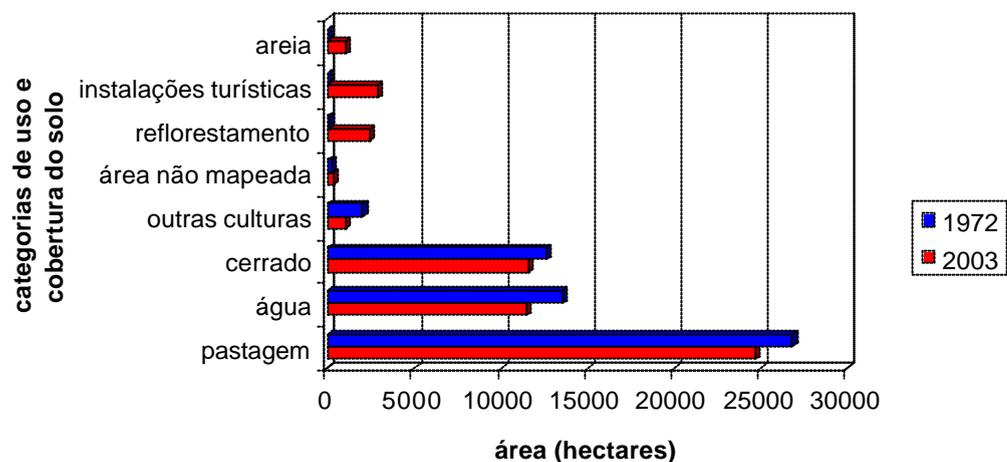


- expansão em área de cerrado
- expansão em área de reservatório
- expansão em área de pastagem
- expansão em área de outras culturas
- área sem expansão da área reservatório e açudes

hidrografia



A evolução espaço-temporal das categorias de uso e cobertura do solo no período de 1972 a 2003 indica a expansão das áreas utilizadas para as atividades de reflorestamento e turismo (especialmente representado pelas instalações turísticas). No entanto, esses usos ainda não se constituem as atividades antrópicas predominantes na área. A pastagem, apesar de ser a atividade predominante na área, vem tendo sua área suprimida. O mesmo vem ocorrendo com as áreas de cerrado e com as áreas denominadas outras culturas (Figura 5.20.).



**Figura 5.20. Evolução temporal das categorias de uso e cobertura do solo no período de 1972 a 2003, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema.**

A tabulação cruzada entre os mapeamentos do uso e cobertura do solo de 1972 e 2003 (CROSSTABULATION) produziu também os valores dos Índices de Concordância de Kappa global (Kappa Index of Agreement – KIA) e também para cada categoria de uso e cobertura do solo, possibilitando a avaliação da correlação espacial do uso e cobertura do solo no período.

Os Índices de Concordância de Kappa variaram de 0 a 0,9. De acordo com Eastman (1999), o KIA possui uma amplitude de variação de 0,0 (indicando nenhuma correlação) a 1,0 (indicando perfeita correlação) (Tabela 5.4.).

**Tabela 5.4. Índices de Kappa global e por categorias para 1972 e 2003, nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema.**

categorias de uso e cobertura do solo	Índice de Kappa imagens de referência	
	1972	2003
cerrado	0.4	0.4
água	0.7	0.9
pastagem	0.4	0.4
outras culturas	0	0
reflorestamento	0	0
areia	*	0
instalações turísticas	*	0
<b>Índice Global de Kappa</b>	<b>0.5</b>	

\* categorias não existentes em 1972

O Índice de Kappa global de 0,5 indicou que, de uma maneira geral, as categorias de uso e cobertura do solo apresentaram uma correlação média (intermediária entre a alta e a baixa correlação espacial). As mudanças espaço-temporais no uso e cobertura do solo no período de 1972 a 2003 alcançou 50%. Isto quer dizer que 50% das categorias de uso e cobertura do solo permaneceram, especialmente, sem mudanças, enquanto os outros 50% dos usos e coberturas do solo apresentaram uma mudança espacial em 50% das áreas, no período estudado.

A categoria que apresentou a maior correlação espacial foi a água, com um KIA de 0,7 em 1972 e de 0,9 em 2003. Estes valores de KIA para a água podem ser explicados pelo fato de que esta categoria foi a que, especialmente, se manteve mais estável, ou seja, apresentou a maior concordância espacial durante o período. O KIA só não foi igual a 1 (um), o que indicaria perfeita correlação espacial, devido a diferença do nível da água do reservatório, que diminuiu em 2003.

As categorias cerrado e pastagem apresentaram uma correlação que pode ser considerada como média (KIA=0,4), isto é, no período de 1972 a 2003 ambas as categorias apresentaram mudanças espaciais (60%), passando a ocorrer em determinadas áreas em 2003 que não eram as mesmas áreas de ocorrência em 1972. Somente em 40% das áreas o cerrado e a pastagem permaneceram sem mudanças espaciais.

As categorias reflorestamento, outras culturas, instalações turísticas e areia não apresentaram nenhuma correlação espacial. O valor de KIA correspondente a zero indicou que as áreas de ocorrência destas categorias em 2003 possuem

localização espacial totalmente diferente das áreas onde ocorriam em 1972.

No caso do reflorestamento em 2003, ocorreu expansão em áreas diferentes das que ocorriam em 1972, substituindo áreas de ocorrência de outras categorias de uso e cobertura do solo, como a pastagem, as outras culturas e o cerrado. Já as outras culturas, que foram suprimidas em 2003, passaram a ocupar áreas também espacialmente (de localização) diferentes das que ocupavam em 1972.

As instalações turísticas e a areia, inexistentes em 1972, passaram a representar, em 2003, categorias de relevante interesse, substituindo outros usos e coberturas do solo. É importante ressaltar que a categoria areia e água apresentam variação espacial sazonal, ou seja, decorrente das mudanças no nível da água do reservatório durante o período de seca e de cheia.

## **CAPÍTULO 6**

# **O TURISMO NAS ESTÂNCIAS TURÍSTICAS DE AVARÉ E PARANAPANEMA**

---

---

A atividade turística no reservatório de Jurumirim, no referente à abrangência da área de estudo, está concentrada na porção oeste das Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, na região de entorno do reservatório.

As instalações turísticas são representadas na sua maioria por loteamentos, condomínios e chácaras de segundas residências e em menor número por clubes náuticos, hotéis, pousadas, campings, marina e áreas de lazer. Atualmente, o turismo de lazer e o turismo náutico são os segmentos mais representativos da atividade turística.

Em 1972 o turismo na região ainda era insipiente, mas foi a partir da década de 80 que a atividade passou a se desenvolver mais fortemente.

Segundo BIAZON (1981), que mapeou o uso e cobertura do solo da Estância Turística de Avaré com dados de sensores remotos, em 1976 as instalações turísticas passaram a ser mais representativas espacialmente, e eram representadas pelo Camping Municipal e por chácaras e loteamentos de segundas residências localizados nas margens do reservatório e nas proximidades da ponte Carvalho Pinto.

No mapeamento do uso e cobertura do solo em 2003 as instalações turísticas ocupam uma área de 2949 ha e representam 5% da área de estudo. Na Estância Turística de Avaré os loteamentos, condomínios e chácaras de segundas residências totalizam 9.495 lotes, 1.026 casas construídas em uma área de 1.324 ha, enquanto que na Estância Turística de Paranapanema são 29.165 lotes, 335 casas construídas em uma área de 2.029 ha.

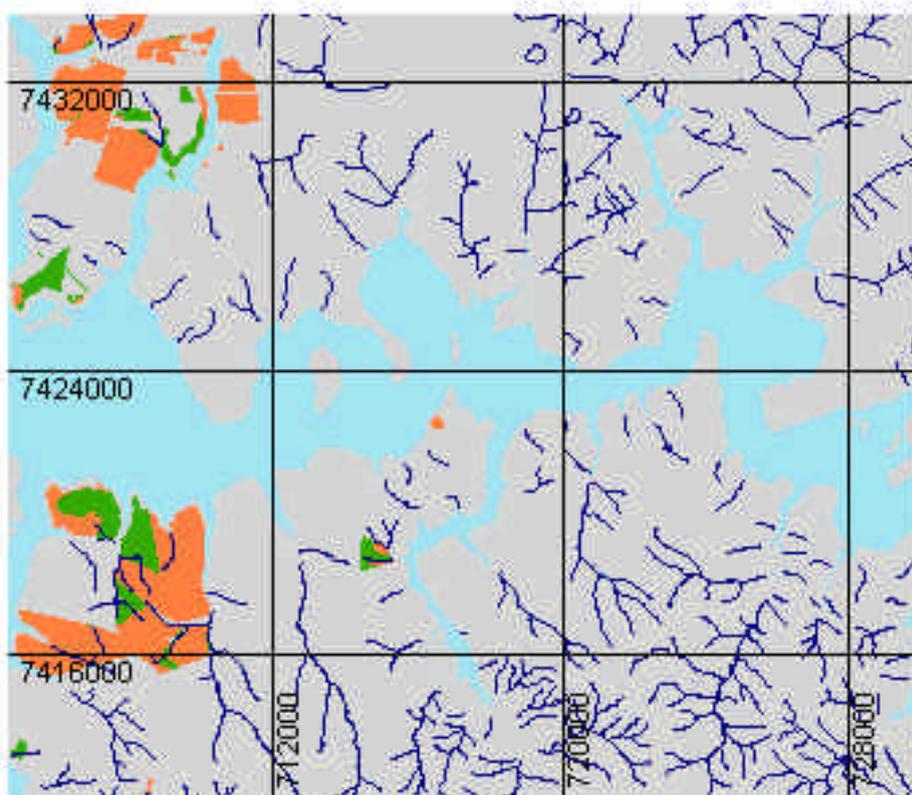
As instalações turísticas se desenvolveram, principalmente, em áreas de ocorrência de pastagens, passando a ocupar 3,7% (2.091 ha) das pastagens que ocorriam em 1972.

Os demais usos e coberturas do solo também tiveram grandes áreas substituídas pela atividade turística e passaram a ocupar 1,1% das áreas de cerrado (613 ha) e 0,18% das áreas de outras culturas (98 ha). As áreas ocupadas por reflorestamento não sofreram supressão de suas terras para a implantação das instalações turísticas.

A Figura 6.1. apresenta o mapeamento dos usos e coberturas do solo de 1972 que foram substituídos por instalações turísticas em 2003. Nota-se que apesar das instalações turísticas terem sido implantadas em sua maior parte em área de pastagem, o desenvolvimento do turismo na região suprimiu também remanescentes de cerrado equivalentes a 6.130 Km<sup>2</sup>.

Observou-se, no entanto, que em algumas áreas onde o cerrado ocorria em 1972 e que as análises espaciais concluíram que haviam sido substituídas por instalações turísticas em 2003 permaneceram cobertas por cerrado. Esse resultado decorreu em função das técnicas e procedimentos adotados para a classificação digital do uso e cobertura do solo atual e para a digitalização da categoria instalação turística, que não consideraram os usos e coberturas do solo que ocorriam dentro das chácaras e dos loteamentos e condomínios de segundas residências. Assim, áreas cobertas por cerrado e localizadas dentro do limite dos empreendimentos, e que até os dias atuais são conservadas, não foram mapeadas como cerrado e sim como instalação turística.

Este é o caso do Loteamento Enseada Azul, na Estância Turística de Paranapanema e dos Loteamentos Ilha Verde Residencial e Costa Azul I, II e III, na Estância Turística de Avaré. Dentro destes empreendimentos ocorre, em menor ou maior área, remanescentes de cerrado que ainda estão conservados.



- expansão em área de cerrado
- expansão em área de pastagem
- área sem expansão das instalações irrigadoras
- reservatório e açudes

hidrografia



### **6.1. O Turismo na Estância Turística de Avaré**

A maior concentração de infra-estrutura turística na Estância Turística de Avaré se deve, principalmente, à proximidade da rodovia João Melão (SP-255), que atravessa o perímetro urbano e interliga Avaré às rodovias Castelo Branco (SP-280), Raposo Tavares (SP-270) e Marechal Rondon (SP-300).

É nas proximidades da ponte Carvalho Pinto, entre os quilômetros 269 e 278 da rodovia João Melão (SP-255) que estão localizados os hotéis, pousadas, clubes náuticos, camping, marina e loteamentos, condomínios e chácaras de segundas residências.

Durante o trabalho de campo foram visitados 29 loteamentos, condomínios e chácaras de segundas residências; dois clubes; três hotéis; um camping e uma marina na Estância Turística de Avaré. São eles: Condomínio Santa Rita I e II; Condomínio Indaiá Naut Clube; Loteamento Costa Azul I, II e III; Porto Miramar; O Estribo L'Etrier; Pouso Vale Verde I e II; Ilha Verde Residencial; Ilha Verde Comercial; Quinta do Lago; Quinta do Sol; Ponta do Progresso; Pontão do Remanso; Terras de São Marcos I e II; Recreio Eldorado; Chácara Represa de Avaré; Vivenda do Solemar; Ponta dos Cambarás; Loteamento Lambari; Condomínio Village Cabo Santa Bárbara; Parque Aruanã; Condomínio Solar Íris Beach; Clube Recreio dos Trinta; Clube Por do Sol; propriedade de Décio Eurico de Lima; Clube Náutico Jurumirim; Clube Recreativo da Figueiredo; Hotel Península; Hotel Berro D'Água; Acqua Ville Hotel; Camping Municipal e Marina Taiti (Quadro 6.1.).

Os 29 loteamentos, chácaras e condomínios de segundas residências totalizam 9.495 lotes e 1.026 casas construídas em uma área de 1.324 ha. Nos Loteamentos Costa Azul I, II e III, recentemente denominados bairro, muitas das 540 casas construídas não são segundas residências.

Observa-se um grande número de empreendimentos que possui um reduzido número de casas edificadas proporcionalmente ao número de lotes, caso da Chácara Represa de Avaré, Vivenda do Solemar, Terras de São Marcos I e II, Pontão do Remanso e Quinta do Lago. Outros loteamentos, caso do Pouso Vale Verde II e Quinta do Sol, não possuem nenhuma edificação.

**Quadro 6.1. Condomínios, loteamentos e chácaras de segundas residências e respectivos número de lotes, casas e área total, na Estância Turística de Avaré, em 2004.**

Condomínio/ Loteamento	n <sup>o</sup> de lotes	n <sup>o</sup> de casas	Área total (ha)
Costa Azul I	123	219	26
Costa Azul II	150	148	25
Costa Azul III	411	173	43
Santa Rita I	0	25	13
Santa Rita II	3	19	6
Clube dos Trinta	3	28	2
Clube Por do Sol	3	30	1
Indaiá Náut Club	3	23	1
Chácara Represa de Avaré	255	4	51
Vivenda do Solemar	1040	24	200
Ponta dos Cambarás	362	108	72
Lambari	4	4	12
Village Cabo Santa Bárbara	2	11	13
Parque Aruanã	277	26	12
Terras de São Marcos I	929	13	185
Terras de São Marcos II	2106	15	182
Pontão do Remanso	288	21	52
Quinta do Lago	123	11	31
Ilha Verde Residencial	82	32	86
Ilha Verde Comercial	0	0	7
Pouso Vale Verde I	725	1	37
Pouso Vale Verde II	507	0	56
O Estribo L'Etrier	457	49	60
Porto Miramar	863	3	71
Recreio Eldorado	13	14	8
Ponta do Progresso	34	10	16
Quinta do Sol	698	0	45
Décio Eurico de Lima	6	3	4
Íris Beach	28	12	6
<b>Total</b>	<b>9495</b>	<b>1026</b>	<b>1324</b>

Fonte: Departamento de Cadastro da Prefeitura Municipal da Estância Turística de Avaré.

Os loteamentos Costa Azul I, II e III estão localizados no quilômetro 276,6 da rodovia João Melão. O Loteamento Costa Azul I foi implantado com o objetivo de ser um loteamento turístico para a construção de segundas residências. No entanto,

a área passou também a comportar casas populares e moradores permanentes. O Costa Azul II e III são, basicamente, loteamentos populares para moradores permanentes. Há aproximadamente dois anos o Costa Azul I, II e III passaram a denominação de bairro da Estância Turística de Avaré. Os demais loteamentos, condomínios e chácaras são de segundas residências.

Os lotes dos empreendimentos têm metragem variada e muitos se estendem até as margens do reservatório de Jurumirim. As segundas residências variam do alto padrão, com grandes gramados e jardins, decks, piscinas e garagem e rampa para embarcações (condomínios Village Cabo Santa Bárbara, Ponta dos Cambarás, Ilha Verde Residencial), às mais simples (Figura 6.2.).



**Figura 6.2. Segundas residências do Condomínio Village Cabo Santa Bárbara, na Estância Turística de Avaré (foto da autora, 11/10/2001).**

A maioria dos empreendimentos possui infra-estrutura dotada de água, energia elétrica e portaria para o controle da entrada e saída de condôminos e visitantes. Alguns possuem também rampa para embarcações, área de lazer gramada e playground; outros oferecem também piscinas, quiosques com churrasqueiras, quadras de vôlei, vestiários, dentre outros.

Em alguns empreendimentos há falta de manutenção, como ausência de roçadas dos lotes e conservação das ruas, possibilitando o crescimento da vegetação de cerrado, característica da região. Este é o caso do Loteamento Quinta do Lago, que possui 11 lotes edificadas e aproximadamente metade dos 112 lotes restantes ocupados por cerrado (Figura 6.3.).



**Figura 6.3. Lotes ocupados por cerrado no Loteamento Quinta do Lago, na Estância Turística de Avaré (Foto da autora, 15/02/2002).**

O Clube Recreativo da Figueiredo está localizado também às margens do reservatório e oferece aos seus sócios áreas cobertas e dotadas de mesas, pia e churrasqueira, além de acesso à praia e à represa.

No referente aos hotéis, a Estância Turística de Avaré possui uma rede hoteleira diversificada. Segundo o GuiAvaré (2000/2001), os investimentos no setor hoteleiro nos últimos anos duplicaram a capacidade para receber turistas.

Atualmente existem aproximadamente 11 hotéis, totalizando cerca de 317 unidades habitacionais. Três dos hotéis estão localizados às margens do reservatório de Jurumirim. São eles: Hotel Península, Hotel Berro D'Água e Acqua Ville Hotel, descritos no Quadro 6.2.. Todos os três hotéis oferecem acesso direto à represa e às praias (Figura 6.4.).

**Quadro 6.2. Instalações e serviços dos hotéis localizados no entorno do reservatório de Jurumirim-SP, na Estância Turística de Avaré.**

<b>Hotel</b>	<b>Características Das Unidades Habitacionais</b>	<b>Instalações E Serviços</b>
<b>Acqua Ville Hotel</b>	40 apartamentos com ar condicionado, frigobar, TV a cabo, mesa de trabalho com conexão para internet e linha digital.	Salão para convenções para 200 pessoas; sala de reuniões para até 30 pessoas; Business Center com fax, xerox, internet; Fitness Center; sauna a vapor, piscinas aquecidas; salão de jogos; sala de TV; bar com quiosque com vista para a represa; praia de água doce; restaurante com cozinha internacional; serviço de lavanderia.
<b>Hotel Península</b>	29 apartamentos, 10 suítes, uma suíte máster, 10 apartamentos de luxo, 10 chalés.	Salão de convenções para 150 pessoas; quatro piscinas; sauna; salão de jogos; sala de ginástica; quadra de tênis e de vôlei, campos de futebol e futebol de salão, pedalinhos e caiaques, restaurante American Bar, praia de água doce.
<b>Hotel Berro D'Água</b>	37 apartamentos, 12 chalés, três suítes rústicas e 8 de luxo, todos com telefone, ar condicionado, frigobar, TV, som, ambiente, e banheiro privativo.	Passeios a cavalo, recanto infantil, piscina, sauna, musculação, salão de jogos, atividades náuticas, projetos Proteger e Redescobindo o Brasil (visita a uma aldeia indígena instalada no local).

(Fonte: Pesquisa da autora em 11/10/2001 e GUIAVARÉ, 2000/2001)

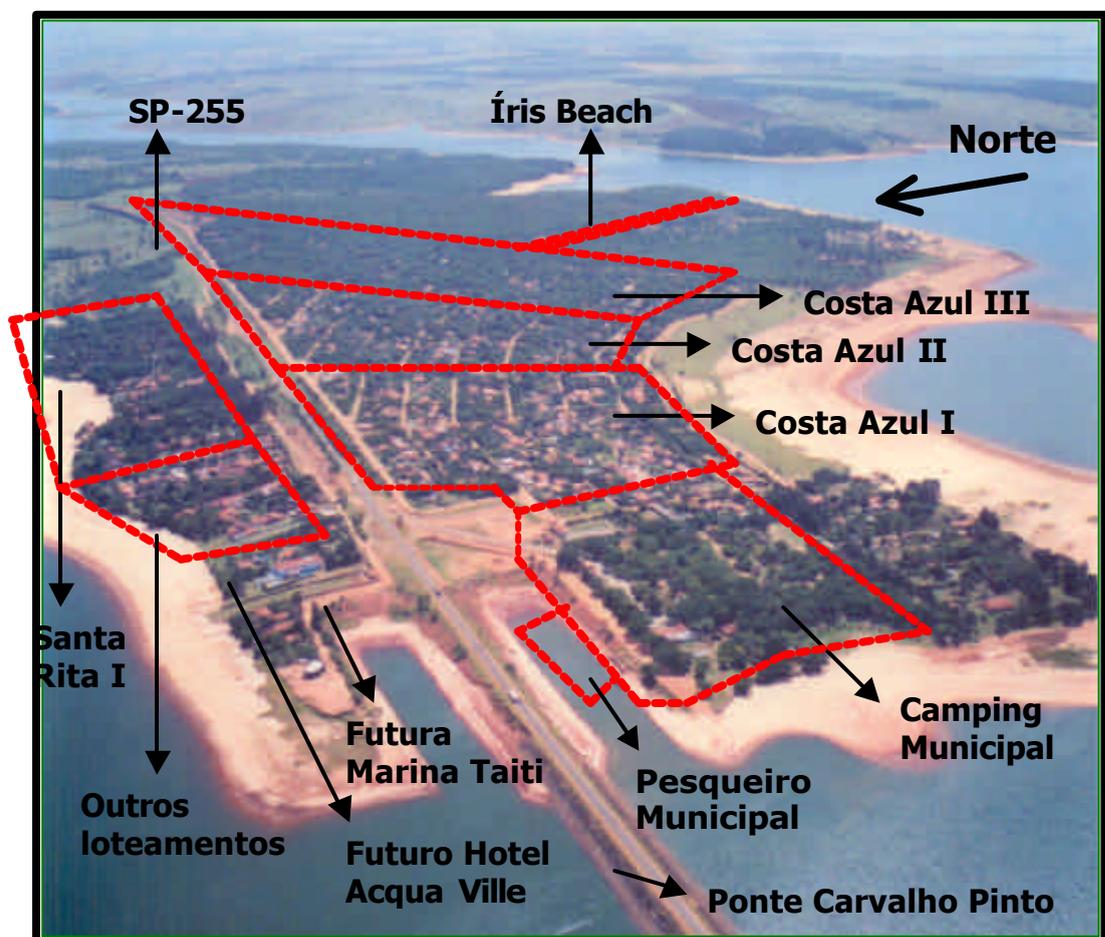


**Figura 6.4. Acqua Ville Hotel às margens do reservatório de Jurumirim-SP, na Estância Turística de Avaré (Foto da autora, 11/10/2001).**

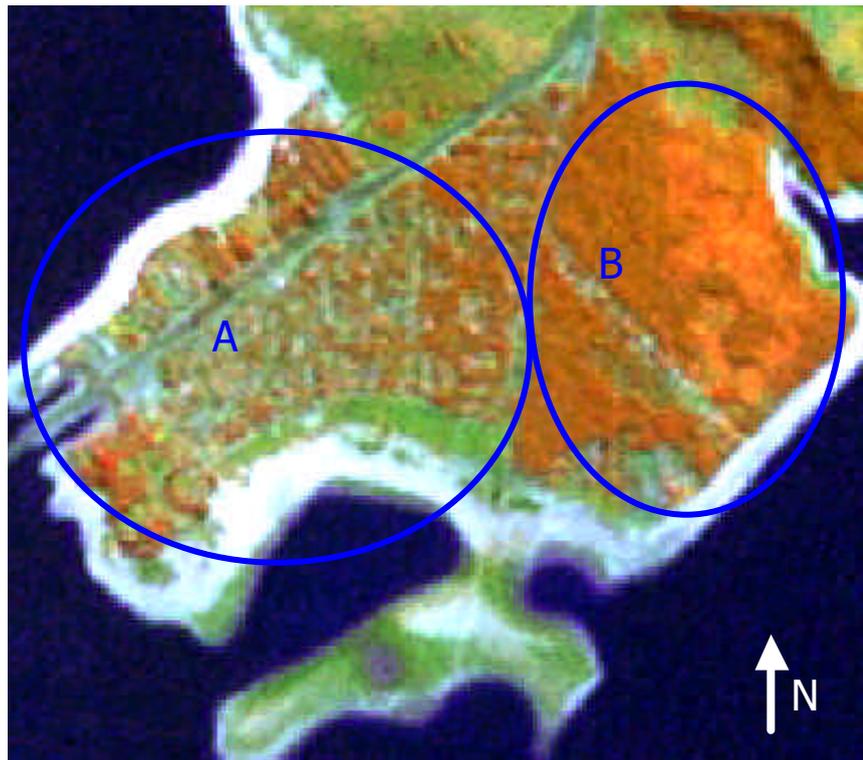
O Camping Municipal “Dr. Paulo Araújo Novaes” está localizado no Km 276 da rodovia João Melão, às margens do reservatório de Jurumirim, numa área de 48 mil m<sup>2</sup> gramada e arborizada. O camping tem infra-estrutura completa como:

churrasqueiras, banheiros, estacionamento, playground, bar, mini-mercado e campo de futebol, além de serviços de enfermaria, segurança e salva-vidas. O camping tem frequência bastante ativa durante todo o ano, chegando a receber mais de seis mil campistas por dia nos finais de semana e feriados. O Pesqueiro Municipal, que integra o camping, oferece estrutura suspensa sobre a represa para a pesca (GUIAVARÉ, 2000/2001).

Nas Figuras 6.5. e 6.6. nota-se a concentração das instalações turísticas nas imediações da ponte Carvalho Pinto, e a extensa faixa de areia que se forma com a diminuição do nível da água do reservatório.



**Figura 6.5. Concentração das instalações turísticas nas proximidades da ponte Carvalho Pinto, na Estância Turística de Avaré (Foto: Robson Tegani, GUIAVARÉ, 1999).**



**Figura 6.6. Concentração das instalações turísticas (A) e área de cerrado (B) próximas à ponte Carvalho Pinto, na Estância Turística de Avaré (Imagem HSI, bandas 3, 4, 5 e 8, Landsat 7/ETM+, 24.06.00, sem escala).**

A Marina Tahiti, única marina instalada na área de estudo, está situada na rodovia Raposo Tavares (SP-270) ao lado da ponte Carvalho Pinto e do Acqua Ville Hotel. A marina também está instalada dentro dos hotéis Península e Berro D'Água. Os serviços oferecidos são: aluguel de barcos, jet ski, mecânica, além de vagas secas para barcos.

## 6.2. O Turismo na Estância Turística de Paranapanema

A atividade turística na Estância Turística de Paranapanema está também concentrada na porção oeste da área de estudo, no entorno do reservatório de Jurumirim.

Nesta região foram visitados nove loteamentos de segundas residências: Enseada Azul, Terras de Santa Cristina VI e VII, Terras de Jurumirim, Parque da Riviera, Village Swiss, Recanto do Paranapanema I e II e Recanto Miralago.

Os loteamentos na Estância Turística de Paranapanema também não possuem um padrão quanto ao tamanho dos lotes e das edificações (Quadro 6.3.).

### Quadro 6.3. Características dos loteamentos na Estância Turística de Paranapanema.

Loteamento	nº de lotes	Variação da área dos lotes (m <sup>2</sup> )	nº de casas construídas	Área total (ha)
<b>Enseada Azul</b>	388	2500-5800	37	209
<b>Terras de Sta. Cristina VI</b>	5.034	300-1.387	120	363
<b>Terras de Sta. Cristina VII</b>	13.759	300-1.634	90	1002
<b>Terras de Jurumirim</b>	6.289	250-1.386	50	276
<b>Parque da Riviera</b>	1.375	250-691,32	03	77
<b>Recanto Miralago</b>	247	327,62-792,62	15	19
<b>Recanto do Paranapanema II</b>	2.072	450-1.500	20	123
<b>Total</b>	<b>29.164</b>	<b>X</b>	<b>335</b>	<b>2.069</b>

Fonte: Prefeitura Municipal da Estância Turística de Paranapanema (abril de 2002).

O primeiro loteamento turístico a ser implantado na Estância Turística de Paranapanema, em 1974, foi o Loteamento Enseada Azul, com uma área aproximada de 209 ha.

O Loteamento Enseada Azul é um dos únicos empreendimentos que possui a área de entorno do reservatório livre de edificações, ou seja, existe uma área comum de 150 mil m<sup>2</sup> com seis quilômetros de praias, rampas para embarcações e decks na margem da represa. É também um dos poucos a preservar uma área remanescente de cerrado, denominada “Bosque”, e que possui uma área de 120 mil m<sup>2</sup>. O loteamento oferece portaria, água tratada, energia elétrica, coleta de lixo, quadra de tênis, campo de futebol, playground e uma sede náutica denominada “Clube Náutico e Ecológico” (Figuras 6.7. e 6.8.).



**Figura 6.7. Segundas residências do Loteamento Enseada Azul, na Estância Turística de Paranapanema (Foto da autora, 13/10/2001).**



**Figura 6.8. Área de praia do Loteamento Enseada Azul, na Estância Turística de Paranapanema (Foto de Carlos Alckmin Mascaro, 10/01/2004).**

Os loteamentos Terras de Santa Cristina VI e VII são os dois maiores empreendimentos na área de estudo e juntos possuem o maior número de lotes (18.793) e de casas construídas (210). Ambos oferecem portaria com segurança 24 horas, clube com piscinas, quadras de tênis, futebol e vôlei, restaurante e bar (Figura 6.9. e 6.10.).



**Figura 6.9. Loteamento Terras de Santa Cristina VI e Hotel de Lazer Santa Cristina, na Estância Turística de Paranapanema (Fonte: Material de divulgação do Hotel de Lazer Santa Cristina, 2000).**



**Figura 6.10. Quadras e lotes do Loteamento Terras de Santa Cristina VII com vegetação de cerrado (A) e retirada da vegetação de uma encosta (B), na Estância Turística de Paranapanema (Foto da autora, 18/02/2002).**

O acesso aos Loteamentos Enseada Azul, Terras de Santa Cristina VI e VII e Hotel de Lazer Santa Cristina (instalado dentro do Loteamento Terras de Santa Cristina VI) é pela rodovia Raposo Tavares (SP-270) no quilômetro 266.

Observa-se na Figura 6.11. que no Loteamento Enseada Azul a vegetação de cerrado encontra-se conservada, aparecendo na imagem com uma coloração avermelhada. Em contraste, nos loteamentos Santa Cristina VI e VII, vizinhos ao Loteamento Enseada Azul, não se observa a vegetação de cerrado na mesma proporção e nota-se claramente os arruamentos e quadras.

É muito relevante destacar a Reserva Particular do Patrimônio Natural “Coronel Avelino Theodoro Menck”, importantíssima para a conservação do cerrado na região (Figura 6.11.).



**Figura 6.11. Loteamentos Enseada Azul (A), Santa Cristina VI (B) e VII (C), Hotel de Lazer Santa Cristina (D), RPPN “Coronel Avelino Theodoro Menck” (E) e pastagem (F), na Estância Turística de Paranapanema (Imagem HSI, bandas 3, 4, 5 e 8, Landsat 7/ETM+, 24.06.00, sem escala).**

O único hotel presente na área de estudo, o Hotel de Lazer Santa Cristina, possui 60 suítes com ar-condicionado, mini-refrigerador, telefone, banheira e varanda. Localizado dentro do Loteamento Terras de Santa Cristina VI, o hotel oferece aos seus hóspedes um Yacht Club com marina; salão de convenções para

200 pessoas; salão de jogos; boate; American bar; Restaurante Self-Service; Bar da Praia; cinco piscinas; quadras de tênis, vôlei e poliesportivas; campo de futebol; pesque-pague; mini-golf; passeios a cavalo e de charretes e equipe de lazer.

O loteamento Terras de Jurumirim, também localizado na SP-270, é composto por casas de segundas residências e por casas de moradores permanentes. Do total de 6.289 lotes, 50 encontram-se estão edificadas com casas de padrão mais simples.

Observa-se que todos os loteamentos implantados na Estância Turística de Paranapanema possuem um número reduzido de casas construídas (335 casas) em relação ao número de lotes que possuem (29.164 lotes) o que dá uma taxa média de ocupação de 1,1%. O Loteamento Enseada Azul é o que possui a maior taxa de ocupação dos lotes (9%), enquanto o Loteamento Terras de Santa Cristina VII possui a menor taxa de ocupação dos lotes (0,6%).

A área do Loteamento Recanto do Paranapanema II possui 20 casas construídas em uma área de 123 ha e passou a ser usada também para outras atividades, dentre elas o reflorestamento de *Eucalyptus* sp.

A “Praia Branca” é uma área de lazer às margens do reservatório e que oferece uma extensa área gramada e arborizada para acampar, além de banheiros, quiosques com churrasqueiras e atividades esportivas. O local também é conhecido como “Praia dos Holandeses” devido à proximidade da colônia holandesa de Holambra II.

Segundo Ibañez e Mascaro (2003), Holambra II, Distrito da Estância Turística de Paranapanema e localizada nas proximidades da área de estudo (Km 255 da SP-270), vem se destacando nos vários segmentos turísticos, como o turismo rural, agroturismo, ecoturismo, turismo cultural, turismo náutico e de lazer. Há mais de dez anos a Agência de Viagens e Turismo Saty Turismo LTDA vem atuando no mercado turístico da região.

## CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto e de sistemas de informação geográfica (SIG) foi imprescindível no estudo da evolução espaço-temporal do uso e cobertura do solo e do turismo nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, no reservatório de Jurumirim (SP), no período de 1972 a 2003.

As fotografias aéreas de 1972, na escala 1: 25.000, e as imagens do satélite Landsat 7/ETM+ foram compatíveis com a finalidade da pesquisa, que buscou informações em nível regional e municipal sobre o uso e cobertura do solo, possibilitando a identificação de todas as categorias de interesse: cerrado, água, pastagem, reflorestamento, outras culturas, instalação turística e areia.

O Sistema de Informação Geográfica IDRISI 32 correspondeu positivamente aos objetivos da pesquisa, pois possui todos os componentes necessários para a elaboração do mapeamento espaço-temporal do uso e cobertura do solo por meio de dados de sensores remotos: realce, correção geométrica e classificação digital das imagens de satélite; correção geográfica do mapeamento produzido pela fotointerpretação; análises espaço-temporais do uso e cobertura do solo; edição e finalização dos mapas temáticos.

A técnica HSI, que uniu a resolução espacial da banda 8 (15 metros) à resolução espectral das bandas 3, 4, e 5, foi determinante para a melhor definição das amostras de treinamento para a classificação digital supervisionada, bem como para a definição das categorias de uso e cobertura do solo. A imagem HSI auxiliou na digitalização das instalações turísticas, juntamente com o trabalho de campo, importantíssimo na fase da classificação digital supervisionada.

A imagem Índice de Vegetação auxiliou no mapeamento da vegetação, na medida em que por meio da observação da biomassa vegetal foi possível identificar as áreas remanescentes de cerrado.

O método utilizado para a correção geométrica das imagens de satélite e do mapeamento produzido pela fotointerpretação (linear do vizinho mais próximo),

alcançou resultados satisfatórios, produzindo imagens com reduzidos valores de RMS, ou seja, precisas e confiáveis.

Na classificação digital supervisionada das imagens a definição de vários "subtipos" de amostras de treinamento para as categorias de uso e cobertura do solo, de acordo com a variabilidade espectral de cada uma, produziu mapeamentos mais precisos e com menores erros de omissão e inclusão e valores satisfatórios de Kappa.

A elaboração de matrizes de erro para avaliar o desempenho dos algoritmos Máxima Verossimilhança, Mínima Distância e Paralelepípedo possibilitou o cálculo da exatidão global e por categorias (erros de inclusão e omissão e exatidão do usuário e produtor), e também o cálculo do Índice de Concordância de Kappa global e também para cada categoria. Por meio desta análise foi possível a escolha do melhor algoritmo de classificação para a área de estudo, bem como avaliar o mapeamento da classificação escolhida.

Sugere-se a elaboração de matrizes de erro para avaliar o desempenho dos algoritmos de classificação digital e de mapeamentos produzidos por dados de sensores remotos, como fotografias aéreas e imagens de satélite.

O mapa de uso e cobertura do solo produzido pelo algoritmo Máxima Verossimilhança, quando se especificou previamente a probabilidade de ocorrência de cada uma das categorias (MAXLIKE/EP), alcançou o maior valor de exatidão global e o maior valor do Índice de Kappa global.

Pode-se inferir que a especificação prévia da probabilidade de ocorrência de cada categoria de uso e cobertura do solo no processo de classificação pelo algoritmo MAXLIKE produz valores de exatidão global e de KIA superiores às demais classificações.

Os mapas de uso e cobertura do solo produzidos pelos algoritmos MAXLIKE/EP, MAXLIKE/IP e MINDIST/NI alcançaram valores de exatidão global superiores ao valor requerido para a maioria das aplicações. Nesses casos, para estes mapeamentos, os usuários terão um mínimo de confiabilidade e precisão, de forma global.

Quanto à exatidão da categoria cerrado, os mapeamentos produzidos pelos algoritmos Máxima Verossimilhança e Mínima Distância (quaisquer das

especificidades) podem ser utilizados, pois alcançaram o mínimo de exatidão requerido e valores do Índice de Kappa satisfatórios.

Os mapeamentos produzidos pelo algoritmo Paralelepípedo para o cerrado não devem ser utilizados, pois apresentaram valores de exatidão muito inferiores ao mínimo requerido.

No mapeamento para a categoria água o usuário deverá, preferencialmente, analisar os mapas produzidos pelos algoritmos Máxima Verossimilhança e MINDIST/RI, que apresentaram valores de exatidão muito satisfatórios.

No interesse pela categoria pastagem o usuário deverá dar preferência aos algoritmos Máxima Verossimilhança e Mínima Distância, seja qual for a especificidade, pois a exatidão destes mapeamentos é superior aos demais.

A categoria outras culturas foi a que apresentou os menores valores de exatidão, fato que se explica em decorrência do reduzido número de amostras coletadas (um pixel) para esta categoria para a verificação da verdade terrestre. Portanto, a categoria outras culturas alcançou melhores resultados no mapeamento produzido pelo algoritmo MINDIST/NI, mapeamento este que o usuário deverá analisar.

O usuário que necessitar utilizar o mapeamento para a categoria reflorestamento deverá optar pelo mapeamento produzido pelo algoritmo MAXLIKE/EP, que atingiu maior exatidão.

Para a categoria areia a maior exatidão e os maiores valores de Kappa ocorreram nos mapeamentos produzidos pelo algoritmo Máxima Verossimilhança.

As instalações turísticas apresentaram valores máximo de exatidão e de Kappa devido ao método de digitalização adotado. O método justifica-se pela grande heterogeneidade da categoria, e pelo objetivo da pesquisa. No entanto, sugere-se que para uma análise mais detalhada sobre esta categoria, como a identificação do número de casas e lotes dos loteamentos e condomínios de segundas residências, utilize-se imagens com superior resolução espacial.

Considerando a exatidão global e o Índice de Kappa global para o mapeamento como um todo; o Índice de Kappa, a exatidão do produtor e os erros de omissão para a categoria cerrado, definiu-se a classificação produzida pelo algoritmo MAXLIKE/EP para representar o uso e cobertura do solo em 2003 nas

Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, e para as análises espaço-temporais subseqüentes a classificação digital.

No uso e cobertura do solo de 1972, concluiu-se que a pastagem, o reflorestamento e as outras culturas eram as atividades antrópicas predominantes na área. Dentre estas categorias, a pastagem era a mais representativa, ocupando metade da área. Os demais usos, tais como o reflorestamento e as outras culturas representavam apenas áreas menores e isoladas. As áreas de cerrado ocupavam praticamente um quarto da área e a lâmina d'água, juntamente com rios, ribeirões e córregos cobriam também outro quarto das terras.

A categoria areia não foi mapeada em 1972 pela ausência de praias no entorno do reservatório na época da tomada das fotografias aéreas. A categoria instalação turística não foi mapeada em 1972, pois naquela época a atividade turística não era desenvolvida na região.

O estudo da evolução espaço-temporal do uso e cobertura do solo revelaram que as atividades antrópicas continuaram a predominar na área de estudo em 2003. A pastagem permaneceu a atividade antrópica predominante, seguida pela instalação turística, reflorestamento e outras culturas.

Dentre as atividades antrópicas, o reflorestamento apresentou a maior taxa de variação no período de 1972 a 2003, se expandindo, principalmente, em áreas onde ocorria pastagem, outras culturas e cerrado.

As áreas ocupadas pela categoria outras culturas diminuíram praticamente pela metade em 2003 e foram substituídas por pastagem, cerrado, reflorestamento, água e areia.

A área ocupada pela categoria água foi reduzida em 2003 principalmente em decorrência da diminuição do nível do reservatório no período de seca, propiciando o aparecimento de áreas de areia, formando praias em praticamente todo o entorno do reservatório. A água foi substituída, principalmente, por pastagem, areia, cerrado, instalação turística, outras culturas e reflorestamento.

É importante ressaltar que a categoria areia e água apresentam variação espacial sazonal, ou seja, decorrente das mudanças no nível da água do reservatório durante o período de seca e de cheia.

As áreas de cerrado diminuíram em 2003 e foram substituídas,

principalmente, por pastagem, e em menor proporção por instalação turística, reflorestamento, outras culturas, água e areia.

As pastagens, uso predominante na área, diminuíram e foram substituídas por cerrado, instalação turística, reflorestamento, outras culturas, água e areia.

Portanto, a evolução espaço-temporal do uso e cobertura do solo nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, no período de 1972 a 2003, indicou a expansão das áreas de reflorestamento e das instalações turísticas. No entanto, esses usos ainda não se constituem nas atividades antrópicas predominantes na área.

O Índice de Concordância de Kappa entre os mapeamentos de 1972 e 2003 indicou que, de uma maneira geral, as categorias de uso e cobertura do solo apresentaram uma correlação espacial média (intermediária entre a alta e a baixa correlação espacial) no período estudado.

A categoria que apresentou a maior correlação espacial foi a água, que foi a categoria que se manteve mais estável.

As categorias cerrado e pastagem apresentaram uma correlação que pode ser considerada como média. No período de 1972 a 2003 ambas apresentaram mudanças espaciais, passando a ocorrer em determinadas áreas em 2003 que não eram as mesmas áreas de ocorrência em 1972.

As categorias reflorestamento, outras culturas, instalação turística e areia não apresentaram nenhuma correlação espacial, o que indicou que as áreas de ocorrência destas categorias em 2003 possuem localização espacial totalmente diferente das áreas onde ocorriam em 1972.

O reflorestamento se expandiu e substituiu áreas de pastagem, outras culturas e cerrado. As outras culturas, que foram suprimidas em 2003, passaram a ocupar áreas também espacialmente (de localização) diferentes das que ocupavam em 1972.

A instalação turística passou a representar uma categoria de uso do solo de relevante interesse, uma vez que a atividade turística na área passou a se desenvolver mais significativamente nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, a partir de 1980, substituindo em 2003 outros usos e coberturas do solo.

As instalações turísticas estão concentradas na porção oeste das Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, na região de entorno do reservatório de Jurumirim. A maior concentração desta categoria na porção oeste da área de estudo da Estância Turística de Avaré se deu pela proximidade da rodovia João Melão (SP-255) e da ponte Carvalho Pinto.

As instalações turísticas se desenvolveram, principalmente, em áreas de ocorrência de pastagens. No entanto, área de remanescentes de cerrado e de outras culturas também tiveram suas áreas substituídas pela atividade turística. As áreas ocupadas por reflorestamento não sofreram supressão de suas terras para a implantação das instalações turísticas.

Quanto aos loteamentos e condomínios visitados, constatou-se que a maioria possui infra-estrutura dotada de água, energia elétrica e portaria para o controle da entrada e saída de condôminos e visitantes. Alguns possuem também rampas para embarcações, área de lazer gramada e playground; outros oferecem também piscinas, quiosques com churrasqueiras, quadras de vôlei, vestiários, restaurantes, dentre outros serviços.

O tamanho dos lotes e das segundas residências dos loteamentos e condomínios são variados; vários lotes e edificações se estendem até as margens do reservatório de Jurumirim.

Em alguns empreendimentos há falta de manutenção, como ausência de roçadas dos lotes e abertura de ruas, o que possibilitou o crescimento da vegetação de cerrado em alguns loteamentos e condomínios.

Apesar do grande número de lotes dos empreendimentos, a taxa de ocupação é baixa, o que representa uma demanda potencial considerável por segundas residências.

No referente aos hotéis, a Estância Turística de Avaré possui uma rede hoteleira diversificada, com três hotéis localizados às margens do reservatório de Jurumirim; representando uma significativa parcela da oferta turística da região.

A atividade turística na Estância Turística de Paranapanema está também concentrada na porção oeste da área de estudo, no entorno do reservatório de Jurumirim. Nesta região foram identificados loteamentos de residências secundárias, hotel, camping e algumas áreas de lazer.

É na Estância Turística de Paranapanema que se concentram os maiores loteamentos e condomínios de segundas residências e hotel. A área ocupada por estes empreendimentos oferece o dobro de lotes dos que são oferecidos na Estância Turística de Avaré.

Apesar do grande número de lotes vagos e à venda nos loteamentos e condomínios de residências secundárias localizados às margens do reservatório, tanto na Estância Turística de Avaré quanto na de Paranapanema, as instalações turísticas estão se expandindo. O potencial destes loteamentos para a demanda por segundas residências é enorme. No entanto, atualmente a taxa de ocupação dos lotes é baixa.

Conclui-se que as instalações turísticas vêm se desenvolvendo em áreas de pastagem e, portanto, constituem-se de áreas ideais para a expansão das instalações turísticas, que devem continuar sua evolução sem desmatar as áreas remanescentes de cerrado.

Conclui-se que o turismo nas Estâncias Turísticas de Avaré e Paranapanema, bem como no reservatório de Jurumirim, é uma atividade em franca expansão e desenvolvimento. A recente denominação dos municípios como Estância Turística certamente trará benefícios para toda a região.

O monitoramento da paisagem e da dinâmica do uso e cobertura do solo da região deve ser feito periodicamente para que se possa avaliar a expansão das instalações turísticas e do turismo na área do reservatório e nas proximidades dos fragmentos de cerrado.

O crescimento desorganizado e não planejado da atividade turística na região pode levar a degradação do ambiente, como a poluição das águas e assoreamento do reservatório de Jurumirim; desmatamento das áreas remanescentes de cerrado, das matas de galeria e das áreas de manancial; escassez de terras férteis; especulação imobiliária; descaracterização cultural; queda da qualidade de vida da população e dos serviços oferecidos.

Iniciativas particulares para a conservação do cerrado da região é imprescindível para a manutenção da biodiversidade ali existente, bem como para a manutenção dos mananciais e da atividade turística, uma vez que a área estudada possui fragmentos representativos de cerrado.

O planejamento do turismo é muito importante para o desenvolvimento da atividade frente aos recursos naturais e culturais, na medida em que se busca o desenvolvimento sustentável do turismo e da região.

A metodologia apresentada neste trabalho mostrou-se eficiente para o estudo da atividade turística da região. A precisão, confiabilidade e periodicidade dos dados obtidos por sensores remotos e a implementação destes dados em SIG tornam estas ferramentas muito eficientes para o gestão e planejamento do uso e cobertura do solo e do turismo na região.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

AB'SABER, A. **Contribuição à geomorfologia da área dos cerrados.** In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 1971, São Paulo: Ed. Edgard Blücher LTDA. p.99-103.

ALONSO, M.T.A. Vegetação: cerrado. In: GEOGRAFIA DO BRASIL (REGIÃO SUDESTE), IBGE- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria Técnica. **Geografia do Brasil.** Rio de Janeiro: SERGRAF. v.3, p.100-103. 1977.

ALVES, J.P.; TEOTIA, H.S. Avaliação de TM-Landst-5 para capacidade de uso da terra no Estado da Paraíba. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4, 1986, Gramado-R.S. **Anais.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. p.237-238.

ALVES, M. G.; BARROSO, J. A.; RAMOS, I. S.; PACHECO, L. A. Espacialização dos principais pontos para o desenvolvimento do turismo geológico-ecológico do município de Campos dos Goytacazes, RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. p. 537-541. CD-ROM.

ANDERSON, J.R.; HARDY, E.E.; ROACH, J.T.; WITMER, R.E. **Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos.** Rio de Janeiro: IBGE. 78 p., 1979.

ANDRADE, E. L.; CALHEIROS, S. Q. C. Áreas potenciais para o turismo no litoral sul alagoano. Uma análise preliminar por geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. p.543-550. CD-ROM.

AOKI, H. et al. Perfil do usuário da trilha do Ribeirão Lageado da Floresta Estadual de Avaré. In: SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Reunião sobre pesquisa ambiental na SMA**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, p. 172, 1998.

ARONOFF, S. Comparison of sampling procedures and data analysis for a land-use and land-cover map. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.47, n.9, p. 1349, 1981.

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

ASSAD, M.L.L.; HAMADA, E.; CAVALIERI, A. Sistema de informações geográficas na avaliação de terras para agricultura. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: Embrapa - SPI, 1998. Cap. 11, p. 191-232. 1998.

AULICINO, M.P. Algumas implicações da exploração turística dos recursos naturais. In: RODRIGUES, A.B. (Org.). **Turismo e Ambiente. Reflexões e Propostas**. São Paulo: Editora Hucitec, 1997.

BARBOSA, A.M.; SOARES, J.V.; MEDEIROS, J.S. Utilização de sistemas de informações geográficas e produtos de sensoriamento remoto como subsídio para planejamento em ecoturismo no município de Capitólio, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. p. 551-558. CD-ROM.

BARGUIL, S.R. **Geoprocessamento aplicado ao monitoramento de cerrado: um estudo de caso na porção noroeste da APA Corumbataí, SP**. 1998. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

BARRETTO, M. **Planejamento e organização em turismo**. 7. ed. Campinas: Papirus, 101p., 2002.

BERTOLAMI, M.A. **Impactos acumulativos e análise geográfica temporal no planejamento do uso da terra. Caso de estudo: Bacia do Ribeirão Claro (SP)**. 1997. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

BIAZON, M.M. **Análise comparativa entre fotografias aéreas , imagens de radar e de satélite, no levantamento do uso da terra: o exemplo de Avaré (SP)**. 1981. São Paulo. 116p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BITTENCOURT, M.D.; MESQUITA Jr, H.N.; MANTOVANI, W.; BATALHA, M.A.; PIVELLO, V.R. Identificação de fisionomias de cerrado com imagem índice de vegetação. In: LEITE, L.L.; SAITO, C.H. **Contribuição ao conhecimento ecológico do cerrado**. Brasília: Universidade de Brasília, 1997.

BRANCO, S.M.; ROCHA, A.A. **Poluição, proteção e usos múltiplos de represas**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 185 p., 1977.

BRUNA, G.C. Aspectos econômicos e sociais da utilização da água doce no ecoturismo. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. p. 653-668, 1999.

BORTOLOZZI, A.M.P. (1998). **Análise do uso das terras da Bacia do Ribeirão Pederneiras (SP) através de técnicas automatizadas**. 1997. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Bauru.

BRITES, R.S.; SOARES, V.P.; RIBEIRO, C.A.A.S. Efeitos da estratégia de amostragem na exatidão reportada pelo índice de kappa na classificação de imagens orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais** (CD-ROM).

BRUM, E.R.; FERREIRA, E.A.; FREITAS, J.R.D.; LEONARDI, L.; COVRE, M.; STEPHAN, T.; PEREIRA FILHO, W. (1990). Mapeamento e análise temporal do uso da terra no entrono do reservatório de Sobradinho. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., 1990, Manaus. **Anais**. p.861-870.

BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems of land resources assessment**. New York: Oxford University Press Inc. 194 p., 1996.

CÂMARA, G., MEDEIROS, J.S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 1996.

\_\_\_\_\_. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: Embrapa- SPI, p.3-11, 1998.

CAMPBELL, J. **Map use and analysis**. Parkside: University of Wisconsin. Wm.C.Brown Publishers. 418 p., 1991.

CASTRO, A.G. **Técnicas de sensoriamento remoto e sistemas geográficos de informações no estudo integrado de bacias hidrográficas**. 1992. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos.

CECCATO, V.A. **Proposta metodológica para avaliação de qualidade de vida urbana a partir de dados convencionais e de sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas e banco de dados georrelacional**. 1994. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid : Ed. Rialp S.A. 568 p., 2000.

CONGALTON, R.G.; ODERWALD, R.O.; MEAD, R.A. **Assessing landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques**. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.49, n.12, p. 1671-1678, 1983.

CONTI, J.B. A natureza nos caminhos do turismo. In: RODRIGUES, A.B. (Org.). **Turismo e Ambiente. Reflexões e Propostas**. São Paulo: Editora Hucitec, 1997.

COSTA, S.M.F.; CINTRA, J.P. Environmental analysis of metropolitan areas in Brazil. **Photogrammetric & Remote Sensing**, v.54, p.41-49, 1998.

COUTINHO, L.M. O cerrado e a ecologia do fogo. **Ciência Hoje**, v.12, n.68, p.23-30, 1990.

CRISCUOLO, C.; VASCONCELOS, C.H.; SILVA, J.S.V.. Uso e ocupação da terra em 1965 e 1998. In: ESPÍNDOLA, E.L.G.; SILVA, J.S.V.; MARINELLI, C.E.; ABDON, M.M. (Org.). **A bacia do rio do Monjolinho: uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar**. São Carlos: RIMA Editora. p.104-113, 2000.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas, SP: IG/ UNICAMP, 170p, 1992.

CRUZ FILHO, J. **Dossiê completo do aspecto histórico, geográfico, econômico e turístico do Município de Avaré**. Avaré: Secretaria Municipal de Turismo, SP, 1998.

CRUZ, S.H. Estudo dos impactos do turismo na praia de pesqueiro (Ilha de Marajó - PA). In: PRIMEIRO ENCONTRO NACIONAL DE TURISMO COM BASE LOCAL. **Resumos**. FFLCH, USP. p. 45-46, 1997.

DELFINO, R. Delícias de verão. **Veja**, São Paulo, 4 dez. 1991. *Veja Interior*, p.8-12.

DIAS, R. **Planejamento do turismo: política e desenvolvimento do turismo no Brasil**. São Paulo: Atlas, 2003.

DICKS, S.E.; LO, T.H.C. (1990). Evaluation of thematic map accuracy in a land-use and land-cover mapping program. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.56, n.9, 1247-1252, 1999.

DUPAS, F.A. **Geoprocessamento aplicado à avaliação da dinâmica ambiental de projeto de mineração na Amazônia: estudo de caso da Mina Pitinga**. 1997. 238 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

EASTMAN, J.R. Idrisi for Windows – Version 32. **Guide to GIS and image processing**. Clark Labs. Clark University. Worcester, MA, USA. v. 2. 169 p., 1999.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, n.2, p. 201-341, 1972.

EITEN, G. **Classificação da vegetação do Brasil**. Brasília: CNPQ. 305p, 1983.

FERREIRA, M.C. Mapeamento de unidades de paisagem em sistemas de informação geográfica: alguns pressupostos fundamentais. **Geografia**, Rio Claro, v.22, n.1, p.23-35, 1997.

FISCHER, M. V.; SOARES, L.R.S.B.; FRANZ, L.M.B.. Utilização de imagens TM-Landsat na análise da dinâmica de ocupação do solo do Distrito Federal. In: ENCONTRO NACIONAL DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO PLANEJAMENTO MUNICIPAL, 2., 1991, Serra Negra, SP. **Anais**. p.129-134.

FITZPATRICK-LINS, K. Comparison of sampling procedures and data analysis for a land-use and land-cover map. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.47, n.3, p. 343-351, 1981.

FLORENZANO, T.G.; SÁNCHEZ, Z.R.R.; NOVO, E.M.L.M.; FORESTI, C. Classificação digital de dados do TM-Landsat na discriminação de classes de uso do solo. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4, 1986, Gramado, RS. **Anais**. p.189.

FLORES, L.A.; MARTÍNEZ, L.I. Land cover estimation in small areas using ground survey and remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v.74, p.240-248, 2000.

FORESTI, C. & CECCATO, V.A. Aspectos da gestão urbana e qualidade de vida analisados com utilização de sensoriamento remoto. In: TAUKE-TORNISIELO, S.M.; GOBI, N.; FORESTI, C.; LIMA, S.T. (Org.), **Análise ambiental: estratégias e ações**. São Paulo: T.A. Queiroz/ Fundação Salim Farah Maluf, Rio Claro, SP: Centro de Estudos Ambientais – UNESP, 381 p., 1995.

FORESTI, C. & HAMBURGER, D.S. (1997). Informações texturais e índices de vegetação obtidos de imagens orbitais como indicadores de qualidade de vida urbana. In: MAIA, N.B.; MARTOS, H.L. (Coords.). **Indicadores ambientais**. Sorocaba: s.n., 266 p.

FORESTI, C.; HAMBURGER, D.S. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do uso do solo urbano. In: TAUKE-TORNISIELO, S.M. (Org.). **Análise ambiental: uma visão multidisciplinar**. São Paulo: Ed. UNESP, p.245-256, 1991.

FORTES, P.T.F.O.; GONÇALVES, L.C.; LAZARIN, F.A.; NASCIMENTO, R.S. Aplicação e integração de geotecnologias no apoio ao geoturismo e educação ambiental no município de Cavalcante, Chapada dos Veadeiros, GO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. p. 567-574. CD-ROM.

GALO, M.L.B.T. **Aplicação de redes neurais artificiais e sensoriamento remoto na caracterização ambiental do Parque Estadual Morro do Diabo**. 2000. 250 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

GENDEREN, J.L. VAN; LOCK, B.F. Testing land-use map accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 43, n.9, p. 1135-1137, 1997.

GONG, P.; HOWARTH, P.J. An assessment of some factors influencing multispectral land-cover classification. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 56, n. 5, p. 597-603, 1990.

GOODLAND, R.J.A. **Ecologia do cerrado**. Belo Horizonte: Ed. Itatiaia, São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 193 p, 1979.

GROSSI, G.P. Aqui o verão é mais gostoso. **Veja**, São Paulo, 17 fev.1999. Veja São Paulo, p.10 -15.

GUIAVARÉ. Avaré: O Avaré Editora e Gráfica Ltda, Ano 2, n.2, Edição 2000/2001.

GUIAVARÉ. Avaré: O Avaré Editora e Gráfica Ltda, Ano 1, n.1, dez 1999.

GUTBERLET, J. **Desenvolvimento desigual: impasses para a sustentabilidade**. São Paulo: Fundação Konrad-Adenauer-Stiftung, 108 p., 1998.

HAACK, B.; BECHDOL, M. Multisensor remote sensing data for land use/cover mapping. **Comput., Environ. and Urban Systems**, v.23, p.53-69, 1999.

HAGAN, J.E., EASTMAN, J.R. & AUBLE, J. **CartaLinx – The spatial data builder. User's Guide.** Version 1.0. USA, MA, Worcester: Clark Labs, Clark University. 197 p., 1998.

HAY, A.M. Sampling designs to test land-use map accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 45, n. 4, p. 529-533, 1979.

HENRY, R. Ecologia da Represa de Jurumirim. In: SIMPÓSIO ECOLOGIA DE RESERVATÓRIOS: ESTRUTURA, FUNÇÃO E ASPÉCTOS SOCIAIS, 1998, Botucatu, p. 42-43.

HENRY, R.; NOGUEIRA M.G. **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais.** Botucatu: FUNDIBIO: FAPESP, 800 p., 1999.

HORD, R.M. Land-use map accuracy criteria. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 42, n. 5, p. 671-677, 1976.

HORD, R.M. **Remote sensing: methods and applications.** New York: Wiley-Interscience Publication. 362 p., 1986.

HUDSON, W.D.; RAMM, C.W. Correct formulation of the kappa coefficient of agreement. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 53, n. 4, p. 421-422, 1987.

HUECK, K. **As florestas da América do Sul: ecologia, composição e importância econômica.** São Paulo: Polígono, Ed. da Universidade de Brasília. 466 p., 1972.

IBAÑEZ, M.P.; MASCARO, S.A. O potencial turístico no bairro de Holambra II, na Estância Turística de Paranapanema, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE TURISMO RURAL, 4., 2003, Piracicaba. **Anais.** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2003. p. 339-345.

IBGE- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Série manuais técnicos em geociências. Rio de Janeiro, n. 1, 92 p., 1992.

IPT- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. 1: 100.000. Volume I, SP, 1981 a.

IPT- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. 1: 100.000. Volume I, SP, 1981 b.

IRVING, M.A. Turismo e ética: premissa de um novo paradigma. In: CORIOLANO, L.M.N.T. (Org.). **Turismo com ética**. Fortaleza: UECE. p.32-42, 1998.

JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. New Jersey, 2. ed., 318 p., 1996.

KÖFFLER, N.F. Técnicas de sensoriamento remoto orbital aplicadas ao mapeamento da vegetação e uso da terra. **Geografia**, Rio Claro, v. 17, p. 1-26, 1992.

KRONKA, F.J.N.; NALON, M.A.; GUILLAUMON, J.R.; MATSUKUMA, C.K.; PAVÃO, M.; SHIN-IKE YWANE, M.S.; LIMA, L.M.P.R.; KANASHIRO M.M.; BARRADAS, A.M.F.; SHIDA, C.N.; PIRES, A.S; BORGGO, S.; VILELA, F.E.S.P. Uso de técnicas de geoprocessamento no levantamento da vegetação e suporte às unidades de conservação. In: SEMINÁRIO EM GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS, 2., 2001, Rio Claro, Universidade Estadual Paulista.

KRONKA, F.J.N; NALON, M.A.; MATSUKUMA, C.K. **Áreas de domínio de cerrado no Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente. 84 p., 1998.

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

LIOUBIMTSEVA, E.; DEFOURNY, P. GIS-based landscape classification and mapping of European Russia. **Landscape and Urban Planning**, v. 44, p. 63-75, 1999.

LOMBARDO, M.A.; CASELLA, L.L.C. Turismo ambiental: o caso de Bombinhas (SC). In: RODRIGUES, A.B. (Org.) **Turismo e ambiente. Reflexões e propostas**. São Paulo: Editora Hucitec, 1997.

LORENTZ, L.F.; CALIJURI, M.L.; CALIJURI, M.C. Análise da Bacia Hidrográfica da represa de Jurumirim (SP) com o uso de SIGs. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO, 2., 1996, Curitiba. **Anais**. p.783-791.

MARINELLI, C.E.; LEITE, M.A. Panorama científico, turístico e a inserção da política regional no uso e no aproveitamento da Represa do Lobo (Broa), SP, Brasil. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL REPRESA DO LOBO-BROA-30 anos de pesquisa em limnologia, gerenciamento e participação da comunidade e bases científicas para o gerenciamento da eutrofização. **Resumos**. São Carlos, SP, 2000.

MARQUELLI, M.H. et al. Base para um manejo racional de reservatórios In: LIMNOLOGIA E MANEJO DE REPRESAS. Série monografias em limnologia, v. 1, 1988.

McCLOY, K.R. **Resource management information systems - process and practice**. London: Taylor & Francis Ltd. 415 p., 1995.

MELLO FILHO, L.E. Uma visão dos cerrados. In: MONTEIRO, S.; KAZ, L. (Coords.). **Cerrado: vastos espaços**. Rio de Janeiro: Editora Alumbamento/ Livroarte Editora, 256 p., 1992-1993.

MENK, W.C. **Dossiê completo do aspecto histórico, geográfico, econômico e turístico do Município de Paranapanema**. Paranapanema: Secretaria Municipal de Esporte e Turismo, Paranapanema, SP, 1998.

MESQUITA JUNIOR, H.N. **Análise temporal com sensor orbital de unidades fisionômicas de cerrado na Gleba Pé-de-Gigante (Parque Estadual de Vassununga – SP)**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

MINISTÉRIO DO TURISMO. **Plano Nacional Do Turismo: Diretrizes, Metas e Programas (2003-2007)**. 48 p., 2003, disponível em [www.turismo.gov.br](http://www.turismo.gov.br)

MOLLER-JENSEN, L. Classification of urban land cover based on expert systems, object models and texture. **Comput. Environ. And Urban Systems**, v. 21, n. 3/4, p. 291-302, 1997.

MOREIRA, A.A.N.; CAMELIER, C. Relevo - os grandes domínios morfoestruturais do interior. In: GEOGRAFIA DO BRASIL (REGIÃO SUDESTE). IBGE- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria Técnica. **Geografia do Brasil**. Rio de Janeiro: SERGRAF. v.3, p. 20, 1977.

NOGUEIRA, M.G. **Composição, abundância e distribuição espaço-temporal das populações planctônicas e das variáveis físico-químicas na Represa de Jurumirim, Rio Paranapanema, Estado de São Paulo**. 1996. 439 f. Tese (Doutorado) - Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Universidade de São Paulo, São Carlos.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 308 p., 1998.

PEIXOTO, A.L.; CORADIN, L. Vegetação dos cerrados. In: MONTEIRO, S.; KAZ, L. (coords.). **Cerrado: vastos espaços**. Rio de Janeiro: Editora Alumbamento/Livroarte Editora, 256 p., 1992-1993.

PEREIRA, R.S. Levantamento do uso da terra com imagens TM-Landsat-5, sua quantificação e distribuição espacial. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4., 1986, Gramado, RS. **Anais**. p. 243.

PEREIRA, M.N.; KURKDJIAN, M.L.N.O.; FORESTI, C. **Cobertura e uso da terra através de sensoriamento remoto**. São José do Campos, Publicação nº 5032-mb/ 042. SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 126 p., 1989.

PIÃO, A.C.S. **Transporte de nitrogênio, fósforo e sedimentos pelo ribeirão dos Carrapatos (Município de Itai, SP), sua relação com uso do solo e outros impactos antropogênicos e a sua deposição no braço Taquari**. 1995. Tese (Doutorado) - Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, EESC, USP, São Carlos.

PIRES, P. S. A paisagem litorânea como recurso turístico. In: EDUARDO YÁZIGI (Coord.). **Turismo: espaço, paisagem e cultura**. São Paulo: Ed. Hucitec, 1996.

PIVELLO, V.R.; BITENCOURT, M.D.; MANTOVANI, W.; MESQUITA JUNIOR, H.N.de; BATALHA, M.A.; SHIDA, NAGAKO, C. Proposta de Zoneamento Ecológico para a Reserva de Cerrado Pé-de-Gigante (Santa Rita do Passa Quatro, SP), **Brazilian Journal of Ecology**, Rio Claro, SP, Brasil.

PONZONI, F.E.; ALMEIDA, E.S. A estimativa do parâmetro kappa (k) da análise multivariada discreta no contexto de um sig. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1996. **Anais**. Salvador, BA.

PRADO, R.B.. **Metodologia para determinação da influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água: estudo no Médio Rio Pardo-SP (período de 1985-1997)**. 1999. 209 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, EESC, USP, São Carlos.

QUEIROZ, O.T.M.M. & VENÂNCIO, N.F. Turismo e meio ambiente na represa do Lobo (Itirapina, SP): a dinâmica da ocupação espacial. In: VASCONCELOS, F.P. (org.). **Turismo e meio ambiente**. Fortaleza: UECE. p.302, 1998.

QUINTELA, M.F.S.; SILVA, J.X. Avaliação da mudança de uso da terra no período de 1953 a 1970, com utilização de fotografias aéreas e geoprocessamento. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4., 1986. Gramado, RS. **Anais**. p. 99 -100.

REIS, R.S.; CASSIANO, A.M. ; ESPÍNDOLA, E.L.G. Aspectos sedimentológicos e sua relação com a qualidade da água na Represa do Lobo, SP. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL REPRESA DO LOBO – BROA - 30 anos de pesquisa em limnologia, gerenciamento e participação da comunidade e bases científicas para o gerenciamento da eutrofização. **Resumos**. São Carlos, SP, p.39, 2000.

RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**. São Paulo: Ed. Hucitec: Ed. da Universidade de São Paulo. 374 p., 1979.

ROSA, R. A. Utilização de imagens TM- Landsat em levantamento do uso do solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., 1990, Manaus. **Anais**. p.419-425.

ROSENFELD, G.H. Analysis of thematic map classification error matrices. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 52, n. 5, p. 681-686, 1986.

ROSENFELD, G.H.; FITZPATRICK-LINS, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 52, n.2, p. 223-227, 1986.

RUSCHMANN, D.v.M. Planejamento e ocupação do território através da expansão da atividade turística: condicionamentos básicos a partir da questão ambiental. In: RODRIGUES, A.B. (Org.). **Turismo e Ambiente. Reflexões e Propostas.** São Paulo: Editora Hucitec, 1997.

RUSCHMANN, D.v. M. **O planejamento do turismo e a proteção do meio ambiente.** 1994. Tese (Doutorado) Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SANTOS, M.L.M.; BROWN, I.F. Interpretação de imagens de satélite e fotografias aéreas para mapeamento e monitoramento do uso da terra em duas comunidades do rio Capim- Paragominas-Pará-Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, 1993, Curitiba. **Anais.** p.188-191.

SÃO PAULO. **Cerrado: bases para conservação e uso sustentável das áreas de cerrado do Estado de São Paulo.** São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 1997, 113 p. (Série PROBIO/SP).

SHIMABUKURO, M.T.; JOLY, C.A.; CRÓSTA, A.P.; SILVA, A.B. Aplicações de técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica para o estudo de microbacias- o caso do córrego do Gouveia, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais.** v. IV, p. 273-277.

SILVA, J.A.; SILVA, D.B.; JUNQUEIRA, N.T.V.; ANDRADE, L.R.M. **Frutas nativas do cerrado.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Brasília: EMBRAPA-CPAC: EMBRAPA-SPI. 166 p., 1994.

SIMI, R.; SIMI JUNIOR, R.; RECH, J. V.; ANJOS, F. A. Avaliação ambiental da porção sul de balneário Camboriú em Santa Catarina, através de imagens orbitais, em escalas 1:20.000 e 1:10.000, para fins de planejamento territorial costeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. p. 603-609. CD-ROM.

SOARES, L. R. S. B. et al. Informações para o planejamento urbano e regional do Distrito Federal e entorno: a ocupação do solo no Eixo Gama/ Luzitânia. In: ENCONTRO NACIONAL DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO PLANEJAMENTO MUNICIPAL, 2., 1991, Serra Negra. **Anais**, p.135-140.

STEHMAN, S.V. Comparison of systematic and random sampling for estimating the accuracy of maps generated from remotely sensed data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.58, n.9, p. 1343-1350, 1992.

STORY, M.; CONGALTON, R.G. Accuracy assessment: a user's perspective. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 52 n. 3, p. 397-399, 1986.

TABAKZENSKI, R.R. **Método de monitoramento ambiental para áreas especialmente protegidas**. 2000. 294 f. 294p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

THIAM, A. & EASTMAN, J.R. Vegetation Index. In: EASTMAN, J.R. **Guide to GIS and Image Processing. Guide to GIS and image processing**. Clark Labs. Clark University. Worcester, MA, USA. v. 2. p.107-122, 1999.

TULIK, O. Residências secundárias no Estado de São Paulo – Identificação de centros emissores de demanda. In: LAGE, B.H.; MILONE, P.C. (Org.) **Turismo: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, p. 196-205, 2000.

TUNDISI, J.G. (Coord.). **Tipologia de represas do Estado de São Paulo**. Escola de Engenharia Ambiental de São Carlos, USP, São Carlos, v.1, 72 p., 1980.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O.; ESPÍNDOLA, E.L.G. Represa do Lobo: 30 anos de pesquisa, gerenciamento e participação da comunidade. In: JORGENSEN, S.E.; VOLLENWEIDER, R.A. (Eds). **Diretrizes para o Gerenciamento**

**de Lagos.** v.1. Traduzido. Editor em Português: Tundisi, J.G. São Carlos: ILEC; IIE; UNEP. p. 171-75, 2000.

UNGARETTI, Gilberto. Avaré, uma represa tamanho família. **Offshore**, Rio de Janeiro, Ano VI, n.71, jan.1999.

VALÉRIO FILHO, M. Gerenciamento de bacias hidrográficas com aplicação de técnicas de geoprocessamento. In: TAUKE-TORNISIELO, S.M. (Org.). **Análise ambiental: estratégias e ações.** São Paulo: T.A. Queiroz, cap. 3, p. 135-139, 1995.

VASCONCELOS, F.P. Problemas ambientais e suas implicações no turismo de uma metrópole: o caso da cidade de Fortaleza (Ceará-Brasil). In: VASCONCELOS, F.P. (Org.). **Turismo e meio ambiente.** Fortaleza: UECE. p. 81-94, 1998.

VENTURIERI, A., SANTOS, J. R. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. **Sistemas de informação geográfica: aplicações na agricultura.** 2. ed. Brasília: Embrapa- SPI, cap. 18, p. 351- 371, 1998.

VIAJANDO: A REVISTA DE TURISMO DO INTERIOR. Avaré: VTB Editora, Ano 1, n.2, Agosto 2002 a.

VIAJANDO: A REVISTA DE TURISMO DO INTERIOR. Avaré: VTB Editora, Ano 1, n.1, Junho 2002 b.

WWF- FUNDO MUNDIAL PARA A NATUREZA. **De grão em grão, o cerrado perde espaço. (Cerrado- impactos do processo de ocupação).** Documento para discussão. 66 p., 1995.

ZOCCHI, P. Rio Paranapanema, da nascente a foz. **São Paulo:** Horizonte Geográfico, 130p., 2002.

## ANEXO 1

coordenadas imagem (antigas)		coordenadas carta (novas)		pontos omitidos e valores residuais
coluna	linha	x	y	
1653,744511	3592,768699	713156,3671	7432437,041	omitido
1413,751072	3189,293767	711602,332	7429842,002	2,303158
2878,428805	3738,3704	720958,6165	7433338,342	0,932512
2813,095804	3783,409358	720542,8858	7433601,745	2,213399
2717,499523	3809,370854	719935,2277	7433775,297	0,960188
2942,246142	3306,802635	721370,3516	7430603,805	1,205064
2636,929723	3320,755646	719413,2914	7430720,971	omitido
2312,322515	3122,828425	717364,8558	7429390,921	omitido
2567,509688	2977,175785	718981,7858	7428541,602	2,69477
2734,438543	2681,466112	720044,2372	7426698,282	omitido
2880,027158	2974,24185	721002,0134	7428536,251	omitido
792,553282	1269,825802	707687,2485	7417720,307	1,424776
2576,39078	1181,596114	719088,1907	7417212,588	omitido
2741,571336	1064,20725	720127,5423	7416467,824	1,607211
4070,473394	1096,367561	728602,8281	7416682,21	1,216621
3821,985478	1140,104566	727025,6386	7416974,901	2,819791
669,332714	981,389423	706892,605	7415894,625	0,664813
766,631048	377,486443	707536,0466	7412091,527	1,776724
1250,087539	385,596111	710614,0629	7412122,834	omitido
1847,41668	474,53241	714405,9303	7412719,417	2,505588
2678,899545	792,885277	719719,2046	7414744,003	0,963423
2547,975914	922,497633	718869,0655	7415514,562	omitido
3542,690933	606,938511	725243,7202	7413581,92	1,725475
3989,018376	787,689954	728071,5677	7414747,667	2,439966
3725,239011	489,32811	726472,0667	7412849,81	omitido
3724,384309	707,268293	726397,1344	7414224,826	0,573055

**RMS = 1.795708**

## ANEXO 2

coordenadas imagem (antigas)		coordenadas carta (novas)		pontos omitidos e valores residuais
coluna	linha	x	y	
1577,840975	3745,550091	726980,8321	7439684,121	1,434924
1665,846109	3766,023977	729625,5086	7440250,064	1,14886
1239,725775	3798,216274	716857,9496	7441271,037	1,794643
1183,090976	3826,666383	715163,7403	7442086,553	1,81451
1199,306189	3686,950259	715608,7126	7437879,972	0,857697
1220,996553	3628,365612	716242,6409	7435968,079	omitido
938,626235	3662,69863	707767,1807	7437091,304	3,16704
970,976709	3571,551319	708767,7282	7434405,647	1,435346
959,122889	3932,981332	708369,689	7445373,352	2,426726
1066,740035	3408,821333	711686,8797	7429525,558	2,17841
1339,280142	3528,64419	719756,3574	7433137,66	1,514626
1501,313821	3430,78583	724656,2715	7430206,624	0,369336
1597,669839	3520,01464	727394,7319	7432977,509	omitido
1323,746178	3826,145161	719275,0701	7442108,64	2,06589
928,842597	3865,795867	707532,6191	7443289,988	1,61311
1160,703242	4024,904323	714432,996	7448037,667	0,677523
1253,626652	4103,832658	717116,9613	7450257,952	omitido
1315,575592	4132,451491	724918,6096	7450199,816	omitido
1453,771037	4126,017785	723563,6038	7450266,628	omitido
1463,294531	4036,8694	723512,6086	7448492,204	2,872162
1442,33668	3963,020306	722849,6838	7446193,293	1,21101
1500,789049	3822,790143	724629,701	7441986,044	0,563255
1323,967089	3826,5888	719275,9627	7442111,026	2,115852
1354,56555	3689,748261	720209,5521	7437846,712	4,797978
1316,567889	3367,476156	719098,8012	7428307,423	0,8093
1241,279508	3504,202028	716957,9085	7432443,009	3,346873
1094,372297	3563,575283	712555,4245	7434066,542	omitido
1106,846841	3456,170872	712821,4329	7430963,049	0,503718
925,746358	3431,75973	707405,2757	7430246,527	0,236413
1090,567908	3739,746467	712426,3175	7439336,05	omitido
934,461106	2863,836684	707621,5366	7413252,153	2,653131
1035,810878	2911,505394	710647,5994	7414621,786	2,034893
1047,904253	2818,864965	710752,4878	7411553,882	omitido
1052,561582	2695,83797	711219,4491	7408139,515	0,186999
1360,925611	2481,567795	720478,6939	7401704,313	0,624248
1531,57403	2510,838736	725577,8105	7402541,951	0,727708
1582,602152	2589,160015	727121,366	7404903,94	0,365198
868,97636	2706,051678	705679,563	7408486,581	1,507471
905,875003	2578,788383	706881,4879	7404595,099	2,413103
934,538949	2484,269333	707690,6272	7401801,835	0,681756
999,344303	2989,135432	709646,5551	7416940,771	1,147193
1401,517468	2887,701239	721615,484	7413877,208	2,134542
1421,498219	3153,764657	722287,4586	7421864,071	0,687718
1373,366456	2565,559285	720803,7344	7404194,46	1,323144
1444,041462	2770,713458	716945,1456	7410425,227	omitido
1165,589784	2587,900758	714597,106	7404906,698	0,619184
1220,616816	2533,373747	716288,3223	7403240,764	1,062649
1365,237349	2702,458911	720557,4966	7408372,508	1,992631
1130,574383	2938,339774	713491,6584	7415433,309	2,019002
1490,359583	2980,789766	724353,7997	7416646,924	1,194566
1556,603667	2853,549485	726434,6129	7412841,632	3,481422
1547,375846	2791,326194	726068,3334	7410981,38	0,475185
1349,807297	2973,538791	720112,562	7416497,376	1,070159

RMS = 1.8229

## ANEXO 3

coordenadas imagem (antigas)		coordenadas carta (novas)		pontos omitidos e valores residuais
coluna	linha	x	y	
1974,618571	7885,235528	709263,4078	7445598,975	0,310801
2202,223192	8030,879207	712665,1816	7447780,147	0,664897
2478,944937	7596,399853	716833,2036	7441263,697	0,814485
2584,701994	7575,119028	718393,2241	7440928,155	omitido
2397,280862	7093,271398	715615,9836	7433650,463	omitido
2548,934907	7081,649027	717876,4371	7433513,761	0,411904
2700,053455	7045,556747	720135,5603	7432953,981	omitido
3283,172153	7027,109312	728894,9035	7432694,966	0,731605
3322,251955	7015,56555	729486,3473	7432506,068	0,306079
3288,714533	6906,946482	729011,4824	7430887,147	omitido
3271,617662	6526,367157	728725,4754	7425157,307	0,352312
3322,760468	6536,566751	729507,4287	7425281,582	omitido
3191,904857	5900,78256	727539,0011	7415769,166	0,388056
2794,902843	5936,26612	721587,3839	7416296,712	0,854954
2581,50968	5951,682819	718390,1288	7416535,203	1,030659
2310,956037	5973,641155	714351,1251	7416890,318	omitido
2036,822574	6014,856468	710244,8263	7417515,964	omitido
1731,404766	5988,902547	705633,7483	7417128,848	omitido
1861,368865	5608,27979	707574,4865	7411408,755	0,931842
2554,691807	5488,825569	717935,0124	7409591,005	omitido
2846,336653	5383,786891	722355,8932	7407996,174	0,573665
2975,311715	5479,124986	724278,037	7409426,499	0,791186
3185,073832	5431,829439	727429,4329	7408729,395	0,752767
1985,367903	5080,131233	709417,501	7403456,361	1,166038
1655,875618	5163,612868	704489,1653	7404735,148	1,121177
1810,198202	5157,046214	706818,8788	7404606,648	1,089485
2229,731461	5351,773587	713092,7831	7407520,552	1,057918
2975,567959	5240,29553	724274,0394	7405837,652	omitido
3312,077605	5344,787749	729344,9531	7407419,121	0,688105

**RMS = 0.789903**