

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
SUSTENTABILIDADE DE ECOSSISTEMAS

**USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DOS LAGOS CAJARI  
E FORMOSO, PENALVA-MA, APA BAIXADA MARANHENSE,  
E SUA INFLUÊNCIA NAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS**

Glaciane Penha Everton Miranda

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

São Luís - MA

2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA  
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
SUSTENTABILIDADE DE ECOSISTEMAS

**USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DOS LAGOS CAJARI  
E FORMOSO, PENALVA-MA, APA BAIXADA MARANHENSE,  
E SUA INFLUÊNCIA NAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS**

Glaciane Penha Everton Miranda

Dissertação apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-graduação em “Sustentabilidade de Ecossistemas” da Universidade Federal do Maranhão como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Sustentabilidade de Ecossistemas.

Orientadores: Prof. Dr. Ricardo Barbieri e  
Profa. Dra. Larissa Barreto

São Luís - MA

2006

Glaciane Penha Everton Miranda

**USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DOS LAGOS CAJARI  
E FORMOSO, PENALVA-MA, APA BAIXADA MARANHENSE,  
E SUA INFLUÊNCIA NAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para obtenção do grau de **Mestre em Sustentabilidade de Ecossistemas** no **Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas** da Universidade Federal do Maranhão

São Luís, 29 de novembro de 2006.

Prof. Dr. Cláudio Urbano B. Pinheiro  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Ricardo Barbieri  
Orientador

---

Profa. Dra. Naíza Maria de Castro Nogueira  
1º Examinador

---

Prof. Dr. Paulo Roberto Saraiva Cavalcante  
2º Examinador

---

Prof. Dr. José Policarpo Costa Neto  
1º Suplente

*“ Haverá um tempo quando todas as coisas boas serão para todos os homens..., o que pode estar mais perto do que pensamos. Cada um que acredita, traz esse bom tempo mais rápido; cada coração que falha, o atrasa! ”*

*H. G. Wells*

## SUMÁRIO

*Página*

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

INTRODUÇÃO .....	13
1. REVISÃO DE LITERATURA .....	15
1.1 A qualidade da água e o uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica.....	15
1.2 O sensoriamento remoto e suas aplicações nos estudos ambientais .....	17
2. METODOLOGIA .....	20
2.1 Caracterização da área de estudo .....	20
2.1.1 Principais unidades de paisagem de Penalva .....	22
2.2 Etapas do Trabalho.....	29
2.2.1 Coleta e análise de amostras de água dos lagos .....	29
2.2.2 Obtenção, análise e interpretação das imagens de satélite .....	31
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
3.1 Uso do solo no entorno dos lagos em estudo .....	32
3.2 Variáveis limnológicas .....	43
4. CONCLUSÕES .....	52
5. RECOMENDAÇÕES .....	53
REFERÊNCIAS .....	55
ANEXOS .....	62

## LISTA DE FIGURAS

*Página*

Figura 1.	Reflectância dos principais elementos da superfície terrestre: água, vegetação e solo .....	19
Figura 2.	Bacias hidrográficas da Baixada Maranhense.....	21
Figura 3.	Região lacustre de Penalva .....	25
Figura 4.	Área de estudo: Lagos Cajari e Formoso .....	27
Figura 5.	Atividades de pesca e pecuária no Lago Cajari .....	28
Figura 6.	Plantações em pequenas propriedades; Cofos (cestos de palha) com mandioca de molho para a produção de farinha.....	28
Figura 7.	Embarcações típicas da Baixada Maranhense; lagos também para a diversão .....	29
Figura 8.	Mapa de uso do solo do entorno do Lago Cajari (1990).....	33
Figura 9.	Mapa de uso do solo do entorno do Lago Cajari (2004).....	34
Figura 10.	Distribuição de classes de uso do solo no entorno do Lago Cajari (1990) .....	35
Figura 11.	Distribuição de classes de uso do solo no entorno do Lago Cajari (2004) .....	35
Figura 12.	Exemplo de babaçual localizado às margens dos lagos de Penalva.....	37
Figura 13.	Mapa de uso do solo do entorno do Lago Formoso (1990) .....	38
Figura 14.	Mapa de uso do solo do entorno do Lago Formoso (2004) .....	39
Figura 15.	Distribuição de classes de uso do solo no entorno do Lago Formoso (1990).....	40
Figura 16.	Distribuição de classes de uso do solo no entorno do Lago Formoso (2004).....	40
Figura 17.	Exemplo de mata de aterrado, principal formação vegetal que circunda o Lago Formoso .....	41
Figura 18.	Borda de uma ilha flutuante do Lago Formoso.....	42
Figura 19.	Aspecto do tipo de moradia no povoado Caetetu, Lago Formoso .....	43
Figura 20.	Fluxograma para o planejamento de ações sugerido para a sustentabilidade dos lagos de Penalva, em particular para o Lago Cajari .....	54

## LISTA DE TABELAS

	<i><u>Página</u></i>
Tabela 1. Características dos principais satélites/sensores e o seu tipo de utilização principal .....	18
Tabela 2. Estações de trabalho e suas principais características.....	30
Tabela 3. Valores médios das variáveis limnológicas do Lago Cajari no período da seca (verão) .....	45
Tabela 4. Valores das variáveis limnológicas do Lago Cajari no período da cheia (inverno) .....	46
Tabela 5. Valores médios das variáveis limnológicas do Lago Formoso no período da seca (verão) .....	48
Tabela 6. Valores das variáveis limnológicas do Lago Formoso no período da cheia (inverno).....	49
Tabela 7. Número Mais Provável (NPM) de coliformes totais e termotolerantes em 100mL de água nos pontos de coleta.....	50

# USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DOS LAGOS CAJARI E FORMOSO, PENALVA-MA, APA BAIXADA MARANHENSE, E SUA INFLUÊNCIA NAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS

## RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de verificar se o uso e a ocupação do solo no entorno dos lagos Cajari e Formoso, Penalva-MA, na Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense, exercem influência nas variáveis limnológicas desses lagos. O estudo do uso e ocupação do solo foi feito por meio da análise e interpretação de imagens de satélite Landsat 5-TM dos dois lagos em estudo, com resolução espacial de 30m, nas bandas 3, 4 e 5 referentes aos anos de 1990 e 2004. Para a análise de algumas variáveis limnológicas, foram efetuadas duas coletas no período seco e uma coleta no período chuvoso. Os resultados para o lago Cajari demonstraram que a área ocupada pelo lago permaneceu teoricamente igual, mesmo após a construção de uma barragem próxima à cidade; a área urbana praticamente triplicou nesse intervalo de tempo; as capoeiras abandonadas pelo uso agrícola são invadidas por babaquais; a pecuária extensiva é uma forma de atividade humana que contribui para a alteração química natural da água e, apesar de todas as pressões que sofre, tais como ocupação urbana e desmatamento de suas margens, mantém boas suas condições sanitárias. Para o Lago Formoso, os resultados indicaram que este é bem mais conservado do que o Lago Cajari, pois apresentou modificações muito discretas, embora suas margens sofram constantes choques com as ilhas flutuantes; não foi possível evidenciar nas imagens de satélite estudadas a ocupação urbana no entorno desse lago devido ao seu modelo rústico, o que é um fator importante para sua preservação. Comparando o formato dos lagos, o lago Formoso é alongado e o lago Cajari tende a uma conformação dendrítica. Este fator explica a compartimentalização das características limnológicas verificada neste último. Conforme a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, os lagos estudados classificam-se em corpos de água doce, classe 2.

**Palavras – Chave:** Lagos de Penalva, Baixada Maranhense, Uso e ocupação do solo, Variáveis limnológicas.



## ABSTRACT

This work was carried out with the objective of verifying whether the soil use and occupation near the Lakes Cajari and Formoso, Penalva – MA, in the Environmental Protection Area of Baixada Maranhense, exert influence on these lakes limnological variables. The study of the soil use and occupation was made by means of the analysis and interpretation of satellite Landsat 5-TM images from the two lakes studied, with 30 meter spatial resolution at the image bands 3, 4 and 5 regarding to the years 1990 and 2004. For the analysis of some limnological variables, two samplings were made in the dry period and one in the rainy period. The results for Cajari Lake indicated that the area occupied by the lake teorically remained the same, even after the construction of a dam near the town; the urban area has become tripled at that time interval; the “capoeira” vegetation left by the agricultural use were invaded by the “babaçu” vegetation; the extensive cattle creation is a human activity which is contributing for water chemical change and despite of all tensions which the lake is tolerating, such as urban occupation and deforestation at its margins, it maintain satisfactory their sanitary conditions. For Formoso Lake, the results showed it is well preserved in relation to Cajari Lake whereas it presented very discrete modifications, though their margins suffer constant collisions with the floating islands; it was not possible to evidence by means of satellite images the urban occupation near the lake because of the rustic model of residences, which is an important factor for its preservation. Comparing the lakes shape, Formoso Lake is stretched while Cajari Lake trends to a dendritic form. This fact explains the compartiment structure of the limnological characteristics verified at the last one. In conformation with the resolution N. 357/2005 of the National Environmental Council (CONAMA), the studied lakes are classified as freshwater bodies, category 2.

**Keywords:** Lakes of Penalva, Baixada Maranhense, Soil use and occupation, Limnological variables.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ser luz e força em todos os momentos da minha vida.

Aos meus filhos Fabrício e Maria Gabriela, pelo amor tão puro, pela compreensão e pela felicidade de ser sua mãe. Ao meu esposo Francisco pelo carinho, paciência, incentivo e apoio para continuar a caminhada acadêmica.

Aos meus pais Manaem e Graça, dos quais herdei tudo o que tenho de melhor. Obrigada por me darem a vida, me fazerem crescer feliz e pelo apoio incondicional. Obrigada especialmente à minha mãe, por cuidar sempre dos meus filhos com tanto amor e atenção. Aos meus irmãos Eduardo, Carlos José e também minha cunhada-irmã Aretusa por estarem ao meu lado em todos os momentos.

A toda minha família, da qual faz parte também a família Miranda, em especial às minhas avós Maria Leonília e Amália; aos meus padrinhos e compadres José Ribamar e Clara; à minha madrinha Lília e em memória dos meus avôs Zacarias e Agostinho, pela base sólida sobre a qual edifico minha existência.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Ricardo Barbieri e Profa. Dra. Larissa Barreto pela orientação, pela atenção e pelas contribuições na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. José Policarpo Costa Neto pelo apoio, incentivo e por acreditar, desde a época de seleção para o curso, que mesmo grávida e depois com a minha princesinha Maria Gabriela, eu conseguiria chegar até aqui.

Ao Prof. Dr. Cláudio Urbano, coordenador e professor do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas, pela dedicação e responsabilidade com a qual conduz o curso de mestrado e pelas contribuições para esta pesquisa.

Ao mestre Galdino Arouche, pelo conhecimento, pela sabedoria e pela acolhida sempre alegre e gentil.

A Silvinha, pela colaboração valiosíssima nas análises das amostras e pela amizade.

A Nina, Mércia e Odenilde pela contribuição no uso das imagens digitais.

A todos os Professores do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas, pela formação e disponibilidade durante o curso.

A todos os servidores administrativos, em especial a Henrique, Rivelino, Seu José Raimundo, Seu Moleza e Márcio pela gentileza com as quais sempre me atenderam.

Aos meus grandes amigos do mestrado, “pessoas” maravilhosas que me marcaram profundamente pelo companheirismo e amor fraterno. Certamente é essa a maior saudade que terei ao lembrar desses dois anos de minha vida.

*Aos maiores tesouros da minha vida:  
meus filhos Fabrício e Maria Gabriela  
e o meu esposo Francisco Miranda.*

## **1 INTRODUÇÃO**

A situação de conservação ambiental de uma determinada região pode ser avaliada a partir da classificação do uso e ocupação do solo, produzida em trabalhos de campo, em fotografias aéreas e através da interpretação de imagens de satélite. Estas últimas permitem quantificar e localizar os diferentes usos existentes na região.

Nas bacias hidrográficas utilizadas para o abastecimento público, as atividades antrópicas podem causar diversos impactos e interferir negativamente na produção de água em quantidade e qualidade adequadas. A análise do uso e ocupação do solo possibilita identificar de que forma estas atividades estão contribuindo para a qualidade ambiental (BRANCO, 2003).

A ocupação das áreas de mananciais por usos urbanos e outras atividades humanas se dá, em muitos casos, sobre áreas impróprias para estes fins, e geram impactos, que podem ser irreversíveis, sobre a qualidade e a quantidade de água disponível. Isto porque estas atividades podem estar relacionadas à geração de esgotos, impermeabilização do solo, assoreamento de nascentes e corpos d'água e desmatamentos (BRANCO, 2003).

A água ocupa um lugar específico entre os recursos naturais. É a substância mais abundante no planeta, embora disponível em diferentes quantidades, em diferentes lugares. Possui papel fundamental no ambiente e na vida humana, e nada a substitui, pois sem ela a vida não pode existir.

Segundo TUNDISI (1999), alterações na quantidade, distribuição e qualidade dos recursos hídricos ameaçam a sobrevivência humana e as demais espécies do planeta, estando o desenvolvimento econômico e social dos países fundamentado na disponibilidade de água de boa qualidade e na capacidade de sua conservação e proteção.

No Brasil, embora a água seja considerada recurso abundante, existem áreas muito carentes a ponto de transformá-la em um bem limitado às necessidades do homem. Normalmente, a sua escassez é muito mais grave em regiões onde o desenvolvimento e a ocupação do solo ocorreram de forma desordenada, provocando a deterioração das águas disponíveis, devido ao lançamento indiscriminado de esgotos

domésticos, despejos industriais, agrotóxicos e outros poluentes (MOITA & CUDO, 1991).

A qualidade da água de uma microbacia pode ser influenciada por diversos fatores e, dentre eles, estão o clima, a cobertura vegetal, a topografia, a geologia, bem como o tipo, o uso e o manejo do solo da bacia hidrográfica (VAZHEMIN, 1972; PEREIRA, 1997). Nas bacias com cobertura de floresta natural, por exemplo, a vegetação promove a proteção contra a erosão do solo, a sedimentação e a lixiviação excessiva de nutrientes, sendo essas áreas muito importantes para manter o abastecimento de água de boa qualidade (SOPPER, 1975). Por outro lado, as práticas que se seguem após a retirada das árvores, muito comuns para o uso agrícola, tendem a produzir intensa e prolongada degradação da qualidade da água (BROWN, 1988).

Apesar de constituir uma APA, sobretudo pela relevância ecológica dos campos naturais inundáveis, a Baixada Maranhense vem sofrendo uma série de intervenções, cujos impactos são perceptíveis, mas ainda não suficientemente avaliados (COSTA-NETO et. al., 2002). Entre esses danos incluem-se o desmatamento e a erosão do solo, a caça e a pesca predatórias e a criação extensiva de búfalos na região. Com base nisto, o conhecimento científico das potencialidades naturais desse ambiente, das suas transformações periódicas, bem como dos impactos das atuais formas de uso antrópico, torna-se vital para a sua manutenção.

A dinâmica de inundação dos campos naturais da Baixada Maranhense envolve dois ciclos de troca de energia que abrangem dois períodos diferentes, de acordo com a estação do ano. Durante o período do “inverno”, que acontece de dezembro a junho na região, os rios e lagos perenes transbordam, inundando os campos e transformando-os em extensos lagos de pouca profundidade (COSTA-NETO, 1990). Por todo o “verão” (de julho a novembro), os campos secam e ficam cobertos por uma vegetação constituída principalmente por gramíneas e ciperáceas.

Estas modificações na fisionomia local, determinadas pela sazonalidade das águas, definem um comportamento característico das comunidades ribeirinhas para cada estação. Na região lacustre de Penalva, como em toda Baixada, as atividades agrícolas, de pecuária e de pesca são executadas de acordo com a forma pela qual o ambiente se apresenta. E todas estas práticas, desenvolvidas nos lagos e no seu entorno resultam em alterações em suas águas, em grande ou pequena escala.

Nesse contexto, compreende-se que o uso sustentável de sistemas complexos, como o da Baixada Maranhense, é extremamente difícil. A proposta deste trabalho é a avaliação das influências que o uso e a ocupação do solo podem ter sobre a qualidade da água, contribuindo de modo fundamental para a conservação da biodiversidade de áreas alagáveis, como forma de subsidiar ações de manejo para a região.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 A QUALIDADE DA ÁGUA E O USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA**

Nas últimas décadas, os ecossistemas aquáticos têm sido alterados de maneira significativa em função de múltiplos impactos ambientais advindos de atividades antrópicas, tais como mineração; construção de barragens e represas; retificação e desvio do curso natural de rios; lançamento de efluentes domésticos e industriais não tratados; desmatamento e uso inadequado do solo em regiões ripárias e planícies de inundação; superexploração de recursos pesqueiros; introdução de espécies exóticas, entre outros (OLIVEIRA, 1989). Como consequência destas atividades, tem-se observado uma expressiva queda da qualidade da água e perda de biodiversidade aquática, em função da destruturação do ambiente físico, químico e alteração da dinâmica natural das comunidades biológicas (TUNDISI, 1999).

De acordo com PISSARRA (1998) os rios, lagos e lagoas são coletores naturais das paisagens, refletindo o uso e ocupação do solo de sua respectiva bacia de drenagem. Os principais processos degradadores observados em função das atividades humanas nas bacias de drenagem são o assoreamento e homogeneização do leito de rios e córregos, diminuição da diversidade de habitats e microhabitats e eutrofização artificial.

Segundo OLIVEIRA-FILHO et al. (1994), a devastação das matas ciliares tem contribuído para o assoreamento, o aumento da turbidez das águas, o desequilíbrio do regime das cheias, a erosão das margens de grande número de cursos d'água, além do comprometimento da fauna silvestre. ARCOVA & CICCIO (1997) salientam que, nas microbacias de uso agrícola, quando comparadas às de uso florestal,

o transporte de sedimentos e a perda de nutrientes são maiores. Para MARGALEF (1983), os sistemas aquáticos são receptores das descargas resultantes das várias atividades humanas nas bacias hidrográficas.

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento é de aceitação internacional, não apenas porque ela representa uma unidade física bem caracterizada, tanto do ponto de vista de integração como da funcionalidade de seus elementos, mas também porque toda área de terra, por menor que seja, se integra a uma bacia (PISSARRA, 1998).

MARGALEF (1994) ressalta que os vários processos que controlam a qualidade de água de um corpo d'água fazem parte de um complexo equilíbrio, motivo pelo qual qualquer alteração na bacia hidrográfica pode acarretar alterações significativas na qualidade de suas águas. Suas características físicas e químicas são, portanto, indicadores da “saúde” do ecossistema terrestre, que podem ser utilizadas para o controle e o monitoramento das atividades desenvolvidas em uma bacia hidrográfica.

As características que descrevem as propriedades de um dado ecossistema aquático são conhecidas por propriedades limnológicas ou variáveis limnológicas. Estas, como o próprio nome evidencia, são propriedades que variam no tempo e no espaço, quer num dado sistema aquático, quer entre sistemas diferentes (NOVO & BRAGA, 1995).

Dentre as variáveis limnológicas podem ser destacadas a temperatura (T), pH, oxigênio dissolvido (OD) e conteúdo de matéria orgânica (MO). A temperatura da água influencia na concentração de outras variáveis, como OD e MO (PORTO et al., 1991), sendo a radiação solar, segundo ARCOVA et al. (1993), a principal variável que controla a temperatura da água de pequenos rios. O pH fornece indícios sobre a qualidade hídrica, o tipo de solo por onde a água percorreu e indica a acidez ou a alcalinidade da solução (MATHEUS et al., 1995). O teor de OD expressa a quantidade de oxigênio dissolvido presente no meio, sendo que a sua concentração está sujeita às variações diária e sazonal em função da temperatura, da atividade fotossintética, da turbulência da água e da vazão do rio (PALMA-SILVA, 1999), podendo reduzir-se na presença de sólidos em suspensão e de substâncias orgânicas biodegradáveis, como esgoto doméstico, vinhoto e certos resíduos industriais (MATHEUS et al., 1995). A decomposição da MO nos corpos d'água pode diminuir o teor de OD, bem como o pH



da água, pela liberação de gás carbônico e formação de ácido carbônico a partir deste (PALHARES et al., 2000). A qualidade da água é o reflexo do efeito combinado de muitos processos que ocorrem ao longo do curso d'água (PETERS & MEYBECK, 2000). De acordo com LIMA (2001), a qualidade da água não se traduz apenas pelas suas características físicas e químicas, mas pela qualidade de todo o funcionamento do ecossistema.

## **2.2 O SENSORIAMENTO REMOTO E SUAS APLICAÇÕES NOS ESTUDOS AMBIENTAIS**

O uso de imagens de satélites do tipo Landsat para fins de levantamento, monitoramento e mapeamento da superfície terrestre é bastante utilizado em todo o mundo. Essa tecnologia está em desenvolvimento desde 1972, quando entrou em atividade o primeiro satélite do programa Landsat (PIROLI, 2002).

Sensoriamento remoto pode ser entendido como a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos, sem que haja contato direto entre eles. Os sensores seriam os equipamentos capazes de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações. Esta tecnologia vem sendo aplicada em diversas áreas do conhecimento. Isto se deve à possibilidade de se obter uma grande quantidade de informações a respeito de uma área ou ecossistema, em tempos diversos, apresentando baixo custo (se comparado aos métodos tradicionais de amostragem de dados em campo), assim como uma boa qualidade, permitindo a visualização integrada do ambiente, entre outras vantagens (NOVO, 1992).

Os sensores dos satélites de observação da Terra captam a energia solar que é refletida pelos objetos em várias zonas do espectro eletromagnético. Estas zonas do espectro eletromagnético recebem normalmente a designação de bandas ou canais, e o número de bandas de um determinado satélite é designado por resolução espectral. Para cada banda é produzida uma imagem que é estruturada em pixels. Cada pixel corresponde a uma área do terreno, e os pixels de uma determinada imagem têm sempre a mesma dimensão e esta é designada por resolução espacial. O valor de um pixel numa determinada banda é designado por número digital (ND). O ND é a conversão da

radiância que chega ao sensor numa gama de valores inteiros, normalmente 0 a 255. O número de níveis em que a radiância pode ser traduzida, i.e. o número de ND, é frequentemente designado por resolução radiométrica. Uma outra característica dos satélites que importa referir é o número de vezes que um satélite passa pelo mesmo ponto da superfície terrestre, e que é designada por resolução temporal (NOVO, 1992).

As imagens de satélite são, na maioria das vezes, adquiridas em formato digital. O termo imagem é, na verdade, um conjunto de imagens, uma por cada banda do sensor. Todas as bandas têm uma estrutura/formato *raster*, em que cada número representa o número digital (ND) associado a um pixel. O ND de um determinado pixel de uma determinada banda traduz a quantidade de energia da gama do espectro electromagnético captada pelos sensores dessa banda, e que é refletida pela superfície terrestre correspondente a esse pixel. Numa imagem crua, os pixels só podem ser referenciados pelo número de linha e de coluna (NOVO, 1992).

As imagens que mais frequentemente são utilizadas na produção de mapas de uso do solo são obtidas pelos satélites SPOT/HRV e Landsat-TM, cujas características são apresentadas sumariamente na tabela 1. Os satélites meteorológicos como por exemplo, o NOAA/AVHRR só são utilizados para produção de mapas de uso do solo em situações excepcionais devido à extensa área coberta por cada pixel. Estes satélites são utilizados em estudos meteorológicos e em monitorização ambiental, devido à sua elevada resolução temporal. Os satélites meteorológicos podem ter resoluções temporais inferiores a 24 horas, enquanto que satélites como o SPOT e o Landsat tem resoluções temporais de aproximadamente 15 dias (NOVO, 1992).

TABELA 1 - Principais satélites/sensores e o seu tipo de utilização principal (NOVO, 1992).

SATÉLITES/SENSORES	Utilização	Resolução espacial	Resolução espectral
<b>SPOT/HRV</b>	ocupação do solo	10 m × 10 m	1 banda
		20 m × 20 m	3 bandas
<b>Landsat/TM</b>	ocupação do solo	30 m × 30 m	6+1 bandas
<b>NOAA / AVHRR</b>	meteorologia	1.1 km × 1.1 km	5 bandas

A razão pela qual as imagens de satélite podem ser utilizadas para produção de mapas de uso do solo está relacionada com a forma diferenciada com que as várias ocupações do solo refletem a energia solar. É esta quantidade de energia refletida pela área coberta por cada *pixel* que é convertida em números digitais. Estes ND são depois sujeitos a análises estatísticas mais ou menos sofisticadas para converter os ND em classes de uso do solo. A forma como é feita esta análise é descrita na secção seguinte (NOVO, 1992).

Para exemplificar a forma como os objetos refletem de forma diferenciada a energia solar, mostra-se na Figura 1 a reflectância dos principais elementos de superfície terrestre (água, vegetação e solo). As bandas dos principais satélites de observação da terra foram concebidas de forma a captarem a radiação na zona do espectro em que estes elementos se distinguem com maior facilidade.

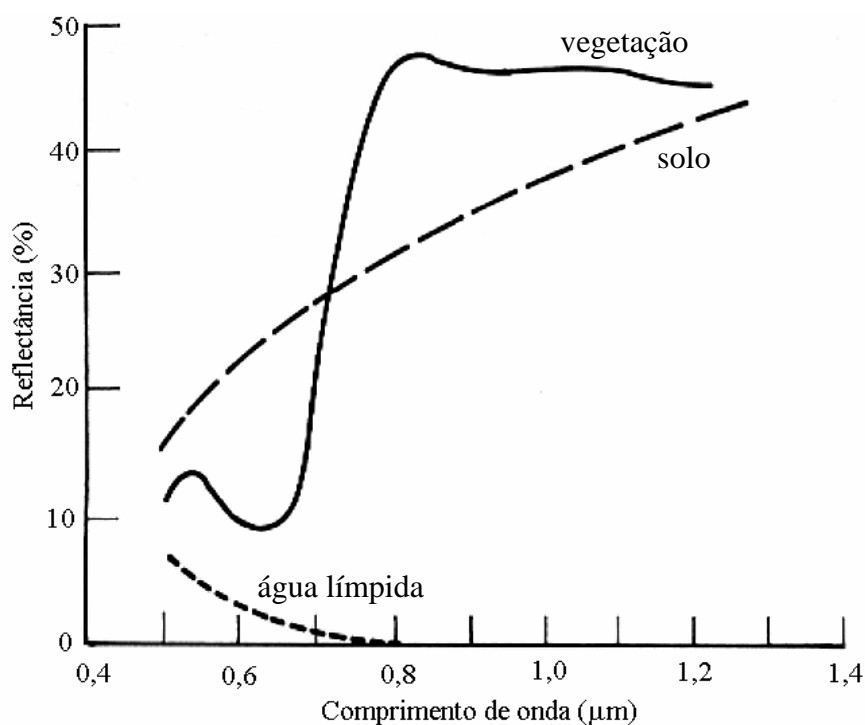


FIGURA 1 - Reflectância dos principais elementos da superfície terrestre: água, vegetação e solo. (Capturada em: [www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br](http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br))

Para melhorar a qualidade de mapas de uso do solo, obtidos apenas a partir de imagens de satélite, alguns analistas utilizam informação auxiliar de uma forma automática. Variáveis ambientais, como por exemplo, declive, exposição,

precipitação, têm sido os dados auxiliares mais frequentemente utilizados, pois podem estar relacionados com a distribuição das classes de uso do solo. De fato, a integração de informação auxiliar tem sido aplicada, sobretudo em áreas de vegetação natural (sem intervenção do homem), em que a distribuição de vegetação está fortemente relacionada com variáveis ambientais. A informação auxiliar pode ser utilizada para estratificar a área de estudo, como canais auxiliares no processo de classificação ou para reclassificar áreas mal classificadas apenas com base em imagens (HUTCHISON, 1982).

A maior parte de trabalhos realizados no Estado do Maranhão, com o uso de técnicas e produtos de sensoriamento remoto, foi efetuada na área do Golfão Maranhense, porque a região passa por um intenso processo de transformação econômica e da paisagem (RANGEL, 2000).

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A Baixada Maranhense localiza-se à oeste da ilha de São Luís, no norte do estado do Maranhão ( $1^{\circ}59' - 4^{\circ}00'S$  e  $44^{\circ}21' - 45^{\circ}33'W$ ). Limita-se ao norte com a região do Litoral e o Oceano Atlântico, ao sul com a região dos Cocais, a oeste com a região da Pré-Amazônia e a leste com o Golfão Maranhense. Na regionalização da SUDEMA (1970), a região ecológica da Baixada Maranhense é descrita como uma região de origem geológica recente, mal drenada, sujeita a inundações periódicas, sofrendo em vários pontos influência da água salgada. Constitui uma área de Proteção Ambiental – APA (Decreto nº 11.900 de 11 de julho de 1991) abrangendo 23 municípios e uma área de aproximadamente 1.775.035,6 hectares. É formada por estuários, agroecossistemas, rios e cadeias de lagos com extensos pântanos e campos naturais inundados periodicamente, o que lhe confere importância regional e global em relação aos ciclos hidrológicos, à diversidade, à produtividade e à preservação de espécies ameaçadas de extinção. Além disto, desempenha um papel sócio-econômico de fundamental relevância para as comunidades locais.

A região da Baixada Maranhense é formada pelas bacias hidrográficas dos rios Mearim, Pindaré, Aurá, Pericumã e Turiaçu. Os rios anualmente transbordam e suas águas inundam as planícies baixas da região, formando grande número de lagos,



O município de Penalva pertence à Bacia do Pindaré, localizada na porção sul da Baixada Maranhense. Tem uma área total de 839 Km<sup>2</sup>, uma população de 30.287 habitantes e densidade demográfica de 36 hab/Km<sup>2</sup>. Atualmente, 30% das pessoas vivem na sede, contrastando com a população rural do município que é de 70%. A cidade está localizada nas seguintes coordenadas: S 03° 17' 442''; W 45° 10' 242' (IBGE, 2000).

### **3.1.1 PRINCIPAIS UNIDADES DE PAISAGEM DE PENALVA**

- **Campos Inundáveis**

Os campos inundáveis são caracterizados por áreas de baixa declividade e expostos a inundações sazonais. Nas áreas inundáveis, ocorrem pequenos “outeiros” de formação mais compacta, normalmente, cobertos por vegetação de terra firme e que, também, são chamados regionalmente de “tesos”. Na época de máxima enchente, dependendo da declividade, parte dos campos se transforma em lagos temporários (Santos, 2004).

À formação desta Unidade de Paisagem combina-se o relevo de planície com a formação vegetal predominante de gramíneas e ciperáceas, sazonalmente inundável de seis em seis meses (VINHOTE, 2005). De acordo com Moura (2004), nesta área o solo apresenta diversas restrições; são pouco permeáveis e estão posicionados em cotas mais baixas na paisagem, portanto, sujeitos à saturação por água durante alguns períodos do ano.

Os campos inundáveis são ameaçados pela destruição de habitats e pesca predatória. A criação extensiva, especialmente, dos búfalos afeta também a qualidade das águas marginais, pois o intenso pisoteio e pastoreio que esses animais praticam nas áreas alagáveis pode destruir a vegetação, em especial as macrófitas aquáticas - plantas utilizadas pelos peixes nas áreas alagadas (SANTOS, 2004).

- **Campos não-inundáveis**

Estes campos são considerados planícies localizadas acima do ponto em que as águas conseguem atingir durante o pico das cheias. São áreas que apresentam pequenas extensões, compostas principalmente de plantas herbáceas (VINHOTE, 2005). Nestas áreas predomina a pecuária extensiva do gado comum.

Os campos não inundáveis, denominados de “campos de tesos”, apresentam cota igual à de terra firme, com pequena diferenciação entre as diversas bacias da região, nunca são submetidos à inundação e, em geral, são cobertos com ciperáceas (MARANHÃO, 2003).

- **Aterrados**

Os aterrados são áreas banhadas pelos campos de águas quase paradas, pantanosas. São criadas por camadas de capins e outras plantas aquáticas de menor porte; de substrato em substrato vão se acumulando plantas de porte cada vez maior. Com a morte de muitas espécies que não conseguem adaptar-se ao substrato, acumula-se ainda mais a matéria orgânica, onde com o tempo aumenta sua espessura (Pinheiro, 2003).

Podem ser dos tipos flutuantes, quando levantam com a subida das águas no inverno (ilhas flutuantes) e não-flutuantes, apegados ao solo. Onde há a predominância de aninga (*Montrichardia arborescens*) os aterrados são mais recentes (a partir de cinco anos). Onde existe o Buriti, os aterrados são mais antigos (acima de 10 anos). Nesta fase é comum a presença de espécies arbóreas como gameleira (*Ficus sp.*), e de palmáceas como juçara, bacaba (*Oenocarpus distichus* Mart.) e a titara (*Desmoncus sp.*), com presença de cipós e samambaias (PINHEIRO, 2003, apud VINHOTE, 2005).

- **Tesos Inundáveis**

São formados pela deposição de sedimentos que se acumularam ao longo dos tempos continuamente, sofrendo também os efeitos da erosão. Situam-se comumente no meio dos lagos. Nos Tesos Inundáveis, além dos campos herbáceos

observam-se as Matas de Igapó em terrenos onde a água chega até a 4 m de altura. Nestas áreas encontramos a arariba (*Symmeria paniculata* Benth.), arapari (*Macrolobium acaciaefolium* Benth.) e o marajá (*Bactris brongniartii* Mart.) (Vinhote, 2005).

- **Matas de Terra Firme**

Esta unidade de paisagem é classificada como permanentemente emersa, em relação ao período de inundação. Está associada a este sistema ambiental a vegetação de capoeira, onde predomina a floresta secundária mista com babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.), que se forma após a retirada da cobertura vegetal original, quer seja por processos predatórios ou naturais (VINHOTE, 2005).

- **A Região Lacustrina**

A área lacustrina de Penalva é formada como resultado das inundações sazonais do Rio Pindaré, rio mais importante e formador das áreas inundáveis e lagos da região (PINHEIRO, 2003). A influência dessas inundações estende-se aos municípios de Cajari, Matinha e Viana. O canal Maracu, com cerca de 18 km de extensão, comumente chamado de rio nas comunidades locais, conecta a região lacustre de Penalva ao lago de Viana; deste, até o Rio Pindaré.

Os quatro lagos mais importantes da região de Penalva (FIGURA 3) são:

- a) **Lago Cajari:** localizado em frente à cidade, sofre pressão de diversos impactos ambientais, tais como: a existência de uma barragem, a ocupação urbana, as práticas agrícolas e a pecuária extensiva em suas margens. É considerado o maior e mais piscoso, principalmente depois da construção da barragem que aumentou seu volume de água.
- b) **Lago Capivari:** localizado entre o lago Cajari e o lago da Lontra, divide-se em dois rios temporários, o Goiabal e o Castelinho.



- c) **Lago da Lontra:** localizado entre os lagos Capivari e Formoso, é o menor entre os quatro lagos principais. Na década de 70, sofreu grandes impactos de seca e queimadas em consequência da limpeza do canal que o liga ao lago Formoso.
- d) **Lago Formoso:** localizado a cerca de 30 km de distância do Lago Cajari, é um ambiente cercado por extensas áreas de aterrados, conhecido por suas ilhas flutuantes, onde o acúmulo de sedimentos, vegetais e outras partículas formam um manto fértil sobre as águas escuras do lago (AROUCHE, 1999) e também pela riqueza em juçaraís, de onde calcula-se que sejam extraídos 90% dos frutos produzidos em toda a região (PINHEIRO, 2003).



FIGURA 3 – Região lacustre de Penalva: Lago Cajari, Lago Capivari, Lago da Lontra e Lago Formoso. Fonte: Carta DSG - 608reg.

Conforme PINHEIRO (2003), o aporte de água para o conjunto lacustre supracitado se dá por três caminhos principais:

I – Via Lago Formoso: por contribuição do Rio Cumaru, que nasce no município de Zé Doca, com mais de 20 km de extensão; desemboca no Lago Formoso no lado direito do povoado do Caetetu; pela esquerda, desemboca o Rio da Água Preta, oriundo de Zé Doca. Do Lago Formoso até o Lago da Lontra a ligação é feita por um

canal fluvial (Canal do Carão) com mais de 10 km de extensão, feito pelo homem. Para manter a comunicação e a navegabilidade, a limpeza desse canal é realizada todos os anos. Nessas áreas encontram-se extensos aterrados. A diferença de cotas entre o Lago Formoso e o Lago Cajari é de 7 metros.

II – Via Lago da Lontra: pelo Rio Castelinho, temporário, que tem seu percurso iniciado em direção à região lacustre de Penalva, com o nome de Santa Rita, no município de Monção. Este rio constitui a única ligação desta região com o rio Pindaré no território do município de Monção. A água do Rio Castelinho, nas proximidades de Penalva, passa a igarapé do Jacarezinho. O igarapé do Jacarezinho, ao encontrar o obstáculo da barragem existente nas proximidades da cidade, procura caminho na área de campo adjacente à parte da barragem na Trizidela, desembocando mais abaixo do Canal Maracu, na forma de pequena cachoeira conhecida como Cachoeira do Rio Jacarezinho.

III – Via Lago Capivari: pelo Rio do Goiabal, temporário, formado por pequenos igarapés e córregos, além dos riachos Tabaréu, Cotovelo e Pindoba. A comunicação entre os lagos Capivari e Cajari é feita pelo Canal da Ponta Grande, conhecido também como Rio da Ponta Grande ou Rio do Baiano, com extensão de aproximadamente 2 km. A água recebida pelo Lago Capivari inclui também aporte do Formoso e do Rio do Castelinho, que entra nas proximidades do Lago da Lontra, de acordo com citação anterior. Recentemente, no ano de 2005, foi construída uma barragem no Canal da Ponta Grande para segurar a água no Lago Capivari, evitando o sentido contrário da saída em direção ao Lago Cajari. Este último, portanto, é o receptor das águas oriundas do Formoso e do Capivari, que são contidas pela barragem (sobre o Lago Cajari), próxima à cidade.

Neste trabalho foram escolhidos os lagos Cajari e Formoso, em destaque na figura 4.

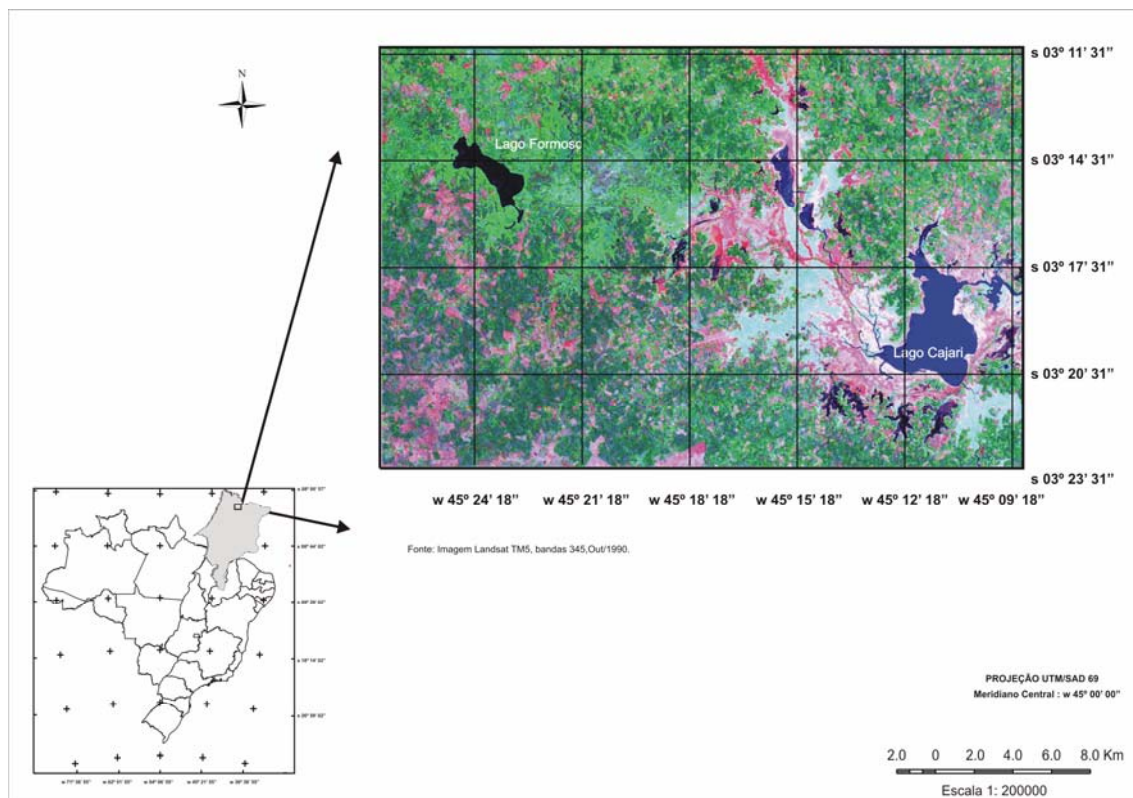


FIGURA 4 – Área de estudo: Lagos Cajari e Formoso. Fonte: Imagem Ladsat TM5, bandas 3, 4 e 5 de outubro de 1990.

Esses lagos são bastante diferentes um do outro, quanto à sua preservação, visto que o lago Cajari se encontra mais próximo à cidade de Penalva do que o lago Formoso. Esse foi o principal aspecto considerado para a escolha destes dois ambientes como objeto de estudo desta pesquisa.

Apesar das diferenças, as formas de uso dos lagos da região são, de modo geral, semelhantes, como mostram as figuras 5, 6 e 7:

✓ Pesca e Pecuária:



FIGURA 5 – Atividades de pesca e pecuária no Lago Cajari.

✓ Práticas agrícolas:



FIGURA 6 – Plantações em pequenas propriedades; Cofos (cestos de palha) com mandioca de molho para a produção de farinha.



✓ Transporte e Lazer:



FIGURA 7 – Embarcações típicas da Baixada Maranhense; Lagos também para a diversão.

## 3.2 ETAPAS DO TRABALHO

### 3.2.1 Coleta e Análise de amostras de água dos lagos

Para a realização deste trabalho foram estabelecidos três pontos de coleta em cada um dos lagos, conforme mostra a tabela 2, perfazendo um total de seis estações de trabalho, nos períodos de seca (outubro de 2005 e agosto de 2006) e cheia (março de 2006), popularmente chamados de “verão” e “inverno” na Baixada Maranhense. Nos pontos onde a profundidade foi maior ou igual a 1,90m (profundidade máxima do Lago Formoso na seca) amostrou-se superfície e fundo. Entre os critérios escolhidos para a determinação das estações de coleta, considerou-se, dentro do mesmo corpo hídrico, ambientes com diferentes formas de uso pelas comunidades locais.

É importante ressaltar que o período de cheia considerado nesta pesquisa foi atípico devido à baixa frequência de chuvas na região. Como consequência desses baixos índices pluviométricos, os lagos não alcançaram os níveis esperados para esta época do ano (que seria cerca de 4m acima dos níveis apresentados), o que dificultou a navegabilidade através do conjunto lacustre de Penalva. Segundo relatos locais, tal fenômeno não se repetia desde a década de 80.

TABELA 2 – Estações de trabalho e suas principais características.

<b>Estação de trabalho</b>	<b>Localização geográfica</b>	<b>Características</b>
E1 – Porto de Penalva Lago Cajari	S 3°17'927''; W 45°10'685''	Estação próxima ao Porto de Penalva, onde há intenso movimento de embarcações. Observa-se também a presença de muitos bares e lavadeiras às margens do local.
E2 – Ponto Central Lago Cajari	S 3°19'347''; W 45°11'169''	É a Estação mais distante das margens, no lago Cajari.
E3 – Enseada da Sapucaia Lago Formoso	S 3°19'185''; W 45°15'125''	Estação próxima a uma área de pastagem de gado.
E4 – Fundo da bolsa Lago Formoso	S 3°14'334''; W 45°24'857''	Estação de maior profundidade no Formoso, próxima a um aterrado, na borda de uma ilha flutuante (que permaneceu no mesmo local durante toda a pesquisa).
E5 – Ponta do Tatajubal Lago Formoso	S 3°14'445''; W 45°24'255''	É a Estação mais distante das margens no Lago Formoso.
E6 – Ilha de Fabriciano Lago Formoso	S 3°14'130''; W 45°24'134''	Estação próxima a uma área de pastagem de gado e de práticas agrícolas.

Para a caracterização de algumas variáveis limnológicas dos lagos, foram analisadas variáveis físicas, químicas e biológicas da água. As variáveis físicas: pH, condutividade elétrica, temperatura, material em suspensão, turbidez, cor da água e oxigênio dissolvido. Variáveis químicas: série de nitrogênio (nitratos, nitritos, amônia) e série de fósforo (fósforo total, fósforo inorgânico, fosfatos). Variáveis biológicas: colimetria (coliformes totais, coliformes termotolerantes).

As amostras de água foram coletadas em galões de polietileno com capacidade para 5 litros devidamente identificados e etiquetados. Posteriormente, foram levadas para o Núcleo de Limnologia da UFMA para análise físico-química. Para a análise microbiológica, as amostras foram coletadas em frasco apropriado, acondicionadas em caixas isotérmicas com gelo e encaminhadas, no prazo máximo de 12 horas, ao Departamento de Tecnologia Química, também na UFMA.

As variáveis físicas foram obtidas “in situ”, por meio de aparelhos portáteis, com exceção do oxigênio dissolvido, para a qual se utilizou também o método de Winkler (apud GOLTERMAN et. al. 1978) e material em suspensão, onde foi empregada a técnica gravimétrica descrita em TEIXEIRA et. al. (1965) e TUNDISI (1969).

Para a análise das variáveis químicas foram utilizados os métodos de GOLTERMAN et. al. (1978), para a determinação do nitrito e fosfato; MACKERETH et. al. (1978), para o nitrato; KOROLEFF (1976), na determinação da amônia ( $\text{N-NH}_4^+$ ).

Com relação às variáveis biológicas, a análise compreendeu duas etapas sucessivas que incluíram o teste presuntivo e a Técnica dos Tubos Múltiplos (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 1993). Os coliformes totais são bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não esporogênicos, oxidase-negativos, que fermentam lactose com produção de gás a  $35,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$  em 24-48 horas. Os coliformes termotolerantes, anteriormente denominados coliformes fecais, diferenciam-se dos coliformes totais por fermentarem lactose com produção de gás a uma temperatura de  $44,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$  em 24 horas (MURRAY, 2000 & TORTORA, 2000).

### **3.2.2 Obtenção, análise e interpretação das imagens de satélite**

Para a produção dos mapas de unidades de paisagem foram utilizadas as imagens Landsat 5-TM com resolução espacial de 30m, nas bandas 3, 4 e 5 referentes aos anos de 1990 e 2004. O levantamento das unidades de paisagem na área de estudo foi realizado a partir da interpretação visual dessas imagens, com auxílio dos softwares SPRING ver. 4.1.2 e AUTO CAD MAP 2005. A partir daí foram gerados mapas para cada período das imagens.

O mapeamento consistiu na delimitação espacial de padrões característicos da paisagem natural e urbana na zona de entorno dos lagos Cajari e Formoso. Foram utilizadas ferramentas do SIG (Sistema de Informação Geográfica) para determinar uma zona de entorno de 500 m ao redor dos lagos. Após determinação da área de influencia foram delimitados os diferentes sistemas ambientais identificados a partir do realce dessas áreas, através da manipulação “aumento linear de contraste” sobre as imagens. Após a delimitação dos polígonos sobre as imagens fez-se a classificação dos mesmos, adotando-se a associação para cada classe de unidade de paisagem de acordo com interpretação e análise de cada polígono.

Realizada a etapa de associação das classes, foram obtidas as áreas de cada classe para cada período estudado.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 USO DO SOLO NO ENTORNO DOS LAGOS EM ESTUDO**

As figuras 8 e 9 mostram os mapas de uso do solo no entorno do Lago Cajari, obtidas a partir da interpretação de imagens de satélites Landsat TM5, nas bandas 3, 4 e 5, em outubro de 1990 e em dezembro de 2004. Os dados dizem respeito às áreas totais de cada classe de uso de solo identificada.

Neste caso, foi possível visualizar seis classes de uso de solo:

- Lago
- Corpo d' água: escoamentos superficiais e demais drenagens.
- Capoeira-babaçu
- Campo inundável
- Área urbana: a própria sede do município de Penalva
- Capoeira



Na figuras 10 e 11 mostra-se a distribuição das classes de uso do solo no entorno do Lago Cajari, nos anos de 1990 e 2004, respectivamente.

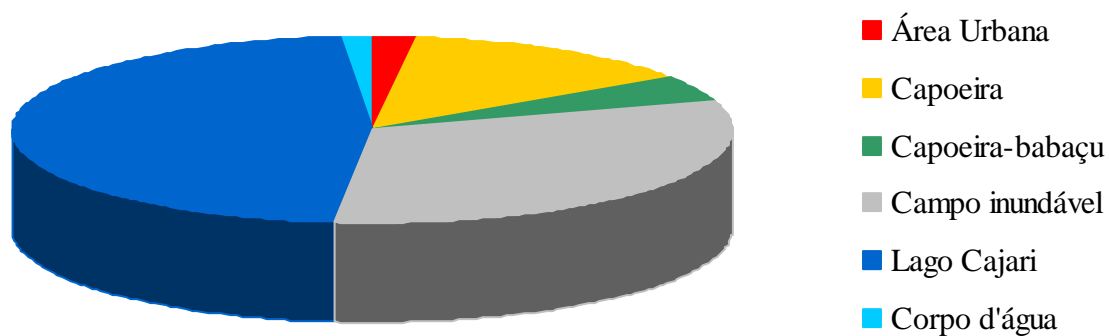


FIGURA 10 - Distribuição de classes de uso do solo no entorno do Lago Cajari, no ano de 1990.

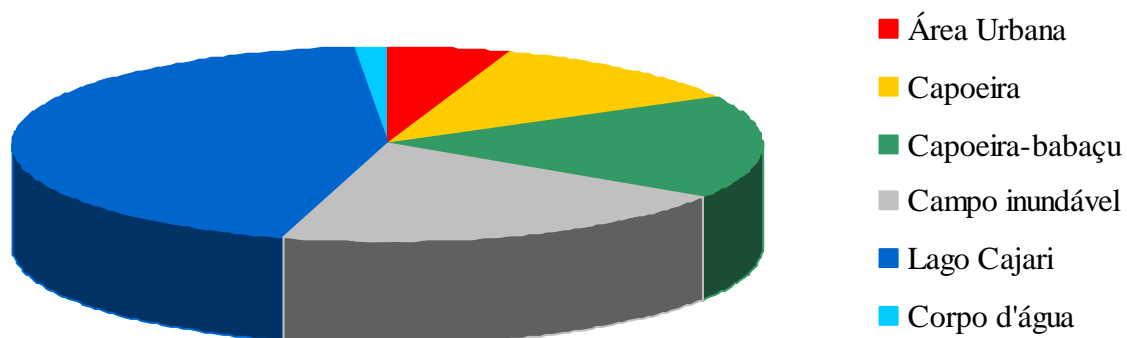


FIGURA 11 - Distribuição de classes de uso do solo no entorno do Lago Cajari, no ano de 2004.

Com base nos mapas e na distribuição de classes de uso do solo dos anos de 1990 e 2004 para o Lago Cajari, figuras 8, 9, 10 e 11, observa-se que:

- a) A área ocupada pelo lago permaneceu teoricamente igual. Isto pode parecer incoerente, visto que poderia se esperar um aumento significativo dessa área, em direção às margens, em virtude da construção da barragem nesse lago em 1997. Porém, segundo NASCIMENTO (dado não publicado), após o barramento a superfície do lago aumentou apenas 1,2 Km<sup>2</sup> ou 120 ha, o que, distribuído por toda sua área de 1.703.805 ha, representou apenas um pequeno incremento de aproximadamente 1%, em seu espelho d'água, não sendo possível evidenciá-lo nas escalas consideradas pelas imagens de satélite utilizadas.
- b) A área urbana praticamente triplicou, nesse intervalo de tempo de 14 anos. Verifica-se que essa ocupação urbana, que se refere à sede do município de Penalva, se deu principalmente em direção ao lago e sobre os campos inundáveis (possivelmente aqueles de consistência mais firme, que permitem algum tipo de construção de moradia). Esse modelo de crescimento urbano ocorrido pode ser justificado pela grande oferta de pescado e de água, da qual moradores das proximidades do lago podem desfrutar. Isto ficou ainda mais evidente depois da construção da barragem, que garante o permanente abastecimento de água na região. A utilização dos campos inundáveis para essa ocupação também explica a sua diminuição no decorrer do tempo.
- c) É comum a presença de capoeiras, principalmente em decorrência de desmatamentos freqüentes para a instalação de campos agrícolas (VINHOTE, 2005). Quando essas áreas agrícolas são abandonadas, tempos depois são colonizadas por babaçuais, palmeiras que, por seu modelo de germinação são resistentes às queimadas e permanecem latentes até que as condições ambientais, como exemplo a luz, favoreçam seu desenvolvimento. Isto se comprova com a substituição de boa parte da classe de uso de solo “capoeira” pela classe “capoeira-babaçu”, como mostra a figura 9. A figura 12 exhibe um exemplo de babaçal encontrado às margens dos lagos de Penalva.

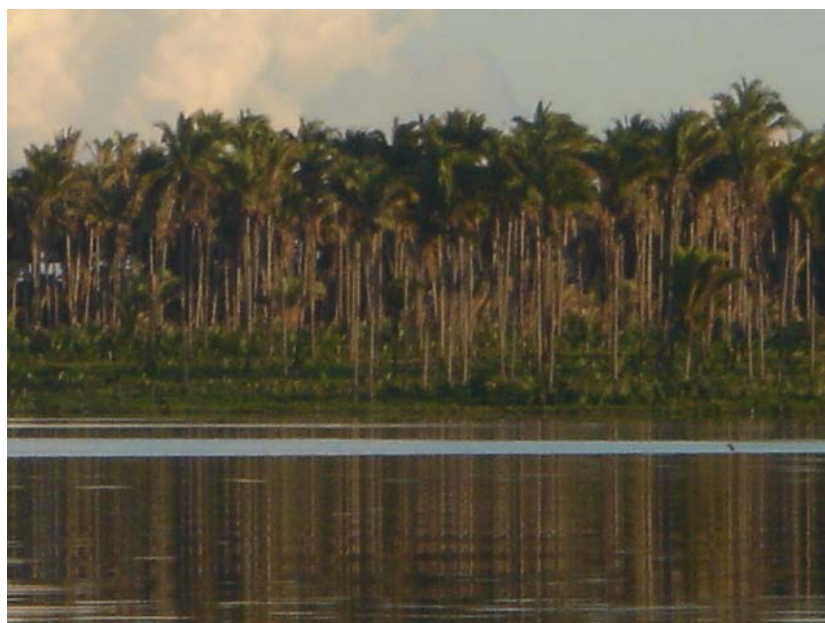


FIGURA 12 – Exemplo de babaçual localizado às margens dos lagos de Penalva.

Ainda com relação à ocupação urbana no entorno do Lago Cajari há, além da sede do município de Penalva, o povoado de Jacaré que merece destaque por sua acelerada expansão demográfica nos últimos anos, com população atual em torno de 5 mil habitantes. Este, inclusive, pleiteou sua emancipação a município recentemente. Não foi possível classificá-lo nas imagens estudadas, devido à presença de muitas nuvens no local, o que é muito comum na Baixada.

As figuras 13 e 14 mostram os mapas de uso do solo no entorno do Lago Formoso, obtidas a partir da interpretação de imagens de satélites Landsat TM5, nas bandas 3, 4 e 5, em outubro de 1990 e em dezembro de 2004. Os dados dizem respeito às áreas totais de cada classe de uso de solo identificada.

Neste caso, foi possível visualizar cinco classes de uso de solo:

- Campo inundável
- Capoeira-babaçu
- Capoeira
- Mata de aterrado
- Lago

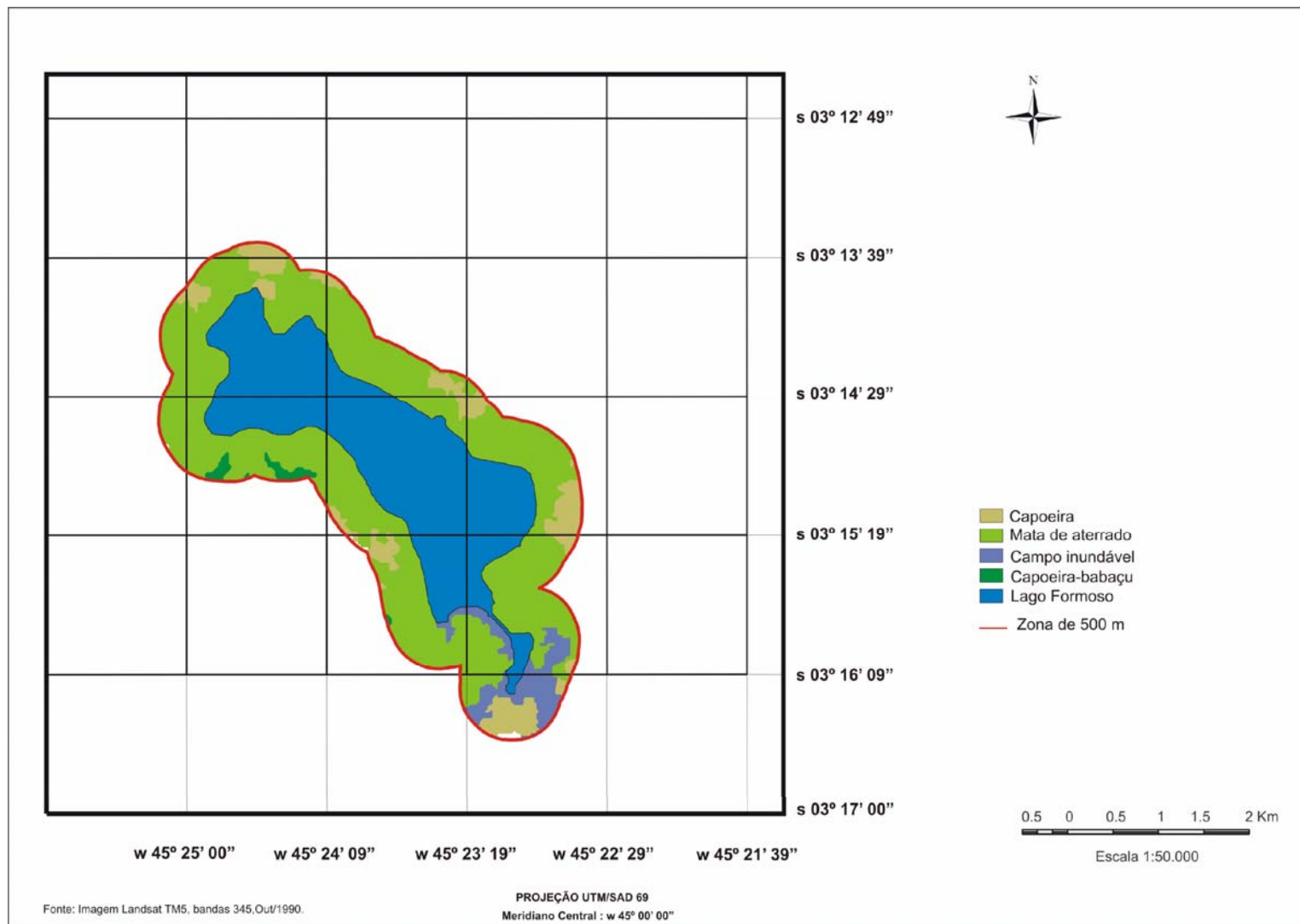


FIGURA 13 - Mapa de uso do solo do entorno do Lago Formoso. Fonte: Imagem Ladsat TM5, bandas 3, 4 e 5 de outubro de 1990.

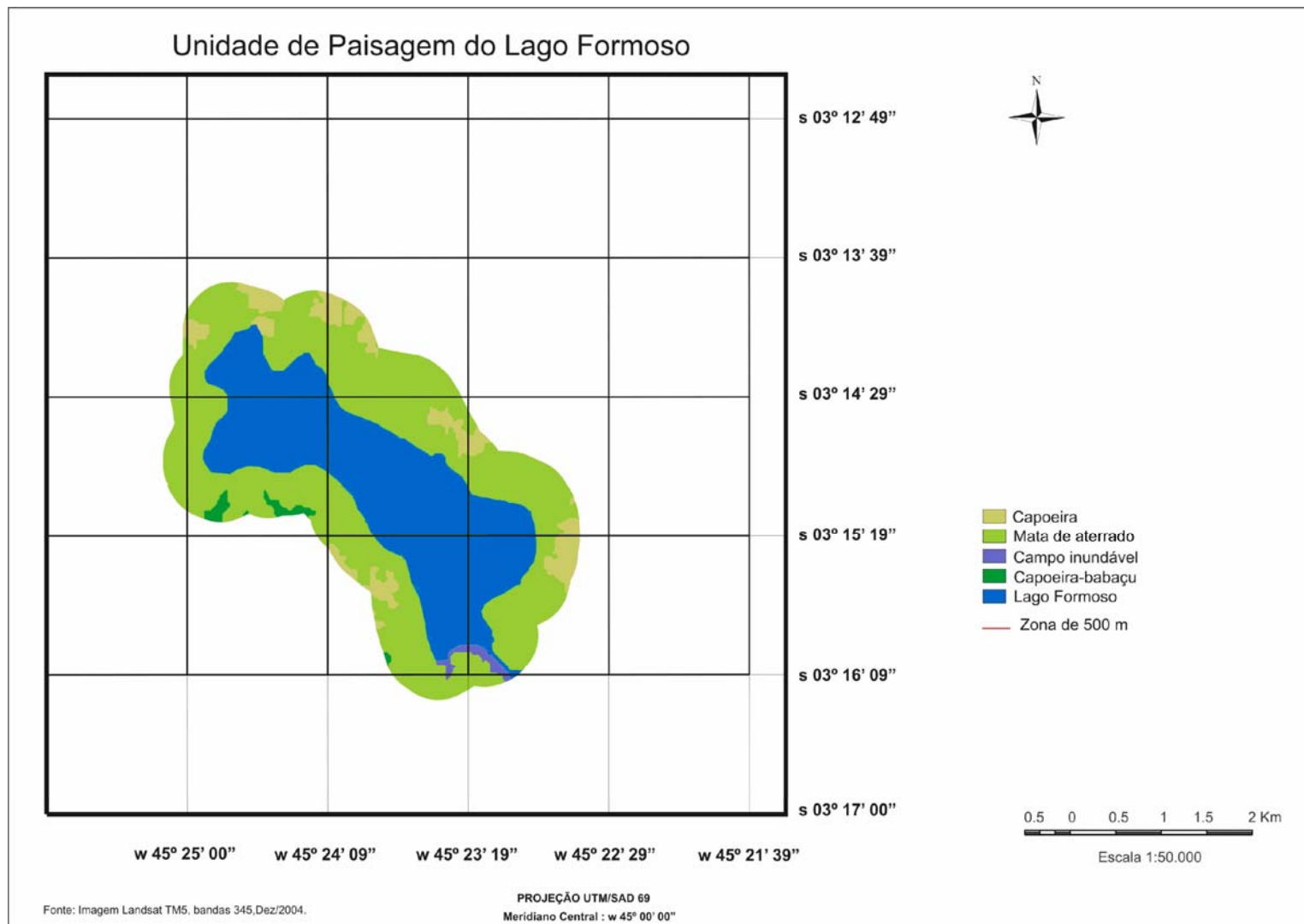


FIGURA 14 - Mapa de uso do solo do entorno do Lago Formoso. Fonte: Imagem Ladsat TM5, bandas 3, 4 e 5 de dezembro de 2004.

Na figuras 15 e 16 mostra-se a distribuição das classes de uso do solo no entorno do Lago Formoso, nos anos de 1990 e 2004, respectivamente.

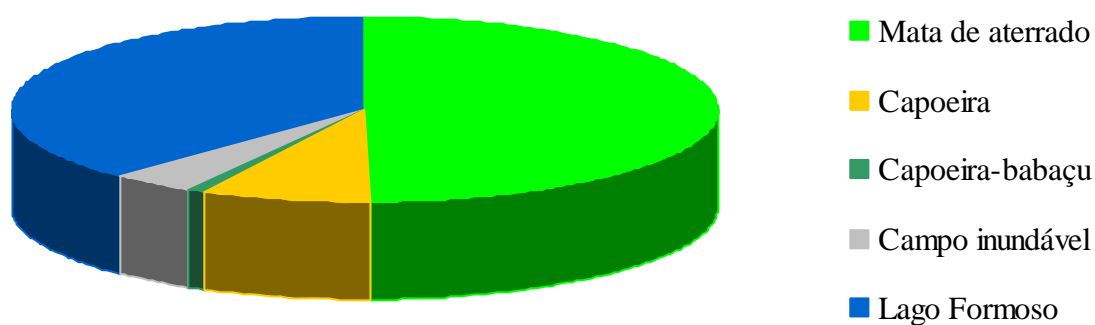


FIGURA 15 - Distribuição de classes de uso do solo no entorno do Lago Formoso, no ano de 1990.

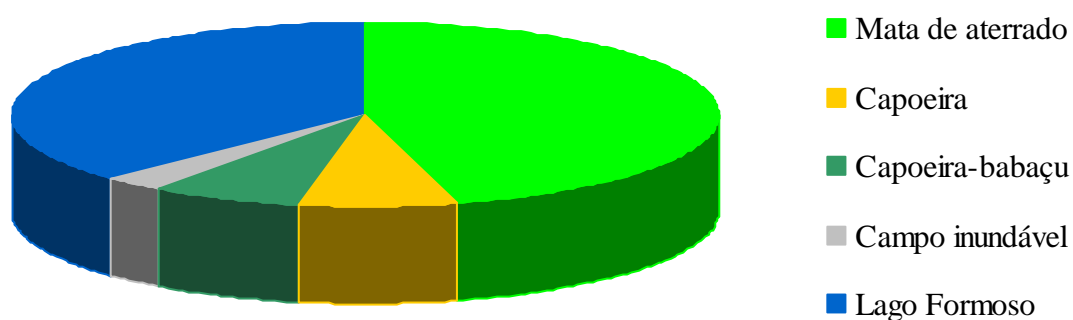


FIGURA 16 - Distribuição de classes de uso do solo no entorno do Lago Formoso, no ano de 2004.

Com base nos mapas e na distribuição de classes de uso do solo dos anos de 1990 e 2004 para o Lago Formoso, figuras 13, 14, 15 e 16 observa-se que:

- a) As modificações no lago Formoso e no seu entorno foram muito discretas, nesse intervalo de tempo. Certamente, o distanciamento das áreas mais povoadas e o folclore local contribuem para isto. Com relação ao folclore local, as comunidades ribeirinhas acreditam que a região é protegida por “encantados”, divindades responsáveis pela movimentação das ilhas flutuantes do Formoso.
- b) Toda a margem do lago é composta principalmente por mata de aterrado (figuras 13 e 17), mas também se podem visualizar as capoeiras, que, em concordância com o que ocorre no entorno do lago Cajari, vão sendo ocupadas por babaçuais e por isso diminuem no decorrer do tempo, enquanto que a classe “capoeira-babaçu” aumenta (figuras 15 e 16).



FIGURA 17 - Exemplo de mata de aterrado, principal formação vegetal que circunda o Lago Formoso.



- c) A área do lago permaneceu praticamente igual, nesse intervalo de tempo, para a escala adotada. Entretanto, as margens do lago sofrem constantes desmoronamentos pelo choque entre estas e suas ilhas flutuantes, provocando a destruição de vários indivíduos de espécies vegetais, tais como o buriti (*Mauritia flexuosa* L., Palmae) e a juçara (*Euterpe oleracea* Mart., Palmae) como mostra a figura 18.



FIGURA 18 – Borda de uma ilha flutuante do Lago Formoso, destacando a queda de um buritizeiro, que ocorreu em virtude do choque da ilha com as margens do lago.

- d) A ocupação urbana no entorno não foi evidenciada nas imagens estudadas. Isto ocorreu porque, nesta região, essa ocupação é constituída por pequenos povoados difusos e com moradias bastante rudimentares (figura 19), destacando-se o Caetetu, onde há maior concentração de habitantes.





FIGURA 19 - Aspecto do tipo de moradia no povoado Caetetu, Lago Formoso.

Comparando os dois lagos, observa-se que o Lago Cajari tem uma tendência ao formato dendrítico, o que favorece a compartimentalização do ecossistema. A mesma morfologia não foi verificada para o Lago Formoso, que apresenta um formato alongado.

#### **4.2 VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS**

Os ambientes estudados são rasos de modo geral, embora a profundidade da lâmina d'água seja variável, por se tratar de uma área inundável.

Os lagos da região de Penalva formam um corpo hídrico único de coleção de água de chuva. A água de chuva armazenada aí é pobre em nutrientes, especialmente nitrato, e mesmo lixiviando o solo da região não se torna enriquecida de Nitrogênio (N) e Fósforo (P), o que de acordo com ALLAN (1997, citado por BRIGANTE & ESPÍNDOLA, 2003) é característico de regiões naturais não impactadas, quando comparadas àquelas afetadas pelas atividades humanas. BRANCO

(1986) cita que a presença de fósforo e de nitrogênio nos mananciais, em concentrações superiores a 0,01 e 0,03 mg/l, respectivamente, determina proliferações algais, as quais causam sérios problemas à utilização desses locais, fato que não foi observado com as amostras analisadas.

As tabelas 3, 4, 5 e 6 expressam os valores das variáveis limnológicas obtidas, nos períodos de verão e inverno. Para efeito de comparação, foram confeccionadas tabelas separadas para o Lago Cajari e para o Lago Formoso.

Os valores relativamente altos de condutividade elétrica encontrados no Lago Cajari (tabelas 3 e 4) devem ocorrer em razão de íons metálicos, como o ferro, o alumínio e íons alcalino-terrosos dos solos. BRIGANTE & ESPÍNDOLA (2003) afirmam que a condutividade aumenta em função do aumento do conteúdo mineral da água. Condutividades elevadas também foram encontradas nos lagos de Açú e de Viana (BARBIERI et. al., 1989) e novamente no lago de Viana e na bacia do Rio Pericumã (COSTA-NETO et. al., 2002), todos localizados na APA da Baixada Maranhense.

A temperatura e a amplitude térmica apresentaram pequenas oscilações nos dois ecossistemas, durante o período da pesquisa, sendo que os valores extremos registrados foram 29,5°C (out/2005 e ago/2006) 32,0°C (mar/2006), ambos no Lago Cajari (amplitude térmica de 2,5°C).

Em Barbieri et. al. (2000), em que foram estudados os lagos de Viana, Pericumã e Turiaçu, a amplitude térmica foi de 10°C, sendo que a máxima (36°C) foi medida em Viana (dez/1998) e a mínima, no Pericumã (nov/1997).

A presença de substâncias húmicas na água dos lagos à montante do lago Cajari pode ser responsável pelo aprisionamento de parte dos íons que estavam dissolvidos na água. Apesar disto, a grande biomassa de macrófitas e de vegetação dos aterrados se encarrega de circular nutrientes e íons por ocasião da decomposição, como foi observado por COELHO (2001) em seu estudo sobre a absorção de nutrientes por *Eichhornia crassipes* Mart. em um meio poluído – Rio Anil, São Luís-MA.

TABELA 3 – Valores médios das variáveis limnológicas do Lago Cajari, obtidos em outubro de 2005 e agosto de 2006 (período de seca ou “verão”)

Variável	Estação 1		Estação 2		Estação 3
	Sup.	Fundo	Sup.	Fundo	Sup.
Temperatura (°C)	29,85	29,5	29,9	30,8	29,9
Condutividade (µS)	253,5	252,5	257,0	259,0	323
TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	137,0	135,5	138,5	136,5	101,7
pH	5,9	6,0	6,1	5,8	4,8
Oxigênio (mg.L <sup>-1</sup> )	7,5	5,9	6,7	6,8	7,7
Turbidez (NTU)	37,1	45,0	46,28	39,96	3,02
Cor (Unid Pt.Co)	333 – 550	258 – 550	272 – 550	328 – 550	1 – 290
Amônia (µg.L <sup>-1</sup> )	88,70	88,70	56,57	78,74	275,12
Nitrito (µg.L <sup>-1</sup> )	8,94	9,21	10,13	9,41	1,95
Nitrato (µg.L <sup>-1</sup> )	68,38	86,53	97,23	88,15	241,78
Fósforo total dissolvido (µg.L <sup>-1</sup> )	-	24,08	23,28	26,21	8,57
Ortofosfato (µg.L <sup>-1</sup> )	6,42	7,51	7,9	8,36	2,70
Ferro total (mg.L <sup>-1</sup> )	4,81	4,18	6,76	8,54	1,57
Alcalinidade (meq.L <sup>-1</sup> )	0,050	0,052	0,051	0,050	0,0
Sólidos Totais Suspensos (mg.L <sup>-1</sup> )	20,0	10,0	20,0	15,0	2,0

Obs.: E1 – Porto de Penalva; E2 – Ponto Central; E3 – Enseada da Sapucaia.

(-) – amostra perdida.

TABELA 4 – Valores das variáveis limnológicas do Lago Cajari, obtidos em março de 2006 (período de cheia ou “inverno”)

Variável	Estação 1		Estação 2		Estação 3
	Sup.	Fundo	Sup.	Fundo	Sup.
Temperatura (°C)	30,6	30,1	32,0	30,4	30,8
Condutividade (µS)	198,0	303	220,0	214,0	249,0
TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	106,0	160	117,0	113,0	132,0
pH	5,14	5,16	5,18	5,16	4,04
Oxigênio (mg.L <sup>-1</sup> )	7,7	7,45	7,3	7,05	7,15
Turbidez (NTU)	43,1	15,6	38,7	3,78	1,02
Cor (Unid Pt. Co)	460,0	11,0	429,0	388,0	0,0
Amônia (µg.L <sup>-1</sup> )	115,85	114,95	89,61	80,56	123,09
Nitrito (µg.L <sup>-1</sup> )	5,72	7,43	11,12	3,60	2,28
Nitrato (µg.L <sup>-1</sup> )	108,90	77,78	117,32	66,76	22,68
Fósforo total dis.(µg.L <sup>-1</sup> )	32,24	18,57	73,59	26,38	3,91
Ortofosfato .(µg.L <sup>-1</sup> )	4,80	6,81	4,48	2,47	2,31
Ferro total (mg.L <sup>-1</sup> )	6,14	9,07	8,02	8,07	0,81
Alcalinidade (meq.L <sup>-1</sup> )	0,08	0,03	0,02	0,03	0,02
Sólidos Totais Suspensos (mg.L <sup>-1</sup> )	12,0	5,6	11,8	8,8	7,2

Obs.: E1 – Porto de Penalva; E2 – Ponto Central; E3 – Enseada da Sapucaia.

As altas concentrações de amônia e nitrato na água da Enseada da Sapucaia (Estação 3) provavelmente se devem à criação de gado bovino, equino e suíno em fazenda próxima ao local de coleta, pois o gado não é criado em confinamento. Os baixos valores de pH (4,04–4,80) observados nesta estação confirmam as concentrações de amônia obtidas. Assim, esta é uma forma de atividade humana que contribui para a alteração química natural da água no lago Cajari.

ALMEIDA (2005) caracterizou alterações hídricas na região lacustre de Penalva por meio da etnobiologia, identificando tensores ambientais relacionados e concluiu, entre outras coisas, que os principais tensores ambientais dessa região são de origem antrópica, tais como: o búfalo; a barragem; a construção de canais artificiais; as queimadas e os desmatamentos às margens dos lagos; a introdução de espécies exóticas tanto animais, quanto vegetais.

De forma geral, as concentrações de fósforo, sólidos dissolvidos e totais foram bem menores na Estação 3 do que nas outras estações de estudo.

No Lago Formoso (tabelas 5 e 6), apesar da coloração escura da água demonstrar a presença de ácidos húmicos, os valores de pH não correspondem à acidez esperada, como é o caso dos lagos e rios de água preta da Amazônia, de pH entre 4,0 e 4,5 (ESTEVES, 1998). A matéria orgânica presente nos aterrados e no fundo do lago é o resultado do acúmulo de material vegetal, provavelmente durante algumas centenas de anos, e que já se encontra em elevado processo de decomposição. Desta forma, este material deve ter pouca contribuição para a concentração de elementos dissolvidos e particulados da água.

De modo geral, as variáveis limnológicas obtidas no Lago Formoso tenderam para uma uniformidade, isto é coerente com o seu formato que sugere que as suas águas formam um corpo hídrico único. Essa característica não foi observada no Lago Cajari, que apresenta uma diversidade maior nos valores das variáveis encontradas, possivelmente também devido ao seu formato compartimentalizado.

TABELA 5 – Valores médios das variáveis limnológicas do Lago Formoso, obtidos em outubro de 2005 e agosto de 2006 (período de seca ou “verão”)

Variável	Estação 4		Estação 5	Estação 6
	Sup.	Fundo	Sup.	Sup.
Temperatura (°C)	31,2	31,1	31,5	31,6
Condutividade (µS)	54,5	54,7	52,1	56,15
TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	29,8	29,3	27,9	30,2
pH	6,68	6,63	6,65	7,19
Oxigênio (mg.L <sup>-1</sup> )	7,5	7,1	7,4	7,65
Turbidez (NTU)	2,99	2,81	4,33	4,16
Cor (Unid Pt. Co)	128 – 146	123 – 144	137 – 184	157 – 171
Amônia (µg.L <sup>-1</sup> )	90,96	83,72	48,57	93,22
Nitrito (µg.L <sup>-1</sup> )	2,81	2,81	2,74	2,87
Nitrato (µg.L <sup>-1</sup> )	27,87	24,95	26,15	19,12
Fósforo total dis.(µg.L <sup>-1</sup> )	9,23	-	-	16,07
Ortofosfato .(µg.L <sup>-1</sup> )	2,70	2,54	2,54	2,77
Ferro total (mg.L <sup>-1</sup> )	2,76	2,49	1,59	2,32
Alcalinidade (meq.L <sup>-1</sup> )	0,20	0,16	0,16	0,19
Sólidos Totais Suspensos (mg/l)	4,09	22,0	14,0	6,0

Obs.: E4 – Fundo da bolsa; E5 – Ponta do Tatajubal; E6 – Ilha de Fabriciano.

(-) – amostra perdida.

TABELA 6 – Valores das variáveis limnológicas do Lago Formoso, obtidos em março de 2006 (período de cheia ou “inverno”).

Variável	Estação 4		Estação 5		Estação 6
	Sup.	Fundo	Sup.	Fundo	Sup.
Temperatura (°C)	30,5	29,6	31,5	30,8	31,4
Condutividade (µS)	79,4	70,5	71,2	66,8	74,5
TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	42,4	37,0	43,0	35,2	39,6
pH	6,22	5,98	6,26	5,98	6,21
Oxigênio (mg.L <sup>-1</sup> )	6,60	5,80	5,90	6,15	6,2
Turbidez (NTU)	4,68	7,32	3,46	5,66	4,34
Cor (Unid Pt.Co)	32,0	369,0	131,0	381,0	360,0
Amônia (µg.L <sup>-1</sup> )	95,04	97,75	104,99	118,57	100,47
Nitrito (µg.L <sup>-1</sup> )	4,79	5,85	5,06	4,79	4,79
Nitrato (µg.L <sup>-1</sup> )	30,46	35,65	85,56	42,13	33,70
Fósforo total dis.(µg.L <sup>-1</sup> )	12,05	18,89	20,85	19,87	14,66
Ortofosfato .(µg.L <sup>-1</sup> )	2,47	2,78	2,62	2,93	2,47
Ferro total (mg.L <sup>-1</sup> )	4,54	4,91	5,19	3,89	4,56
Alcalinidade (meq.L <sup>-1</sup> )	0,06	0,16	0,07	0,17	0,17
Sólidos Totais Suspensos (mg.L <sup>-1</sup> )	6,2	0,4	7,0	7,6	3,8

Obs.: E4 – Fundo da bolsa; E5 – Ponta do Tatajubal; E6 – Ilha de Fabriciano.

A tabela 7 mostra os resultados de análise microbiológica obtidos para cinco pontos de coleta localizados entre os Lagos Formoso e Cajari.

TABELA 7 – Número Mais Provável (NPM) de Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes (fecais) em 100mL de água, nos pontos de coleta dos Lagos Cajari e Formoso.

PONTOS	Coliformes Totais (NMP/100mL)		Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	
	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
1	1600	1600	70	900
2	21	11	ausente	ausente
3	ausente	ausente	ausente	ausente
4	15	11	4	4
5	26	11	4	4

Ponto 1: Caetetu (Lago Formoso – próximo ao local de desembarque de lanchas, onde é comum a presença de animais); Ponto 2: “boca” do Lago Formoso (local de entrada e saída do lago); Ponto 3: Igarapé do Baiano (próximo à entrada do canal que dá acesso ao povoado de Jacaré, nas margens do Lago Cajari); Ponto 4: Meio do Lago Cajari (Estação de trabalho 02); Ponto 5: Porto de Penalva (Estação de trabalho 01).

A contaminação microbiana das águas é extremamente importante, devido ao seu potencial patogênico. Na água, é relativamente comum a presença de bactérias do grupo *Enterobacteriaceae* (coliformes), que podem ser responsáveis por uma variedade de doenças, principalmente infecções intestinais (MURRAY, 2000 & TORTORA, 2000).

Os coliformes totais fazem parte da microbiota residente do trato gastrointestinal do homem e de alguns animais. A presença de coliformes totais não é uma indicação útil de contaminação fecal, pois este grupo inclui diversos gêneros e espécies de bactérias não entéricas como *Serratia* e *Aeromonas*. No entanto, a sua presença e número são indicativos da qualidade higiênico-sanitária de um produto. Em condições normais, os coliformes não são, por si só, patogênicos, porém algumas



linhagens ou a proliferação destes microrganismos podem causar diarreias e infecções urinárias (JAWETZ, 2000 & SILVA, 2001).

O principal representante do grupo termotolerante e o indicador mais específico de contaminação fecal e de eventual presença de organismos patogênicos é a *Escherichia coli*.

Conforme a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os lagos estudados classificam-se em corpos de água doce, classe 2. Suas águas podem ser, então destinadas:

- ✓ ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- ✓ à proteção das comunidades aquáticas;
- ✓ à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho;
- ✓ à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- ✓ à aquicultura e à atividade de pesca.

A ocorrência de coliformes termotolerantes na água dos lagos estudados acontece nos locais próximos aos agrupamentos humanos e pela presença de animais pastando ou em contato direto com a água, como é o caso da cidade de Penalva, no lago Cajari, e da localidade de Caetetu, no lago Formoso. Porém, em nenhum desses pontos de coleta o limite estabelecido pelo CONAMA, que é de 2000 NMP/100ml, foi superado.

## 5 CONCLUSÕES

O Lago Cajari não avançou significativamente em direção às suas margens, mesmo após a construção da barragem.

Como a ocupação urbana no entorno do Lago Cajari cresceu, nesses 14 anos, sobre os campos inundáveis e em direção ao lago, sua tendência é expandir-se em direção oposta, visto que o próprio ambiente limita esse crescimento por não ser possível a construção de moradias nas áreas muito próximas ao lago ou nos campos inundáveis de solo muito encharcado.

As baixas concentrações de nitrogênio e fósforo observadas indicam que, considerando os lagos em sua totalidade, são ambientes de reduzida intervenção antrópica que ainda não apresentam alterações com implicações na qualidade da água. Por outro lado, se observada a compartimentalização desses corpos hídricos, como verificada no Lago Cajari, constatar-se-á que existem regiões com amplas diferenças em suas características limnológicas, como é o caso da Estação 3 (Enseada da Sapucaia), dependendo principalmente do uso do solo às margens dos lagos.

Considerando a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, os lagos Cajari e Formoso apresentaram condições sanitárias satisfatórias para o uso a que se destinam os corpos d'água doce de classe 2.

O Lago Formoso é comprovadamente mais conservado do que o Lago Cajari. Isto se atribui não somente a sua distância da sede do município de Penalva, mas também ao misticismo que o protege. Diante disso, tais crendices populares vêm, ao longo dos anos, contribuindo de forma positiva para a conservação desse ecossistema. Entretanto é possível que com a expansão demográfica e todas as suas conseqüentes pressões nos recursos naturais, esse comportamento se modifique.

A Baixada Maranhense é uma área que comporta uma grande quantidade de lagos que funcionam como ecossistemas de recarga. Atualmente é crescente a preocupação pela preservação desses ecossistemas, uma vez que diante da crise ambiental na qual se encontra o planeta, a água será motivo de futuros conflitos devido a sua escassez e poluição. Este trabalho, em conjunto com outros estudos de zoneamento e modelagem de dinâmica desses lagos poderão auxiliar no delineamento de ações seguras no uso sustentável dos recursos hídricos dessa região.

## **6 RECOMENDAÇÕES**

Uma das premissas básicas para a elaboração de programas de recuperação e/ou manejo de ecossistemas é a avaliação temporal, na qual se busca identificar os principais agentes impactantes, suas consequências e magnitude.

Neste sentido, a elaboração de um modelo ou cenário futuro que relacione as variáveis limnológicas dos Lagos Cajari e Formoso e o uso do solo no seu entorno encontra certas limitações pela ausência de dados preexistentes na região.

Contudo, a partir da análise das imagens de satélite de 1990 e 2004 verificou-se que a situação ambiental do Lago Cajari e do seu entorno é mais preocupante do que aquela do Lago Formoso, embora que ainda não sejam evidenciados processos marcantes de degradação nesse sistema hídrico.

É importante ressaltar que os ambientes estudados neste trabalho são definidos como áreas de preservação permanente. As Áreas de Preservação Permanente (APPs), preconizadas desde 1965, pelo Código Florestal, são espaços protegidos que possuem vegetação ou não, com função de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas, conforme Resolução CONAMA nº 369/2006.

Em seus artigos 1º, 2º e 3º, o Código Florestal prevê que as florestas e demais formas de vegetação ao redor das lagoas, lagos – como é o caso do Cajari e Formoso – ou reservatórios d'água naturais ou artificiais são áreas de preservação permanente.

Se, por outro lado, os Lagos Cajari e Formoso forem considerados como cursos d'água, devido à comunicação e ao fluxo de água existente entre os lagos da região, a largura da APP é definida de acordo com a largura do curso d'água. Nesse caso, consideram-se APP as florestas e demais formas de vegetação natural situadas até 500 (quinhentos) metros das margens, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros. Isto significa que, em tese, toda a mata ciliar e adjacente aos lagos deveria permanecer intocada, admitida excepcionalmente a supressão da vegetação apenas nos casos de utilidade pública ou interesse social legalmente previstos, como determina a Lei.

Entretanto, com base nas imagens de satélite obtidas e nas observações de campo, sobretudo para o entorno do Lago Cajari, foram constatadas muitas irregularidades: desmatamentos, queimadas, ocupação urbana desordenada, pecuária extensiva, lançamento de esgoto, presença de atividades de lazer com descarte inadequado de resíduos sólidos etc. Todo esse conjunto provoca descaracterização paisagística no local, agravo na qualidade ambiental, entre outros problemas.

Então, um estudo amplo, sobretudo no que se refere à capacidade de suporte dos lagos de Penalva, principalmente o Cajari, é imprescindível para sua sustentabilidade, conforme fluxograma abaixo. E este estudo, por sua vez, pode ser muito útil para nortear o planejamento e a execução do Plano Diretor<sup>1</sup> do Município de Penalva.

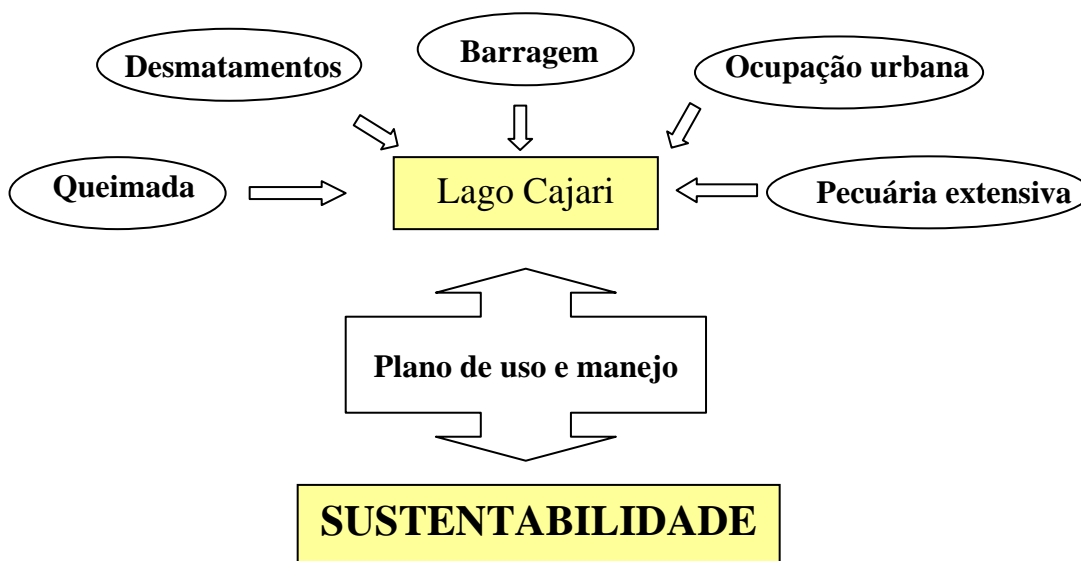


FIGURA 20 - Fluxograma para o planejamento de ações sugerido para a sustentabilidade dos lagos de Penalva, em particular para o Lago Cajari.

<sup>1</sup> O Plano Diretor é uma lei municipal que estabelece diretrizes para a ocupação da cidade. Ele deve identificar e analisar as características físicas, as atividades predominantes e as vocações da cidade, os problemas e as potencialidades. A prefeitura em conjunto com a sociedade, busca direcionar a forma de crescimento, conforme uma visão de cidade coletivamente construída e tendo como princípios uma melhor qualidade de vida e a preservação dos recursos naturais. O resultado, formalizado como Lei Municipal, é a expressão do pacto firmado entre a sociedade e os poderes Executivo e Legislativo. (Capturado em: [plano.itajai.sc.gov.br](http://plano.itajai.sc.gov.br))

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAN, J.D. *Stream ecology: structure and function of running waters*. London: Chapman & Hall, 1997, 388 pg.

ALMEIDA, I.C.S. Indicadores e tensores ambientais nos ambientes aquáticos da região lacustre de Penalva, APA Baixada Maranhense. São Luís, 2005, 71p.

ARCOVA, F.C.S.; CESAR, S.F.; CICCIO, V. Qualidade da água e dinâmica de nutrientes em bacia hidrográfica recoberta por floresta de mata atlântica. Revista do Instituto Florestal, São Paulo, v.5, n.1, p.1-20, 1993.

ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. Características do deflúvio de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha - SP. Revista Instituto Florestal de São Paulo, v.9, n.2, p.153-170, 1997.

AROUCHE, Gaudino. Aventuras no Lago Formoso. Penalva-MA, 1999.

BARBIERI, R. et. al. Plâncton, produção primária e alguns fatores físico-químicos de dois lagos da Baixada Maranhense. Rev. Bras. Biol. v.49 (2), 1989, p. 399-408.

BARBIERI, R. et. al. Ecologia e Sustentabilidade de Três Ecossistemas Aquáticos Característicos da Baixada Maranhense: Relatório Final de Projeto Integrado de Pesquisa. São Luís-MA, 2000. 41p..

BRANCO, S.M. *Hidrologia aplicada à engenharia sanitária*. 3.ed. São Paulo: CETESB/ ASCETESB, 1986. 616 p.

BRANCO, S. M. Água: origem, uso e preservação. 2ª ed. Coleção Polêmica. São Paulo: Moderna, 2003. 96p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso em: 15 de setembro de 2005.

BRASIL. LEI nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Código Florestal Brasileiro. Brasília: DOU, 1965.

BRASIL Resolução CONAMA nº 369/2006, que dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente – APP. Brasília: DOU, 2006.

BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E.L.G. Limnologia fluvial: um estudo no Rio Mogi-Guaçu. São Carlos, RiMa, 2003.

BROWN, G.W. Forestry and water quality. 2nd ed. Oregon: [s.n.], 1988. 142 p.

COELHO, A.A. Absorção de nutrientes por *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms in vitro, a partir de um meio poluído – Rio Anil. São Luís, 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Coliformes totais e fecais: determinação pela técnica dos tubos múltiplos. São Paulo, 1993.

COSTA-NETO, J. P. Bases limnológicas para manejo de tanques de cultivo de peixes. São Carlos, Tese (doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1990.

COSTA-NETO, J. P. et al. Limnologia de três ecossistemas aquáticos característicos da Baixada Maranhense. Boletim do Laboratório de Hidrobiologia. v. 14/15, 2002, p.19-38.

ESTEVEES, F.A. Fundamentos de limnologia. Rio de Janeiro: Interciência/ FINEP, 1988. 575 p.

FUNDAMENTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO. Disponível: site URL **[www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/cgi-bin/PRG\\_0599.EXE/5483\\_4.PDF](http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/cgi-bin/PRG_0599.EXE/5483_4.PDF)**.

Consultado em setembro de 2006.

GOLTERMAN. H.L.; CLYMO, R.S.; OHNSTAD, M.A.M. Methods for physical and chemical analysis of freshwater. 2. ed. Oxford: IBP Handbook n. 8. Blackwell Scientific Publications, 1978.

HUTCHINSON, C. F. Techniques for combining Landsat and ancillary data for digital classification improvement. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 48, pp. 123-130. 1982.

IBGE (Rio de Janeiro - RJ). Censo Demográfico 2000. Disponível: site IBGE (2000). URL: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Consultado em junho de 2006.

JAWETZ, E.; MELNICK, J.A. & ADELBERG, E.A. Microbiologia Médica. 21. Ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. 175p.

KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K. (Ed.). Method of seawater analysis. [S. L]: Verlag Chemie Weinheim, 1976.

LIMA, E.B.N.R. *Modelagem integrada para gestão da qualidade da água na Bacia do Rio Cuiabá*. 2001. 184 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MACKERETH, F.J.H.; HERON, J.; TALLING, J.F. Water analysis: some revised methods for limnologists.[S. L]:Freshwater Biological Association, 1978.

MARANHÃO. Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão. Gerência de Estado de Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural – GEAGRO, Fundação Sôsaândrade, Universidade Federal do Maranhão e Universidade Estadual do Maranhão. 2003. 253p.

MARGALEF, R. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico Barcelona: Omega, 1983. 100 p.

MARGALEF, R. The place of epicontinental waters in global ecology. In: MARGALEF, R. Limnology now: a paradigm of planetary problems. Amsterdam: Elsevier Science, 1994. p.1-8.

MATHEUS, C.E.; MORAES, A.J. de; TUNDISI, T.M.; TUNDISI, J.G. *Manual de análises limnológicas*. São Carlos: Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, USP, 1995. 62 p.

MOITA, R.; CUDO, K. Aspectos gerais da qualidade da água no Brasil. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO E SAÚDE NO BRASIL, 1991, Brasília. *Anais...* Brasília: Ministério da Saúde, Secretaria do Meio Ambiente, 1991. p.1-6.

MOURA, E. (Org.). Agroambientes de transição: entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil. São Luís: UEMA, 2004. 312p.

MURRAY, P.R. Microbiologia Médica. 3. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. 73p.

NOVO, E.M.L. Sensoriamento remoto, princípios e aplicações. São Paulo: Blücher, 1992. 308p.



NOVO, E. M. L.; BRAGA, C.Z.F. Segundo relatório do projeto de sensoriamento remoto de sistemas aquáticos. CRHEA/USP – INPE/MCT. São José dos Campos, 1995, 103p.

OLIVEIRA, F.A. Produção e qualidade da água em bacias hidrográficas contendo diferentes coberturas vegetais na região de agudos, São Paulo. 1989. 96 f. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; ALMEIDA, R. J.; MELLO, J. M. & GAVILANES, M. L. Estrutura fitossociológica e variáveis ambientais em um trecho de mata ciliar do córrego Vilas Boas, Reserva Biológica do Poço Bonito, Lavras (MG). Revista Brasileira de Botânica 17(1): 67-85, 1994.

PALHARES, J.C.P.; SCANDOLERA, A.J.; LUCAS JÚNIOR, J.; COSTA, A.J. da. Monitoramento da qualidade da água do Córrego Jaboticabal através de parâmetros químicos. In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES DA BACIA HODROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU 2000, Porto Ferreira. *Anais...* Porto Ferreira: Prefeitura Municipal de Porto Ferreira, 2000.

PALMA-SILVA, G.M. Diagnóstico ambiental, qualidade da água e índice de depuração do Rio Corumbataí - SP. 1999. 155 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Integrado de Recursos) - Centro de Estudos Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

PEREIRA, V.P. *Solo: manejo e controle de erosão hídrica*. Jaboticabal: FCAV, 1997. 56 p.

PETERS, N.E; MEYBECK, M. Water quality degradation effects on freshwater availability: impacts to human activities. *Water International*, Urbana, v.25, n.2, p.214-21, 2000.

PINHEIRO, C. U. B. Uso do conhecimento tradicional na caracterização e monitoramento de mudanças ecológicas no Maranhão – incorporação de bases etnocientíficas na pesquisa e ensino de graduação e pós-graduação na UFMA, Bolsa de Desenvolvimento Científico Regional. São Luís, 2003, 89 p.

PIROLI, E.L. et al. Análise do uso da terra na microbacia do arroio do Meio – Santa Maria – RS, por sistema de informações geográficas e imagens de satélite. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.32, n.3, p.407-413, 2002.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; SILVA, H. R. Influência da Posição da Microbacia Hidrográfica no Sistema Natural de Drenagem sobre a Incidência da Erosão Acelerada do Solo Intensa /Muito Intensa . In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 1998, Fortaleza. Fortaleza: SBCS, 1998. v.1. p. 404.

PLANO DIRETOR DE ITAJAÍ. Disponível site URL: <http://plano.itajai.sc.gov.br/>. Consultado em dezembro de 2007.

PORTO, F.A.; BRANCO, S.M.; LUCA, S.J. Caracterização da qualidade da água. In: PORTO, R.L. (Org.). *Hidrologia ambiental*, São Paulo: EDUSP, 1991. p.375-390.

RANGEL, M. E. S. Contribuição dos dados integrados dos sistemas sensores TM/Landsat-5 e ERS-1/SAR para o estudo de uso e cobertura da terra no nordeste da ilha do Maranhão / M.E.S. Rangel. – São José dos Campos: INPE, 2000. 112p.

SANTOS, O. M. Avaliação dos usos e ocupação das terras da Bacia Hidrográfica do Rio Pericumã-MA, utilizando como parâmetro os padrões recomendáveis para uma área de proteção ambiental. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas). São Luís-MA, 2004. 161p.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V.C.A. Manual de métodos de análises microbiológicas de alimentos. 2.ed. São Paulo: Varela, 2001. 31p.

SOPPER, W. E. Effects of timber harvesting and related management practices on water quality in forested watersheds. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.4, n.1, p.24-9, 1975.

SUDEMA (Superintendência do Desenvolvimento do Maranhão). 1970. Novo Zoneamento do Estado do Maranhão. São Luis, MA.

TEIXEIRA, C. et al.. Plankton studies in a mangrove II: the standing-stock and some ecological factors. *BoI. Inst. Oceanogr.*, n° 24, São Paulo. 1965. p. 23-41.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. Microbiologia. 6. Ed. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000. 729p.

TUNDISI, J.G. Produção primária “standing-stock” e fracionamento do fitoplâncton na região lagunar de Cananéia. São Paulo. Tese (doutorado) Universidade de São Paulo. 1969.

TUNDISI, J.G. Limnologia do século XXI: perspectivas e desafios. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora, IIE, São Paulo, 1999. 24 p.

VAZHEMIN, I.G. Chemical composition of natural waters in the VYG river basin in relation to the soil of Central Karelia. *Soviet Soil Science*, Silver Spring, v.4, n.1, p.90-101, 1972.

VINHOTE, H. C. A. A dinâmica de inundação e sua relação com o uso e manejo dos recursos vegetais nos ambientes aquáticos da região lacustre de Penalva – Contribuição à gestão dos recursos hídricos na área de proteção ambiental (APA) da Baixada Maranhense. São Luís, 2005, 67p.

## **ANEXOS**

Tabela 1 - Uso do solo no entorno do Lago Cajari nos anos de 1990 e 2004.

<b>Lago Cajari</b>			
<b>Unidades de paisagem para 1990</b>		<b>Unidades de paisagem para 2004</b>	
<b>Classes</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Classes</b>	<b>Área (ha)</b>
Lago Cajari	1.703,805	Lago Cajari	1.703,805
Corpo água	52,614	Corpo água	52,614
Capoeira-babacu	162,337	Capoeira-babacu	660,230
Campo inundável	1149,689	Campo inundável	788,924
Urbano	69,765	Urbano	208,896
Capoeira	494,563	Capoeira	444,276
Total	3.632,773	Total	3.858,745

Tabela 2 - Uso do solo no entorno do Lago Formoso nos anos de 1990 e 2004.

<b>Lago Formoso</b>			
<b>Unidades de paisagem para 1990</b>		<b>Unidades de paisagem para 2004</b>	
<b>Classes</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Classes</b>	<b>Área (ha)</b>
Lago Formoso	487,688	Lago Formoso	487,688
Capoeira-babacu	11,485	Capoeira-babacu	9,204
Campo inundável	48,740	Campo inundável	37,438
Mata de aterrado	643,093	Mata de aterrado	602,743
Capoeira	102,428	Capoeira	93,149
Total	1293,434	Total	1230,222