

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
SUSTENTABILIDADE DE ECOSISTEMAS
MESTRADO**

ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO

**ESTUDO SÓCIO-AMBIENTAL DOS EFEITOS DE BARRAGENS NA ÁREA
DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DA BAIXADA MARANHENSE:
O CASO DO LAGO CAJARI, PENALVA - MA.**

**São Luís
2006**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
SUSTENTABILIDADE DE ECOSISTEMAS
MESTRADO**

ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO

**ESTUDO SÓCIO-AMBIENTAL DOS EFEITOS DE BARRAGENS NA ÁREA
DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DA BAIXADA MARANHENSE:
O CASO DO LAGO CAJARI, PENALVA - MA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós - Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas - PPGSE da Universidade Federal do Maranhão como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Sustentabilidade de Ecossistemas.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Urbano B. Pinheiro.

Co-orientador: Prof. Dr. Márcio Costa F. Vaz dos Santos.

Agência Financiadora: CAPES

São Luís

2006

Nascimento, Isa Rosete Mendes Araujo.

Estudo sócio – ambiental dos efeitos de barragens na área de proteção ambiental de Baixada Maranhense: O caso do Lago Cajari, Penalva – MA. / Isa Rosete Mendes Araujo Nascimento. – São Luís, 2006.

86 f.

Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas) - Universidade Federal do Maranhão, 2006.

1. Barragem - Efeitos sócio – ambientais – Estudo.
2. Sustentabilidade - Lago Cajari, Penalva (MA). I. Título.

CDU 504.05:627.81

**ESTUDO SÓCIO-AMBIENTAL DOS EFEITOS DE BARRAGENS NA ÁREA
DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DA BAIXADA MARANHENSE:
O CASO DO LAGO CAJARI, PENALVA - MA.**

Isa Rosete Mendes Araujo Nascimento

Aprovada em ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^o.: Dr. Claudio Urbano B. Pinheiro (Orientador)

Prof^a.: Dr^a. Dayani de Fátima Pereira

Prof^o.: Dr. Bruno de Brito Gueiros Souza

Prof^o.: Dr. José Policarpo Costa-Neto (Suplente)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me concedeu a chance de alcançar mais um nível de aprendizado rumo ao aprimoramento profissional e me iluminou durante toda essa caminhada.

Às instituições Universidade Federal do Maranhão e CAPES bem como os trabalhadores destas instituições que colaboraram para elaboração deste trabalho.

Ao Profº Dr. Claudio Urbano B. Pinheiro, que aceitou o desafio de dividir comigo essa empreitada, auxiliando no meu projeto de pesquisa, com uma colaboração significativa e enriquecedora, e por sua atenção e dedicação como coordenador deste mestrado.

Ao Profº Dr. Márcio Vaz, pela grande contribuição neste trabalho e pelos ensinamentos acerca da hidrologia do ambiente estudado.

A todo corpo docente do Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas, pelo apoio, incentivo e riqueza de conhecimentos concedidos a nós, mestrandos.

Ao senhor Galdino Arouche e família e ao senhor Arthur pelas indispensáveis colaborações durante a realização do trabalho de campo.

A todos os meus adoráveis e inesquecíveis amigos de turma, pela amizade, partilha nos momentos de descontração e aflição especialmente aos amigos Richardson, Clarissa, Eliesé, Jaciara e Glaciane pela humanidade nos momentos de estresse.

As amigas Odenilde, Nina e Mércia pelo apoio intensivo e dedicado na elaboração e tratamento das imagens de satélite.

A minha tia Divanilda de Holanda Araújo (*in memorian*), pelo amor incondicional e pela confiança e positividade dedicadas a mim.

Aos meus adorados pais Sonia Regina (*in memorian*) e Alexandre A. Neto e meus queridos irmãos Alesson, Rafael e Letícia, pela credibilidade, incentivo e carinho.

Ao meu amado marido Humberto Mendes Nascimento, pela força, encorajamento, dedicação e compreensão durante a elaboração desta dissertação.

“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim.”

Chico Xavier

RESUMO

Durante dois anos (2004-2006), foram estudados os principais efeitos causados pela construção da barragem do lago Cajari no município de Penalva, região da Baixada Maranhense. Tal obra, por estar localizada em um ecossistema com estrutura e funcionamento complexos devido à dinâmica de inundação sazonal, deveria ter tido um estudo prévio de viabilidade ambiental para sua implantação, o que não aconteceu. A pesquisa abrangeu os lagos do município de Penalva e o Canal Maracu (que liga os lagos da região de Penalva e Viana), sub-bacia do rio Pindaré. O estudo pretendeu formar bases cientificamente consistentes de dados sobre a história ambiental e sócio econômica da construção da barragem do lago Cajari, bem como avaliar os efeitos positivos e negativos, atuais e potenciais nas regiões a montante e a jusante, além de discutir a relação custo-benefício da mesma, considerando o ambiente e a sócio-economia regionais. Os dados foram levantados por meio de aplicação de questionários, uso de imagens digitais, análise de qualidade da água (parâmetros físico-químicos e potabilidade), fluxo de inundação, técnicas de batimetria e balanço hídrico (para conhecer o perfil de fundo e a capacidade do lago) e submetidos a análises qualitativas e quantitativas. Do ponto de vista ambiental os resultados não mostram ainda efeitos evidentes sobre a biodiversidade. No que se relaciona ao conjunto da bacia, preocupa a redução do aporte de água da região de Penalva à região do lago de Viana. O efeito cumulativo dessa redução pode contribuir para a diminuição do nível de água do lago de Viana e, gradativamente, reduzir o tamanho do próprio lago. Do ponto de vista sócio-econômico, os efeitos são mais positivos que negativos. A barragem favoreceu a pesca da região, mas hidrologicamente prejudicou as regiões a jusante. O incremento da pesca, com conseqüente geração de renda e produção de alimento farto, certamente são condições desejáveis. Alguns cenários são avaliados como alternativas com sugestões para a gestão hidrológica da região lacustre e da sua sustentabilidade.

Palavras – Chave: Barragens, Efeitos Sócio-Ambientais, Sustentabilidade.

ABSTRACT

During two years (2004-2006), the main effects caused by a construction of a small dam at the Cajari lake, municipality of Penalva, Baixada Maranhense region, were studied. Such construction, for being located in an ecosystem of complex structure and function and also due to the region's dynamics of seasonal flood, a previous study on its environmental viability should have been carried out before construction, but it was not done. This study involved the lakes within Penalva municipality's area and the Maracu channel (which links the lakes in the Penalva and Viana regions), basin of the Pindaré river. It was intended to form a base of scientifically consistent data on the environmental and socio-economic history of the dam construction in the lake Cajari. Additional objectives were to evaluate positive and negative, current and potential effects along upper and lower areas, and to discuss the cost/benefit relation of the dam construction, considering both the environment and the socio-economy of the region. Data were collected using several means: interviews, satellite imagery, tests of water quality (physical-chemical parameters and potability), flooding pulses, batimetry and hydric balance (to understand the profile of the lake's bottom and its capacity); the data obtained were submitted to both qualitative and quantitative analyses. From the environmental standpoint, the results did not show yet clear effects from the dam on biodiversity. Regarding to the basin as a whole, it is a concern the reduction in the water flow from the Penalva region to the Viana lake. The cumulative effect of that reduction can contribute to diminish the water level in the Viana lake, and, slowly, to reduce the size of the lake itself. From a socio-economic standpoint, the effects are more positives than negatives. In general, the dam benefited fishery in the region, but caused a number of problems in the areas below it. On the other hand, the increase of fishery and the improvement in income generation are certainly desirable effects. Some sceneries area evaluated and discussed as alternatives for the sustainable use and management of water in this lacustrine region.

Key-Words: Dams, Socio-Environmental Effects, Sustainability.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 <u>O Homem e a Construção de Barragens</u>	16
2.2 <u>Barragens no Maranhão e suas Conseqüências</u>	18
2.3 <u>Pequenas Barragens em Áreas Inundáveis</u>	19
2.4 <u>Sustentabilidade e Construção de Pequenas Barragens</u>	20
3. METODOLOGIA	21
3.1 <u>ÁREA DE ESTUDO</u>	21
3.2 <u>PARÂMETROS AMBIENTAIS DA REGIÃO</u>	23
3.2.1 <u>Geologia e Geomorfologia</u>	23
3.2.2 <u>Hidrografia</u>	24
3.2.3 <u>Hidrologia</u>	25
3.2 <u>ETAPAS DE TRABALHO</u>	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 BARRAGEM DO LAGO CAJARI	32
4.1.1 <u>Histórico</u>	32
4.2 PERCEPÇÃO E CONHECIMENTO LOCAL SOBRE A BARRAGEM ...	40
4.2.1 <u>Perfil dos Informantes</u>	40
4.2.2 <u>Opinião dos Informantes sobre a Construção da barragem</u>	41
4.3 EFETOS DA BARRAGEM NO AMBIENTE.....	45
4.3.1 <u>Efeitos sobre a Bubalinocultura</u>	45
4.3.2 <u>Efeitos sobre a Vegetação</u>	48
4.3.3 <u>Efeito sobre o Fluxo Natural das Águas</u>	49
4.3.4 <u>Efeitos sobre a Qualidade da Água</u>	50
4.4 EFEITOS CULTURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS.....	55
4.4.1 <u>Efeitos Histórico-Cultural (Estearias)</u>	55
4.4.2 <u>Efeitos Sócio-Econômicos</u>	57
4.5 ANÁLISE HIDROLÓGICA DA REGIÃO DOS LAGOS	59
4.6.1 <u>Modelo Digital da Plataforma de fundo do lago Cajari</u>	59
4.6.2 <u>O Balanço Hídrico da Sub-bacia do rio Pindaré</u>	61

5. CUSTOS E BENEFÍCIOS DA BARRAGEM DO LAGO CAJARI.....	69
6. CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS	73
APÊNDICES.....	76
Modelo do Questionário.....	77
ANEXOS83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Número de informantes por povoados amostrados nos municípios de Penalva e Cajari ao longo dos lagos Capivari e Cajari e do Canal Maracu.	29
Quadro 2 – Situação Geral do rebanho bubalino em Penalva -MA	47
Quadro 3 - Resultados da potabilidade nos lagos a montante e a jusante da barragem.	51
Quadro 4 - Parâmetros físico-químicos da água do lago Cajari e canal Maracu (Outubro/ 05).	53
Quadro 5 - Parâmetros Físico-Químicos da Água do Lago Cajari e Canal Maracu (Março/ 06).	53
Quadro 6 - Resultados do Balanço Hídrico da sub-bacia do Pindaré, abrangendo os municípios de Penalva e Viana (MA).	63
Quadro 7 - Benefícios da barragem a montante do lago Cajari – Penalva (MA), de acordo com informações dos moradores da região.	69
Quadro 8 - Custos da barragem a jusante e a montante do lago Cajari – Penalva (MA), de acordo com informações dos moradores da região.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Balanço dos pontos positivos ocorridos a montante e a jusante após a construção da Barragem do lago Cajari segundo a opinião dos moradores. 42

Tabela 2 - Balanço dos pontos negativos ocorridos a jusante e a montante após a construção da Barragem do lago Cajari segundo opinião dos moradores. 45

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Localização da área de estudo destacando a APA da Baixada Maranhense e a Cidade de Penalva 22
- Figura 2** - Imagem de Satélite evidenciando a região de Penalva, na Baixada Maranhense, as barragens construídas no Lago Cajari e o Canal Maracu. Fonte: Google Earth (2006). 23
- Figura 3** - Drenagem da Sub-Bacia do Pindaré abrangendo os lagos dos municípios Penalva e Viana. 27
- Figura 4** - **A.** Mostra o trilho de passagens das embarcações **B.** Evidencia parte da estrutura da primeira barragem (1997), onde se pode observar que a mesma possuía concreto na crista e laterais, passarela para pedestres e trilhos para passagem de embarcações. **C.** mostra o início do rompimento desta barragem. 32
- Figura 5** - **A.** visualiza-se a estrutura sem concreto (tipo enrrocamento) da Barragem do Lago Cajari em novembro de 2005. **B.** observa-se a estrutura atual da barragem, com algodão do campo plantado em suas margens para evitar erosão. 34
- Figura 6** - **A.** Área do lago Cajari, antes da construção da barragem (1995) **B.** Área do lago Cajari depois da construção da barragem (2004). 37
- Figura 7** - **A e B.** Vistas da barragem do Lago Cajari em diferentes ângulos; **C.** facilidade do acesso de uma margem a outra do lago Cajari; **D.** Continuação da barragem do lago Cajari, após o povoado da Trizidela. **E.** Talude da barragem com algodão do campo nas laterais; **F.** Porto de Penalva a montante da barragem do Lago Cajari. 38
- Figura 8** – **A e B.** Criação de gado bovino a jusante da barragem do lago Cajari; **C e D.** Búfalos pastando em áreas a jusante da barragem; **E.** Barragem do lago Cajari após o povoado da Trizidela, dividindo o lago em duas partes, jusante (a esquerda da figura) e montante (a direita) **F.** Fluxo de água escoando para jusante com o rompimento da barragem na porção situada após o povoado da Trizidela.....39
- Figura 9** - Balanço positivo e negativo sobre a construção da barragem, segundo as opiniões de moradores a montante e a jusante do lago Cajari. 41
- Figura 10** - Opinião dos entrevistados sobre a Quantidade do Pescado após a construção da barragem. 43

Figura 11 - Opinião dos entrevistados sobre o Tamanho do Pescado após a construção da barragem.	44
Figura 12 - A. Araribas as margens do lago; B. Arariba submersa pela cheia do lago.	48
Figura 13 - Barragem da Trizidela mostrando a área de rompimento e o escoamento da água para o canal Maracu; abril de 2006..	50
Figura 14 - Porto de Penalva evidenciando esgoto lançado in natura e lixo acumulado nas margens do lago Cajari.	52
Figura 15 - A. evidencia o formato de uma habitação lacustre; B. mostra uma maquete da cidade lacustre do lago Cajari em jiraus; C. evidencia o que restou das estearias, estacas em Pau - d'arco; D. restos de cerâmicas recolhidas pelo Museu Goeldi no Pará.	56
Figura 16 - Modelo digital da plataforma de fundo do lago Cajari, evidenciando os níveis mais altos e mais baixos.	60
Figura 17 - Modelo da plataforma de fundo do lago Cajari em 3D.	61
Figura 18 - Gráfico de hidroperíodo dos municípios de Penalva e Viana, com escoamento pelo canal Maracu.	65
Figura 19 - Gráfico de hidroperíodo ideal para os municípios de Penalva e Viana. ..	66

1. INTRODUÇÃO

As principais bacias hidrográficas do Brasil foram modificadas pela construção de reservatórios, os quais isoladamente ou em cascata, constituem um importante impacto qualitativo e quantitativo nos principais ecossistemas de águas interiores. Os reservatórios de grande porte ou pequeno porte são utilizados para inúmeras finalidades: hidroeletricidade, reserva de água para irrigação, reserva de água potável, produção de biomassa (cultivo de peixe e pesca intensiva), transporte (hidrovias), recreação e turismo (REBOUÇAS & BRAGA, 2002).

Esta grande quantidade de reservatórios tem um enorme significado econômico, ecológico, hidrológico e social; em muitas regiões do país esses ecossistemas foram utilizados como base para o desenvolvimento regional. Em alguns projetos houve planejamento inicial e uma preocupação com a inserção regional; em outros casos, este planejamento foi pouco desenvolvido. Entretanto, devido às pressões por usos múltiplos, estudos intensivos foram realizados com finalidade de ampliar as informações existentes e promover uma base de dados adequada que sirva como plataforma para futuros desenvolvimentos (TUNDISI, 1988; REBOUÇAS & BRAGA, 2002).

A construção de pequenas barragens foi aprovada pelo *Decreto lei n.º 409 / 93* onde ficou regulamentado em seu artigo 1º disposições sobre aplicação do projeto, construção, exploração e observação de barragens com altura igual ou inferior a 15m. O artigo 2º ressalta que os projetos devem ser elaborados por técnicos com qualificação reconhecida pelo Instituto Nacional das Águas (INAG). Porém, o que pode acontecer na realidade é a que muitas obras são construídas sem nenhuma fiscalização dos projetos e nem estudos de viabilidade ambiental. Para tanto se faz também necessária a realização de *Estudos de Impacto Ambiental (EIA)* e a apresentação do respectivo *Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)*, que foram regulamentados pela *Resolução CONAMA 001*, de 23/01/1986. Estas regulamentações servem para 16 categorias de projetos que possam ser instalados ou ampliados (art.2º). No ranking destes projetos, a construção de barragem para qualquer finalidade está citada em sétimo lugar (CUNHA & GUERRA, 2004).

Os estudos de impacto ambiental se transformam em um tema extremamente atual para os países em desenvolvimento, tendo em vista a crescente

tomada de consciência entre crescimento econômico e meio ambiente, na perspectiva de um desenvolvimento sustentado (AB' SABER & MÜLLER, 1998).

Os impactos positivos ou negativos da construção de represas são relativamente bem documentados para muitas bacias hidrográficas (REBOUÇAS & BRAGA, 2002). Estes impactos estão relacionados com a geomorfologia dos lagos, a sócio-economia regional, perda da vegetação, mudança do fluxo de inundação, diminuição da biodiversidade, entre outros.

A avaliação dos impactos de barragens ganha uma maior relevância, pois já se têm registros de que nas planícies inundáveis, como as da Baixada Maranhense, ocorrem impactos sobre o ciclo natural das cheias promovendo assim uma modificação do regime de fluxo pelas barragens e levando à redução da inundação rio abaixo tanto em relação ao espaço quanto ao tempo (GIRARD, 2002). Nestas áreas, complexos ecossistemas oscilam entre as fases terrestre e aquática, em dois períodos sazonalmente diferentes: cheia e seca. A alternância temporal e espacial destas fases resulta em modificações drásticas das condições ambientais, na composição faunística e florística dos organismos (SILVA *et al.*, 1998) e tem efeito direto sobre o homem regional e o seu modo de vida. O barramento das águas pode causar alterações significativas nesta dinâmica, produzindo os mais diferenciados efeitos em curto, médio e longo prazo.

No Maranhão, estudos com impactos de pequenas barragens são recentes e insuficientes. Este estudo constitui, portanto, uma das poucas iniciativas acadêmicas sobre este tema. Utilizando-se diferentes ferramentas e disciplinas da Ciência em combinação, procurar-se-á avaliar os efeitos continuados no barramento da água no lago Cajari sobre ao ambiente e o homem local. Neste objetivo, a Etnobiologia será utilizada para registrar a percepção do homem local sobre as mudanças e os efeitos provocados pela barragem sobre o ambiente, o homem e a sócio-economia da região. Complementar, o sensoriamento remoto proverá a visão em tempo e espaço das mudanças físicas ocorridas na região represada e abaixo dela.

A barragem do Lago Cajari, no município de Penalva, região da Baixada Maranhense, foi construída em 1997 sem um estudo prévio dos impactos histórico-culturais, sociais, ambientais e econômicos, positivos e/ou negativos. Devido a Baixada Maranhense se tratar de um ecocomplexo de rios, lagos, estuários, áreas alagáveis e

agroecossistemas, é importante a avaliação de possíveis impactos na região para que seja possível manejar, utilizar e conservar seus componentes.

A presente pesquisa tem como objetivo geral resgatar a história ambiental e sócio-econômica do Lago Cajari, antes e depois da construção da barragem, verificando os principais impactos positivos e/ou negativos desta modificação antrópica ao ambiente natural. Mais especificamente, procurar-se-á avaliar os efeitos positivos e negativos, atuais e potenciais, na região de influência montante e a jusante da barragem, bem como discutir a relação custo-benefício da mesma em relação ao ambiente e à sócio-economia regionais, utilizando como instrumentos, o conhecimento tradicional e o sensoriamento remoto.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O Homem e a Construção de Barragens

A interação do homem com o meio ambiente seja ela de forma harmônica ou não, provoca sérias mudanças em nível local, regional, ou mesmo global. Segundo CUNHA & GUERRA (2004), essas mudanças têm gerado profundas discussões sobre as questões ambientais em todos os seguimentos da sociedade.

Para THEODORO (2002), a construção de estratégias de futuro que conciliem os imperativos do desenvolvimento econômico e social com os da sustentabilidade ambiental é um desafio marcante.

As represas são uma das intervenções humanas no ambiente que provocam significativos impactos. Em geral são construções formadas pelo barramento artificial de um vale natural ou pela formação de lagos. A estas represas são associadas uma bacia de drenagem natural e vazões defluentes sujeitas a controle (THEODORO, 2002).

A construção de represas, o desvio de cursos d'água e a formação de lagos artificiais têm aumentado de forma significativa nos últimos anos. Essas ações antrópicas têm provocado respostas ambientais diversas, como a modificação da dinâmica da água, a sucessão de comunidades e a extinção de espécies (ABILHOA *et*

al., 2003). Um reservatório recém formado é colonizado por espécies de peixes previamente existentes, mas como nem todas as espécies são capazes de suportar o novo ambiente, a ictiofauna deste reservatório é bem menos diversificada que a de seu rio formador.

Independente do tamanho da represa ou da finalidade da água acumulada, a principal função é a de regulador, objetivando a manutenção da vazão dos cursos da água ou o atendimento das variações da demanda dos usuários. Uma represa impõe significativas mudanças na escala temporal e espacial dos fenômenos que ocorrem num curso d'água. Conseqüentemente, isto altera sensivelmente os processos físicos, químicos e biológicos dos ecossistemas presentes na região. O Brasil possui cerca de 600 grandes barragens (acima de 15m de altura) e mais de 70 mil pequenas barragens apenas no Nordeste, das quais 239 possuem casa de força para produção de energia elétrica (THEODORO 2002).

O início da construção de grandes barragens no Brasil se deu com a Grande Seca ocorrida na região Nordeste, no período de 1877-1880. Este acontecimento deixou cicatrizes que ainda hoje não desapareceram de todo, mas que propiciaram a construção dos primeiros açudes na região (VIOTTI, 2000).

A construção de açudes no Nordeste brasileiro teve início no tempo do Brasil Império. Estes ecossistemas são de fundamental importância sócio-econômica na região Nordeste. Através de sua construção (feita por material de terra e pedras), é possível o armazenamento de água para fornecimento à população humana e de animais, regularização do curso de água, irrigação e o aumento da produção protéica da região, através da piscicultura. Apesar da seca no nordeste ser antiga, somente após o terrível período de seca que assolou a região, iniciou-se efetivamente a construção de açudes (ESTEVEZ, 1998).

As áreas alagáveis da Baixada Maranhense, também vem sofrendo modificações no seu ciclo de inundação com construção de pequenas barragens sem um estudo prévio de viabilidade ambiental (ALMEIDA, 2005). A população da região parece ter a construção de barragens como a única maneira de diminuir a seca local.

2.2 Barragens no Maranhão e suas Conseqüências

Um dos poucos exemplos documentados de efeitos de barragens no Maranhão é o da Barragem do rio Pericumã, construída no ano de 1981, no médio curso do rio, a jusante da cidade de Pinheiro, sede do município do mesmo nome, região da Baixada Maranhense. Com 130m de extensão, foi construída com o objetivo de minimizar a penetração da água salina, bem como facilitar a navegação; reduzir as enchentes em áreas urbanas e agrícolas e regularizar as vazões no período crítico da estiagem (SANTOS, 2004).

A construção da barragem, segundo MARANHÃO (1991), provocou, devido ao maior tempo de inundação a que ficaram submetidos (impacto indireto por falhas operacionais), profundas modificações nos campos de Pinheiro, decorrentes da substituição, em algumas áreas, do capim de marreca (*Paratheria prostrata*; Gramineae) pelo junco (*Eleocharis interstincta*; Cyperaceae). A partir de então, o junco, nos campos de Pinheiro, passou a ocupar áreas anteriormente dominadas pelo capim de marreca e pelas macrófitas na época de cheia. As implicações ecológicas surgidas a partir dessa substituição têm tido respostas extremamente complexas que ainda vêm sendo estudadas por envolverem conhecimentos múltiplos. As comunidades da região, no entanto, aproveitando a grande proliferação do junco na região, vêm utilizando à ciperácea na confecção de diversos produtos, especialmente, esteiras para selas de cavalos.

Antes da construção da barragem, a população local sofria com a escassez sazonal de água e com a salinidade dos campos que, por sua vez, inviabilizava alguns usos econômicos. Assim, recorriam à construção de “tapagens” (barragens rústicas) que, na maioria das vezes, não resistindo à força das águas, rompiam-se e, novamente, no ano seguinte, havia a necessidade de reconstruí-las.

No alto curso, compreendido entre o Lago do Puca e o povoado de Bornel, o Pericumã recebe os rios do Poção e do Meio, ambos pela margem esquerda. Pela margem direita, os rios Bamburral, Pindoba, Santa Rosa, Bonfim, entre outros. Neste curso, em áreas de terra firme, ainda é possível se encontrar fragmentos de uma vegetação que mais se aproxima da antiga e original cobertura vegetal da região; porém, os remanescentes florestais são, em geral, perturbados (SANTOS, 2004).

2.3 Pequenas Barragens em Áreas Inundáveis

A Baixada Maranhense, com cerca de 1.700.000 hectares constitui a maior planície inundável da região costeira brasileira. As características climáticas da região, associadas aos solos espessos de elementos aluviais, com pequeno declive e a drenagem natural deficiente, provocam, no período das chuvas, as grandes inundações nos campos naturais (MARANHÃO, 1991) da região, cujos limites variam de acordo com o nível atingido pelas cheias fluviais.

Em 1991, a Baixada Maranhense foi transformada em área protegida da categoria Área de Proteção Ambiental (APA), cujos objetivos priorizavam a reversão dos graves problemas sócio-ambientais decorrentes do modelo de desenvolvimento adotado, entre eles a pesca e caça predatória, a construção de pequenas barragens, a criação extensiva do gado bubalino, além de almejar, a melhoria na qualidade de vida de seus habitantes. No entanto, após treze anos de sua criação, em quase nada difere das regiões de entorno, em razão da ausência de políticas públicas capazes de imprimir qualquer diferença como, aliás, ocorreu com as demais unidades de conservação do Estado (SANTOS, 2004).

Além de ser uma APA a Baixada Maranhense a partir de 1999 foi designada na lista de Sítios RAMSAR (Convenção de importância Internacional para conservação e uso sustentável de Zonas Úmidas), por se tratar de um ambiente de áreas inundáveis, onde ocorrem campos, matas de babaçu, matas ripárias, manguezais e bacias lacustres. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006).

A busca do entendimento dos modos de apropriação e intervenção sobre os recursos naturais pelo homem da Baixada Maranhense, em especial do município de Penalva (neste caso, com a construção da barragem do Lago Cajari), serviu de ponto de partida para o desenvolvimento desta pesquisa. Tratar-se de um ambiente que teve em curto prazo a modificação de seus ciclos de inundação que, de sazonais passaram a ser permanentes, com suas conseqüências.

De acordo com o Relatório FEPAM (2003), tendo em vista o desenvolvimento de uma região, a construção de barragens é um processo importante. Entretanto, acarreta diversos impactos à fauna aquática e terrestre; o aumento da umidade, a redução dos habitats e a conseqüente dispersão dos animais das suas áreas

de refúgio são alguns prejuízos à fauna terrestre decorrente de empreendimentos como este.

Além disso, em longo prazo, pode-se constatar também diversos impactos, pois a construção de represas sem prévio estudo como é o caso de Penalva, pode gerar aos poucos o assoreamento do lago em função do carreamento de sedimentos trazidos para o local.

2.4 Sustentabilidade e Construção de Pequenas Barragens

O conceito de desenvolvimento sustentável decorreu de debates sobre os riscos de degradação do meio ambiente, que começaram a ser considerados por volta das décadas de 60 e 70 no plano mundial. Durante a Conferência de Estocolmo (Suécia), sobre o ambiente humano, foi elaborado o Relatório Brundtland determinado pelo discurso sobre questões ambientais e desequilíbrio socioeconômico, surgindo, então, o atualmente difundido e, principalmente, almejado desenvolvimento “sustentável”. Desse modo, o Relatório Brundtland parte de uma complexa visão das causas dos problemas sócio-econômicos e ecológicos, delineando a interligação entre economia, tecnologia, sociedade e política aliada à ética inerente às gerações e todas as espécies de seres vivos. Aborda problemas de pobreza e exclusão social e do modelo de desenvolvimento baseado em crescimento econômico, sendo os problemas ambientais consequência dos dois primeiros. (SANTOS, 2004)

As barragens de um modo geral possuem diversas finalidades e são na maioria das vezes erguidas para geração de energia, portanto constituem efeitos maiores de degradação sócio-ambiental. A barragem do lago Cajari em Penalva é considerada de pequena por possuir menos de 15m de altura (Decreto lei 409/ 93) e possuir basicamente fins de subsistência para população local, pois foi erguida para acabar com a problemática da seca e melhorar a pesca na região. Porém, a sustentabilidade de sua função e de seus efeitos sobre o ambiente, a gente e a economia da região, carece ainda de estudo e avaliação para o seu entendimento atual e futuro.

3. METODOLOGIA

3.1. ÁREA DE ESTUDO

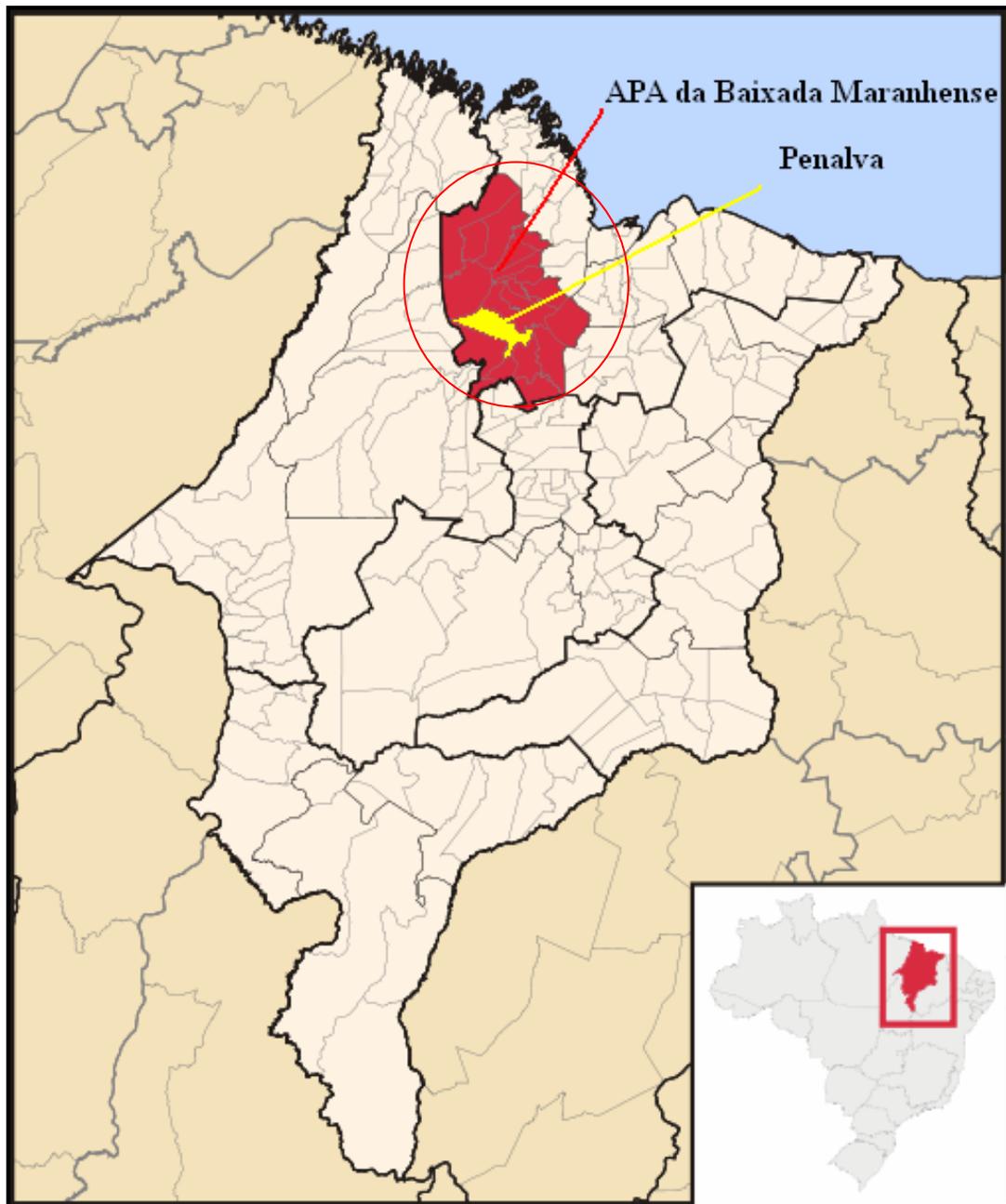
A Baixada Maranhense é uma região ecológica situada à oeste da Ilha de São Luís, no norte do estado do Maranhão ($1^{\circ}59' - 4^{\circ}00'S$ e $44^{\circ}21' - 45^{\circ}33'W$), limitando-se ao norte com a região do litoral e o Oceano Atlântico, ao sul com a região dos Cocais, a oeste com a região da Pré-Amazônia e a leste com o Cerrado. A região é formada pelas bacias hidrográficas dos rios Mearim, Pindaré, Grajaú, Aurá, Pericumã, Turiaçu e outros menores. (Figura 1) Os rios sazonalmente transbordam inundando as planícies da região, formando um grande número de lagos, alguns temporários e outros permanentes.

O município de Penalva está localizado na porção centro-sul da Baixada Maranhense e tem uma área total de 839 Km^2 , população total de 30.287 habitantes e uma densidade demográfica de $39,6 \text{ hab/km}^2$ (IBGE, 2000). A cidade de Penalva está localizada nas coordenadas: $03^{\circ}17'442''S$ e $45^{\circ}10'242''W$.

A cidade de Penalva foi fundada em 1871. A colonização da região é atribuída à ação dos padres Jesuítas da Companhia de Jesus, fundada por Santo Inácio de Loyola. A cidade de Penalva seria um antigo aldeamento dos índios Gamelas, instalado ao longo dos lagos Cajari e Capivari (LOPES, 1970).

Lenda corrente conta que os primeiros habitantes da vila teriam achado uma imagem de São José que conduzia uma “Pena Alva”, dando assim, origem ao nome da vila, e posteriormente o nome atual da cidade. BARROS (1985) sugere, entretanto, ser mais provável que o nome da vila tenha sido dado em homenagem a alguma cidade homônima de Portugal.

A área lacustre de Penalva (lagos Cajari, Capivari, da Lontra e Formoso) é formada pelo resultado das inundações sazonais do Pindaré; a influência dessas inundações estende-se aos municípios de Penalva, Cajari, Matinha e Viana. O canal do Maracu, com cerca de 18 km de extensão, também chamado de rio pela população local, conecta a região lacustre de Penalva ao lago de Viana; deste, até o rio Pindaré, rio mais importante e formador das áreas inundáveis e lagos da região (PINHEIRO, 2003). O Lago Cajari, um dos mais importantes da região, local onde está situada a barragem em estudo, banha a cidade de Penalva e constitui o ponto principal de realização desta pesquisa (Figuras 1 e 2)



Fonte: www.wikipedia.org.br (2006)

Figura 1 – Localização da área de estudo destacando a APA da Baixada Maranhense e a Cidade de Penalva.

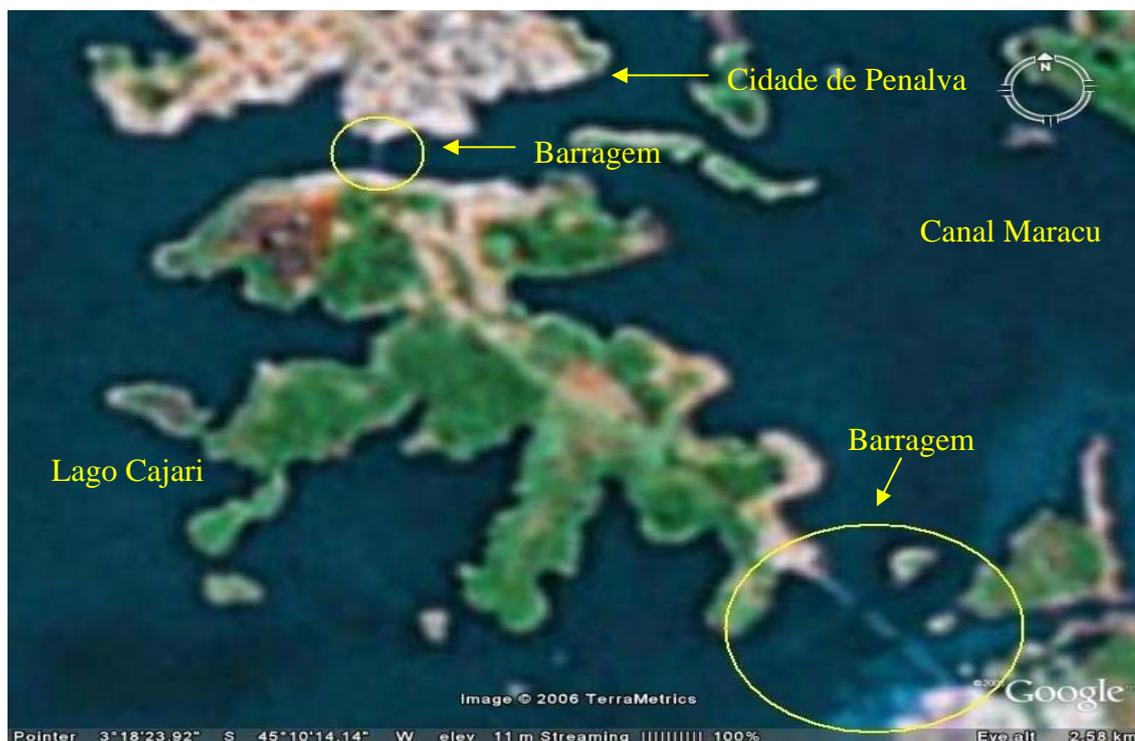


Figura 2 – Imagem de Satélite evidenciando a região de Penalva, na Baixada Maranhense, as barragens construídas no Lago Cajari e o Canal Maracu. Fonte: Google Earth (2006).

3.2 PARÂMETROS AMBIENTAIS DA REGIÃO

3.2.1 – Geologia e Geomorfologia

No que diz respeito aos aspectos geológicos e geomorfológicos, a região de Penalva é uma área que está contida numa faixa de transição entre duas bacias sedimentares, a do Parnaíba ou Maranhão e a Bacia de São Luís, as quais são mesoestruturas geológicas diferentes, mas com uma história geocronológica comum (DIAS, *et al.* 2005).

A região possui formações geológicas oriundas do Cretáceo inferior como a Formação Itapecuru que se estende praticamente por toda metade norte do Estado, ocupando uma área de 50% do território estadual. Esta formação é constituída por arenito finos, avermelhados e róseos, cinza argilosos, geralmente com estratificação horizontal. Ao longo do rio Pindaré, na área dos lagos, possui formações Quaternárias como os Aluviões Flúvio-Marinhos recentes constituídos por cascalhos, areias e argilas inconsolidadas (MARANHÃO, 2002).

Na região desenvolveram-se solos diferenciados, nas áreas marginais. São solos que possuem base argilosa, os Plintossolos (MARANHÃO, 2002), bastante resistentes à percolação da água, com características voltadas para as condições propícias à inundabilidade das planícies pelos regimes chuvosos, uma vez que a precipitação média da região, segundo mesma fonte, está compreendida entre 1600 a 2000 mm anuais. Na área dos lagos predominam os Gleissolos, que em geral são muito argilosos, constituídos de minerais hidromórficos sujeitos a alagamentos periódicos, e que possuem características resultantes da influência do excesso de umidade permanente ou temporário, em decorrência do lençol freático próximo à superfície durante um longo período do ano.

Os lagos da Baixada Maranhense, mais especificamente da região de Penalva, entre os meses de janeiro a junho sofrem influência do aumento das precipitações e da geomorfologia regional. A água oriunda das chuvas é uma das contribuições principais para cheia dos lagos, pois esta cai nos divisores de água e migram para as bacias hidrográficas que drenam os lagos da região.

3.2.2 – Hidrografia

São quatro os lagos importantes na região de Penalva: Cajari, Capivari, da Lontra e Formoso.

O lago Cajari, que se encontra em frente à cidade é considerado o maior e mais rico em pescado, principalmente depois da construção da barragem que aumentou o seu volume de água. Segundo os moradores locais, até mesmo muitas aves que haviam desaparecido, voltaram à região.

Em análise de carta DSG (1976), verifica-se que a contribuição hidrológica mais representativa é oriunda das partes norte e oeste da região, onde as cotas são maiores. Destas áreas, as águas migram para as cotas mais baixas, drenando gradativamente os lagos da região.

Neste sentido, as águas drenam a partir do Lago Formoso que se situa em uma porção mais alta e que através de um canal fluvial construído pelo homem, teve facilitada a sua comunicação e navegação com o Lago da Lontra que tem suas áreas marginais formadas de aterrados que se estendem até o lago Formoso. A limpeza do

canal de ligação entre Lontra e Formoso em 1976 -1977 gerou um grande impacto para o lago da Lontra que veio a secar com o escoamento das águas; com isso as áreas que ficaram descobertas sofreram pela ação das queimadas e isso gerou danos para o local.

O Lago Capivari, localizado na parte leste da região, é alimentado por dois rios temporários: o rio do Goiabal e o rio Castelinho (via lago da Lontra). Após o Lago Capivari existe o canal da Ponta Grande que liga o referido lago ao Lago Cajari. É um canal temporário entre lagos, pois seu curso d'água só é significativo no período do inverno.

Após o Lago Cajari existe um outro canal que o liga ao Lago de Viana chamado de Canal Maracu. Este canal tem uma largura variável, medindo 20m na entrada do lago e 70m na confluência com o Pindaré e sua extensão é de aproximadamente 18km, possuindo o espaço entre margens em 4/5 de sua extensão, de 30 a 40 m. (FILHO, 2003)

Nas imediações da entrada do lago de Viana, as cotas baixam para 0,01 e 0,08m formando saliência que impede a franca entrada das águas de maré. Esta saliência dificulta também o rápido escoamento do lago, o que beneficia a população a montante. Na porção do canal que passa pelo município de Viana, este canal parte com um longo estirão de 2.340m orientado na direção Norte/Sul, o canal inflete para Oeste, serpenteando em 13 curvas fechadas e 7 mais abertas, até atingir a cidade de Cajari. Estes meandros diminuem a declividade do leito e reduzem a velocidade até o final do curso. O Maracu apresenta uma faixa marginal de largura variável entre 100 a 140 metros cobertos por vegetação densa. A área compreendida entre a faixa e as bordas das elevações distantes é ocupada por campos cobertos de gramíneas, constituindo uma planície quase horizontal (FILHO, 2003).

3.2.3 – Hidrologia

O conjunto lacustre composto dos quatro lagos da região (Cajari, Capivari, da Lontra e Formoso) recebe aporte de água por três caminhos principais:

A) **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 Caetetú; pela esquerda, desemboca o rio da Água Preta, oriundo também de Zé Doca. Do lago Formoso até o lago da Lontra a ligação é feita por meio de um canal fluvial 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 são extensos os aterrados. A diferença de cotas entre o lago Formoso e o lago Cajari é de 7 metros.

B) Via Lago da Lontra – pelo rio Castelinho, temporário, que tem seu percurso iniciado em direção à região lacustre de Penalva, como 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 e ao encontrar o obstáculo da barragem hoje existente nas proximidades da cidade, procura caminho na área de campo adjacente à parte da barragem na Trizidela, desembocando mais abaixo no canal Maracu, na forma de pequena queda d'água conhecida como Cachoeira do Rio Jacarezinho.

C) Via Lago Capivari – pelo rio do Goiabal, temporário, formado por pequenos igarapés e córregos, além dos riachos Tabaréu, Cotovelo e Pindoba. A comunicação entre o lago Capivari e o lago 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. Recentemente (2005), foi construída uma barragem no canal da Ponta Grande para segurar água no lago Capivari, evitando o sentido contrário com a saída da água em direção ao lago Cajari.

Em frente a Ponta Grande, a área é de campos e tesos. O teso em frente à Ponta Grande parece ter uma feição geomorfológica que favorece a inclusão de água no sentido Cajari – Capivari, retendo mais a saída da água para fora do Capivari; o canal, ao contrário, favorecia a perda de água; por isso, foi barrado.

O lago Cajari constitui, portanto, o lago receptor das águas oriundas do Formoso, e do Capivari, atualmente barradas próximo à cidade (Figura 3)

3.3 ETAPAS DE TRABALHO

Caracterização da história regional e da barragem – Foram realizados a partir das revisões de literatura, em livros, trabalhos científicos e bases cartográficas, bem como relatos da população regional acerca do assunto.

Observações Diretas – Foram realizadas em áreas de influência direta ou indireta da barragem, utilizando-se critérios de avaliação disponíveis na literatura científica a exemplo de VIERTLER (2002), bem como por conversas informais e registros em um diário de campo.

Entrevistas/Aplicação de Questionários – Foram aplicadas amostras aleatórias dos questionários junto às comunidades ribeirinhas e urbanas da cidade de Penalva, visando registrar suas percepções sobre as possíveis modificações relacionadas com a construção da barragem.

O universo amostral constou de povoados e informantes da região lacustre dos municípios de Penalva e Cajari abrangendo os Lagos Capivari, Cajari e Canal Maracu (até o povoado do Caju). Os questionários aplicados foram do tipo semi-estruturado, formatados para a pesquisa etnoecológica. Foram aplicados 90 questionários em povoados situados a montante e a jusante da barragem com aproximadamente 50% para cada lado da barragem (Quadro 01). A quantidade de questionários aplicados foi considerada suficiente a partir do momento em que as respostas se tornaram repetitivas.

Considerou-se montante a área onde o volume da água ficou represado, esta área abrange os lagos: Formoso, Lontra, Capivari e Cajari. Considerou-se jusante a área após o lago Cajari, ou seja, ao longo do Canal Maracu até um povoado chamado Caju que possui aproximadamente 9km de distância da barragem.

Quadro 01 – Número de informantes por povoados amostrados nos Municípios de Penalva e Cajari ao longo dos lagos Capivari e Cajari e do canal Maracu.

Município	Povoado	Lago/ Canal	Nº de Informantes
Penalva	Anil - Pouso	Cajari	2
Penalva	Bairro Campina	Cajari	1
Penalva	Bacurau	Cajari	1
Penalva	Beira Rio	Maracu	3
Penalva	Benedito Leite	Cajari	2
Penalva	Caju	Maracu	11
Penalva	Capivari Armazém	Capivari	4
Penalva	Catumi Urbano	Cajari	1
Cajari	Enseada Grande	Cajari	8
Penalva	Jacaré	Cajari	5
Penalva	Pau Queimado	Cajari	1
Penalva	Penalva Sede	Cajari	5
Penalva	Ponta Grossa	Maracu	21
Penalva	São José	Cajari	1
Penalva	Santa Maria	Capivari	2
Penalva	Sertãozinho	Cajari	1
Penalva	São Pedro	Cajari	6
Penalva	Trizidela	Cajari	15
2 municípios	18 povoados	2 Lagos; 1 Canal	90 Informantes

Análises de Qualidade da Água – Foram realizadas análises Físico-químicas e de Potabilidade da água a montante e a jusante da barragem. Nas análises físico-químicas foram avaliados parâmetros como: a Temperatura (°C), Condutividade (μS), Sólidos Totais Dissolvidos-TDS (mg/l), Potencial Hidrogeniônico-pH, Oxigênio (mg/l) e Salinidade (ppm) medidas com uso de um Multi-parâmetro, Modelo CONSORT C535. Para as análises de Potabilidade foram coletadas em campo amostras da água, estas amostras foram armazenadas em frascos estéreis de 100ml, e posteriormente levadas para análise no Laboratório de Química da Universidade Federal

do Maranhão, onde foi verificada a quantidade de coliformes totais e termotolerantes pela técnica dos tubos múltiplos (CETESB, 1978). Estas análises nos permitiram avaliar se a qualidade da água do lago Cajari (montante) e do canal Maracu (jusante), próximas à barragem, estava dentro dos padrões permitidos pelo Ministério da Saúde e pela *Resolução CONAMA N. 357 (2004)* para consumo (ingestão) e para usos domésticos (Banho, lavagem, criação de peixes), bem como fazer uma possível relação entre a barragem e as alterações na água.

Uso de Imagens digitais – As imagens do Satélite Landsat TM-5 de outubro de 1995 e dezembro de 2004 (ambas em período seco), adquiridas através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foram usadas para uma avaliação comparativa entre o antes e o depois da construção da barragem, verificando possíveis aumentos ou perdas de área com vegetação, além do padrão de crescimento demográfico no entorno do lago e aferição da área total do lago com auxílio do programa SPRING 4.0. Utilizou-se também uma imagem adquirida através do Google Earth em 2006, onde foi possível uma visualização mais aproximada e identificação da barragem em estudo.

Vazão do fluxo natural das águas – Foi verificado através do lançamento de um flutuador, a 10 m de distância da barragem, com marcação do tempo em que o objeto chegava até a mesma. A técnica visou verificar a vazão do Lago Cajari. Procurou-se também entender as alterações geradas na dinâmica natural do lago com o barramento da água no Canal Maracu .

Balanco Hídrico – O Balanço Hídrico é a análise da variação temporal da água armazenada (superficial e subterrânea) e os respectivos fluxos (precipitação, escoamento e evapotranspiração) nos diferentes compartimentos da atmosfera, litosfera e hidrosfera. No presente trabalho foram consideradas cinco variáveis referenciadas aos módulos hídricos, a saber: precipitação, evaporação, escoamento superficial, escoamento subterrâneo e infiltração.

A técnica em questão foi realizada por SANTOS *et al.* (2006, dados não publicados), seguindo técnica de TUCCI (2000), adaptada para sub-bacia do rio Pindaré

(área de abrangência deste estudo). Foi considerada como Sub - bacia do Pindaré a área que compreende os lagos dos Municípios de Penalva até o lago de Viana. Tal técnica (descrita em anexo) visa analisar o ciclo hidrológico da região de Penalva.

Batimetria – Foi realizada em campo com o auxílio de um Ecobatímetro do tipo Raytheon, modelo NAVMAN, visando conhecer o formato do fundo do lago em toda sua extensão, além de permitir mensurar as cotas de fundo, de superfície e calcular a capacidade do lago.

Foram coletados cerca de 5.000 pontos. Os dados coletados e armazenados foram processados em computador no programa SURFER 3.2. O ponto de partida foi organizar o conjunto desses dados coletados com as profundidades do reservatório devidamente localizadas em coordenadas geográficas. Os dados brutos foram analisados visualmente, utilizando-se tanto as tabelas das profundidades como as representações gráficas.

A partir dos dados processados procedeu-se a interpolação espacial das cotas obtidas anteriormente, de forma que fosse gerada uma grade regular espaçada. Sobre essa grade regular foram desenhadas as curvas de nível a cada metro desde a cota do fundo do reservatório até o nível d'água no dia da coleta.

Processamento e Análise de Dados - Os dados foram formatados em planilhas do programa estatístico JMP (SAS, 1995). Realizando-se análises de Distribuição de Frequência, que permitiram uma avaliação geral entre itens questionados e respostas dos entrevistados e Tabelas de Contingência, que nos deram embasamento para avaliar as relações de associação entre variáveis obtidas a montante e a jusante.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 A BARRAGEM DO LAGO CAJARI

4.1.1 – Histórico

Construída pela primeira vez em 1997 no Lago Cajari, um dos mais importantes da região, esta barragem foi realizada sem um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e sem um RIMA (Relatório de Impacto Ambiental), para que fosse avaliada a viabilidade de sua implantação.

A primeira vez em que foi erguida em agosto de 1997 pela Prefeitura Municipal de Penalva, esta barragem possuía uma estrutura de enrocamento no meio e concretada na crista e nas laterais. A crista permitia a passagem de automóveis do porto de Penalva para o povoado da Trizidela e vice-versa, além disso, havia também um trilho que facilitava a travessia de embarcações de um lado para outro do lago, beneficiando a pesca para os moradores a jusante do lago Cajari. Outra estrutura que a primeira barragem possuía era uma passarela para travessia de pedestres ao longo e acima da mesma, pois quando chegava à época das chuvas, a água do lago fluía por cima da crista desta barragem, impossibilitando a passagem de pessoas. A passagem da água transbordante por cima da barragem, pode ter sido um dos fatores que contribuíram para o seu rompimento em 2003 (Figura 4 – A, B e C).





Figura 4 – **A.** Mostra o trilho de passagens das embarcações. **B.** Evidencia parte da estrutura da primeira barragem (1997), onde se pode observar que a mesma possuía concreto na crista e laterais, passarela para pedestres e trilhos para passagem de embarcações. **C.** mostra o início do rompimento desta barragem.

Depois do rompimento, a barragem do Lago Cajari foi reconstruída pela Prefeitura em junho de 2005. Na sua parte adjacente à cidade de Penalva, mede cerca de 121m de comprimento, 4,50m de altura e 17m na largura da crista e uma inclinação de 3,50m (medida até o nível da água em abril de 2006). Na sua porção após o bairro da Trizidela, sua extensão é de cerca de 700m. É uma barragem do tipo enrocamento, feita de material heterogêneo (barro e pedras) sem uso de concreto e sem comportas para extravasamento do excesso de água. Tais características podem ser as causas para as erosões laterais e rompimentos já ocorridos nesta barragem. Atualmente a barragem está com sua altura mais elevada e não permite a passagem da água de montante para jusante, por cima da crista (Figura 5 - A e B).





Figura 5 – **A.** visualiza-se a estrutura sem concreto (tipo enrocamento) da Barragem do Lago Cajari em novembro de 2005. **B.** observa-se a estrutura atual da barragem, com algodão do campo plantado em suas margens para evitar erosão.

Esta barragem foi construída com a finalidade de reduzir o efeito das secas que eram extremas, além de favorecer a pesca na região. Antes da barragem, o lago ficava cheio de janeiro a junho e seco de julho a dezembro; com a construção da barragem, os moradores a montante da região têm água disponível o ano todo.

Segundo Galdino Arouche (2004, comunicação pessoal), morador da região, esta barragem tem historicamente desempenhado um papel importante para a geração de renda, irrigação de pequenas áreas de agricultura de vazante, abastecimento humano e o de controle de inundações. Por outro lado, considera que o continuado período de inundação proporcionado pela barragem produz um número de impactos sobre o ambiente regional especialmente sobre a biodiversidade, pois organismos (vegetais e animais) adaptados à sazonalidade de inundação sofreram ou mesmo desapareceram, com o novo regime de inundação permanente.

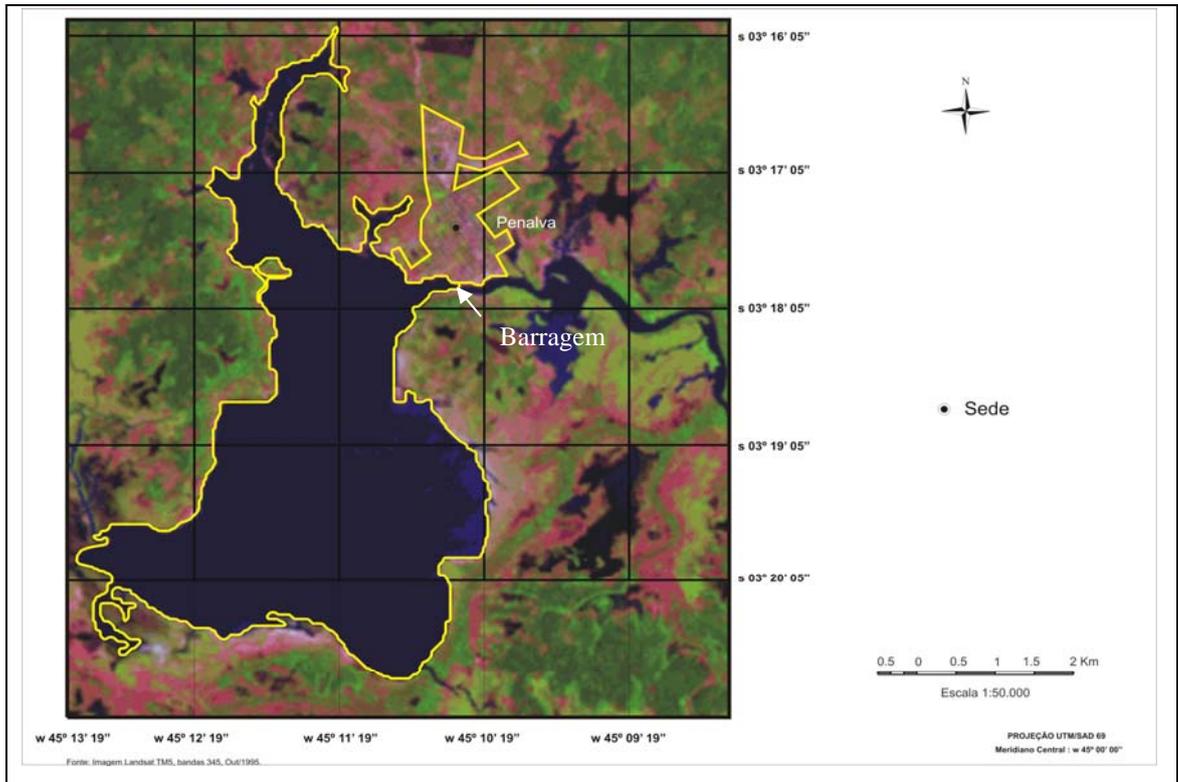
Apesar da reconstrução da barragem, os moradores ainda questionam bastante a obra. Muitos dizem que a primeira barragem tinha uma estrutura melhor e que foi erguida em melhor época do que a segunda barragem. Na primeira barragem o lago teria ficado com o nível ideal para pesca, pois como foi construída em agosto,

quando o nível do lago já estava baixando e facilitava a pesca. Além disso, possuía um talude mais baixo e permitia maior sangramento à jusante deixando menos água a montante. Como a segunda foi construída em junho (pico das cheias) e o talude foi aumentado dificultando o sangramento à jusante, eles sentiram dificuldade na pesca devido ao grande volume da água, que segundo eles fazia o peixe ter mais espaço para se esconder, pois a água avançava pela vegetação marginal. Outro motivo de freqüentes reclamações dos pescadores é a falta de uma comporta para liberação do excesso de água do lago. Os mesmos questionam que seria interessante que eles controlassem o volume de água do lago, já que se consideram conhecedores do volume ideal.

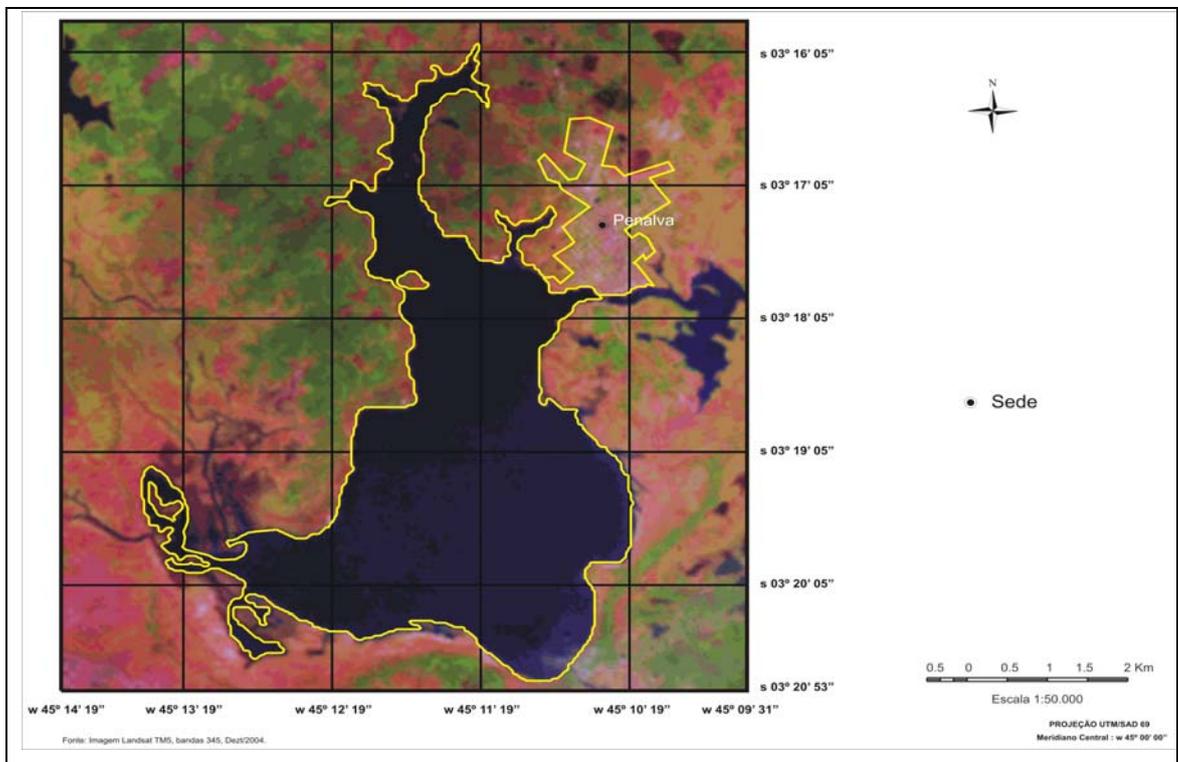
A construção desta barragem gerou também divergências de opiniões, pois quem mora a montante a acha benéfica, pela água o ano todo. Também a montante os búfalos que segundo os moradores regionais eram considerados as pragas do local, diminuíram com a redução dos campos de pastagem, que passaram a ficar permanentemente cobertos pela água represada. A jusante, entretanto a água fica reduzida na época da estiagem, criando maior dificuldade para alcançar a água, disponível somente no canal Maracu. Adicionalmente, com os campos secos, os búfalos ocupam estas áreas para pastoreio. Os moradores a jusante relatam também que com a ida dos búfalos para o lado deles, o problema do desmatamento aumentou, pois segundo eles, os criadores devastam a mata para retirar estacas e fazer cercas para o gado.

Diversos interesses e problemas norteiam a construção de barragens. No caso da barragem do Lago Cajari os interesses econômicos sobrepujaram os ambientais, e isso atinge os moradores por beneficiar apenas parte da população, em geral aqueles que podem contar com água o ano todo, ou seja, os moradores a montante. Os que vivem a jusante foram prejudicados, pois continuam sofrendo com as secas da região e são obrigados a percorrer longas distâncias em busca de recursos como o pescado, por exemplo.

O represamento do lago Cajari também gerou um aumento da área do lago como pode ser percebido no comparativo entre as imagens do satélite Landsat TM5 de outubro de 1995 e dezembro de 2004 respectivamente (Figuras 6–A e B). Os cálculos de área urbana e da área lago mostram que em 1995 os valores eram respectivamente 1,93 km² e 17,92 km² já em 2004 estes valores aumentaram para 2,09 km² (área urbana) e 18,81 km² (área do lago).



A



B

Figura 6- A. Área do lago Cajari, antes da construção da barragem (1995) B. Área do lago Cajari depois da construção da barragem (2004).



A



B



C



D



E



F

Figura 7 – **A e B.** Vistas da barragem do Lago Cajari em diferentes ângulos; **C.** facilidade do acesso de uma margem a outra do lago Cajari; **D.** Continuação da barragem do lago Cajari, após o povoado da Trizidela. **E.** Talude da barragem com algodão do campo nas laterais; **F.** Porto de Penalva a montante da barragem do Lago Cajari.

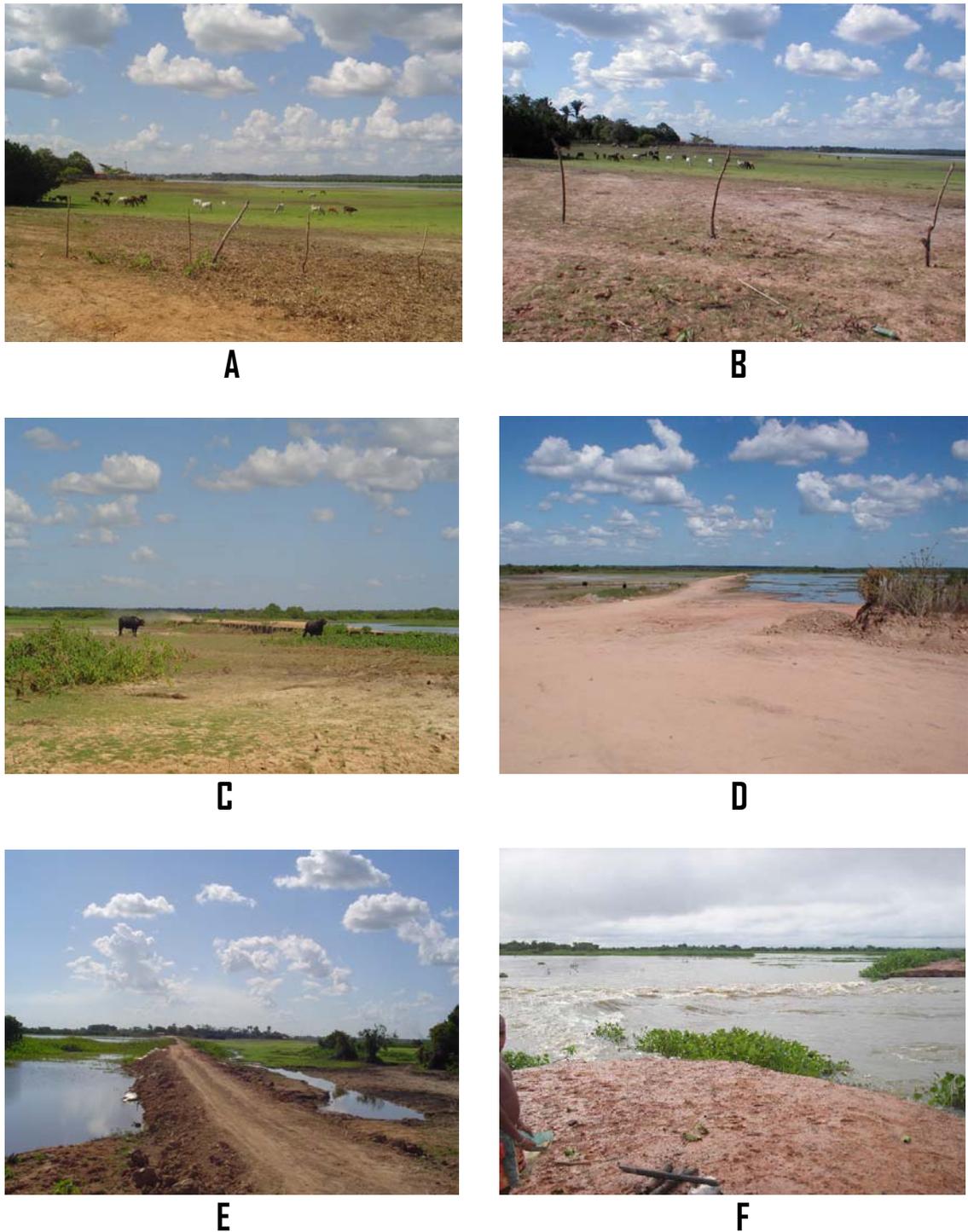


Figura 8 – A e B. Criação de gado bovino a jusante da barragem do lago Cajari; C e D. Búfalos pastando em áreas a jusante da barragem; E. Barragem do lago Cajari após o povoado da Trizidela, dividindo o lago em duas partes, jusante (a esquerda da figura) e montante (a direita) F. Fluxo de água escoando para jusante com o rompimento da barragem na porção situada após o povoado da Trizidela.

4.2 - PERCEPÇÃO E CONHECIMENTO LOCAL SOBRE A BARRAGEM

4.2.1 – Perfil dos Informantes

Entre os informantes da amostra houve uma variação da idade entre 20 e 82 anos; a média de idade entre os entrevistados foi de 48 anos e o maior número de entrevistados (58,8%) ficou na faixa etária B que compreende idades entre 40 a 59 anos. Dentre os entrevistados, 72,2% eram homens e 27,8% mulheres; a amostragem, contudo foi direcionada principalmente aos homens, por estes estarem mais envolvidos com a pesca.

No que se refere à ocupação principal relatada pelos informantes, constatou-se que a maioria (45,5%) se considera somente pescadores; 31% dos informantes aliam a pesca com outras atividades como: comércio, roça, extrativismo, bolsa família, aposentadoria e salário fixo de outros empregos. Os 23,5% restantes possuem exclusivamente atividades como: agricultura, pecuária, comércio, trabalho doméstico, lavadeira, professora, barqueiros, quebradeiras de coco, vendedores de peixe, aposentados.

Com relação ao nível de escolaridade, a maioria dos entrevistados (82,2%) cursou o primeiro grau; dentre estes, 55,5% estudaram apenas até a quarta série e 26,6% cursaram entre 5ª e 8ª séries; 11% se consideraram analfabetos e apenas 5 cursaram o segundo grau e 1 cursou magistério.

Para aferir um nível de informações confiáveis sobre a construção da barragem, o tempo de residência do informante na região, bem como sua origem, foram registrados, resultando nos seguintes dados: 64,5% dos entrevistados são nativos da região em estudo; desse modo 35,5% vieram de outros municípios, a maioria limítrofe de Penalva, particularmente, Cajari e Viana, respectivamente. Em relação ao tempo de residência no local, 65,5% dos entrevistados nasceram no local e 20% dos imigrantes vivem na região há mais de 15 anos; os 14,5% restantes tem entre 3 a 15 anos no local. Esses números conferem segurança sobre as informações coletadas no que diz respeito à barragem, pois a mesma tem pouco menos de 10 anos de construção. Assegura-se, portanto, que a maioria dos entrevistados acompanhou o processo de sua construção e conhece os efeitos positivos e/ou negativos ocorridos no ambiente após a instalação da mesma.

4.2.2 – Opinião dos informantes sobre a Construção da Barragem

Entre os informantes, 60% relatam ter acompanhado o processo de construção da barragem, em geral moradores a montante da mesma que se mostram a favor da obra. Por outro lado, 40% dos entrevistados, moradores a jusante, alegam que nem foram avisados sobre a obra, mostrando-se desapontados e com opinião negativa sobre barragem para a região em que vivem (Figura 9).

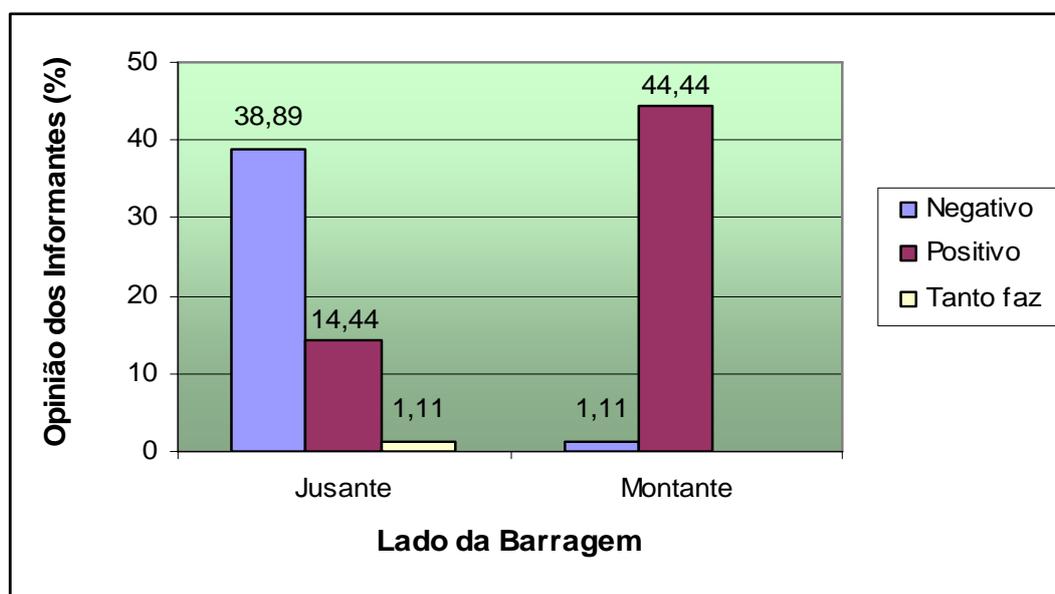


Figura 9 - Balanço positivo e negativo sobre a construção da barragem, segundo as opiniões de moradores a montante e a jusante do lago Cajari.

Segundo os relatos dos entrevistados, a barragem foi prejudicial para os moradores a jusante que tentaram até quebrá-la várias vezes por insatisfação com a obra. Já os moradores a montante julgam que foi a melhor iniciativa tomada na região e relatam aumento do tamanho e da quantidade do pescado. Abaixo, algumas citações da população mostram a divergência de opiniões.

“As enseadas próximas daqui secam rápido. Só podemos pescar melhor se a barragem romper...” (morador a jusante).

“Os pescadores agora tem água o ano todo e com mais peixe. Sem essa barragem já era pra cá, secava tudo...” (morador a montante).

A quase totalidade dos informantes a montante da barragem (40 dos 41 entrevistados) considera a barragem positiva, ao contrário de grande parte dos moradores a jusante, para os quais a barragem é negativa (35 dos 49 entrevistados).

No total da amostra, 44,44% dos informantes acham que a pesca foi o principal item de melhoria a partir da barragem; somente entre os moradores a montante este percentual sobe para 73%.

Outros itens de melhoria proporcionados pela barragem foram a redução da pesca predatória e diminuição também da criação de búfalos na região.

Entre aqueles da jusante, a resposta mais freqüente para esta pergunta foi Nada Melhorou (35,5% do total da amostra; 65,3% entre somente os informantes a jusante). Tabela 1.

Tabela 1 - Balanço dos pontos positivos ocorridos a montante e a jusante após a construção da Barragem do lago Cajari segundo a opinião dos moradores

PONTOS POSITIVOS	JUSANTE	MONTANTE	% Total
Diminuiu a pesca predatória	-	2,22	2,22
Diminuíram os búfalos	2,22	3,33	5,56
Nada melhorou	35,56	-	35,56
Pesca	11,11	33,33	44,44
Transporte	5,56	6,67	12,22
Total	54,44	45,56	100

A pesca indiscutivelmente foi a atividade mais beneficiada pela barragem. Os relatos anteriores à barragem mostram uma condição preocupante, quando a seca extrema reduzia o volume de água do lago, fazendo decrescer drasticamente a quantidade de peixe na região, aumentando a dificuldade de vida da população do município.

A redução da pesca predatória, citada como progresso por muitos informantes, tem relação direta com o pouco volume d'água remanescente durante o período de estiagem. Antes da barragem, com pouca água no lago e nos campos, a pesca predatória era praticada indiscriminadamente, principalmente aquela de arraste, que capturava todo o peixe restante, grandes e pequenos. Com a barragem, o volume de água é conservado alto, tornando difíceis muitas práticas de pesca predatória.

O efeito positivo da barragem sobre o transporte fluvial é outro ponto percebido pela população. Com o nível de água mantido, o acesso a muitas localidades ribeirinhas dos quatro lagos da região é possível em grande parte do ano.

No sentido contrário, os pontos negativos principais percebidos como advindos da barragem distribuem-se principalmente entre aqueles localizados a jusante.

O foi citado pelos moradores a montante como melhoria (a pesca), piorou sensivelmente na parte referente ao Canal Maracu, segundo a população local isto ocorreu devido ao baixo volume de água deste canal após a barragem. As figuras 10 e 11 mostram a opinião de moradores à jusante e a montante em relação à quantidade e ao tamanho do pescado após a barragem.

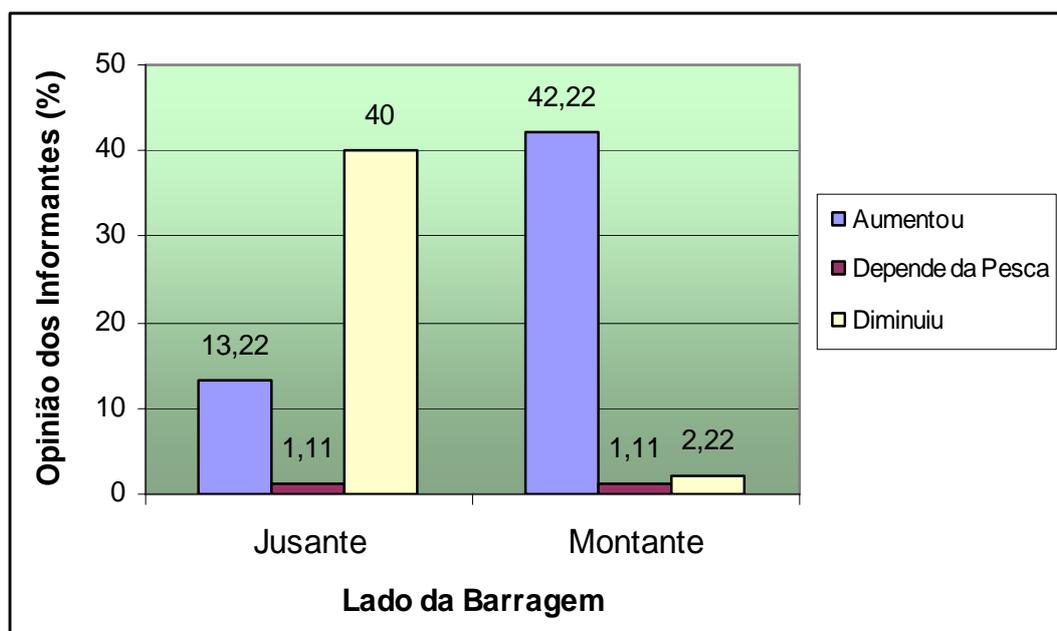


Figura 10 – Opinião dos entrevistados sobre a Quantidade do Pescado após a construção da barragem.

Segundo ARAUJO (2005), as espécies mais capturadas na região de Penalva são: Mandi (*Hassar sp*), Branquinha (*Curimata cyprinoides*), Curimatá (*Prochilodus sp*), Pescada (*Plagioscion squamosissimus*), Piranha (*Pygocentrus nettereri*), Traíra (*Hoplias malabaricus*), Cascudo (*Hoplosternum sp*), Bagrinho (*Parauchenipterus galeatus*), Aracu (*Schizodon vitatus*), entre outros de menor citação.

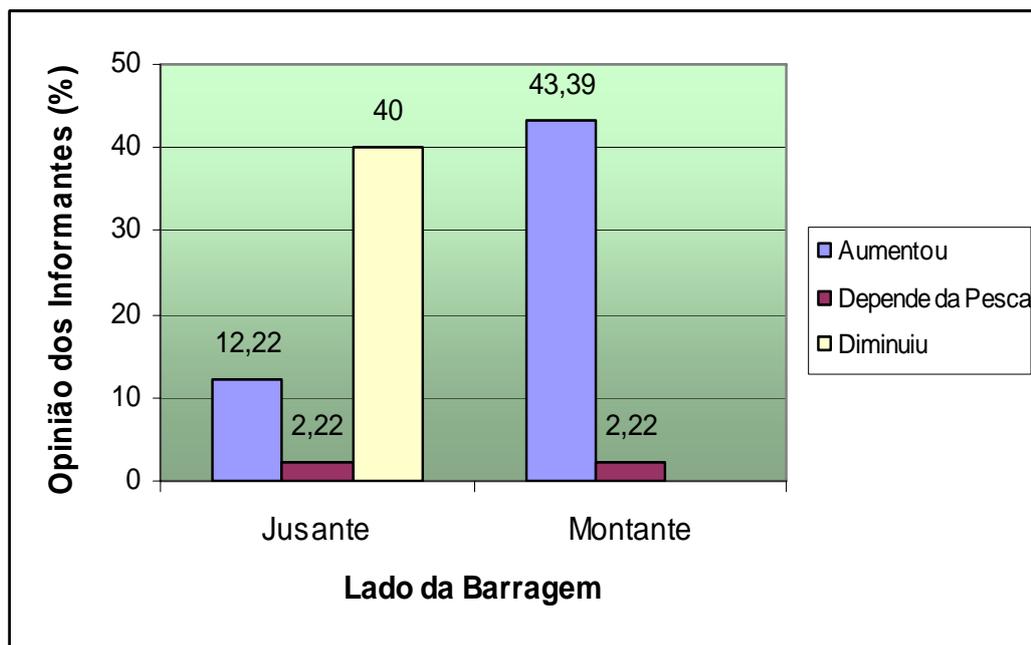


Figura 11 – Opinião dos entrevistados sobre o Tamanho do Pescado após a construção da barragem.

De acordo com os questionários analisados, houveram também situações em que a barragem não foi bem aceita. Estas opiniões ficaram divididas, pois dos moradores a montante, 34,45% disseram que nada havia piorado com a construção da barragem. Já os que moram a jusante, 28,89% relataram a dificuldade da pesca como o fator mais preocupante e 14,45% deles citaram aumento dos búfalos para o lado em que vivem. Os demais pontos negativos percebidos pelos moradores da montante e jusante são apresentados na (Tabela 2).

Nota-se que, para os moradores da montante, os pontos negativos hoje estão relacionados com a própria barragem: a segunda barragem construída que não satisfaz, pelo fato de ter ficado com o volume da água muito alto e sem condições de deste excesso transbordar pelo talude e também pela estrutura sujeita a freqüentes rompimentos, trazendo transtornos.

Tabela 2 – Balanço dos pontos negativos ocorridos a jusante e a montante após a construção da Barragem do lago Cajari segundo opinião dos moradores.

PONTOS NEGATIVOS	JUSANTE	MONTANTE	% Total
2ª Barragem	1,11	5,56	6,67
Assoreamento do lago	-	2,22	2,22
Aumento de búfalos	8,89	5,56	14,44
Nada piorou	11,11	23,33	34,44
Pesca	28,89	-	28,89
Rompimento da barragem	-	3,33	3,33
Travessia	-	2,22	2,22
Outros	4,44	3,33	7,77
Total	54,44	45,56	100

4.3 - EFEITOS DA BARRAGEM NO AMBIENTE

4.3.1 – Efeitos sobre a Bubalinocultura

Na década de 60, a criação bubalina tinha importância econômica, pois trazia vantagens para região da Baixada, tais como a venda da carne e do leite destes animais (o que gerava renda para os criadores regionais), além de seu uso para transporte. Porém, o crescimento desordenado do rebanho e a forma extensiva de criação, sem limitação do número de cabeças por unidade de área, desequilibram o meio ambiente (CHAGAS, *et. al* 2005).

O número excessivo de animais com seu grande peso corporal e hábito alimentar pouco específico, pode causar várias consequências ao ecossistemas, tais como a compactação do solo, uma menor retenção no volume d'água em lagos e canais de comunicação, redução ou eliminação de fontes de alimentos das espécies animais e de áreas de reprodução. Além disso, os búfalos podem ocasionar a degradação da qualidade da água, deixando-a imprópria ao consumo humano e prejudicando a qualidade do peixe, o que pode afetar de forma direta a economia da região que tem a pesca como uma das principais atividades de renda. (ALMEIDA, 2005).

Dentre os conflitos sócio-econômicos que aconteceram na região da Baixada Maranhense em função da criação bubalina, destaca-se a disputa entre pecuaristas e pescadores na década de 80, quando surgiram as primeiras denúncias de

agressividade e ataques dos búfalos aos moradores da região, invasão de lavouras, danos aos petrechos de pesca, etc. Como conseqüência dos muitos conflitos, houve a inclusão do artigo 46 na Constituição do Estado do Maranhão (1990), determinando a retirada dos búfalos das áreas de domínio público da Baixada Maranhense (LIMA; TOURINHO; COSTA, 2000).

Segundo os informantes a montante do lago Cajari, a pouca água que restava nos campos antes da barragem, formava os poções que eram refúgios para os búfalos se refrescarem e isto dificultava a pesca no local, pois destruíam as armadilhas, defecavam e urinavam na água, deixando-a suja. ALMEIDA (2005) cita que, segundo relatos dos moradores, o município de Penalva possuía grande concentração de búfalos, em especial nas proximidades do lago Cajari e Capivari. Com a construção da barragem do lago Cajari houve redução dos búfalos, o que trouxe efeito direto sobre as pastagens naturais da região. A inundação cobriu a quase totalidade das pastagens freqüentadas pelos búfalos a montante da barragem e sendo esta inundação permanente, a criação desses animais tornou-se impraticável.

Porém, ao contrário da situação considerada positiva a montante, o aumento de búfalos tornou-se possível nas áreas a jusante. Sem pasto para ocupar a montante, aqueles que decidiram manter seus animais após a barragem, transferiram-nos para os campos secos no verão, ao longo do Canal Maracu. Dentre os informantes da jusante, 16,3% viram o aumento dos búfalos como um efeito negativo da barragem. Além disso, 14,44% dos moradores a jusante também relatam que o sabor do pescado piorou após a barragem, pois fede a excretas (fezes e urina) destes animais.

Os búfalos presentes na região de Penalva, atualmente vivendo a jusante da barragem, em sua maioria foram trazidos de outros municípios tais como: Viana, Matinha, São Bento, São João Batista, Cajapió, entre outros. Moradores a jusante relatam que com a ida do búfalo para o local onde vivem, houve um aumento também no desmatamento daquela região, pois os criadores fazem cercados com estacas retiradas das árvores locais para deixar os animais confinados à noite.

Segundo os informantes os búfalos geraram a jusante uma alteração na qualidade dos peixes a de água. Como os búfalos também possuem hábitos anfíbios buscando seu alimento dentro dos lagos, pode haver uma diminuição da biomassa vegetal o que poderá implicar em retirada de nutrientes do meio límnico. A

conseqüência disto é a redução do pescado. Além disso, os entrevistados relataram que quanto mais búfalos na região, pior fica o gosto e o cheiro do pescado, pois o mau cheiro da urina e as fezes dos búfalos ficavam impregnados na carne do pescado.

A questão da compactação do solo das áreas úmidas pelos búfalos é um outro problema na região. Considerando que os búfalos são animais pesados e dotados de menor mobilidade que os bovinos, possivelmente, causam problemas de compactação do solo em áreas alagadas onde pastejam. Durante a seca é possível verificar no solo ressecado e esturricado as pegadas profundas dos búfalos e impedem o crescimento das plantas. De acordo com SANTOS (2004), a criação extensiva dos búfalos afeta a qualidade das águas marginais, pois o pisoteio e pastoreio que esses animais praticam nas áreas alagáveis pode destruir a vegetação, em especial as macrófitas aquáticas.

A redução de área de pasto com a cheia permanente do Lago Cajari após a construção da barragem foi, seguramente, um dos fatores para a diminuição da quantidade de búfalos a montante. Porém, antes de sua construção o número de cabeças de búfalos em Penalva já havia reduzido bastante. (Quadro 2).

Quadro 2 – Situação geral do rebanho bubalino em Penalva – MA.

Variável	1990	1997	2004
CABEÇAS	5.452	1.317	386

Fonte: IBGE (2005) – Pesquisa de Pecuária Municipal.

4.3.2 – Efeitos sobre a Vegetação

Em relação à vegetação, foi relatada a diminuição de algumas espécies, principalmente da arariba (*Symmeria paniculata* Benth.; Polygonaceae), com 40% das citações nas entrevistas. Estas plantas sobrevivem em ambientes com inundações sazonais e agora estão tendo que suportar a inundação o ano todo (Figura 12 - A e B)



Figura 12.- A. Araribas as margens do lago; B. Arariba submersa pela cheia do lago.

Antes da construção da barragem, as araribas já mostravam tendência a se concentrar, à medida que iam se regenerando, nas bordas do que sobrava da água dos lagos. Isto acontecia como resultado das secas cada vez mais intensas, uma vez que a cada ano ficava menos água retida nos campos e nos lagos. Em decorrência, a sua germinação e regeneração, esta espécie avançava gradativamente para interior dos campos, próximo à água retida. Com a barragem, as araribas voltam a ocupar as margens do lago, pela manutenção do nível constante da água. Embora hoje morram muitos indivíduos desta espécie nas áreas mais centrais do lago por causa da manutenção da água da barragem, estas plantas já sofriam com mudanças de níveis de água, em períodos anteriores à construção. É possível que as araribas estejam buscando uma forma de adaptação a esta nova realidade de inundação na região o que é considerado positivo para a espécie que conseguiu sobreviver à nova dinâmica de inundação do lago Cajari.

Outra espécie citada em relação direta com os efeitos da barragem é o capim-marreca (*Paratheria prostrata* Griseb.; Poaceae). Esperava-se que desaparecesse

devido à inundação permanente, mas com o rompimento da barragem em 2003 voltou a aflorar em muitas áreas que estavam inundadas desde 1997, indicando assim alta capacidade de resistência. LIMA, TOURINHO & COSTA (2000), citam que na região esta espécie de vegetação forrageira recebeu o nome de capim-marreca por se tratar do alimento preferido das marrecas.

Quando questionados sobre que tipo de vegetação havia aumentado após a construção da barragem os entrevistados relataram que as macrófitas aquáticas foram as que mais aumentaram, entre as espécies mais citadas estavam: Balsedos (*Echinodorus cordifolius*), Samambaia (*Cabomba piauhyensis*), Capim arroz (*Echinochloa sp*), Capim boiador (*Paspalum repens*), Mururu (*Eichhornia sp*), Gapéua (*Nymphaea sp*).

4.3.3 – Efeitos sobre o Fluxo Natural das Águas

A construção de barragens modifica o fluxo natural das águas que passam de lóticicas a lênticas, interferindo na velocidade da correnteza. A velocidade da corrente depende de vários fatores como: o gradiente energético relacionado ao declive do rio, a profundidade da água e a rugosidade do leito; dessa maneira, a velocidade varia de uma seção para outra mesmo nas diferentes partes de uma única seção transversal (SUGUIO, 1980).

Ao aplicarmos a técnica do flutuador para medirmos a direção e velocidade da correnteza próxima da barragem, verificamos que o local sofreu uma modificação no fluxo natural que passou a direcionar-se em outro sentido: a corrente ao encontrar a água parada próxima à barragem direciona-se no sentido contrário. Segundo o oceanógrafo TAROUCO, 2006 (comunicação pessoal) esta modificação é normal, pois o lago tende a buscar um processo de adaptação já que a correnteza precisa escoar de alguma forma.

Verificamos que havia um rompimento de aproximadamente 40 m na segunda parte da barragem do lago Cajari localizada após o bairro da Trizidela em Penalva (barragem da Trizidela) e que a correnteza estava se dirigindo para lá e

posteriormente seguiria seu fluxo normal pelo Canal Maracu, chegando até o lago de Viana.

As medições realizadas na barragem da Trizidela mostraram uma vazão de aproximadamente $44,4\text{m}^3/\text{s}$ com velocidade de $1,50\text{ m/s}$ a uma profundidade de 93 cm , próximo a barragem e de $1,93\text{ metros}$ a 100 m de distância da mesma. No Lago Cajari, a profundidade média foi de aproximadamente 4 m , no centro de lago (Figura 13).

Está vazão é considerada normal já que os lagos na região, entre os meses de abril e maio encontram-se no pico das cheias e este seria o volume que escoaria normalmente pelo canal maracu caso não houvesse a barragem.



Figura 13 – Barragem da Trizidela mostrando a área de rompimento e o escoamento da água para o canal Maracu; abril de 2006.

4.3.4 - Efeitos sobre a Qualidade da Água

As análises de potabilidade realizadas em 3 amostras de 100ml coletadas no mês de julho de 2006 (única coleta), período de início da estiagem, tanto a montante quanto a jusante mostram a situação apresentada no Quadro 3. Embora os resultados não sejam suficientes para uma avaliação mais acurada, mostram, contudo, algumas

alterações nos índices de coliformes, especialmente a jusante da barragem, onde o número de saídas de esgoto doméstico são mais frequentes. A redução do volume d'água deste lado, pela falta de aporte hídrico durante o período seco, deve contribuir para o agravamento do problema.

A construção da barragem contribui para um comprometimento da qualidade das águas, pois esta está sujeita a:

- Esgotos lançados *in natura*; acúmulo de lixo (plásticos, garrafas, etc.)
- Lavagem de embarcações, roupas, bicicletas e automóveis em suas margens;
- Carreamento de agrotóxicos provenientes de área agrícolas marginais;
- Acúmulo de sedimentos trazidos pelo canal, bem como provenientes de erosões às margens do lago e do modelo de “enrocamento” da barragem.

Quadro 3 - Resultados da potabilidade nos lagos a montante e a jusante da barragem.

Amostras	Lado da Barragem	Coliformes Totais (unidades)	Coliformes Termotolerantes (unidades)
01	Montante	23	Ausente
02	Montante	23	3,6
03	Montante	15	3,6
04	Jusante	1100	21
04	Jusante	1100	23
06	Jusante	2400	75

Fonte: Laboratório de Química do Pavilhão Tecnológico – UFMA (Universidade Federal do Maranhão).

De acordo com os padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde, portaria n. 518 de 25 de março de 2004, o uso da água do lago Cajari para consumo humano (ingestão) na parte do lago amostrada (próximo à barragem) deve ser evitado, visto que as amostras analisadas não estão dentro dos valores máximos permitidos (VPM). Segundo a portaria mencionada, os coliformes totais e termotolerantes teriam que estar ausentes em todas as amostras. Porém, o uso da água para fazer tanques de criação de peixe, tomar banho, lavar roupas é permitido a montante e a jusante, pois a tolerância é de até 200 coliformes termotolerantes por 100ml, segundo a *Resolução CONAMA* n°. 357 de 2005 (ROCCO, 2005).

Embora os valores estejam dentro dos padrões permitidos, um agravante para qualidade da água destes lagos é a questão dos resíduos sólidos (lixo). Muitos copos plásticos, garrafas Pet, restos de isopor, restos de peixes, papéis, sacos plásticos também são freqüentes próximo ao porto de Penalva, tanto a montante quanto a jusante do Lago Cajari. A barragem nesse sentido pode ter um papel negativo, por formar uma barreira ao escoamento e dispersão de detritos e lixo que ficam acumulados nas margens do lago (Figura 14).



Figura 14 – Porto de Penalva evidenciando esgoto lançado in natura e lixo acumulado nas margens do lago Cajari.

A construção da barragem do lago Cajari possivelmente contribuiu para um aumento populacional no município de Penalva. De acordo com os entrevistados, muitos pescadores se mudaram para o local, em busca de maior fonte de renda devido à disponibilidade de pescado. Eles relatam também que um grupo de sem-terra criou uma vila nas proximidades do lago, atraídos pela fartura pesqueira. Porém, na Baixada Maranhense a falta de saneamento básico é uma questão muito séria e o aumento da população piora esta questão. Em Penalva não é diferente, pois é comum verificarmos os esgotos locais lançados a céu aberto, exalando um mau cheiro. Quanto ao lixo, este é coletado em Penalva, mas nos povoados mais distantes a maioria diz que é queimado ou

jogado no mato (neste caso quando carreados pelas chuvas acabam acumulando nas margens do lago Cajari).

Outros parâmetros também foram analisados em períodos de seca e de cheia, a montante (próximo ao porto de Penalva) e a jusante (próximo a uma escadaria de acesso as embarcações) com apenas uma verificação em cada período feitas com o uso de um Multi - parâmetro (CONSORT C535). Os resultados dessas análises feitas na superfície do lago estão evidenciados nos Quadros 4 e 5.

Quadro 4 – Parâmetros físico-químicos da água do lago Cajari e canal Maracu (outubro/ 05)

PARÂMETROS (Período de Seca)	MONTANTE (Lago Cajari)	JUSANTE (Canal Maracu)
Temperatura (° C)	29,4	31,1
Condutividade (μ S)	143	408
Sólidos Totais Dissolvidos – TDS (mg /l)	76	217
Potencial Hidrogeniônico - PH	5,62	6,04
Oxigênio (mg/ l)	6,8	7,4
Salinidade (ppm)	-	0,2

Quadro 5 – Parâmetros físico-químicos da água do lago Cajari e canal Maracu (março/ 06)

PARÂMETROS (Período de Cheia)	MONTANTE (Lago Cajari)	JUSANTE (Canal Maracu)
Temperatura (° C)	30,6	34,1
Condutividade (μ S)	198	641
Sólidos Totais Dissolvidos – TDS (mg /l)	106	341
Potencial Hidrogeniônico - PH	5,14	6,01
Oxigênio (mg/ l)	7,7	9,4
Salinidade (ppm)	-	0,3

Observou-se durante esta coleta que a água próxima ao porto de Penalva possui aspecto turvo, talvez devido ao movimento de chegada e saída de embarcações

pesqueiras. Possivelmente ocorre também no local, grande contaminação da água por óleo diesel usado nos motores dos barcos. Também foi observada a presença de muitas lavadeiras nas margens do lago próximas ao porto, além de pequenos criatórios de peixes.

Os quadros acima nos mostram que o pH a jusante ficou dentro dos padrões de normalidade, já a montante os valores estão tendendo para acidez. De acordo com a *Resolução CONAMA* nº. 357 de 2005 (ROCCO, 2005), os valores normais para pH em águas doces devem estar entre 6,0 e 9,0. Porém como a região é rica em matéria orgânica essa acidez é esperada pois, quando as chuvas se iniciam, todos esses componentes (ácidos orgânicos e húmicos) são carregados para os lagos causando alterações no mesmo. ALMEIDA (2005), verificou que na região lacustre de Penalva, as primeiras chuvas causam mortandade de muitos peixes devido a alterações da água incluindo a diminuição do pH.

A mesma resolução também cita que os níveis de oxigênio dissolvido não podem ser menores que 6mg/l, portanto os níveis da região encontram-se dentro dos padrões normais nas duas estações, tanto a montante quanto a jusante. Os sólidos totais dissolvidos também estão normais nas duas estações e nos dois lados da barragem, pois o limite máximo é de 500mg/l.

A condutividade e a salinidade foram maiores a jusante, o que pode ser considerado normal já que este canal (Maracu) sofre influência da maré, portanto tem mais sais dissolvidos, em ralação a montante que como se pode observar nas duas estações o valor da salinidade foi nulo. Porém ainda com os valores de salinidade variando entre 0,2 e 0,3 ppm, a água a jusante é considerada doce, pois segundo a *Resolução CONAMA* nº. 274 de 2000 (ROCCO, 2005) as águas são doces quando possuem salinidade igual ou inferior a 0,5 ppm.

4.4 – EFEITOS CULTURAIS E SÓCIO–ECONÔMICOS

4.4.1 – Efeito Histórico-Cultural (Estearias)

Na região lacustre de Penalva são encontradas evidências do homem pré-histórico sul-americano. São restos de povoações em estacas situada nos lagos Cajari e Capivari, chamadas de estearias. Descobertas em 1825 e investigadas cientificamente pela primeira vez em 1919, foram descritas como verdadeiras cidades lacustres sobre jiraus (LOPES, 1970)

A estearia do Lago Cajari foi a primeira a ser descoberta e pela sua extensão é apontada como a maior e mais importante de todo país (BALBY, 1985).

A origem e o povoamento ainda constituem um mistério que cientistas e a própria população local desconhecem. Porém, os locais têm suas próprias explicações: “Acho que estes esteios eram da primeira Penalva que afundou e aí nasceu à segunda Penalva que dura até hoje, mas corre risco de afundar se o lago encher demais...” (Morador local).

Em 1971, pesquisadores do Museu Goeldi, de Belém do Pará, realizaram pesquisa no local e recolheram restos de cerâmica e machados de pedra. O material foi coletado e testes do C14 mostraram uma idade de 1380 + 95 anos antes do presente (BARROS, 1985). Tal resultado os levou a crer que se tratava de Índios do Neolítico (Pedra Polida), possivelmente da tribo dos Gamelas.

Com a barragem, essas relíquias históricas ficaram submersas e só são possíveis de serem vistas em secas extremas na região. A última vez que essas evidências foram visualizadas foi durante a seca de 1983.

Pelo aspecto positivo a inundação permanente da barragem protege os remanescentes de esteios e cerâmicas que ficam preservados no fundo do lago, evitando a destruição por parte da população ao retirar madeira para uso em construções.

Pelo lado negativo, submersas, essas relíquias não podem ser apreciadas e a cidade perde uma importante lembrança de parte da história e da cultura da região.

A figura 15 mostra desenhos das habitações, as estearias e restos de cerâmica. Reproduzido de Balby (1985).

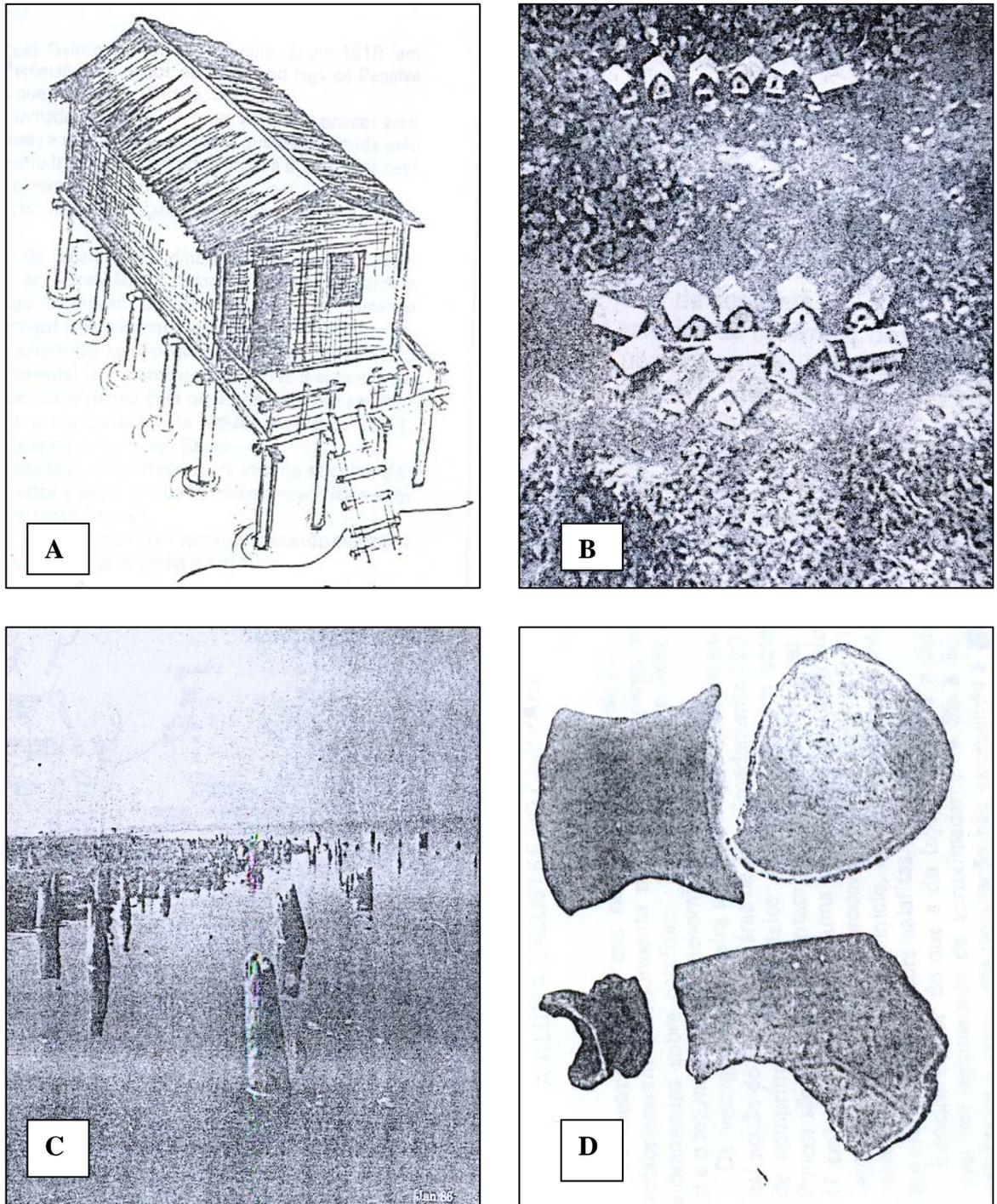


Figura 15 – **A.** evidencia o formato de uma habitação lacustre; **B.** mostra uma maquete da cidade lacustre do lago Cajari em jiraus; **C.** evidencia o que restou das estearias, estacas em Pau - d'arco; **D.** restos de cerâmicas recolhidas pelo Museu Goeldi no Pará.

4.4.2 - Efeitos Sócio–Econômicos

A região de Penalva vive basicamente da pesca, da agricultura, do comércio e do extrativismo, sendo a pesca a atividade principal de subsistência da região, praticada em alguns casos paralelamente a outras atividades.

No comércio as opiniões ficam divididas: quem tem comércio a montante acha que houve melhoria nas vendas; já a jusante a opinião é inversa (uma comerciante local disse ter tido 100% de prejuízo nas vendas após a barragem).

“A população não vem mais para o lado daqui depois desta porcaria de barragem, que além de atrapalhar ainda é mal feita” (comerciante a jusante).

Na atividade do extrativismo as amostras indicaram que não houveram modificações, pois a maioria dos entrevistados disse que a barragem não influenciou nesta atividade; porém, na atividade de agricultura houve um incremento de outra forma, pois com a barragem passou a ser praticada uma nova forma de agricultura, a de vazante, com a qual cresceu o cultivo do arroz e, como conseqüência, a renda dos agricultores regionais.

4.4.2.1 - A Barragem x a Pesca

A construção da barragem favoreceu extremamente a atividade da pesca, pois a população se mostra mais satisfeita com a renda, que em média aumentou de 20 a 50%, segundo as estimativas de moradores a montante.

ARAUJO (2005) mostra que a barragem foi bem aceita pela população local, que relata um aumento na quantidade de peixes (78,26% dos informantes percebem este aumento), com conseqüente aumento no valor do pescado, contra a opinião de 18,47% dos informantes (moradores a jusante) que acharam que a pescaria não melhorou. O mesmo estudo mostra ainda que a média de produção de pescado em Penalva foi superior a três toneladas diárias, que abastecem o próprio município e municípios vizinhos.

A construção da barragem gerou um incremento da pesca a montante, o que contribuiu para diminuição da pesca predatória, pois atividades proibidas de pesca, como o “arraste” (técnica que funciona como um pente fino arrastando peixes de vários tamanhos com o uso de redes com malhas muito pequenas), que eram praticadas antes quando o lago ficava com o nível de água muito baixo, tornou-se impraticável com o volume de água do lago.

ARAUJO (2005) percebeu que a fartura de pescado que existe atualmente, com a barragem no Lago Cajari, gera nos pescadores perspectivas de mais melhorias no futuro e temores, quando questionados sobre a possível retirada da barragem.

A alteração de um sistema fluvial pela construção de barragens reflete na mudança do sistema aquático, de lótico para lêntico. No caso da região de Penalva, embora os corpos sejam lagos, o canal Maracu funcionava como um rio, dando vazão à água do sistema lacustre do município de Penalva até o lago de Viana. Tal mudança de regime resulta em alterações ambientais projetadas nos meios físicos e bióticos. A barragem promove a formação de um sistema lêntico pouco favorável para sobrevivência de muitas espécies da fauna aquática. As condições lênticas estabelecidas tendem a restringir a ocorrência de muitas espécies da ictiofauna local (PAIVA, 1999 apud Relatório FEPAM, 2003).

Com o represamento de lagos, algumas espécies de peixe sensíveis migram para outros lagos e as espécies mais resistentes permanecem e até vivem melhor em ambientes represados. Para ALMEIDA (2005) os pescadores são conhecedores também da sensibilidade dos peixes e consideram que na região de Penalva, os peixes brancos constituem o grupo de espécies menos resistentes às mudanças sazonais de inundação e provavelmente a mudanças antrópicas.

Dentre os peixes de Penalva, as espécies muito capturadas como Curimatá (*Prochilodus sp*), Piranha Vermelha (*Pygocentrus nattereri*) Traíra (*Hoplias malabaricus*), Mandi (*Hassar sp*) e Cascudos (*Hoplosternum spp*) são citados como espécies resistentes a represamento por PAIVA (1999), em suas análise com espécies de peixes em ambientes represados no relatório FAPAM (2003) e que muitos até aumentam suas populações nesses ambientes quando a qualidade da água está nos padrões normais.

ALMEIDA (2005) também constatou resistência de algumas destas espécies como o Mandi, a Traíra e o Cascudo às mudanças sazonais, naturais ou antrópicas na região de Penalva.

Um aspecto negativo é que o Surubim (*Pseudoplatystoma fasciatum*), espécie dita sensível ao represamento está diminuindo na região, tanto em quantidade quanto em tamanho, segundo relato dos pescadores locais. Esta redução pode ter sido causada indiretamente pela barragem, porém o mais provável é que o aumento do esforço de pesca possa ter sido a causa principal da diminuição desta espécie.

Embora possam existir efeitos negativos, a barragem do Lago Cajari, representa do ponto de vista sócio-econômico, um papel importante na região, com efeitos positivos, por manter suficiente a água do lago e permitir a pesca o ano inteiro, produzindo alimento e gerando renda, já que a produção pesqueira de Penalva movimenta um comércio que extrapola a cidade, alcançando povoados no município e fora dele.

4.5 – ANÁLISE HIDROLÓGICA DA REGIÃO DOS LAGOS

4.5.1 – Modelo Digital da Plataforma de Fundo do Lago Cajari

Os dados para as análises batimétricas obtidos percorrendo com um ecobatímetro aproximadamente 5000 pontos no lago Cajari, permitiram visualizar a plataforma de fundo do referido lago, e foram utilizados para calcular a capacidade do reservatório (Figura 16).

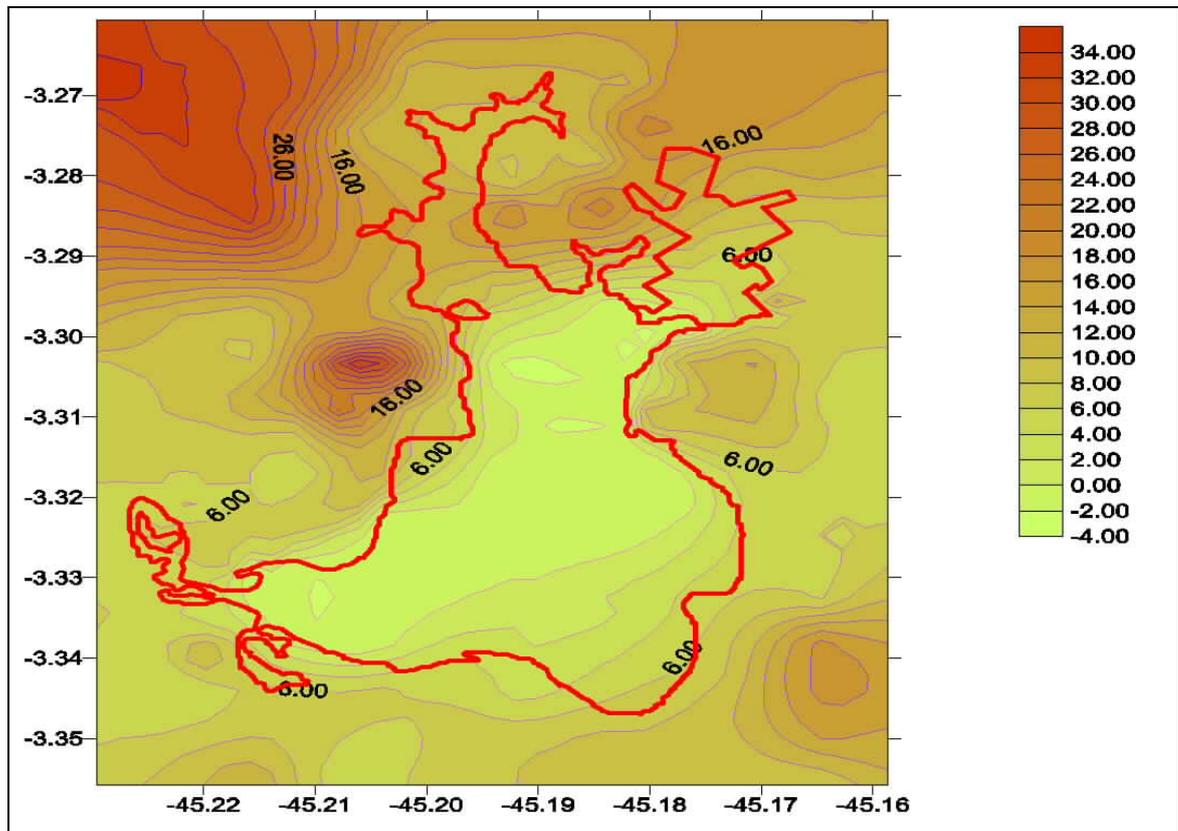


Figura 16 – Modelo digital da plataforma de fundo do lago Cajari, evidenciando os níveis mais altos e mais baixos.

Observa-se na figura 16 que o lago encontra-se em uma porção que tem seus níveis de profundidade variando entre -2 e -4m. A média destas profundidades multiplicadas pela área do lago Cajari, nos forneceram capacidade hídrica do mesmo, que foi de 3,76 milhões de m³.

Para permitir uma melhor visualização dos níveis de altitude ao redor do lago foi gerado o modelo da plataforma em 3D como mostra abaixo a figura 17.

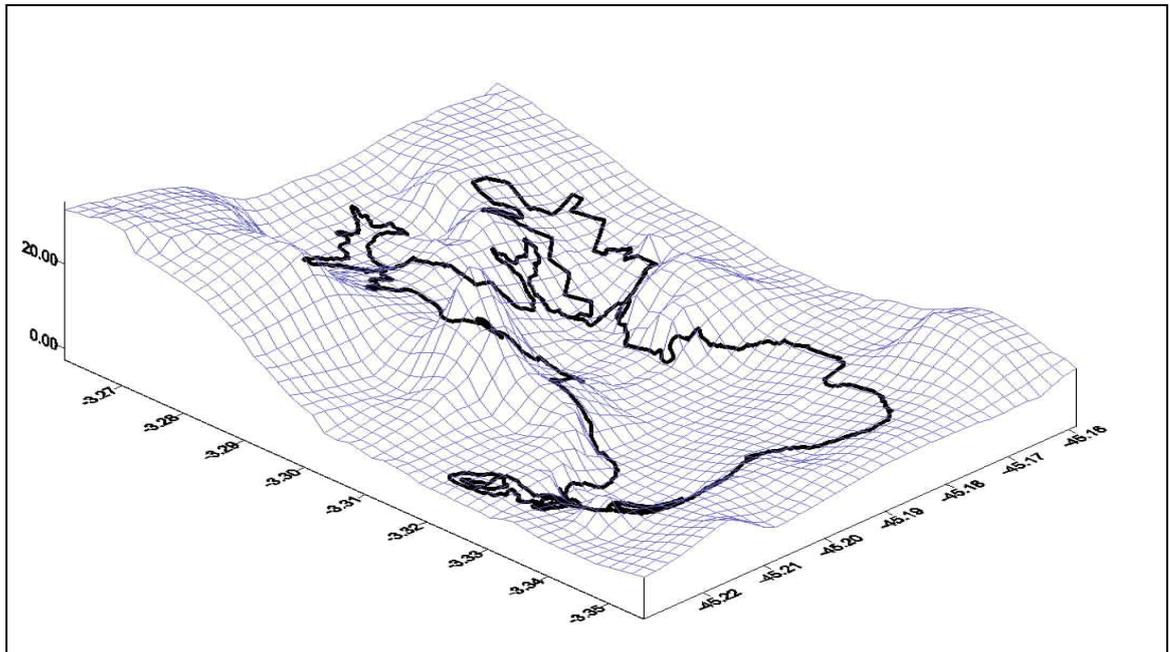


Figura 17– Modelo da plataforma de fundo do lago Cajari em 3D.

O conhecimento do modelo digital da plataforma de fundo nos permitirá no futuro visualizar como está o nível de sedimentação do lago e seu risco de assoreamento fazendo um comparativo entre imagens atuais e futuras.

4.5.2 – O Balanço Hídrico da Sub-bacia do rio Pindaré

O pulso de inundação é, portanto, um dos fatores importantes da Baixada Maranhense. De acordo com JUNK *et al.* (1989), essas planícies inundáveis sofrem periodicamente o fluxo lateral de rios e lagos, pela precipitação direta ou pela água subterrânea.

Muitos impasses, porém ocorrem na região da Baixada Maranhense, no que diz respeito à hidrologia local, pois na estação de seca os lagos da região ficam com volume insuficiente para suportar as atividades de subsistência da região, como a pesca. Visando melhorar a deficiência de água da região barragens têm sido construídas, como foi feito no Lago Cajari em Penalva. Porém o modelo de Penalva é questionado pelas regiões a jusante da barragem como é o caso do município de Viana, que teve o volume do seu lago diminuído após a construção desta barragem.

A questão em discussão é, portanto, analisar como seria possível ter água na profundidade ideal em todos os lagos da região durante doze meses do ano. Para se chegar a uma resposta foi realizado um Balanço Hídrico na região.

Os resultados obtidos com o balanço hídrico encontram-se no Quadro 6 e nos permitem as seguintes conclusões:

A - O volume total de água dos lagos é oriundo de escoamento superficial e subterrâneo da bacia dos lagos de Penalva, pois não há rios ou riachos perenes nesta área. Durante o inverno, contudo, há ligação do lago Cajari com o rio Pindaré, via rio Castelinho, que inicia no município de Monção com o nome de Santa Rita.

B - Excluiu-se a hipótese do rio Pindaré alimentar os lagos da região durante a estiagem.

C - Escoam pelos lagos e pelo canal Maracu (a jusante da barragem do lago Cajari), cerca de 2 bilhões de m³ de água. Este volume equivale a uma lâmina d'água na cota de 7 m ocupando a área da sub-bacia em estudo. Esta estimativa de volume já considera as perdas de evapotranspiração.

D - Sendo o Maracu o único canal de ligação com o Pindaré, o volume de aproximadamente 2 bilhões de m³ terá obrigatoriamente de ser escoado por este canal.

Quadro 6 – Resultados do Balanço Hídrico da sub-bacia do Pindaré, abrangendo os municípios de Penalva e Viana (MA).

AREA (Km ²)	SOLOS	CN_ Solos	CN_ Valor	Unid. Paisagem	S (armaz.)	PR mm/m	Pr.Efetiva(Q)
2.381.758.350,25	Gleissolos Tiomórfico	C	70	Campos não inundáveis	75,870	166,667	100,940
2.381.758.350,25	Gleissolos Tiomórfico	C	71	Campos inundáveis	75,870	166,667	100,940
2.381.758.350,25	Gleissolos Tiomórfico	C	86	Terra firme	41,349	166,667	125,608
2.381.758.350,25	Aluvial	D	83	Campos não inundáveis	52,024	166,667	117,232
2.381.758.350,25	Aluvial	D	83	Campos inundáveis	52,024	166,667	117,232
2.381.758.350,25	Podzólico verm_ amarelo	B	75	Terra firme	84,667	166,667	95,649
2.381.758.350,25	Plintossolos	C	86	Terra firme	41.349	166,667	125,608
Média dos valores de acordo com o CN							
2.381.758.350,25	-	-	81	-	59,580	166,667	111,733

Continuação...

Infiltração	EVP mm/mês	Esc_ calibrado	Disp. Hídrica m ³	Vol. Total Disp.	ÍDHid.	Eixo Maior (DI)
45,950	123,500	-2,783	20.496,8348	1.910.345.997,9680	5,4955	92320,79
45,950	123,500	-2,783	20.496,8348	1.910.345.997,9680	5,4955	92320,79
31,162	123,500	12,004	20.496,8350	1.910.346.012,7556	5,4955	92320,79
36,593	123,500	6,573	20.496,8349	1.910.346.007,3247	5,4955	92320,79
36,593	123,500	6,573	20.496,8349	1.910.346.007,3247	5,4955	92320,79
48,590	123,500	-5,423	20.496,8348	1.910.345.995,3284	5,4955	92320,79
31,162	123,500	12,004	20.496,8350	1.910.346.012,7556	5,4955	92320,79
Média dos valores de acordo com o CN						
39,942	123,500	3,224	20.496,6150	1.910.346.003,9756	2,1944	92321,79

Continuação...

PERIMETRO	SPMIN.	SPMAX.	GrHidr (Dh)	K (m/h)	Drenagem (m)	Esc. Subterrâneo	POP. Total
116.920.263,600	1,50	150,030	0,00082888	0,0017	551.517,250	1.910.346.000,75133000	93.202
116.920.263,600	1,50	150,030	0,48757709	0,0017	551.517,250	1.910.346.000,75133000	93.202
116.920.263,600	1,50	150,030	0,48757709	0,0017	551.517,250	1.910.346.000,75133000	93.202
116.920.263,600	1,50	150,030	0,48757709	0,0017	551.517,250	1.910.346.000,75133000	93.202
116.920.263,600	1,50	150,030	0,48757709	0,0017	551.517,250	1.910.346.000,75133000	93.202
116.920.263,600	1,50	150,030	0,48757709	0,0017	551.517,250	1.910.346.000,75133000	93.202
116.920.263,600	1,50	150,030	0,48757709	0,0017	551.517,250	1.910.346.000,75133000	93.202
Média dos valores de acordo com o CN							
116.920.263,600	1,50	150,030	0,48757181	0,0017	551.517,250	1.910.346.000,75133000	93.203

Fonte: SANTOS, 2006 (Dados não Publicados).

ONDE:

- CN = Nível de Infiltração
- S (armaz.) = Capacidade máxima de água na camada superior do solo
- PR = Precipitação
- P. efetiva (Q) = precipitação efetiva (escoamento superficial)
- EVP = evaporação
- Esc_calibrado = escoamento superficial ajustado
- Disp. Hídrica= Disponibilidade Hídrica
- Vol. Total .Disponível = Volume total de água disponível (escoamento superficial + escoamento subterrâneo)
- IDHid = índice de disponibilidade hídrica
- SPMIN = Cota menor
- SPMAX = Cota maior
- GrHidr (Dh) = Gradiente hidráulico
- K = Condutividade Hidráulica
- Eixo Maior (DI) = Distância horizontal entre os dois pontos da área de estudo.
- Esc. Subterrâneo = Escoamento subterrâneo
- POP. Total = População Total (neste caso Penalva + Viana)

O paradigma atual (sobre a construção de barragens na região) tem intuitivamente conceitos corretos, a população local sabe que a cheia dos lagos é decorrente das chuvas, e é a favor da construção de barragens como forma de amenizar a seca da região. A questão é que a população não leva em conta o hidroperíodo da região, que faz com que o nível máximo de água dure apenas dois meses.

O balanço hídrico mostra que há um grande volume de água (aproximadamente 2 bilhões de m³). A questão é que esta água tem uma distribuição desigual no escoamento ao longo do ano. Um fator de interferência no escoamento é a barragem do lago Cajari, que alheia a distribuição da água pelo canal Maracu, impede que o lago de Viana tenha esta contribuição. Sendo assim, este lago tem secado mais rápido durante a estação de seca, pois já inicia o período de cheia com um volume de água menor que o ideal.

SANTOS *et al.* (2006) apresenta dados do hidroperíodo de Viana e Penalva distribuídos nos meses do ano, sendo este o modelo que ocorre naturalmente na região (figura 18). Neste estudo foi identificado que o pico de cheia dos corpos hídricos da região é de abril a maio e que nos meses seguintes os lagos secam rapidamente.

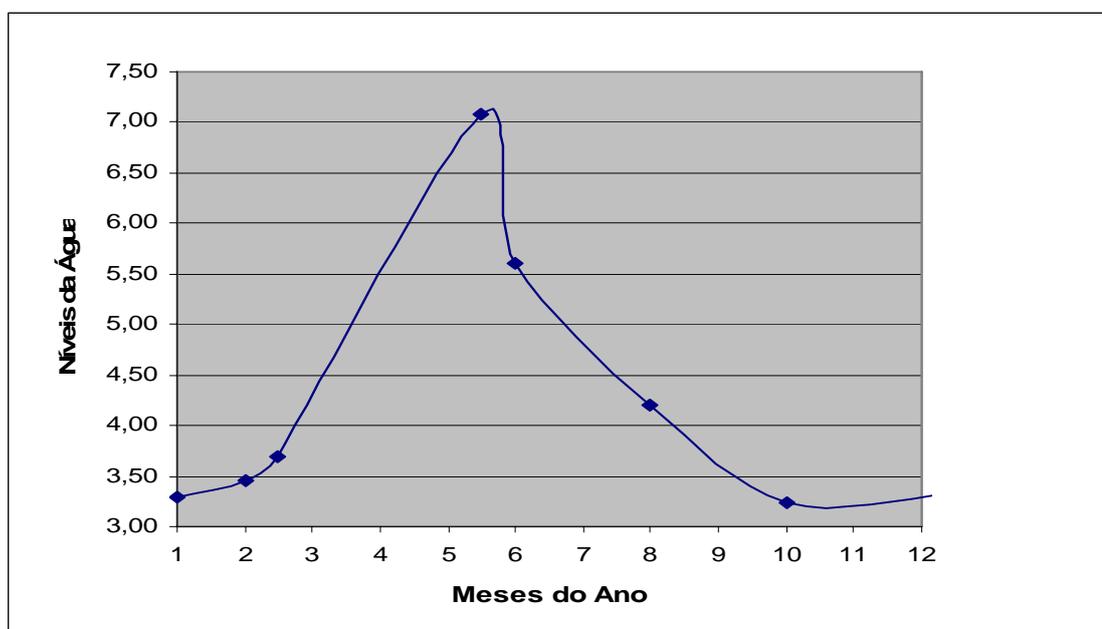


Figura 18 – Gráfico de hidroperíodo dos municípios de Penalva e Viana, com escoamento pelo canal Maracu.

Todo o aporte de água no sistema a montante da barragem (lagos Cajari, da Lontra, Capivari e Formoso) é oriundo de acúmulo da precipitação pluviométrica na área territorial dos lagos, rios riachos e igarapés temporários dentro e acima dessa área. Não há, portanto, aporte de água ao sistema por drenagem de rios permanentes.

Nessa situação, a água que descia o canal Maracu em direção ao lago de Viana oriunda do sistema lacustre a montante tem importância como contribuição inicial à cheia do lago de Viana até o nivelamento do sistema entre lagos pela comunicação feita pelo canal Maracu. O barramento dessa água deve causar uma subida mais lenta do nível do lago de Viana no período das chuvas, bem como uma redução mais rápida desse nível, no período de estiagem. Os níveis de evaporação e infiltração determinam a rapidez da baixa do lago. A tendência, a médio e longo prazo, será a secagem sazonal do lago cada vez mais rápida, por efeitos cumulativos.

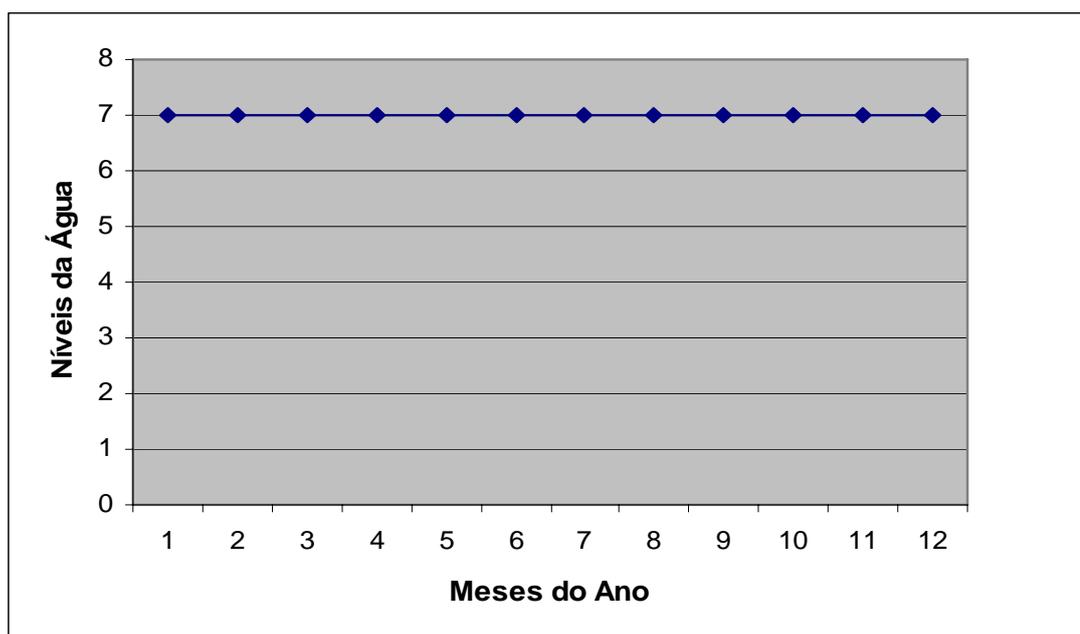


Figura 19 – Gráfico de hidroperíodo ideal para os municípios de Penalva e Viana.

A figura 19 mostra o gráfico que representaria um modelo ideal para região, com água dos lagos na cota de 7m durante todo ano. Tal modelo seria possível com o represamento do canal Maracu na porção que fica após o lago de Viana nas proximidades da cidade de Cajari-MA.

Como alternativas para minimizar os problemas atuais, os seguintes cenários podem ser considerados.

Cenário 1 – Represamento do Maracu

Embora o modelo de hidroperíodo da figura 19 seja considerado o melhor por fazer com que os lagos da região mantivessem o volume ideal de água durante o ano, a implantação deste modelo na prática seria um pouco mais complexa, pois este modelo só funcionaria adequadamente no primeiro ano de implantação, pois população da região provavelmente iria manter os lagos cheios pelo maior tempo possível (não permitindo o escoamento da água pelas comportas), fazendo isso prejudicaria a renovação de água no ano seguinte, pois o canal Maracu não suportaria o escoamento de aproximadamente 2 bilhões de m³ em poucos meses, visto que este escoamento é naturalmente realizado em um espaço de tempo de um ano. Sem o escoamento desta água ao final de cada ciclo de cheias haveria um superávit de água na região e acabaria inundando tudo. A solução seria a dragagem do canal, para aumentar o escoamento desta grande quantidade de água, porém esta técnica teria um alto custo financeiro. Além disso, a população da cidade de Cajari - MA, que ficaria a jusante desta barragem, sofreria no futuro com a mesma problemática que Viana sofre atualmente, a diminuição do volume do lago.

Cenário 2 – Abertura de comportas na barragem do lago Cajari

Na figura 18 observa-se que os picos de cheia da sub-bacia do Pindaré ocorre nos meses de abril e maio. Atualmente com a barragem do lago Cajari, Penalva está armazenando a maior parte da água que chegaria até Viana pelo canal Maracu. Uma solução possível para minimizar este problema seria a instalação de comportas para o escoamento do excesso de água destes dois meses para o lago de Viana, fazendo com que houvesse durante a cheia um equilíbrio da quantidade de água disponível.

Cenário 3 – Micro-represamentos da água das chuvas em enseadas.

Neste cenário seria necessária a acumulação de um volume mínimo de água nas enseadas da região através de barragens com comportas para renovação anual da água. A porção do canal Maracu que fica logo após a barragem do lago Cajari armazenaria somente o excesso de água durante a estação chuvosa.

No entanto, este modelo tornaria as áreas à jusante viáveis apenas para agricultura e dificultaria o tipo de pesca praticado na região. Para os pescadores atuarem com este modelo teriam que passar a praticar a aquíicultura nas enseadas, e isso implicaria em uma total modificação dos costumes e modo de vida local. Além disso, seriam necessários estudos aprofundados sobre o solo, a geologia e da capacidade de suporte destas enseadas, para comprovar a viabilidade ambiental deste modelo.

Observa-se, portanto, que ainda não se pode afirmar qual dos cenários é o mais adequado. Sabe-se sem dúvida que os todos os cenários apresentados teriam alto custo financeiro para região e necessitaria de estudos prévios.

5. CUSTOS E BENEFÍCIOS DA BARRAGEM DO LAGO CAJARI

É uma tarefa extremamente difícil confrontar, ajustar e combinar interesses distintos. Mais do que isso, estabelecer mecanismos de compensação ou ressarcimento aos “prejudicados” e fazer com que os beneficiados paguem por todos os custos decorrentes da barragem, já que estamos falando de uma região muito pobre.

Deve-se levar em consideração que também há custos não mensuráveis ligados, por exemplo, aos valores culturais das comunidades, à biodiversidade, a própria existência humana e de determinados ambientes naturais.

É possível afirmar que quase todos os benefícios gerados por um reservatório podem ser interpretados como “serviços”, os quais podem beneficiar direta e indiretamente muitos seguimentos sociais e econômicos. Alguns benefícios podem ser visualizados no Quadro 7.

Quadro 7 – Benefícios da barragem a montante do lago Cajari – Penalva (MA), de acordo com informações dos moradores da região.

Conseqüências da Barragem	Efeitos Positivos
Redução de áreas secas	Redução de queimadas
Redução das áreas de pastagem naturais a montante	Conseqüente redução da criação de búfalos
Aumento das populações de macrófitas aquáticas, reduzidas antes da barragem.	Recomposição de habitats de reprodução e alimentação de espécies de peixes. Aumento da fauna de pássaros e aves nos campos.
Adaptação das espécies vegetais e animais ao volume do lago	Nenhum desaparecimento de espécies segundo os moradores locais.
Incremento da pesca (a montante), possível durante todo o ano.	Geração de renda e alimento para população local e adjacente.
Aumento do volume d’água a montante.	Redução de algumas práticas de pesca predatória
Melhoria do acesso às comunidades ribeirinhas dos lagos por via fluvial	Facilidade no acesso para atender as necessidades.
Incremento de atividades econômicas	Melhoria para atividades de comerciais da região.

Porém alguns pontos negativos em relação à barragem também foram observados tais como os apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 – Custos da barragem a jusante e montante do lago Cajari – Penalva (MA), de acordo com informações dos moradores da região.

Conseqüências da Barragem	Efeitos Negativos
Aumento de conflitos a jusante com a mudança dos búfalos para o local	Impactos aos corpos d'água e ao solo da região.
Mortandade de espécies vegetais pela inundação permanente.	Morte de indivíduos de araribas (<i>Symmeria paniculata</i>).
Redução da água na área a jusante	Pesca prejudicada (a jusante) no período de estiagem
Crescimento populacional às margens do lago Cajari, especialmente na cidade de Penalva.	Aumento da descarga de esgotos e lixo nas margens do lago.
Redução do aporte de água via canal Maracu para o lago de Viana.	Perda maior da água acumulada, secando o lago de Viana mais rapidamente.
Piora gradativa de qualidade da água nas proximidades da barragem.	Uso limitado e condições favoráveis para doenças de veiculação hídrica.
Submersão das evidências históricas de civilização lacustre de mais de 1.000 anos de idade	Perda cultural e histórica da região.

Entre aspectos positivos e negativos houve um ponto que ficou duvidoso: o estabelecimento da modalidade de agricultura de vazante em áreas marginais entre os lagos, que gerou um incremento da produção de arroz. Esta nova modalidade agrícola tem sido, neste curto período desde sua implantação, benéfica para os agricultores a montante, porém ainda são desconhecidos os efeitos futuros que esta modalidade agrícola pode gerar ao ambiente daquela região.

6. CONCLUSÃO

Segundo a percepção local, do ponto de vista ambiental, os impactos da barragem ainda não são evidentes. A morte de um número de indivíduos de espécies vegetais sob inundação permanente é um efeito esperado deste tipo de empreendimento. As espécies mais afetadas segundo os moradores, foram as de igapó, abundantes na região; a morte deste número de indivíduos com certeza, não ameaçou estas espécies ou o equilíbrio dos ambientes locais.

O aumento das populações de macrófitas também não representa ameaça pela manutenção de certo fluxo d'água na parte da barragem na Trizidela e também pelo grande volume d'água nos lagos da região. Em algumas áreas, contudo, essas populações devem ser monitoradas em sua ocupação dos corpos d'água, para avaliação de seu crescimento.

No que se relaciona ao conjunto da bacia, preocupa a redução do aporte de água da região de Penalva à região do lago de Viana. Embora a perda desse volume de água não seja total devido à água escoar nos picos de cheia pela barragem na porção após a Trizidela, o efeito cumulativo pode agravar a redução do nível de água do lago de Viana e gradativamente reduzir o tamanho do próprio lago. As alternativas não são muitas, mas existem conforme o discutido: Comportas na barragem do Lago Cajari, Nova barragem no canal Maracu com alargamento a aprofundamento do mesmo canal entre a ligação do lago de Viana com o rio Pindaré, e Micro – represamentos em Enseadas. Porém são alternativas que tem altos custos financeiros e também impactos nas regiões adjacentes.

Qualquer que seja a alternativa pretendida, devem ter estudos prévios necessários, não repetindo os erros de instalação da barragem atual.

Do ponto de vista sócio-econômico, os efeitos são mais positivos que negativos a montante. O incremento da pesca, com conseqüente geração de renda e produção de alimento farto, certamente são condições desejáveis em qualquer região. A insatisfação das populações a jusante também é compreensível, embora estas mesmas populações dependendo da distância a que estão do lago Cajari, podem ainda assim, beneficiar da manutenção da água do lago durante todo o ano, o que não aconteceria se não houvesse a barragem.

Os aspectos mais negativos registrados foram em decorrência do aumento populacional, que devem ser objetos da intervenção do poder público, disciplinando a ocupação desordenada e promovendo meios para controles dos problemas gerados por esta situação.

O incremento da pesca, entretanto, parece não significar melhoria na qualidade de vida dos pescadores da região. A fartura do produto da pesca retratada nas canoas cheias de peixe que aportam diariamente no porto de Penalva, não condiz com a situação de pobreza quase absoluta do pescador. Neste aspecto, também o poder público deve ser atuante disciplinando a produção, garantindo condições de armazenamento e melhor comercialização promovendo a educação dos usuários das águas dos lagos da região, para que não falte o peixe no futuro.

A equação para medir a sustentabilidade do barramento das águas do lago Cajari é complexa. Envolve componentes atuais e futuros, ambientais, sociais e econômicos, cujos pesos individuais são variáveis. Diferem localmente e regionalmente; e são também mutáveis espacial e temporalmente. Contudo, são evidentes as necessidades de ajustes as ações já implementadas e a definição de novas ações planejadas que beneficiem as gerações do presente e do futuro usuárias das águas regionais.

REFERÊNCIAS

- AB' SABER, A. N. & MÜLLER, P. C. (Orgs). **Previsão de Impactos**. 2ª ed. Editora: Edusp, São Paulo: 1998.
- ABILHOA, V.; FONTINO, V.C.; FILHO, D. P. A.; SÁ, P. Z.; *et al.* **Composição e estrutura da ictiofauna do Reservatório do Iraí, Região Metropolitana de Curitiba, Paraná, Brasil**. IV Seminário Interdisciplinar sobre Eutrofização de água de Abastecimento Público na bacia do Altíssimo Iguaçu. Curitiba, 2003.
- ALMEIDA, I. C. da S. **Indicadores e tensores ambientais nos ecossistemas aquáticos da Região lacustre de Penalva, APA da Baixada Maranhense**. Monografia-Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2005, 71p.
- ARAÚJO, N. A. **Avaliação sócio-econômica da pesca artesanal e do potencial aquícola na região lacustre de Penalva, Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense**. Monografia-Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2005, 82p.
- BALBY, R. **A cultura neolítica de Penalva (estearias)**. Penalva, MA. Editora: Belgraf, 1985.
- BARROS, C. A. de S. **Elementos para reconstituição histórica de Penalva, MA**. 1985.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL **Coliformes totais e fecais: determinação pela técnica dos tubos múltiplos**. São Paulo, 1978.
- CHAGAS, J. de O.; FUKUDA, J.C.; DIAS, L. J. B. da S.; ARAÚJO, I. R. M. **Planejamento e gerenciamento ambiental da Baixada Maranhense: estudos preliminares dos municípios de Viana, Penalva e Cajari**. São Luís, 2005.
- CUNHA, S. B. & GUERRA, A.J.T. **Avaliação e Perícia Ambiental**. 5ª edição, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.
- DIAS, L. J. B. da S. *et al.* **Geologia e Geomorfologia e Unidades de Paisagens da Baixada Maranhense: Uma Revisão de Concepções aplicada ao Planejamento Regional**. Anais XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. São Paulo: 2005.
- DSG. **Carta do Município de Penalva**. Maranhão, 1976.
- ESTEVEZ, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª edição, Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental. **Relatório de caracterização da fauna em ambientes represados**. RS, 2003.

FILHO, P. M. **O Maracu e suas Peculiaridades**: subsídios epistemológicos para estudos de um ecossistema lacustre. Rio de Janeiro, 2003.

GIRARD, P. **Efeito cumulativo de barragens no Pantanal**. Instituto Centro Vida. Campo Grande, 2002.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Rio de Janeiro, censo 2000.

INTERFACE 3D DO PLANETA, **Município de Penalva**. Disponível em: <http://www.earth.google.com>. Acesso em: 20 de março de 2005.

JUNK, W. J, BAYLEY, P.B & SPARKS, S.E. 1989. **The flood pulse conception in river- floodplain systems**. In: DODGE, O. (ED) PROCEEDING OF THE International large River Symposium. Can. Spec. Publ. *Fish. Aquat. Science*. v. 106. p 110-127.

JMP – **Statistics and Graphics Guide**, version 3.2.6. (Computer software and manual). SAS Institute INC., Cary, North Carolina. 1995.

LOPES. R. **Uma região tropical**. Rio de Janeiro, Editora: Fon Fon e Seleta, 1970.

LIMA, R. R.; TOURINHO, M. M.; COSTA, J. P. C. **Várzeas flúvio-marinhas da Amazônia Brasileira**: características e possibilidades agropecuárias. Belém: FCAP, 2000.

MARANHÃO (Estado). SEMATUR. **Diagnóstico dos Principais Problemas Ambientais do Estado do Maranhão**. São Luís: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Turismo (SEMATUR), 1991.127 p.

_____. Atlas do Maranhão. 2 ed. São Luís: Gerência de Estado de Planejamento e Desenvolvimento Econômico/ Laboratório de Geoprocessamento – UEMA, 2002. 40 p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, **Procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e padrão de potabilidade**. Portaria 518, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Convenção RAMSAR. 2006. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br> Acesso em 07/ 12/ 06.

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 de Pós-Graduação na UFMA, bolsa de desenvolvimento científico regional, 2003.

REBOUÇAS, A. da C. & BRAGA., B. **Águas doces no Brasil** – capital ecológico, uso e conservação. 2ª ed. Revidada e ampliada. São Paulo: 2002.

ROCCO, R. **Legislação Brasileira do Meio Ambiente**. 2ª edição. Rio de Janeiro DP&A, 2005.

SANTOS, O. M. **Avaliação dos usos e ocupação das terras da bacia hidrográfica do Rio Pericumã-MA para uma Área de Proteção Ambiental**. (Dissertação de Mestrado - UFMA). São Luís, 2004

SANTOS, M.C.F.V. *et al.* **Balço Hídrico dos Municípios de Viana e Penalva**. São Luís, 2006.

SILVA, C.J. *et al.* **Estudos dos impactos humanos nas florestas e áreas inundadas nos trópicos - SHIFT**. Brasília, 1998.

SUGUIO, K. **Rochas Sedimentares: propriedades, gênese, importância econômica**. Editora: Edgard Blücher LTDA. São Paulo. 1980.

THEODORO, S. H. (org). **Conflitos e Uso Sustentável dos Recursos Naturais**. Editora: Garamond. Rio de Janeiro, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª edição. Editora Universidade /UFRGS. Porto Alegre, 2000.

TUNDISI, J. C. **Limnologia e manejo de represas**. Vol.I, tomo 2, São Paulo: 1988.

VIERTLER, R. B. **Método antropológico como ferramenta para estudos em etnobiologia**. In AMOROSO, M. C. de M.; MING, L. C.; SILVA, S. P. (Ed.). Método de Coleta e análise de dados em etnobiologia, etnoecologia e disciplinas correlatas. Rio Claro: Coordenadoria de Áreas de Ciências Biológicas - UNESP, CNPq, cap.1, p. 11-29, 2002.

VIOTTI, C. **As Grandes Barragens e a Produção de Energia – Experiência Brasileira**. Comitê Brasileiro de Barragens. 2000. Disponível em: [http:// www.dams.org](http://www.dams.org)

APÊNDICES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
SUSTENTABILIDADE DE ECOSISTEMAS
MESTRADO

Formulários para Entrevistas Semi-Estruturadas

Pesquisa: Barragem do Lago Cajari - Penalva

Pesquisador (a): _____ Data: __/__/____.

DADOS DO INFORMANTE

Nome: _____ Idade: _____

Município: _____ Sexo: () F () M

Povoado: _____ Lado da Barragem _____

Corpo D'água Principal: _____

Coordenadas: _____

Estado Civil: () Casado () Solteiro () Viúvo () Separado () Outros.

Etnia: () Branco () Negro () Albino () Pardo () Outro ()

Escolaridade: _____

Nativo da Região? () Sim () Não Obs.: _____

Imigrante/ Outra Região/Outro Estado/ citar: _____

Se imigrante, motivo da imigração: _____

Desde quando vive na região? _____

Ocupação Principal:

1- () Roça

7- () Pecuária

2- () Pesca

8- () Diarista

3- () Comércio

9- () Agricultura

4- () Extrativismo/ citar: _____

5- () Assalariado fora da Agricultura/ citar: _____

6- () Outra/ citar: _____

BARRAGEM – ASPECTOS GERAIS

1 - Acompanhou o processo de construção da barragem? () Sim () Não

2 - Sabe qual foi o motivo principal para a construção da Barragem?

3- Qual a sua opinião sobre a construção dessa barragem? Acha Positivo ou Negativo?

() Positivo () Negativo

Porquê?

4 - No geral, como acha que as coisas ficaram na região depois da barragem?

() Melhor () Pior

A - O que você acha que mais melhorou na região após a construção da barragem?

Porquê?

A - O que você acha que mais piorou na região após a construção da barragem?

Porquê?

BARRAGEM X AMBIENTE GERAL

7 - Comparando entre o antes e o depois da construção da barragem houve alguma modificação na natureza da região? Qual?

8 - Houve desaparecimento de alguma planta que existia antes da barragem?

(da água ou da terra) () SIM () NÃO

Qual?

Por que acha que desapareceu?

9 – Tem agora alguma planta nova - que não existia antes da barragem?

(da água ou da terra) () SIM () NÃO

Porque acha que apareceu?

10 – Tem alguma planta que diminuiu depois da barragem? () SIM () NÃO

Qual? _____

Porque acha que diminuiu? _____

11 – Tem alguma planta que aumentou depois da barragem? () SIM () NÃO

Qual? _____

Porque acha que aumentou? _____

12 - Existiam animais/peixes neste local antes da barragem que não existem mais?

Quais? _____

Você acha que eles diminuíram ou desapareceram? Por quê?

13 – Existem hoje em dia animais/peixes que não existiam aqui antes da barragem?

Quais? _____

Você acha que aumentaram ou apareceram? Por quê?

14 - Havia búfalos nesta área, antes da barragem? () SIM () NÃO

Que aconteceu com eles? _____

15 - Quem criava búfalos, hoje faz o quê?

Onde? _____

BARRAGEM X PESCA

16 - Você acha que depois da construção da barragem, a pesca ficou melhor?

SIM NÃO

Por quê? _____

17 - Em sua opinião a Quantidade do pescado? Aumentou Diminuiu

Por quê? _____

18 - Com a barragem o Tamanho do pescado ? Aumentou Diminuiu

Por quê? _____

19 - Se pescador, quantos quilos de peixe você pescava por dia antes da barragem?

No Verão _____ No Inverno _____

E Agora? _____

20 - O sabor do pescado modificou? Como?

21 - A Barragem: prejudica o peixe ou ajuda o peixe ?

Em quê? _____

22 - Prejudica ou Ajuda o pescador?

Em quê? _____

23 - De um modo geral, depois da construção da barragem, a vida dos pescadores mudou?

Para melhor Para pior

Por quê? _____

BARRAGEM X PRODUÇÃO AGRO-EXTRATIVA

24 - A barragem, de alguma forma, ajuda , prejudica ou não influencia na produção da região - agricultura; extração, etc.?

Em quê? _____

Por quê? _____

BARRAGEM X SÓCIO-ECONOMIA

25 – Você acha que o número de pessoas () aumentou ou () diminuiu neste área, depois da construção da barragem?

Por quê? _____

26 - Qual era sua atividade de subsistência antes da construção da barragem?

27 - Que usos você faz com água da barragem?

() Turismo

() Irrigação

() Criação de peixes

() Controle de Inundação

() Consumo Humano

() Gerar energia

() Transporte

() Lazer

() Geração de Emprego/citar: _____.

28 - Sua renda mensal aumentou com a construção da barragem?

Quantos %? _____ Por quê? _____

29 - Você acha que a qualidade da água ficou: () melhor ou () pior . Por que?

30 - A água consumida é tratada? () SIM () NÃO

Como? _____

31 - A Barragem melhorou o abastecimento de água na região? () SIM () NÃO

Por quê? _____

32 - Sua casa possui banheiro? () SIM () NÃO De que tipo? _____

Para onde escoo o esgoto de sua casa?

O que faz com o lixo? _____

ROMPIMENTO DA BARRAGEM:

34 – No período em que a barragem rompeu o que aconteceu de bom ou ruim?

ESTEARIAS:

35 – Você já ouviu falar ou sabe o que são os esteios existentes nesta região?

36- Você os acha importantes ? () SIM () NÃO Porquê? _____

ANEXOS

METODOLOGIA DO BALANÇO HÍDRICO DE PENALVA E VIANA

(TUCCI, 2000 adaptado por SANTOS, 2006)

Os dados de precipitação e evaporação foram obtidos a partir de dados disponíveis em GUTMAN, 2005 e UEMA/NUGEO (2006). De posse de valores médios de precipitação e evaporação, procedeu-se aos cálculos das outras variáveis integrantes do balanço hídrico.

Determinação da Precipitação efetiva (escoamento superficial) e Infiltração

A precipitação efetiva corresponde a parcela do total precipitado que gera o escoamento superficial. No cálculo da precipitação efetiva foi empregado a fórmula de Kohler & Richards (apud TUCCI, 2000), sendo necessário estimar o Coeficiente de Armazenamento de Água na camada superior do solo (S) e um parâmetro de adequação para diferentes cobertura e solo (CN), chamado de curve number.

Os valores de CN variam de 1 a 100, ou seja, desde uma cobertura impermeável (limite inferior) até uma cobertura completamente permeável (limite superior). O método divide os tipos de solos em quatro grupos hidrológicos:

- **Grupo A:** apresenta um potencial mínimo de escoamento superficial e alta taxa de infiltração; inclui solos arenosos profundos com pouco silte e argila. É muito permeável;
- **Grupo B:** a maior parte dos solos arenosos, menos profundo ou menos compacto que o grupo A, porém com uma média superior e menos permeável que o anterior;
- **Grupo C;** solos pouco profundos, que geram escoamento superficial acima da média e com infiltração inferior a média, com porcentagem considerável de argila e,
- **Grupo D:** solos pouco profundos, com infiltração muito baixa, gerando muito escoamento superficial, contêm mais argila.

Para determinar a capacidade máxima da camada superior do solo S, a fórmula empregada (já adequada para o sistema métrico em mm e adimensional) é a seguinte:

$$S=(25400/CN)-254$$

As perdas iniciais (precipitação) representam, segundo os autores, 20% da capacidade máxima $S=S^*-I_a$, ou seja, $I_a = 0.2 S$. A precipitação efetiva é calculada pela fórmula:

$$Q=(P-0.2*S)^2/(P+0.8*S),$$

Onde Q é a precipitação efetiva, P é a precipitação média mensal e S é o coeficiente de armazenamento.

O cálculo da infiltração foi feito pela fórmula a seguir:

$$d=Q*S/P$$

Onde, d é volume infiltrado, Q é a precipitação efetiva e S é o coeficiente de armazenamento.

A passagem da água da superfície para o interior do solo (infiltração) depende segundo Silveira et. al. (apud TUCCI, 2000), da quantidade de água disponível, da natureza do solo, do estado de sua superfície e das quantidades de ar e água, inicialmente presentes no seu interior.

A precipitação efetiva (escoamento superficial) foi calibrada (ajustada) já que os dados de precipitação e evaporação foram obtidos de fontes diferentes.

2.2 Determinação do Escoamento Subterrâneo

O **escoamento subterrâneo** resulta do produto entre a condutividade hidráulica, o gradiente hidráulico e a declividade deste gradiente (representada pela distância dos pontos de observação do nível piezométrico, multiplicados por dia (24h) e por ano (365)). E nos fornece a vazão da sub-bacia em estudo. Na formulação:

$$Q = ((K * dh) * 24 * 365) * drenagem \quad \text{onde:}$$

Dh é o gradiente hidráulico representado pela diferença de nível piezométrico entre dois pontos de observação. Para o presente projeto o gradiente hidráulico foi representado pela diferença entre a maior e a menor cota piezométrica de cada módulo hídrico. A maior e menor altura piezométrica foi espacializada automaticamente, nos módulos, com o emprego de álgebra de mapas e uso de operadores zonais, respectivamente **MinimoZonal** e **MaximoZonal**

K é a condutividade hidráulica. A condutividade hidráulica do solo é um parâmetro que traduz a facilidade com que a água se movimenta ao longo do perfil de solo.

Volume Total Disponível – Volume de água apresentado pelo escoamento médio anual passível de ocorrer, sem interferência, humana, abrangendo a soma dos escoamentos de superfície e subterrâneos. Balanços hídricos para cálculo de disponibilidade hídrica podem ser feitos de diversas maneiras e metodologias. O método a ser escolhido depende da escala espacial de estudo e da existência e qualidade de dados climatológicos e geoambientais.

Na determinação da disponibilidade hídrica do presente projeto consideraram-se as variáveis escoamento superficial, água superficial em espelho d'água, escoamento subterrâneo.

2.3 Escoamento superficial anual total por módulos

O escoamento superficial, por módulo hídrico, foi obtido conforme metodologia descrita para o cálculo da precipitação efetiva (**Q**).

2.4 Água Superficial em espelho d' água

A variável água superficial em espelho d' água foi obtida a partir do produto entre o espelho d' água (lagos) e a profundidade média dos mesmos.

2.5 Escoamento Subterrâneo da Sub-Bacia.

É representado pela vazão por unidade linear de referência multiplicada pela extensão linear da drenagem vezes dois.

2.6 Volume de lençol freático por módulo

O cálculo do volume se inicia com a geração de superfície piezométrica, produzida a partir da correlação de um conjunto de leituras de nível da água em cacimbões (poços em equilíbrio com pressão atmosférica) com dados altimétricos SRTM do ponto de leitura. Desse modo, a partir da utilização de operação de álgebra de mapas (operações aritméticas) sobre a grade SRTM (dados altimétricos), aplicou-se a equação ($Y = 1.0039x - 7.3653$) que expressa a correlação entre elevação (SRTM) e profundidade (poços).

A equação acima descrita foi utilizada para gerar a superfície piezométrica (grade), sendo aplicada em cada um dos pontos da grade de entrada (SRTM).

DISPONIBILIDADE HÍDRICA

É aqui calculada como a divisão do volume total da sub - bacia do Pindaré, dividido pela população de cada módulo.