



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS
PESQUEIROS E AQUICULTURA – PPG-RPAq.
DEPARTAMENTO DE PESCA E AQUICULTURA

**CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS E DIMENSIONAMENTO DA
CAPACIDADE AMBIENTAL DE APROVEITAMENTO DO RESERVATÓRIO
DE PEDRA – BA PARA IMPLANTAÇÃO DE PISCICULTURA EM TANQUES-
REDE**

AURELIANO DE VILELA CALADO NETO

RECIFE, PE
ABRIL, 2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS
PESQUEIROS E AQUICULTURA – PPG-RPAq.
DEPARTAMENTO DE PESCA E AQUICULTURA

**CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS E DIMENSIONAMENTO DA
CAPACIDADE AMBIENTAL DE APROVEITAMENTO DO RESERVATÓRIO
DE PEDRA – BA PARA IMPLANTAÇÃO DE PISCICULTURA EM TANQUES-
REDE**

AURELIANO DE VILELA CALADO NETO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura.

Orientador: Prof. Dr. William Severi

RECIFE, PE

ABRIL, 2007

FICHA CATALOGRÁFICA

C141c Calado Neto, Aureliano de Vilela
Características limnológicas e dimensionamento da capacidade ambiental de aproveitamento do reservatório de Pedra- BA para implantação de piscicultura em tanques-rede / Aureliano de Vilela Calado Neto. -- 2007.
115 f. : il.

Orientador : William Severi
Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Pesca e Aqüicultura.
Inclui anexo e bibliografia.

CDD 639.3

1. Monitoramento
2. Reservatório
3. Tanques-rede
4. Pedra (BA)
 - I. Severi, William
 - II. Título

CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS E DIMENSIONAMENTO DA
CAPACIDADE AMBIENTAL DE APROVEITAMENTO DO RESERVATÓRIO DE
PEDRA – BA PARA IMPLANTAÇÃO DE PISCICULTURA EM TANQUES-
REDE

Aureliano de Vilela Calado Neto

Esta dissertação foi julgada para a obtenção do título de

Mestre em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura

E aprovada em ____/____/____ pelo Programa de Pós Graduação em
Recursos Pesqueiros e Aqüicultura em sua forma final.

Prof. Dr. Paulo Travassos
Coordenador do PPG-RPaq

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. William Severi - Orientador
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. George Nilson Mendes – Membro externo
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Eudes de Souza Correia - Membro interno
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. José Milton Barbosa – Membro interno
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Athiê Jorge Guerra Santos – Membro interno (Suplente)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedicatória

Dedico a meus amados pais Ivanete e Edson (in memorian), pelo incondicional apoio, confiança e amor dedicado aos seus filhos.

Agradecimentos

Ao meu orientador Prof. Dr. William Severi, presente em todas as etapas desta dissertação, sempre muito prestativo na orientação de mais uma etapa de nossa vida profissional.

À Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF), por ter viabilizado financeiramente a realização do estudo integrado do Reservatório de Pedra.

À Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional - FADURPE, pela realização do monitoramento ambiental e ao fornecimento dos dados relatados que serviram como base para efetivação desta pesquisa.

Ao Departamento de Pesca e Aqüicultura (DEPAq) e ao Laboratório de Limnologia, inseridos na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), durante muito tempo, minha segunda casa.

Aos companheiros do Laboratório de Limnologia, Anderson Antonello, Sérgio Catunda, Bruno Dourado, Michelle Biondi e Tereza Paiva e aos estagiários Lucas Brainer e Márcia Prado, pelos trabalhos desenvolvidos em conjunto, as amizades e importante aprendizado neste tempo de convivência.

A todos os meus irmãos que de uma forma ou de outra me incentivaram nesta jornada e, em especial a bióloga Tereza Calado por sua inestimável contribuição.

À minha esposa e companheira Eleni e a minha filha Camyla, pela compreensão e cuidado dispensados a mim em todos os momentos.

A todos os amigos que, através de uma simples palavra, me incentivaram a continuar, me permitindo transpor os obstáculos que ainda estavam por vir.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para o desfecho deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho consta de dois artigos: o primeiro caracteriza a água das reentrâncias do reservatório de Pedra - BA, comparando suas características limnológicas com aquelas do corpo central visando uma melhor compreensão dos processos que nele ocorre e suas diferenças espaciais e avalia o estado trófico das reentrâncias. O estudo foi realizado entre o Distrito de Porto Alegre no Município de Maracás e a barragem no Município de Jequié no Estado da Bahia. Foram utilizadas 11 estações de amostragem na calha central e 93 estações distribuídas nas reentrâncias do reservatório. As coletas para calha central foram realizadas em novembro/2005 a agosto/2006 e para as reentrâncias em janeiro e fevereiro/2006. Os resultados obtidos mostram que o reservatório de Pedra apresenta uma nítida diferenciação em suas características limnológicas ao longo de sua extensão, a região lótica é fortemente influenciada pelo Rio de Contas, enquanto as características das demais regiões dependem de processos internos. As reentrâncias do reservatório apresentam baixo nível trófico, caracterizado como oligo-mesotrófico, sendo o mesmo grau de trofia encontrado na calha central no monitoramento anual. No segundo artigo, os objetivos do estudo foram realizar o dimensionamento do potencial produtivo para o cultivo de peixes em tanques-rede no reservatório de Pedra, baseado em parâmetros limnológicos, levantar as áreas que possam ser utilizadas para o cultivo de peixes em tanques-rede e estimar a capacidade de suporte do reservatório como um todo. A região do estudo e as estações de coleta nas reentrâncias foram às mesmas acima descritas. O período de coleta foi de janeiro e fevereiro/2006. A estimativa da capacidade de suporte de produção de peixes em tanques-rede do reservatório de Pedra, empregando-se os dados médios para o ano de novembro/2005 a outubro/2006, foi de 987,49 ton. de peixe por ano, considerando um acréscimo de $5,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ na concentração de fósforo total nos valores médios do reservatório.

Palavras- chave: Monitoramento, reservatório, tanques-rede.

ABSTRACT

Two articles integrate this dissertation. The first one aimed to characterize the boundaries of Pedra Reservoir located in Bahia State, comparing its limnologic characteristics with those of the reservoir main water body, aiming at a better comprehension of the local processes, the spatial differences and to assess the trophic interactions. It was conducted since Porto Alegre District, at Maracás – BA city, to Jequié – BA reservoir. Eleven surveys stations were established at the central water body, and 93 at the reservoir boundaries, where samples occurred during November/2005 and February, May and August/2006. The results show that Pedra Reservoir has a wide amplitude of limnologic characteristics along its extension; the lotic region being influenced by Contas river; whilst the characteristics of the others regions are dependent of internal processes. The Pedra reservoir boundaries have low trophic level, so characterized as oligo-mesotrophic and with the same trophic level found at the central stream during annual monitoring. The objectives of the second article were to assess the productive feasibility of the Pedra reservoir for cage fish culture, based on limnologic parameters, survey for boundaries that can be used for cage fish culture and estimate the carrying capacity of the reservoir as a whole. The study area and the survey stations were the same as for above described. Otherwise, sample occurred in January and February, 2006. The support capacity of the Pedra reservoir was estimated to be 987.49 tons, using the average production from November/2005 to October/2006, considering an increase in the total phosphorous concentration of $5.0 \mu\text{g.L}^{-1}$ in the reservoir average values.

Key-words: monitoring, reservoir, cages.

SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE FIGURAS	
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3. REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 Recursos hídricos	19
3.2 Reservatórios	20
3.3 Aspectos limnológicos	22
3.4 Eutrofização	24
3.5 Aqüicultura em tanques-rede	27
3.6 Capacidade de suporte	30
3.7 Legislação	34
4. Artigo I – Características limnológicas do Reservatório de Pedra – BA	
RESUMO	38
ABSTRACT	39
1. INTRODUÇÃO	40
2. MATERIAL E MÉTODOS	42
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

5. Artigo II – Dimensionamento da capacidade ambiental do reservatório de Pedra (BA) para implantação de piscicultura em tanques-rede

RESUMO	66
ABSTRACT	66
INTRODUÇÃO	67
METODOLOGIA	68
Coleta e análise dos dados	68
Seleção das reentrâncias	69
Cálculo da área das reentrâncias	69
Determinação da capacidade suporte	70
RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
Áreas com potencial de aproveitamento aquícola	70
Concentração de fósforo total no corpo central e reentrâncias	72
Capacidade suporte e estado trófico do reservatório	74
CONCLUSÕES	77
REFERÊNCIAS	77
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
8. ANEXOS	95

LISTA DE TABELAS

Artigo I

- Tabela 1.** Dados descritivos das variáveis limnológicas mensuradas em campo, nas diferentes estações de amostragem dos meandros do reservatório de Pedra, em janeiro e fevereiro de 2006. 46
- Tabela 2.** Dados descritivos das variáveis limnológicas analisadas em laboratório, nas diferentes estações de amostragem dos meandros do reservatório de Pedra, em janeiro e fevereiro de 2006. 50
- Tabela 3.** Nível de significância entre os dados das reentrâncias com os do monitoramento no mesmo período de análise por região do reservatório e o anual. 60

Artigo II

- Tabela 1.** Reentrâncias da margem direita e esquerda do reservatório de Pedra (BA), com suas respectivas áreas (Km² e ha) e profundidades (m). O número da reentrância indica sua posição desde montante para jusante, nas margens direita (RD) e esquerda (RE). 71

Anexos

- Tabela 1.** Coordenadas planas (UTM) das estações de amostragem para o monitoramento do reservatório de Pedra. 97
- Tabela 2.** Coordenadas planas (UTM) e profundidades das estações de amostragem das reentrâncias do reservatório de Pedra 98

LISTA DE FIGURAS

Artigo I

- Figura 1.** Reservatório de Pedra (BA) com suas respectivas regiões, estações do monitoramento limnológico e estações de caracterização limnológica dos meandros. 43
- Figura 2.** Variação do IET médio nas diferentes estações dos meandros nas respectivas regiões do reservatório de Pedra, no mês de fevereiro de 2006. As linhas em destaque mostram os limites do grau de trofia, oligotrófico, mesotrófico e eutrófico. 59

Artigo II

- Figura 1.** Localização do reservatório de Pedra no estado da Bahia, com indicação de suas respectivas regiões, estações para caracterização limnológica das reentrâncias (zoneamento) e monitoramento limnológico do corpo central. 69
- Figura 2.** Reservatório de Pedra (BA) com indicação das áreas das reentrâncias na margem direita e esquerda, com potencial para aproveitamento aquícola. 71
- Figura 3.** Variação da concentração de fósforo total na água nas estações localizadas nas reentrâncias das diferentes regiões do reservatório de Pedra, em janeiro-fevereiro/2006. 73
- Figura 4.** Variação da concentração média de fósforo total na água dentre as estações de amostragem do reservatório de Pedra, nos meses de novembro/2005, fevereiro, maio e agosto/2006.. 73

Anexos

Figura 1. Localização da área de influência do reservatório Pedra, no Rio de Contas, em relação ao Estado da Bahia. 96

Figura 2. Imagem de satélite do reservatório de Pedra, localizado à montante da Cidade de Jequié (BA). 96

INTRODUÇÃO

A escassez de água é um dos maiores desafios deste século, e este alerta têm sido repetido no mundo inteiro cada vez com mais intensidade. Parece exagero, mas 75% do planeta é ocupado por água, e quase todo (97%) é salgada e 2% formam as geleiras que são inacessíveis. O restante, 1% da água doce dos rios, lagos e lençóis subterrâneos está sendo explorada irracionalmente, portanto está ameaçada esta reduzida fatia de água que pode ser usada pelo homem.

Hoje, mais de 70% da água doce utilizada no mundo vai para a agropecuária, ou seja, para a produção de alimentos. Em diversos países, depois de se chegar ao limite máximo de utilização da água superficial disponível, vem-se procurando usar a água subterrânea, através da perfuração de poços. O bombeamento é tão intenso, que a água não se renova. Como não se consegue regenerar toda a água retirada, os aquíferos vêm sofrendo depleção e gerando rebaixamento do solo em muitas regiões.

O Brasil possui uma das maiores reservas hídricas do mundo, concentrando cerca de 12% da água doce superficial disponível no planeta, sendo cerca de 80% da produção hídrica total localizada nas bacias do Amazonas, São Francisco e Paraná (REBOUÇAS et al., 2002).

A distribuição espacial hídrica dos recursos brasileiros não coincide com as demandas da população. A região Norte, com apenas 7% da população brasileira, reúne 68% da água doce do país na bacia amazônica. O Nordeste, com 29% da

população, tem apenas 3% da água doce. No Sudeste, 43% da população têm menos de 6% da água doce de superfície (MIRANDA, 2004).

Os reservatórios são sistemas artificiais construídos com o propósito principal de fornecer reservas de água para usos múltiplos: produção de energia elétrica, abastecimento doméstico e industrial, navegação, irrigação e recreação (BRANCO & ROCHA, 1977).

A construção de represas teve início há apenas 100 anos; essas construções além de alterarem o fluxo dos rios, também causam alterações na bacia hidrográfica (TUNDISI, 1986). Entre elas, podem ser citadas: alterações no ciclo hidrológico; impactos geofísicos; impactos sobre os sistemas aquáticos (matéria orgânica dissolvida, condutividade da água e concentração de sedimentos); impactos sobre a flora e fauna terrestre e aquática e sobre a diversidade de espécies; impactos sobre o homem e as atividades humanas.

O conhecimento das influências do ciclo hidrológico e das variações de vazão nos rios que abastecem os reservatórios, sobre suas variáveis limnológicas, contribui para o gerenciamento da qualidade física, química e biológica da água, em trechos de rio e reservatório. Permite, também, reconhecer alterações ocorridas, seus fatores causadores e seus efeitos sobre as comunidades naturais, bem como, subsidiar trabalhos relativos às intervenções associadas ao manejo e gestão ambiental ao nível local, regional e da bacia hidrográfica (ANDREOLI & CARNEIRO, 2005).

As profundas mudanças causadas nos ecossistemas aquáticos no decorrer dos últimos anos têm causado uma preocupação crescente na população e nas autoridades ambientais, tornando necessário ampliar os conhecimentos sobre o meio ambiente e suas interferências na qualidade da água e os impactos causados por atividades produtivas nesses ambientes.

A busca de sistemas sustentáveis e produtivos pode ocorrer através do manejo adequado dos recursos disponíveis, ao mesmo tempo em que satisfaz as necessidades humanas, mantém ou melhora a qualidade ambiental e conserva os recursos naturais (SOUZA, 2005)

A aqüicultura, cultivo de animais aquáticos vem se constituindo numa das mais viáveis fontes alternativas de produção de alimento, considerando-se, principalmente, seus rendimentos potenciais com outras atividades produtivas, tais como a pecuária e a agricultura.

Uma de suas modalidades é o cultivo de peixes em alta densidade de estocagem, conhecido como o sistema de cultivo em tanques-rede ou gaiolas. Trata-se de uma criação intensiva, cujo resultado final é uma alta produção numa área reduzida e num curto espaço de tempo (SILVA & SIQUEIRA, 1997).

Esta atividade é caracterizada como uma modalidade de exploração intensiva, devido à produção elevada da biomassa de peixes, em espaço restrito. Constitui-se, entretanto, numa fonte de impacto ambiental e possível perda da qualidade da água do meio impactado, em decorrência do aporte de restos de

alimento e excrementos diretamente no ambiente, sem controle dos mesmos, podendo assim, desencadear um processo de eutrofização do corpo hídrico de conseqüências danosas ao meio ambiente.

Portanto, a eutrofização de reservatórios ou de lagos é o processo que resulta em um aumento de nutrientes essenciais para o fitoplâncton e macrófitas aquáticas, principalmente nitrogênio (N), fósforo (P) e carbono (C).

A eutrofização dos ecossistemas aquáticos continentais e marinhos é o resultado do enriquecimento com nutrientes de vegetais, principalmente P e N, que são despejados de forma dissolvida ou particulada em lagos, represas e rios, sendo então transformados em matéria viva pelo metabolismo dos vegetais. A eutrofização natural é resultante da descarga normal de N e P nos sistemas aquáticos e é benéfica, já que estes são necessários à manutenção da vida aquática. A eutrofização artificial ou cultural é proveniente de despejos de esgotos domésticos e industriais e da descarga de fertilizantes aplicados na agricultura. A eutrofização cultural pode acelerar o processo de enriquecimento das águas superficiais, provocando um rápido desenvolvimento dos vegetais aquáticos, inicialmente cianobactérias, as quais produzem substâncias tóxicas que podem causar a mortalidade de animais e intoxicação (TUNDISI, 2003).

O reservatório de Pedra é formado pelo represamento do Rio de Contas, com a implantação da Usina Hidro Elétrica (UHE) construída pela SADE Engenharia, em 1976, e teve sua operação iniciada em 1978. Basicamente construído com o intuito

de geração de energia, o reservatório teve diversas atividades incorporadas ao objetivo inicial ao longo dos anos, tais como pesca, aqüicultura e irrigação.

A piscicultura, atividade de cultivo de peixes foi incentivada pela Bahia Pesca – empresa de extensão do Estado da Bahia - há alguns anos no reservatório, através de pequenos módulos comunitários de tanques-rede, tendo sido praticada de modo incipiente até recentemente. A falta de um adequado planejamento e ordenamento da atividade pode ser destacada como um dos fatores inibidores de sua consolidação. Neste sentido, o dimensionamento da capacidade de exploração do reservatório e a identificação das áreas mais propícias para a implantação das unidades de cultivo representam uma medida imprescindível para esse ordenamento, favorecendo a adoção de ações ambientalmente sustentáveis.

A estimativa da capacidade suporte para produção de peixes em tanques-rede em reservatórios, é baseada em modelos matemáticos que levam em consideração os valores médios históricos de fósforo total, usualmente mensurado no corpo central do reservatório, o tempo de residência da água no corpo hídrico, a área de espelho d'água, a profundidade média, o teor de fósforo na ração administrada aos peixes e a taxa de conversão alimentar da espécie de peixe cultivada (BEVERIDGE, 1991).

As áreas aqüícolas destinadas à instalação das unidades de produção de tanques-rede, são implantadas em baías, remansos e/ou reentrâncias, cujas características limnológicas podem diferir significativamente daquelas do corpo central, com base nas quais é feita a estimativa da capacidade suporte do

reservatório. Deste modo, o conhecimento destas diferenças e sua inclusão na avaliação da capacidade de suporte são fundamentais para um adequado dimensionamento, que garanta a sustentabilidade ecológica da atividade e não altere o estado trófico do reservatório.

OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar o dimensionamento do potencial produtivo para o cultivo de peixes em tanques-rede no reservatório de Pedra, baseado em parâmetros limnológicos e avaliar a sua relação com o estado trófico do reservatório.

2.2 Objetivos específicos

- Levantar as áreas de reentrâncias do reservatório de Pedra, que possam ser utilizadas para o cultivo de peixes em tanques-rede;
- Avaliar a heterogeneidade espacial da qualidade da água do reservatório, comparando as características limnológicas das áreas de reentrâncias com aquelas do corpo central do reservatório;
- Caracterizar a qualidade da água, sob o ponto de vista físico-químico e biológico, nas áreas definidas como de uso potencial;
- Comparar o estado trófico do corpo central do reservatório com o das reentrâncias, e;
- Estimar a capacidade de suporte do reservatório como um todo e de cada área aquícola em particular.

REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Recursos hídricos

A crescente preocupação com a disponibilidade mundial da água vem exigindo da sociedade contemporânea uma nova consciência em relação à utilização desse recurso. A água potável encontrada na natureza é essencial para a vida no planeta. No entanto, esta riqueza tem se tornado cada vez mais escassa.

Nos últimos 50 anos, a extração anual de água doce de lagos, rios e aquíferos triplicou e os crescimentos populacional e econômico continuam a incrementar a necessidade, tanto por água, quanto por serviços a ela relacionados (TUNDISI, 2003). Tal fato confere aos recursos hídricos uma relevância não apenas ecológica, como também política, econômica e social.

O Brasil é o país com maior reserva de água potável, representando cerca de 12% da água potável do planeta (BRANCO & ROCHA, 1980), concentrando uma fração enorme do seu manancial em um único rio, o Amazonas, com vazão anual de 6.000 km³ (BARBOSA et al., 2002)

A disponibilidade de água é um bem comum, social e estratégico, apresentando-se frágil diante dos diversos usos requeridos. Esta situação é uma consequência direta dos efeitos adversos do crescimento e adensamento populacional, do aumento da produção e da diversificação de bens e serviços (ASSUNÇÃO & BURSZTYN, 2001).

A necessidade de acúmulo de água para diversos fins determinou o barramento de rios, criando lagos artificiais ou reservatórios, sendo que seus usos preponderantes ou múltiplos têm influência fundamental em sua morfometria, morfologia e limnologia (TUNDISI et al., 2002). Isto equivale dizer, que aspectos como profundidade média, tempo de residência e a qualidade da água influenciam os usos ao qual o ambiente se destina (XAVIER, 2005).

3.2 Reservatórios

Os reservatórios são sistemas aquáticos modificados, extremamente complexos e dinâmicos, que apresentam as funções principais de manutenção da vazão dos cursos de água e atendimento às variações da demanda dos usuários (PRADO, 2002). São construídos pelo barramento artificial de um vale natural ou pela formação artificial de lagos, associados a uma bacia de drenagem natural e com vazões defluentes sujeitas a controle (CRUZ & FABRIZY, 1995).

À medida que cresce a demanda por energia elétrica e água para irrigação e abastecimento, aumenta o número de reservatórios construídos no País. Certamente, parte desse volume de água estocado também poderia ser utilizado para a produção aquícola (produção de alimento no meio aquático). A elaboração dos projetos e a escolha do local de implantação desse tipo de atividade têm se baseado, principalmente, na facilidade de acesso ao mercado e na escolha de um ambiente favorável à produção. Pouco ainda tem sido considerado em relação à degradação que possa ser causada ao ambiente aquático, se sua capacidade de suporte for ultrapassada (ALVES & BACCARIN, 2005).

A construção de reservatórios para diversos fins é uma das grandes experiências humanas na modificação dos ecossistemas naturais. Pequenos sistemas de acumulação de água, com propósito inicial limitado, foram substituídos por maciços empreendimentos, utilizados principalmente para a produção de energia elétrica e outros fins múltiplos, entre os quais se destacam: irrigação, produção de biomassa, transporte e recreação. O rápido aumento na construção de reservatórios e a grande dimensão desses ecossistemas artificiais têm produzido inúmeros problemas devidos às alterações nos sistemas hidrológico, atmosférico, biológico e social na região de construção e na área atingida pelo lago artificial. Um reservatório é sempre construído em um sistema privilegiado para a produção de energia elétrica e, ao interceptar o fluxo de água de um rio, além das inúmeras modificações causadas em um amplo espectro de atividades e processos ao longo da bacia hidrográfica, passa a funcionar como um 'vaso de reação' ou 'coletor de eventos' (TUNDISI, 1987).

O barramento de um rio acarreta ainda outros efeitos negativos, dentre eles deslocamento de populações ribeirinhas (na construção da barragem), problemas de saúde pública (malária, esquistossomose, etc), perda de espécies nativas de peixes, perda da biodiversidade de rios, interferência no pulso de inundação, efeitos na composição química e física da água à montante e à jusante, e degradação da qualidade da água (TUNDISI, 1999)

Os reservatórios são detectores sensíveis dos impactos antropogênicos, pois são ecossistemas artificiais que integram as conseqüências do uso e ocupação do solo, dentro dos limites de sua bacia de drenagem (TUNDISI, 1996).

A compreensão desse sistema ecológico deve focar no entendimento dos processos que nele ocorrem e na sua evolução frente às influências antropogênicas. A persistência nessa abordagem deve continuar a produzir resultados teóricos e práticos que auxiliem na gestão do recurso e na otimização dos seus usos múltiplos (TUNDISI, 1999).

3.3 Aspectos limnológicos

Reservatórios são sistemas abertos que fazem parte de um sistema maior denominado bacia hidrográfica. O funcionamento desses sistemas, e sua estabilidade relativa, dependem das taxas de entrada e saída de água, de materiais e de organismos provenientes de outras áreas da bacia (ODUM, 1988).

A formação de um reservatório implica no surgimento de um novo sistema, com características intermediárias entre ecossistemas lóticos e lênticos (MARGALEF, 1981). Os habitats aquáticos se modificam em resposta à ação antrópica e a maior parte dos processos ecológicos é alterada devido às modificações no fluxo de água, nutrientes, sedimento e biota (BRANDIMARTE, 1997 *apud* HENRY, 1999).

A escala espacial, tanto vertical quanto horizontal, é um aspecto importante nos reservatórios, pois o barramento do rio confere a esses sistemas características intermediárias entre ambiente de água corrente e de água parada. De fato, é possível identificar zonas ribeirinhas (lóticas), lacustre (lêntica), de transição (entre lótica e lêntica), pequenas baías e águas rasas com vegetação (TUNDISI, 1996).

Nos reservatórios, a região mais profunda, em geral, se localiza próxima à barragem e as águas correntes provenientes do tributário não se dissipam em locais rasos, como é o caso de lagos naturais. A água de entrada muitas vezes tem temperatura e conteúdo de sólidos suspensos e dissolvidos diferentes da água represada, o que provoca diferenças de densidades entre elas. Em consequência, as duas águas demoram a se misturar, formando correntes que podem fluir superficialmente, subsuperficialmente ou profundamente, o que acentua a heterogeneidade longitudinal do reservatório (BAXTER, 1977). As massas d'água com diferentes densidades possibilitam a formação de correntes sobrepostas horizontalmente e a desestratificação térmica permite a circulação vertical, criando assim compartimentos, os quais estão conectados entre si (TUNDISI et al., 1999).

A heterogeneidade espacial e temporal das características limnológicas apresentada em reservatórios, influencia fundamentalmente a estrutura ecológica e o funcionamento destes ecossistemas. As progressivas trocas físicas, químicas e biológicas ao longo do eixo principal do reservatório (transição rio-lago) freqüentemente incluem fortes gradientes espaciais (NOGUEIRA et al., 1999). Nos ecossistemas aquáticos localizados em regiões tropicais e subtropicais, as variações temporais são comumente induzidas pelo padrão sazonal de precipitação e ação dos ventos (TUNDISI, 1980; GROOT, 1981; NILSSEN, 1984; TALLING & LEMOALLE, 1998). Além disso, eventos sazonais podem tornar a estrutura espacial mais complexa, vertical e horizontalmente.

O monitoramento limnológico constitui uma ferramenta para o conhecimento da situação da água e da concentração de alguns elementos em águas superficiais, como o N e P, e tem sido usado como estratégia para a caracterização de bacias

hidrográficas. O monitoramento qualitativo e quantitativo dos recursos hídricos é um poderoso instrumento, que possibilita a avaliação da oferta hídrica - base para decisões de aproveitamento múltiplo e integrado da água - bem como a minimização de impactos ao ambiente (COIMBRA, 1991).

3.4 Eutrofização

A eutrofização de corpos de água é caracterizada por um aumento desequilibrado da produção primária e este desequilíbrio é muitas vezes causado pelo aporte externo de fósforo (COELHO, 2000).

Um importante componente das fontes de poluição difusa em bacias hidrográficas agrícolas é o fósforo (P) através do escoamento superficial. Este poluente pode acelerar o processo de eutrofização. Para controlar este processo, é necessária uma melhoria das práticas de manejo de solo (WITHERS et al., 2000). Em corpos d'água utilizados para abastecimento público, a eutrofização provoca complicações, causando odor e sabor desagradáveis à água, entupimento de filtros de estações de tratamento, podendo, ainda, causar problemas à saúde da população (BRANCO, 1991).

Em um corpo d'água, os nutrientes estão disponíveis em várias formas, onde algumas são determinantes ao crescimento da população fitoplanctônica. O fósforo é o principal elemento na eutrofização de ambientes lacustres. Toda a forma de fósforo presente em águas naturais quer seja iônica ou complexa, encontra-se sob a forma de fosfato (THOMANN & MUELLER, 1987).

A eutrofização é uma reação em cadeia, com efeitos bem evidentes, sendo sua característica principal a quebra de estabilidade do ecossistema (homeostasia). Segundo Esteves (1988), “a homeostasia em ecossistemas aquáticos é caracterizada pelo equilíbrio existente entre a produção de matéria orgânica e o seu consumo e decomposição”. A eutrofização no seu estágio inicial favorece o crescimento de diferentes macrófitas aquáticas e; na região litorânea, as condições nutricionais favorecem o crescimento de algas filamentosas que, por reduzirem a penetração de luz na água, impedem o crescimento de macrófitas submersas.

O acentuado crescimento populacional provoca um aumento na demanda de água para abastecimento, ao mesmo tempo em que se intensificam os despejos de esgotos urbanos e industriais em rios e lagos. No meio rural, o desenvolvimento das atividades agropecuárias também causa a degradação dos recursos hídricos, quer seja pelo desmatamento, pelo uso inadequado da água na irrigação, quer pelo carreamento, por meio da erosão, de agrotóxicos e de fertilizantes até os corpos d'água. Tais formas de poluição pontuais e difusas acarretam a degradação de ecossistemas, além de prejuízos à qualidade das águas e ao abastecimento público (BITTENCOURT & GOBBI, 2006).

Diversos são os fatores que levam à deterioração da água, podendo ser suas fontes classificadas em pontuais e difusas. As fontes pontuais correspondem, essencialmente, aos efluentes domésticos e industriais, já as difusas incluem os resíduos provindos principalmente da agricultura (fertilizantes, herbicidas, inseticidas, fungicidas, entre outros). Este tipo de poluição pode ser intensificado devido à irrigação, à compactação do solo derivada da mecanização, ao

desflorestamento (inclusive de mata ciliar), à ausência de práticas conservacionistas do solo, aos processos erosivos, além da interferência de fatores naturais (geologia, geomorfologia, declividade, pedologia, forma e densidade de drenagem da bacia hidrográfica, regime de chuvas e permeabilidade do solo entre outros).

A situação parece grave visto que existem estimativas (LOAGUE et al., 1998) de que, aproximadamente, de 30 a 50% dos solos da Terra estejam afetados por poluentes provindos de fontes difusas, os quais gradativamente atingem os cursos d'água.

No tocante aos reservatórios, a situação é ainda mais delicada, pois ocorrem impactos negativos consideráveis no sistema aquático desde a fase de sua construção. Esses impactos se refletem na qualidade da água, visto que a presença do reservatório provoca a redução da capacidade de depuração do curso d'água, o aumento da retenção de sedimentos e nutrientes e a alteração das características físicas, químicas e biológicas do sistema. Desta forma, ocorre um incremento no processo de eutrofização o qual, dependendo do nível atingido, poderá comprometer os usos múltiplos a que esse é destinado (PRADO & MORAES NOVO, 2006).

O Índice do Estado Trófico (IET) tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas, ou o potencial para o crescimento de macrófitas aquáticas.

O índice de Carlson (1977) é uma das ferramentas mais empregadas para a estimativa do estado trófico em ambientes aquáticos. O mesmo tem sido usado em diferentes ecossistemas aquáticos, incluindo lagoas costeiras (SCHÄFER, 1988) e reservatórios (MATSUMURA-TUNDISI et al., 1986; CALEFFI et al., 1994). A modificação proposta por Toledo et al. (1983) para este índice, também tem sido amplamente empregada para estimar o estado trófico, principalmente de lagos e reservatório de regiões tropicais e subtropicais (TUNDISI et al., 1988; MERCANTI & TUCCI-MOURA, 1999).

3.5 Aquicultura em tanques-rede

A crescente demanda global de alimentos tem gerado o desenvolvimento de tecnologias no setor agropecuário e a aqüicultura tem ocupado lugar de destaque neste segmento produtivo. Este é um dos setores em elevada expansão mundial, passando nas últimas décadas, de modelos rudimentares para uma atividade altamente tecnificada (BARROSO et al., 2002).

A grande maioria dos sistemas de produção utilizados pela aqüicultura ao redor do mundo tem causado benefícios nutricionais e sociais significativos e, geralmente, não tem acarretado grandes custos ambientais (QUEIROZ, 2002).

A aqüicultura é ainda atividade complementar à pesca, mas as perspectivas são que a primeira substitua a segunda. Nos últimos anos, a produção pesqueira mundial encontra-se estabilizada abaixo de 100 milhões de toneladas, fundamentalmente, em função da criação das zonas econômicas exclusivas e da elevação dos custos de captura, estando em grande parte próxima ao seu nível

máximo de exploração ou sobre-explotadas (ALVAREZ-LAJONCHERE & HERNÁNDEZ MOLEJÓN, 1998).

O Nordeste brasileiro é considerado, por especialistas de todo o mundo, como um dos melhores locais para a prática da aqüicultura, seja de água doce, estuarina ou marinha, muito devido às condições meteorológicas, edafo-climáticas e oceanográficas encontradas, com pouca variação da temperatura e, conseqüentemente, dos parâmetros físico-químicos da água em condições normais, ou seja, sem os efeitos da poluição por diversos fatores.

A piscicultura é o ramo da aqüicultura, que trata especificamente do cultivo de peixes. O cultivo de peixes, bem como de outros organismos aquáticos, vem crescendo rapidamente nos últimos anos, transformando-se numa indústria que movimenta milhões de dólares em diversos países.

O Brasil reúne condições extremamente favoráveis à piscicultura. Além do grande potencial de mercado, o país conta com clima favorável, boa disponibilidade de áreas, grandes safras de grãos (soja, milho, trigo, entre outros), que geram matérias primas para rações animais, e grande potencial hídrico (BOZANO, 2002; KUBITZA, 2003).

Quando se considera a produção piscícola no contexto alimentar mundial, é verdade que os peixes são um eficiente meio de produção de proteína animal, quando comparado com outros animais terrestres. Sendo animais pecilotérmicos, os peixes usam pouca energia para manter a temperatura corporal, bem como, por

viverem num meio aquoso, também consomem menos energia para sua locomoção, tendo assim relativamente pouca exigência energética, a não ser para a manutenção do metabolismo basal e das funções corpóreas (SCHMIDT-NIELSEN, 1972). Desta forma, os valores obtidos em relação ao ganho de peso vivo por unidade de alimento ingerido e correspondentes ganhos de proteína são mais altos em peixes do que em aves e suínos (KUBITZA, 1999).

Uma das modalidades de cultivo de peixes em alta densidade de estocagem é o sistema de cultivo em tanques-rede ou gaiolas. Trata-se de uma criação intensiva, cujo resultado final é uma alta produção numa área reduzida e num curto espaço de tempo (SILVA & SIQUEIRA, 1997).

Rotta & Queiroz (2003) enfatizam que a piscicultura em tanques rede é uma técnica relativamente barata e simples, quando comparada à piscicultura tradicional em viveiros de terra, pois possibilita a utilização de ampla variedade de ambientes aquáticos, a exemplo dos reservatórios de hidroelétricas, dispensando os custos com construções de viveiros. No Brasil, a despeito do grande potencial representado pelos seis milhões de hectares de águas represadas nos lagos de grandes reservatórios, construídos principalmente com a finalidade de geração de energia elétrica, a produção comercial de peixes em tanques-rede está apenas começando e, num futuro próximo, poderá tornar o país um dos maiores produtores mundiais.

O cultivo de peixes em tanques-rede é um dos métodos mais utilizados atualmente na aquicultura de águas continentais, principalmente devido ao fácil manejo e ao rápido retorno do investimento. No Brasil, têm sido feitas várias

experiências com espécies nativas de peixes, no entanto, atualmente a espécie mais utilizada é a tilápia do Nilo. Quando criada em tanques-rede, a tilápia apresenta índices de desempenho satisfatórios, além de ser possível cultivá-la em densidades de até 250 kg/m³ (SCHMITTOU, 1997).

A piscicultura em tanques-rede é uma modalidade de cultivo intensiva, em função da elevada produção de biomassa de peixes em espaço restrito. Entretanto, constitui-se numa fonte de impacto ambiental e provável perda da qualidade da água do ambiente se não forem adotadas as devidas precauções de instalação e manejo, devido ao aporte de restos de alimento e excrementos diretamente no ambiente, sem controle dos mesmos.

Os maiores impactos causados pela piscicultura em tanques-rede dizem respeito ao aumento nas concentrações de fósforo, nitrogênio e matéria orgânica, tanto na água quanto no sedimento (GUO & LI, 2003). Segundo Folke & Kautsky (1992), 13% do nitrogênio e 66% do fósforo aportados via ração sofrem sedimentação; 25% do nitrogênio e 23% do fósforo são convertidos em massa (carne); e 62% de nitrogênio e 11% de fósforo ficam dissolvidos na água. Dentre os nutrientes, sabe-se que o fosfato é o mais importante para a eutrofização artificial em águas doce (ESTEVES, 1998).

3.6 Capacidade de suporte

O aproveitamento de uma área delimitada espacialmente, como um reservatório, impõe a necessidade de ordenar e dimensionar a forma e a intensidade de uso do recurso hídrico, de modo que não ocorra a deterioração da qualidade

ambiental, nem a perda das características que tornam o ambiente viável para seu aproveitamento. É de fundamental importância a seleção de áreas para a implantação do cultivo em tanques-rede e a estimativa da capacidade de suporte do meio para a atividade de piscicultura, ou seja, o nível máximo de produção suportável pelo ambiente, que representa uma condição necessária à integridade biótica e da qualidade da água nos ambientes aquáticos (FADURPE, 2003).

A produção de peixes em cultivo intensivo, como em gaiolas, resulta na produção de dejetos diversos, os quais podem estimular a produtividade primária aquática, através do processo de eutrofização, e alterar as características limnológicas do corpo d'água. A deterioração da qualidade da água irá estressar ou causar mortalidade dos estoques, podendo encorajar o desenvolvimento de organismos patogênicos, deste modo afetando a lucratividade e, até mesmo, a viabilidade do sistema de produção (FADURPE, 2003).

Diversos modelos têm sido propostos para previsão das respostas do ambiente aquático a incrementos das cargas de fósforo, a despeito de diversas restrições que ampliam a margem de erro de suas previsões. Entretanto, aqueles mais amplamente utilizados (BEVERIDGE, 1991), consideram que a concentração de fósforo num corpo aquático depende de sua carga recebida, do tamanho do corpo d'água (área, profundidade média), da taxa de renovação – fração da coluna d'água renovada anualmente pela vazão – e fração de fósforo perdido para o sedimento. Neste sentido, assume fundamental importância a transparência da água, pela relação entre a capacidade de penetração da luz com a zona de assimilação pelo fitoplâncton (zona trofotônica ou de produção) e as características

físico-químicas do sedimento, sobretudo quanto à presença de oxigênio e de vegetação submersa, fatores que contribuem de modo substancial para sua absorção e incorporação.

A determinação da carga diária total máxima (total maximum daily load – TMDL) tem sido adotada em alguns países, por exemplo, EUA, como medida para garantir a manutenção de uma determinada condição ambiental ou uma determinada concentração de um elemento ou poluente ambiental (HAVENS & SCHELSKE, 2001).

No caso do fósforo, a definição da TDML requer a determinação de uma concentração deste elemento no ambiente (lago ou reservatório), acima da qual o uso dos recursos é considerado inadequado. Relações empíricas ou modelos para quantificar a carga externa admissível requerem o conhecimento da extensão da capacidade do ecossistema processar e assimilar fósforo em compartimentos de longa duração, como os sedimentos. Quantificar esta capacidade assimilativa representa um desafio, por ser determinada por uma função complexa de processos físicos, químicos e biológicos que variam no tempo e no espaço (HAVENS & SCHELSKE, 2001). Modelos de balanço de massa, baseados naquele proposto por Vollenweider (1975), têm sido empregados por diferentes autores (HAKANSON & CARLSSON, 1998; HAKANSON et al., 1998; HAVENS & SCHELSKE, 2001) nesta avaliação. Estes autores reconhecem que a estimativa da taxa de sedimentação do fósforo e como ela varia no tempo e no espaço representa o ponto crítico da avaliação.

As emissões de fósforo oriundo da piscicultura podem diferir do “input” de tributários – previsto no modelo de Vollenweider -, por sua distribuição física e temporal e pela disponibilidade biológica, conforme já mencionado anteriormente. Tais diferenças podem afetar: 1) a taxa de sedimentação; 2) a remoção do lago através do escoamento devido a diferentes padrões sazonais de emissão; 3) remoção de fósforo pela pesca e predação por pássaros piscívoros; 4) consumo primário (direto) das emissões do cultivo por peixes selvagens (nativos) e zooplâncton; e 5) consumo secundário de fezes de peixes nativos por zooplâncton, bentos e bactérias (JOHANSSON et al., 1998). Estes fatores afetam diretamente a concentração de fósforo no lago/reservatório.

Com base nas observações acima, evidenciam-se as dificuldades de estimar uma carga admissível de fósforo proveniente do cultivo de peixes apenas, quando não há informações disponíveis sobre as demais fontes e dos processos de diluição, assimilação, circulação, ciclagem e exportação do elemento no meio aquático. Estudos específicos desenvolvidos com o objetivo de caracterizar e dimensionar a trajetória de fósforo na água a partir das unidades de cultivo poderiam responder estas questões, a partir do modelo proposto por Hakanson et al. (1998), para quantificação dos fluxos de consumo direto e eliminação de fósforo da coluna d’água.

A despeito dessas considerações, modelos empíricos para estimar a capacidade suporte de ambientes aquáticos para a aquicultura têm sido propostos, sendo as de Dillon & Rigler (1974) e OECD (1982), os mais comumente empregados.

3.7 Legislação

As profundas mudanças causadas nos ecossistemas aquáticos no decorrer dos últimos anos têm causado uma preocupação crescente na população e nas autoridades ambientais, tornando necessário ampliar os conhecimentos sobre o meio ambiente e suas interferências na qualidade da água e os impactos causados por atividades produtivas nesses ambientes.

Para reverter esta situação, é preciso adotar um modelo de gestão de recursos hídricos que promova um desenvolvimento sustentável, aliando o crescimento econômico à preservação ambiental. No Brasil, um passo foi dado neste sentido com a aprovação da Lei Federal nº 9433 em 1997 (BRASIL, 1997), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Para implementar esta lei, em bacia hidrográfica, torna-se necessário o uso de ferramentas de planejamento que possibilitem incorporar os fatores que afetam a qualidade da água, os quais são diversos e possuem complexas interações entre si. Mundialmente, são utilizadas diferentes combinações dessas ferramentas visando à adoção de um processo de gestão dos recursos hídricos mais adequados às características de cada país (NACHTNEBEL, 2000; PIO & HENRIQUES, 2000; ALMEIDA, 2001).

Com o intuito de regulamentar os padrões de qualidade de água no Brasil, foi promulgada, em 2005, a resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005a). Essa Resolução fornece os limites de padrões a serem medidos em corpos d'água de acordo com cinco classes, definidas com base em seus usos preponderantes. A classe especial e a classe I e II são para usos mais nobres

(abastecimento humano, dessedentação de animais e proteção da vida aquática), com diferentes graus de tratamentos. A classe III pode ser destinada a abastecimento humano, desde que tratada com processos convencional ou avançado. Já a classe IV, é destinada somente à harmonia paisagística e à navegação (MARIANI, 2006). Esta resolução veio a substituir a Resolução CONAMA Nº 20, de 18 de junho de 1986 (BRASIL, 1986).

O Decreto nº. 4895 de 25 de novembro de 2003 (BRASIL, 2003), que substituiu o Decreto nº. 2869, de 09/12/1998 (BRASIL, 1998), estabeleceu as diretrizes gerais para o zoneamento dos parques e áreas aquícolas em águas públicas, de forma a subsidiar os procedimentos a serem adotados pelas empresas que administram reservatórios no ordenamento da atividade piscícola.

A Instrução Normativa Interministerial nº. 6 de 28/05/2004 (BRASIL, 2004) e a nº 7 de 28/04/2005 (BRASIL, 2005b), por sua vez, estabeleceram as normas complementares para o uso das águas públicas da União para fins de aquíicultura, fazendo vigorar o Decreto nº. 4895 de 25/11/2003.

Por se tratar de um rio estadual, o Rio de Contas, onde está inserido o reservatório de Pedra, também está subordinado à legislação específica do Estado da Bahia. A Lei 6.855 de 12 de maio de 1995 dispõe sobre a Política, o Gerenciamento e o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Bahia, enquanto que o Decreto nº. 6.296 de 21 de março de 1997 é mais específico e dispõe sobre a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, infrações e penalidades (BAHIA, 1995).

Para os pequenos produtores desse Estado, incluindo piscicultores e aqüicultores, com exceção dos carcinicultores, foi editada a Portaria n°. 56 de 04 de agosto de 2006, que dispõe sobre procedimentos de licenciamento ambiental das atividades, obras e empreendimentos agropecuários, silviculturais e aqüícolas com potencial de impacto não significativo (BAHIA, 2006).

Artigo para submissão à Revista Acta Limnologica Brasiliensia

CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS DO RESERVATÓRIO DE PEDRA – BA

Autores:

Aureliano de Vilela Calado Neto (UFRPE/DEPAq)¹

William Severi (UFRPE/DEPAq)²

Bruno Dourado Fernandes da Costa (FADURPE)³

¹Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura,
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO, AV. DOM MANOEL DE
MEDEIROS S/N, DOIS IRMÃOS, RECIFE-PE, CEP: 52171-900

²Laboratório de Limnologia, DEPARTAMENTO DE PESCA E Aqüicultura,
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO, AV. DOM MANOEL DE
MEDEIROS S/N, DOIS IRMÃOS, RECIFE-PE, CEP: 52171-900

³FUNDAÇÃO APOLÔNIO SALLES DE DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL –
FADURPE, AV. DOM MANOEL DE MEDEIROS S/N, DOIS IRMÃOS, RECIFE-PE,
CEP: 52171-900

CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS DO RESERVATÓRIO DE PEDRA – BA

RESUMO

O monitoramento limnológico constitui uma ferramenta de conhecimento da situação e da concentração de alguns elementos em águas superficiais e tem sido usado como estratégia para a caracterização de bacias hidrográficas. Este trabalho teve como objetivos a caracterização da água dos meandros do reservatório de Pedra - BA, comparando suas características limnológicas com aquelas do corpo central, visando uma melhor compreensão dos processos que nele ocorrem e suas diferenças espaciais, a avaliação do estado trófico dos meandros, uma análise espacial e temporal de todas as variáveis como referencial para subsidiar futuras avaliações e a seleção de áreas propícias para implantação de projetos de piscicultura em tanques-rede. O estudo foi realizado desde o Distrito de Porto Alegre, no município de Maracás, até a barragem, no município de Jequié, ambos no estado da Bahia. Foram utilizadas 11 estações de amostragem na calha central e 93 nos meandros, levando em consideração suas regiões lótica, de transição e lêntica. As coletas no corpo central foram realizadas trimestralmente, entre novembro/2005 e agosto/2006, e nos meandros em janeiro e fevereiro/2006. Foram determinadas em campo as variáveis temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, salinidade, sólidos totais dissolvidos, transparência da água e radiação solar subaquática, e em laboratório, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, fósforo e fosfato total, fosfato inorgânico, material em suspensão, turbidez e clorofila a. Os resultados obtidos mostram que o reservatório de Pedra apresenta uma nítida diferenciação em suas características limnológicas em toda sua extensão, sendo a região lótica fortemente influenciada pelo rio de Contas, enquanto as características das demais regiões dependem de processos internos, pois o reservatório não possui tributário algum ao longo de sua extensão. Os meandros do reservatório de Pedra apresentam baixo nível trófico, sendo predominantemente caracterizados como oligo-mesotróficos, mesmo grau de trofia encontrado em seu corpo central.

Palavras- chave : reservatório, monitoramento, limnologia, índice trófico.

ABSTRACT

Limnological monitoring is a useful tool to evaluate surface water quality in reservoirs and the concentration of some elements, and has been used as a strategy for the characterization of hydrographic basins. This study had as objectives the characterization of water quality in Pedra reservoir enclosures, in the state of Bahia, comparing its limnological characteristics with those of the central water body, aiming at a better understanding of the local processes and their spatial differences, to assess their trophic state, the spatial and temporal analysis of all variables as a reference to subsidize future evaluations and the selection of adequate areas for the installation of cage fish culture. The study was conducted between the district of Porto Alegre, located in the municipality of Maracás, and the dam, located in the municipality of Jequié, both in the state of Bahia. Eleven sampling stations were established along the main axis of the reservoir, and 93 at its enclosures on both margins, distributed along the lotic, transitional and lentic portions of the reservoir. Samples were taken quarterly in the main body from November 2005 to August 2006, and in the enclosures in January and February 2006. During field sampling the variables temperature, pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, salinity, total dissolved solids, water transparency and underwater radiation were determined. Otherwise, in the laboratory, the concentration of nitrate, nitrite, amoniacal nitrogen, total phosphorous, total phosphate, inorganic phosphate, suspended solids, turbidity and chlorophyll-a were analyzed. The results show that Pedra reservoir presents a clear differentiation of its limnological characteristics along its main axis, the lotic region being strongly influenced by the Contas river, while the characteristics of the other regions depends on internal processes, because the reservoir has no perennial tributary along its extension. Pedra reservoir enclosures present a low trophic level and can be characterized as oligo-mesotrophic, the same trophic level presented in its main body during the annual monitoring.

Key-words: reservoir, monitoring, limnology, trophic level.

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a disponibilidade mundial de água vem exigindo da sociedade contemporânea uma nova consciência em relação à utilização desse recurso. A água potável encontrada na natureza é essencial para a vida no planeta. No entanto, esta riqueza tem-se tornado cada vez mais escassa.

A construção de reservatórios para diversos fins é uma das grandes experiências humanas na modificação dos ecossistemas naturais. Pequenos sistemas de acumulação de água, com um propósito inicial limitado, foram substituídos por maciços empreendimentos utilizados, principalmente, para a produção de energia elétrica e outros fins múltiplos, entre os quais destacam-se a irrigação, a produção de biomassa, o transporte e a recreação. O rápido aumento na construção de reservatórios e a grande dimensão desses ecossistemas artificiais têm causado inúmeros problemas, devidos às alterações nos sistemas hidrológico, atmosférico, biológico e social na região de construção e na área atingida pelo lago artificial (Tundisi, 1987).

A heterogeneidade espacial e temporal das características limnológicas apresentada em reservatórios influencia fundamentalmente a estrutura ecológica e o funcionamento destes ecossistemas. As progressivas trocas físicas, químicas e biológicas ao longo do eixo principal do reservatório (transição rio-lago) freqüentemente incluem fortes gradientes espaciais (Nogueira et al., 1999). Nos ecossistemas aquáticos localizados em regiões tropicais e subtropicais, as variações temporais são comumente induzidas pelo padrão sazonal de precipitação e ação dos ventos (Tundisi, 1980; Groot, 1981; Nilssen, 1984; Talling & Lemoalle, 1998).

O monitoramento limnológico constitui uma ferramenta para o conhecimento da qualidade da água e da concentração de alguns elementos em águas

superficiais, como nitrogênio (N) e fósforo (P), e tem sido usado como ferramenta para a caracterização de bacias hidrográficas. O monitoramento qualitativo e quantitativo dos recursos hídricos é um poderoso instrumento que possibilita a avaliação da oferta hídrica, base para decisões de aproveitamento múltiplo e integrado da água, bem como na minimização de impactos ao ambiente (Coimbra, 1991).

O acompanhamento da qualidade da água em reservatórios, através de monitoramento periódico, é usualmente realizado ao longo de seu corpo central, incluindo trechos de influência lótica, de transição e lêntico. Entretanto, dependendo das características geomorfológicas e hidrológicas da bacia onde se inserem, reservatórios podem apresentar considerável heterogeneidade espacial de suas características limnológicas, não apenas longitudinal, mas entre suas inúmeras reentrâncias. Estas características podem, por sua vez, diferir significativamente daquelas do corpo central e influenciar a dinâmica espacial e temporal das variáveis limnológicas do reservatório como um todo.

O reservatório de Pedra foi formado a partir da implantação, em 1967, da Usina Hidrelétrica (UHE) de mesmo nome, no trecho médio-inferior do Rio de Contas (BA). Concebida inicialmente para a geração de energia elétrica, contenção e regularização da vazão do rio, teve diversas atividades incorporadas ao longo dos anos, tais como pesca, aquicultura e irrigação.

O objetivo deste trabalho foi a caracterização limnológica e a avaliação do estado trófico dos meandros do reservatório de Pedra e sua comparação com o corpo central, visando uma melhor compreensão dos processos que os diferenciam espacialmente, numa análise espacial e temporal das variáveis analisadas. Esta

visa, ainda, subsidiar a seleção de áreas propícias para implantação de projetos de piscicultura em tanques–rede no reservatório.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo, correspondente à extensão de todo o reservatório, está compreendida entre as localidades de Porto Alegre, Distrito do Município de Maracás (BA) e a barragem, no município de Jequié (BA), entre as coordenadas 24L 324392 E e 8467814 N e 24 L 366564 E e 8466476 N.

Onze estações de coleta de monitoramento foram distribuídas ao longo do eixo central do reservatório e nas duas maiores reentrâncias a montante da barragem, englobando suas regiões superior (lótica), intermediária (de transição) e inferior (lêntica). As estações para caracterização limnológica das reentrâncias, num total de noventa e três, foram distribuídas ao longo de ambas as margens, também levando em consideração sua posição nas diferentes regiões. Sua localização espacial foi devidamente georeferenciada em coordenadas planas UTM (Datum Córrego Alegre), empregando-se um aparelho portátil de posicionamento global (GPS) (Fig. 1).

As coletas de monitoramento no corpo central foram realizadas trimestralmente entre novembro/2005 e agosto/2006, enquanto aquelas para caracterização limnológica das reentrâncias foram realizadas em janeiro e fevereiro/2006.

Amostras de água para determinação das variáveis físicas, químicas e biológicas foram coletadas com uma garrafa Van Dorn, na superfície, devidamente preservadas e analisadas no Laboratório de Limnologia, do Departamento de Pesca e Aqüicultura (DEPAq)/UFRPE, em Recife (PE).

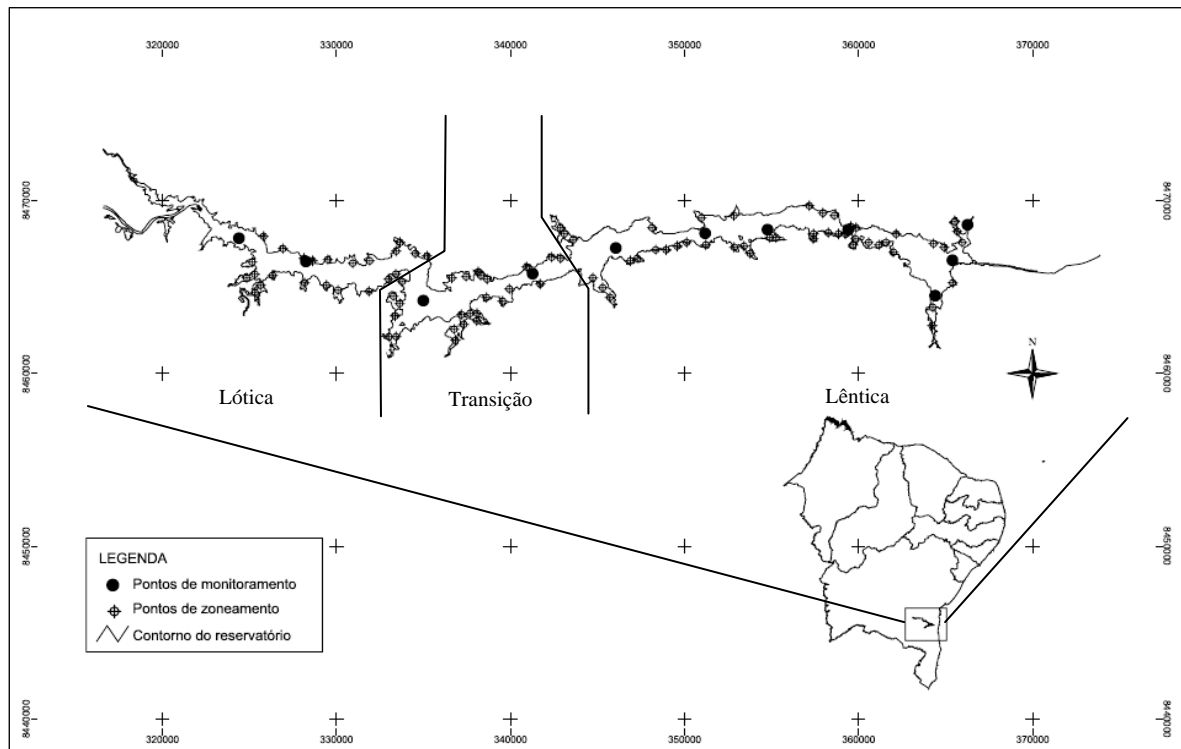


Figura 1. - Reservatório de Pedra (BA) com suas respectivas regiões, estações do monitoramento limnológico e estações de caracterização limnológica dos meandros.

As variáveis temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, salinidade e sólidos totais dissolvidos na água foram determinadas in situ com um analisador multiparâmetro. A transparência da água foi estimada através da leitura da profundidade média de extinção de disco de Secchi e a profundidade da zona eufótica ($1\% I_0$) foi determinada através do perfil de radiação subaquática, empregando um quantômetro dotado de sensor esférico.

Amostras de água de superfície foram analisadas quanto à concentração de nitrato e nitrito, determinada segundo Mackereth et al. (1978), de nitrogênio amoniacal total segundo Koroleff (1976); e fósforo total, fosfato total e fosfato inorgânico dissolvido segundo Strickland & Parsons (1965). As concentrações de sólidos totais e suas frações orgânica e inorgânica foram analisadas pelo método

gravimétrico (APHA, 1996). A turbidez foi analisada através de turbidímetro de bancada e a concentração de clorofila-a segundo Nusch (1980).

Para os cálculos do Índice de Estado Trófico, foram utilizados os índices de Carlson e Carlson Modificado, descritos por Mercante & Tucci-Moura (1999). Dados hidrológicos relativos à cota do reservatório foram fornecidos pela Divisão de Recursos Hídricos da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF).

A análise das diferenças entre os dados do corpo central e das reentrâncias, entre as regiões do reservatório (lótica, transição e lêntica) e entre os trimestres do ano foi realizada através teste de Kruskal-Wallis, segundo as recomendações de Zar (1996).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Climatologia

Além das diferenças geomorfológicas e hidrológicas que influenciam as características limnológicas em reservatórios, estas podem ser marcadamente reguladas, sobretudo em sua dinâmica temporal, pelas características climáticas. Trabalhos desenvolvidos em regiões temperadas (e.g. Carlson, 1977) consideram os eventos de circulação da água, sobretudo ocorrentes na primavera e verão, para definir correlações entre a concentração de nutrientes e a produtividade primária, enquanto OECD (1982) consideram uma média anual das variáveis envolvidas, incluindo períodos de baixas temperaturas.

A região em estudo possui dois períodos climáticos característicos, chuvoso (entre novembro e abril) e seco (entre maio e outubro). Segundo Agritempo (2006), a temperatura máxima do ar foi de 40,0°C em março/2006 e a mínima de 9,5°C em de

julho/2006. Essas diferenças sazonais refletiram na variação da temperatura da água ao longo do ano. Quanto à precipitação pluviométrica total mensal, a máxima ocorreu em março/2006, com 110,0 mm, e a mínima em maio/2006, com 5,2 mm, com um valor médio anual de 38,2 mm.

Temperatura da água

A temperatura da água nos meandros do reservatório apresentou-se relativamente alta, com uma média de 29,00 °C. Os valores encontrados variaram de 27,56 a 31,29 °C e na calha central do reservatório foram encontrados valores semelhantes, variando de 28,47 a 31,30°C e média de 29,73°C (Tab. I). Na área de estudo, a elevada temperatura do ar e as pequenas flutuações climáticas, com intensa radiação solar durante todo o período, foram os principais fatores que influenciaram na elevada temperatura da água.

As mudanças na estrutura térmica em ecossistemas aquáticos devem-se à variação da radiação solar durante o ano, decorrente da modificação em sua incidência, cujo ângulo varia temporalmente e com a latitude, bem como à sua penetração seletiva em profundidade (Henry, 1995). As radiações com maiores comprimentos de onda (infravermelho) são absorvidas nas camadas superficiais dos lagos e reservatórios, elevando a temperatura da camada superficial da água. A turbulência produzida pelos ventos, ondas superficiais e correntes internas promovem a mistura desta camada e distribuem o calor com aquelas mais profundas.

Tabela I - Dados descritivos das variáveis limnológicas mensuradas em campo, nas diferentes estações de amostragem dos meandros e da calha central do reservatório de Pedra, em janeiro e fevereiro/2006.

Variáveis	Máximo		Mínimo		Média	
	Meandros	Calha Central	Meandros	Calha Central	Meandros	Calha Central
Temperatura (°C)	31,29	31,30	27,56	28,47	29,00	29,73
pH	8,81	8,68	8,11	8,25	8,50	8,42
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	277	276	250	264	271	273
Oxigênio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	7,30	6,92	5,01	5,98	6,31	6,55
Salinidade	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,13
STD ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,180	0,179	0,162	0,172	0,176	0,178
Turbidez (UNT)	31	16	0,90	1,6	4,0	4,4
Transparência de Secchi (m)	4,70	4,00	0,60	0,70	2,76	3,06
Zona eufótica (m)	17,00	14,14	2,20	2,76	7,59	10,64

pH

O pH da água nos meandros do reservatório de Pedra apresentou condições alcalinas e pequena variação nos seus valores, de 8,11 a 8,81 e uma média de 8,50 (Tab. I), enquanto que na calha central variaram de 8,25 a 8,68 com média de 8,42. Apesar de Maier (1987) considerar que o pH de rios, lagos e reservatórios brasileiros tende a ser neutro a ácido, Esteves (1988) considera que a maioria dos corpos d'água continentais possui pH variando entre 6 e 8, podendo ser encontrados ambientes com águas tipicamente ácidas ou alcalinas, de acordo com as características das bacias nas quais estão inseridos. Ecossistemas aquáticos localizados em regiões áridas e semi-áridas, onde predomina um balanço hídrico negativo – precipitação menor que evaporação –, usualmente apresentam valores alcalinos de pH (Esteves, 1998).

Segundo Talamoni (1995), baixas flutuações nos valores de pH sugerem que os corpos d'água tem um eficiente sistema de tamponamento ou acelerada dinâmica metabólica. De modo semelhante ao pH, houve uma estabilidade dos valores entre

as estações do reservatório para a alcalinidade total, responsável pela capacidade de tamponamento do sistema carbonato na água, ou seja, sua capacidade de neutralizar ácidos durante o mesmo período de análise. Todos os valores de pH mensurados são compatíveis com o intervalo entre 6,0 e 9,0m, recomendado pela Resolução nº. 357/05 do CONAMA para águas da classe 2.

Oxigênio dissolvido

As concentrações de oxigênio dissolvido na superfície dos meandros e na calha central do reservatório foram predominantemente superiores àqueles recomendados pela Resolução nº. 357/05 do CONAMA, que é de 5,0 mg.L⁻¹, tendo variado de 5,01 a 7,30 mg.L⁻¹, apresentando uma média de concentração de 6,31 mg.L⁻¹ (Tab. I), enquanto que na calha central variou de 5,98 a 6,92 mg.L⁻¹, com uma média de 6,55 mg.L⁻¹.

A concentração do oxigênio dissolvido, nas porções do ambiente em questão, usualmente predomina em termos quantitativos, o processo de produção primária resultando em altos valores de saturação. Porém, torna-se difícil associar as maiores oscilações das concentrações de oxigênio dissolvido, obtidas em um único período, a um ou poucos fatores. Uma vez mais, fatores chaves locais diferenciados atuam para que esta variabilidade nas concentrações seja observada. Assim, aportes de matéria orgânica do sedimento e das margens, a presença de águas mais escuras e a menor incidência de ventos poderiam ser alguns dos fatores determinantes do decréscimo das concentrações de oxigênio, enquanto a presença de fitoplâncton, macrófitas submersas e perifíton podem ser considerados fatores locais que incrementam as concentrações deste gás no ambiente.

Condutividade, salinidade e sólidos totais dissolvidos (STD)

A condutividade elétrica da água dos meandros apresentou valores variando entre 250 a 277 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e uma média para todas as estações de 271 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, sendo semelhante aos valores registrados ao longo do corpo central do reservatório no mesmo período, que variaram de 264 a 276 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Tab. I).

A salinidade apresentou uma variação entre as estações de 0,12 a 0,13, não diferindo da calha central para o mesmo período (Tab. I).

Santos et al. (2004) analisaram o efeito da precipitação pluviométrica no transporte e incremento da concentração de íons em águas provenientes dos reservatórios de Tremendal e Anajé, localizados no rio Gavião, tributário do rio de Contas, em seu trecho a montante do reservatório de Pedra, na porção sudoeste da bacia. Segundo estes autores, um processo característico de salinização ocorre nas áreas a montante dos reservatórios estudados, com o início das chuvas na bacia, o que acarreta a descarga de concentrações elevadas de Na^+ e Cl^- , em consequência da inundação, e de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e SO_4^{2-} , em consequência da evaporação.

Deste modo, considerando-se as características geológicas da bacia, o regime climático e hidrológico na área de influência do reservatório de Pedra e sua semelhança com a região estudada por Santos et al. (2004), pode-se inferir que processos semelhantes ocorrem em Pedra. Deste modo, o aumento da concentração de sais ao longo do reservatório pode refletir contribuições locais, das margens do próprio reservatório, sobretudo pelo uso de irrigação por aspersão que facilitaria a capilarização e disponibilização de sais nos solos superficiais. Tal concentração, mais elevada em períodos com menor volume de água e altas temperaturas (fevereiro), tende a diminuir a partir de então, com sua diluição pelo maior aporte de água e aumento do volume do reservatório.

Os valores de STD variaram de 0,162 a 0,180 g.L⁻¹, com uma média de 0,176 g.L⁻¹ dentre todos os meandros do reservatório (Tab. I), enquanto que para o monitoramento da calha central, oscilou entre 0,172 a 0,179 g.L⁻¹.

Transparência, turbidez e zona eufótica

A transparência da água variou de 0,6 a 4,70m nos meandros (Tab. I) e de 0,70 a 4,00m nas estações do corpo central no mesmo período.

Sob o ponto de vista ótico, a transparência da água pode ser considerada o oposto da turbidez (Esteves, 1998), sendo a profundidade de desaparecimento do disco de Secchi inversamente proporcional à quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos na coluna d'água (Preisendorfer, 1986).

A turbidez registrada nos meandros do reservatório variou de 0,90 a 31 UNT, com uma média de 4,0 UNT para todos os meandros, enquanto que para a calha central foram registrados valores de 1,6 a 16 UNT no mesmo período de análise (Tab. I). Todos os valores registrados estão abaixo do limite de 100 UNT recomendado pelo CONAMA.

A zona eufótica variou de 2,20 a 17,00m e teve uma média de 7,59m para todos os meandros do reservatório (Tab. I), enquanto no corpo central variou de 2,76 a 14,14m.

Durante o monitoramento anual, nas coletas efetuadas em novembro/2005 e fevereiro/2006, foram registrados os maiores valores de zona eufótica, conforme também observado com a transparência de Secchi (Z_{ds}), havendo um aumento da penetração da radiação, desde as estações a montante em direção à barragem. Os valores de Z_e , em maio e agosto/2006, foram inferiores a 4m, indicando a presença de uma zona afótica na maior parte do corpo central do reservatório.

Nitrogênio amoniacal total

A concentração de nitrogênio amoniacal total nos meandros variou de 0,00 a 128,62 $\mu\text{g.L}^{-1}$ N, apresentando uma média de concentração de 17,27 $\mu\text{g/L}$ N para todas as estações amostradas (Tab. II), e no monitoramento da calha central variou de 0,00 a 33,35 $\mu\text{g.L}^{-1}$ N. O nitrogênio amoniacal é a forma preferencialmente assimilada pelo fitoplâncton. Por isso, ao longo da zona eufótica, é possível que sua forma dissolvida não seja registrada (Schaffer, 1984). Segundo Esteves et al (1984), as baixas concentrações de nutrientes refletem, provavelmente as características dos solos da região. No entorno do reservatório de Pedra o relevo apresenta-se bastante acidentado, com grande afloramento de rochas e uma camada de solo estreita e pobre, coberta por uma vegetação típica de caatinga, o que pode contribuir para os baixos índices de compostos nitrogenados no reservatório.

Tabela II - Dados descritivos das variáveis limnológicas analisadas em laboratório, nas diferentes estações de amostragem dos meandros do reservatório de Pedra, em janeiro e fevereiro/2006.

Variáveis	Máximo		Mínimo		Média	
	Meandros	Calha Central	Meandros	Calha Central	Meandros	Calha Central
Nitrogênio Amoniacal Total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	128,62	33,35	0,00	0,00	17,27	6,06
Nitrito ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	1,95	1,11	0,00	0,56	0,72	0,76
Nitrato ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	107,48	76,19	0,00	0,39	26,01	32,32
Fosfato Inorgânico ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	11,36	2,84	0,00	0,00	3,76	1,42
Fosfato Total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	46,64	25,58	4,51	9,03	10,86	12,45
Fósforo Total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	405,76	105,20	0,00	10,02	95,99	43,26
Clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	11,16	6,44	0,00	0,69	2,67	2,73
SST (g.L^{-1})	0,0089	0,0121	0,0009	0,0009	0,0027	0,0026
SSO (g.L^{-1})	0,0042	0,0054	0,0003	0,0009	0,0015	0,0015
SSI (g.L^{-1})	0,0060	0,0066	0,0000	0,0000	0,0012	0,0012

SST - sólidos suspensos totais : SSO - sólidos suspensos orgânicos: SSI – sólidos suspensos inorgânicos

Nitrito

A concentração de nitrito nas reentrâncias do reservatório apresentou-se relativamente baixa, variando de 0,00 a 1,95 $\mu\text{g.L}^{-1}$ N e uma concentração média de 0,72 $\mu\text{g.L}^{-1}$ N dentre todas as estações (Tab. II), estando todos os valores do corpo central no mesmo intervalo de variação. Fato semelhante ocorreu com Rolla et al. (1990), em seus estudos realizados no reservatório de Volta Grande, onde encontraram valores baixos de nitrito. Este fato foi considerado pelos pesquisadores como um bom sinal, uma vez que o nitrito é indicador de poluição recente, por ser oxidado rapidamente em lagos muito aerados. A concentração de nitrito, geralmente, é muito pequena, difícil de ser detectada (Esteves, 1998). Segundo Araújo *et al.* (2000), o nitrito não é abundante em águas naturais, podendo ser até tóxico se estiver presente em altas concentrações.

Nitrato

As concentrações de nitrato variaram de 0,00 a 107,48 $\mu\text{g.L}^{-1}$ N, com média de 26,01 $\mu\text{g.L}^{-1}$ N para todas as estações dos meandros (Tab. II), enquanto que na calha central registraram-se concentrações variando de 0,39 a 76,19 $\mu\text{g.L}^{-1}$ N e uma média de 32,32 $\mu\text{g.L}^{-1}$ N, sendo a forma mais abundante de nitrogênio no reservatório de Pedra.

Embora não exista classificação quanto à trofia das águas com relação ao nitrato, Primavesi et al. (2000), baseando-se em dados bibliográficos regionais, estabeleceu as seguintes relações: lagos oligotróficos 0 a 50 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de NO_3^- ; lagos mesotróficos 50 a 100 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de NO_3^- ; lagos eutróficos 100 a 300 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de NO_3^- ; lagos hipertróficos > 300 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de NO_3^- . De acordo com esta classificação, os meandros e a calha central do reservatório de Pedra são considerados oligotróficos

levando-se em consideração seus valores médios de concentração, as exceções ficaram por conta de 7 pontos de amostragem nos meandros e apenas 1 ponto na calha central que foram considerados como mesotróficos.

Fosfato inorgânico (ortofosfato) e fosfato total

Os dados obtidos durante o período de estudo mostraram valores de fosfato inorgânico (ortofosfato) que variaram de 0,00 a 11,36 $\mu\text{g.L}^{-1}$ P, apresentando uma concentração média para todas as estações na ordem de 3,76 $\mu\text{g.L}^{-1}$ P (Tab. II) e no corpo central do reservatório no mesmo período foram registradas concentrações inferiores às dos meandros, variando de 0,00 a 2,84 $\mu\text{g.L}^{-1}$ P.

Baixas concentrações também foram encontradas em estudos realizados por Bozelli et al. (1990) em 18 lagoas na região de Linhares (ES) que mostraram baixas concentrações de ortofosfato atribuídas à rápida incorporação deste íon pelo fitoplâncton e macrófitas ali presentes, especialmente em águas não eutrofizadas. Verificaram ainda que as maiores concentrações de ortofosfato foram observadas no período noturno, indicando que a dinâmica deste nutriente está ligada à atividade fotossintética das comunidades produtoras.

O fosfato total, por sua vez, apresentou concentrações um pouco superiores às do fosfato inorgânico, variando de 4,51 a 46,64 $\mu\text{g.L}^{-1}$ P, apresentando uma concentração média para todas as estações de 10,86 $\mu\text{g.L}^{-1}$ P (Tab. II) e no monitoramento variou de 9,03 a 25,58 $\mu\text{g.L}^{-1}$ P para o mesmo período com uma média levemente superior de 12,45 $\mu\text{g.L}^{-1}$ P. Do aporte artificial de fosfato ao reservatório, uma pequena contribuição pode ter sido advinda dos fertilizantes agrícolas, enquanto que das fontes naturais provavelmente, a que mais forneceu fosfato ao ecossistema aquático, devido a presença de solos argilosos, foi a sua

liberação a partir do intemperismo das rochas presentes no relevo local, com posterior carreamento pelas águas de escoamento superficial, atingindo o curso d'água adsorvido às argilas.

Fósforo total

A importância da avaliação do fósforo presente em ecossistemas aquáticos para a estimativa de produtividade primária e do grau de eutrofização é indiscutível, uma vez que ele é na maioria dos ambientes o fator limitante para estes processos.

As concentrações de fósforo total se apresentaram bastante elevadas, variando de 0,00 a 405,76 $\mu\text{g.L}^{-1}$ P e uma média de concentração de 95,99 $\mu\text{g.L}^{-1}$ P para todas as estações dos meandros (Tab. II), enquanto que na calha central variou de 10,02 a 105,20 $\mu\text{g.L}^{-1}$ P com uma média de 43,26 $\mu\text{g.L}^{-1}$ P.

Em uma análise do monitoramento anual, verifica-se que fevereiro e agosto/06 foram os meses que apresentaram as menores concentrações de fósforo total, enquanto que novembro/05 e maio/06 apresentaram as maiores concentrações, estando acima do valor recomendado pelo CONAMA de 30 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em todas as estações neste período. Este fato pode ser atribuído a precipitações ocorridas em novembro/05, mês de coleta, com um total de 69,8 mm e em março e abril com 110,0 e 84,0 mm respectivamente, meses que antecederam a coleta de maio e com os maiores índices de todo período, que devido ao escoamento superficial carregaram grande concentração de fósforo ao reservatório. Nos meandros, das 93 estações de coleta apenas 10 (10,75%) delas, estão com as concentrações dentro do limite recomendado, mesmo tendo o presente estudo sido realizado num período considerado ótimo para o reservatório quanto às

concentrações de fósforo total, fato este, que pode restringir a utilização do reservatório para futuros projetos de piscicultura em tanques-rede.

Estudos realizados por Pellegrine (2004), citados por Souza (2005), na bacia hidrográfica de Agudo - RS, verificaram maiores teores de fósforo total sempre nos períodos correspondentes aos eventos pluviométricos intensos. Trabalhos também realizados por Carneiro et al., 2003 *apud* Souza, (2005), no reservatório Iraí, Pinhais – PR, constataram teores elevados de fósforo total, sempre acima de $0,09 \text{ mg PO}_4^{-3} \text{ L}^{-1}$, havendo tendência para aumento nos meses de verão, os quais foram atribuídos também o aumento no regime pluviométrico. Estudo realizado no reservatório Guarapiranga – SP demonstrou que as chuvas eram responsáveis pelo maior aporte de fósforo ao reservatório (Gomes et.al., 1998).

De acordo com Parry (1998), o papel do fósforo na eutrofização dos recursos hídricos é crítico e a presença desse nutriente a partir de áreas agrícolas tem sido colocada em relevância como indicador de qualidade de água. Nos EUA, admite-se que 50 – 60% da carga de poluentes que contamina rios e outros corpos d'água são provenientes de atividade agrícola (Merten & Mirella, 2002). Entretanto, em Pedra a área agrícola é muito incipiente, concentrando-se apenas no trecho de transição do reservatório, assim, não se pode afirmar que a carga de fósforo na água seja de origem agrícola, uma vez que nas estações à montante ou seja, no trecho lótico, já se detecta níveis elevados de fósforo.

Sólidos em suspensão

As concentrações de sólidos em suspensão, sejam totais (SST), orgânicos (SSO) ou inorgânicos (SSI), apresentaram uma forte correlação com a transparência (negativa) e a turbidez (positiva). A concentração de SST variou de 0,0009 a 0,0089

g.L^{-1} , a fração orgânica de 0,0003 a 0,0042 g.L^{-1} e a fração inorgânica de 0,0 a 0,0060 g.L^{-1} (Tab. II). De acordo com os dados, houve uma tendência de declínio da concentração de sólidos totais desde o início do reservatório em direção à barragem. Notadamente, as maiores concentrações ocorreram na região lótica, devido ao aporte de sedimentos alóctone carregados pelo Rio de Contas.

Quanto à participação das frações orgânica e inorgânica, verificou-se que a inorgânica predominou nas regiões lótica e de transição, enquanto que a orgânica predominou na região lântica. As partículas coloidais carregadas pelo rio de Contas atingem o reservatório e são depositadas em seu leito, em função da redução de velocidade da água entre as regiões lótica e de transição, só se mantendo em suspensão as partículas mais finas de silte e argila. Devido à turbulência provocada pelos ventos na superfície da água, estas podem chegar à região lântica em pequenas quantidades, sendo a fração aí orgânica dominante composta basicamente pelo fitoplâncton. Em períodos de chuva, há uma alteração na composição dos sólidos no reservatório, em função da contribuição das margens e dos pequenos tributários.

Os dados do monitoramento anual mostram que os SST e os SSI apresentaram valores mais elevados em maio/2006 e menores em novembro/2005 e fevereiro/2006, enquanto que os SSO foram mais elevados em novembro/2005 e menores em agosto/2006. Em novembro/2005 e fevereiro de 2006, observou-se uma maior participação relativa da fração orgânica (SSO) na composição dos sólidos em suspensão e, nos meses seguintes, a participação da fração inorgânica foi maior que a orgânica em todas as estações de amostragem, devido ao alto índice pluviométrico ocorrido na região, carregando grande quantidade de partículas inorgânicas através do rio, tributários e de suas margens para o reservatório. As

concentrações de SST variaram de 0,0009 a 0,0121 g.L⁻¹, de SSO entre 0,0009 e 0,0054 g.L⁻¹ e de SSI entre 0,000 e 0,0066 g.L⁻¹.

Os sedimentos que atingem os cursos d'água apresentam granulometria diferenciada e são transportados de acordo com as condições locais e do escoamento. A manutenção das partículas em suspensão ou no fundo do rio, saltando do leito para o escoamento ou rolando sobre o leito, depende das forças que atuam sobre a mesma. Depende, ainda, da forma de escoamento, se laminar ou turbulento, da velocidade da corrente, dos obstáculos no leito e de outros aspectos correlacionados com a declividade do leito, temperatura e viscosidade da água (Christofolletti, 1981).

Características litológicas e pedológicas, associadas aos diferentes tipos de cobertura e formas de uso dos solos, sazonalmente diferenciadas em função do padrão de precipitação pluviométrica e disponibilidade de água, principalmente em regiões de clima semi-árido, podem representar situações propícias a processos de degradação dos recursos naturais. Estes refletem no assoreamento, poluição dos cursos d'água, destruição de estradas, pontes e bueiros, na geração de energia elétrica, na disponibilidade de água para irrigação e abastecimento, na redução da produtividade agrícola, na diminuição da renda líquida e no empobrecimento da população local, com reflexos danosos para a economia nacional (Silva et al., 2003).

O desmatamento e os cultivos agrícolas na bacia de drenagem são fatores importantes que contribuem para o aumento do fenômeno erosivo dos solos e o transporte de partículas aos reservatórios pelo escoamento superficial durante o período chuvoso. Apesar da incipiência de cultivos agrícolas nas margens do reservatório, no trecho de transição os cultivos são bem mais acentuados e

diversificados, e com a contribuição do relevo acidentado o carreamento de partículas durante as chuvas é bem acentuado.

Clorofila a

A concentração de clorofila-a apresentou níveis relativamente baixos nos meandros do reservatório, variando de 0,00 a 11,16 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com maiores concentrações na região lótica (Tab. II), e na calha central do reservatório tendo apresentado concentrações inferiores, variando de 0,69 a 6,44 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e uma média de 2,73 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Fato semelhante ocorreu quando analisamos o monitoramento anual, onde a concentração de clorofila-a também apresentou níveis baixos nas estações e nos períodos analisados, inferiores a 8 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em todas as amostras, sendo o mês de maio/2006 o que apresentou os menores valores de concentrações, ficando abaixo de 2 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Entretanto, verifica-se ainda que as maiores concentrações foram observadas no período seco, em que a radiação solar foi mais intensa, favorecendo a reação fotossintética, enquanto que as menores concentrações ocorreram no período chuvoso. As águas da chuva, além de promoverem a diluição do fitoplâncton devido ao aumento do volume d'água, carregam material particulado e dissolvido para o corpo d'água, diminuindo a transparência da água e, conseqüentemente, a intensidade da radiação solar na coluna d'água, levando à redução da taxa fotossintética. Pode-se dizer que a biomassa fitoplanctônica, expressa em termos de concentração de clorofila-a, apresentou sazonalidade, com as menores concentrações de clorofila-a no mês de maior precipitação pluviométrica e as altas durante o período seco.

O reservatório de Pedra apresenta uma nítida diferenciação em suas características limnológicas ao longo de sua extensão. A região lótica é fortemente influenciada pelo rio de Contas, enquanto que as características das demais regiões dependem de processos internos, pois, o reservatório não possui nenhum tributário ao longo de sua extensão, limitando-se a pequenos riachos e córregos temporários que se formam nos períodos chuvosos.

Índice de Estado Trófico - IET

O índice de estado trófico encontrado ao longo de um ano de monitoramento trimestral, com base nos índices de Carlson e Carlson modificado, indica uma condição predominantemente oligo-mesotrófica na maior parte do ano.

O índice de estado trófico ponderado ou IET médio para os dados dos meandros mostrou uma condição semelhante àquela detectada no corpo central ao longo do ano. Analisando os valores do IET médio para todos os meandros do reservatório, verifica-se que 68,82% deles são oligotróficos e 31,18% são mesotróficos. Analisando-se por região, verifica-se que as estações na região lótica são 70% mesotróficas e 30% oligotróficas, na região de transição são 52% mesotróficas e 48% oligotróficas, enquanto na região lêntica são 95,83% oligotróficas e 4,17% mesotróficas (Fig.2). Isto decorre de uma maior atividade fotossintética na região lótica, em função do maior aporte de nutrientes pelo rio de Contas e conseqüente diminuição da transparência e aumento da concentração de clorofila à medida que se aproxima da barragem, Na região lêntica, ocorre uma escassez desses nutrientes, devido ao consumo gradativo ao longo do reservatório e por não haver a ressuspensão de possíveis nutrientes incorporados ao sedimento, em função da profundidade mais elevada nessa região.

Nas reentrâncias, o IET (Ds) e o IETM (Ds) apresentaram amplitude e mediana muito mais baixa que no corpo central. Pelas reentrâncias apresentarem profundidades inferiores, há maior penetração de luz induzindo uma maior produtividade primária, refletindo na transparência da água. Quanto ao IETM (PSR) e IET médio, apesar de apresentarem maiores amplitudes nas reentrâncias, apresentaram medianas inferiores. Essas variações espaciais e sazonais nos índices calculados para as diferentes variáveis são decorrentes de sua dinâmica no reservatório de Pedra, sobretudo no que concerne à influência da variação do nível hidrológico e do aporte de material em suspensão.

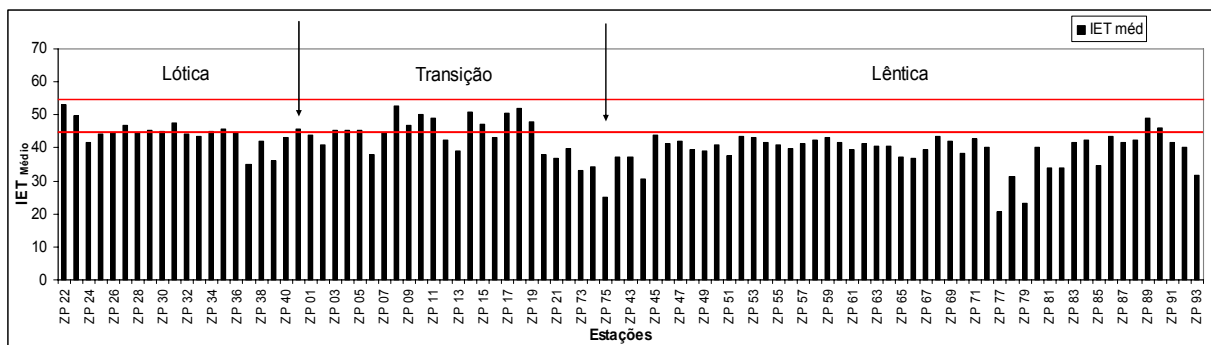


Figura. 2 – Variação do Índice do Estado Trófico Médio - IET médio - nas diferentes estações dos meandros nas respectivas regiões do reservatório de Pedra, no mês de fevereiro de 2006. As linhas em destaque mostram os limites do grau de trofia, oligotrófico, mesotrófico e eutrófico.

Análise estatística

A análise de variância foi utilizada para observação da interação entre as regiões do reservatório, e entre o período de coleta de dados dos meandros e o monitoramento anual das variáveis físico-químicas da água do reservatório.

Na região lótica, apenas as variáveis oxigênio dissolvido e salinidade apresentaram diferença significativa; na de transição, diferiram oxigênio dissolvido, nitrogênio amoniacal, nitrito, fósforo total e zona eufótica, e na região lântica, as variáveis temperatura, pH, nitrogênio amoniacal, ortofosfato, fosfato total, sólidos suspensos totais, zona eufótica, índice de estado trófico modificado do ortofosfato e índice de estado trófico médio. Na análise dos dados dos meandros e os do monitoramento anual do reservatório, ocorreu diferença significativa na maioria das variáveis, devido à influência da sazonalidade no ecossistema (Tab. III).

Tabela III – Nível de significância entre os dados dos meandros com os do monitoramento no mesmo período de análise por região do reservatório e o anual.

Variáveis	Região lótica	Região de transição	Região lântica	Monitoramento anual x zoneamento
Temperatura	0,9090	0,6434	0,0034	0,0001
pH	0,1220	0,8530	0,0048	0,0001
Condutividade elétrica	0,0942	0,0579	0,1061	0,0001
Oxigênio dissolvido	0,0397	0,0206	0,0881	0,6748
Salinidade	0,0392	0,7773	1,0000	0,0001
STD	0,0630	0,0595	0,1006	0,0001
Transparência de Secchi	0,2285	0,1914	0,4901	0,0001
Nitrogênio amoniacal	0,0846	0,0370	0,0183	0,7537
Nitrito	0,2354	0,0356	0,5197	0,0315
Nitrato	0,4639	0,4045	0,2021	0,0001
Ortofosfato	0,0509	0,2257	0,0004	0,0001
Fosfato Total	0,4183	0,7785	0,0015	0,0001
Fósforo Total	0,8191	0,0464	0,0977	0,1382
Clorofila-a	0,8162	0,7809	0,6580	0,1803
Turbidez	0,1873	0,0641	0,4483	0,0001
SST	0,3609	0,1155	0,0433	0,0894
SSO	0,9090	0,1383	0,0729	0,0023
SSI	0,2090	0,2285	0,1360	0,0046
Zona eufótica	0,3599	0,0258	0,0123	0,0131
IET Ds	0,2289	0,1865	0,4901	0,0001
IET CHL	0,8162	0,7809	0,6580	0,7344
IET Pt	0,8191	0,2051	0,0977	0,0862
IETM Ds	0,2289	0,1865	0,4901	0,0001
IETM CHL	0,8162	0,7809	0,6580	0,7381
IETM Pt	0,8191	0,2051	0,0977	0,0862
IETM PSR	0,0509	0,2026	0,0013	0,0001
IET Médio	0,9046	0,2120	0,0030	0,0004

Obs. Valores em negrito correspondem aqueles considerados significativos ($p < 0,05$).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, M.F.F.; Costa, I.A.S.; Chellappa, N.T. 2000. Comunidade fitoplanctônica e variáveis ambientais na lagoa de Extremos, Natal – RN, Brasil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 12:127-140, 2000.

Assunção, F. N. A. & Bursztyn, M. A. A., 2001. Conflitos pelo uso dos recursos hídricos, in *Conflitos e uso sustentável dos recursos naturais*. Org. por Theodoro, S. H., Garamond/CDS, Rio de Janeiro.

Bozelli, R.L.; Esteves, F.A.; Camargo, A.F.M.; Roland, F. & Thomaz, S.M. 1990. Dinâmica nictemeral dos principais nutrientes inorgânicos e clorofila "a" em duas 165 lagoas costeiras fluminenses. *Acta Limnologica Brasiliensia*, São Carlos: SBL, 1990. v.3 (1), p. 319 - 347.

Brasil, 2005. Resolução CONAMA no. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Carlson, R.E. 1977. The trophic state concept: a lake management perspective. In: 3rd. Annual Conference. EPA – US Environmental Protection Agency – Lake and Reservoir. P. 427-430.

Christofolletti, A. 1981. *Geomorfologia fluvial*. São Paulo, Edgard Blücher.

Coimbra, R.M., 1991. Monitoramento da qualidade de água. In: Porto, R.L. et al. *Hidrologia ambiental*. São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 391-411 (Coleção ABRH de recursos hídricos, 3).

Esteves, F. A., 1988. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 1988. 575p.

Esteves, F. A., 1998. *Fundamentos de limnologia*. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

Fadurpe; Chesf, 2006. Monitoramento limnológico e avaliação da qualidade da água do reservatório da usina hidroelétrica de Pedra - BA. 1º Relatório Anual Aditivo. Recife, FADURPE; CHESF, 2006. 64p. + anexos.

Gomes, M.C.A. DE A.; Perez, L.S.N.; Curcio, R.L.S. 1998. Avaliação da poluição por fontes difusas afluentes ao reservatório Guarapiranga: Relatório síntese. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo; Prime Engenharia, São Paulo, BR, SMA/PRIME, 96p. (Mapas) 1998.

Groot W. T., 1981. Phosphate and wind in a shallow lake. *Arch. Hydrobiol.* 91, 475-89.

Henry, R. 1995. The thermal structure of some lakes and reservoirs in Brazil. In: Tundisi, J.G.; Bicudo, C.E.M.; Matsumura-Tundisi, T. (eds.). *Limnology in Brazil*. Rio de Janeiro, ABC/SBL, p. 351-363.

Koroleff, F. 1976. Determination of nutrients. In: Grasshoff, K. (ed.) *Methods of seawater analysis*. Weinheim: Verlag Chemie, p.117-187.

Mackereth, F.J.H.; Heron, J.; Talling, J.F. 1978. *Water analysis: some revised methods for limnologists*. London: Scient. Public., 121p.

Maier, M. H. 1987. Ecologia da bacia do Rio Jacaré – Pepira (47°55' – 48°55'W, 22°30' – 21°55'S – Brasil) Qualidade da água do rio principal. *Ciência e Cultura*, São Paulo, nº. 39 (2).

Melo, G., Neves, C., Molica, R. 2003. Análise de fosfatos em rios e reservatórios do semi-árido de Pernambuco. *Anais do IX Congresso Brasileiro de Limnologia*. Juiz de Fora – MG. 20 a 25 de julho de 2003. CD.

Mercante, C.T.J. & Tuccl-Moura, A. 1999. Comparação entre os índices de Carlson e de Carlson modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais, São Paulo, SP. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 11, p. 1-14.

Merten, G.H., Mirella, J.P. 2002. Qualidade de água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual e sobrevivência futura. *Revista Agroecologica e Desenvolvimento Sustentável*, v.3, n. 4, out/dez. 2002.

Nilssen J. P., 1984. Tropical lakes: functional ecology and future development: the need for a process-orientated approach. *Hydrobiologia* 113, 231–42.

Nogueira, M.G., Henry, R., & Maricatto F.E., 1999. Spatial and temporal heterogeneity in the Jurumirim Reservoir, São Paulo, Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*. 4: 107-120.

Nusch, E.A. 1980. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, v. 14, p.14-36.

OECD., 1982. *Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control*. Paris, OECD, 154p.

Overbeck, J. 2000. Conceito de Ecossistema. In: Jorgensen, S. E.; Vollenweider, R. A.; Tundisi, J. G. eds. *Princípios para o Gerenciamento de Lagos*, São Carlos, ILEC; IIE; UNESP, vol.1, Cap. II, pp. 9-25.

Parry, R. 1998. Agriculture phosphorus and water quality. *Environmental Quality*. V. 27, p. 258-261, 1998.

Payne, A. I. 1986. *The ecology of tropical lakes and rivers*. Chichester: John Wiley. 301p.

Primavesi, O.; Freitas, A.R.; Oliveira, H.T. & Primavesi, A.C.P.A. 2000. A qualidade da água na microbacia hidrográfica do Ribeirão Canchim, São Carlos, SP, ocupada por atividade pecuária. *Acta Limnologica Brasiliensia*, Botucatu: SBL, v.12 (1), p. 95 - 111.

Queiroz, A. M. 2003. Caracterização limnológica do lagamar do Cauípe – planície costeira do município de Caucaia - CE. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará – Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA. 203p.

Rolla, M.E.; Dabés, M.B.G.S.; França, R.C. & Ferreira, E.M.V.M. 1990. Aspectos limnológicos do reservatório de Volta Grande, Minas Gerais/São Paulo. *Acta Limnologica Brasiliensia*, São Carlos: SBL, 1990. v.3 (1), p. 219 - 244.

Santos, J.S.; Oliveira, E.; Bruns, R.E.; Gennari, R.F. 2004. Evaluation of the salt accumulation process during inundation in water resource of Contas river basin (Bahia – Brazil) applying principal component analysis. *Water Res.*, v. 38, p. 1579-1585.

Schaffer, A. 1984. Fundamentos de ecologia e biogeografias das águas continentais. Porto Alegre. Editora a UFRGS. 532 p.

Schell, D. M. 1974. Uptakes and regeneration of free amino acids in marine waters of Southeast Alaska. *Limnol. Oceanogr.* 19: 260-270.

Silva, A.M.; Schulz, H.E.; Camargo, P.B. 2003. Erosão e hidrosedimentologia em bacias hidrográficas. São Carlos, RIMA, 138p.

Souza, R.A.S. Avaliação das frações de fosfato como indicador de eutrofização de águas superficiais. Tese de Dissertação. Lavras: UFLA 2005. 123p. Lavras MG.

Straskraba, M., Tundisi, J. G. 2000. Diretrizes para o gerenciamento de lagos. Gerenciamento da qualidade de água de represas. São Carlos, v.9, ILEC, IEE, 280p.

Strickland, J.D.H. & Parsons, T.R. 1965. A manual of sea water analysis. Ottawa: Fish. Res. Board Canada, 202p.

Suriane, A. L. 2006. A estrutura da comunidade de macro-invertebrados bentônicos em três represas do médio rio Tiête (SP), com ênfase nas espécies exóticas *Melanoides tuberculata* (Gastropoda, Thiaridae) e *Corbicula fluminea* (Bivalvia, Corbiculidae). Tese de Dissertação. São Carlos. UFSCar, 2006. 146p.

Talanomi, J. L. B. 1995. Estudo comparativo das comunidades planctônicas de lagoas de diferentes graus de trofia e uma análise do efeito de *Microcystis aeruginosa* (Cyanophyceae) sobre algumas espécies de microcrustáceos. 1995. 300p. Tese de Doutorado – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

Talling J. F. & Lemoalle J., 1998. Ecological Dynamics of Tropical Inland Waters. Cambridge University Press, Cambridge UK.

Teixeira, C. et al. 1965. Plankton studies in a mangrove. II. The standing-stock and some ecological factors. Bol. Inst. Oceanogr., v. 24, p. 23-41.

Tundisi, J.G. 1969. Produção primária, "standing crop" e fracionamento do fitoplâncton na região lagunar de Cananéia. 131f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

Tundisi J. G., 1980. Ecology of a shallow tropical reservoir in Brazil. In: Furtado J. I. (ed.) Tropical Ecology & Development (Part. 2). Proceeding of the 5th International Symposium of Tropical Ecology. International Society of Ecology, Kuala Lumpur, pp. 893–906.

Tundisi, J. G. 1987. Ecologia, limnologia e aspectos socioeconômicos da construção de hidrelétricas nos trópicos. In: Encontro de Tropicologia, 4, 1987, Recife. Anais... Recife: Universidade de Brasília; CNPq, 1990. p. 47-85. Disponível em: <http://www.tropicologia.org.br/conferencia/1987ecologia_limnologia.html>. Acesso em: 07 de junho de 2006.

Tundisi, J. G. 1999. Reservatórios como Sistemas Complexos: Teoria, Aplicações e Perspectivas para Uso Múltiplos. In: Henry, R. Ecologia de Reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais. Botucatu. FUNDIBIO. FAPESP, 1999. 800p.

Tundisi, J. G., Matsumura-Tundisi, T., Calijurl, M. C., 1993. Limnology and management of reservoirs in Brazil. In: Straskraba, M., Tundisi, J. G., Duncan, A. (eds.). Comparative reservoir limnology and water quality management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 25-55.

UNEP-IETC. 2001. Planejamento e gerenciamento de lagos e represas: uma abordagem integrada ao problema de eutrofização. São Carlos, 385p.

Wetzel, R. G. 1983. Limnology. 2º ed. Washington: Saunders College Publ., 919 p.

Zar, J. H. 1996. Biostatistical analysis. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 662p.

Artigo II

Artigo para submissão à Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental

Dimensionamento da capacidade ambiental do Reservatório de Pedra (BA) para implantação de piscicultura em tanques-rede

Autores:

Aureliano de Vilela Calado Neto (UFRPE/DEPAq) ¹

William Severi (UFRPE/DEPAq) ¹

Bruno Dourado Fernandes da Costa (FADURPE) ²

1. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE PESCA E AQUICULTURA

AV. DOM MANOEL DE MEDEIROS S/N DOIS IRMÃOS RECIFE-PE

CEP: 52171-900. F. (81) 32697051

vilelascalado@yahoo.com.br

wseveri@depaq.ufrpe.br

2. FUNDAÇÃO APOLONIO SALLES DE DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL –

FADURPE

AV. DOM MANOEL DE MEDEIROS S/N DOIS IRMÃOS RECIFE-PE

CEP: 52171-900. F. (81) 33206514

bdfc@ig.com.br

Dimensionamento da capacidade ambiental do reservatório de Pedra (BA) para implantação de piscicultura em tanques-rede

Environmental capacity of Pedra reservoir (BA) for fish farming in cages

Aureliano de Vilela Calado Neto, Engenheiro de Pesca (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura/UFRPE)

William Severi, Engenheiro de Pesca, Professor Associado I (UFRPE)

Bruno Dourado Fernandes da Costa, Biólogo (FADURPE)

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Departamento de Pesca e Aqüicultura

Laboratório de Limnologia

Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, CEP 52171-900.

Fone: (81) 3320-6520, FAX: 3269-7051, email: wseveri@depaq.ufrpe.br

Resumo

A piscicultura em tanques-rede é uma modalidade de cultivo intensivo, com elevada produção de biomassa de peixes em espaço restrito, que vem crescendo consideravelmente no Brasil nos últimos anos, sobretudo em reservatórios. Constitui uma fonte potencial de impacto ambiental e redução da qualidade da água, pelo que requer um adequado dimensionamento e compatibilização da produção com a capacidade suporte do meio. O presente trabalho teve como objetivo levantar as reentrâncias do reservatório de Pedra, na bacia do rio de Contas (BA), que podem ser utilizadas como áreas aquícolas, comparar as concentrações de fósforo total entre as reentrâncias e o corpo central do reservatório, realizar o dimensionamento do potencial produtivo para o cultivo de peixes em tanques-rede, e estimar a sua capacidade suporte. Foram inventariadas noventa e três reentrâncias, em janeiro e fevereiro/2006, sendo aquelas consideradas adequadas para a instalação de tanques-rede, num total de 37, correspondentes a 745,1 ha (8,4% da área do reservatório). A estimativa da capacidade suporte, através do método de Dillon e Rigler, variou de 528,35 a 1.585,28 ton.ano⁻¹ (média de 983,18 ton.ano⁻¹), em função da variação sazonal de cota do reservatório, o que corresponde à ocupação de apenas 4,2 ha de sua superfície com áreas aquícolas, equivalente a 5,5% da área recomendada pela legislação vigente.

Palavras-chave: aquíicultura, áreas aquícolas, capacidade suporte

Abstract

Cage fish culture is an intensive culture system, with high production of fish biomass in a confined area, which has developed increasingly in Brazil in recent years, mainly in reservoirs. It is a potential source of environmental impact and reduction in water quality, thus demanding an adequate planning and coping of fish production and environmental carrying capacity. This study aimed at surveying the meanders of Pedra reservoir, Contas river basin, state of Bahia, which are suitable for fish culture in pond-nets, and estimate its carrying capacity. Ninety-three areas were surveyed, between January and February 2006, and the remaining thirty-seven considered suitable for cage culture corresponded to 745.1 ha (8.4%

reservoir surface). The carrying capacity estimate using the Dillon & Rigler method varied from 528.35 to 1,585.28 ton.year⁻¹, owing to the reservoir level seasonal variation, and corresponded to only 4.2 ha of aquacultural areas and 5.5% of the total reservoir surface recommended by present legislation.

Keywords: aquaculture, aquacultural areas, carrying capacity

INTRODUÇÃO

As águas superficiais continentais são importantes não apenas como fonte de água para abastecimento humano, mas também como habitat para a vida animal e vegetal. A disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas para os diversos usos é fator determinante no processo de desenvolvimento econômico e social de uma comunidade. Entretanto, atender a esta demanda tornou-se um dos maiores desafios da sociedade contemporânea. Nas últimas décadas, o crescimento populacional, a urbanização e a intensificação das atividades industriais e agrícolas ocasionaram impactos negativos na qualidade da água. Tanto a escassez como a degradação da qualidade vêm se agravando com o passar dos anos (Tundisi, 2003), levando à necessidade crescente de maior eficiência em suas formas de uso (Rebouças, 2004).

Dentre os ecossistemas aquáticos continentais, os reservatórios são de importância fundamental por sua característica de usos múltiplos, como produção de energia elétrica, irrigação, criação de peixes, abastecimento de água para consumo, navegação e recreação. No entanto, a disposição de nutrientes e poluentes provenientes de despejos industriais e domésticos, resíduos da atividade agrícola, dentre outros impactos sobre o meio aquático têm gerado diversos problemas, ocasionando a eutrofização dos reservatórios, o aumento da carga de sedimentos depositados, bem como a concentração de metais pesados e outros elementos tóxicos (Tundisi, Matsumura-Tundisi, Rocha, 2002). Os reservatórios são detectores sensíveis dos impactos antropogênicos, pois são ecossistemas artificiais que sofrem as consequências do uso e ocupação do solo, dentro dos limites de sua bacia de drenagem (Tundisi, 1996).

Por outro lado, à medida que cresce a demanda por energia elétrica e água para irrigação e abastecimento humano, aumenta o número de reservatórios construídos no país. Parte desse volume de água estocado também pode ser utilizada para a produção aquícola (produção de alimento no meio aquático). A elaboração dos projetos e a escolha do local de implantação desse tipo de atividade têm se baseado, principalmente, no aproveitamento de águas de domínio público, na facilidade de acesso ao mercado consumidor e em ambientes favoráveis ao manejo da produção. Pouco ainda tem sido considerado em relação à degradação que possa ser causada ao ambiente aquático, se sua capacidade de suporte for ultrapassada (Alves & Baccarin, 2005).

A aquíicultura constitui uma das mais viáveis fontes alternativas de produção de alimento, considerando-se, principalmente, seus rendimentos potenciais em comparação com outras atividades produtivas, tais como a pecuária e a agricultura. Dentre seus diferentes tipos, a piscicultura é aquela com maior viabilidade em águas continentais brasileiras, pela extensão das bacias hidrográficas e número de ambientes aquáticos existentes.

Uma das modalidades de piscicultura em alta densidade de estocagem é o sistema de cultivo em tanques-rede. Trata-se de uma criação intensiva, cujo resultado final é uma alta produção numa área reduzida e num curto espaço de tempo (Silva & Siqueira, 1997). Rotta & Queiroz (2003) enfatizam que a piscicultura em tanques-rede é uma técnica relativamente barata e simples, quando comparada à piscicultura tradicional em viveiros de terra, pois possibilita a utilização de ampla variedade de ambientes aquáticos, a exemplo dos

reservatórios de hidroelétricas, dispensando os custos com construções de viveiros. Entretanto, constitui-se numa fonte de impacto ambiental e provável perda da qualidade da água do ambiente, se não forem adotadas as devidas precauções de instalação e manejo, devido ao aporte de restos de alimento e excrementos diretamente no ambiente, sem controle dos mesmos.

A piscicultura em tanques-rede foi incentivada pela Bahia Pesca – empresa de extensão do Estado da Bahia - há alguns anos no reservatório de Pedra, através de pequenos módulos comunitários, tendo sido praticada de modo incipiente até recentemente. A falta de um adequado planejamento e ordenamento da atividade pode ser destacada como um dos fatores inibidores de sua consolidação. Neste sentido, o dimensionamento da capacidade de exploração do reservatório e a identificação das áreas mais propícias para a implantação das unidades de cultivo representam uma medida imprescindível para esse ordenamento, favorecendo a adoção de ações ambientalmente sustentáveis.

A estimativa da capacidade suporte para produção de peixes em tanques-rede em reservatórios é baseada em modelos matemáticos, que levam em consideração os valores médios históricos de fósforo total, usualmente mensurado no corpo central do reservatório, o tempo de residência da água no corpo hídrico, a área de espelho d'água, a profundidade média, o teor de fósforo na ração administrada aos peixes e a taxa de conversão alimentar da espécie de peixe cultivada (Beveridge, 2004). Modelos empíricos, derivados do modelo clássico de balanço de massa apresentado por Vollenweider (1968, 1975), têm sido propostos para estimar a capacidade suporte de ambientes aquáticos para a aqüicultura, sendo aqueles de Dillon & Rigler (1974) e OECD (1982), os mais comumente empregados.

As áreas aqüícolas destinadas à instalação das unidades de produção de tanques-rede, entretanto, são implantadas em baías, remansos e/ou reentrâncias, cujas características limnológicas podem diferir significativamente daquelas do corpo central, com base nas quais é usualmente feita a estimativa da capacidade suporte do reservatório. Deste modo, o conhecimento destas diferenças e sua inclusão na avaliação da capacidade de suporte são fundamentais para um adequado dimensionamento, que garanta a sustentabilidade ecológica da atividade e não altere o estado trófico do reservatório.

O objetivo do presente trabalho é levantar as reentrâncias que possam ser utilizadas como áreas aqüícolas no reservatório de Pedra, comparar as concentrações de fósforo total entre as reentrâncias e o corpo central, realizar o dimensionamento do potencial produtivo para o cultivo de peixes em tanques-rede, e estimar a capacidade de suporte do reservatório.

METODOLOGIA

Coleta e análise dos dados

O estudo foi realizado no reservatório de Pedra, localizado no trecho médio do Rio de Contas, sudoeste da Bahia (Figura 1). A área para determinação da capacidade suporte de implantação de piscicultura em tanques-rede compreendeu toda a extensão do reservatório, desde a localidade de Porto Alegre, distrito do município de Maracás e a barragem, no município de Jequié (BA).

As estações para caracterização limnológica (ZP), num total de noventa e três (93) (Figura 1), foram distribuídas nas reentrâncias ao longo do reservatório, levando em consideração suas regiões superior (lótica), média (de transição) e inferior (lêntica). As coletas foram realizadas em janeiro e fevereiro de 2006. Dados do corpo central do reservatório foram coletados trimestralmente entre novembro/2005 e agosto/2006, em 13 estações distribuídas ao longo de toda sua extensão.

As amostras de água foram coletadas na superfície com uma garrafa Van Dorn, (2,2 L), acondicionadas em garrafas tipo PET e analisadas no Laboratório de Limnologia, do

Departamento de Pesca e Aqüicultura (DEPAq) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

A análise da concentração de fósforo total na água foi realizada segundo Strickland & Parsons (1965). Os dados foram analisados quanto a diferenças entre as regiões do reservatório (lótica, de transição e lântica) para as reentrâncias e o corpo central, e entre o período de caracterização das reentrâncias e o monitoramento anual. Foi empregada estatística não-paramétrica, com teste de Kruskal-Wallis, adotando-se os procedimentos estatísticos constantes de Zar (1996).

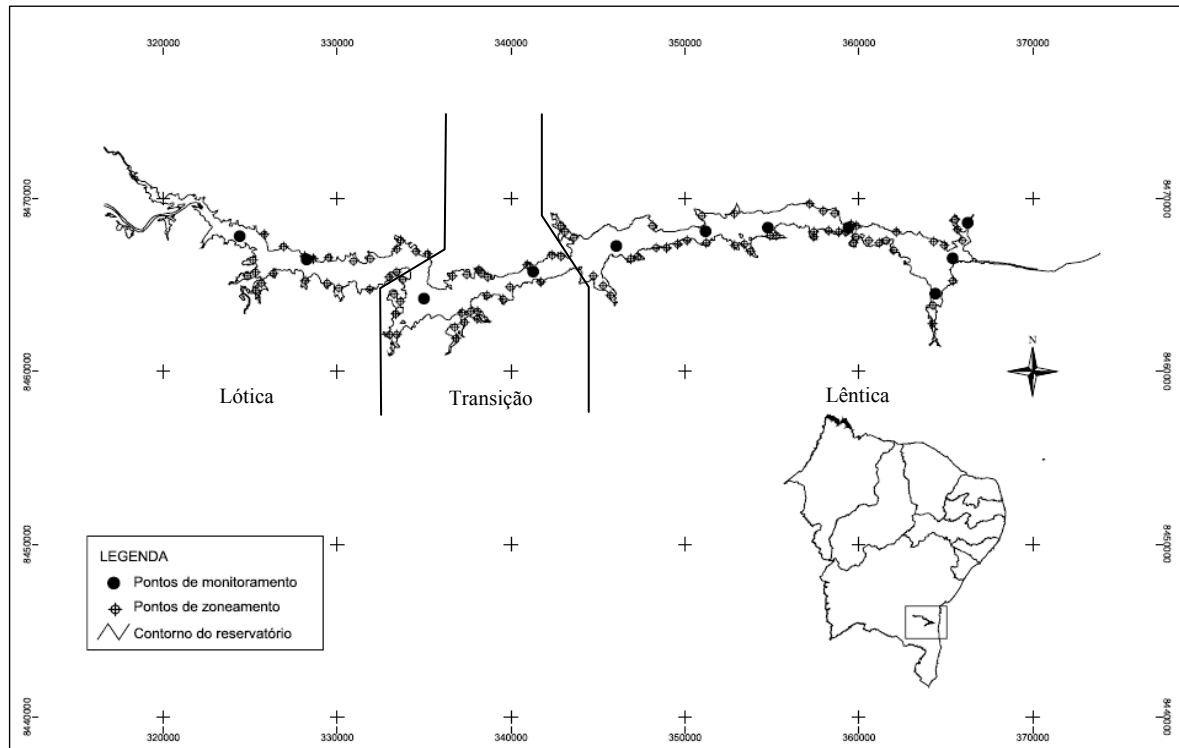


Figura 1 – Localização do reservatório de Pedra no estado da Bahia, com indicação de suas respectivas regiões, estações para caracterização limnológica das reentrâncias (zoneamento) e monitoramento limnológico do corpo central. Coordenadas planas (UTM), datum Córrego Alegre.

Seleção das reentrâncias

A seleção final das diferentes áreas, consideradas adequadas à implantação de tanques-rede, baseou-se em premissas técnicas previamente estabelecidas: profundidade média da reentrância superior a 8m, identificação de fontes de impacto antrópico por atividades agrícolas e aglomerações urbanas, análise de outras formas de aproveitamento do recurso hídrico, principalmente para abastecimento humano, e de outros usos potenciais da água do reservatório, como navegação, prática de esportes náuticos e turismo, bem como o estabelecimento de áreas de proteção ambiental, na forma de reservas ecológicas e/ou áreas de proteção permanente. As reentrâncias da margem direita (RD) e esquerda (RE) foram numeradas seqüencialmente desde montante em direção à barragem.

Cálculo de área das reentrâncias

As áreas das reentrâncias do reservatório de Pedra foram calculadas com base na digitalização das cartas SD. 24-Y-B-I; SD. 24-Y-B-II, SD. 24-V-C-VI E SD. 24-V-D-IV1 da SUDENE, na escala de 1:100.000, considerando o limite de cota do reservatório constante das

mesmas, através do aplicativo X-Tools do programa Arc View 3.2 da Esri. Primeiramente, para efeito de separação, foram consideradas todas as reentrâncias além do corpo central do eixo rio-barragem, através de delineamento por transectos nos limites externos das mesmas, para o fechamento dos polígonos. Após transformação das polilinhas em polígonos, realizou-se o cálculo das áreas através da ferramenta pela contagem de “pixels” da feição em questão, que apresenta correlação direta com a escala utilizada na “view” para a área de estudo, fornecendo automaticamente os resultados nas unidades desejadas.

Determinação da capacidade suporte

A estimativa da capacidade de suporte do reservatório de Pedra foi efetuada empregando o método desenvolvido por Dillon & Rigler (1974). O modelo proposto baseia-se em características do reservatório – volume, área, profundidade média, vazão anual - e pressupõe algumas premissas relativas à dinâmica do fósforo no meio – 45-55% retido no sedimento e 45-55% na coluna d’água (Kirchner & Dillon, 1975). Foi considerado um incremento admissível (ΔP_i) de $5 \mu\text{g.L}^{-1}$ na concentração de fósforo total para o reservatório. Um detalhamento das diferentes etapas de cálculo e respectivas considerações é apresentado por Beveridge (1984, 2004).

Foram considerados os dados hidrológicos do reservatório para o período de janeiro/2002 a dezembro/2006, bem como dados de pluviometria para a cidade de Jequié (BA), fornecidos pelo Diretoria de Operação/Recursos Hídricos da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Áreas com potencial de aproveitamento aquícola

Com base na análise preliminar de imagens do satélite Landsat TM 5 (216-069 e 217-069, de setembro de 1999) e dos levantamentos *in situ*, foram identificadas 32 reentrâncias no lado direito do reservatório, desde a localidade de Porto Alegre até a barragem, perfazendo uma área total de $14,215 \text{ km}^2$ ou $1.421,5 \text{ ha}$, o que corresponde a 16,1% da área total do reservatório. No lado esquerdo, foram identificadas 26 reentrâncias, com uma área total de 6 km^2 ou 600 ha , correspondendo a 6,8% da área total (Figura 2, Tabela 1). Juntas, perfazem $2.021,5 \text{ ha}$, equivalentes a 22,9% da superfície média do reservatório (8.813 ha).

A análise do aproveitamento potencial das 58 áreas encontradas no reservatório baseou-se em suas características geográficas e nos critérios físicos adequados à atividade piscícola em tanques-rede, como profundidade, isolamento, proteção, acessibilidade e infraestrutura de apoio à atividade. Foi realizado um levantamento da variação de cota, volume e profundidade do reservatório nos últimos 5 anos (2002 – 2006), verificando-se que, para atender aos projetos de piscicultura em tanques-redes, as reentrâncias do reservatório de Pedra deveriam apresentar uma profundidade mínima de 8m na ocasião do levantamento, para não comprometer a viabilidade dos projetos. No lado direito do reservatório, houve uma redução de dezesseis reentrâncias (50%) com profundidade média inferior à recomendada, equivalente a $580,70 \text{ ha}$, representando 40,8% da área pré-determinada nesta margem, restando $840,8 \text{ ha}$ de área disponível à atividade. No lado esquerdo, ocorreu uma redução de quinze reentrâncias (57,7%), sendo quatorze em função da profundidade e um por apresentar captação de água para abastecimento doméstico, equivalentes a $311,7 \text{ ha}$, restando $288,3 \text{ ha}$ de área disponível, equivalente a 48,0% da área total inicialmente determinada neste lado. A área remanescente corresponde a 1.129 ha (12,8% da área total).

Diversas reentrâncias, conforme sua localização e a existência de áreas de irrigação em sua bacia de captação, estão sujeitos à influência de processos erosivos, com o aporte de sedimentos, fertilizantes e agrotóxicos, dependendo das características de relevo das áreas, do

grau de proteção de suas margens e do manejo das lavouras. O uso destes locais para a implantação de áreas aquícolas deve, portanto, ser feito com a devida cautela, além de ser adotado um menor percentual de aproveitamento das mesmas.

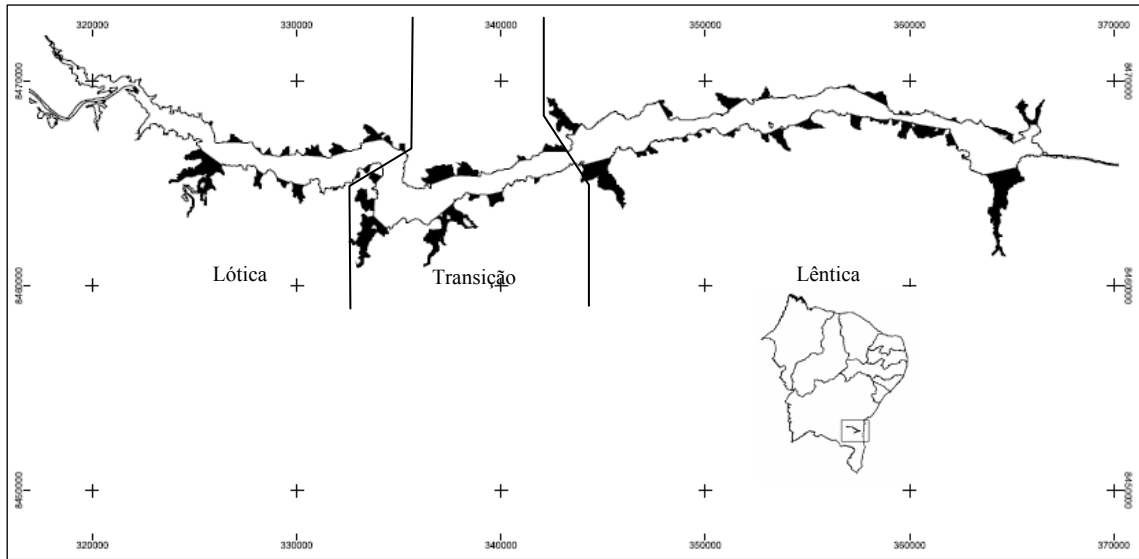


Figura 2 – Reservatório de Pedra (BA) com indicação das áreas das reentrâncias na margem direita e esquerda, com potencial para aproveitamento aquícola.

Tabela 1 – Reentrâncias da margem direita e esquerda do reservatório de Pedra (BA), com suas respectivas áreas (Km² e ha) e profundidades (m). O número da reentrância indica sua posição desde montante para jusante, nas margens direita (RD) e esquerda (RE).

Reentrâncias	Área		Prof. Média (m)	Reentrâncias	Área		Prof. Média (m)
	(Km ²)	(ha)			(Km ²)	(ha)	
RD 01	2,030	203,00	4,80	RE 01	0,021	2,10	4,30
RD 02	0,198	19,80	5,00	RE 02	0,152	15,20	4,00
RD 03	0,111	11,10	2,20	RE 03	0,026	2,60	10,00
RD 04	0,321	32,10	6,00	RE 04	0,058	5,80	6,00
RD 05	0,030	3,00	4,00	RE 05	0,110	11,00	4,50
RD 06	0,044	4,40	6,20	RE 06	0,287	28,70	7,50
RD 07	0,072	7,20	7,00	RE 07	0,269	26,90	4,50
RD 08	0,168	16,80	4,00	RE 08	0,392	39,20	7,00
RD 09	0,549	54,90	6,90	RE 09	0,096	9,60	6,00
RD 10	1,480	148,00	4,88	RE 10	0,077	7,70	6,50
RD 11	1,644	164,40	8,94	RE 11	0,911	91,10	4,00
RD 12	0,097	9,70	9,50	RE 12	0,449	44,90	8,76
RD 13	0,331	33,10	6,25	RE 13	0,058	5,80	5,50
RD 14	0,049	4,90	4,20	RE 14	0,286	28,60	7,25
RD 15	1,794	179,40	8,50	RE 15	0,813	81,30	8,15
RD 16	0,199	19,90	5,00	RE 16	0,181	18,10	6,00
RD 17	0,020	2,00	11,00	RE 17	0,466	46,60	8,00
RD 18	0,048	4,80	8,20	RE 18	0,144	14,40	10,00
RD 19	0,047	4,70	9,00	RE 19	0,050	5,00	12,50
RD 20	0,034	3,40	14,00	RE 20	0,352	35,20	13,50
RD 21	0,093	9,30	7,00	RE 21	0,062	6,20	8,50
RD 22	0,099	9,90	5,50	RE 22	0,043	4,30	6,50
RD 23	0,394	39,40	8,50	RE 23	0,149	14,90	22,00
RD 24	0,324	32,40	9,50	RE 24	0,081	8,10	8,50
RD 25	0,274	27,40	13,75	RE 25	0,291	29,10	11,00
RD 26	0,033	3,30	7,50	RE 26	0,176	17,60	12,00
RD 27	0,081	8,10	15,00				
RD 28	0,063	6,30	13,00				
RD 29	0,308	30,80	16,00				
RD 30	0,685	68,50	12,00				
RD 31	0,187	18,70	8,00				
RD 32	2,408	240,80	14,00				
Total	14,215	1421,50	-	Total	6,00	600,00	-

Na área de influência do reservatório de Pedra, estão localizadas diversas propriedades de pequeno porte, com projetos irrigados de fruticultura e horticultura e culturas de vazante, em sua maioria localizadas na margem esquerda, ao longo de todo o reservatório. Todas as reentrâncias que sofrem influência desses projetos, entretanto, foram suprimidas da estimativa de área por não apresentarem a profundidade mínima requerida.

As áreas de cultivo de peixes em tanques-rede devem ser protegidas de ventos fortes, que dificultam o manejo e comprometem a proteção e integridade das estruturas de cultivo (Beveridge, 2004), o que restringe a sua implantação no corpo central do reservatório, de modo que a instalação dos mesmos não interfere na navegabilidade no reservatório.

As unidades de cultivo não devem ser implantadas em áreas de captação de água para abastecimento público (áreas de manancial), em função da liberação de metabólitos pelos peixes, que favorecem a proliferação de algas, bactérias e agentes patógenos (Silva & Siqueira, 1997). Do mesmo modo, não podem ser utilizadas áreas que sejam locais de destinação final de esgotos domésticos ou resíduos industriais, pelo risco de comprometimento da qualidade da água do ambiente de cultivo e a consequente contaminação dos organismos cultivados.

De um modo geral, as reentrâncias consideradas para a implantação de áreas aquícolas devem ter sua ocupação por tanques-rede limitada às suas porções externas, mais próximas ao corpo central do reservatório, sujeitas a uma maior renovação de água e diluição de metabólitos e resíduos decorrentes do cultivo. Deste modo, deve ser evitado o uso da porção mais interna das reentrâncias, correspondente a aproximadamente 1/3 de sua extensão, principalmente naquelas mais compridas e/ou estreitas. Estas restrições, bem como aquelas relacionadas a outros usos das áreas, são responsáveis pela redução da área útil de aproveitamento nas estimativas de ocupação das áreas aquícolas e, conseqüentemente, na estimativa de produção do reservatório (Costa, 2004).

Deste modo, o aproveitamento de apenas 66% (2/3) da área das reentrâncias selecionadas para o reservatório de Pedra, equivaleria a uma área total de 745,1 ha (8,4% da área do reservatório).

Concentração de fósforo total no corpo central e reentrâncias

O fósforo participa de processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos, através do armazenamento de energia como parte essencial da molécula de ATP e na estruturação da membrana celular através dos fosfolipídios (Esteves, 1998). Em águas continentais, usualmente representa o principal fator limitante de sua produtividade, sendo também o principal nutriente responsável pela eutrofização nestes ecossistemas.

A concentração de fósforo total dentre as reentrâncias variou entre 0 e 405,76 $\mu\text{g.L}^{-1}$ P, com uma concentração média de 95,99 $\mu\text{g.L}^{-1}$ P (Figura 3). Nas estações de monitoramento no corpo central, variou de 10,02 a 105,20 $\mu\text{g.L}^{-1}$ P, com uma média de 41,04 $\mu\text{g.L}^{-1}$ P, concentrações bem inferiores àquelas encontradas nas reentrâncias, devido ao maior fluxo de água e maior poder de renovação e diluição no corpo central do reservatório. Entretanto, quando comparados os dados das reentrâncias com aqueles do corpo central para o mesmo período (janeiro/2006), observou-se diferença significativa apenas na região de transição ($p=0,0464$), o que pode ser atribuído a uma contribuição difusa de fósforo decorrente do uso de fertilizantes nas áreas agrícolas concentradas nessa região do reservatório. Tendo em vista a amplitude de variação da concentração de fósforo no corpo central ao longo dos trimestres do ano (16,3 a 593,6 $\mu\text{g.L}^{-1}$ P), não foi detectada diferença significativa das concentrações nas reentrâncias em relação à sua variação no corpo central ao longo do ano ($p=0,1382$).

Os dados do monitoramento anual evidenciaram que os meses de fevereiro e agosto/06 foram os que apresentaram as menores concentrações de fósforo total (Figura 4), enquanto

que novembro/05 e maio/06 apresentaram valores significativamente mais elevados, estando acima do valor recomendado pela Resolução 357/05 do CONAMA para águas da Classe II, que é de $0,030 \text{ mg.L}^{-1}$, em todas as estações neste período (Brasil, 2005a). Este fato pode ser atribuído ao aporte de fósforo por escoamento superficial, decorrente das precipitações ocorridas em novembro/05 (69,8 mm), março (110,0 mm) e abril (84,0 mm), coincidentes (novembro) ou antecedentes (maio) aos meses de coleta, e correspondentes aos maiores índices de todo o período analisado. Dentre as 93 estações de coleta, apenas 10 (10,75%) apresentaram concentrações dentro do limite recomendado (Figura 3), apesar do levantamento ter sido realizado no trimestre com as menores concentrações de fósforo total no ano, o que inicialmente restringe a utilização do reservatório para projetos de piscicultura em tanques-rede, se baseada exclusivamente neste parâmetro.

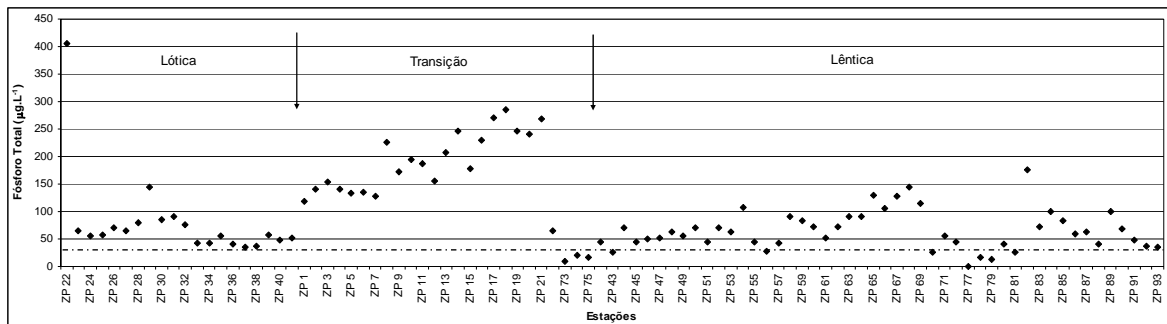


Figura 3 - Variação da concentração de fósforo total na água nas estações localizadas nas reentrâncias das diferentes regiões do reservatório de Pedra, em janeiro-fevereiro/2006. A linha pontilhada corresponde ao limite máximo admissível pela Resolução 357/05 do CONAMA, para águas da Classe II.

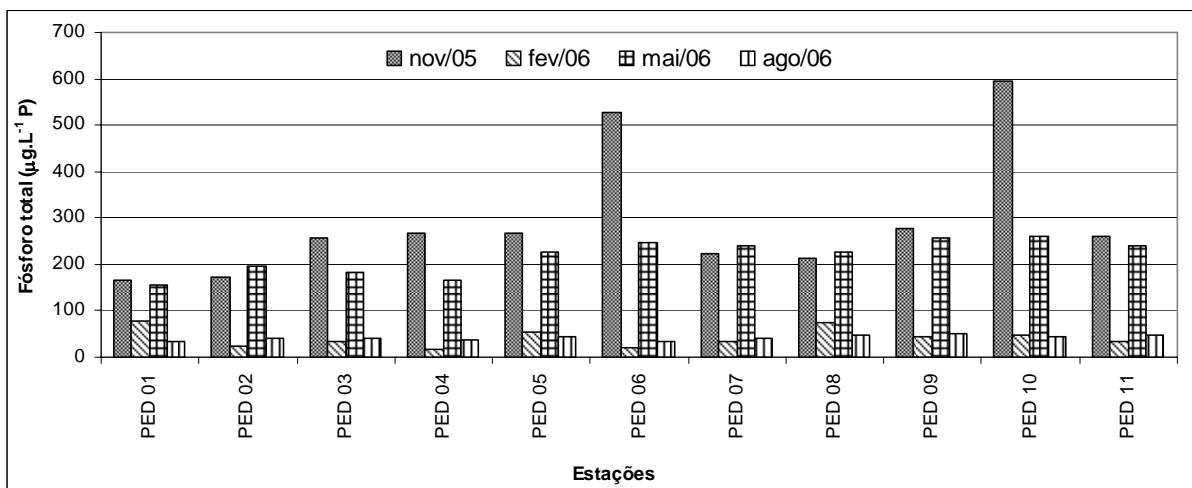


Figura 4 – Variação da concentração média de fósforo total na água dentre as estações de amostragem do reservatório de Pedra, nos meses de novembro/2005, fevereiro, maio e agosto/2006. Dados constantes de FADURPE (2006).

O papel da precipitação e escoamento superficial no aporte de nutrientes para a água tem sido evidenciado em diferentes reservatórios. Gomes, Perez & Curcio (1998) demonstraram que eventos de chuva eram responsáveis pelo maior aporte de fósforo ao reservatório de Guarapiranga (SP), enquanto processos sazonais semelhantes foram registrados por Leite & Espíndola (2004) no reservatório de Salto Grande (SP).

De acordo com Parry (1998), o papel do fósforo na eutrofização dos recursos hídricos é crítico e a presença desse nutriente a partir de áreas agrícolas tem sido colocada em relevância como indicador de qualidade de água. Nos Estados Unidos, admite-se que 50–60% da carga de poluentes que contamina rios e outros corpos d'água são provenientes de atividade agrícola (Merten & Mirella, 2002). A despeito de terem detectado uma tendência significativa de decréscimo nas concentrações de nutrientes em 250 estações de monitoramento na maioria dos rios norte-americanos entre 1975 e 1994, Alexander & Smith (2006) ressaltam que um estado predominantemente eutrófico (cerca de 90%) em áreas de influência agrícola permaneceu inalterado durante o período. Processos erosivos e transporte de sedimentos para os corpos d'água são os principais mecanismos de transferência de fósforo de áreas agrícolas para reservatórios. Áreas exploradas com culturas anuais e sem a adoção de práticas conservacionistas adequadas elevam o risco de transporte, de modo que índices de áreas de risco, como o P-index, podem representar ferramentas úteis na avaliação do risco potencial de contaminação difusa de áreas agrícolas, conforme demonstrado por Lopes et al. (2007), para a bacia do reservatório de Salto, no Rio Grande do Sul. Chuvas intensas e localizadas, sobretudo em momentos específicos do ciclo de cultura, como após o preparo do solo, adubação e plantio, podem contribuir para o transporte de percentuais expressivos da contribuição anual difusa de áreas agrícolas em bacias hidrográficas (Schreiber, Rebich & Cooper, 2001). Uma avaliação criteriosa das características pedológicas e dos tipos de uso dos solos em áreas contíguas a reservatórios é imprescindível na avaliação da qualidade da água. Para o reservatório de Pedra, o monitoramento efetuado ao longo do corpo central foi satisfatório para inferir acerca das concentrações de fósforo nas reentrâncias, exceto para o trecho com atividade agrícola mais intensa em suas margens.

Capacidade suporte e estado trófico do reservatório

Por se tratar de um rio estadual, o Rio de Contas, onde está inserido o reservatório de Pedra, está inicialmente subordinado à legislação específica do estado da Bahia. A Lei n°. 6.855, de 12 de maio de 1995 (Bahia, 1995), que dispõe sobre a Política, o Gerenciamento e o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Bahia, em seus artigos 12 e 13, determina que a implantação, ampliação e alteração de projetos de qualquer empreendimento que demande a utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, bem como a execução de obras ou serviços que alterem o seu regime, quantidade ou qualidade, dependerão de prévia outorga do órgão competente, obedecendo as legislações federal e estadual pertinentes (Bahia, 1995). Já o Decreto n°. 6.296, de 21 de março de 1997, que trata do mesmo assunto, é mais detalhado quanto à concessão de outorga de direito de uso dos recursos hídricos, infrações e penalidades (Bahia, 1997).

A autorização do uso de espaços físicos em corpos d'água de domínio da união é normatizada pelo Decreto n°. 4895, de 25 de novembro de 2003 (Brasil, 2003) e pelas Instruções Normativas Interministeriais n°. 6, de 31 de maio de 2004, e n°. 7, de 29 de abril de 2005 (Brasil, 2004, 2005b).

A Agência Nacional das Águas – ANA se utiliza da Resolução 357 de 17 de março de 2005 (Brasil, 2005a), do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, para concessão de outorgas de direito de uso de recursos hídricos. Tal resolução regulamenta os padrões de águas no Brasil e fornece os limites a serem medidos em corpos d'água de acordo com 5 classes, definidas com base em seus usos preponderantes.

O reservatório de Pedra não teve seu enquadramento definido por lei, e de acordo com a Resolução 357/05, estas águas são consideradas como classe II, cuja concentração máxima admissível de fósforo total na água é de até 30,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para ambientes lênticos e de 50,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para ambientes intermediários e tributários diretos de ambientes lênticos. O reservatório apresentou concentrações de fósforo total acima do limite recomendado, tanto no

ano de referência considerado no presente estudo, quanto nas reentrâncias consideradas para o zoneamento. Entretanto, nos capítulos III e IV da citada Resolução, há uma flexibilidade quanto a critérios de alteração de padrões de concentrações adotados pelos órgãos ambientais competentes, tanto para acrescentar outras condições como para torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições locais, e desde que a alteração seja em decorrência de condições naturais ou que estudos ambientais específicos que considerem a poluição difusa, comprovem que estes novos limites não acarretarão prejuízos para os usos previstos no enquadramento do corpo d'água.

O índice de estado trófico encontrado ao longo de um ano de monitoramento (novembro/2005 – agosto/2006), considerando dados de transparência da água, clorofila-a, fosfato inorgânico dissolvido e fósforo total, com base no índice de Carlson modificado (Toledo Filho et al., 1983), indica uma condição predominantemente oligo-mesotrófica para o reservatório de Pedra (FADURPE, 2006).

Considerando-se que os dados obtidos para as reentrâncias indicam uma condição semelhante àquela encontrada no corpo central durante o ano analisado, sugere-se um acréscimo de $5,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ como limite para a variação da concentração média de fósforo total originada pelos tanques-rede no reservatório, que corresponde a cerca de 17% da concentração de $30 \mu\text{g.L}^{-1}$ definida pela Resolução 357/05 do CONAMA. Esse mesmo incremento tem sido utilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA), na análise de pedidos de outorga para implantação de tanques-rede (Gisler, Silva & Lopes, 2005), e foi empregado nas estimativas de capacidade suporte para os reservatórios do submédio rio São Francisco (FADURPE, 2000a,b,c; 2001; 2002a,b e 2003a), de Boa Esperança, no Rio Parnaíba (FADURPE, 2003b) e de Serra da Mesa (GO), no rio Tocantins (Gisler, Silva & Lopes, 2005).

A estimativa da capacidade de suporte do reservatório de Pedra, segundo o modelo de Dillon & Rigler (1974), empregando-se os dados para o ano de referência de novembro/2005 a outubro/2006, baseou-se nos seguintes valores: área superficial média do reservatório – $A = 88,13 \text{ km}^2$, volume médio – $V = 1.282.420.000 \text{ m}^3$, profundidade média – $P_m = 14,55\text{m}$, coeficiente de fluxo – $\rho = 0,391.\text{ano}^{-1}$, vazão defluente = $15,91 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e um acréscimo de $5,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ de fósforo total na concentração média do reservatório. A biomassa de peixe que pode ser produzida no reservatório, assumindo uma carga média de fósforo de $18,2 \text{ kg.ton}^{-1}$ de peixe produzido (Kubitza, 1999), é de $983,18 \text{ ton.ano}^{-1}$.

O reservatório de Pedra apresenta uma variação anual de cota, de modo que sua superfície e volume apresentaram no período, uma amplitude de $24,1 \text{ km}^2$ e $495 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, respectivamente, e uma vazão defluente que varia de acordo com a demanda de energia elétrica ($6,53$ a $32,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$). Em função dessas variações, há diferenças na estimativa da capacidade de suporte durante os meses do ano, variando de $528,35 \text{ ton.ano}^{-1}$ em novembro/05 a $1.585,28 \text{ ton.ano}^{-1}$ em outubro/06. Assumindo um tanque-rede com 4m^2 , uma área ocupada por cada tanque de 32 m^2 e uma produção de $1,2 \text{ ton.ano}^{-1}$ por tanque-rede ($150\text{kg.m}^{-3}.\text{ciclo}^{-1} \times 4\text{m}^3 \times 2 \text{ ciclos.ano}^{-1}$), estes valores equivaleriam a uma quantidade de 440 a 1.321 tanques-rede (média de 819), e ocupariam uma área entre 1,4 e 4,2 ha (média de 2,6 ha).

A Instrução Normativa Interministerial N° 7, de 28/04/2005 – MMA/SEAP-PR (Brasil, 2005b), estabelece a título precautório, um limite máximo de até 1,0% da área superficial dos corpos d'água fechados ou semiabertos, incluindo reservatórios, considerando-se o ponto médio de depleção, para a implantação de parques e áreas aquícolas em águas públicas sob domínio da União. Para o reservatório de Pedra, isto equivale a 75,9 ha (1% da superfície na menor cota durante o período considerado). A área disponível para a instalação de áreas aquícolas, por sua vez, foi dimensionada em 745 ha, ou seja, praticamente dez vezes maior. Por outro

lado, as estimativas baseadas no modelo de Dillon & Rigler (1974) indicam a ocupação de uma área máxima de apenas 4,2 ha para a produção mais elevada.

As diferenças observadas nas estimativas indicam a disponibilidade de reentrâncias adequadas à piscicultura em tanques-rede com uma área superior àquela máxima permitida pela legislação vigente. Ainda, a estimativa da capacidade suporte pelo modelo de Dillon & Rigler (1974) corresponde a apenas 5,5% da superfície máxima indicada pela IR N^o. 7. Tal fato reforça a idéia de que a estimativa pelo método de Dillon & Rigler (1974) é extremamente conservadora.

Cabe ressaltar, entretanto, que poucos modelos têm sido empregados na estimativa dos efeitos de emissões do cultivo de peixes na escala de um lago ou reservatório como um todo, conforme proposto por Beveridge (2004) ou Håkanson, Carlsson & Johansson (1998), ou têm sido testados estatisticamente. Em seu lugar, têm sido empregados os modelos mais tradicionais de balanço de massa de fósforo total (e.g. Kirchner & Dillon, 1975; Vollenweider, 1975; OECD, 1982). Porém, estes são fortemente influenciados por outras emissões comumente presentes em corpos d'água, como esgoto e escoamento superficial de áreas agrícolas e urbanas, o que sugere a necessidade de sua calibração, de modo a torná-los úteis como ferramentas de estimativa.

A complexidade da circulação de fósforo em lagos e reservatórios implica na necessidade de mensurar as alterações efetivas na concentração de fósforo total decorrentes do cultivo de peixes. Håkanson, Carlsson & Johansson (1998) demonstrou que o modelo de Vollenweider superestima tais efeitos, e propôs uma outra abordagem para o balanço de fósforo em lago, considerando outros destinos para o fósforo lançado no meio, além da sedimentação e conversão em fósforo total na água. Entretanto, os dados necessários para sua aplicação não são facilmente disponíveis, pelo que não tem sido empregado ou testado mais largamente.

No Brasil, nenhum destes modelos tem sido aplicado rotineiramente, havendo muita discussão quanto à sua adequação às condições de nossos corpos d'água e às estimativas do impacto da piscicultura em tanques-rede sobre as águas públicas. Apesar do uso do modelo de Dillon & Rigler (1974) na avaliação do impacto de tanques-rede em alguns países (e.g. An & Kim, 2003; Pulatus, 2003) e do mesmo ter apresentado melhor aderência a dados empíricos numa calibração realizada por Johansson & Nordvarg (2002) em oito lagos suecos, suas estimativas têm sido reconhecidas como conservadoras. A própria ANA tem utilizado o método de Dillon & Rigler (1974) nas estimativas em águas públicas da União (Gisler, Silva & Lopes, 2005). A ausência de dados históricos comparativos para a maioria dos corpos d'água nos quais a piscicultura em tanques-rede tem-se implantado em anos recentes no País, tem motivado a sua adoção, enquanto dados de monitoramento ambiental de áreas aquícolas e outras abordagens metodológicas, possam permitir a calibração das estimativas e consolidar uma análise mais acurada da situação. Embora possivelmente conservadoras e restritivas ao desenvolvimento da atividade em algumas regiões, estas estimativas fornecem um referencial inicial para o processo de licenciamento ambiental.

Desta forma, o acréscimo na concentração de fósforo reforça a necessidade de adoção de um rigoroso controle da qualidade da água nas áreas aquícolas, através de um programa periódico de monitoramento, que subsidie uma avaliação mais acurada da capacidade suporte de cada uma delas (Costa, 2004). Assim, cada área de cultivo deve ser objeto de um monitoramento constante e contínuo, de forma a avaliar o efeito da implantação das unidades de produção sobre a concentração de nutrientes em cada uma delas, e permitir o redimensionamento da carga de nutrientes que o corpo d'água pode suportar. Somente a partir deste monitoramento, será possível avaliar a capacidade do meio de suportar uma maior demanda de áreas de cultivo e rever os limites impostos pelos mesmos.

CONCLUSÕES

1. O Reservatório de Pedra, devido à sua localização geográfica, do regime hidrológico da bacia do Rio de Contas, de seu papel na regularização da vazão e no suprimento do reservatório de Funil localizado a jusante, é sujeito a uma ampla variação sazonal de cota.
2. O deplecionamento sazonal e as diferenças morfológicas restringem a localização e a viabilidade de uso das áreas de reentrâncias para a instalação de áreas aquícolas no reservatório, que são, ainda, limitadas pela sua reduzida profundidade.
3. As características limnológicas das reentrâncias não diferem significativamente daquelas do corpo central, exceto nas porções do reservatório com intensa atividade agrícola.
4. De um total de 32 reentrâncias identificadas na margem direita do reservatório, apenas 16 deles foram considerados viáveis à implantação de tanques-rede, com uma área total de 840,80 ha, enquanto que na margem esquerda, dos 26 reentrâncias identificadas, apenas 11 foram consideradas viáveis, com uma área total de 288,30 ha.
5. A estimativa da capacidade suporte do reservatório de Pedra para a piscicultura em tanques-rede, através do método de Dillon & Rigler, é de 983,18 ton. de peixe por ano, considerando um acréscimo na concentração de fósforo total de 5,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$ nos valores médios do reservatório.
6. A área útil de reentrâncias para implantação de tanques-rede corresponde a aproximadamente 10% da superfície do reservatório e quase 30 vezes aquela compatível com a capacidade suporte estimada.
7. As áreas aquícolas implantadas devem ter suas características limnológicas monitoradas periodicamente, sobretudo quanto aos níveis de pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, transparência e à concentração de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e clorofila-a. Esta medida permitirá, não somente manter níveis adequados e compatíveis com as exigências das espécies cultivadas e avaliar os efeitos do cultivo sobre a qualidade da água, bem como adequar os níveis permissíveis de exploração aquícola, quando necessário.

REFERÊNCIAS

Alexander, R.B. & Smith, R.A. Trends in the nutrient enrichment of U.S. rivers during the late 20th century and their relation to changes in probable stream trophic conditions. *Limnol. Oceanogr.*, v. 51, n. 1 (parte 2), p. 639-654. 2006.

Alves, R.C.P. & Baccarin, A.E. Efeito da produção de peixes em tanques-rede sobre a sedimentação de material em suspensão e de nutrientes no Córrego da Arribada (UHE Nova Avanhandava, Baixo Rio Tiête, SP). In: Marcos Gomes Nogueira, M.G., Henry, R., Jorcin, A. (org.) *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. São Carlos, RiMa, 2005. 472 p.

An, K.-G. & Kim, D.-S. Response of reservoir water quality to nutrient inputs from streams and in-lake fishfarms. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 149, p. 27-49. 2003.

Bahia. Lei 6855, de 12 de maio de 1995. Dispõe sobre a Política, o Gerenciamento e o Plano Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. D.O.E. 13 e 14/05/1995. 1995.

Bahia. Decreto Nº. 6296 de 21 de março de 1997. Dispõe sobre a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos, Infração e Penalidades e dá outras providências. 1997.

Beveridge, M. Cage and pen fish farming. Carrying capacity models and environmental impact. *FAO Fish. Tech. Pap.*, n. 255, 131p. 1984.

Beveridge, M. *Cage aquaculture*. 3rd. ed., Oxford. Fishing News Books, 2004. 368p.

Brasil. Decreto N^o. 4.895, de 25 de novembro de 2003. Dispõe sobre a autorização de uso de espaços físicos de corpos d'água de domínio da União para fins de aquicultura, e dá outras providências. 2003.

Brasil. Instrução Normativa Interministerial N^o. 6, de 28 de maio de 2004. Estabelece as normas complementares para a autorização de uso dos espaços físicos em corpos d'água de domínio da União para fins de aquicultura, e dá outras providências. 2004.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA N^o. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2005a.

Brasil. Instrução Normativa Interministerial N^o. 7, de 28 de abril de 2005. Estabelece as normas complementares para a autorização de uso dos espaços físicos em corpos d'água de domínio da União para implantação dos parques e áreas aquícolas. 2005b.

Costa, B.D.F. Caracterização ambiental e dimensionamento da capacidade de aproveitamento do Reservatório de Sobradinho para a instalação de tanques-rede. Tese de Dissertação de Mestrado. Recife: UFRPE – DEPAq. 2004. 64p.

Dillon, P.J. & Rigler, F.H. A test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorous concentration in a lake water. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, v. 31, p. 1771-1778. 1974.

Esteves, F. A. *Fundamentos de limnologia*. 2 ed. Rio de Janeiro. Interciência, 1998. 602p.

FADURPE - Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional. Zoneamento da piscicultura em tanques-rede nos reservatórios do submédio São Francisco: Introdução e Zoneamento do Reservatório de PA-IV. Recife, FADURPE/CHESF/UFRPE, 2000a. 50 p.

FADURPE – Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional. Zoneamento da piscicultura em tanques-rede nos reservatórios do submédio São Francisco: Zoneamento do Reservatório de Xingó. Recife, FADURPE/CHESF/UFRPE, 2000b. 90 p.

FADURPE – Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional. Zoneamento da piscicultura em tanques-rede nos reservatórios do submédio São Francisco: Zoneamento do Reservatório de Moxotó. Recife, FADURPE/CHESF/UFRPE, 2000c. 63 p.

FADURPE – Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional. Zoneamento da piscicultura em tanques-rede nos reservatórios do submédio São Francisco: Zoneamento do Reservatório de Itaparica. Recife, FADURPE/CHESF/UFRPE, 2001. 110 p.

FADURPE – Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional. Redimensionamento da capacidade de produção em tanques-rede do Reservatório de Xingó: Relatório Técnico. Recife, FADURPE/CHESF/UFRPE, 2002a. 85p.

FADURPE – Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional. Redimensionamento da capacidade de produção em tanques-rede do Reservatório de Xingó: Sumário Executivo. Recife, FADURPE/CHESF/UFRPE, 2002b. 33p.

FADURPE – Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional. Monitoramento limnológico e da produção pesqueira do reservatório de Sobradinho - Subprojeto: Zoneamento da piscicultura em tanques-rede – Relatório Final. Recife, FADURPE/CHESF/UFRPE, 2003a. 81p. + anexos.

FADURPE – Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional. Programa de zoneamento da piscicultura em tanques-rede no reservatório de Boa Esperança: Diagnóstico ambiental, Zoneamento de áreas aquícolas e estimativa da capacidade de suporte. Recife, FADURPE/CHESF/UFRPE, 2003b. 126 p. + anexos.

FADURPE – Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional. Monitoramento limnológico e avaliação da qualidade da água do reservatório da usina hidrelétrica de Pedra - BA. 1º Relatório Anual Aditivo. Recife, FADURPE; CHESF, 2006. 64p. + anexos.

Gisler, C.V.T., Silva, L.M.C. da, Lopes, A.V. Outorga para piscicultura em tanques-rede. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16, 2005, João Pessoa. Anais... SBRH, 2005. p. .

Gomes, M.C.A., Perez, L.S.N., Curcio, R.L.S. Avaliação da poluição por fontes difusas afluentes ao reservatório Guarapiranga: Relatório síntese. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo; Prime Engenharia, São Paulo, BR, SMA/PRIME, 1998. 96p.

Håkanson, L., Carlsson, L., Johansson, T. A new approach to calculate the phosphorus load to lakes from fish farm emissions. *Aquacult. Eng.*, v. 19. p. 149-166. 1998.

Johansson, T. & Nordvang, L. Empirical mass balance models calibrated for freshwater fish farm emissions. *Aquaculture*, v. 212, p. 191-211. 2002.

Kirchner, W.B. & Dillon, P.J. An empirical method of estimating the retention of phosphorous in lakes. *Water Resour. Res.*, v. 1, n. 2, p. 182-183. 1975

Kubitza, F. Tanques-rede, rações e impacto ambiental. *Panorama da Aqüicultura*, Rio de Janeiro, v. 9, n. 51, p. 44-50. 1999.

Leite, M.A. & Espíndola, E.L.G. Aporte e taxa de sedimentação de material em suspensão e nutrientes (nitrogênio orgânico total e fósforo total) no reservatório de Salto Grande. In: Espíndola, E.L.G.; Leite, M.A.; Dornfeld, C.B. (eds.). *Reservatório de Salto Grande (Americana, SP): caracterização, impactos e propostas de manejo*. São Carlos, RiMa, 2004. p. 71-90.

Lopes, F. et al. Utilização de P-index em uma bacia hidrográfica através de técnicas de geoprocessamento. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.11, n. 3, p. 312-317. 2007.

Merten, G.H. & Mirella, J.P. Qualidade de água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual e sobrevivência futura. *Agroecol. e Desenvol. Rur. Sustent.*, v.3, n. 4, p. 33-38. out./dez. 2002.

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. Eutrophication of waters. Monitoring, Assessment and Control. OECD, Paris. 1982.

Parry, R. Agriculture phosphorus and water quality: a U.S. Environmental Protection Agency perspective. *Jour. Environ. Qual.*, v. 27, p. 258-261. 1998.

Pulatsu, S. The application of a phosphorous budget model estimating the carrying capacity of Kesikköprü Dam Lake. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, v. 27, p. 1127-1130. 2003.

Rebouças, A. *Uso inteligente da água*. São Paulo. Escrituras Editora, 2004. 207p.

Rotta, M.A. & Queiroz, J.F. Boas práticas de manejo (BPMs) para produção de peixes em tanques-redes. Corumbá: Embrapa Pantanal. 2003. 27 p (Documentos, n. 47).

Schreiber, J. D., Rebich, R. A., Cooper, C. M. Dynamics of diffuse pollution from US southern watersheds. *Water Res.*, v. 30, n. 10, p. 2534-2542. 2001.

Silva, A. L. N. & Siqueira, A. T. *Piscicultura em tanques-rede: princípios básicos*. Recife. SUDENE, UFRPE, 1997. 72p.

Strickland, J.D.H. & Parsons, T.R.. *A manual of sea water analysis*. Ottawa. Fish. Res. Board Canada, 1965. 202p.

Toledo Jr., A.P. et al. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação e processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 12, 1983. Camboriú. Anais... Camboriú. ABES, 1983. p. 1-34.

Tundisi, J.G. Reservoirs as complex systems. *Ciênc. Cult.*, v.48, n. 5/6, p. 383–387. 1996.

Tundisi, J.G. *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. São Carlos. RiMa; IIE, 2003. 248p.

Tundisi, J.G., Matsumura-Tundisi, T., Rocha, O. Limnologia de águas interiores. Impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: Rebouças, A.C.; Braga, B.; Tundisi, J.G. (org.). *Águas doces no Brasil*. São Paulo. Escrituras Editora, 2002. p. 195-225.

Vollenweider, R.A. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Paris, OECD, 1968. 192p. (Technical Report DAS/DSI/68.27).

Vollenweider, R.A. Input-output models with special reference to the phosphorous loading concept in limnology. *Schweiz. Z. Hydrol.*, v. 37, p. 455-472. 1975.

Zar, J. H. *Biostatistical analysis*. Upper Saddle River. Prentice-Hall, 1996. 662p.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O reservatório de Pedra apresenta uma nítida diferenciação em suas características limnológicas ao longo de sua extensão. A região lótica é fortemente influenciada pelo rio de Contas, enquanto que as características das demais regiões dependem de processos internos, pois, o reservatório não possui nenhum tributário ao longo de sua extensão, limitando-se a pequenos riachos e córregos temporários, que se formam nos períodos chuvosos.
- Um aspecto marcante é a variação sazonal das características limnológicas, que por sua vez é correlacionada à precipitação pluviométrica na bacia e à variação de nível da água do reservatório. Em função disso, a caracterização das reentrâncias; realizada apenas em um período do ano, indica diferenças significativas em diversas variáveis, quando comparada com os dados do monitoramento anual do reservatório.
- Com base no índice de Carlson modificado, as reentrâncias do reservatório de Pedra apresentam baixo nível trófico, caracterizado como oligo-mesotrófico, sendo o mesmo grau de trofia encontrado na calha central do reservatório quando do monitoramento anual. Tal classificação decorre dos índices de transparência da água, clorofila a e fosfato inorgânico (ortofosfato). Quando se analisa por região, verifica-se que na região lótica é predominantemente mesotrófica, na região de transição há um equilíbrio entre mesotrófica e oligotrófica e na região lêntica é completamente oligotrófica. Esta diferença marcante é definida também pela diferença das variáveis dentre as regiões.

- O reservatório de Pedra é localizado em região de clima semi-árido, e é caracterizado por um regime de depleção anual que atua como variável determinante de suas características hidrológicas e limnológicas.
- Todas as variáveis limnológicas estão dentro dos limites recomendados pela Resolução 357/05 do CONAMA, com exceção apenas do fósforo total que foi a única variável que excedeu o limite estabelecido em 89,25% das estações de amostragem das reentrâncias. Entretanto, quando comparados com os valores do monitoramento anual, o mês de fevereiro/2006 foi o menos crítico quanto à concentração desta variável, fato este, que pode restringir a utilização do reservatório para futuros projetos de piscicultura.
- O reservatório de Pedra, devido à sua localização geográfica, do regime hidrológico da bacia do rio de Contas, de seu papel na regularização da vazão e no suprimento do reservatório de Funil localizado a jusante, é sujeito a uma ampla variação sazonal de nível.
- O deplecionamento sazonal e as diferenças morfológicas restringem a localização e a viabilidade de uso das áreas de reentrâncias para a instalação de áreas aquícolas no reservatório, que são, ainda, limitadas pela sua reduzida profundidade.
- As características físico-químicas e biológicas da água do reservatório de Pedra indicam uma condição oligo-mesotrófica durante todo o ano de referência, tanto na calha central como nas reentrâncias.
- De um total de 32 reentrâncias identificadas na margem direita do reservatório, apenas 16 delas foram considerados viáveis à implantação de tanques-rede, com uma área total de 840,80 ha, enquanto que na margem esquerda, das 26

reentrâncias identificadas, apenas 11 foram consideradas viáveis, com uma área total de 288,30 ha.

- A estimativa média da capacidade de suporte do reservatório de Pedra, segundo o modelo de Dillon e Rigler (1974), empregando-se os dados médios para o ano de referência de novembro/2005 a outubro/2006, foi de 987,49 ton. de peixe por ano, considerando um acréscimo na concentração de fósforo total de $5,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ nos valores médios do reservatório.
- De modo especial, as áreas aquícolas implantadas devem ter suas características limnológicas monitoradas periodicamente, sobretudo quanto aos níveis de pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, transparência e à concentração de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e clorofila-a. Esta medida permitirá, não somente manter níveis adequados e compatíveis com as exigências das espécies cultivadas e avaliar os efeitos do cultivo sobre a qualidade da água, bem como adequar os níveis permissíveis de exploração aquícola, quando necessário.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A.B. Metodologia de planejamento de recursos hídricos em Portugal, aplicação à região de Algarve. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9,; Sergipe. Relação de artigos. Sergipe, ABRH, 2001.

ALVAREZ-LAJONCHERE, L., HERNÁNDEZ MOLEJÓN, O. G., 1998. Reproducción e larvicultura de peces marinos. Recife: Aqüicultura Brasil'98. 1998. 110 p.

ALVES, R.C.P. E BACCARIN, A.E. Efeito da Produção de Peixes em Tanques-rede sobre Sedimentação de Material em Suspensão e de Nutrientes no Córrego da Arribada (UHE Nova Avanhandava, Baixo Rio Tiête, SP). IN: Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata/organizado por Marcos Gomes Nogueira, Raoul Henry e Adriana Jorcin. São Carlos – SP: RiMa, 2005. 472 p.

ANDREOLI, C. V. & CARNEIRO, C. Gestão Integrada de Mananciais de Abastecimento Eutrofizados. Curitiba: Sanepar. Finep. 2005. 500p.

ASSUNÇÃO, F. N. A. & BURSZTYN, M. A. A. Conflitos pelo uso dos recursos hídricos, in Conflitos e uso sustentável dos recursos naturais. Org. por Theodoro, S. H., Garamond/CDS, Rio de Janeiro. 2001.

BAHIA. Lei 6855, de 12 de maio de 1995. Dispõe sobre a Política, o Gerenciamento e o Plano Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. D.O.E. 13 e 14/05/1995

BAHIA. DECRETO Nº. 6296 de 21 de março de 1997. Dispõe sobre a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos, Infração e Penalidades e dá outras providências. 1997.

BAHIA. PORTARIA Nº. 56 de 04 de agosto de 2006. Dispõe sobre procedimentos de licenciamento ambiental das atividades, obras e empreendimentos agropecuários,

silviculturais e aquícolas com potencial de impacto não significativo, e dá outras providências. D.O.E. 05 e 06 de agosto de 2006 Ano XC N^{os} 19.191 e 19.192. 2006.

BARBOSA, F., MARQUES, M.M. A água como patrimônio da humanidade. In. Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. 14., 2002, Cuiabá. Resumos.

BARROSO, M. V.; CASTRO, J. C.; AOKI, P.; HELMER, J. L. Valor nutritivo de alguns ingredientes para o robalo *Centropomus parallelus*. **Rev. Bras. Zootecnia**, v. 31, n.5, 8p, 2002.

BAXTER, R.M. Environmental effects of dans and impoundment. Ann Rev. Ecol. Syst., v.8, p. 255 – 283, 1977.

BEVERIDGE, M. **Cage aquaculture**. Oxford: Fishing News Books, 1991, 351.p

BITTENCOURT, S. e GOBBI, E. F. Carga máxima de fósforo admissível ao reservatório Piraquara II, uma aplicação do processo TMDL. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n. 30 p. 595-603. 2006.

BOZANO, G.L.N. Viabilidade técnica da criação de peixes em tanques rede. In: Simpósio Brasileiro de Aqüicultura, 12, 2002, Goiânia. **Anais**. Goiânia: ABRAq. 2002. p. 107-111.

BRANCO, S.M. A água e o homem. In: PORTO, R.L.L.; BRANCO, S.M.; CLEARY, R.W.; COIMBRA, R.M.; EIGER, S.; LUCA, S.J.; NOGUEIRA, V.P.Q & PORTO, M.F.A., orgs. Hidrologia ambiental. São Paulo, ABRH, 1991. p.3-26.

BRANDIMARTE, A. L. Impactos limnológicos da Construção do reservatório de aproveitamento múltiplo do Rio Mogi-Guaçu (SP, Brasil). São Paulo. 1997. 97p. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências , Universidade de São Paulo.

BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. Poluição, proteção e usos múltiplos de represas. São Paulo, Editora Edgard Blücher/CETESB. 1977.

BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. Ecologia: Educação ambiental, ciência do ambiente para universitários. São Paulo. CETESB. 1980. 206p.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 20, de 18 de junho de 1986. Estabelece a classificação das águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. D.O.U. de 30/7 /1986.

BRASIL. Lei n. 9433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Conselho Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. 1997.

BRASIL. Decreto Nº. 2869 de 09 de dezembro de 1998. Regulamenta a cessão de águas públicas para exploração da aqüicultura, e dá outras providências. 1998.

BRASIL. Decreto Nº. 4.895, de 25 de novembro de 2003. Dispõe sobre a autorização de uso de espaços físicos de corpos d'água de domínio da União para fins de aqüicultura, e dá outras providências. 2003.

BRASIL. Instrução Normativa Interministerial Nº. 6, de 28 de maio de 2004. Estabelece as normas complementares para a autorização de uso dos espaços físicos em corpos d'água de domínio da União para fins de aqüicultura, e dá outras providências. 2004.

BRASIL. Resolução CONAMA no. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2005 a.

BRASIL. INSTRUÇÃO NORMATIVA INTERMINISTERIAL Nº. 7, de 28 de abril de 2005. Estabelece as normas complementares para a autorização de uso dos espaços físicos em corpos d'água de domínio da União para implantação dos parques e áreas aqüícolas. 2005 b.

CALEFFI, S.; ZANARDI, E.; BEYRUTH, Z. Trophic state of Guarapiranga reservoir in 1991-1992. *Verh. Int. Ver. theor. Angew. Limnol.*, v. 25, p. 1306-1310, 1994.

CARLSON, R.E. The trophic state concept: a lake management perspective. In: 3rd. Annual Conference. EPA – US Environmental Protection Agency – Lake and Reservoir. P. 427-430. 1977.

COELHO, R.M.P. Fundamentos em ecologia. Porto Alegre: Ed. Artmed, 2000. 252p.

COIMBRA, R.M. Monitoramento da qualidade de água. In. PORTO, R.L. et al. Hidrologia ambiental. São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 391-411 (Coleção ABRH de recursos hídricos, 3), 1991.

CRUZ, H. C. & FABRIZY, N. L. P. Impactos Ambientais de Reservatórios e Perspectivas de Uso Múltiplo. *Revista Brasileira de Energia*, v. 4, n. 1, 1995. Disponível em: <<http://www.sbpe.org.br/v4n1/v4n1t1.htm>>. Acessado em: 07 de maio de 2005.

DILLON, P.J. & RIGLER, F.H. A test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorous concentration in a lake water. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, v. 31, p. 1771-1778, 1974.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de limnologia. Rio de Janeiro: Interciência, 1988. 575p.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de limnologia. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

FADURPE. Monitoramento limnológico e da produção pesqueira do reservatório de Sobradinho - Subprojeto: Zoneamento da piscicultura em tanques-rede – Relatório Final. Recife, FADURPE/CHESF/UFRPE, 2003. 81p. + anexos.

FADURPE. Monitoramento limnológico e avaliação da qualidade da água do reservatório da usina hidroelétrica de Pedra - BA. 1º Relatório Anual Aditivo. Recife, FADURPE; CHESF, 2006. 64p. + anexos.

FOLKE, C.; KAUTSKY, N. Aquaculture with its environment; prospects for sustainability. *Ocean and Coastal Management*, v. 17, p. 5-24, 1992.

GROOT W. T. Phosphate and wind in a shallow lake. *Arch. Hydrobiol.* 91, 475-89, 1981.

GUO, L.; LI, Z. Effects of nitrogen and phosphorus from fish cage-culture on the communities of a shallow lake in middle Yangtze River basin of China. *Aquaculture*, v. 226, p. 201-212, 2003.

HAKANSON, L.; CARLSSON, L.; JOHANSSON, T. A new approach to calculate the phosphorous load to lakes from fish farm emissions. *Aquacultural Engineering*, 17: 149-166, 1998.

HAKANSON, L. & CARLSSON, L. Fish farming in lakes and acceptable total phosphorous loads: Calibrations, simulations and predictions using LEEDS model in Lake Southern Bullaren, Sweden. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 1: 1-24, 1998.

HAVENS, K.E. & SCHELSKE, C.L. The importance of considering biological processes when setting total maximum daily loads (TMDL) for phosphorous in shallow lakes and reservoirs. *Environmental Pollution*, 113: 1-9, 2001.

HENRY, R. Estrutura Espacial e Temporal do Ambiente físico e químico e análises de alguns processos ecológicos na represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP) e na sua bacia hidrográfica. 1999. 242p. Tese (Doutorado), Instituto de Biociências, UNESP – Botucatu.

JOHANSSON, T.; HAKANSON, L.; BORUM, K.; PERSSON, J. Direct flows of phosphorous and suspended matter from a fish farm to wild fish in Lake Southern Bullaren, Sweden. *Aquacultural Engineering*, 17: 111-137, 1998.

KRATZER, C.R. & BREZONICK, P.L.A. A Carlson type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. *Water Res. Bull.*, v. 17, p. 713-714, 1981.

KIRK, J.T. Optical limnology: a manifesto. In: Williams, W.D. & Dekker, O. (eds.). *Limnology in Australia*. Australian Limnological Society, p. 33-62. 1986.

KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In: Grasshoff, K. (ed.) *Methods of seawater analysis*. Weinheim: Verlag Chemie, p.117-187, 1976.

KUBITZA, F. *Nutrição e Alimentação de Tilápias - Parte 1. Panorama da Aqüicultura*, Rio de Janeiro, v. 9, n. 52, 1999.

KUBITZA, F. *Qualidade da água no cultivo de peixes e camarões*. 1. ed. Jundiaí: F. Kubitza. 2003. 229 p.

LOAGUE, K.; CORWIN, D.L.; ELLSWORTH, T. R. The challenge of predicting nonpoint source pollution. *Environmental Science e Technology*, p. 130-133, 1998.

MACKERETH, F.J.H.; HERON, J.; TALLING, J.F. *Water analysis: some revised methods for limnologists*. London: Scient. Public., 1978. 121p.

MARGALEF, R. Características de las aguas de represa como indicadores del estado de los ecosistemas terrestres de las respectivas cuencas. In: *Reunião sobre Ecologia e Proteção de Águas Continentais*, São Carlos, 1981. Anais. São Carlos, OEA, UNESCO/MAB, USP. p. 93 – 110, 1981.

MARIANI, CAROLINA F. *Reservatório Rio Grande: caracterização limnológica da água e biodisponibilidade de metais-traço no sedimento*. Dissertação (mestrado) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia. 2006. 123 p.

MATSUMURA-TUNDISI, T.; HINO, K.; ROCHA, O. Características limnológicas da Lagoa do Taquaral (Campinas, SP), um ambiente hipereutrófico. *Ciênc. Cult.*, v. 38, p. 420-425, 1986.

MERCANTE, C.T.J. & TUCCI-MOURA, A. Comparação entre os Índices de Carlson e de Carlson Modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 1999. v. 11, n. 1, p. 1-14, 1999.

MIRANDA, E. E. Água na natureza, na vida e no coração dos homens. Campinas. Disponível em: <<http://www.aguas.cnpm.embrapa.br>>. Acessado em: 02 de setembro de 2004.

NACHTNEBEL, H. The Danube river basin environmental programme: Plans and actions for a basin wide approach. *Water Policy*, Oakland, 2:113-129, 2000. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/watpol>> Acesso em: 09 mar. 2001.

NILSSEN J. P. Tropical lakes: functional ecology and future development: the need for a process-orientated approach. *Hydrobiologia* 113, 231–42, 1984.

NOGUEIRA, M.G., HENRY, R.; MARICATTO F.E. Spatial and temporal heterogeneity in the Jurumirim Reservoir, São Paulo, Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*. 4: 107-120, 1999.

NUSCH, E.A. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, v. 14, p.14-36, 1980.

ODUM, E.P. *Ecologia*, Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1988. 434p.

OECD. *Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control*. Paris, OECD, 1982. 154p.

PIO, S.; HENRIQUES, A.G. O estado ecológico como critério para a gestão sustentável de águas de superfície. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 5., 2000, Lisboa, Relação de trabalhos. Lisboa, Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 2000.

PRADO, R. B. Manejo integrado de reservatórios destinados a uso múltiplo como perspectiva de recuperação da qualidade da água. Recursos hidroenergéticos: usos, impactos e planejamento integrado. Ed. Rima, São Carlos. 2002.

PRADO, R.B.; MORAES NOVO, E.M.L. Análise espaço temporal da relação do estado trófico do Reservatório de Barra Bonita (SP) com o potencial poluidor da bacia hidrográfica. INPE ePrint: sid.inpe.br/ePrint@80/2006/0 3.27.18.58 v1 -03-28. 2006.

QUEIROZ, J. F. Código de Melhores Práticas de Manejo para Aqüicultura. IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 12, 2002, Goiânia. Anais...Goiânia: ABRAq, Conferências e Palestras, p.12-22, 2002.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. Águas Doces no Brasil – Capital ecológico, uso e conservação. 2ª Ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002.

ROTTA, M.A. & QUEIROZ, J.F. Boas práticas de manejo (BPMs) para produção de peixes em tanques-redes. Corumbá: Embrapa Pantanal. 2003. 27 p (Documentos, n. 47).

SCHÄFER, A. Tipificação ecológica das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 2, p. 29-55, 1988.

SCHIMIDT-NIELSEN, K. Fisiologia animal. São Paulo, EDUSP, 1972. 104p.

SCHMITTOU, H.R. Produção de peixes em alta densidade em tanques-rede de pequeno volume. Traduzido por Eduardo Ono Ed. Coelho, S.R. Mogiana Alimentos S/A . Campinas, SP, 1997.

SILVA, A. L. N. & SIQUEIRA, A. T. Piscicultura em tanques-rede: princípios básicos. Recife: Sudene, UFRPE, 1997. 72p.

SOUZA, R. A. S. Avaliação das frações de fosfato como indicadores de eutrofização de águas superficiais. Tese de dissertação de mestrado. Lavras, UFLA. 2005. 123p.

STRICKLAND, J.D.H. & PARSONS, T.R. A manual of sea water analysis. Ottawa: Fish. Res. Board Canada, 1965. 202p.

TALLING J. F. & LEMOALLE J. Ecological Dynamics of Tropical Inland Waters. Cambridge University Press, Cambridge UK, 1998.

TEIXEIRA, C. et al. Plankton studies in a mangrove. II. The standing-stock and some ecological factors. Bolm. Inst. Oceanogr., v. 24, p. 23-41, 1965.

TOLEDO JR., A.P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J.; AGUDO, E.G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação e processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: **Anais do 12º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária**. P. 1-34, 1983.

THOMANN, R.V. "Principles of Surface Water Quality Modeling and Control", 1987 In. Silva, S.R.F.A. e Savi, M. A. 2002. Análise da dinâmica da eutrofização de corpos d'água a partir de um modelo matemático. II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. João Pessoa PB. Agosto de 2002.

TUNDISI, J.G. Produção primária, "standing crop" e fracionamento do fitoplâncton na região lagunar de Cananéia. 131f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1969.

TUNDISI J. G. Ecology of a shallow tropical reservoir in Brazil. In: Furtado J. I. (ed.) Tropical Ecology & Development (Part. 2). Proceeding of the 5th International Symposium of Tropical Ecology. International Society of Ecology, Kuala Lumpur, pp. 893–906, 1980.

TUNDISI, J. G. Ecologia, limnologia e aspectos socioeconômicos da construção de hidrelétricas nos trópicos. In: Encontro de Tropicologia, 4, 1987, Recife. **Anais...** Recife: Universidade de Brasília; CNPq, 1990. p. 47-85. Disponível em: <http://www.tropicologia.org.br/conferencia/1987ecologia_limnologia.html>.

Acesso em: 07 de junho de 2006.

TUNDISI, J.G. Limnologia de Represas Artificiais. **Bol. Hidráulica e Saneamento**, nº 11, p. 1 – 46, 1986.

TUNDISI, J. G., Limnologia e manejo de represas. São Carlos. USP/EESC/CRHEA/ACIESP, 1988.

TUNDISI, J. G. Ecologia, limnologia e aspectos socioeconômicos da construção de hidrelétricas nos trópicos. In: Encontro de Tropicologia, 4, 1987, Recife. **Anais...** Recife: Universidade de Brasília; CNPq p. 47-85, 1990.

TUNDISI, J.G. Reservoirs as complex systems. **Ciência e Cultura** v.48, n. 5/6 p. 383 – 387, 1996.

TUNDISI, J. G. Águas no Século XXI: Enfrentando a Escassez. 2ª Ed. São Carlos: Rima. 2003. 248p.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. Limnologia de águas interiores: impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: Rebouças, A; Braga, B; Tundisi, J.G. Uso e conservação. 2. ed. São Paulo: Academia Brasileira de Ciências, Instituto de Estudos Avançados, USP. P 195-225 , 2002.

TUNDISI, J. G. e STRAŠKRABA, M. Theoretical Reservoir Ecology and its Applications. São Carlos. 1999. 592p.

VOLLENWEIDER, R.A. Input-output models with special reference to the phosphorous loading concept in limnology. *Schweiz. Zeit. Hydrol.*, **37**: 53-84, 1975.

WITHERS, P.J.A.; DAVIDSON, I.A. & FOY, R.H. Prospects for controlling diffuse phosphorus loss to water. *J. Environ. Qual.*, **29**:167-175, 2000.

XAVIER, C. F. Avaliação da Influência do uso e Ocupação do Solo e de Características Geomorfológicas sobre a Qualidade das Águas de dois

Reservatórios da Região Metropolitana de Curitiba – Paraná. Curitiba. 2005. 167p.
(Dissertação de mestrado, UFPR).

ZAR, J. H. Biostatistical analysis. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1996. 662p.

8. ANEXOS

Este item refere-se à metodologia de trabalho empregada em campo e laboratório para ambos os artigos de forma mais detalhada. Contém ainda as normas das revistas às quais os artigos serão submetidos.

1. Área de estudo

O reservatório de Pedra é formado pelo represamento do Rio de Contas, com a implantação da Usina Hidro Elétrica (UHE) num trecho denominado Pedra Santa, 18 km a montante da cidade de Jequié – BA (Fig. 1 e 2)

O represamento da UHE Pedra é feito por uma barragem do tipo de peso aliviado, constituída por monolitos de cabeça de martelo com cavidade interna. O empreendimento apresenta as seguintes coordenadas geográficas: Longitude 040° 3'W e Latitude 13° 53'S.

O rio de Contas constitui-se num importante curso d'água, incluído entre os cinco mais importantes rios do estado da Bahia. Nasce na vertente leste da Serra das Almas, na Chapada Diamantina, e é um dos componentes da “Bacia do Leste”. Para a regularização das descargas do rio de Contas, foi construída uma barragem, sobre rochas que são encontradas a mais ou menos 10 metros sob o leito do rio, num ponto onde a área de drenagem é de 37.000 km², criando um reservatório de acumulação de 1.750 hm³. O aproveitamento visa, além da regularização do rio para o controle das enchentes, o abastecimento d'água, a irrigação agrícola e a geração de energia elétrica.

Sua bacia hidrográfica é da ordem de 53.000 km², 75% dos quais, acham-se situados no “Polígono das Secas”. A parte restante atravessa zona de matas da região cacaueira. Com uma extensão de pouco mais de 500 km, apresenta desde a nascente até sua foz, em Itacaré, uma queda de 615 m. Seu regime, genuinamente torrencial, apresenta grandes variações de descargas. Em épocas de enchentes, já ultrapassou a casa dos 4.000 m³/s. Durante a estiagem, registrou-se descarga nula.

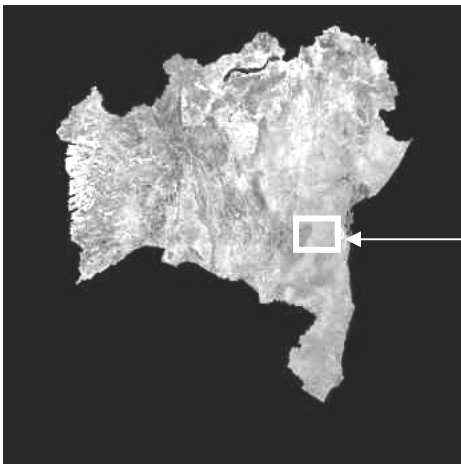


Figura 1 - Localização da área de influência do reservatório Pedra, no Rio de Contas, em relação ao estado da Bahia.

Fonte: CD Brasil / EMBRAPA

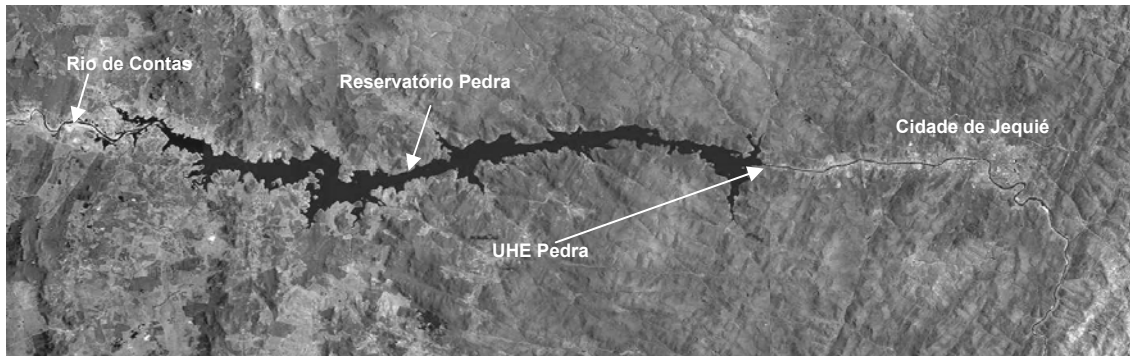


Figura 2 - Imagem de satélite do reservatório de Pedra, localizado a montante da cidade de Jequié (BA). Fonte: CD Brasil / EMBRAPA.

Obs. UHE – Usina Hidroelétrica

2. Estações de coleta

As estações de monitoramento limnológico do reservatório, num total de onze (11), foram distribuídas ao longo do eixo central do reservatório e nas reentrâncias

adjacentes à barragem, levando em consideração suas diferentes regiões (superior, média e inferior) (Tabela 1), enquanto que as estações de coleta para a caracterização das reentrâncias e determinação da capacidade de suporte para aqüicultura em tanques-rede, foram definidas previamente através de imagens de satélite, onde foram plotadas nas reentrâncias e em áreas potenciais. Posteriormente, estas foram georreferenciadas durante o período de coleta em campo, empregando-se um aparelho portátil de posicionamento global (GPS), marca GARMIN, modelo 12, para minimizar as distorções entre a imagem de satélite e o que realmente encontra-se na região, pois, a relação entre o volume do reservatório e as profundidades das reentrâncias pode diferir em função da data da obtenção da imagem. Foi identificado um total de 93 (noventa e três) estações, localizadas nas reentrâncias com potencial de implantação de tanques-rede, cujas coordenadas planas e profundidade constam da Tabela 2. Toda esta área corresponde às porções superior, média e inferior do reservatório, as quais caracterizam-se, respectivamente, como região lótica, de transição e lêntica, cuja variação de nível da água e profundidades são compatíveis com a formação de reentrâncias permanentes e a instalação de áreas de cultivo em tanques-rede.

Tabela 1 – Coordenadas planas (UTM) das estações de amostragem para o monitoramento do reservatório de Pedra. (Datum: Córrego Alegre)

Estação	Coord. Este	Coord. Norte
PED 01	324392	8467814
PED 02	328232	8466461
PED 03	334981	8464169
PED 04	341266	8465781
PED 05	346041	8467235
PED 06	351176	8468069
PED 07	354757	8468650
PED 08	359400	8468318
PED 09	365389	8466564
PED 10	364392	8464496
PED 11	366254	8468575

Obs. PED - Pedra

Tabela 2 – Coordenadas planas (UTM) e profundidades das estações de amostragem das reentrâncias do reservatório de Pedra. (Datum: Córrego Alegre)

Estação	Coord. Este	Coord. Norte	Zona	Profundidade (m)	Data
ZP 01	339526	8464174	24 L	8,00	23/1/2006
ZP 02	339925	8464884	24 L	4,50	23/1/2006
ZP 03	338641	8465477	24 L	7,50	23/1/2006
ZP 04	338130	8465895	24 L	4,80	23/1/2006
ZP 05	338274	8465662	24 L	14,00	23/1/2006
ZP 06	338608	8464386	24 L	9,50	23/1/2006
ZP 07	338062	8463434	24 L	4,50	23/1/2006
ZP 08	338054	8463063	24 L	7,00	23/1/2006
ZP 09	337659	8463475	24 L	15,00	23/1/2006
ZP 10	336827	8461938	24 L	2,80	23/1/2006
ZP 11	336741	8462523	24 L	5,30	23/1/2006
ZP 12	337305	8462836	24 L	10,50	23/1/2006
ZP 13	337163	8463400	24 L	18,00	23/1/2006
ZP 14	337435	8465579	24 L	4,00	23/1/2006
ZP 15	336621	8465499	24 L	4,00	23/1/2006
ZP 16	333419	8462087	24 L	6,00	23/1/2006
ZP 17	332995	8462114	24 L	3,80	23/1/2006
ZP 18	333354	8463332	24 L	4,80	23/1/2006
ZP 19	333257	8464442	24 L	4,30	23/1/2006
ZP 20	333619	8464023	24 L	9,50	23/1/2006
ZP 21	333752	8465328	24 L	4,00	23/1/2006
ZP 22	325142	8466421	24 L	5,00	24/1/2006
ZP 23	324828	8465524	24 L	4,50	24/1/2006
ZP 24	325296	8465694	24 L	7,00	24/1/2006
ZP 25	325311	8464695	24 L	3,00	24/1/2006
ZP 26	325624	8465104	24 L	6,50	24/1/2006
ZP 27	326321	8465628	24 L	3,00	24/1/2006
ZP 28	328153	8465268	24 L	5,00	24/1/2006
ZP 29	329416	8465109	24 L	2,20	24/1/2006
ZP 30	330072	8464830	24 L	6,00	24/1/2006
ZP 31	330637	8465560	24 L	4,00	24/1/2006
ZP 32	332984	8465460	24 L	6,20	24/1/2006
ZP 33	333399	8465721	24 L	7,00	24/1/2006
ZP 34	335189	8466772	24 L	6,50	24/1/2006
ZP 35	334529	8466948	24 L	6,00	24/1/2006
ZP 36	333637	8467540	24 L	6,00	24/1/2006
ZP 37	333418	8467042	24 L	8,00	24/1/2006
ZP 38	331893	8466544	24 L	4,50	24/1/2006
ZP 38 A	330927	8466393	24 L	7,50	24/1/2006
ZP 39	329494	8466554	24 L	4,50	24/1/2006
ZP 39 A	328616	8466498	24 L	6,00	24/1/2006
ZP 39 B	328119	8466625	24 L	10,00	24/1/2006
ZP 40	326915	8467194	24 L	4,00	24/1/2006
ZP 41	326487	8466738	24 L	4,30	24/1/2006
ZP 42	364212	8462755	24 L	10,00	15/2/2006
ZP 43	364245	8463825	24 L	13,00	15/2/2006
ZP 44	364392	8464496	24 L	19,00	15/2/2006
ZP 45	365394	8465220	24 L	14,00	15/2/2006

Tabela 2 (continuação) – Coordenadas planas (UTM) e profundidades das estações de amostragem das reentrâncias do reservatório de Pedra. (Datum: Córrego Alegre)

Estação	Coord. Este	Coord. Norte	Zona	Profundidade (m)	Data
ZP 46	361983	8467008	24 L	8,00	15/2/2006
ZP 47	361564	8467579	24 L	13,00	15/2/2006
ZP 48	361158	8467452	24 L	13,00	15/2/2006
ZP 49	360560	8467531	24 L	10,00	15/2/2006
ZP 50	359666	8467437	24 L	10,00	15/2/2006
ZP 51	359799	8467805	24 L	22,00	15/2/2006
ZP 52	359233	8468040	24 L	13,00	15/2/2006
ZP 53	358835	8468048	24 L	15,00	15/2/2006
ZP 54	358247	8468116	24 L	7,50	15/2/2006
ZP 55	357388	8467806	24 L	8,00	15/2/2006
ZP 56	357395	8468096	24 L	19,50	15/2/2006
ZP 57	355249	8467833	24 L	7,00	15/2/2006
ZP 58	354886	8467887	24 L	12,00	15/2/2006
ZP 59	353755	8466949	24 L	6,00	16/2/2006
ZP 60	353407	8467346	24 L	11,00	16/2/2006
ZP 61	352843	8467313	24 L	5,50	16/2/2006
ZP 62	351204	8467435	24 L	7,00	16/2/2006
ZP 63	350107	8467597	24 L	14,00	16/2/2006
ZP 64	349562	8467391	24 L	9,00	16/2/2006
ZP 65	348926	8467174	24 L	8,20	16/2/2006
ZP 66	348332	8467161	24 L	11,00	16/2/2006
ZP 67	347275	8466621	24 L	5,00	16/2/2006
ZP 68	346878	8466524	24 L	5,00	16/2/2006
ZP 69	345700	8464369	24 L	4,50	16/2/2006
ZP 70	345288	8464946	24 L	12,00	16/2/2006
ZP 71	344720	8465548	24 L	9,00	16/2/2006
ZP 72	341692	8465193	24 L	4,20	16/2/2006
ZP 73	340918	8466143	24 L	5,50	16/2/2006
ZP 74	342359	8466707	24 L	6,50	16/2/2006
ZP 75	342859	8466675	24 L	8,00	16/2/2006
ZP 76	342864	8468424	24 L	4,50	16/2/2006
ZP 77	343075	8468093	24 L	8,00	16/2/2006
ZP 78	343584	8467703	24 L	12,00	16/2/2006
ZP 79	348122	8468388	24 L	6,00	16/2/2006
ZP 80	350952	8469007	24 L	8,00	16/2/2006
ZP 81	352821	8469159	24 L	10,00	16/2/2006
ZP 82	357159	8469691	24 L	12,50	17/2/2006
ZP 83	357932	8469279	24 L	19,50	17/2/2006
ZP 84	358596	8469128	24 L	7,50	17/2/2006
ZP 85	359543	8468455	24 L	8,00	17/2/2006
ZP 86	359843	8468451	24 L	9,00	17/2/2006
ZP 87	362140	8468046	24 L	6,50	17/2/2006
ZP 88	364298	8467522	24 L	22,00	17/2/2006
ZP 89	364905	8467250	24 L	8,50	17/2/2006
ZP 90	365521	8468776	24 L	4,50	17/2/2006
ZP 91	365653	8468202	24 L	17,50	17/2/2006
ZP 92	365940	8467592	24 L	27,00	17/2/2006
ZP 93	366254	8468575	24 L	12,00	17/2/2006

4.3 Período de coleta

As coletas para o monitoramento limnológico do reservatório foram realizadas nos meses de novembro/2005, fevereiro, maio e agosto/2006, enquanto que para a caracterização limnológica das áreas de reentrâncias e determinação da capacidade de suporte foram realizadas nos períodos de 23 e 24 de janeiro e de 15 a 17 de fevereiro de 2006.

4.4 Metodologia de coleta

Amostras de água para determinação das variáveis físicas, químicas e biológicas foram coletadas com uma garrafa Van Dorn, na superfície, devidamente preservadas e analisadas no Laboratório de Limnologia, do Departamento de Pesca e Aqüicultura (DEPAq)/UFRPE, em Recife (PE).

4.5 Determinação de variáveis *in situ*

As variáveis de temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, salinidade e sólidos totais em suspensão da água foram determinados, mediante o uso de um medidor multiparâmetro YSI-556.

A transparência da água foi estimada através da leitura da profundidade média de extinção de disco de Secchi (Z_{ds}), medida à sombra. Enquanto que a radiação solar subaquática foi determinada por leitura direta através de um quantômetro LI-COR 250, a qual foi empregada para a determinação da profundidade da zona eufótica (Z_e), expressa como aquela correspondente a 1% da radiação sub-superficial (I_0).

4.6 Determinação de variáveis em laboratório

4.6.1 Análises físicas e químicas

A concentração de nitrato e nitrito foi determinada segundo Mackereth et al. (1978), e de nitrogênio amoniacal total, segundo Koroleff (1976). O fósforo e fosfato total e o fosfato inorgânico dissolvido foram determinados segundo Strickland & Parsons (1965). O material em suspensão foi analisado pelo método gravimétrico (APHA, 1996), determinando-se a concentração de sólidos totais e frações orgânica e inorgânica.

A turbidez foi analisada através de turbidímetro de bancada OBERCO-HELLIGE modelo 966.

4.6.2 Análises biológicas

Clorofila-a

A concentração de clorofila-a foi determinada através do método proposto por Nusch (1980), empregando-se membrana filtrante HAWP da Millipore™ para filtração das amostras de água e posterior extração com etanol.

4.7 Índice de Estado Trófico (IET)

O Índice de Estado Trófico (IET) tem por finalidade classificar corpos de água em diferentes graus de trofia, ou seja, avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento do fitoplâncton e das macrófitas aquáticas.

Para os cálculos do Índice de Estado Trófico, foram utilizados os índices de Carlson e Carlson Modificado, descritos por Mercante & Tucci-Moura (1999) que, através de método estatístico baseado em regressão linear, alterou as expressões originais para adequá-las a ambientes subtropicais.

Equações para o cálculo do Índice de Carlson (1977):

$$\text{IET (DS)} = 10 \left(6 - \frac{\ln \text{DS}}{\ln 2} \right) \quad \text{IET (CHL)} = 10 \left(6 - \frac{2,04 - 0,68 \ln \text{CHL}}{\ln 2} \right)$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \left[\frac{6 - \ln 48 / \text{PT}}{\ln 2} \right], \text{ sendo:}$$

IET (DS) = índice de estado trófico para a transparência de Secchi;

IET (CHL) = índice de estado trófico para a concentração de clorofila-a; e

IET (PT) = índice de estado trófico para a concentração de fósforo total.

Foram utilizados os limites de Kratzer & Brezonick (1981) para a classificação, sendo:

Ultra-oligotrófico	< 20
Oligotrófico	2-40
Mesotrófico	41-50
Eutrófico	51-60
Hipereutrófico	> 61

No índice de Carlson (1977) modificado utilizaram-se quatro avaliações de estado trófico em função dos valores obtidos para as variáveis de transparência (disco de Secchi) (1), fósforo total (2), fosfato inorgânico dissolvido (3) e clorofila-a, cujas expressões são dadas, respectivamente, pelas equações:

$$\text{IET(S)}=10 \times \{6 - [(0,64 + \ln S) / \ln 2]\} \quad (1)$$

$$\text{IET(P)}=10 \times \{6 - [\ln (80,32 / P) / \ln 2]\} \quad (2)$$

$$\text{IET(PO}_4\text{)}=10 \times \{6 - [\ln (21,67 / \text{PO}_4) / \ln 2]\} \quad (3)$$

$$\text{IET(CL)}=10 \times \{6 - [(2,04 - 0,695 \ln \text{CL}) / \ln 2]\} \quad (4)$$

De acordo com Toledo et al. (1983), a profundidade do disco de Secchi é muito afetada pela elevada turbidez dos reservatórios na maior parte do ano. Assim, para controlar tal problema, estes autores sugerem ponderar o IET médio, de forma a dar menor peso à variável transparência da água, da seguinte forma:

$$\text{IET (médio)} = \text{IET(S)} + 2[\text{IET(P)} + \text{IET(PO}_4\text{)} + \text{IET (CL)}] / 7 \quad (5)$$

A partir do IET médio obtido pela equação 5, o critério de classificação adotado foi:

Oligotrófico se: $\text{IET} \leq 44$

Mesotrófico se: $44 < \text{IET} < 54$

Eutrófico se: $\text{IET} \geq 54$

Devido à variabilidade sazonal dos processos ambientais que tem influência sobre o grau de eutrofização de um reservatório, esses processos podem apresentar variações no decorrer do ano, havendo épocas em que se desenvolve de forma mais intensa e outras em que pode ser mais limitado.

4.8 Estimativa da capacidade de suporte

A estimativa da capacidade de suporte do reservatório de Pedra foi efetuada empregando o método desenvolvido por Dillon & Rigler (1974). O modelo proposto por estes autores baseia-se em características do reservatório e pressupõe algumas premissas relativas à dinâmica do fósforo no meio. O seu desenvolvimento é melhor entendido a partir de diferentes etapas de cálculo e respectivas considerações, apresentadas a seguir, conforme constante de Beveridge (1991).

Etapa 1

Medir a concentração total de fósforo (**P_{total}**) em equilíbrio. Considerar a concentração média anual da concentração de **P_{total}** de águas superficiais, baseado numa série de amostras ao longo do ano. Foram empregados os valores relativos às áreas caracterizadas no presente estudo, os quais foram comparados com os dados disponíveis de monitoramentos limnológicos anteriores, de modo a inferir acerca da representação temporal dos mesmos.

Etapa 2

A capacidade do corpo d'água para o cultivo intensivo em gaiolas é a diferença **ΔP_{tot}** entre **P_{tot in}** antes da exploração e o nível desejável/aceitável **P_{tot fin}** uma vez instalado o cultivo. Assim,

$$\Delta P_{tot} = P_{tot\ fin} - P_{tot\ in}$$

ΔP_{tot} está relacionado à carga de fósforo originada nas gaiolas - **P_{peixe}**, ao tamanho do corpo d'água - **A**, à sua vazão e à capacidade do corpo d'água de absorver a carga (ou seja, a fração de **P_{peixe}** retida nos sedimentos).

$$\Delta P_{tot} = P_{peixe} (1 - R_{peixe}) / \dot{z}$$

$$P_{peixe} = \Delta P_{tot} \dot{z} / (1 - R_{peixe})$$

A alteração aceitável/desejável de P_{tot} , ΔP_{tot} (mg m^{-3} ou $\mu\text{g l}^{-1}$), é determinada conforme especificado acima e \dot{z} pode ser calculado a partir de dados hidrográficos da literatura ou coletados em campo, onde $\dot{z} = V/A$, sendo V = volume do corpo d'água (m^3) e A = área superficial (m^2). A taxa de fluxo, ρ (ano^{-1}), é igual a Q_0/V , onde Q_0 é o volume total médio que flui do lago/reservatório por ano. Q_0 foi calculado a partir das medidas diretas de vazão defluente

No cálculo, foram considerados os valores de volume, defluência e área, fornecidos pela CHESF/DORH, relativos ao período de novembro/2005 a agosto/2006.

R_{peixe} é o parâmetro mais difícil de estimar. Usando os argumentos propostos por Phillips et al. (1985), pelo menos 45-55% dos resíduos de P_{total} do cultivo de truta em tanques-rede é provável de ser permanentemente perdido para os sedimentos, como resultado da deposição de sólidos (fezes e ração), e assim apenas 45-55% da carga de P_{total} estão na forma de P dissolvido. Na ausência de outros dados, estes valores foram usados para o cultivo de tilápia. Uma fração do P dissolvido também é perdida para os sedimentos. Os valores de R_{peixe} são, portanto, muito maiores que R para cargas convencionais de P, e pode ser resumido como:

$R_{peixe} = x + [(1 - x) R]$, onde x = a proporção líquida de P_{total} permanentemente perdida para os sedimentos como resultado da deposição de sólidos (isto é, 0,45-0,55), e R = proporção de P_{total} dissolvido perdido para os

sedimentos foi calculado a partir da equação: $R = 1/(1 + 0,614 \rho^{0,491})$, constante em Beveridge (1991).

O tempo de resposta de um corpo d'água ao incremento das cargas de fósforo é uma função não-linear do tempo de residência da água (**Tw**) e profundidade média (**z**).

Etapa 3

Uma vez tendo sido calculada a carga permissível/aceitável de **Ptot**, **Rpeixe**, então a produção intensiva de peixe em tanques-rede (ton/ano) foi estimada dividindo-se **Ppeixe** pela carga média de resíduos de **Ptot** por tonelada de peixe produzido. Neste cálculo, foram considerados os níveis médios de fósforo encontrados nas rações brasileiras, conforme analisado por Kubitzka (1999).

Em seguida, foi estimada a área de influência de cada empreendimento, considerando o impacto produzido pelo mesmo, bem como a capacidade de suporte das diversas áreas de reentrâncias, consideradas adequadas para a implantação de tanques-rede. Estas estimativas basearam-se nos seguintes critérios: a) tempo de assimilação do fósforo na coluna d'água calculado em 5, 10 e 15 dias; b) profundidade média de cada meandro, c) um acréscimo permissível de $5 \mu\text{g.L}^{-1}$ de fósforo lançado na água; d) uma carga de 18,2 kg de fósforo lançado na água por tonelada de tilápia produzida; e e) um período de cultivo de 180 dias e dois ciclos de produção por ano. O valor de 18,2 kg P/ton de tilápia produzida corresponde ao valor médio estimado por Kubitzka (1999) para as rações comerciais por ele analisadas.

A equação usada no cálculo dos valores da capacidade de suporte nos meandros selecionados foi a seguinte: $CS = (\text{ÁREA} \times B \times 2F \times 10.000 \times 365) \div [(C \times 1.000) \times (1 + G) \times 1.000]$; onde: CS. - Capacidade de suporte; ÁREA. - Área em ha dos meandros selecionados para implantação de tanques-rede; B. - Profundidade média do meandro; F. - Limite máximo de P adicional na água = $5 \mu\text{g.L}^{-1}$; C. - Quantidade de P lançada no ambiente por tonelada de tilápia produzida = 18,2 kg; G. - Tempo de desaparecimento do P (5, 10 e 15 dias).

4.9 Cálculo de área de reentrâncias

As áreas das reentrâncias do reservatório de Pedra foram calculadas com o uso do aplicativo X-Tools do Arc View 3.2 da Esri. Após transformação das polilinhas em polígonos, realizou-se o cálculo das áreas através da ferramenta pela contagem de “pixels” da feição em questão, que apresenta correlação direta com a escala utilizada na “view” para a área de estudo, fornecendo automaticamente os resultados nas unidades desejadas.

4.10 Análise Estatística

No processamento dos dados ambientais levantados foram empregados os seguintes aplicativos: na compilação dos resultados de medições e análises e estatística descritiva – aplicativo “Excel” da “Microsoft”; e no tratamento estatístico dos dados – aplicativos “STATISTICA for Windows (v.7.0)” da “StatSoft”. Os procedimentos estatísticos serão aqueles constantes de Zar (1996).

Acta Limnologica Brasiliensia

Instruções aos Autores

Manuscritos submetidos à ACTA LIMNOLOGICA BRASILIENSIA deverão ser originais e não estar sendo considerados para publicação em outra revista. O original mais duas cópias completas do manuscrito, incluindo tabelas e figuras deverão ser enviadas ao Editor Chefe. Os manuscritos deverão ser submetidos em inglês e um resumo em português precisa ser incluído. Para os autores que não tem o inglês como língua nativa, é fortemente recomendado ter o seu manuscrito checado por um colega fluente em inglês antes da submissão. Os manuscritos precisam ser digitados em papel A4, 17x23cm, espaço duplo com margens amplas e impressos em um só lado. Após a análise por dois assessores científicos e, em caso de aceitação, uma versão eletrônica (em Word for Windows) em disquete deverá ser enviada.

Texto: A seguinte ordem precisa ser utilizada. Primeira página: título (em negrito), autores, endereços (incluindo endereços de e-mail). Todos os autores precisam ser identificados por um número sobrescrito. Segunda página: Resumo (em Inglês e português) e palavras-chave. A partir da terceira página: texto do artigo (introdução, metodologia, resultados, discussão, agradecimentos e referências).

Resumo: Um resumo conciso (250-300 palavras) deverá incluir os objetivos, métodos, resultados principais e conclusões. quatro ou cinco palavras-chave deverão ser incluídas. No início do resumo repetir o título (em negrito). O mesmo deve ser feito para o resumo em português.

Tabelas e Figuras: as tabelas deverão ser numeradas consecutivamente com a numeração romana. Cada tabela deverá ser digitada em folhas separadas (no disquete utilizando a extensão doc. de Word for Windows, separado do texto). Figuras deverão ser numeradas consecutivamente utilizando a numeração arábica e digitadas em folhas separadas (utilizando a extensão JPEG em um disquete separado). Fotografias (em preto e branco e colorida) podem ser utilizadas mas, estarão sujeitas ao pagamento de taxas. Tabelas e figuras precisam ser mencionadas no texto em uma forma abreviada (p. ex. Tab. IV; Fig. 6).

Referências: Citações no texto deverão ser nos seguintes formatos: único autor (Silva, 1989); dois autores (Silva & Cardoso, 1994); três ou mais autores (Silva et al., 1998); duas citações (Silva, 1994; Cardoso, 1998); um autor e duas ou mais publicações (Silva, 1994; 1998); um autor e duas ou mais publicações em um ano (Silva, 1994a; 1994b); autores diferentes com o sobrenome semelhante (Silva, L., 1989; Silva, J., 1994). A lista de referências deverão ser arranjadas alfabeticamente a partir do sobrenome do primeiro autor. Os seguintes formatos deverão ser utilizados:

Jornal:

Carlson, R.E. 1977. trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 22:361-364;

Bigarella, J.J., Andrade-Lima, D. & Richs, P.J. 1975. Considerações a respeito das mudanças paleoambientais na distribuição de algumas espécies vegetais e animais no Brasil. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 44:411-464.

Capítulos ou Seção em Livro:

Descy, J.P. 1976. Utilisation des algues benthiques de la qualité des eaux courantes. In: Pesson, P. (ed.) *La pollution des eaux continentales. Incidence sur les biocénoses aquatiques*. Boras et Gauthier – Villars, Paris. p.75-105

Livro:

Esteves, F.A. 1988. *Fundamentos de Limnologia*. Interciência – FINEP, Rio de Janeiro. 545p.

Tese:

Marinho, M.M. 1994. Dinâmica da comunidade fitoplanctônica de um pequeno reservatório raso densamente colonizado por macrófitas aquáticas submersas (açude do Jacaré, Moji-Guaçu, São Paulo, Brasil). São Paulo, USP, 150p (Master Thesis).

Separatas: Uma cópia suplementar da edição e trinta separatas serão enviadas ao primeiro autor do artigo. Caso a Sociedade Brasileira de Limnologia não tenha recursos disponíveis para a publicação, um pagamento do custo da página será cobrado dos autores do artigo.



INSTRUCTIONS TO THE AUTHORS

ISSN 1415-4366 *printed*
version
ISSN 1807-1929 *online*
version

- [Purpose and editorial policy](#)
- [Format and preparation of manuscripts](#)
- [Presentation sequence and structure of the article](#)
- [Preparation of the text](#)
- [Citations in the text](#)
- [References](#)
- [Submission of manuscripts](#)

Purpose and editorial policy

The **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering** is published by the Department of Agricultural Engineering (DEAg) of the Federal University of Campina Grande (UFCG) with the objective of publishing technical and scientific papers, aimed at the scientific advancement of different aspects of agricultural and environmental engineering. The areas contemplated are: Irrigation and Drainage; Agriculture Meteorology and Climatology; Soil and Water Management; Rural Construction; Storage and Processing of Agricultural Products; Environmental Control and Management; Automation and Instrumentation; Energy in Agriculture; and Agricultural Machines. The papers submitted should be original and unpublished, its simultaneous submission to other periodicals being prohibited. Short Notes, Literature Reviews and Letters to the Editor can also be submitted. The reproduction of the articles is permitted if the source is explicitly cited.

Format and preparation of manuscripts

Language: English, Portuguese or Spanish

Text Processor: Word for Windows

Spacing in the Text: Double-spacing between the title, authors names, resume and abstract; single spacing between items and sub-items; and within the text 1,5 spacing. Paragraph indent: 0,5 cm.

Paper: A4, vertical, 2,5 cm upper and lower margins, and 3.0 cm left and right margins.

Units and Dimensions: Should be expressed in SI (International System) units and the Scientific terminology should follow the

international conventions of each area that is being dealt with.

Font: Times New Roman, size 12. No words in the text should be bold.

Number of pages: Maximum 20 pages including illustrations and pages not numbered.

Presentation sequence and article structure

As far as possible, the article should be organized in the following format:

- a.** Title of the article should be restricted to 15 words. Only the first letter of the first word should be a capital letter.
- b.** Name(s) of the author(s): Should be complete and separated by comma and only the first letter of the name and family names should be in capital letters. The last author's name should be separated by the symbol &. Reference mark should be placed at the end of the last name of each author to indicate immediately below, the institutional address including the telephone and e-mail. The authors belonging to the same institution should be referenced by the same mark. The name and address of the corresponding author should be in bold letters. At the end of the name of the corresponding author his photograph should be affixed.
- c.** Abstract: Maximum 15 lines.
- d.** Key words: Minimum 3 and maximum 5 words which are not contained in the title.
- e.** Title in Portuguese: Same as in (a).
- f.** Abstract or "Resumo" in Portuguese: Should be an exact translation of the abstract.
- g.** Key words: Same as in (d), but in Portuguese.
- h.** Introduction: Emphasize the relevance of the article and include the literature review.
- i.** Material and Methods: Should contain all the necessary information, which can make the repetition of the work possible by other researchers.

j. Results and Discussion: The results obtained should be discussed and interpreted in the light of the existing literature.

k. Conclusions: Should be numbered and brief, without comments and additional explanations, based on the results presented.

l. Acknowledgements (optional)

m. References

Observation: When the article is written in English, firstly, the title, abstract and key words are presented in English and after that they should also be presented in Portuguese arranged in the same sequence. If the article is written in Spanish, firstly, the title, abstract and key words are presented in Spanish and after that they should also be presented in English arranged in the same sequence.

Text edition

a. All the items should be in capital letters, in bold type and centered, except "Resumo", Abstract and Key Words, which should be aligned to the left and only the first letter should be capital. The sub-items should be aligned to the left, in bold type and only the first letter is to be capital.

b. Tables and figures (graphs, maps, images, photographs, designs, etc.) should be presented in widths of 9 or 18 cm, with text in font Times New Roman, size 9, inserted right-below the paragraph where it was cited for the first time. There should be no vertical lines and the horizontal lines should be kept to a minimum. The figures should not have borders and its curves (in the case of graphs) should have a thickness of 0,5 pt, and markers identified in the legend should be used to distinguish between them. For the use of colored figures, images, etc., there will be an additional cost for the author(s). The figures should not have the same data contained in the tables to avoid redundancy. Photographs or other types of figures should be scanned with 300 dpi and inserted in the text. Tables and figures which are possessing practically the same title should be grouped into one, creating an indicator which can distinguish the components.

Citation in the text

- a.** Where the citation contains only one author: Folegatti (1997) or (Folegatti, 1997)
- b.** Case of two authors: Frizzone & Saad (1997) or (Frizzone & Saad, 1997)
- c.** More than two authors: Botrei et al. (1997) ou (Botrei et al., 1997)

References

The references cited in the text should be placed in alphabetical order by the last name of the first author and in the increasing chronological order according as the following examples:

Books

Iribarne, J.V. Atmospheric Thermodynamics. 1. ed. Holland. Reidel Publishing Company. 1973. 259p.

Book chapters:

Author(s) of the chapter. Title of the chapter. Editor(s) name(s) (eds.).
Title of the Book. City: publisher, Year. Cap. X., p. xxx-xxx.

Journals:

Author(s). title of the article. Name of the published. City. V., n., p.-...., year.

Dissertation/Thesis:

Author. Title of the Dissertation/Thesis. City: University, year. ...p. Dissertation/Thesis.

Papers presented in congresses (Annals, Resumes, proceedings, CD ROMS, etc)

Author(s). Title. In: Compresses ..., X, year, , city, Resumes/proceedings/.../, city: publisher, year, p.

WWW (World Wide Web) and FTP (File Transfer Protocol)

Author(s). Title. <http://www.>
Date (day/month/years)

Submission of manuscripts

There is a fee of R\$70,00 (US\$ 25) per article submitted. The articles should be submitted in three copies and also in a diskette or CD ROM along with a photograph (3x4cm) of the corresponding author (or file in JPG with good resolution), along with the payment or proof of it and should be sent to the [following address](#).

[\[Home\]](#) [\[About the journal\]](#) [\[Editorial board\]](#) [\[Subscription\]](#)

© 2007 Departamento de Engenharia Agrícola - UFCG/CNPq

Av. Aprígio Veloso 882, Bodocongó, Bloco CM
Caixa Postal 10078
58109-970 Campina Grande PB Brasil
Tel.: +55 83 310-1056
Fax: +55 83 310-1185



agriambi@agriambi.com.br

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)