

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AQUICULTURA**

**INFLUÊNCIA DO CULTIVO DE *Brycon orbignyanus* EM TANQUES-REDE
SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DA USINA
HIDROELÉTRICA MACHADINHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Aqüicultura do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Aqüicultura.

Orientador: Prof. Dr. Alex Pires de Oliveira
Nuñez

FERNANDA FRANCIELE BROL

FLORIANÓPOLIS - SC

2006

Brol, Fernanda Franciele

Influência do cultivo de *Brycon orbignyanus* em tanques-rede sobre a qualidade da água do reservatório da Usina Hidroelétrica Machadinho - Florianópolis - 2006.

f. 47. grafs., tabs.

Orientador: Alex Pires de Oliveira Nuñez

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina/Centro de Ciências Agrárias.

Bibliografia: f. 47 p.

1. Tanques-rede; 2. Impacto Ambiental; 3. UHE Machadinho; 4. *Brycon orbignyanus*; 5. Rio Uruguai.

Influência do cultivo de *Brycon orbignyanus* em tanques-rede sobre a qualidade da água do reservatório da usina hidroelétrica Machadinho

Por

Fernanda Franciele Broll

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM AQUICULTURA

e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Aqüicultura.

Profa. Débora Machado Fracalossi, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Dr. Alex Pires de Oliveira Nuñez - *Orientador*

Dr. Evoy Zaniboni Filho

Dra. Lúcia Helena Sipaúba Tavares

Dedico

A todos que estiveram presentes em minha vida durante estes anos de mestrado e que contribuíram de alguma forma na realização deste trabalho, em especial a minha família e ao meu noivo Luis Fernando pelo apoio total e incondicional.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Alex pelos valiosos ensinamentos, apoio e amizade;

Ao LAPAD, pelo apoio concedido;

A CAPES pela bolsa de pós-graduação e a Tractebel pelo incentivo financeiro ao projeto;

A todos os colegas do mestrado pelo ótimo convívio;

A todos os companheiros do LAPAD: Marcos, Samira, Renata, David, Samara, Jackson Schutz, Jackson Rebello, Maurício, Ronaldo da Silva, Pedrão, Graziella, Maude, Flávio, Lauro, Evaristo, Josiane, Fanny, Daniele, Michele, Lucas, Everton, Fernanda Freitas, Giovani, Franciele, Marina, Ronaldo Lima e Neiva pela ajuda e pelos agradáveis momentos;

Aos meus pais Getúlio e Jandira Brol, meu irmão Assis Fernando, minha cunhada Daniele e minha querida sobrinha Amanda por estarem sempre presentes;

Aos meus “segundos pais” Olarci e Juraci Beux, minha cunhadinha Juliana e a vovó Nadir;

Aos grandes amigos Graciéle e André Casagrande por serem tão especiais em minha vida;

A minha amiga Claudinha pela valiosa ajuda nas análises laboratoriais e pela amizade;

A Ednilson Copini e Ivete Garcia de Andrade, pelo apoio;

Ao professor Dr. Evoy Zaniboni Filho pela confiança e pelos ensinamentos;

E principalmente ao meu noivo Luis Fernando, pelo carinho, amor e ajuda em todos os momentos deste trabalho e de minha vida.

Enfim, a todos que de alguma forma se fizeram presentes em minha vida.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO	1
A produção aquícola no Brasil e no mundo	1
Criação de peixes em tanques-rede	2
Utilização de reservatórios para cultivo em tanques-rede	4
A piracanjuba (<i>Brycon orbignyanus</i>)	5
Influência do cultivo em tanques-rede na qualidade de água dos reservatórios	6
OBJETIVOS	8
Geral	8
Específicos	8
INFLUÊNCIA DO CULTIVO DE PEIXES EM TANQUES-REDE SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DA USINA HIDROELÉTRICA MACHADINHO – RIO URUGUAI, BRASIL.....	9
Resumo	10
Abstract	10
Introdução	11
Material e Métodos	11
Resultados	14
Discussão	24
Conclusão.....	26
Referências Bibliográficas.....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO	30
ANEXOS	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios (\pm desvio padrão) do pH, temperatura, condutividade elétrica e concentração de oxigênio dissolvido em diferentes pontos e profundidades durante o período experimental. T = Região Central dos Tanques-rede; L = Região Limnética; P = Região Profunda; C = Região Controle.....	15
Tabela 2. Valores médios (\pm desvio padrão) dos parâmetros químicos obtidos nos diferentes pontos amostrais e profundidades durante o período experimental. T = Região Central dos Tanques-rede; L = Região Limnética; P = Região Profunda; C = Região Controle.....	16
Tabela 3. Correlação entre as variáveis físicas e químicas analisadas e os eixos componentes principais das amostras coletadas no reservatório da UHE Machadinho durante o período experimental.....	20
...	
Tabela 4. Cálculo da capacidade de suporte do reservatório da UHE Machadinho para o cultivo intensivo de piracanjuba (<i>Brycon orbignyanus</i>) em toneladas por ano	23

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da Usina Hidroelétrica Machadinho no rio Uruguai.....	12
Figura 2. Localização dos pontos amostrais de coleta de água em relação aos tanques-rede.....	13
Figura 3. Biomassa média (\pm desvio padrão) de <i>Brycon orbignyianus</i> cultivados em tanques-rede no reservatório da UHE Machadinho durante o período experimental.....	14
Figura 4. Variação mensal da transparência da água (metros) durante o período experimental no reservatório da Usina Hidroelétrica Machadinho	15
Figura 5. Variação mensal da densidade de zooplâncton de superfície nos diferentes pontos amostrais do reservatório da UHE Machadinho durante o período experimental.....	17
Figura 6. Plano fatorial 1 - 2 da Análise dos Componentes Principais dos parâmetros físicos e químicos das amostras de superfície no cultivo de <i>Brycon orbignyianus</i> em tanques-rede no reservatório da UHE Machadinho. Período de março a dezembro de 2004 (1 a 10) e janeiro a março de 2005 (11 a 13). Em negrito encontram-se as variáveis explicativas. T = Região Central dos Tanques-rede; L = Região Limnética; P = Região Profunda; C = Região Controle.....	18
Figura 7. Plano fatorial 3 - 4 da Análise dos Componentes Principais dos parâmetros físicos e químicos das amostras de superfície no cultivo de <i>Brycon orbignyianus</i> em tanques-rede no reservatório da UHE Machadinho. Período de março a dezembro de 2004 (1 a 10) e janeiro a março de 2005 (11 a 13). Em negrito encontram-se as variáveis explicativas. T = Região Central dos Tanques-rede; L = Região Limnética; P = Região Profunda; C = Região Controle.....	18
Figura 8. Variação mensal da vazão vertida, vazão turbinada, precipitação acumulada e nível do reservatório da UHE Machadinho durante período experimental.....	19
Figura 9. Variação mensal da concentração de amônia total, fósforo total, nitrito, fosfato reativo e temperatura das amostras de água de superfície do reservatório da UHE Machadinho durante o período experimental.....	19
Figura 10. Plano fatorial 1 - 2 da Análise dos Componentes Principais dos parâmetros físicos e químicos das amostras de fundo no cultivo de <i>Brycon orbignyianus</i> em tanques-rede no reservatório da UHE Machadinho. Período de março a dezembro de 2004 (1 a 10) e janeiro a março de 2005 (11 a 13). Em negrito encontram-se as variáveis explicativas. T = Região Central dos Tanques-rede; L = Região Limnética; P = Região Profunda; C = Região Controle.....	21
Figura 11. Plano fatorial 3 - 4 da Análise dos Componentes Principais dos parâmetros físicos e químicos das amostras de fundo no cultivo de <i>Brycon orbignyianus</i> em tanques-rede no reservatório da UHE Machadinho. Período de março a dezembro de 2004 (1 a 10) e janeiro a março de 2005 (11 a 13). Em negrito encontram-se as variáveis explicativas. T = Região Central dos Tanques-rede; L = Região Limnética; P = Região Profunda; C = Região Controle.....	21
Figura 12. Variação mensal da concentração de amônia total, fósforo total, oxigênio dissolvido e da temperatura das amostras de água de fundo do reservatório da UHE Machadinho durante o período experimental.....	22

RESUMO

A influência do cultivo de *Brycon orbignyanus* sobre a qualidade de água do reservatório da UHE Machadinho foi avaliada em um cultivo em tanques-rede com biomassa inicial de 283 kg. Para a caracterização do ambiente, variáveis físicas, químicas e a comunidade zooplanctônica foram analisadas em quatro pontos amostrais: no centro dos tanques-redes, a 30 e 80 metros de distância do centro da estrutura de cultivo em direção ao centro do reservatório e em um ponto controle situado próximo à estrutura instalada que não sofreu influência do sistema. Mensalmente a temperatura, a concentração de oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica foram analisados na superfície e no fundo de cada ponto amostral, bem como foram quantificadas as concentrações de nitrogênio, amônia e fósforo total, fósforo total dissolvido, fosfato reativo e nitrito. O cultivo em tanques-rede não alterou de forma significativa os parâmetros físicos, químicos e a comunidade zooplanctônica, porém este resultado provavelmente esteve condicionado aos procedimentos operacionais da usina. Considerando-se que segundo a legislação a concentração de fósforo do reservatório da UHE Machadinho não deve ultrapassar 30 mg/m^3 e que somente 1% da área inundada pode ser utilizada para o cultivo de peixes, estima-se ser possível cultivar 47,2 toneladas de piracanjuba por ano sem que as concentrações de fósforo total ultrapassem o valor permitido.

ABSTRACT

Influence of cage aquaculture on the water quality of Machadinho hydroelectric power plant reservoir

The influence of piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) cage aquaculture on the water quality of Machadinho hydroelectric power plant reservoir was assessed in a cage culture with initial biomass of 283kg. Water physico-chemical variables and the zooplankton community were analyzed at four sampling sites to characterize the environment: in the center of the cages, 30 and 80 m away from the center of the cage towards the center of the reservoir, and a control point near the culture site without its influence. Temperature, dissolved oxygen, pH and electric conductivity were analyzed monthly on the surface and at the bottom of each sampling point, together with the determination of the concentrations of nitrogen, total ammonia and phosphorus, dissolved total phosphorus, reactive phosphate, and nitrite. Cage aquaculture did not alter significantly the water physico-chemical parameters or the zooplankton community. However, this result was conditioned to the operational procedures of the power plant. Considering that according to legislation phosphorus concentration in the reservoir of Machadinho power plant shall not exceed 30 mg/m^3 and that only 1% of the flooded area shall be used for aquaculture, estimation is that 47.2 tons of piracanjuba can be culture annually without exceeding the allowed total phosphorus concentrations.

INTRODUÇÃO

Produção Aqüícola no Brasil e no Mundo

Para satisfazer a demanda por produtos aqüícolas, a aqüicultura tem passado por diversificação no cultivo de espécies e intensificação dos sistemas de produção, tornando-se um importante agronegócio a nível mundial e alcançando sucesso industrial (ALVARADO, 2003; LIN e YI, 2003). Além de ser considerada uma ótima alternativa para diminuir a pressão da pesca sobre os estoques pesqueiros naturais, pode também reduzir os impactos negativos que a exploração pesqueira indiscriminada pode causar nos ecossistemas aquáticos (ROTTA e QUEIROZ, 2003).

Segundo dados da FAO (2004), a produção aqüícola mundial em 2002 foi de 51,4 milhões de toneladas, representando um aumento anual de 6,1% em relação ao ano de 2000. Já a produção brasileira de organismos através da aqüicultura cresceu de 176,5 mil toneladas em 2000 para 246,2 mil toneladas em 2002, um crescimento de 18,1%, a maioria desta produção foi oriunda dos ambientes de água doce (57,7%). É importante salientar que este aumento na produção aqüícola mundial foi ocasionado pelo desenvolvimento de novas tecnologias que propiciaram a criação de novas espécies, a ocupação de novas áreas e também o aumento da produtividade. Outro fator que tem estimulado a produção é a crescente demanda por produtos da aqüicultura em virtude do crescimento da população mundial e da mudança do hábito alimentar, onde cada vez mais as pessoas buscam alimentos saudáveis, com baixo teor de gordura e de fácil digestão (BAILEY, 1997; RIBEIRO et al., 2000; VALENTI et al., 2000).

O Brasil é um dos países que vem ganhando posições no ranking internacional de produtos aqüícolas, com destaque para a região sul, apesar do clima menos favorável que o existente nas demais regiões do país, produziu o equivalente a 49% da produção aqüícola brasileira, com maior participação, a região apresenta elevada produção de organismos de água doce, equivalente a 53% do total produzido no Brasil (BORGHETTI et al., 2003).

Na região sul os primeiros registros sobre a prática da piscicultura são atribuídos ao limnologista Hermann Kleerekoper, em 1942. O pesquisador desenvolveu estudos de reprodução com o peixe-rei na Lagoa dos Quadros com o objetivo de repovoamento. Após longo período sem registros importantes, na década de 70 parecem despertar, simultaneamente, os três estados para a aqüicultura. Como atividade emergente, desconhecida dos produtores, técnicos e universidades da região, a aqüicultura surgia no bojo das medidas, ações, instrumentos e instituições criadas para reforçar e ampliar o papel da agricultura no Brasil (VALENTI et al., 2000).

O Brasil possui mais de 2700 espécies de peixes nativos catalogados (MIRANDA e RIBEIRO, 1997) e uma vasta rede hídrica (LUZ, 2000), porém, a piscicultura brasileira iniciou fundamentada em espécies exóticas (MIRANDA e RIBEIRO, 1997; ZANIBONI FILHO, 2000). Vinte espécies exóticas foram introduzidas e destas, treze apresentaram algum sucesso na piscicultura nacional (TEIXEIRA FILHO, 1991), com destaque para as carpas e tilápias. Estas introduções foram motivadas pela ausência de tecnologia de cultivo de espécies nativas (CYRINO, 1997; MIRANDA e RIBEIRO, 1997; ALVARADO, 2003) e também pelo fato das espécies exóticas já serem cultivadas a muitos anos nos

seus países de origem, de forma que juntamente com sua introdução vieram as técnicas de manejo e produção de alevinos (ZANIBONI FILHO, 2000).

Somente nos últimos anos em aumentando o interesse pelos peixes nativos da região, tais como jundiá (*Rhamdia quelen*), curimba (*Prochilodus lineatus*), piracanjuba (*Brycon orbignyanus*), suruvi (*Steindachneridion scripta*), dourado (*Salminus brasiliensis*) e piava ou piapara (*Leporinus obtusidens*). Estas espécies possuem algumas vantagens em relação às exóticas como adaptação ao clima da região, podendo alimentar-se mesmo nos períodos de baixa temperatura e alto valor comercial devido ao sabor da carne, fazendo parte da pesca regional e do consumo da população (MEURER e ZANIBONI FILHO, 2000).

Devido às vantagens que as espécies nativas apresentam, os problemas relacionados à introdução de espécies exóticas em ambientes naturais e a legislação atual, tem aumentado o interesse pelo desenvolvimento de novas tecnologias que venham garantir o desenvolvimento da atividade em bases sustentáveis com essas espécies.

Criação de Peixes em Tanques-rede

O cultivo de peixes em tanques-rede iniciou há mais de 50 anos, no delta do rio Mekong, na Ásia. As primeiras criações comerciais ocorreram no Japão, em 1961, com espécies marinhas e, já em 1963, foram instalados os primeiros tanques-rede nos lagos Suwa e Kazumigaura, com a criação de carpa comum (VALENTI et al., 2000).

No Brasil a tecnologia de piscicultura em tanques-rede vem sendo amplamente difundida, mostrando-se uma técnica promissora por conciliar o uso sustentável do ambiente com uma alta produtividade oriunda da utilização de altas taxas de estocagem (GOMES et al., 2004).

Diferentemente da piscicultura tradicional em viveiros, que para a sua expansão necessita do uso de novas áreas que envolvem um alto custo e que podem produzir outros usos, a piscicultura em tanques-rede é uma alternativa que apresenta vantagens do ponto de vista técnico, econômico e social (SCHMITTOU, 1969). Dentre estas vantagens destacam-se: viabilização de ambientes para o cultivo intensivo de peixes, onde estão incluídos os reservatórios; menor variação dos parâmetros físico-químicos da água durante a criação; menor investimento inicial; maior facilidade de observação, movimentação, relocação e despesca dos peixes, melhorando o manejo; possibilidade de intensificação da produção; diminuição dos custos com tratamento de doenças; e possibilidade da criação de diferentes espécies no mesmo ambiente (BAO-TONG, 1994; BOZANO e FERRAZ de LIMA, 1994; SCHMITTOU, 1997; SILVA e SIQUEIRA, 1997; BOZANO e CYRINO, 1999). No entanto, assim como todas as técnicas de cultivo, apresenta algumas desvantagens, dentre elas: necessidade de fluxo constante de água através das redes, suficiente para manter um bom nível de oxigênio; dependência total do sistema em rações artificiais completas de qualidade superior; risco de rompimento da tela da gaiola com perda de toda a produção e introdução de peixes no ambiente, prejudicando a população natural (BAO-TONG, 1994; BOZANO e FERRAZ de LIMA, 1994; SCHMITTOU, 1997; SILVA e SIQUEIRA, 1997; BOZANO e CYRINO, 1999).

No que diz respeito à capacidade de suporte, ao desempenho e à sobrevivência obtidos no sistema de criação em tanques-rede, fatores como escolha da espécie, escolha do local, qualidade de água, dimensões do tanque-rede, alimentação e densidade de estocagem são os que mais influenciam o sucesso da criação (BOZANO e CYRINO, 1999; ROCHA, 2001; CONTE, 2002).

Para a escolha da espécie a ser cultivada, uma série de variáveis devem ser consideradas, as quais atuam, tanto de forma isolada como conjunta, com variados graus de importância, como por exemplo, características biológicas, aquícultuais e econômicas (SILVA e SIQUEIRA, 1997). Porém, no cultivo em tanques-rede ainda são necessários estudos que visem o desenvolvimento de técnicas de manejo de recursos pesqueiros, sem colocar em risco a diversidade e a abundância íctica da região. Uma das alternativas é o cultivo de espécies nativas de peixes, que além de permitir um manejo seletivo, evita a introdução de espécies exóticas, que ameacem o equilíbrio ambiental e, conseqüentemente, a produção pesqueira (BARBOSA et al., 2000).

O cultivo em tanques-rede, quando realizado em rios, lagos ou represas apresenta a vantagem da constante troca de água no seu interior, mas a escolha do lugar ideal é imprescindível para uma boa produção. Locais com pequena profundidade, baixa circulação de água, próximos a lançamento de efluentes poluidores são propensos a sofrer com a Síndrome da Baixa de Oxigênio Dissolvido (SBOD) do ambiente e colocar em risco todo o cultivo (mortalidade em massa, surtos de doenças e baixo crescimento) (ZIMMERMANN e WINCKLWE, 1993; ROCHA, 2001). As áreas tecnicamente mais favoráveis à instalação dos tanques-rede são aquelas não muito profundas (geralmente litorâneas), protegidas de ventos e correntes. Esses locais são os de mais fácil acesso por terra e, portanto, sujeitos à ação de vândalos e furtos. Além disso, são os mais afetados pela operação das usinas, especialmente em reservatórios com variação do nível de água.

Outro ponto importante está relacionado ao controle da qualidade da água, sendo este um dos problemas enfrentados pelos aquícultores em toda forma de cultivo. O sucesso na produção de peixes está diretamente relacionado com o monitoramento do ambiente aquático e o posicionamento correto dos tanques-rede nos corpos d'água, uma vez que os peixes confinados nos tanques não tem como se deslocar para locais de melhor qualidade da água (BALLARIN e HALLER, 1982; BEVERIDGE, 1987). Certamente períodos de baixas taxas de crescimento e elevados registros de doenças e parasitas podem ser causados pela má qualidade da água do cultivo (HOLANDA et al., 2000). Dentre as principais variáveis a serem monitoradas estão a temperatura, a turbidez, o pH, as concentrações de oxigênio dissolvido, amônia e nitrito (ZIMMERMANN e WINCKLER, 1993).

Fatores relacionados às estruturas de cultivo como o volume do tanque-rede, devem estar em sintonia com o número de peixes que se deseja cultivar, uma vez que os custos de obtenção e operacionalização do tanque-rede são proporcionais ao seu volume (GOMES et al., 2004). Criações em tanques-rede de volume adequado devem permitir altas densidades de estocagem possibilitando a quebra do status social de dominância e subordinação (ALANÄRÄ e BRÄNNÄS, 1996) relacionado à espécie cultivada, a manutenção de lotes mais homogêneos (TRZEBIATOWSKI et al., 1981; TESKEREDZIC et al., 1986) e, conseqüentemente, o aumento da produtividade (HENGSAWAT et al., 1997).

Como o cultivo em tanques-rede é considerado um sistema intensivo baseado em elevadas taxas de estocagem e utilização de rações de alta conversão alimentar, os peixes são totalmente dependentes do alimento externo e, portanto, a qualidade da ração, a taxa de alimentação e a conversão alimentar são essenciais para que este sistema de criação seja viável economicamente (CONTE, 2002). Além disso, a utilização de rações de boa qualidade diminui a poluição do ambiente, e os riscos de um colapso do sistema. Finalmente, deve-se notar que a conversão alimentar dos peixes varia de acordo com diversos fatores, como por exemplo o sistema de criação utilizado, a qualidade e a forma do alimento, a frequência de alimentação e a forma de distribuição do alimento (BOZANO e CYRINO, 1999).

As densidades nas quais as diferentes espécies podem ser estocadas é um importante fator na determinação do custo de produção em relação ao capital investido. Deve-se esperar que as densidades variem de espécie para espécie. Este fator aliado à idade, tamanho, manejo, condições ambientais e alimentação é crucial para obtenção de bons índices de crescimento e de produtividade máxima (SILVA e SIQUEIRA, 1997).

Uma densidade de estocagem ótima é representada pela maior quantidade de peixes produzida eficientemente por unidade de volume de um tanque-rede. Produção eficiente não significa o peso máximo que pode ser produzido, mas sim a conversão alimentar adequada, num período curto e com peso final aceito pelo mercado consumidor (BOZANO e CYRINO, 1999). O aumento da densidade de estocagem eleva a biomassa total, porém o peso individual tende a diminuir, diminuindo também o valor comercial. Por outro lado, a homogeneidade de peso entre os peixes aumenta à medida que se eleva a densidade de estocagem. A densidade de estocagem depende das condições ambientais, fluxo de água e nível tecnológico empregado na criação (MUTHUKUMARANA e WEERAKOON, 1986; OTUBUSIN et al., 1989; WATANABE et al., 1990). Portanto, é necessário determinar a densidade de estocagem ideal para cada situação a fim de se obter os melhores resultados.

Levando-se em consideração as lacunas existentes no cultivo, estudos que visem gerar informações sobre as técnicas do sistema de criação de peixes em tanques-rede são de fundamental importância para o desenvolvimento de um pacote tecnológico voltado a utilização de espécies nativas da bacia do rio Uruguai.

Utilização de Reservatórios para Cultivo em Tanques-rede

O grande potencial hídrico do território brasileiro, estimado em 5,3 milhões de hectares de lamina d'água represada em grandes reservatórios naturais e artificiais, associado às condições climáticas adequadas e a disponibilidade de rações completas e balanceadas para piscicultura intensiva, permitem uma grande expansão da piscicultura em tanques-rede no país (ZANIBONI FILHO, 1997; CYRINO et al., 1998; CARNEIRO et al., 1999).

Ainda que exista esse grande potencial para utilização de reservatórios de água para produção de pescado, o uso de tanques-rede para criação intensiva de peixes ainda não é uma prática muito utilizada pelos piscicultores. A principal razão para que isto esteja ocorrendo é a

ausência de conhecimentos técnicos e dos impactos ambientais causados por este sistema de cultivo, que dificulta o desenvolvimento racional e econômico da atividade.

Na busca de impulsionar o desenvolvimento dessa atividade, a Secretaria Especial da Aqüicultura e Pesca da Presidência da República juntamente com o Ministério do Meio Ambiente sancionou o Decreto Nº 4.895 e a Instrução Normativa Interministerial nº 6 de 25 de novembro de 2003, que dispõe sobre a autorização do uso de águas públicas para a aqüicultura e estabelece diretrizes para implantação de parques aqüícolas.

Em geral, os problemas operacionais básicos enfrentados com esse tipo de cultivo em reservatórios brasileiros estão associados às variações de nível, especialmente as aleatórias, que podem deixar os tanques fora da água em algumas ocasiões, os ventos fortes e a formação de marolas, que podem danificar as estruturas de cultivo, o domínio tecnológico insuficiente sobre o cultivo de espécies nativas, visto que o uso de espécies exóticas representa ameaças de introduções ilegais e impactos ambientais prováveis (BOZANO e CYRINO, 1999).

Alguns autores têm demonstrado a viabilidade deste sistema de cultivo para espécies nativas como pacu, *Piaractus mesopotamicus* (MEROLA e SOUZA, 1986), piau, *Leporinus friderici* (ZANIBONI FILHO et al., 1993), jundiá *Rhamdia quelen*, (BARCELOS et al., 2004), tambaqui *Colossoma macropomum* (LOPES et al., 2001; GOMES et al., 2004) e pirarucu *Arapaima gigas* (CAVERO et al., 2003).

O Estado de Santa Catarina, que já se destaca no cenário nacional como um dos principais produtores de peixes de água doce em cativeiro, apresentando um incremento na faixa de dez por cento ao ano (ICEPA, 2005), apresenta também condições privilegiadas para o desenvolvimento da piscicultura em tanques-rede. Neste contexto, o reservatório de Machadinho, localizado na bacia do alto rio Uruguai, na divisa dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, apresenta um considerável potencial para produção de peixes neste tipo de sistema, o que tem despertado o interesse do setor produtivo aqüícola da região.

A formação do reservatório de Machadinho transformou um ambiente de águas correntosas, impróprio para o cultivo de peixes em tanques-rede, num local com características ideais para o desenvolvimento dessa modalidade de piscicultura.

De fato, nos últimos anos têm-se observado um crescente interesse pela utilização dos reservatórios de Hidroelétricas para esta atividade, principalmente após a recente regulamentação criada pelo Governo Federal para utilização de águas públicas no país (Decreto nº 4.895). Entretanto, a carência de estudos sobre os reflexos desse sistema de cultivo no ambiente têm gerado conflitos entre o setor privado, as empresas concessionárias de energia elétrica e os órgãos ambientais.

A Piracanjuba (*Brycon orbignyanus*)

A família Characidae é uma das maiores famílias de peixes neotropicais de água doce, representada no Brasil por aproximadamente 142 gêneros, dentre estes o gênero *Brycon* (MENDONÇA, 1994; CECARELLI et al., 2005). A piracanjuba, *Brycon orbignyanus*, é um peixe migratório nativo das bacias formadas pelos rios Uruguai e Paraná (GODOY, 1986).

Espécie abundante em décadas passadas, atualmente sofre drástica redução dos estoques em decorrência do represamento dos rios para construção e operacionalização de hidrelétricas, destruição das matas ciliares e lagoas marginais, poluição e pesca predatória, sendo encontrados poucos exemplares na bacia do rio Uruguai e Paraná (ZANIBONI-FILHO, 1999). É uma das espécies de maior valor comercial do Brasil, bastante conhecida pelas comunidades ribeirinhas e amantes da pesca esportiva, porém não é mais componente da estatística da pesca comercial. Este peixe também é bastante conhecido no mercado pela ótima qualidade de carne e bom rendimento de carcaça (CECARELLI et al., 2005). O fato de estar ameaçada de extinção aliado às boas características zootécnicas tem estimulado esforços para sua criação em cativeiro, seja para fins comerciais ou de repovoamento do ambiente natural.

Apresenta hábito alimentar onívoro, com preferência por frutas e sementes em ambiente natural, porém em ambientes confinados, trabalhos recentes têm demonstrado que essa espécie aceita dietas artificiais com enorme capacidade de digestão e assimilação de proteínas de origem vegetal (CECARELLI et al., 2005), característica importante para sua utilização em sistemas de cultivo. Porém a falta de estudos sobre a criação dessa espécie em viveiros e tanques-rede tem até o momento inviabilizado economicamente seu aproveitamento na piscicultura comercial, de forma que faz-se necessário a realização de trabalhos que venham a contribuir para o desenvolvimento de um pacote tecnológico voltado ao cultivo desta espécie.

Influência do Cultivo em Tanques-rede na Qualidade de Água dos Reservatórios

No cultivo intensivo em tanque-rede caracterizado por apresentar altas densidades de estocagem e taxas de arraçoamento, um elevado volume de fezes é produzido, que juntamente as sobras de ração proporcionam aumento da biomassa de outras espécies de peixes ao seu redor, aumento da concentração de nutrientes e sólidos suspensos na água, redução da concentração de oxigênio dissolvido e do potencial de oxi-redução do sedimento em decorrência do acúmulo de ração depositado nesses ambientes (QUEIROZ, 1998; BORGHETTI e OSTRENSKY, 1999; ROTTA e QUEIROZ, 2003). Estima-se que 10 a 30% do alimento fornecido não seja ingerido pelos peixes (PENCKZAK et al., 1982) e que 25 a 30% do alimento ingerido seja eliminado como matéria fecal (KUBITZA, 1998). Segundo Folke e Kautsky (1992), 13% do nitrogênio e 66 % do fósforo aportados via ração sofrem sedimentação, 25% do nitrogênio e 23% do fósforo são convertidos em biomassa e 62% de nitrogênio e 11% de fósforo ficam dissolvidos na água. Segundo Kibria et al. (1997), a maior porção de fósforo é transferido para o ambiente através das fezes, sendo que o alimento não ingerido pelos peixes é o maior responsável pelo aporte de nitrogênio. Dessa forma, o dimensionamento adequado da produção no qual são estipulados limites máximos de fornecimento de ração por dia, pode minimizar os efeitos poluentes desse sistema de cultivo no ambiente (TAYLOR e BENTZEN 1992; HENRY, 1993).

O acúmulo de matéria orgânica decorrente do arraçoamento e dos metabólitos produzidos pelos peixes nos reservatórios apresenta influência direta sobre a densidade do fitoplâncton e conseqüentemente sobre a turbidez da água (SCHINDLER, 1990; ROTTA e QUEIROZ, 2003). O

aumento da turbidez da água reduz a penetração de luz e limita a profundidade onde ocorre a fotossíntese. A redução da fotossíntese e o acúmulo de matéria orgânica no fundo desses ambientes diminuem a disponibilidade de oxigênio dissolvido (BOYD e TUCKER, 1998; ESTEVES, 1998).

O aumento das concentrações de fósforo e nitrogênio decorrentes da adoção de taxas de alimentação elevadas, associadas a rações de baixa qualidade e conversão alimentar poderão causar um grande acúmulo no fundo, dando origem ao processo de eutrofização evidenciada pelo crescimento excessivo de fitoplâncton, que produz modificações qualitativas e quantitativas nas comunidades aquáticas e nas condições físicas e químicas do meio (ESTEVES, 1988; MARSDEN et al., 1995; BEVERIDGE, 1996; BOYD e TUCKER, 1998; HASEGAWA e OKINO, 2004). Vários estudos foram desenvolvidos para avaliar a influência do cultivo sobre os ambientes onde estes empreendimentos estão inseridos (STIRLING e DEY, 1990; CORNEL e WHORISKEY, 1993; LIN e ZHANG, 1995; COSTA-PIERCE, 1998; ROCHA, 2001; YIYONG et al., 2001; GUO e LI, 2003; MENEZES e BEYRUTH, 2003; HASEGAWA e OKINO, 2004).

Neste sentido, os sistemas de produção normalmente utilizados pela aquicultura, como por exemplo, a produção de peixes em tanques-rede em grandes reservatórios, devem ser gerenciados de acordo com as tendências mundiais que visam sistemas de produção mais competitivos nas dimensões ecológica e sócio econômica. Dessa forma, estudos que avaliem os efeitos do cultivo em tanques-rede na qualidade da água são de fundamental importância para o planejamento e para a execução dos projetos de manejo.

OBJETIVOS

Geral

- Avaliar a influência do cultivo de peixes em tanques-rede na qualidade de água do reservatório da Usina Hidroelétrica Machadinho.

Específicos

- Avaliar a influência do cultivo de “piracanjuba” (*Brycon orbignyanus*) em tanques-rede em relação à variação temporal e espacial dos parâmetros físicos, químicos e da comunidade zooplanctônica nas áreas de influência do cultivo;
- Estimar a biomassa máxima a ser estocada no ambiente visando minimizar o impacto gerado.

O artigo científico apresentado foi redigido de acordo com as normas da Revista Aquaculture, a qual será posteriormente submetido para publicação.

Influência do cultivo de *Brycon orbignyanus* em tanques-rede sobre a qualidade da água do reservatório da Usina Hidroelétrica Machadinho – Rio Uruguai, Brasil

Fernanda Franciele Brol, Alex Pires de Oliveira Nuñez e Evoy Zaniboni Filho

Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce (LAPAD) – Departamento de Aqüicultura – Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal de Santa Catarina, Rodovia SC 406, 3532, Florianópolis, Santa Catarina, CEP 88066-000, Brasil.

Resumo

A influência do cultivo de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) sobre a qualidade de água do reservatório da UHE Machadinho foi avaliada em um cultivo em tanques-rede com biomassa inicial de 283 kg. Para a caracterização do ambiente variáveis físicas, químicas e a comunidade zooplanctônica foram analisadas em quatro pontos amostrais: no centro dos tanques-rede, a 30 e a 80 metros de distância do centro da estrutura de cultivo em direção ao centro do reservatório e em um ponto controle situado próximo à estrutura instalada que não sofreu influência deste. Mensalmente a temperatura, a concentração de oxigênio dissolvido, o pH e a condutividade elétrica foram analisados na superfície e no fundo de cada ponto amostral, bem como foram quantificadas as concentrações de nitrogênio, amônia e fósforo total, fósforo total dissolvido, fosfato reativo e nitrito. O cultivo em tanques-rede não alterou de forma significativa os parâmetros físicos, químicos e a comunidade zooplanctônica, porém este resultado esteve condicionado aos procedimentos operacionais da usina. Considerando-se que segundo a legislação vigente a concentração de fósforo do reservatório da UHE Machadinho não deve ultrapassar 30 mg/m^3 e que somente 1% da área inundada pode ser utilizada para o cultivo de peixes, estima-se ser possível cultivar 47,2 toneladas de piracanjuba por ano sem que as concentrações de fósforo total ultrapassem o valor permitido.

Palavras-chave: Tanques-rede; Impacto Ambiental; UHE Machadinho; *Brycon orbignyanus*; Rio Uruguai.

Abstract

The influence of piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) cage aquaculture on the water quality of Machadinho hydroelectric power plant reservoir was assessed in a cage culture with initial biomass of 283kg. Water physico-chemical variables and the zooplankton community were analyzed at four sampling sites to characterize the environment: in the center of the cages, 30 and 80 m away from the center of the cage towards the center of the reservoir, and a control point near the culture site without its influence. Temperature, dissolved oxygen, pH and electric conductivity were analyzed monthly on the surface and at the bottom of each sampling point, together with the determination of the concentrations of nitrogen, total ammonia and phosphorus, dissolved total phosphorus, reactive phosphate, and nitrite. Cage aquaculture did not alter significantly the water physico-chemical parameters or the zooplankton community. However, this result was conditioned to the operational procedures of the power plant. Considering that according to legislation phosphorus concentration in the reservoir of Machadinho power plant shall not exceed 30 mg/m^3 and that only 1% of the flooded area shall be used for aquaculture, estimation is that 47.2 tons of piracanjuba can be culture annually without exceeding the allowed total phosphorus concentrations.

Keywords: Cage aquaculture; Environmental impact; Machadinho hydroelectric power plant; *Brycon orbignyanus*; Uruguay River.

Introdução

Por empregar um volume considerável de insumos alimentares para a produção de biomassa, o cultivo intensivo em tanques-rede tem como consequência o lançamento de restos de alimentos e metabólitos diretamente no ambiente (CORNEL e WHORISKEY, 1993; BEVERIDGE, 1996; GUO e LI, 2003). Este lançamento é fonte potencial de impacto, que já foi objeto de vários estudos (STIRLING e DEY, 1990; LIN e ZHANG, 1995; COSTA-PIERCE, 1998; YIYONG et al., 2001), porém poucos estudos dessa natureza têm sido realizados no Brasil (ROCHA, 2001; MENEZES e BEYRUTH, 2003; ALVES e BACCARIN, 2005).

Nos grandes reservatórios onde são empregados estes sistemas de produção, a qualidade da água está diretamente relacionada ao consumo de ração pelos peixes cultivados, à taxa de conversão alimentar e ao tempo de retenção da água nesses ambientes (ROTTA e QUEIROZ, 2003). Uma parcela da ração oferecida aos peixes é consumida e transformada em proteína animal, a qual é retirada dos tanques-rede no momento da despesca na forma de carbono, nitrogênio e fósforo, principalmente. A parcela da ração não ingerida pelos peixes, juntamente com a que se perde para o ambiente através da excreção de fezes e metabólitos vão se depositar no fundo, aumentando a concentração de matéria orgânica (BOYD e QUEIROZ, 1997; BOYD e TUCKER, 1998). A sedimentação sucessiva da matéria orgânica pode provocar a formação de uma camada superficial de deposição no sedimento, e através da ação de organismos decompositores os componentes desta camada poderão ser lenta e gradativamente liberados para a coluna d'água (ROCHA, 2001), podendo dar origem a eutrofização (HASEGAWA e OKINO, 2004).

Para minimizar problemas dessa natureza é necessário que a aquicultura seja entendida como uma atividade econômica que utiliza o recurso "água", produzindo resíduos. Portanto, a maior preocupação dos aquicultores deve ser de manter o recurso, minimizando os efeitos de sua transformação e diminuindo os resíduos (CONTE, 2002).

Considerando o contexto atual de incentivo à criação de parques aquícolas nos reservatórios brasileiros, os problemas potenciais da instalação dos mesmos e a ausência de estudos sobre este assunto, fica clara a importância da realização de trabalhos de pesquisa e monitoramento que possam auxiliar a regulamentação e a implantação de pisciculturas em tanques-rede, a fim de estabelecer critérios para minimizar a degradação do ambiente.

Material e Métodos

O estudo foi conduzido na Usina Hidroelétrica Machadinho (27°31'37" S – 51°47'06" W), localizada no rio Uruguai, Brasil (Figura 1), cujo reservatório apresenta área inundada total de 79 Km², profundidade média de 43 metros e tempo de residência da água de 53 dias.

Neste reservatório foram instalados 18 tanques-rede de 4m³ em uma baía com aproximadamente 3,0 hectares, localizada a uma distância de 500 m a montante da tomada de água da usina.

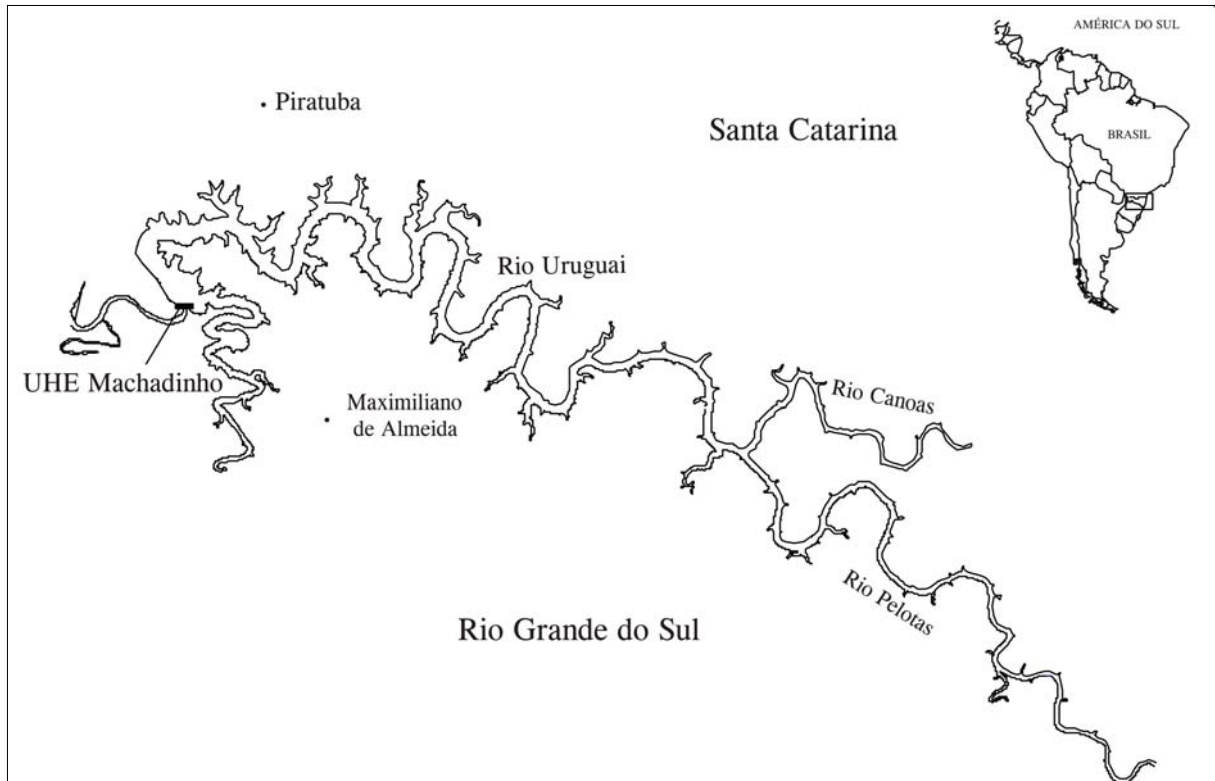


Figura 1. Mapa de localização da Usina Hidroelétrica Machadinho no rio Uruguai.

Em março de 2004, os tanques-rede foram povoados com 8100 piracanjubas, *Brycon orbignyanus*, com biomassa inicial de 283 kg, pelo período de um ano. Os peixes foram alimentados com ração extrusada contendo 32% de proteína bruta, oferecida duas vezes ao dia (8:00 e 16:00 h) até saciedade aparente.

Mensalmente uma parcela de 10% dos indivíduos de cada tanque-rede foi amostrada para a quantificação da biomassa.

Para a caracterização do ambiente foram analisadas variáveis físicas e químicas da água e a comunidade zooplancônica, buscando-se relacionar as alterações registradas no ambiente com a proximidade das estruturas de cultivo. Para tanto, foram amostradas água de superfície e fundo em quatro pontos: na região central dos tanques-rede (T), na região limnética (L) localizada a 30 metros do centro da estrutura de cultivo, na região profunda (P) situada a 80 m dos tanques-rede (Figura 2) e em um ponto situado próximo à estrutura de cultivo, com características semelhantes ao local onde foram instalados os tanques-rede e por não sofrer influência do cultivo foi utilizado como ponto controle (C).

As seguintes variáveis físicas e químicas da água foram analisadas: pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) com o auxílio de peagômetro, condutivímetro e oxímetro, respectivamente. A transparência da água foi aferida com o auxílio de um disco de Secchi.

Nitrogênio total e fósforo total foram determinados seguindo metodologia de Valderrama (1981), fósforo total dissolvido e fosfato reativo seguindo Strickland e Parsons (1960), nitrito de acordo com

Golterman et al. (1978) e amônia total baseada em Koroleff (1976). Os dados referentes a nível do reservatório (cota), vazão turbinada, vazão vertida e precipitação foram obtidos junto a Usina Hidroelétrica de Machadinho.

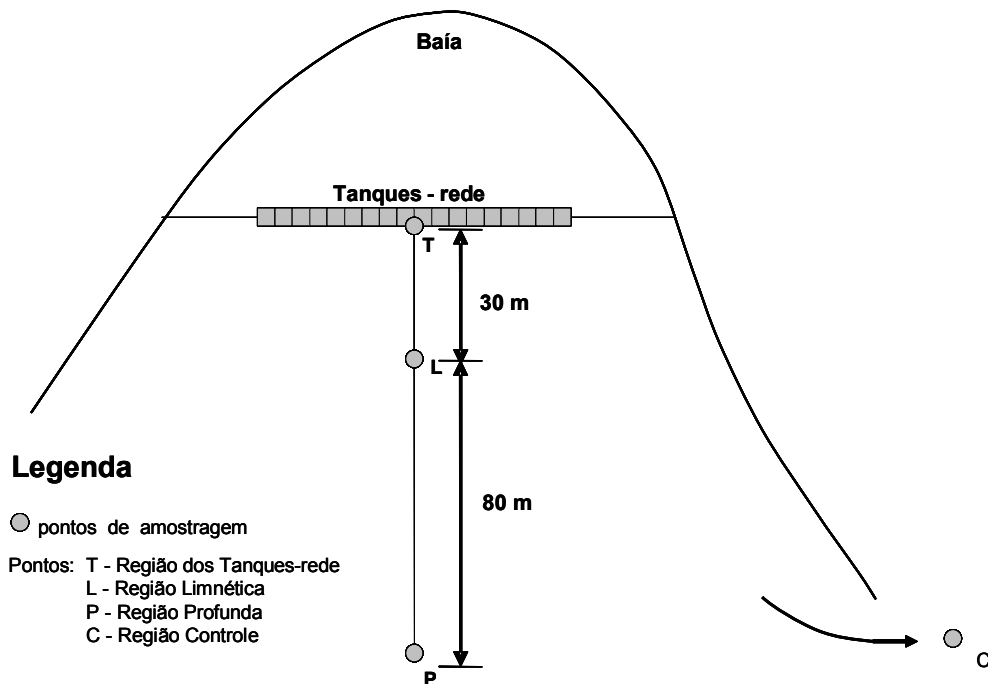


Figura 2. Localização dos pontos amostrais de coleta de água em relação aos tanques-rede.

Para a análise da comunidade zooplancônica, mensalmente foram filtrados 150 L de água da superfície de cada ponto amostral, concentrados em rede de 70 μm de abertura de malha e conservados em formalina 4%. A análise quantitativa do zooplâncton foi realizada através de contagem dos organismos em câmaras de Sedwich-Rafter (2,5 mL) em triplicata, sob microscópio LEICA modelo MDLB com aumento de 100X. A análise qualitativa consistiu na classificação dos organismos em grandes grupos (rotíferos, copépodos e cladóceros).

Para quantificar a retenção do fósforo da ração pelos peixes, foi realizada a análise deste elemento na ração utilizada e também no tecido muscular de indivíduos das diferentes unidades experimentais no início ($n=20$) e no final ($n=54$) do experimento. A diferença entre as concentrações final e inicial foi utilizada para a estimativa da transferência desse elemento proveniente da ração fornecida para o ambiente, considerando-se nula a contribuição de outras fontes em função do hábito alimentar da espécie.

A análise da variância (ANOVA) foi utilizada para determinação da existência de diferença significativa nos parâmetros físicos e químicos da água entre os diferentes pontos amostrais e profundidade, ao nível de significância de 5% (ZAR, 1996). Para as variáveis físicas e químicas da água foi utilizada a Análise dos Componentes Principais (LEGENDRE e LEGENDRE, 1983), aplicada para identificar os padrões de alteração temporal e espacial do ambiente. A partir do modelo

matemático descrito por Dillon e Rigler (1974) modificado do modelo original de Vollenweider (1968) e apresentado por Pulatsü (2003) foi estimada a biomassa máxima a ser estocada no ambiente com menor impacto possível.

Resultados

A sobrevivência média final dos peixes (\pm desvio padrão) foi de $89,27 \pm 6,3\%$. A biomassa total apresentou tendência de crescimento com alguns períodos de estabilização, sendo que ao final do ciclo de cultivo foram produzidos 1231,50 kg de peixes (Figura 3).

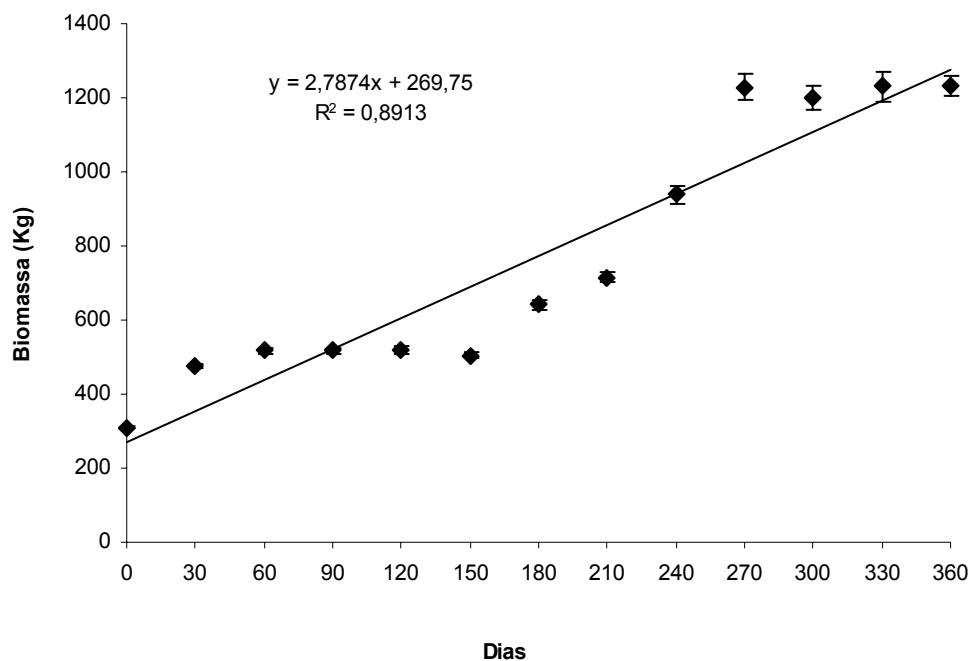


Figura 3. Biomassa média (\pm desvio padrão) de *Brycon orbignyanus* cultivados em tanques-rede no reservatório da UHE Machadinho durante o período experimental.

Não houveram alterações significativas ($P < 0,05$) nos valores de pH entre os diferentes pontos amostrais e entre profundidades durante o período estudado. A temperatura da água não variou espacialmente, porém houve diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as profundidades das regiões limnética e profunda e para a condutividade elétrica na região limnética. As concentrações de oxigênio dissolvido na superfície não diferiram entre os pontos ($P > 0,05$), porém no hipolímnio a região profunda apresentou as menores concentrações (Tabela 1).

O valor médio de transparência (\pm desvio padrão) foi de $1,16 \pm 0,28$ m, sendo os menores valores encontrados no período de julho a novembro de 2004 (Figura 4).

Tabela 1. Valores médios (\pm desvio padrão) do pH, da temperatura, da condutividade elétrica e da concentração de oxigênio dissolvido em diferentes pontos e profundidades durante o período experimental, onde: T = Região Central dos Tanques-rede; L = Região Limnética; P = Região Profunda; C = Região Controle.

Ponto	Profundidade	pH	Temperatura (°C)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Oxigênio dissolvido (mg/L)
T	Superfície	$7,7 \pm 0,4$ ^{aA}	$23,4 \pm 5,2$ ^{aA}	$42,7 \pm 7,7$ ^{aA}	$6,5 \pm 0,5$ ^{aA}
	Fundo (17,3 m) ¹	$7,7 \pm 0,4$ ^{aA}	$19,7 \pm 4,4$ ^{aA}	$38,0 \pm 7,2$ ^{aA}	$4,7 \pm 1,3$ ^{bB}
L	Superfície	$7,6 \pm 0,4$ ^{aA}	$23,2 \pm 5,3$ ^{aA}	$42,7 \pm 8,0$ ^{aA}	$6,6 \pm 0,4$ ^{aA}
	Fundo (24,8 m)	$7,6 \pm 0,4$ ^{aA}	$18,5 \pm 3,5$ ^{bA}	$34,3 \pm 6,6$ ^{bA}	$4,2 \pm 1,5$ ^{bAB}
P	Superfície	$7,7 \pm 0,4$ ^{aA}	$23,1 \pm 5,2$ ^{aA}	$42,3 \pm 7,9$ ^{aA}	$6,7 \pm 0,5$ ^{aA}
	Fundo (44,9 m)	$7,6 \pm 0,4$ ^{aA}	$15,9 \pm 1,7$ ^{bA}	$35,8 \pm 2,8$ ^{aA}	$3,1 \pm 1,4$ ^{bA}
C	Superfície	$7,7 \pm 0,4$ ^{aA}	$23,8 \pm 4,8$ ^{aA}	$43,0 \pm 8,2$ ^{aA}	$6,8 \pm 0,5$ ^{aA}
	Fundo (17,2 m)	$7,6 \pm 0,4$ ^{aA}	$20,1 \pm 4,7$ ^{aA}	$37,3 \pm 8,6$ ^{aA}	$5,0 \pm 1,2$ ^{bB}

¹ profundidade média de cada ponto amostral;

^{a-b} comparação entre diferentes profundidades dentro de um mesmo ponto amostral;

^{A-B} comparação entre mesma profundidade nos diferentes pontos amostrais.

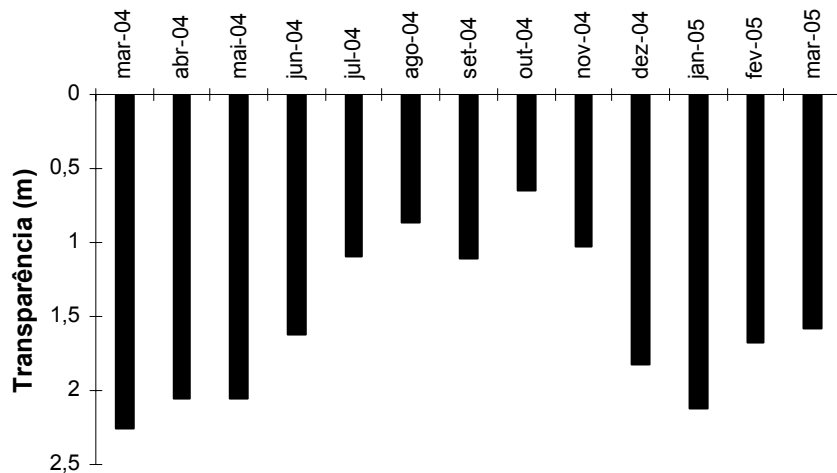


Figura 4. Variação mensal da transparência da água (metros) durante o período experimental no reservatório da Usina Hidroelétrica Machadinho.

Durante o período experimental as concentrações de amônia total não apresentaram variação espacial, porém houve diferença significativa ($P < 0,05$) nas diferentes profundidades da região profunda, que apresentou valores médios maiores no fundo (Tabela 2).

As concentrações médias de nitrito, fósforo total dissolvido e fosfato reativo foram semelhantes entre os diferentes pontos amostrais e profundidades ($P > 0,05$) (Tabela 2).

O nitrogênio total não variou espacialmente, porém com exceção do ponto controle houve diferença significativa entre superfície e fundo, com maiores valores encontrados no hipolímnio (Tabela 2). A concentração de fósforo total não variou significativamente entre pontos de mesma profundidade, porém houve diferença significativa entre as amostras de superfície e fundo no ponto da região central dos tanques-rede (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios (\pm desvio padrão) dos parâmetros químicos obtidos nos diferentes pontos amostrais e profundidades durante o período experimental, onde T = Região Central dos Tanques-rede; L = Região Limnética; P = Região Profunda; C = Região Controle.

Ponto	Profundidade	Amônia Total ($\mu\text{g/L}$)	Nitrito ($\mu\text{g/L}$)	Nitrogênio Total ($\mu\text{g/L}$)	Fósforo Total ($\mu\text{g/L}$)	Fósforo Total Dissolvido ($\mu\text{g/L}$)	Fosfato reativo ($\mu\text{g/L}$)
T	Superfície	21 \pm 29 ^{aA}	4 \pm 10 ^{aA}	434 \pm 74 ^{bA}	25 \pm 9 ^{bA}	11 \pm 6 ^{aA}	5 \pm 3 ^{aA}
	Fundo (17,3 m) ¹	14 \pm 14 ^{aA}	4 \pm 9 ^{aA}	631 \pm 268 ^{aA}	53 \pm 32 ^{aA}	17 \pm 13 ^{aA}	14 \pm 16 ^{aA}
L	Superfície	20 \pm 32 ^{aA}	4 \pm 10 ^{aA}	446 \pm 90 ^{bA}	31 \pm 18 ^{aA}	8 \pm 5 ^{aA}	4 \pm 4 ^{aA}
	Fundo (24,8 m)	18 \pm 23 ^{aA}	4 \pm 9 ^{aA}	665 \pm 325 ^{aA}	42 \pm 20 ^{aA}	10 \pm 6 ^{aA}	6 \pm 5 ^{aA}
P	Superfície	8 \pm 10 ^{bA}	4 \pm 9 ^{aA}	442 \pm 81 ^{bA}	31 \pm 10 ^{aA}	14 \pm 7 ^{aA}	8 \pm 6 ^{aA}
	Fundo (44,9 m)	38 \pm 43 ^{aA}	4 \pm 11 ^{aA}	660 \pm 270 ^{aA}	46 \pm 35 ^{aA}	10 \pm 6 ^{aA}	7 \pm 6 ^{aA}
C	Superfície	20 \pm 29 ^{aA}	3 \pm 5 ^{aA}	475 \pm 160 ^{aA}	31 \pm 13 ^{aA}	9 \pm 7 ^{aA}	7 \pm 6 ^{aA}
	Fundo (17,2 m)	18 \pm 23 ^{aA}	3 \pm 6 ^{aA}	575 \pm 287 ^{aA}	49 \pm 43 ^{aA}	9 \pm 5 ^{aA}	8 \pm 7 ^{aA}

¹ profundidade média de cada ponto amostral;

^{a-b} comparação entre diferentes profundidades dentro de um mesmo ponto amostral;

^{A-B} comparação entre mesma profundidade nos diferentes pontos amostrais

As amostras de zooplâncton de superfície apresentaram variação temporal com maiores densidades registradas nos meses mais quentes (Figura 5).

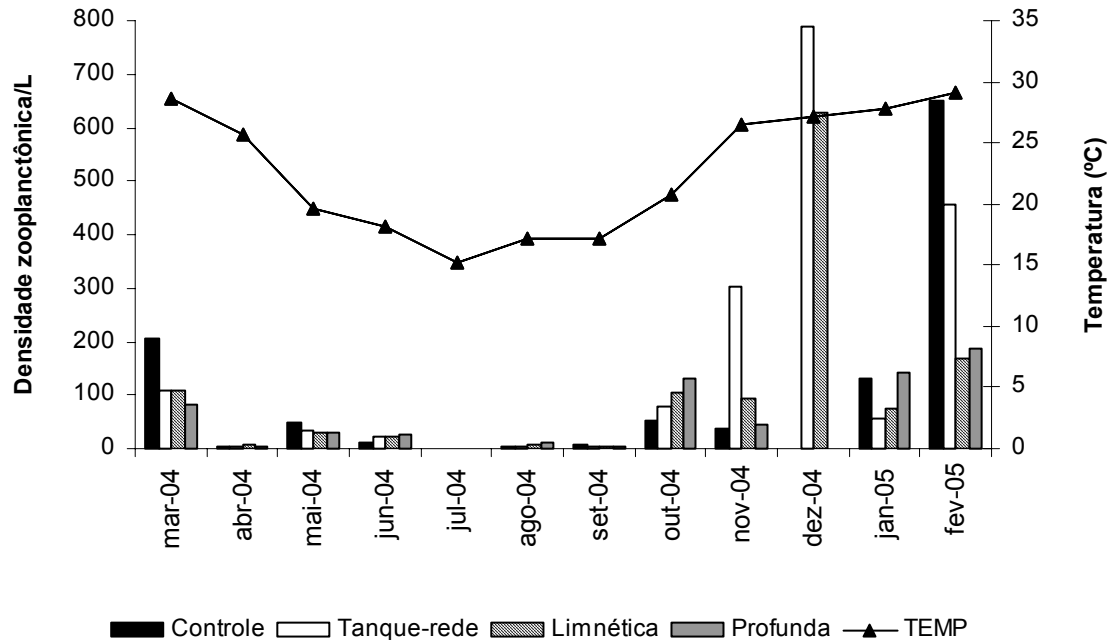


Figura 5. Variação mensal da densidade de zooplâncton de superfície nos diferentes pontos amostrais do reservatório da UHE Machadinho durante o período experimental.

Através da Análise dos Componentes Principais verificou-se que na superfície as regiões amostradas se agruparam (Figura 6 e 7), indicando que a água nesses locais apresentou características semelhantes, estando ligada principalmente à vazão turbinada, vazão vertida e ao nível do reservatório (Figura 8), que de modo geral relacionaram-se de maneira inversa à condutividade elétrica e a temperatura. As concentrações de amônia total, fósforo total, nitrito, fosfato reativo e a temperatura (Figura 9) foram os parâmetros que demonstraram maiores variações dentre as amostras de superfície (Tabela 3).

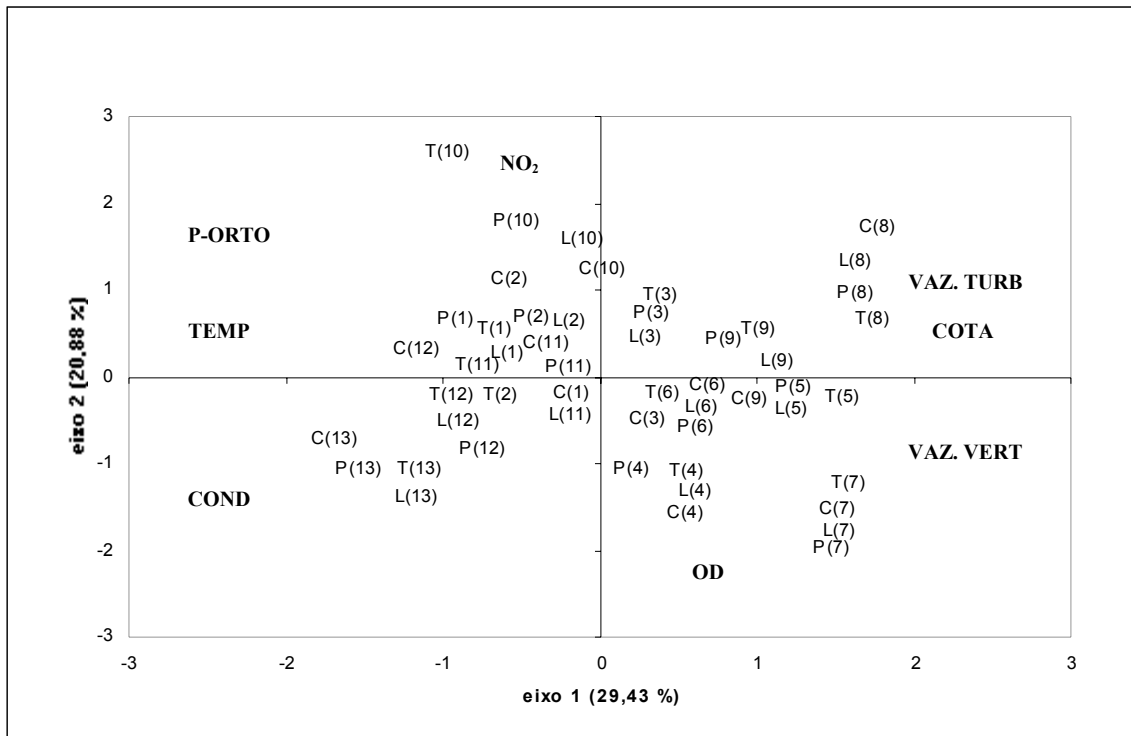


Figura 6. Plano fatorial 1 - 2 da Análise dos Componentes Principais dos parâmetros físicos e químicos das amostras de superfície no cultivo de *Brycon orbignyanus* em tanques-rede no reservatório da UHE Machadinho. Período de março a dezembro de 2004 (1 a 10) e janeiro a março de 2005 (11 a 13). Em negrito encontram-se as variáveis explicativas. T = Região Central dos Tanques-rede; L = Região Limnética; P = Região Profunda; C = Região Controle.

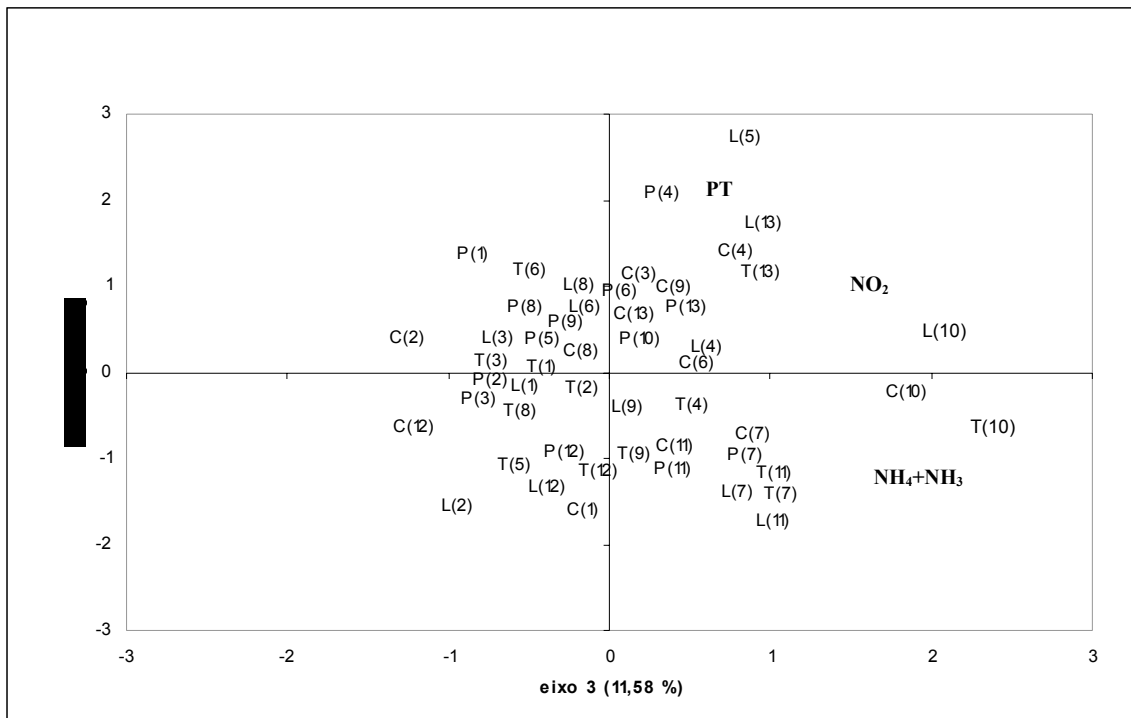


Figura 7. Plano fatorial 3 - 4 da Análise dos Componentes Principais dos parâmetros físicos e químicos das amostras de superfície no cultivo de *Brycon orbignyanus* em tanques-rede no reservatório da UHE Machadinho. Período de março a dezembro de 2004 (1 a 10) e janeiro a março de 2005 (11 a 13). Em negrito encontram-se as variáveis explicativas. T = Região Central dos Tanques-rede; L = Região Limnética; P = Região Profunda; C = Região Controle.

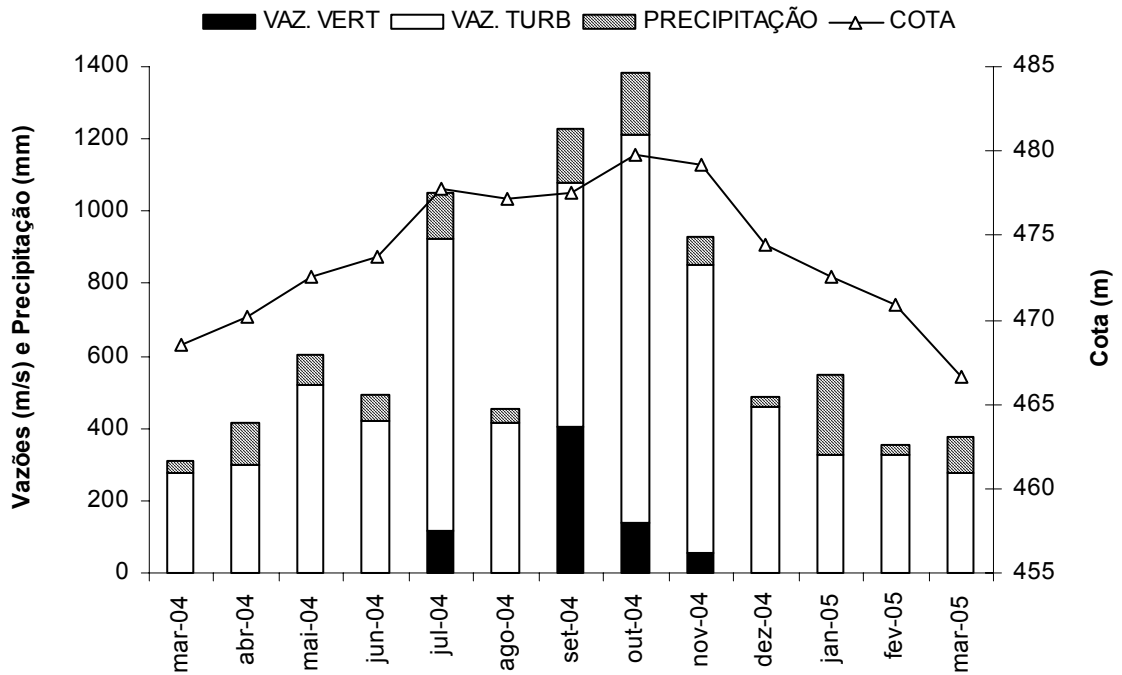


Figura 8. Variação mensal da vazão vertida, vazão turbinada, precipitação acumulada e nível do reservatório da UHE Machadinho durante período experimental.

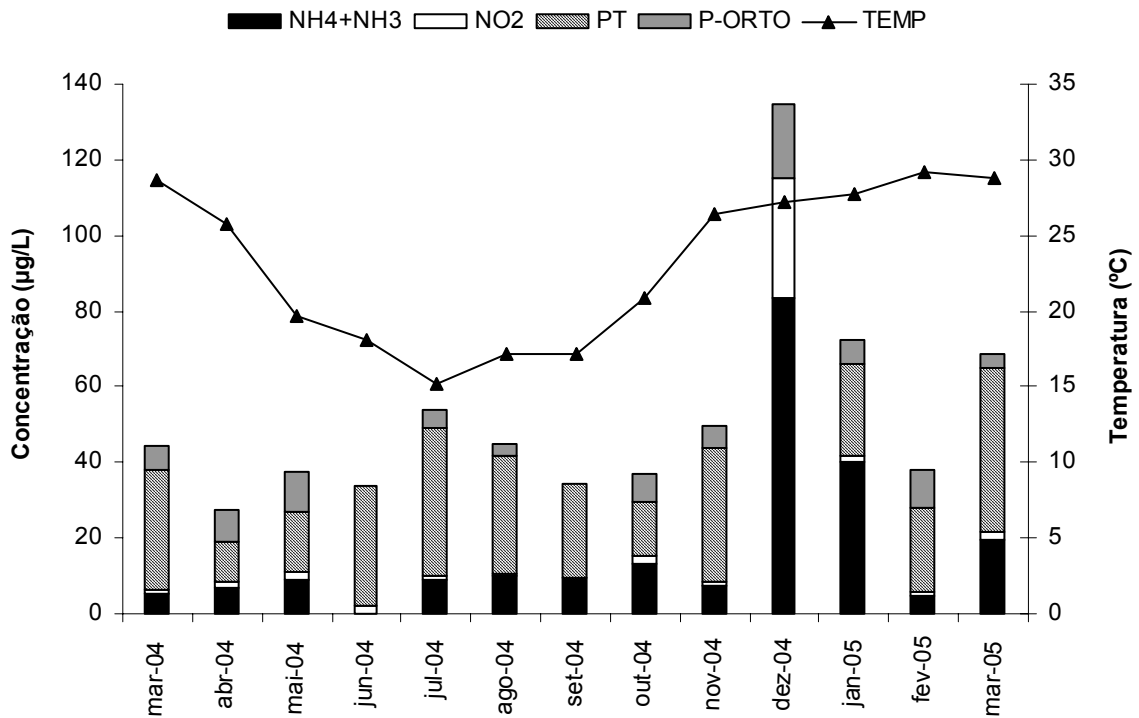


Figura 9. Variação mensal da concentração de amônia total, fósforo total, nitrito, fosfato reativo e temperatura das amostras de água de superfície do reservatório da UHE Machadinho durante o período experimental.

Tabela 3. Correlação entre as variáveis físicas e químicas analisadas e os eixos componentes principais das amostras coletadas no reservatório da UHE Machadinho durante o período experimental.

Parâmetros	% Variação Total	Superfície				Fundo			
		Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4
	29,4%	20,9%	11,6%	8,8%	23,9%	14,6%	13,8%	11,4%	
Profundidade (PROF)					0,446	-0,443	0,488	0,372	
Nível do reservatório (COTA)	0,901	0,124	0,097	0,001	0,886	0,242	-0,017	-0,110	
Vazão Vertida (VAZ. VERT)	0,641	-0,346	0,116	-0,240	0,682	-0,145	-0,139	-0,164	
Vazão Turbinada (VAZ. TURB)	0,888	0,181	-0,049	0,085	0,833	0,217	0,163	-0,279	
Amônia Total (NH ₄ +NH ₃)	-0,143	0,448	0,826	-0,066	-0,214	0,140	0,329	0,749	
Nitrito (NO ₂)	-0,138	0,623	0,637	0,042	-0,123	0,540	0,154	0,483	
Fósforo Total (PT)	-0,178	-0,165	0,180	0,789	-0,200	-0,009	0,651	-0,166	
Fósforo Tot. Dissolvido (PTD)	-0,473	0,496	-0,311	0,393	-0,359	0,010	0,148	-0,485	
Fosfato Reativo (P-ORTO)	-0,327	0,674	-0,412	-0,100	-0,344	0,280	0,528	-0,461	
Nitrogênio Total (NT)	0,344	0,534	-0,138	0,144	-0,291	-0,097	0,567	-0,237	
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,046	-0,581	0,180	0,411	-0,116	0,840	-0,192	-0,030	
pH (pH)	-0,403	-0,541	0,198	-0,205	-0,198	-0,276	-0,583	-0,088	
Condutividade elétrica (COND)	-0,770	-0,477	0,003	-0,059	-0,443	-0,689	-0,042	0,014	
Temperatura (TEMP)	-0,732	0,297	0,057	-0,234	-0,726	0,270	-0,301	-0,063	

As amostras de fundo demonstraram variação temporal exceto para a região profunda que tendeu a se agrupar (Figura 10 e 11). Embora tanto as amostras de superfície como as de fundo apresentem variação ao longo do tempo, estas demonstraram padrão diferente, pois alguns parâmetros importantes na superfície, como nitrito e fosfato reativo, foram substituídos por outros, como o oxigênio dissolvido, que apresentou maior importância na explicação da variação total das amostras de fundo (Tabela 3). A Figura 12 apresenta os valores médios mensais dos parâmetros que demonstraram alta correlação nas amostras de fundo.

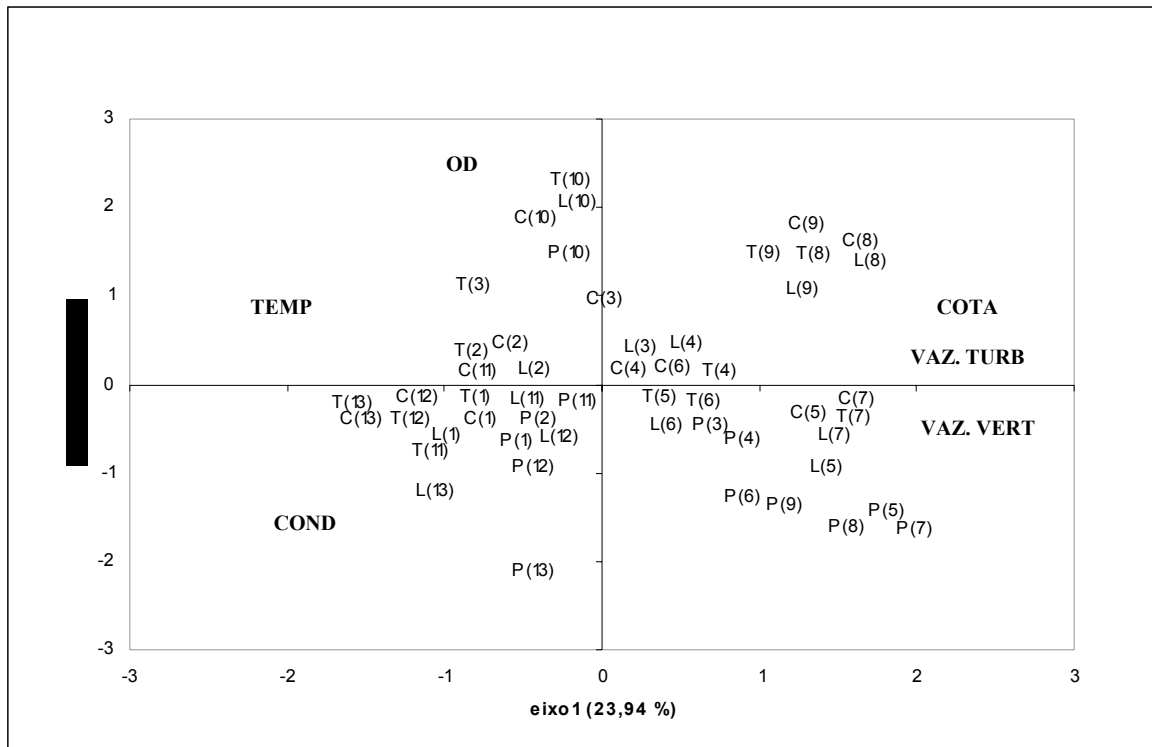


Figura 10. Plano fatorial 1 - 2 da Análise dos Componentes Principais dos parâmetros físicos e químicos das amostras de fundo no cultivo de *Brycon orbignyanus* em tanques-rede no reservatório da UHE Machadinho. Período de março a dezembro de 2004 (1 a 10) e janeiro a março de 2005 (11 a 13). Em negrito encontram-se as variáveis explicativas. T = Região Central dos Tanques-rede; L = Região Limnética; P = Região Profunda; C = Região Controle.

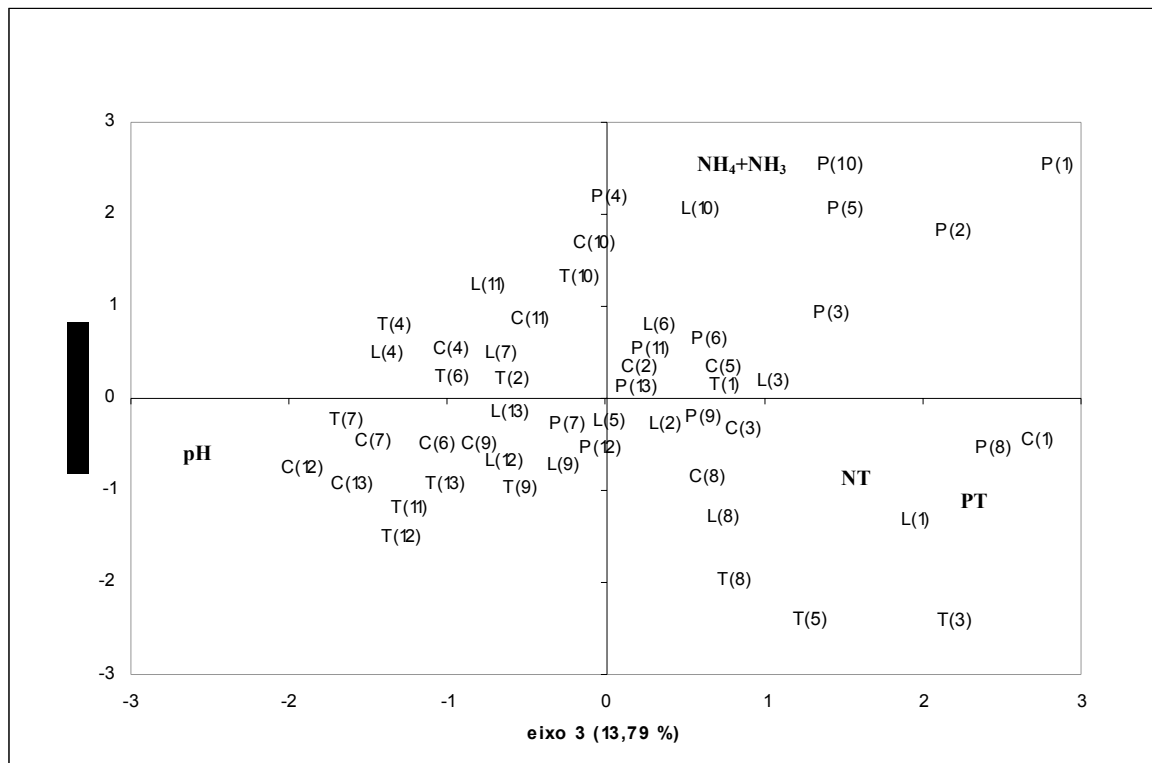


Figura 11. Plano fatorial 3 - 4 da Análise dos Componentes Principais dos parâmetros físicos e químicos das amostras de fundo no cultivo de *Brycon orbignyanus* em tanques-rede no reservatório da UHE Machadinho. Período de março a dezembro de 2004 (1 a 10) e janeiro a março de 2005 (11 a 13). Em negrito encontram-se as variáveis explicativas. T = Região Central dos Tanques-rede; L = Região Limnética; P = Região Profunda; C = Região Controle.

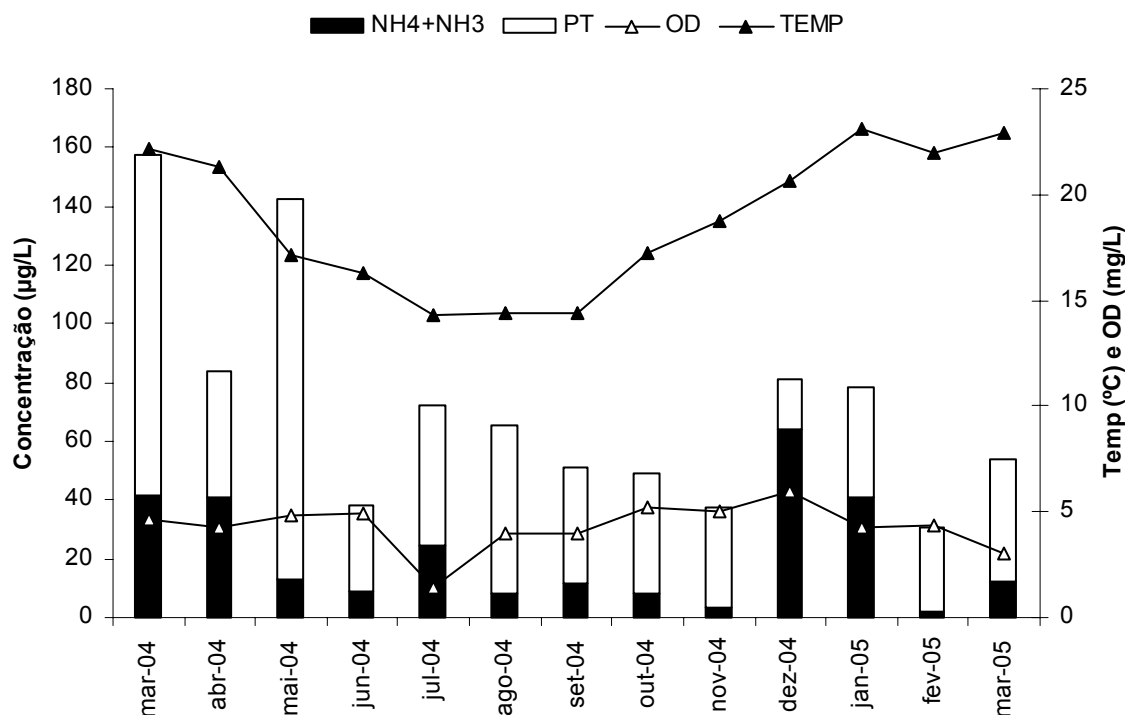


Figura 12. Variação mensal da concentração de amônia total, fósforo total, oxigênio dissolvido e da temperatura das amostras de água de fundo do reservatório da UHE Machadinho durante o período experimental.

A capacidade de suporte do reservatório de Machadinho para o cultivo intensivo de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) foi estimada a partir das concentrações de fósforo total da água e do aporte oriundo do arraçoamento, levando-se em consideração as características do reservatório. A ração utilizada continha 15,1 g de fósforo/kg, sendo que a retenção do fósforo pelos peixes foi de 2,6 g de fósforo/kg, ou seja, 17,5% do total contido na ração, resultando na liberação de 82,5% para o ambiente. Considerando-se que foram utilizados 7533,4 kg de ração e que foram produzidos 1231,5 kg de peixes, verificou-se que 19,9 kg de fósforo ficaram retidos no músculo dos peixes e que 93,6 kg foram liberados para o ambiente.

Como o reservatório da UHE Machadinho apresenta águas Classe II de acordo com a legislação vigente (CONAMA, 2005) e nessa classe de água a concentração de fósforo total não pode ultrapassar 30 mg/m³, além do fato de que somente 1% da área do reservatório pode ser utilizada para o cultivo de peixes (Decreto-lei 4.895 de 25/11/2003 e Instrução Normativa Interministerial nº 06 de 31 de maio de 224), estima-se que seja possível cultivar 47,2 toneladas de piracanjuba por ano (Tabela 4) sem que as concentrações de fósforo total ultrapassem o limite permitido.

Tabela 4. Cálculo da capacidade de suporte do reservatório da UHE Machadinho para o cultivo intensivo de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) em toneladas por ano.

$[P]_i$ (mg/m ³)	$[P]_r$ (mg/m ³)	ΔP (mg/m ³)	z (m)	ρ (x/ano)	R_{peixe}	L_{peixe} (g/m ² /ano)	A_{res} (Km ²)	LT (kg/ano)	P_{tq} (kg/ton)	LT/P_{tq} (ton/ano)
22,3	30,0	7,70	43	6,75	0,66	6,60	0,79	5214	110,41	47,22

OBS:
 $[P]_i$ = concentração de fósforo total no ambiente antes da instalação dos tanques-rede (mg/m³), sendo este valor calculado com base nas análises de água realizadas pela usina durante dois anos anteriores a instalação do cultivo;
 $[P]_r$ = concentração aceitável de fósforo total no ambiente usado para cultivo intensivo em tanques-rede (mg/m³) (Resolução CONAMA 357, artigo 15 de 17/03/05);
 ΔP = aumento máximo de fósforo total no ambiente utilizado para cultivo em tanques-rede (mg/m³) para que esse não ultrapasse os limites permissíveis;
 z = profundidade média do ambiente estudado (m);
 ρ = taxa de renovação da água do ambiente em vezes por ano;
 R_{peixe} = a fração do L_{peixe} retida no sedimento;
 L_{peixe} = o aporte de fósforo oriundo do cultivo nos tanques-rede (g/m²/ano);
 A_{res} = área do reservatório permissível para a implantação de cultivos em tanques-rede segundo Decreto-lei 4.895 de 25/11/2003 e Instrução Normativa Interministerial nº 06 de 31 de maio de 2004);
 LT = o aporte permissível de fósforo total por ano no reservatório de Machadinho (kg/ano);
 P_{tq} = a estimativa do aporte de fósforo total produzido (kg) por tonelada de piracanjuba cultivada nos tanques-rede;
 Capacidade suporte = LT/P_{tq} .

Discussão

Observou-se que a biomassa apresentou tendência crescente com alguns períodos de estabilização devido às baixas temperaturas nos meses iniciais de cultivo e à presença de competidores no interior dos tanques-rede ao final do experimento. Fracalossi et al. (2004) no cultivo de outra espécie da família Characidae, dourado (*Salminus brasiliensis*), verificaram a estabilização no crescimento durante o período de inverno, sendo este fenômeno comumente observado para maioria das espécies tropicais (KUBITZA, 2000).

Segundo Straskraba et al. (1993), a temperatura da água em reservatórios pode ser afetada por muitas características deste ambiente e da bacia de drenagem como elevação do nível da água (cota), área superficial, profundidade, exposição superficial ao vento, condições hidrometeorológicas, profundidade da saída de água das turbinas e manejo operacional da usina. Nas regiões tropicais pode-se esperar que ocorra estratificação estável durante todo o ano, com homeotermia no inverno, enquanto que em regiões menos profundas podem ocorrer estratificações e desestratificações em períodos mais curtos (SAMPAIO e LOPES, 2003). Isto pode explicar a diferença de temperatura ocorrida nos pontos com maiores profundidades no reservatório de Machadinho. A diferença de temperatura entre superfície e fundo pode ter sido agravada em alguns períodos pela pouca influência do vento sobre a coluna d'água e pelo aumento do nível do reservatório em consequência da ocorrência de precipitações freqüentes.

A ocorrência de chuvas também resultou na redução dos valores de condutividade elétrica da água devido à diluição dos íons. Os baixos valores de condutividade obtidos no reservatório de Machadinho podem estar relacionados à reduzida disponibilidade de íons do solo da região e ao baixo tempo de residência da água. Reservatórios mais ricos em nutrientes apresentam valores normalmente acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (SAMPAIO e LOPES, 2003).

Para todos os pontos amostrais a concentração de oxigênio dissolvido apresentou variações com as diferentes profundidades, explicado pelo fato do reservatório de Machadinho possuir estratificação térmica na maior parte do ano, além de ser relativamente profundo e protegido de vento, dessa forma, o oxigênio produzido no epilímnio não atinge o hipolímnio, resultando em baixas concentrações. Segundo Porto-Filho et al. (2006) o reservatório de Machadinho apresenta estratificação térmica prolongada e uma permanente anoxia no hipolímnio a partir de profundidades acima de 20 metros, porém neste experimento mesmo em profundidades acima de 30 metros e situados mais próximo a margem não se observou tal comportamento. Vale salientar que o aumento da precipitação e da vazão turbinada coincidiu com os períodos de diminuição do oxigênio dissolvido no hipolímnio, provavelmente devido à suspensão de material particulado pela movimentação das massas de água. Pode-se apontar dois fatores principais que atuam indiretamente determinando a magnitude dos déficits de oxigênio dissolvido na coluna d'água: a extensão do período de estratificação térmica e a concentração de matéria orgânica (dissolvida e particulada) d'água, uma vez que o material orgânico transportado é decomposto e, durante este processo, o oxigênio disponível é utilizado e os nutrientes são liberados (BONDURANTE e LIVESEY, 1973; CACHAFEIRO, 1984).

Vários fatores podem afetar a penetração de luz em reservatórios. A transparência depende, primariamente, dos efeitos combinados da cor da água (devido a substâncias dissolvidas), turbidez mineral e a presença de algas (STRASKRABA et al., 1993). A variação da transparência da água no reservatório de Machadinho é explicada pelo aumento da quantidade de partículas em suspensão nos meses mais chuvosos, quando materiais alóctones são lançados pelos tributários no reservatório, com decréscimo na quantidade de partículas através do escoamento e sedimentação nos meses mais secos. Tundisi et al. (1993) também verificaram que o aumento da entrada de partículas em suspensão promoveu o aumento da atenuação e variação na composição da luz.

A diferença nas concentrações de amônia total entre o epilímnio e o hipolímnio do ponto amostral da região profunda provavelmente esteve relacionada às menores concentrações de oxigênio dissolvido no fundo, bem como à decomposição de material orgânico e liberação de amônia do sedimento. Em experimento realizado em Lac du Passage (CORNEL e WHORISKEY, 1993) o acúmulo de amônia também foi evidenciado no centro do lago no hipolímnio em seu ponto de maior profundidade (51 m). Em profundidades menores, devido à coluna d'água ser bem oxigenada, a amônia liberada é oxidada a nitrato através de bactérias no hipolímnio (ROCHA, 2001; SATOH et al., 2001), sendo que estas fontes nitrogenadas podem ser distribuídas ao longo da coluna d'água (EPPLEY et al., 1969; MCCARTHY et al., 1977; AULT et al., 2000; HASEGAWA e OKINO, 2004).

A baixa concentração e variação de nitrito nos diferentes pontos amostrais e profundidades, confirma a observação feita por Esteves (1998) de que somente em lagos poluídos as concentrações de nitrito podem assumir valores significativos. As maiores concentrações deste nutriente na superfície em dezembro de 2004 deveu-se principalmente aos baixos valores de vazão vertida e precipitação que impediram a lixiviação e diluição deste composto. Os nutrientes fosfatados e nitrogenados por serem solúveis e com distribuição influenciada pela ação de correntes, podem não se concentrar apenas no local onde são liberados (CASTAGNOLLI e JUNIOR, 1979; ZIMMERMANN e WINCKLER, 1993; ALVES e BACCARIN, 2005).

Não foram observados efeitos cumulativos nas concentrações de nitrogênio total no epilímnio durante o período de experimento nos tanques-rede. O baixo tempo de retenção da água no local de realização do estudo, pode ter contribuído para este resultado. Porém, o hipolímnio apresentou maiores valores se comparados com a superfície que podem estar associados à estratificação térmica da coluna d'água. Barbosa (1981) registrou durante o período de estratificação térmica, baixas concentrações de nitrogênio amoniacal no epilímnio e altas no hipolímnio, sugerindo o consumo do íon amônio no epilímnio pelo fitoplâncton e altas taxas de amonificação de nitrato no hipolímnio.

As concentrações de fósforo total, fósforo total dissolvido e o fosfato reativo não variaram entre os pontos amostrais, porém foram observadas maiores concentrações de fósforo total no fundo da região dos tanques-rede quando comparado à superfície, o que também foi registrado por outros autores neste mesmo sistema de cultivo (LAZZARO et al., 1992; KARJALAINEN et al., 1998; FIGUEREDO, 2000; GUO e LI, 2003). Segundo Beveridge (1996) e Phillips (1985), as fezes, a urina e o alimento não ingerido possuem níveis elevados de nitrogênio e fósforo sendo que em ambientes de cultivo intensivo, o sedimento logo abaixo das gaiolas e nas áreas adjacentes apresenta elevados

níveis desses nutrientes. Porém, na área amostrada a maior concentração de fósforo parece não ser proveniente do arraçoamento, visto que os maiores valores ocorridos foram registrados em períodos de baixas temperaturas, onde as taxas de alimentação foram reduzidas.

Os efeitos da produção de peixes em tanques-rede se manifestam de diferentes maneiras no ecossistema lacustre. Entre estes podem ser citados as alterações nas condições físicas e químicas do meio (pH, concentração de oxigênio dissolvido, gás carbônico, nutrientes inorgânicos, etc.), na composição do fitoplâncton e na diversidade e densidade das espécies que compõe o zooplâncton, importante bioindicador das condições ambientais (ESPÍNDOLA et al., 2004). Neste experimento não foram evidenciadas diferenças nos valores de densidade de rotíferos, cladóceros e copépodos de superfície em relação à proximidade com o local de cultivo, demonstrando que o sistema de produção utilizado parece não ter influenciado na distribuição e densidade destes organismos planctônicos. Porém, o aumento da densidade de organismos zooplanctônicos nos meses mais quentes pode estar relacionado à migração vertical ascendente destes para regiões de temperatura mais elevada, bem como, ao aumento da produção de ovos. Vários estudos abordam os efeitos deste fator sobre uma série de processos que envolvem os organismos zooplanctônicos (GILLOOLY, 2000; LENNON et al., 2001), dentre eles o processo reprodutivo (BUNIOTO e ARCIFA, 2005).

Os parâmetros físicos e químicos analisados neste estudo demonstraram tendência de variação temporal tanto para as amostras de superfície como de fundo, exceto para a região profunda (P). A variação espacial evidenciada neste ponto deveu-se principalmente ao nível do reservatório, vazão vertida e turbinada, pois a região profunda foi mais afetada pela operação da usina por estar localizada no corpo do reservatório, no alinhamento da tomada de água de turbinas e vertedouros.

Em vários países existem restrições para as descargas dos efluentes produzidos nos grandes cultivos e fazendas de piscicultura (ROCHA, 2001), sendo o efeito dos tanques-rede sobre o ambiente dependente principalmente da produção anual de peixes, da área e profundidade do lago e do tempo de residência da água (GUO e LI, 2003). O cálculo da capacidade de suporte do reservatório de Machadinho foi realizado de acordo com as características desse ambiente, sugerindo que a produção de biomassa superior a 47,22 toneladas de piracanjuba por ano afetaria a qualidade ambiental deste corpo d'água. Para o reservatório de Furnas (MG) que possui profundidade média de 13 metros, taxa de renovação da água de 2,25 vezes ao ano e área total de reservatório de 1440 Km², estimou-se ser possível o cultivo de 4582,83 toneladas de tilápia por ano para que as concentrações de fósforo total não ultrapassem 25 mg/m³ (ROCHA, 2001).

Conclusão

O cultivo em tanque-rede não promoveu alterações significativas nas variáveis físicas e químicas da água, bem como na comunidade zooplanctônica do reservatório da Usina Hidroelétrica Machadinho, porém vale ressaltar que a capacidade de suporte não foi atingida, estando este resultado provavelmente condicionado a baixa biomassa produzida, a recente instalação do cultivo neste ambiente, ao baixo tempo de residência da água e a proximidade das estruturas de cultivo com a tomada de água de turbinas e vertedouros.

Referências Bibliográficas

- ALVES, R. C. P.; 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 Tietê, SP)**. In: Nogueira, M. G., Henry, R., Jorcin, A. Ecologia de Reservatórios: Impactos Potenciais, Ações de Manejo e Sistema em Cascata. São Carlos: RiMa, 472p. 2005.
- AULT, T. et al. Influence of nutrient availability on phytoplankton growth and community structure in the Port Adelaide River, Australia: bioassay assessment of potential nutrient limitation. **Hydrobiologia**. 429, 89–103. 2000.
- BARBOSA, F. A. R. **Variações diurnas (24 horas) de parâmetros limnológicos básicos e da produtividade primária do fitoplâncton na Lagoa Carioca – Parque Florestal do Rio Doce – MG – Brasil**. São Carlos, DCB/UFSCar, 206p. 1981.
- BEVERIDGE, M., **Cage Aquaculture**. Fishing News Books, Publ., Farnham, Surrey, England, 352 pp. 1996.
- BONDURANT, D. C.; LIVESEY, R. H. **Reservoirs sedimentations studies**. In: Ackermann, W. C. et al. (Ed.). Man-made lakes: their problems and environmental effects. Washington D. C.: American Geophysical Union, pp. 364-367. 1973.
- BOYD, C. E.; QUEIROZ, J. F. Aquaculture pond effluent management. **Aquaculture Ásia**, 2, n. 2, 43-46. 1997.
- BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. **Pond aquaculture water quality management**. Boston: Kluwer Academic, 700 pp. 1998.
- BUNIOTO, T. C.; ARCIFA, M. S. **Influência da Quantidade de Alimento e da Temperatura sobre o Crescimento Individual e a Reprodução de Cladóceros do Lago Monte Alegre**. In: Roland, F., César, D., Marinho, M. Lições de Limnologia. São Carlos: RiMA. pp. 341-349. 2005.
- CACHAFEIRO, M. C. B. **La trucha – Cria industrial**. Ediciones Mundi – Prensa. 238 pp. 1984.
- CASTAGNOLLI, N.; Júnior, O. T. Confinamento de peixes em tanques-rede. **Ciência e Cultura**, 32, n.11, 1513-1517. 1979.
- CONAMA. Resolução n. 20 de 18 de junho de 1986. **Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente**. Conselho Nacional do Meio Ambiente. D. O. U. Executivo 30/07/86. Disponível em: <http://www.ipen.br/cgma/CONAMA.pdf>. 2005.
- CONTE, L. **Produtividade e economicidade da tilapicultura em gaiolas na região sudoeste do estado de São Paulo: estudos de casos**. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 59 pp. 2002.
- CORNEL, G. E.; WHORISKEY, F. G. The effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cage culture on the water quality, zooplankton, benthos and sediments of Lac du Passage, Quebec. **Aquaculture**, Amsterdam, 109, 101-117. 1993.
- COSTA-PIERCE, B. A. Constraints to the sustainability of cage aquaculture for resettlement from hydropower Dams in Asia: An Indonesian Case Study. **Journal of Environment and Development**, 7, n. 44, 333-363. 1998.
- DILLON, P. J.; RIGLER, F. H. A test of a simple nutrient budget model prediction the phosphorus concentration in lake water. **J. Fish. Res. Board Can.** 31, 1771-1778. 1974.
- EPPLEY J. J. et al. Studies on nitrate reductase in marine phytoplankton. Limnol. **Oceanogr.** 14, 194–205. 1969.

ESPÍNDOLA, E. L. G. et al. **Caracterização Limnológica do Reservatório de Salto Grande (Americana, SP): Uma Análise Espacial e Temporal**. In: Espíndola, E. L. G., Leite, M. A., Dornfeld, C. B. Reservatório de Salto Grande (Americana, SP): Caracterização, Impactos e Propostas de Manejo. São Carlos: RiMa, pp. 37-54. 2004.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Ecologia**. 2º edição, editora interciência FINEP. São Carlos, 575 pp. 1998.

FIGUEIREDO, C. D. **Efeito da tilápia (*Oreochromis niloticus*) nas características físicas e químicas e estrutura da comunidade fitoplânctônica do Reservatório da Usina Hidroelétrica de Furnas (MG)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 150 pp. 2000.

FRACALOSSO, D. M. et al. Desempenho do jundiá, *Rhamdia quelen*, e do dourado, *Salminus brasiliensis*, em viveiros de terra na região sul do Brasil. **Acta Scientiarum**, Maringá, 26, n. 3, 345-352. 2004.

GILLOOLY, J. F. Effect of body size and temperature on generation time in zooplankton. **J. Plankton Res.** 22, n. 2, 241-251. 2000.

GOLTERMAN, H. L. et al. **Methods for chemical analysis of freshwater**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 213 pp. 1978.

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**, Amsterdam, 226, 201-212. 2003.

HASEGAWA, T.; OKINO, T. Seasonal variation of denitrification rate in Lake Suwa sediment. **Limnology**, 5, 33-39. 2004.

KARJALAINEN, H. et al. Nitrogen, phosphorus and *Daphnia* grazing in controlling phytoplankton biomass and composition – an experimental study. **Hydrobiologia**, 363, 309-321. 1998.

KOROLEFF, F. **Determination of nutrients**. In: Grasshoff, K. (Ed.), *Methods of sea water analysis*. Verlag, Chemie Weinheim, pp. 117-181. 1976.

KUBITZA, F. **Tilápia – Tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundiá, 285 pp. 2000.

LAZZARO, X.; DRENNER, R. W.; STEIN, R. A.; SMITH, J. D. Planktivore and plankton dynamics: effects of fish biomass and planktivore type. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 49, 97-167. 1992.

LEGENDRE, L.; LEGENDRE, P. **Numerical Ecology**. Amsterdam: (Developments in Environmental Modeling, 3), Elsevier Scientific, 419 pp. 1983.

LENNON, J. T.; SMITH, V. H.; WILLIAMS, K. Influence of temperature on exotic *Daphnia lumholtzi* and implications for invasion success. **J. Plankton Res.** 23, n. 4, 425-434. 2001.

LIN, Y.; ZHANG, Q. Effect of cage culture on the water environment in Heilongtan reservoir. **Reserv. Fish.** 6, 6-10. 1995.

MCCARTHY J. J. et al. Nitrogenous nutrition of the plankton in the Chesapeake Bay. **Limnol. Oceanogr.** 22, 996–1011. 1977.

MENEZES, L. C. B.; BEYRUTH, Z. Impactos da Aqüicultura em Tanques-rede sobre a Comunidade Bentônica da Represa de Guarapiranga. **Boletim Instituto de Pesca**, São Paulo, 29, n.1, 77-86. 2003.

PHILLIPS, M. J. **The environmental impact of cage culture on Scottish freshwater lochs**. Institute of Aquaculture, University of Stirling, 106 pp. 1985.

PORTO FILHO, E. et al. **Características Limnológicas do Reservatório de Machadinho, Rio Uruguai – SC/RS**. In: Porto Filho, E., Zaniboni Filho, E., Duarte, C., Nuñez, A. P. O. Ecologia de Reservatórios: Limnologia de Reservatórios Profundos, 16 a 19 de junho de 2006, Itá-SC. 66 pp. 2006.

PULATSÜ, S. The Application of a Phosphorus Budget Model Estimating the Carrying Capacity of Kesikköprü Dam Lake. **Turk. J. Vet. Anim. Sci.** 27, 1127–1130. 2003.

ROCHA, S. F. **Influência do cultivo intensivo de tilápia (*Oreochromis niloticus*) em tanques-rede na qualidade da água do reservatório da Usina Hidroelétrica de Furnas – MG**. Dissertação (Mestrado em ecologia, conservação e manejo de vida silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 150 pp. 2001.

ROTTA, M. A.; QUEIROZ, J. F. **Boas Práticas de Manejo (BPMs) para a Produção de Peixes em Tanques-rede**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 27 pp. 2003.

SAMPAIO, E. V.; LOPEZ, C. M. **Limnologia física, química e biológica de represa de Três Marias e do São Francisco**. In: Godinho, H. P., Godinho, A. L. (Eds.), Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais, Belo Horizonte: Editora PUC Minas, pp. 71-92. 2003.

SATOH, Y. et al. Perturbation of a water column of Lake Onogawa by local heavy rainfall. **Limnology**, Tokio, 2, 11–18. 2001.

STIRLING, H. P.; DEY, T. Impact of intensive cage fish farming on the phytoplankton and periphyton of a Scottish freshwater loch. **Hydrologia**, 190, 193-214. 1990.

STRASKRABA, M. et al. **Framework for investigation and evaluation of reservoir water quality in Czechoslovakia**. In: Straskraba, M., Tundisi, J. G., Duncan, A., (Ed.), Comparative reservoir limnology and water quality management. Dordrecht: Kluwer Academic, pp. 169-212. 1993.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. A manual of seawater analysis. **Bull. Fish. Res. Board Can.** 125, 1-18. 1960.

TUNDISI, J. G. et al. **Limnology and management of reservoirs in Brasil**. In: Straskraba, M., Tundisi, J. G., Duncan, A. (Ed.), Comparative reservoir limnology and water quality management. Dordrecht: Kluwer Academic, pp. 25-56. 1993.

VALDERRAMA, J. C. The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural waters. **Marc. Chem.** 10, 1109-1122. 1981.

VOLLENWEIDER, R. A. **Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Water with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in Eutrophication**. Technical Report DASISU/68-27. OECD, Paris. 1968.

YIYONG, Z. et al. Kinetics of alkaline phosphatase in lake sediment associated with cage culture of *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, Amsterdam, 203, 23-32. 2001.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. 3º edição. New Jersey: Prentice Hall. 662 pp. 1996.

ZIMMERMANN, S.; WINCKLER, L. T. **O cultivo de peixes em gaiolas flutuantes visando um melhor aproveitamento dos recursos hídricos do sul do Brasil**. In: IV Encontro Riograndense de técnicos em Aqüicultura. Anais... Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – Rio Grande do Sul, pp. 124-147. 1993.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO

- ALANĂRĂ, A.; BRĂNNĂS, E. Dominance in demand feeding behavior in Arctic char and rainbow trout: The effect of stocking density. **Journal of Fish Biology**, London, v. 48, n. 2, p. 242-254, 1996.
- ALVARADO, C. E. G. **Sobrevivência e aspectos econômicos do treinamento alimentar de juvenis de pintado, *Pseudoplatystoma corruscans* (Agassiz, 1829), em laboratório**. 2003. 66f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.
- BAILEY, C. 1997. Aquaculture and basic human needs. **World Aquaculture**, Louisiana, Baton Rouge, v. 28, p. 28-31, 1997.
- BALARIN, J. D.; HALLER, R. D. The intensive culture of tilapia in tanks, raceways and cages. In: MUIR, J. F.; ROBERTS, R. J. **Recent Advances in Aquaculture**. Londres: Croom Helm, 1982. p. 267-355.
- BAO-TONG, H. Cage culture development and its role in aquaculture in China. **Aquaculture and Fisheries Management**, v. 24, p. 305-310, 1994.
- BARBOSA, D. S. et al. Avaliação da qualidade da água na piscicultura em tanques-rede, Pantanal, MS. In: III SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 2000, Corumbá, MS. **Anais...**Corumbá, 2000. 14 p.
- BARCELOS, L. J. G. et al. Nursery rearing of jundiá, *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard) in cages: cage type, stocking density and stress response to confinement. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 232, p. 383-394, 2004.
- BEVERIDGE, M. C. M. **Cage Aquaculture**. Chichester, England: Fishing News Books, 1987. 346p.
- BEVERIDGE, M. C. M. Cage and pen fish farming. Carrying capacity models and environmental impact. **FAO Fisheries Technical Paper**, 255 p. 1996.
- BORGHETTI, J. R.; OSTRENSKY, A. Pesca e aqüicultura de água doce no Brasil. In: Rebouças, A. C.; Braga, B.; Tundisi, J. G. **Águas doces do Brasil**. São Paulo: Escrituras Editora, 1999. p. 451-473.
- BORGHETTI, N. R. et al. **Aqüicultura: uma visão geral sobre a produção de organismos aquáticos no Brasil e no mundo**. Curitiba: Grupo Integrado de Aqüicultura e Estudos Ambientais, 2003. 128 p.
- BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. **Pond aquaculture water quality management**. Boston: Kluwer Academic, 1998. 700p.
- BOZANO, G. L. N.; CYRINO, J. E. P. Produção intensiva de peixes em tanques-rede e gaiolas. **Revista Panorama da Aqüicultura**, São Paulo, v. 9, n. 56, p. 25-30, novembro/dezembro, 1999.
- BOZANO, G. L. N.; FERRAZ DE LIMA, J. A. Avaliação do crescimento de pacu *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887, em gaiolas com diferentes espaços de confinamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 8, 1994, Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: Fealq, 1994. p. 4.
- CARNEIRO, P. C. F. et al. Produção da tilápia vermelha da Flórida em tanques-rede. **Scientia Agrícola**, v. 56, n. 3, p. 673-679, 1999.
- CAVERO, B. A. S. et al. Biomassa sustentável de juvenil de pirarucu em tanques-rede de pequeno volume. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 723-728, 2003.
- CECCARELLI, P. S. et al. Piracanjuba, *Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1849). In: Baldisserotto, B.; Gomes, L. C. **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2005. p. 121-145.

CONTE, L. **Produtividade e economicidade da tilapicultura em gaiolas na região sudoeste do Estado de São Paulo: estudos de casos**. 2002. 59f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2002.

CORNEL, G. E.; WHORISKEY, F. G. The effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cage culture on the water quality, zooplankton, benthos and sediments of Lac du Passage, Quebec. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 109, p. 101-107, 1993.

COSTA-PIERCE, B. A. Constraints to the sustainability of cage aquaculture for resettlement from hydropower Dams in Asia: An Indonesian Case Study. **Journal of Environment and Development**. v. 7, n. 44, p. 333-363, 1998.

CYRINO, J. E. P. Perspectivas da Piscicultura como agroindústria no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES, 1997, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba, 1997, p. 1-30.

CYRINO, J. E. P. et al. Desenvolvimento da criação de peixes em tanques-rede: uma análise dos fundamentos, viabilidade e tendências, baseada em experiências bem sucedidas no Sudeste do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 1998, Recife, **Anais...** Recife:Persona, 1998, v. 1, p. 409-433.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Ecologia**. 1º edição, editora Interciência FINEP. São Carlos, 1988. 575 p.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2º edição, editora Interciência. Rio de Janeiro, 1998. 602 p.

FAO. **The state of world fisheries and aquaculture 2004**. Rome: FAO (Itália, Roma). Disponível em: <http://www.fao.org/figis/servlet/static?dom=collection&xml=global-aquaculture-production.xml>. Acesso em 25 de novembro de 2005.

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

GODOY, M. P. de. **Peixes e pesca do Rio Paraná: área do futuro reservatório de Ilha Grande**. Florianópolis: ELETROSUL, 1986. p. 75-76.

GOMES, L. C. et al. Efeito do volume do tanque-rede na produtividade de tambaqui (*Colossoma macropomum*) durante a recria. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 34, n.1, p. 111-113, 2004.

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**, Amsterdam. v. 226, p. 201-212, 2003.

HASEGAWA, T.; OKINO, T. Seasonal variation of denitrification rate in Lake Suwa sediment. **Limnology**, Tokio, v. 5, p. 33-39, 2004.

HENGSAWAT, K. et al. The effect of stocking density on yield, growth and mortality of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell 1822) cultured in cages. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 152, p. 67-79, 1997.

HENRY, R. Primary production by phytoplankton and its controlling factors in Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 53, n. 3, p. 489-499, 1993.

HOLANDA, E. D. et al. Estresse e sua importância para a piscicultura. **Informe agropecuário**, v. 21, n. 203, p. 83-85, 2000.

ICEPA, **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina - 2001-2002**. Disponível em: http://www.icepa.com.br/Infconj/ultimos/Aqui_ultimo.htm Acesso em: 24 de agosto de 2005.

KIBRIA, G. et al. The nutrient content and the release of nutrients from fish food and faeces. **Hydrobiologia**, 357, p. 165-171. 1997.

KUBITZA, F. **Qualidade de água na produção de peixes**. Campo grande – MS. 1998. 60 p.
LIN, C. K.; Yi Y. Minimizing environmental impact of freshwater aquaculture and reuse of pond effluents and mud. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 226, p. 57-68, 2003.

LIN, Y.; ZHANG, Q. Effect of cage culture on the water environment in Heilongtan reservoir. **Reserv. Fish**, v. 6, p. 6 -10, 1995.

LOPES, J. P. et al. Cultivo do tambaqui, *Colossoma macropomum*, em gaiolas de pequeno volume. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PESCA, 2001, Foz do Iguaçu, **Anais ... Foz do Iguaçu**, v.1, 2001, p. 270.

LUZ, R. K. **Larvicultura do mandi-amarelo *Pimelodus maculatus* (Lacépède, 1803): desenvolvimento embrionário, larval e primeira alimentação**. 2000. 47 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

MARSDEN, M. W. et al. Control of phosphorus inputs to a freshwater lake: a case study. **Aquaculture Research**, v. 26, p. 527-538, 1995.

MENDONÇA, J. O. J. Criação de espécies do gênero Brycon no CEPTA/IBAMA. In: SEMINÁRIO SOBRE CRIAÇÃO DE ESPÉCIES DO GÊNERO BRYCON, 1, 1994, Pirassununga. **Anais...** Pirassununga: CEPTA. 1994. p.31-48.

MENEZES, L. C. B., BEYRUTH, Z. Impactos da Aqüicultura em Tanques-rede sobre a comunidade Bentônica da Represa de Guarapiranga. **Boletim Instituto de Pesca**, São Paulo, v.29, n.1, p. 77-86, 2003.

MEROLA, N.; SOUZA, J. H. **Cultivo de pacu, *Colossoma mitrei* em gaiolas, com diferentes densidades de estocagem**. CEPTA – Pirassununga – SP – Síntese dos trabalhos realizados com espécies do gênero *Colossoma* (mar/82 a abr/86), p. 23, 1986.

MEURER, S.; ZANIBONI FILHO, E. O suruvi, *Steindachneridion scripta* Ribeiro, 1918, como espécie alternativa para a piscicultura sul brasileira. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 2000, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis, 2000.

MIRANDA, M. O. T.; RIBEIRO, L. P. Características zootécnicas do surubim *Pseudoplatystoma coruscans*. In: MIRANDA, M. O. T. (Org.) **Surubim**. BELO HORIZONTE: INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA, 1997. p. 43–56.

MUTHUKUMARANA, G.; WEERAKOON, D. E. M. Stocking density and diet of *Oreochromis niloticus* in cages in manmade lakes in Sri Lanka. In: ASIAN FISHERIES FORUM, 1., 1986, Manila. **Proceedings...** Manila, 1986. p. 599-602.

OTUBUSIN, S. O. et al. The effect of stocking density on tilapia production in floating bamboo net cages. **Annual Report of the National Institute of Freshwater Fisheries Resource of Nigeria**, p. 138-144, 1989.

PENCZAK, T. et al. The enrichment of a mesotrophic lake by carbon, phosphorus and nitrogen from the cage aquaculture of rainbow trout *Salmo gairdneri*. **Journal of Applied Ecology**, v.19, p. 371-393, 1982.

QUEIROZ, J. F. A relação do uso de rações com o ambiente. **Alimentação Animal**, ano 3, n. 10, p. 20-22, 1998.

RIBEIRO, L. P. et al. Aqüicultura empresarial. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 203, p. 5 – 9, mar./abr, 2000.

ROCHA, S. F. **Influência do cultivo intensivo de tilápia (*Oreochromis niloticus*) em tanques-rede na qualidade da água do reservatório da Usina Hidroelétrica de Furnas – MG**. 2001. 150 f. Dissertação (Mestrado em ecologia, conservação e manejo de vida silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

ROTTA, M. A.; QUEIROZ, J. F. **Boas Práticas de Manejo (BPMs) para a Produção de Peixes em Tanques-redes**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. 27 p.

SCHMITTOU, H. R. **Cage culture of channel catfish**. Proc. Fish. Farming Conference October, p. 7-8, 1969.

SCHMITTOU, H. R. **Produção de peixes em alta densidade em tanques-rede de pequeno volume**. Campinas: Mogiana Alimentos e Associação Americana de Soja, 1997. 78 p.

SCHINDLER, D. W. Experimental perturbations of whole lakes as tests of hypotheses concerning ecosystem structure and function. **Oikos**, v. 57, p. 25-41, 1990.

SILVA, A. L. N.; SIQUEIRA, A. T. **Piscicultura em tanques-rede: princípios básicos**. Recife: SUDENE, 1997, 72 p.

STIRLING, H. P.; DEY, T. Impact of intensive cage farming on the phytoplankton and periphyton of a Scottish freshwater loch. **Hydrobiologia**, v. 190, p. 193-214, 1990.

TAYLOR, W. D.; BENTZEN, E. The importance of dissolved organic phosphorus to phosphorus uptake by limnetic plankton. **Limnology and Oceanography**, v. 37, n. 2, p. 217-231, 1992.

TEIXEIRA FILHO, A. R. **Piscicultura ao Alcance de Todos**. São Paulo: NOBEL, 1991. 94p.

TESKEREDZIC, E. et al. The effect of stocking density on growth and mortality of rainbow trout cultured in floating cages in the brackish water of the river Krika Estuary. **Acta biologica iugoslavica**, Serija E: Ichthyologia, Belgrade, v. 18, n. 1, p. 41-46, 1986.

TRZEBIATOWSKI, R. et al. Effect of stocking density on growth and survival of rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 22, p. 289-295, 1981.

VALENTI, W. C. et al. **Aqüicultura no Brasil: bases para um desenvolvimento sustentável**. Brasília: CNPq/Ministério da Ciência e Tecnologia, 2000. 399p.

WATANABE, W. O. et al. Culture of Florida red tilapia in marine cages: The effect of stocking density and dietary protein on growth. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 90, p. 123-134, 1990.

YIYONG, Z. et al. Kinetics of alkaline phosphatase in lake sediment associated with cage culture of *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 203, p. 23-32, 2001.

ZANIBONI FILHO, E. et al. Avaliação comparativa da eficiência do tanque-rede no cultivo de piau (*Leporinus friderici* Bloch, 1794) (Teleostei: Anostomidae). **Rev. Brasileira de Biologia**, v. 53, n. 3, p. 435-442, 1993.

ZANIBONI FILHO, E. O desenvolvimento da piscicultura brasileira sem a deterioração da qualidade de água. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 57, n. 1, p. 3-9, 1997.

ZANIBONI FILHO, E. **Projeto de extensão: Programa de monitoramento e manejo da ictiofauna do Alto Rio Uruguai. 2 – Desvio do rio e enchimento**. Florianópolis: Departamento de Aqüicultura da UFSC, 1999.

ZANIBONI FILHO, E. Larvicultura de peixes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 203, p. 69-77, mar./abr. 2000.

ZIMMERMANN, S.; WINCKLER, L. T. O cultivo de peixes em gaiolas flutuantes visando um melhor aproveitamento dos recursos hídricos do sul do Brasil. In: IV ENCONTRO RIOGRANDENSE DE

TÉCNICOS EM AQUICULTURA, 1993, Porto Alegre. **Anais...** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1993. p. 124-147.

ANEXOS



Anexo 1. Área de instalação dos tanques-rede no reservatório da UHE Machadinho.

a)



b)



Anexo 2. Tanques-rede instalados no reservatório da UHE Machadinho. a) Vista geral. b) Detalhe do conjunto.