



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE PESCA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA**

**Caracterização ambiental e dimensionamento da capacidade de aproveitamento do Reservatório de Sobradinho para a instalação de tanques-rede.**

**Bruno Dourado Fernandes da Costa**

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

Orientador: Prof. Dr. William Severi

**Recife/PE**  
**Fevereiro/2004**

**BRUNO DOURADO FERNANDES DA COSTA**

**Caracterização ambiental e dimensionamento da capacidade de aproveitamento do Reservatório de Sobradinho para a implantação de tanques-rede.**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela Banca Examinadora formada pelos professores:

Orientador: Prof. William Severi  
Departamento de Pesca, UFRPE

Prof. George Nilson Mendes  
Departamento de Zoologia, UFPE

Prof. Eudes de Souza Correia  
Departamento de Pesca, UFRPE

Prof. José Milton Barbosa  
Departamento de Pesca, UFRPE

Prof. Athiê Jorge Guerra Santos  
Departamento de Pesca, UFRPE

Recife, 13 de fevereiro de 2.004.

## AGRADECIMENTOS

À “Minha Deusa”, barca de apoio para a realização deste trabalho, pois, logo após a primeira falha mecânica (falta de manutenção, uma constante nessas embarcações), conheci Yvana (minha esposa) e, como fruto de nosso amor, veio Matheus, outra grande paixão, fonte de alegria e inspiração.

Ao professor e orientador William Severi, pela excepcional capacidade técnica como pesquisador, orientador e professor. Presente em todas as etapas desta dissertação, sempre muito prestativo na orientação de mais uma etapa profissional desse curto espaço de tempo que temos - nossa vida.

Ao Laboratório de Limnologia do Departamento de Pesca da UFRPE, em especial aos seus técnicos: Engenheiros de Pesca Aureliano de Vilela Calado, Anderson Antonello e Sérgio Catunda Marcelino.

À Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF, por ter viabilizado financeiramente a realização deste estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa de mestrado a mim concedida na maior parte do curso.

À Prof<sup>a</sup> Rosângela Sampaio Reis, do Departamento de Hidráulica e CCC da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, pelo apoio no uso de geoprocessamento.

À ex-secretaria da Coordenação do PPG em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura, Dona Verônica Severi, na orientação de todas as etapas burocráticas como aluno do Programa.

À Dona Eliane (funcionária do DEPESCA), sempre sorridente e alegre todos os dias, um exemplo de uma pessoa batalhadora e pontual.

A todos que, de alguma forma, contribuíram e ainda contribuem na minha formação profissional.

## SUMÁRIO

	Página
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>vi</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>vii</b>
<b>Resumo</b>	<b>ix</b>
<b>Abstract</b>	<b>x</b>
<b>1 - Introdução.</b>	<b>1</b>
1.1 - O cultivo de peixes em tanques-rede e seu impacto sobre a qualidade da água.	4
1.2 - Estimativa da capacidade de produção de tanques-rede em ecossistemas aquáticos.	8
1.3 – O Rio São Francisco e o Reservatório de Sobradinho.	11
<b>2 – Objetivos.</b>	<b>16</b>
<b>3 - Material e Métodos.</b>	<b>17</b>
3.1 Caracterização limnológica do Reservatório de Sobradinho.	17
3.2 Dimensionamento e critério de seleção das áreas aquícolas.	21
3.3 Estimativa da capacidade de suporte.	22
<b>4 – Resultados.</b>	<b>27</b>
4.1 Caracterização ambiental do reservatório.	27
4.2 Áreas com potencial de aproveitamento aquícola e sua capacidade de produção.	39
4.3 Estimativa da capacidade de suporte do reservatório e das áreas aquícolas comparação dos métodos empregados	48
<b>5 – Discussão</b>	<b>52</b>
<b>6 - Conclusões</b>	<b>59</b>



## LISTA DE TABELAS

	Página
<b>Tabela 1</b> – Estimativa das perdas de fósforo para o ambiente em cultivo intensivo em gaiolas, sob diferentes taxas de conversão aparente.	7
<b>Tabela 2</b> – Composição em proteína bruta e fósforo e estimativas da quantidade de fósforo (P) oferecidos em rações e lançados no meio durante a produção de 1.000 kg de tilápia em gaiolas, com base em cinco rações comerciais usadas no Brasil.	7
<b>Tabela 3</b> – Potencial estimado de algumas opções de redução das perdas de fósforo no cultivo intensivo de peixes.	8
<b>Tabela 4</b> – Dados do Reservatório de Sobradinho.	15
<b>Tabela 5</b> – Coordenadas planas (UTM*) e profundidade dos pontos amostrados para o zoneamento do reservatório de Sobradinho	20
<b>Tabela 6</b> - Valores médios de área, volume e defluência do reservatório de Sobradinho para o período de janeiro/2001 a fevereiro/2003.	21
<b>Tabela 7</b> -. Valores mínimo, máximo e média das variáveis limnológicas analisadas em campo (A) e em laboratório (B), nos diferentes meandros do reservatório de Sobradinho.	39
<b>Tabela 8</b> – Resumo das áreas superficiais de cada meandro do reservatório de Sobradinho, contido nas diferentes zonas delineadas nas Figuras 34 e 35.	41
<b>Tabela 9</b> – Estimativa da capacidade de produção das áreas de reentrâncias do reservatórios de Sobradinho, com potencial para aproveitamento em tanques-rede.	47
<b>Tabela 10</b> – Parâmetros e cálculo da capacidade de suporte do reservatório de Sobradinho para a produção de peixes em tanques-rede, segundo o modelo de Dillon & Rigler, considerando a variação mensal de nível, com base nos valores médios para os anos 2001/2002.	51
<b>Tabela 11</b> – Dimensão das áreas total e útil dos meandros de reservatórios do rio São Francisco	55
<b>Tabela 12</b> – Estimativas da capacidade de produção de reservatórios do rio São Francisco	57

## LISTA DE FIGURAS

Página

<b>Figura 1</b> – Principais perdas de fósforo para o ambiente em cultivo intensivo em tanques-rede	6
<b>Figura 2</b> – A bacia do Rio São Francisco em relação ao território nacional	12
<b>Figura 3</b> – Regiões da bacia do Rio São Francisco e afluentes mais importantes	13
<b>Figura 4</b> - Mapa do Reservatório de Sobradinho e os municípios em sua área de influência: 1. São Raimundo Nonato; 2. São Lourenço do Piauí; 3. Coronel José Dias; 4. Dom Inocêncio; 5. Dirceu Arcoverde (PI); 6. Remanso; 7. Casa Nova; 8. Petrolina; 9. Pilão Arcado; 10. Santo Sé; 11. Sobradinho; 12. Juazeiro; 13. Xique-Xique; 14. Itaguaçu da Bahia; 15. Campo Formoso (BA)	14
<b>Figura 5</b> - Mapa do reservatório de Sobradinho, com indicação das diferentes áreas.	18
<b>Figura 6 A</b> - Pontos de amostragem no Reservatório de Sobradinho, entre Pilão Arcado e Pau a Pique.	19
<b>Figura 6 B</b> - Pontos de amostragem no Reservatório de Sobradinho, entre Pau a Pique e a barragem.	19
<b>Figura 7</b> – Variação temporal da precipitação pluviométrica em diferentes cidades na área de Sobradinho, da cota média mensal e da área média do reservatório (de cima para baixo) entre janeiro/2001 e dezembro/2002.	30
<b>Figura 8</b> – Variação temporal do volume e da defluência média mensal do reservatório de Sobradinho (de cima para baixo), entre janeiro/2001 e dezembro/2002.	31
<b>Figura 9</b> - Variação dos valores de transparência de Secchi nas diferentes estações de amostragem do reservatório de Sobradinho.	32
<b>Figura 10</b> - Variação dos valores de temperatura da água nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.	32
<b>Figura 11</b> - Variação dos valores da concentração de oxigênio dissolvido na água nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.	33
<b>Figura 12</b> - Variação dos valores de condutividade elétrica da água nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.	33
<b>Figura 13</b> - Variação dos valores de pH da água nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.	34
<b>Figura 14</b> - Variação dos valores da alcalinidade total da água nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.	34
<b>Figura 15</b> - Variação dos valores de amônia nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho	35
<b>Figura 16</b> - Variação dos valores de nitrito nas diferentes estações e	35

profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho	
<b>Figura 17-</b> Variação dos valores de nitrato nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho	36
<b>Figura 18-</b> Variação dos valores de ortofosfato nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho	36
<b>Figura 19-</b> Variação dos valores de fosfato total nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.	37
<b>Figura 20-</b> Variação dos valores de fósforo total nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.	37
<b>Figura 21-</b> Variação dos valores da biomassa fitoplanctônica (clorofila-a) nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.	38
<b>Figura 22 -</b> Mapa do reservatório de Sobradinho, médio São Francisco, com a distribuição dos tipos de solos do entorno de reservatório.	42
<b>Figura 23-</b> Mapa do reservatório de Sobradinho, médio São Francisco, com a distribuição das categorias de uso e ocupação do solo do entorno de reservatório.	43
<b>Figura 24 -</b> Vista geral do reservatório de Sobradinho, com indicação de diferentes zonas que contêm áreas passíveis de aproveitamento para a implantação de tanques-rede, conforme detalhado na Figura 35	44
<b>Figura 25 –</b> Detalhes das zonas 1, 2, 3 e 4, conforme Figura 34, com detalhe das áreas de reentrâncias contidas nas mesmas	45
<b>Figura 25 (continuação) –</b> Detalhes das zonas 5, 6, 7 e 8, conforme Figura 34, com detalhe das áreas de reentrâncias contidas nas mesmas	46



## RESUMO

Aqüicultura é o segmento da produção animal em ambientes aquáticos, sendo a piscicultura o ramo que trata especificamente do cultivo de peixes. Uma de suas modalidades é o cultivo de peixes em sistemas de tanques-rede ou gaiolas, em alta densidade de estocagem. Trata-se de uma criação intensiva de alta produtividade em pouca área e curto espaço de tempo. O cultivo em tanques-rede ou gaiolas pode ser realizado em reservatórios, açudes e lagos, sendo que, no Brasil, a atividade tem-se desenvolvido com maior intensidade em reservatórios. A sua produção depende de características físicas e biológicas desses meios (dimensão, profundidade, correntes e estado trófico). Esta modalidade de cultivo resulta na produção de dejetos diversos, os quais podem estimular a produtividade primária aquática, através do processo de eutrofização. Nos ecossistemas aquáticos, o fósforo (P) é o nutriente limitante, uma vez que representa o elemento mais raro para a demanda metabólica dos produtores primários: algas e vegetais superiores, sendo apontado como principal responsável pela eutrofização artificial dos ambientes aquáticos. A deterioração da qualidade da água pode 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. 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 aquático. No presente trabalho, é apresentada uma metodologia baseada na estimativa da capacidade de assimilação de fósforo pela água, dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA, para estimar a capacidade de produção de peixes em tanques-rede, aplicada ao reservatório de Sobradinho, cujos resultados são analisados comparativamente com outros reservatórios da bacia do rio São Francisco. Os dados obtidos estimam uma capacidade bruta entre 9.650 e 25.740 toneladas/ano, numa superfície de 127,1 km<sup>2</sup> de áreas de reentrâncias adequadas ao cultivo, correspondente a 6,1% da área total média do reservatório. Esta estimativa é comparada com aquela proposta por Dillon & Rigler (1974), conjuntamente com uma avaliação de critérios para o zoneamento da atividade no reservatório, considerando outras atividades e impactos sobre o meio aquático.

## ABSTRACT

Aquaculture is the activity of animal husbandry in aquatic environments, and fish farming deals specifically with finfish culture. One of the fish culture modalities is the cage or pond-net farming using high stocking densities. It is an intensive system with high productivity under small areas and short period of cultivation. Pond-net farming may be explored in reservoirs, dams and lakes, but in Brazil, it is mostly practiced in reservoirs. Its production depends on environmental physical and biological characteristics, such as dimension, depth, current speed and trophic state. This type of culture results in an array of wastes, which stimulate aquatic primary production leading to eutrophication. In aquatic ecosystems, phosphorous (P) is the limiting nutrient, as it is usually the least available element for the metabolic demand of primary producers - algae and higher plants. It is also considered as the most responsible one for eutrophication events in freshwater aquatic systems. Water quality deterioration may stress stocks and cause their mortality, stimulate pathogen development, thus affecting profitability and, concomitantly, production system viability. Site selection is extremely important to pond-net installation and carrying capacity evaluation for fish production, that is, the highest sustainable production in the aquatic environment. In the present work, a methodology for estimating the capacity of P assimilation by reservoir water is presented, according to the limits established by CONAMA, to estimate the capacity of fish production in pond-nets in the Sobradinho reservoir. The results are also compared to other reservoirs in the São Francisco river basin. The data obtained estimate a total capacity between 9,650 and 25,740 ton/year, on a surface area of 127.1 km<sup>2</sup> of reservoir meanders suitable as fishing areas, which equals approximately 6.1% of the reservoir total surface area. This estimate is compared to that based on the Dillon and Rigler model, together with the evaluation of criteria used for the zonation of the activity in the reservoir, taking into account the other uses and impacts on the aquatic medium.

## 1. INTRODUÇÃO

A aqüicultura é um dos ramos da produção animal que abrange práticas de propagação de organismos aquáticos, que variam desde o seu controle completo pelo homem até a manipulação de, pelo menos, um estágio de suas vidas, com a finalidade do aumento de produção (BARDACH *et al.*, 1972).

Assim, 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 movimentava milhões de dólares em diversos países. Dentre as muitas finalidades que a aqüicultura pode exercer, destacam-se: a produção de alimento, o aumento dos estoques naturais, através de recrutamento; a produção de peixes esportivos, a produção de iscas, a produção de peixes ornamentais, a reciclagem de restos orgânicos e/ou a produção de sub-produtos (BARDACH *et al.*, *op. cit.*). Entre estas, a produção de proteínas para alimentação humana, é a que tem maior importância na maioria dos países que cultivam peixes, seja para consumo interno ou para exportação. E é justamente a piscicultura visando à produção de alimentos que será abordada neste trabalho.

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).

Em geral, são empregadas estruturas retangulares que flutuam na água e confinam peixes em seu interior. Esse equipamento é constituído basicamente por flutuadores (galões, bombonas, bambu, isopor, tubos de PVC, etc.), que sustentam submersos na

água redes de náilon, plásticos perfurados, arames galvanizados revestidos com PVC, ou ainda, telas rígidas. O formato retangular permite uma melhor passagem e renovação de água dentro das gaiolas, removendo os dejetos produzidos pelos peixes (SILVA & SIQUEIRA, 1997).

Além disso, os tanques-rede devem ser cobertos para prevenir a ação de predadores, furtos e oferecer sombreamento que impeça a incidência de raios ultravioleta (UV) e diminuir a visão dos peixes, reduzindo o estresse e melhorando o sistema imunológico desses animais (SILVA & SIQUEIRA, *op. cit.*).

Recomenda-se utilizar tanques-rede de até 1 a 4 m<sup>3</sup>, pois facilita o manejo e é mais vantajoso do ponto de vista produtivo e econômico, pela maior facilidade de renovação da água. Essas estruturas podem ser colocadas em represas que possuam profundidades mínimas de três metros (SCHMITTOU, s.d.).

A tecnologia usualmente empregada no Brasil permite produzir, em média, 300 kg/m<sup>3</sup>/ano, resultados obtidos principalmente com o cultivo de tilápias (*Oreochromis niloticus*), pacus (*Piaractus mesopotamicus*) e surubins (*Pseudoplatystoma corruscans* e *P. fasciatum*). Alguns criadores utilizam curimatás (*Prochilodus* spp.) e cascudos (*Hypostomus* spp.) dentro dessas gaiolas, a fim de efetuarem a limpeza das malhas, local onde se fixam os vegetais (algas) que dificultam a renovação de água (J. P. Lopes, comunicação pessoal). Vale salientar, que nesse tipo de cultivo, há uma dependência exclusiva de alimento artificial (ração).

O cultivo em tanques-rede ou gaiolas pode ser realizado em reservatórios, açudes e lagos. A sua produção depende de características físicas e biológicas desses meios (dimensão, profundidade, correntes e produção natural de alimento).

De acordo com Zimmermann (1999), a produção de tilápia chitralada foi testada em até 550 peixes/m<sup>3</sup>, tendo produzido nestas condições biomassas de 295 kg/m<sup>3</sup> (animais com mais de 500 gramas em 4 meses). Segundo o mesmo autor, em temperaturas médias de 26°C, alevinos com 2cm (0,5 g) vêm atingindo o tamanho comercial de 400 gramas em 116 dias.

Segundo Lovshin (1997), machos de tilápia de mesma idade são estocados entre 200 e 600 alevinos/m<sup>3</sup> em gaiolas de pequenos volumes (< 5 m<sup>3</sup>). Segundo esse autor, produções entre 50 e 300 kg de tilápia por m<sup>3</sup> são possíveis, e gaiolas menores são mais produtivas por unidade de volume, devido a uma mais eficiente troca de água.

A indústria da aquicultura em escala comercial é relativamente nova – apesar das conhecidas referências sobre o cultivo de peixes no Egito, há mais de 4.000 anos, ou na

China, há mais de 2.300 anos (BEVERIDGE & LITTLE, 2002). Conforme dados da FAO, a aquicultura contribuiu com mais de 45 milhões de toneladas de pescado em todo o mundo em 2.000 (FAO, 2002). Esta produção gerou uma renda superior a US\$ 56 bilhões para o produtor e continua crescendo a uma taxa média anual superior a 20%. Os países asiáticos contribuem com mais de 80% da produção mundial. Dentre estes, a China destaca-se como o maior produtor de organismos aquáticos oriundos da aquicultura, com uma produção superior a 32 milhões de toneladas em 2.000, gerando uma receita superior a US\$ 28 bilhões e empregando mais de 7 milhões de pessoas.

A escolha da espécie a ser cultivada, é, sem dúvida, uma etapa importante do processo. Considerações relativas à adaptação da mesma à região na qual será introduzida e análise do mercado a ser explorado, são necessárias para a escolha da espécie a ser cultivada (BARDACH *et al.*, 1972).

Várias espécies são hoje empregadas na piscicultura no Brasil. O nível de domínio tecnológico varia muito dentre elas, sendo as mais cultivadas: as exóticas carpa comum (*Cyprinus carpio*), carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*), carpa prateada (*Hypophthalmichthys molitrix*), carpa cabeça grande (*Aristichthys nobilis*) e tilápia (*O. niloticus*); e as espécies nativas pacu (*P. mesopotamicus*), tambaqui (*Colossoma macropomum*), matrinhã (*Brycon* spp.) e curimatã (*Prochilodus* spp.). Apesar da riqueza ictiofaunística da região biogeográfica neotropical, da qual o Brasil faz parte, e do seu potencial para a piscicultura (SAINT-PAUL, 1986), poucas são, ainda, as espécies endêmicas das diferentes bacias hidrográficas empregadas em escala comercial.

No contexto mundial, o Brasil é um dos países com o mais elevado potencial para expansão da pesca e da aquicultura, por possuir uma das maiores faixas costeiras do mundo, com mais de 8.400 km de extensão, abrangendo uma área superior a 3,5 milhões de km<sup>2</sup> de Zona Econômica Exclusiva (ZEE) (BRANDINI *et al.*, 2000). O país possui excelentes condições naturais em termos de clima, solo e recursos hídricos, sendo considerado como detentor da maior quantidade de água com potencial para a aquicultura continental no mundo. A maioria desse manancial de água doce está localizada na região Amazônica, cuja vazão dos rios que constituem sua bacia hidrográfica corresponde a mais de 25% de toda a água doce do mundo. Além disso, destacam-se ainda outras bacias hidrográficas, como as dos rios São Francisco e Paraná-Paraguai (COSTA, 1991).

É inegável, que a aqüicultura começa a desempenhar um importante papel econômico e social no atual contexto do País. Num momento em que o êxodo rural permanece elevado, e o desemprego é um dos maiores problemas sociais, a aqüicultura se consolida como uma atividade econômica em expansão, gerando alimento, emprego, renda e divisas.

A atividade tem sido, ainda, co-responsável pela melhoria das condições de trabalho e de saúde das populações rurais, através da diversificação de culturas; do aproveitamento de áreas até então subutilizadas, ou até mesmo degradadas; da geração de empregos diretos e indiretos e do aproveitamento da mão de obra local e do surgimento de uma série de indústrias de insumos, que acabam sendo criadas em função da cadeia produtiva da aqüicultura.

O crescimento da aqüicultura pode resultar do aproveitamento inteligente do potencial existente no País – as bacias hidrográficas dos rios Amazonas, São Francisco, Paraná, etc; açudes e reservatórios de hidrelétricas, além dos recursos litorâneos – podendo alcançar uma produção próxima à dos países asiáticos, líderes mundiais nessa área. A organização dos pólos de aqüicultura, que vem ocorrendo desde julho de 1997, contempla a implantação do pólo de piscicultura na região do baixo São Francisco, onde as instituições governamentais deverão contribuir na organização da cadeia produtiva da aqüicultura, atuando nas áreas de pesquisa, capacitação de recursos humanos, assistência técnica e extensão aqüícola, linhas de crédito, incentivos, regulamentação e apoio à produção e comercialização (PANORAMA DA AQUICULTURA, 1999).

Neste contexto, o reservatório de Sobradinho/BA do médio São Francisco, com a maior superfície dentre os reservatórios hidroelétricos do Rio São Francisco e do Brasil, representa um recurso hídrico com possibilidades de aproveitamento, o qual já despertou o interesse do setor produtivo aqüícola estadual e regional.

### **1.1 O Cultivo de peixes em tanques-rede e seu impacto sobre a qualidade da água**

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 (BEVERIDGE, 1991).

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 pode 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 (SILVA & SIQUEIRA, 1997).

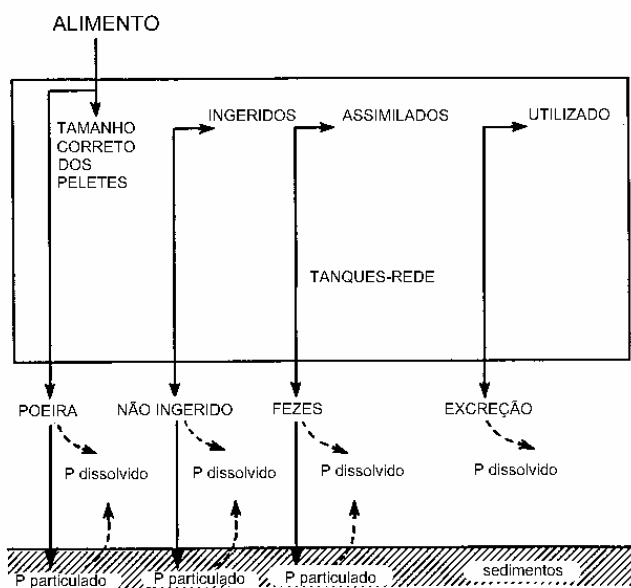
Em ecossistemas aquáticos, o fósforo (P) é o nutriente limitante (SCHINDLER, 1974; WETZEL, 1983; ESTEVES, 1998), uma vez que representa o elemento mais raro para a demanda metabólica dos produtores primários: algas e vegetais superiores. Deste modo, tem sido apontado como principal responsável pela eutrofização artificial dos ambientes aquáticos. Sua importância nos sistemas biológicos deve-se à participação deste elemento nos processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos, como o armazenamento de energia na molécula de ATP e a estruturação da membrana celular, através dos fosfolipídios.

Todas as formas de fósforo presentes na água em ambiente natural, quer iônica ou complexa, encontram-se como fosfato, denominação empregada para suas diferentes formas neste meio. Sua origem pode ser natural, proveniente, sobretudo das rochas ricas neste elemento na bacia de drenagem, sendo a apatita a mais importante; do material particulado presente na atmosfera ou resultante da decomposição de organismos alóctones. A origem artificial, por sua vez, pode ser os esgotos domésticos e industriais, o material particulado de origem industrial presente na atmosfera ou lançamento de resíduos ricos neste elemento diretamente no meio aquático, como no caso do cultivo de organismos aquáticos (ESTEVES, 1998).

O fósforo é um elemento essencial aos peixes para seu crescimento e desenvolvimento ósseo, à manutenção da regulação iônica e ao metabolismo de lipídeos e carboidratos, provenientes principalmente de fontes alimentares. Sendo seus requerimentos variáveis para cada espécie, a maioria das rações empregadas no cultivo contém P em concentrações superiores às requeridas, ou numa forma que é parcialmente indisponível para os peixes, resultando na excreção em excesso (BEVERIDGE, 1991). A Figura 1 dá uma idéia das principais perdas de P para o meio aquático em cultivos intensivos em gaiolas.

A quantificação destas perdas, uma das formas potenciais de lançamento de P no meio, depende de diversos fatores. Seu aporte decorre do conteúdo de fósforo no alimento e da digestibilidade do mesmo. No cultivo de tilápias em gaiolas, a taxa de conversão aparente varia de 2,0 a 2,5:1, de modo que até cerca de 23 a 29 kg de

fósforo total podem ser adicionadas ao meio para cada tonelada de peixe produzido (BEVERIDGE, 1991). Complementarmente, comparando-se o cultivo em viveiros de terra com o de gaiolas, as taxas de conversão são cerca de 20% superiores, indicando que as perdas alimentares de gaiolas são comparativamente maiores (BEVERIDGE, 1991). Uma comparação dos valores de P perdidos para o meio sob diferentes taxas de conversão alimentar são apresentados para tilápia (*O. niloticus*) na Tabela 1. Neste, foram considerados 1,3% de P no alimento e 0,34% por peso vivo de tilápia.



**Figura 1** - Principais perdas de fósforo para o ambiente em cultivo intensivo em tanques-rede (modificado de BEVERIDGE, 1991).

Para níveis mais baixos de conteúdo protéico na ração, conforme demonstrado por Kubitzka (1999) para diversos tipos de rações comerciais empregadas no Brasil, os valores estimados de perdas de P para o meio podem diferir ainda mais, conforme apresentado na Tabela 2.

Como pode ser observado, quanto maior o nível protéico e mais elevada a taxa de conversão aparente (menor conversão), maiores são as perdas para o meio e o risco de enriquecimento do mesmo por nutrientes.

Conforme já enfatizado, o aporte de fósforo em sistemas de cultivo intensivo está associado ao seu excesso nas rações e às perdas metabólicas, através da excreção e fezes. Deste modo, seu controle está intimamente associado à qualidade das rações empregadas e ao manejo da alimentação nos sistemas de cultivo, conforme as medidas constantes da Tabela 3.



**Tabela 1** – Estimativa das perdas de fósforo para o ambiente em cultivo intensivo em gaiolas, sob diferentes taxas de conversão aparente (TCA) (modificado de Beveridge, 1991).

Conteúdo de P na ração	1,3%
01 tonelada de ração contém	13,0 kg de P
TCA= 2,0:1	P na ração = 26,0 kg
TCA= 2,5:1	P na ração = 32,5 kg
TCA= 3,0:1	P na ração = 39,0 kg
TCA= 3,5:1	P na ração = 45,5 kg
<b>Perdas de P para o ambiente</b>	
TCA= 2,0:1	26,0 – 3,4 = 22,6 kg/ton peixe produzido
TCA= 2,5:1	32,5 – 3,4 = 29,1 kg/ton peixe produzido
TCA= 3,0:1	39,0 – 3,4 = 35,6 kg/ton peixe produzido
TCA= 3,5:1	45,5 – 3,4 = 42,1 kg/ton peixe produzido
<b>* Conteúdo de P na tilápia = 0,34% do peso vivo = 3,4 kg/ton de peixe</b>	

**Tabela 2** – Composição em proteína bruta e fósforo e estimativas da quantidade de fósforo (P) oferecidos em rações e lançados no meio durante a produção de 1.000 kg de tilápia em gaiolas, com base em cinco rações comerciais usadas no Brasil (modificado de KUBITZA, 1999).

Ração	Proteína bruta (%)	P (%)	Aplicados via ração (kg)	Lançado no meio (kg)	Retido no peixe (%)	Potencial poluente relativo
1	32,4	0,95	13	9	30,1	100
2	27,7	0,85	14	10	29,4	103
3	34,8	1,17	22	18	18,0	196
4	31,0	1,00	23	19	17,4	204
5	36,0	1,54	39	35	10,4	371

**Tabela 3** – Potencial estimado de algumas opções de redução das perdas de fósforo no cultivo intensivo de peixes (BEVERIDGE, 1991).

<b>Opção</b>	<b>Método</b>	<b>Redução</b>
Redução da “poeira” adicionada ao corpo d’água	Melhoria da manufatura (eg uso de vapor, aumento no tempo de trânsito nas peneiras sob vapor, etc.) Peneiramento das ração antes do fornecimento aos animais	> 2%
Redução das perdas de peletes para o ambiente	Melhoria dos comedouros Cuidadosa instalação das gaiolas Ajuste cuidadoso do regime de alimentação às condições ambientais	>10%
Redução da carga de fósforo total nos resíduos	Redução do conteúdo de fósforo nas rações Uso de dietas de alta digestibilidade	>30% ~30%
Remoção do excesso de fósforo adicionado ao lago ou reservatório durante o cultivo	Bombeamento e remoção dos resíduos de baixo das gaiolas Remoção dos animais mortos para local na margem Aprisionamento e remoção dos peixes escapados Utilização dos resíduos através da combinação com cultivo extensivo	

## 1.2 A estimativa da capacidade de produção em tanques-rede em ecossistemas aquáticos

O fósforo é reconhecido, há muito tempo, como o principal elemento limitante da produtividade primária de lagos e reservatórios (SCHINDLER, 1974; WETZEL, 1983; ESTEVES, 1998). A carga de fósforo é a variável determinante na eutrofização em ambientes lênticos, podendo resultar de uma mistura de diferentes fontes, incluindo escoamento superficial de áreas agrícolas ou florestadas, esgoto municipal e efluentes industriais, sendo a eutrofização dependente das diferentes propriedades destas emissões. Devido à falta de conhecimento sobre a distribuição espacial e temporal e a biodisponibilização dos diferentes tipos de emissões, as cargas das diferentes fontes são consideradas igualmente importantes para a eutrofização. Como conseqüência, as medidas de controle não costumam ser tão eficientes quanto potencialmente poderiam ser. Assim, a dificuldade em estimar uma carga aceitável de fósforo pode causar efeitos

inesperados de eutrofização ou limitar o potencial de aproveitamento do ambiente aquático, como no caso da aquicultura (JOHANSSON *et al.*, 1998).

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, *op. cit.*). 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, *op. cit.*) 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. Entretanto, processos biológicos que produzem feedback de fósforo a partir do sedimento (HAVENS & SCHELSKE, *op. cit.*) ou consumo direto e eliminação da coluna d'água (JOHANSSON *et al.*, *op. cit.*) dificultam esta análise.

Hakanson *et al.* (1998) estimaram que os efeitos das emissões provenientes de piscicultura em tanques-rede sobre as concentrações totais de fósforo em lagos suecos era inferior a 10% daquela esperada a partir do modelo de Vollenweider. Entretanto, os mecanismos responsáveis por este efeito não foram determinados pelos autores e o período de estudo de três anos não foi considerado suficiente para avaliar se os lagos haviam equilibrado-se às cargas crescentes de fósforo. Assim, os efeitos da piscicultura podem ter sido subestimados, visto que o modelo descreve condições de equilíbrio. As emissões de fósforo de 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 das considerações feitas acima, modelos empíricos para estimar a capacidade suporte de ambientes aquáticos para a aquicultura têm sido propostos, sendo os de Dillon & Rigler (1974) e OECD (1982) os mais comumente empregados. Inexistem estudos detalhados sobre o balanço de fósforo em reservatórios brasileiros, e em Sobradinho em particular, e as recomendações de procedimentos para obtenção da Licença de Operação por parte do IBAMA (em discussão nesse órgão), sugerem o uso do modelo de Dillon & Rigler.

O modelo empregado para a estimativa da capacidade de suporte em outros reservatórios da bacia do São Francisco, por exemplo FADURPE (2002a), apesar de não atender aos pressupostos acima descritos em sua totalidade – sobretudo pela necessidade do desenvolvimento de estudos complementares específicos, que fogem ao escopo do presente trabalho -, representa uma aproximação preliminar para o dimensionamento da capacidade de produção em tanques-rede em reservatórios, considerando as características de cada meandro passível de aproveitamento na aquicultura. O mesmo, além de servir de base comparativa com outros reservatórios estudados – cujo zoneamento foi efetuado empregando a mesma metodologia (FADURPE, 2000a,b,c; 2001, 2002a) -, serve de ferramenta para o monitoramento periódico das áreas aquícolas e como referencial para o redimensionamento e revisão dos licenciamentos emitidos para os empreendimentos em cada uma delas, à luz das características ambientais das mesmas e suas modificações ao longo do tempo.

### 1.3 O Rio São Francisco e o Reservatório de Sobradinho

O rio São Francisco possui a terceira maior bacia hidrográfica em extensão do Brasil, estando totalmente localizada em território brasileiro (Figura 2). Possui uma área de aproximadamente 640.000 km<sup>2</sup>, o que corresponde a cerca de 8% do território nacional. Tem suas nascentes localizadas na Serra da Canastra, no estado de Minas Gerais, e sua foz no Oceano Atlântico, entre os estados de Sergipe e Alagoas, percorrendo por volta de 2.700 km. Correndo predominantemente no sentido sul-norte, tem sua bacia distribuída nos estados de Goiás (cerca de 1% da área total), Pernambuco, Sergipe e Alagoas (correspondendo a 16%) e Minas Gerais e Bahia (com 83%) (FADURPE, 2001).

Sua bacia hidrográfica é usualmente dividida em quatro regiões: alto, médio, submédio e baixo (CODEVASF, 2003), conforme Figura 3.

O Alto São Francisco está compreendido entre as nascentes e a cidade de Pirapora, em Minas Gerais.

O Médio São Francisco está compreendido entre Pirapora e Remanso, na Bahia, estendendo o limite inferior do trecho médio até a própria barragem, próximo às cidades de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). Tal divisão original foi alterada pela construção da barragem de Sobradinho, incluindo as sub-bacias dos afluentes de Pilão Arcado a oeste, e do Jacaré a leste e, além dessas, as sub-bacias dos rios Paracatu, Urucuaia, Carinhanha, Corrente, Grande, Verde Grande e Parnamirim, situados nos Estados de Minas Gerais e Bahia. Suas condições climáticas vão se tornando mais características de uma região tropical semi-árida. Sua altitude varia de 2.000 a 500 m e é onde se localizam as planícies eluvio-colúvio-aluviais da Depressão São Franciscana. O divisor leste é a Chapada Diamantina, formada por planaltos com altitudes entre 2.000 e 1.000 m, recortados por profundos vales; observando-se abruptas diferenças de nível devido à sucessão de camadas de diferenciadas resistências à erosão. Os vales são encaixados em fraturas com desenvolvimento de profundas gargantas e cânions. Esse contexto orográfico tem direção SSE-NNO e penetra no domínio do Vale, formando as Serras de Açuruá, Mangabeira e Azul, até praticamente as margens do lago de Sobradinho (CODEVASF, 2003).

O Submédio São Francisco, compreendido entre Juazeiro (BA) e a UHE de Xingó, engloba os reservatórios de Itaparica, Moxotó, o complexo de Paulo Afonso (PA-123 e PA-4) e de Xingó, o qual alterou o limite superior do Baixo São Francisco para jusante

da última barragem; localizada entre as cidades de Canindé do São Francisco (SE) e Piranhas (AL) (CODEVASF, 2003).

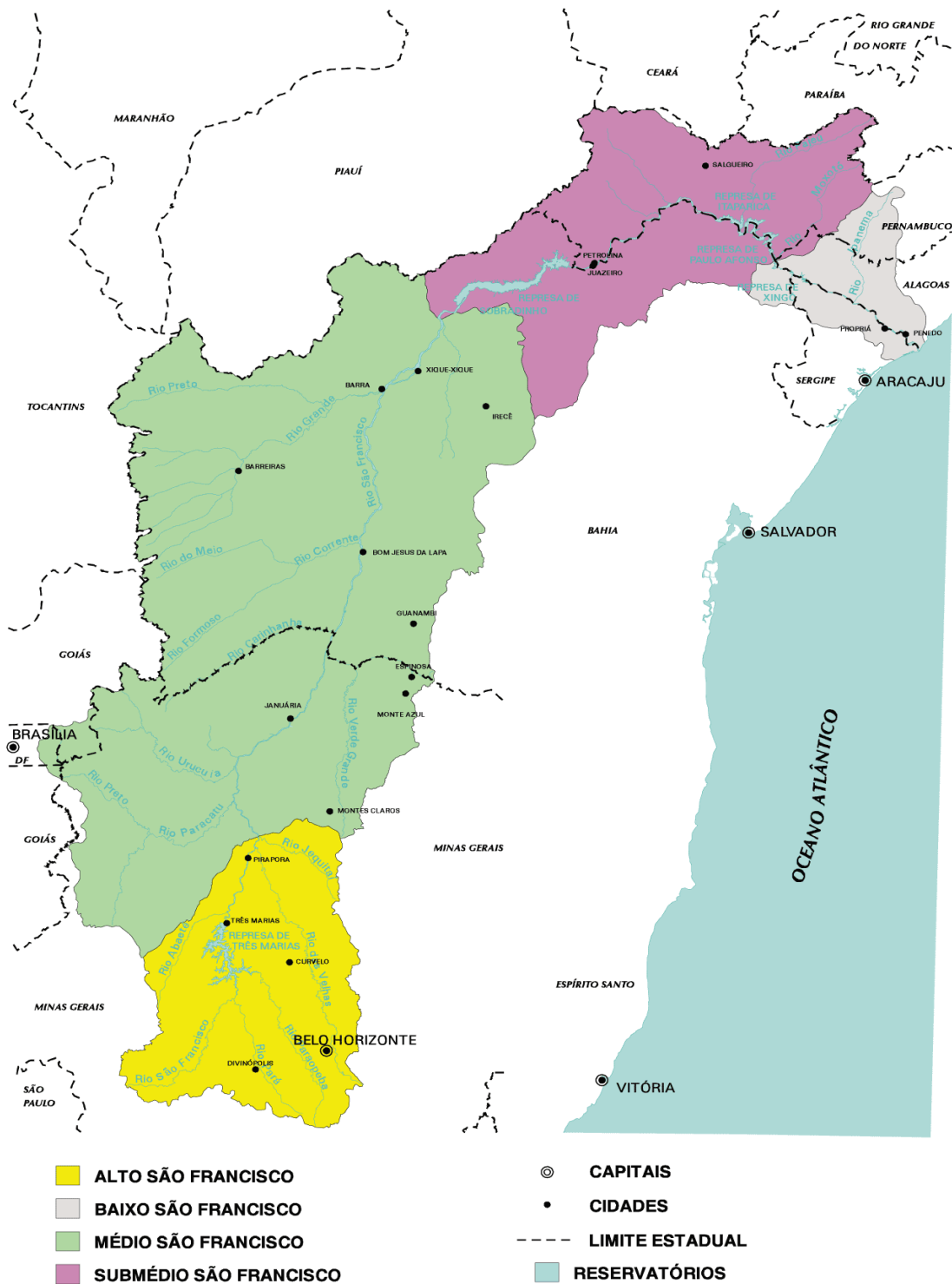
O Baixo São Francisco compreende o trecho final, desde a jusante da UHE de Xingo e a foz no Oceano Atlântico, entre os municípios de Piaçabuçu (AL) e Brejo Grande (SE), englobando as sub-bacias dos rios Ipanema e Capivara. Situa-se em áreas dos Estados de Sergipe e Alagoas. A altitude varia de 200 m até o nível do mar, embora, na periferia, algumas serras atinjam 500 m (CODEVASF, 2003).



**Figura 2** – A bacia do Rio São Francisco em relação ao território nacional (Fonte: EMBRAPA, 2003).

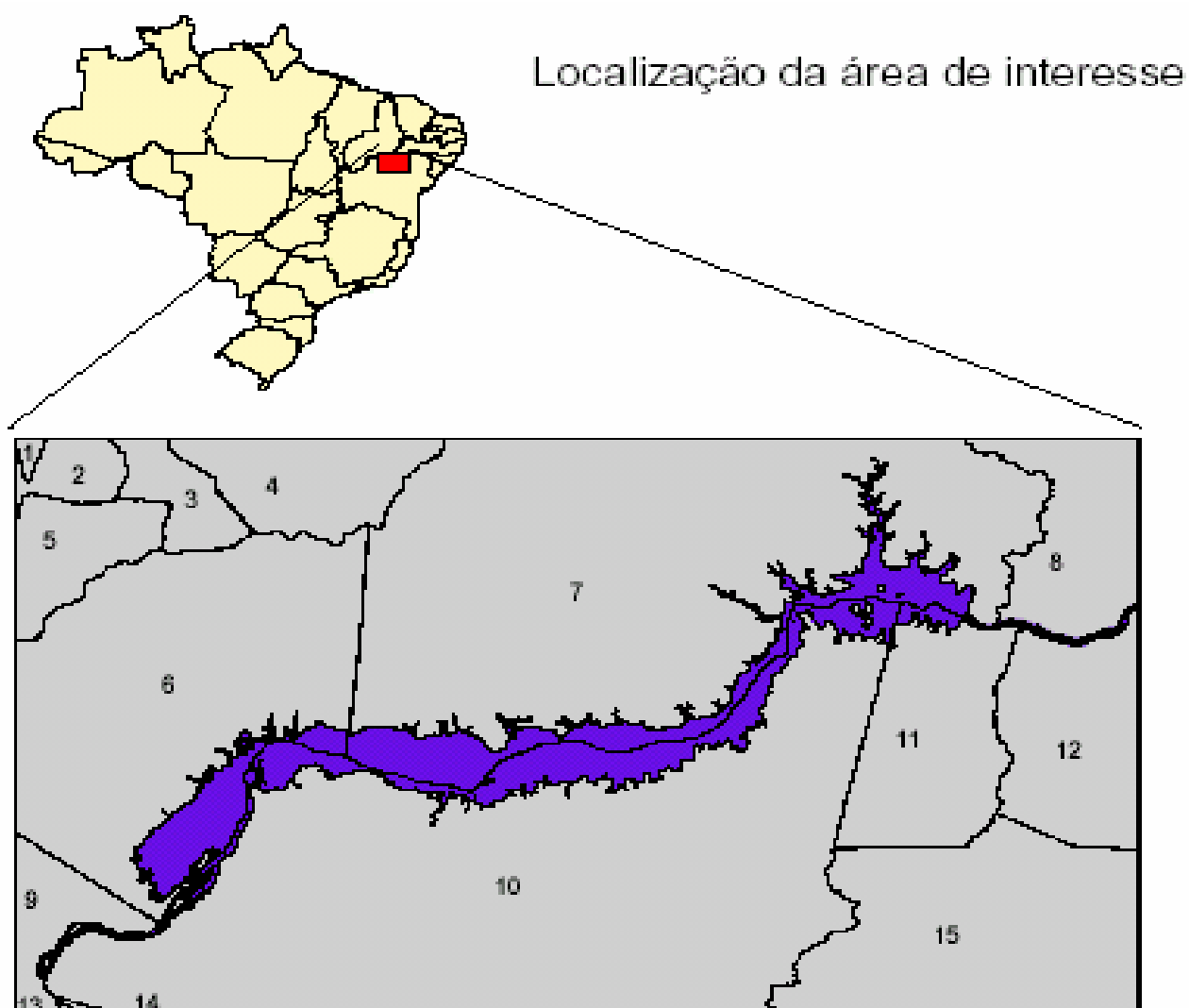
## RIO SÃO FRANCISCO

### REGIÕES DO VALE E AFLUENTES MAIS IMPORTANTES



**Figura 3** – Regiões da bacia do Rio São Francisco e afluentes mais importantes (Fonte: [http://www.codevasf.gov.br/vale/reg\\_fisiograficas.htm](http://www.codevasf.gov.br/vale/reg_fisiograficas.htm)).

O aproveitamento hidrelétrico de Sobradinho está localizado no estado da Bahia, distando cerca de 40 km a montante das cidades de Juazeiro (BA) e Petrolina (PE), e cerca de 1.130 Km a montante da UHE de Três Marias, em Minas Gerais. Possui, como principais rodovias de acesso, as BR's 324/407/210 pelo lado da Bahia, perfazendo uma distância de 520 km da capital Salvador, e pelo lado de Pernambuco, as BR's 232/428/210, a uma distância de 860 km da cidade de Recife (Figura 3).



**Figura 4** – Mapa do Reservatório de Sobradinho e os municípios em sua área de influência: 1. São Raimundo Nonato; 2. São Lourenço do Piauí; 3. Coronel José Dias; 4. Dom Inocêncio; 5. Dirceu Arcoverde (PI); 6. Remanso; 7. Casa Nova; 8. Petrolina; 9. Pilão Arcado; 10. Santo Sé; 11. Sobradinho; 12. Juazeiro; 13. Xique-Xique; 14. Itaguaçu da Bahia; 15. Campo Formoso (BA) (Fonte: CHESF).



A Usina de Sobradinho, construída pela Servix Engenharia e projetada pela Hidroservice Engenharia e Projetos Ltda, está posicionada com relação ao São Francisco, a cerca de 748 km de sua foz, constituindo-se, além de sua função de geração de energia, na principal fonte de regularização dos recursos hídricos da região.

Neste sentido, o reservatório de Sobradinho possui cerca de 320 km de extensão, com uma superfície de espelho d'água de 4.214 km<sup>2</sup> e uma capacidade de armazenamento de 34,1 bilhões de metros cúbicos em sua cota nominal de 392,50 m, o que garante através de uma depleção de até 12 m, juntamente com o reservatório de Três Marias/CEMIG, uma vazão regularizada de 2.060 m<sup>3</sup>/s nos períodos de estiagem, suficiente para permitir a operação de todas as usinas da CHESF situadas ao longo do Rio São Francisco (Tabela 4).

Incorpora-se ao aproveitamento uma eclusa, de propriedade da extinta PORTOBRÁS e atualmente pertencente à Companhia Docas do Estado da Bahia - CODEBA, cuja câmara possui 120 m de comprimento por 17 m de largura, permitindo às embarcações vencerem o desnível de 32,5 metros criados pela barragem, garantido assim a continuidade da navegação entre o trecho do Rio São Francisco, compreendido entre as cidades de Pirapora (MG) e Juazeiro (BA) – Petrolina (PE).

Compreendem o represamento de Sobradinho, as seguintes estruturas: barragem de terra zoneada com 12.000.000 de m<sup>3</sup> de maciço, altura máxima de 41 m e comprimento total de 8,5 km; casa de força com seis unidades geradoras acionadas por turbinas Kaplan e potência instalada de 1.140.000 quilowatts; vertedouro de superfície e descarregador de fundo dimensionados para extravasar a cheia de teste de segurança da obra; tomada d'água com capacidade de até 25 m<sup>3</sup>/s para alimentação de projetos de irrigação da região.

**Tabela 4** – Dados do Reservatório de Sobradinho (Fonte: CHESF).

<b>Características</b>	<b>Reservatório de Sobradinho</b>
Área de reservatório na cota 392,50	4.150 km <sup>2</sup>
Enchente de segurança (afluente)	36.300 m <sup>3</sup> /s
Volume de cheia (90 dias)	140.000 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Volume total do reservatório	34.116 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Volume útil do reservatório	28.669 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Vazão regularizada	2.060 m <sup>3</sup> /s
Cota máxima	393,50 m
Cota média	392,50 m
Cota mínima	380,50 m
Sedes municipais inundadas	4
Tipo de regularização	Acumulada
Municípios inundados	Sobradinho, Sento Sé, Itaguaçu da Bahia, Xique-Xique, Barra, Pilão Arcado, Remanso, Casa Nova

## **2. OBJETIVOS**

O presente trabalho tem como objetivos:

Levantar as áreas de reentrâncias e meandros do reservatório de Sobradinho, que podem ser utilizadas para o cultivo de peixes em tanques-rede;

Identificar e selecionar as áreas aquícolas potenciais, mediante critérios técnicos de cultivo, incluindo a análise de dados secundários e o levantamento de dados primários;

Caracterizar a qualidade da água, sob o ponto de vista físico-químico e biológico, nas áreas definidas como de uso potencial; e

Estimar a capacidade de suporte do reservatório como um todo e de cada área aquícola em particular.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização limnológica do reservatório de Sobradinho**

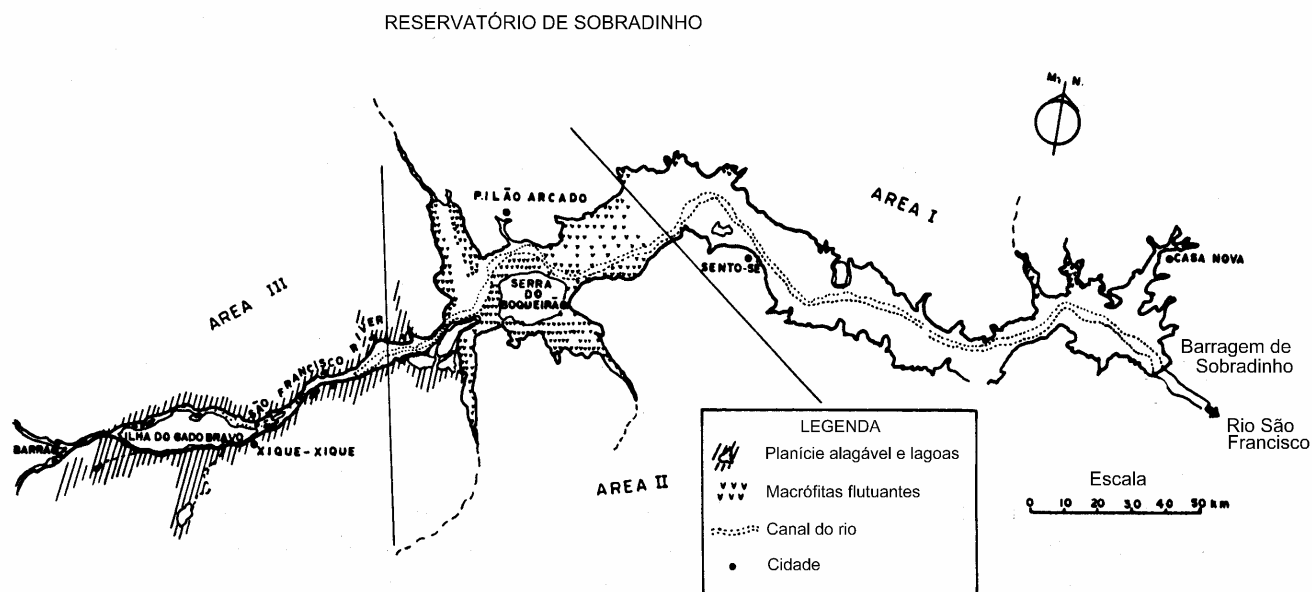
A caracterização do reservatório contemplou o levantamento das principais características da bacia hidrográfica em sua área de influência, nos aspectos relacionados ao uso e ocupação do solo, atividades agrícolas e industriais, distribuição urbana, bem como dados climatológicos e hidrológicos da área.

Para tanto, foram pesquisadas as fontes bibliográficas disponíveis, incluindo dados do RADAMBRASIL, CHESF, CODEVASF, INPE, INMET, SUDENE e Prefeituras Municipais, dentre outras fontes.

As informações levantadas foram analisadas, considerando os vários parâmetros da bacia que pudessem influenciar a qualidade da água, relacionando-os com os dados obtidos em imagens de satélite e dados de campo.

Para o levantamento limnológico, foram realizadas campanhas para a caracterização física, química e biológica da água, no período de 17 de junho a 10 de agosto de 2002. Foram definidos 62 pontos de amostragem, distribuídos nos diferentes meandros localizados no trecho do reservatório compreendido entre a barragem e a cidade de Pilão Arcado. Este trecho corresponde às porções média e final do reservatório (Figura 5), as quais caracterizam-se respectivamente como região de transição e lântica, cuja variação de nível da água e profundidade são compatíveis com a formação de reentrâncias permanentes e adequadas à instalação de áreas de cultivo em tanques-rede. A localização e distribuição espacial das mesmas consta da Figura 6 e sua posição geográfica e respectivas profundidades constam na Tabela 5.

Em cada ponto de amostragem, foram efetuadas medidas de temperatura, pH, condutividade elétrica, transparência e oxigênio dissolvido. Amostras de água para determinação de clorofila-a e nutrientes (amônia, nitrito, nitrato, ortofosfato, fosfato e fósforo totais) foram coletadas com garrafa de van Dorn na superfície, no fundo e, também, no limite da zona eufótica, quando encontradas profundidades superiores a 6m, nas diferentes estações de amostragem. Estas foram distribuídas em diferentes porções do reservatório, de modo a permitir a representatividade espacial das diferentes áreas existentes no mesmo, sobretudo aquelas com potencial para aproveitamento para piscicultura e sob influência de atividades impactantes sobre o meio aquático.



**Figura 5** - Mapa do reservatório de Sobradinho, com indicação das diferentes áreas (modificado de PETRERE, 1996).

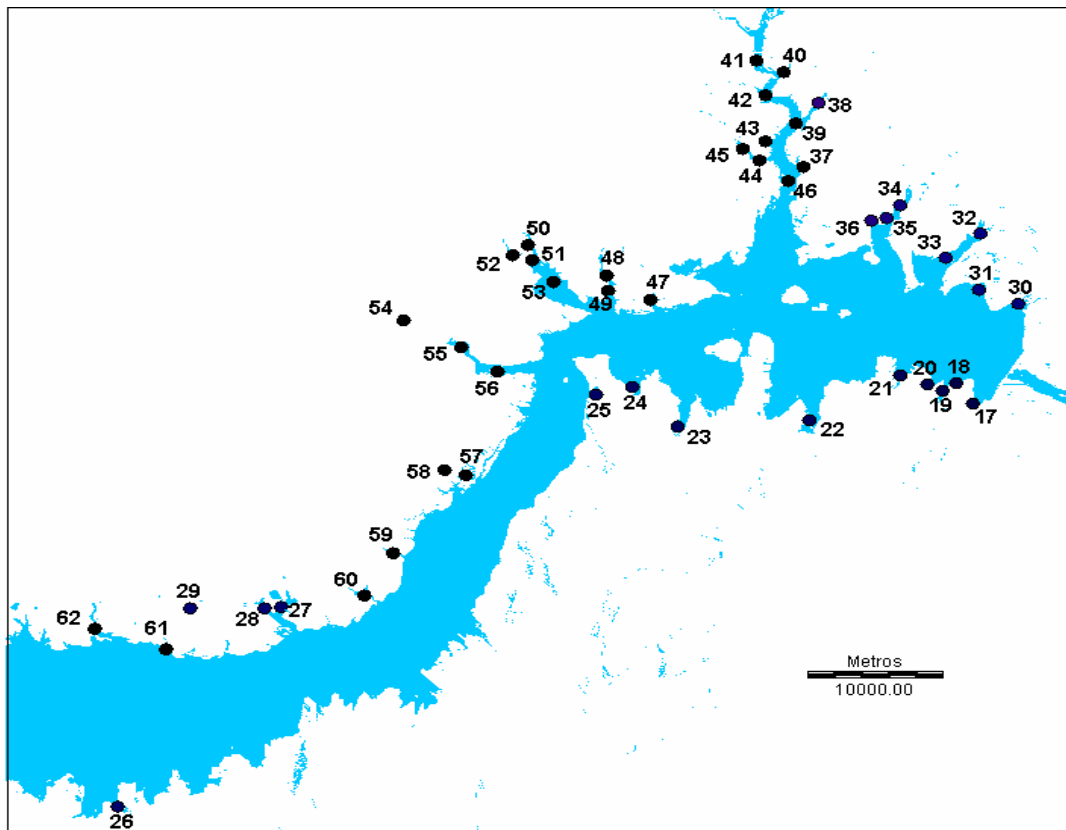
A transparência da água foi estimada através de disco de Secchi, com 0,30m de diâmetro. A leitura foi feita em função do valor médio das medidas da profundidade de desaparecimento e ressurgimento do disco imerso verticalmente na água, sendo avaliada a extensão da zona eufótica (COLE, 1975).

Os perfis verticais de temperatura, pH, condutividade elétrica e concentração de oxigênio dissolvido na água, com medidas tomadas a cada metro de profundidade, desde a superfície até próximo ao fundo, foram realizados através de um analisador multiparâmetro HORIBA U-22.

Para determinação de clorofila-a, as amostras de água foram filtradas em filtros Millipore HAWP, acondicionados em frascos âmbar com sílica-gel, sendo mantidos a baixa temperatura até o momento da extração. A extração foi feita com etanol a 80%, aquecido a 75°C (NUSCH, 1980).



**Figura 6A** - Pontos de amostragem no Reservatório de Sobradinho, entre Pilão Arcado e Pau a Pique.



**Figura 6B** - Pontos de amostragem no Reservatório de Sobradinho, entre Pau a Pique e a barragem.

**Tabela 5** - Coordenadas planas (UTM\*) e profundidade dos pontos amostrados para o zoneamento do reservatório de Sobradinho.

<b>Estação</b>	<b>Lat.</b>	<b>Long.</b>	<b>Zona</b>	<b>Prof. Metros</b>	<b>Estação</b>	<b>Lat.</b>	<b>Long.</b>	<b>Zona</b>	<b>Prof. Metros</b>
1	8923930	814248	23L	4,0	32	8969145	297447	24L	6
2	8923696	813736	23L	4,0	33	8967068	294945	24L	8,0
3	8922312	812160	23L	4,0	34	8971555	291615	24L	5,0
4	8919832	810902	23L	4,0	35	8970429	290664	24L	7,5
5	8919053	810305	23L	4,0	36	8970230	289516	24L	5,0
6	8919329	827559	23L	4,5	37	8974847	284544	24L	8,0
7	8917608	821461	23L	5,0	38	8980391	285623	24L	5,0
8	8912873	820659	23L	3,8	39	8978673	283997	24L	8,0
9	8910972	819626	23L	4,0	40	8983073	283120	24L	4,0
10	8931440	181464	24L	9,0	41	8984048	281206	24L	5
11	8933432	132454	24L	6,0	42	8981027	281789	24L	5
12	8933001	194435	24L	6,0	43	8977042	281831	24L	6
13	8935657	210065	24L	4,0	44	8975474	281403	24L	9
14	8923294	184764	24L	4,5	45	8976394	280129	24L	4
15	8923138	186336	24L	4,8	46	8973656	283492	24L	8
16	8918013	195001	24L	4,8	47	8963481	273436	24L	6
17	8954496	296924	24L	8,0	48	8965544	270254	24L	7
18	8956238	295738	24L	6,0	49	8964242	270336	24L	9
19	8955601	294709	24L	9,0	50	8968205	264546	24L	6,8
20	8956138	293627	24L	5,0	51	8966840	264877	24L	6,8
21	8956963	291599	24L	12,0	52	8967319	263487	24L	6,5
22	8953071	285045	24L	7,0	53	8964977	266380	24L	13
23	8952496	275431	24L	4,0	54	8961726	255550	24L	5
24	8955967	272112	24L	4,5	55	8959339	259650	24L	3
25	8955249	269459	24L	6,5	56	8957304	262283	24L	11
26	8919877	234665	24L	4,0	57	8948357	260061	24L	7
27	8937046	246542	24L	5,0	58	8948808	258491	24L	6
28	8936919	245386	24L	4,8	59	8941638	254789	24L	4,5
29				8,0	60	8937977	252650	24L	5,5
30	8963063	300235	24L	5,0	61	8933430	238198	24L	4
31	8964351	297296	24L	8,0	62	8935132	233017	24L	4

**\*Datum: SAD69**

A concentração de nitrato e nitrito foram analisadas segundo Mackereth *et al.* (1978), e de amônia, segundo Koroleff (1976). O fósforo inorgânico dissolvido, fosfato total e fósforo total foram determinados segundo Strickland & Parsons (1960).

Dados de precipitação total para o período entre janeiro/2001 e dezembro/2002, fornecidos pela CHESF/DORH, foram obtidos das estações meteorológicas do INMET em Xique-Xique, Pilão Arcado, Remanso e Sento-Sé. Dados de área, cota, volume e defluência do reservatório de Sobradinho, para o período de janeiro/2001 a abril/2003, foram também fornecidos pela CHESF/DORH e constam na Tabela 6.

**Tabela 6** – Valores médios de área, volume e defluência do reservatório de Sobradinho, para o período de janeiro/2001 a fevereiro/2003 (dados fornecidos pela DORH/CHESF).

Área (km <sup>2</sup> )				Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )			
ANO/MÊS	2001	2002	2003	ANO/MÊS	2001	2002	2003
JAN.	2513	1840	1759	JAN.	11591	11738	11116
FEV.	2478	2572	2411	FEV.	17036	18047	16322
MAR.	2374	3045	2569	MAR.	15909	22565	17964
ABR.	2213	3085	2762	ABR.	14396	23028	19667
MAI.	2025	2951		MAI.	12892	21544	
JUN.	1892	2753		JUN.	11921	19600	
JUL.	1780	2531		JUL.	11194	17648	
AGO.	1649	2317		AGO.	10266	15357	
SET.	1521	2006		SET.	9174	12739	
OUT.	1403	1716		OUT.	7785	10760	
NOV.	1326	1551		NOV.	7136	9445	
DEZ.	1430	1490		DEZ.	8023	8833	

Vazão (m <sup>3</sup> /s)			
ANO/MÊS	2001	2002	2003
JAN.	1.932	1.022	1.879
FEV.	2.002	1.021	1.803
MAR.	2.033	1.623	
ABR.	1.934	1.779	
MAI.	1.329	1.696	
JUN.	1.099	1.642	
JUL.	1.011	1.613	
AGO.	988	1.662	
SET.	1.092	1.818	
OUT.	1.199	1.553	
NOV.	1.110	1.685	
DEZ.	1.435	1.556	

Médias para o período
Área (km <sup>2</sup> ) = 2087,0
Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) = 13634,85
Vazão (m <sup>3</sup> /s) = 1512,35

Imagens do satélite LANDSAT-TM nas bandas 3, 4 e 5 foram empregadas para a espacialização das variáveis ambientais, empregando-se o aplicativo IDRISI.

### 3.2 Dimensionamento e critérios de seleção das áreas aquícolas.

O cálculo das áreas das reentrâncias do reservatório de Sobradinho e a representação espacial do espectro de variação dos parâmetros ambientais foram realizados através do uso de aplicativo SIG IDRISI versão 3.2, empregando uma imagem Landsat TM georeferenciada, composta pelas cenas 217-66, 217-67, 218-66 e 218, datadas de julho e agosto/2001.

A máscara lógica de separação da água e solo (1 e 0) foi obtida a partir da análise dos níveis digitais encontrados nas imagens das diferentes cenas para a banda 4. Tendo-se verificado que estes apresentavam valores no intervalo 0-85 para a água e 86-

255 para o solo, foi construída uma máscara onde todos os pixels com ND (nível digital) entre 0-85 ficou com valor 1 e os demais com valor 0. Os meandros escolhidos para determinação das áreas, foram aqueles cujas coordenadas constam na Tabela 5, e outros considerados como passíveis de interesse para o cultivo em tanques-rede.

A seleção final das diferentes áreas, consideradas adequadas à implantação de tanques-rede, baseou-se em premissas técnicas previamente estabelecidas, contemplando, ainda, a identificação de fontes de impacto antrópico por atividades agrícolas e aglomerações urbanas, a análise de outras formas de aproveitamento do recurso hídrico e de outros usos potenciais da água do reservatório de Sobradinho, 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.

Dentre as áreas identificadas, foi efetuada a seleção daquelas que atendessem simultaneamente aos seguintes critérios:

- Profundidade média da região central da área superior a 4 m; sendo esta cota bastante influenciada pelo nível do reservatório;
- Ausência de pontos de captação de água para abastecimento urbano e ausência de atividade agrícola nas margens da área;
- Ausência de aglomerados urbanos na margem da área; e
- Níveis de fósforo total inferior a 50  $\mu\text{g/l}$  na água de superfície.

### **3.3 Estimativa da capacidade de suporte**

A estimativa da capacidade de suporte do reservatório de Sobradinho foi efetuada, empregando o método desenvolvido por Dillon & Rigler (1974). O modelo proposto por estes autores baseia-se em características do ambiente considerado (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 (**Ptotal**) em equilíbrio. Considerar a concentração média anual da concentração de **Ptotal** de águas superficiais, baseado numa série de amostras ao longo do ano. Foram empregados os valores relativos às áreas caracterizadas no presente estudo.

### Etapa 2

A capacidade do desenvolvimento de um lago ou reservatório para o cultivo intensivo em gaiolas é a diferença entre a produtividade antes da exploração e o nível desejável/aceitável de produtividade. Embora **Ptotal** seja usado para determinar a produtividade, são os níveis correspondentes de biomassa algal que interessam, e uma vez que os peixes são cultivados ao longo do ano, é o pico da biomassa algal, medida pela concentração de clorofila (**clo max**) que interessa. O nível aceitável/desejável de (**clo max**) depende da espécie cultivada e se o corpo d'água é de uso múltiplo ou não. Ante a inexistência de relações entre **Ptotal** e **clo max** para a maioria dos corpos d'água tropicais, Beveridge (1991) sugere que **Ptotal** deve ser relacionado à concentração média anual de clorofila (**clo méd**) através da relação:  $\text{clo méd} = 0,416 \text{ Ptotal med}^{0,675}$  (Walmsley e Thornton, 1984 *apud* Beveridge, 1991). Entretanto, ante a disponibilidade de dados sobre as variáveis em questão para as áreas de meandros caracterizados em Sobradinho, optou-se pela relação  $\text{clo méd} = 0,438 \text{ Ptotal med}^{0,946}$ , baseada nos dados disponíveis.

### Etapa 3

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

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

**ΔPtot** está relacionado à carga de fósforo originada nas gaiolas - **Ppeixe**, 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 **Ppeixe** retida nos sedimentos).

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

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

A alteração aceitável/desejável de **Ptot**, **ΔPtot** ( $\text{mg m}^{-3}$  ou  $\mu\text{g l}^{-1}$ ), é determinada conforme especificado acima e **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,  $\rho$  ( $ano^{-1}$ ), é igual a  $Q_o/V$ , onde  $Q_o$  é o volume total médio que flui do lago/reservatório por ano.  $Q_o$  pode ser calculado a partir das medidas diretas de vazão defluente, ou em alguns casos pode ser determinado dos dados publicados das vazões afluentes médias de longo prazo do escoamento superficial da bacia de captação ( $Ad.r$ ), precipitação ( $Pr$ ) e evaporação ( $Ev$ ), sendo:

$Q_o = Ad.r + A (Pr - Ev)$  - ver Dillon e Rigler (1975), citado por Beveridge (1991), para mais detalhes.

No cálculo, foram considerados os valores de volume, defluência e área fornecidos pela CHESF/DORH, relativos ao período de janeiro/2001 a abril/2003, constantes na Tabela 5.

**Rpeixe** é o parâmetro mais difícil de estimar. Usando os argumentos propostos por Phillips *et al.* (1985c), constante de Beveridge (1991), pelo menos 45-55% dos resíduos de **Ptotal** do cultivo de truta em gaiolas 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 **Ptotal** estão na forma de P dissolvido. Na ausência de outros dados, estes valores terão de ser usados para o cultivo de tilápia e carpa. Uma fração do P dissolvido também será perdida para os sedimentos. Os valores de **Rpeixe** são, portanto, muito maiores que **R** para cargas convencionais de P, e pode ser resumido como:

$Rpeixe = x + [(1 - x) R]$ , onde  $x$  = a proporção líquida de **Ptotal** permanentemente perdida para os sedimentos como resultado da deposição de sólidos (isto é, 0,45-0,55), e  $R$  = proporção de **Ptotal** dissolvido perdido para os sedimentos foi calculado a partir da equação:  $R = 1/(1 + 0,614 \rho^{0,491})$ , constante de 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 ( $\dot{z}$ ).

#### Etapa 4

Uma vez tendo sido calculada a carga permissível/aceitável de **Ptot**, **Rpeixe**, então a produção intensiva de peixe em gaiolas (ton/ano) pode ser 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 Kubitza (1999).

A análise complementar da capacidade de suporte para cada área aquícola foi efetuada conforme a metodologia empregada para os demais reservatórios do rio São Francisco (FADURPE, 2000a,b,c; 2001; 2002a,b).

Tendo em vista a inexistência de empreendimentos de cultivo em tanques-rede no reservatório, exceto um módulo demonstrativo da Bahia Pesca, foi considerado como referencial o cultivo de tilápia do Nilo praticado em outros reservatórios do rio São Francisco, admitindo-se um peso médio final de 500 gramas e uma biomassa total por ano de 1 tonelada, correspondente a 2 ciclos de produção por ano.

A partir dos dados de biomassa produzida, foi estimada a carga de matéria seca (1.486,2 kg/ton de tilápia produzida), nitrogênio (77,6 kg/ton) e fósforo (18,2 kg/ton) lançados no corpo d'água por cada empreendimento, tomando como referência os teores médios destes componentes encontrados nas rações comerciais brasileiras analisadas por Kubitza (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 total do epilímnio conforme as características de cada meandro e estimativa de sua profundidade média; c) um acréscimo permissível de 5 µg/l 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 Kubitza (1999) para as rações comerciais por ele analisadas.

Um acréscimo de 5 µg/l de fósforo total foi considerado aceitável para o reservatório, sendo compatível com concentrações características de ambientes oligotróficos (ESTEVES, 1998), e com a categoria das águas da Classe II da Resolução CONAMA N.º. 20, de 18/06/1986, que estabelece valor máximo de 25 µg/l de fosfato total; sendo correspondentes a 2% do valor máximo tentativo proposto por Beveridge (1991) para águas continentais tropicais após a implantação do cultivo em tanques-rede

(250 mg/m<sup>3</sup>). Estas variáveis foram integradas nas equações propostas por Beveridge (1991) e adaptadas por Kubitzka (1999). Uma destas modificações considera a profundidade do epilímnio em cada reentrância, em substituição à profundidade média do reservatório, originalmente proposta por aquele autor.

A equação usada no cálculo dos valores da capacidade de suporte nos meandros selecionados foi a seguinte: **CS = (ÁREA x B x 2F x 10.000 x 365) ÷ [(C x 1.000) x (1 + G) x 1.000]**; onde: CS. - Capacidade de suporte; ÁREA. - Área em ha dos meandros selecionados para implantação de tanques-rede; B. - Profundidade média do epilímnio ; 2F. - Limite máximo de P adicional na água = 5 µg.L<sup>-1</sup>; 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).

A determinação da área foi feita a partir da modificação dos valores de cada pixel dentro de cada meandro (ex.: área 1-ND=2, área 2 - ND=3, etc...), sendo posteriormente retiradas amostras de cada região (ROIs) e obtidos os pontos que faziam parte da mesma feição, através de crescimento de regiões. Após a determinação do número de pixels que pertenciam a cada região, procedeu-se ao cálculo da área, tendo como entrada as medidas dos pixels (30m x 30m).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Caracterização ambiental do reservatório

Durante o período compreendido entre janeiro/2001 e dezembro/2002, dentro do qual foi realizada a caracterização limnológica do reservatório e seus meandros (junho a agosto/2002) – período compreendido entre duas barras verticais nas Figuras 7 e 8 -, o reservatório de Sobradinho apresentou as seguintes características hidrológicas, conforme dados fornecidos pelo DORH/CHESF:

- um nítido padrão sazonal de variação de nível da água (cota), com uma fase de deplecionamento (redução de cota) entre os meses de fevereiro e outubro/2001 e maio a dezembro/2002; e uma fase de enchente entre dezembro/2001 e abril/2002, com uma variação global para o período entre as cotas 382 e 389 (diferença de 7 metros) (Figura 7);
- uma correspondente variação de área superficial, com um padrão de variação semelhante ao da cota média, registrando valores extremos de 2.500 e 3.100 km<sup>2</sup> (Figura 7);
- um padrão de variação do volume também semelhante ao da cota média, com valores entre 7 e 23.10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> (Figura 8); e
- uma vazão de defluência média com um padrão irregular, que não reflete a afluência ou variação da cota, haja visto o controle de vazão efetuado pela CHESF, para garantir uma vazão regular para o sistema hidrelétrico a jusante de Sobradinho. As vazões variaram entre 1.000 e 2.000 m<sup>3</sup>/s, com uma variação de 100% entre elas (Figura 8).

A precipitação pluviométrica na área de influência do reservatório, expressa por dados coletados nas cidades de Xique-Xique (a montante), Pilão Arcado, Remanso e Santo Sé (trecho médio), evidenciou um padrão característico de clima semi-árido, com um período marcadamente seco entre junho e setembro e um período chuvoso entre setembro/outubro e maio/junho, com pico em março/2001 e janeiro/2002 (Figura 7).

A Tabela 7 apresenta os valores máximo, mínimo e média das variáveis ambientais levantadas em campo (Tabela 7A) e analisadas em laboratório (Tabela 7B). Tendo em vista a heterogeneidade das características limnológicas dentre as estações de amostragem e suas profundidades (superfície e fundo), não foram detectadas diferenças significativas entre elas, enquanto apenas o pH ( $p=0,0001$ ) e a temperatura ( $p= 0,0022$ ) diferiram significativamente entre as profundidades.

A profundidade de Secchi apresentou valores entre 0,5 e 3,0 m (Tabela 7A), cuja variação dentre as estações amostradas está disposta na Figura 9. Em algumas porções mais internas dos meandros, foram detectados valores de transparência mais elevados em relação às estações próximas ao corpo central do reservatório, indicando uma influência local, como os processos de transporte e carreamento da micro-bacia hidrográfica nestas áreas.

Com base nos valores de transparência do disco de Secchi, o limite estimado da zona eufótica (empregando 2,7 como fator) esteve compreendido entre 1,5 e 9 m. Os valores de extinção da radiação subaquática, por sua vez, indicaram uma profundidade média da zona eufótica entre 4 e 5 m.

A temperatura da água apresentou picos entre 26,7 a 21,6 °C (Tabela 7A, Figura 10). Estes dados representam uma diferença de aproximadamente 6 °C dentre as profundidades e estações de amostragem, mas, de modo geral indica a homogeneidade térmica na coluna d'água, não tendo sido detectada a presença de estratificação.

Os níveis de concentração do oxigênio dissolvido apresentaram-se predominantemente elevados – valores médios acima de 8,0 mg/L em todas as profundidades -, com menores valores indicando uma hipóxia leve, entre 5,4 (superfície) e 4,7 mg/L (fundo) em algumas estações (Tabela 7A). A Figura 11 apresenta, respectivamente, a variação espacial dos valores de superfície e a variação entre profundidades e estações.

A condutividade elétrica da água oscilou entre 57 e 116  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com média de 73  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dentre as diferentes profundidades (Tabela 7A). A Figura 12 apresenta a variação entre profundidades e estações, evidenciando valores comparativamente mais elevados nas estações ZS38 a 42 e ZS54 e 55 (Figura 14), em todas as profundidades.

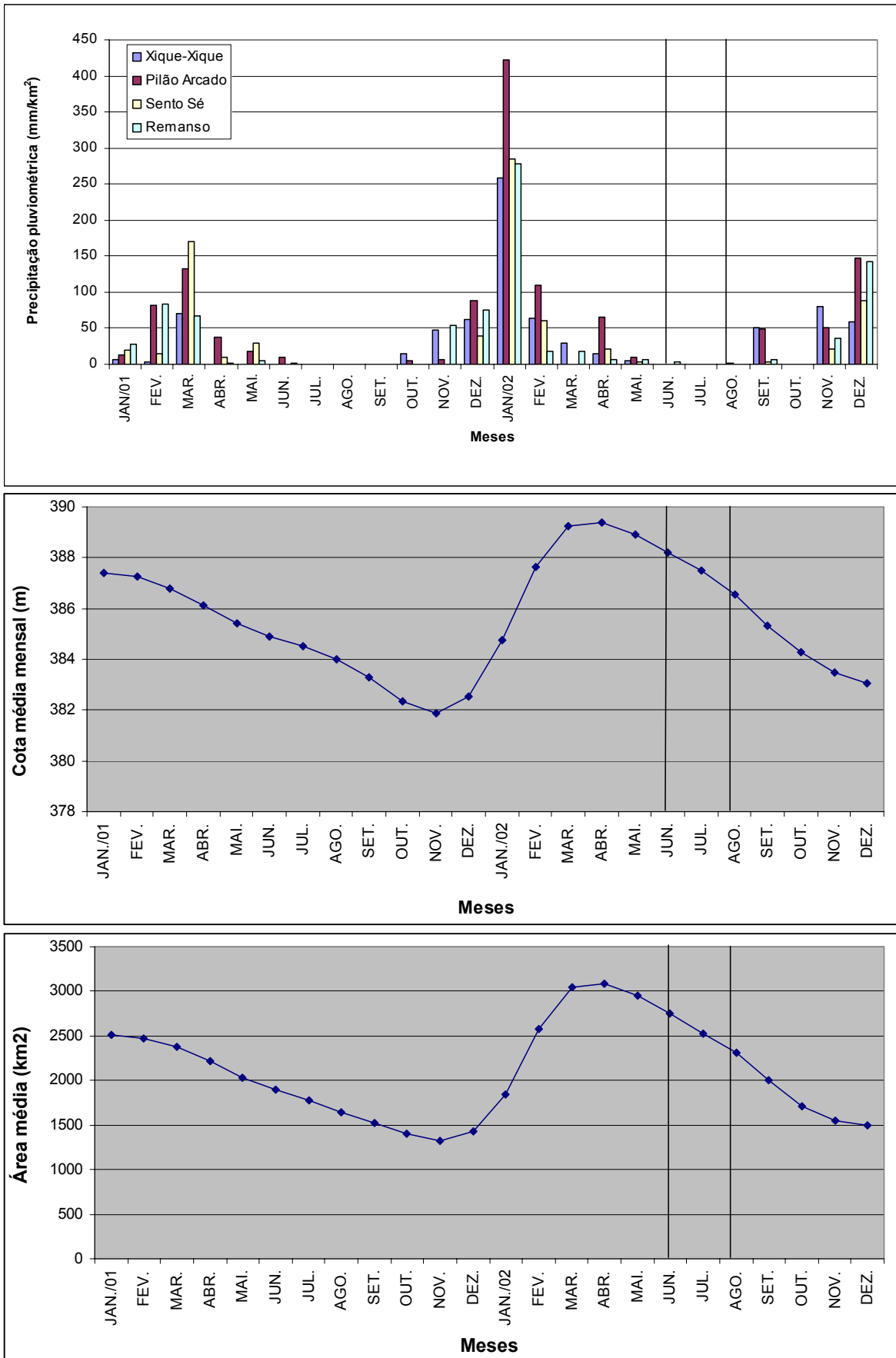
O pH apresentou valores compreendidos entre 6,7 e 8,5, com média aproximada de 7,6 (Tabela 7A). As pequenas amplitudes de variação entre as profundidades e estações de amostragem, sem diferença marcante entre as mesmas (Figura 13), caracterizam capacidade de tamponamento, decorrente da reserva alcalina. Na porção mais próxima da barragem, observou-se um aumento da amplitude dentre os valores de superfície e fundo, em comparação com as estações a montante (Figura 13).

A alcalinidade apresentou valores entre 44,5 e 27,5 mg/L  $\text{CaCO}_3$ , com média nas diferentes profundidades ao redor de 34 mg/L (Tabela 7B). As estações da porção final do reservatório apresentam valores mais elevados – entre 35 e 40 mg/L -, enquanto no corpo central este variou predominantemente entre 30 e 35 (Figura 14).

Os valores da coluna d'água variaram entre ND (não detectado) e 392  $\mu\text{g/L}$  para amônia; ND e 22,1  $\mu\text{g/L}$  para nitrito e ND e 117,6  $\mu\text{g/L}$  para nitrato. A distribuição espacial destas variáveis para as diferentes profundidades apresentou diferenças marcantes em algumas estações de amostragens (Figuras 15, 16 e 17) respectivamente. Os valores médios mais elevados foram registrados no fundo para amônia, nitrito e nitrato. Dentre as formas de nutrientes analisadas, os valores de nitrato foram os mais heterogêneos ao longo das diferentes profundidades. Os valores de amônia mantiveram-se, em média, entre ND e 10  $\mu\text{g/L}$ , a despeito dos valores mais elevados registrados.

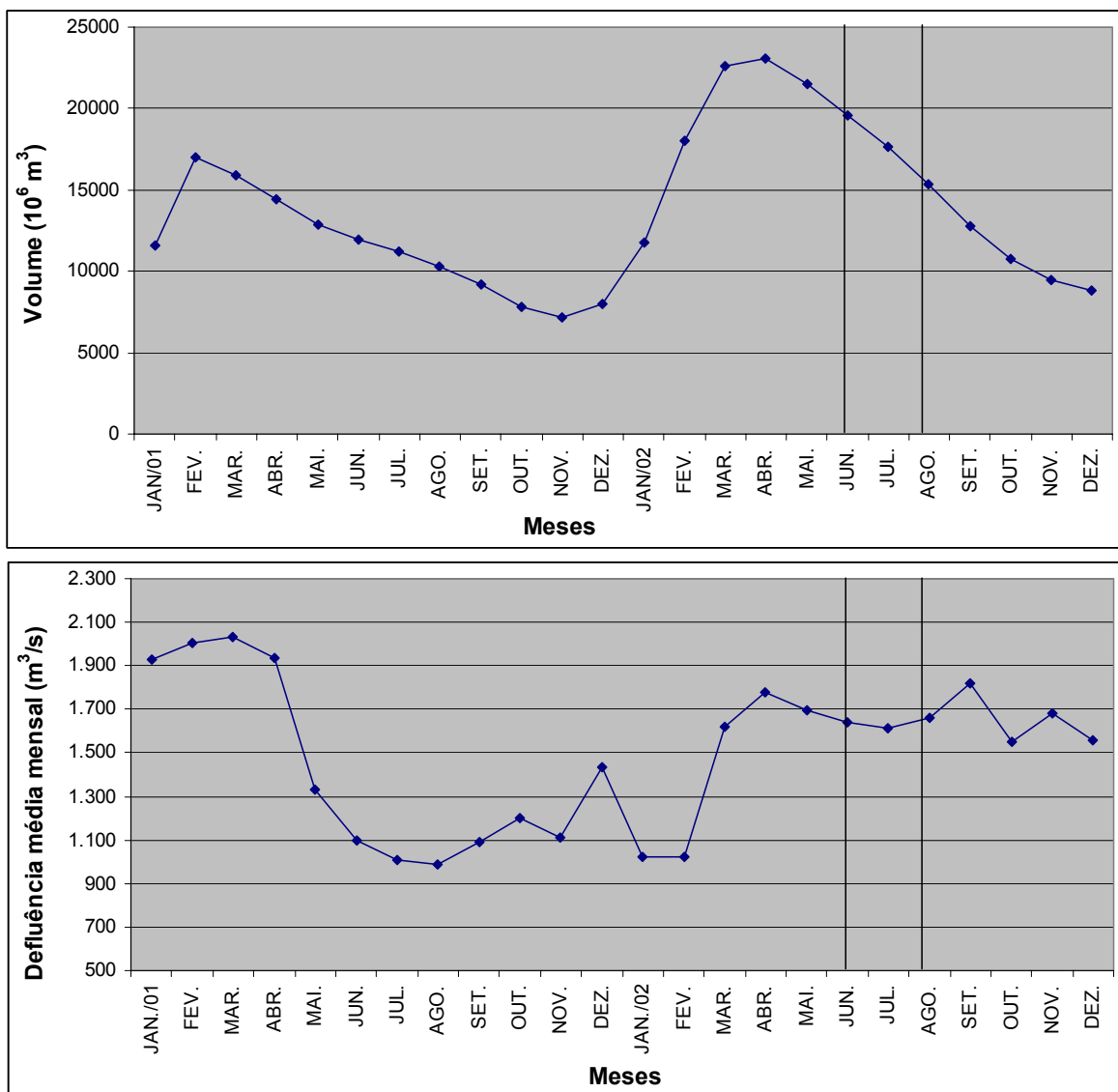
A variação dos valores da concentração de fósforo, nas formas de fosfato inorgânico dissolvido, fosfato total e fósforo total, entre as diferentes profundidades, pode ser avaliada nas Figuras 18, 19 e 20, as quais apresentam maiores diferenças ao longo dos pontos amostrados para o fósforo total (Figura 20). A variação dos valores de superfície dentre as estações amostradas constam das Figuras 18, 19 e 20. Os valores obtidos na coluna d'água variaram entre 1,34 a 103,7  $\mu\text{g/L}$  para fosfato inorgânico dissolvido; 2,60 a 29,14  $\mu\text{g/L}$  para fósforo total e 1,72 a 19,69  $\mu\text{g/L}$  para fosfato total.

Os valores médios da concentração de clorofila-a na coluna d'água variaram entre 0,00 e 35,15  $\mu\text{g/L}$ , tendo-se registrado diferenças marcantes ao longo da coluna d'água nos meandros da porção final do reservatórios (Figura 21). Valores comparativamente mais elevados foram registrados em ZS-40 - 23,9  $\mu\text{g/L}$ ; ZS-41, com média aproximada 27  $\mu\text{g/L}$ ; ZS-42 - 33,48  $\mu\text{g/L}$  na superfície; e alguns picos nas estações ZS-46, ZS-47 e ZS-48 (Figura 21).



**Figura 7** – Variação temporal da precipitação pluviométrica em diferentes cidades na área de Sobradinho, da cota média mensal e da área média do reservatório (de cima para baixo) entre janeiro/2001 e dezembro/2002 (dados DORH/CHESF).





**Figura 8** – Variação temporal do volume e da defluência média mensal do reservatório de Sobradinho (de cima para baixo), entre janeiro/2001 e dezembro/2002 (dados DORH/CHESF).

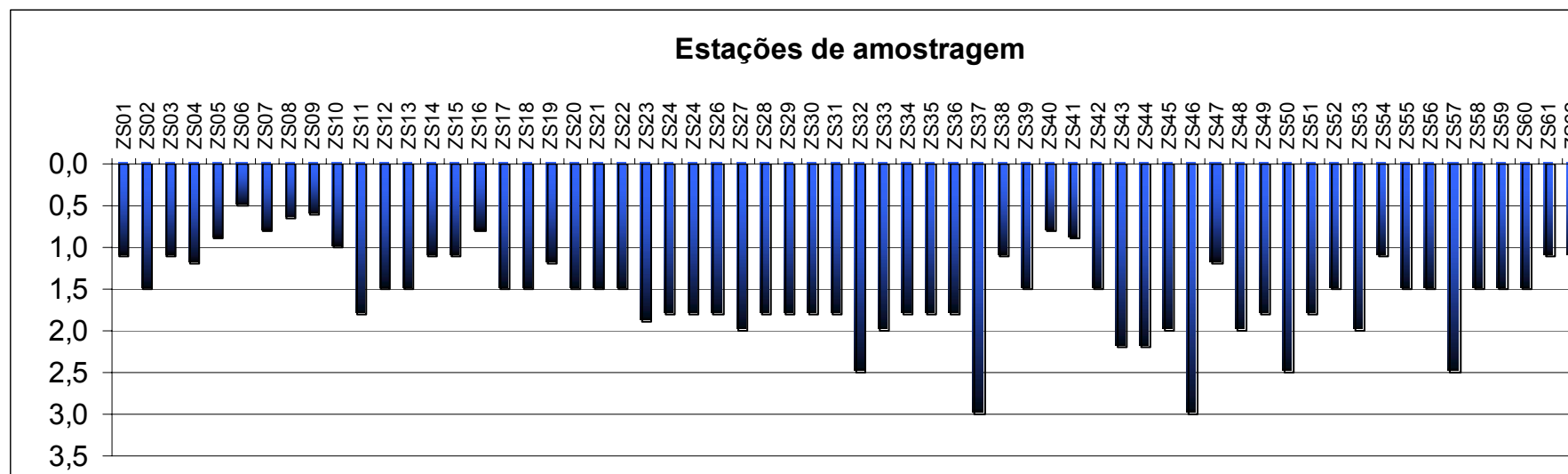


Figura 9- Variação dos valores de transparência de Secchi nas diferentes estações de amostragem do reservatório de Sobradinho.

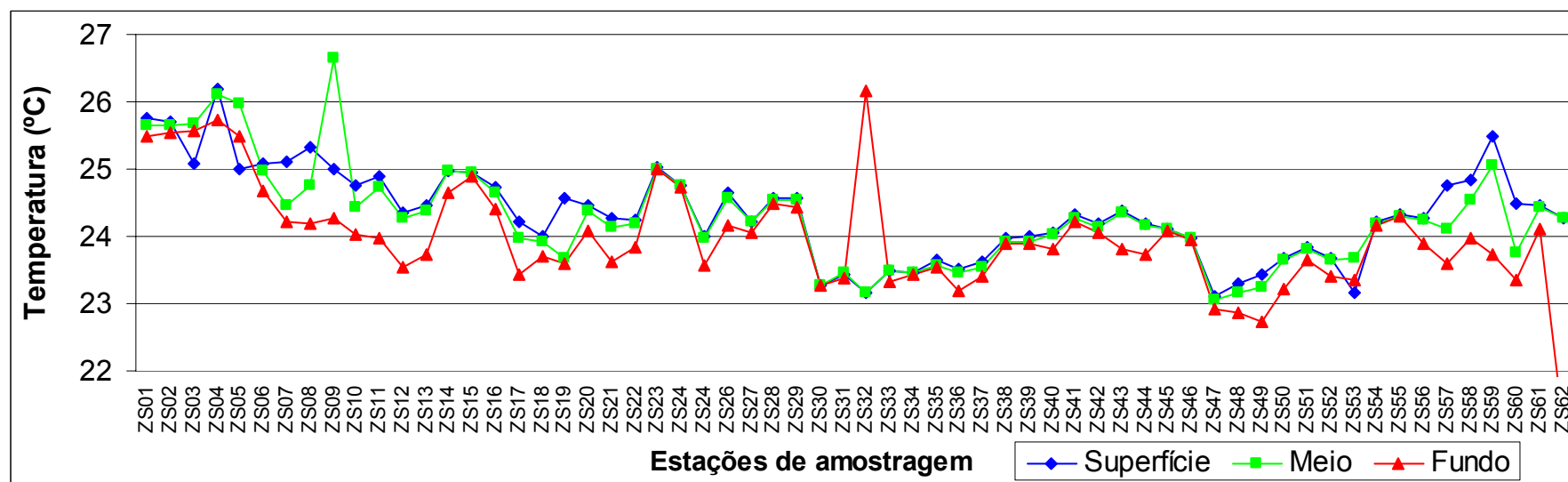
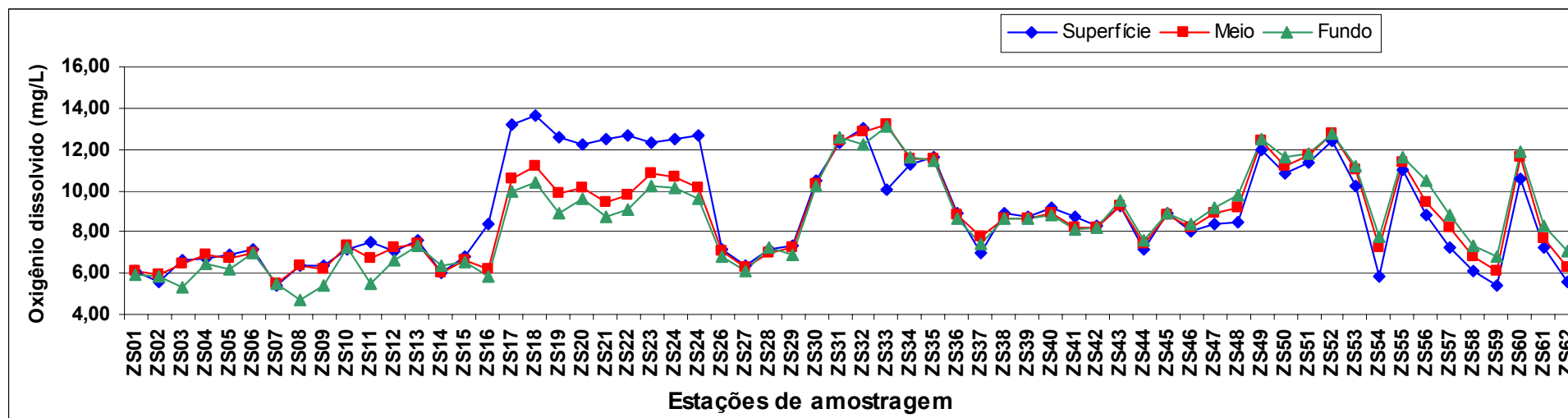
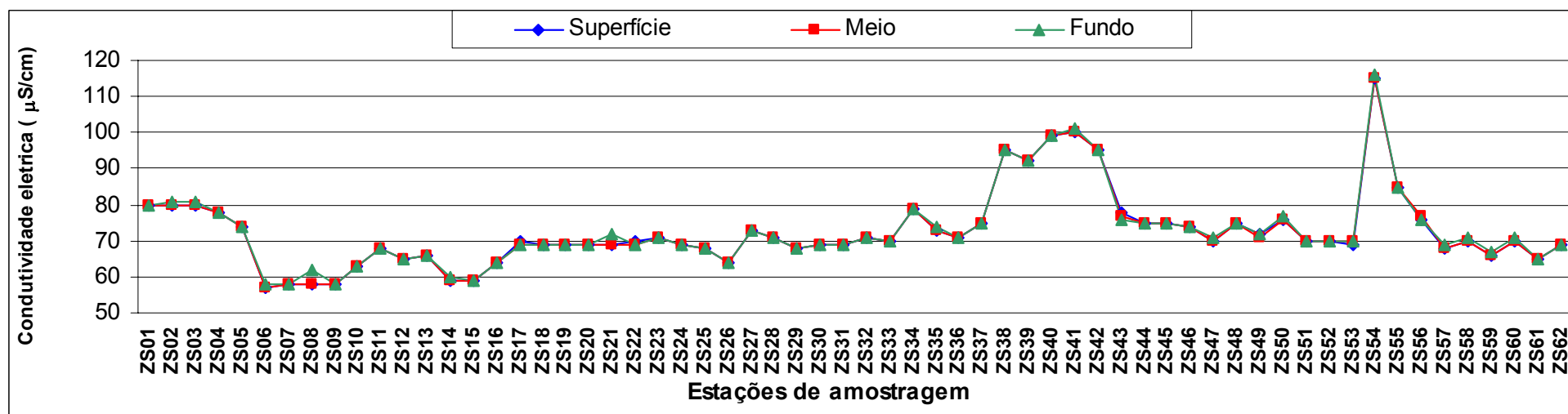


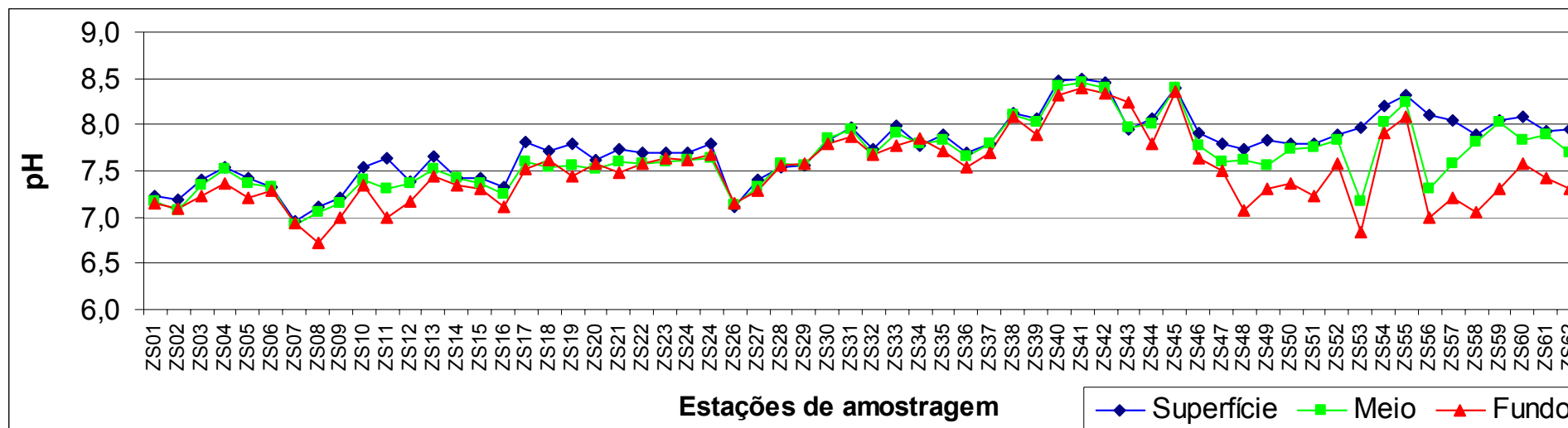
Figura 10- Variação dos valores de temperatura da água nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.



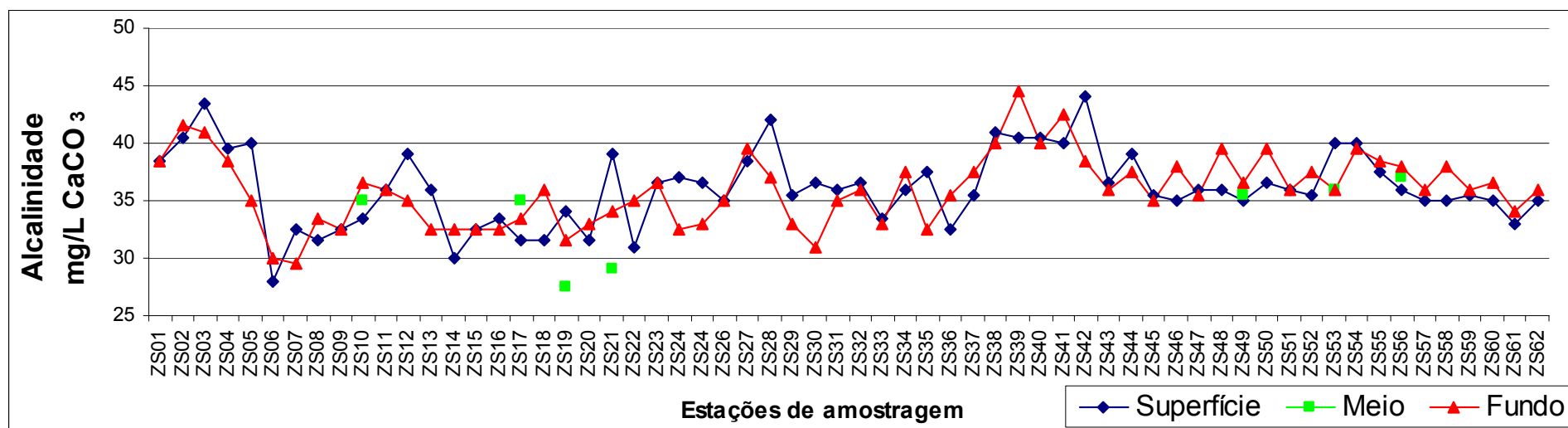
**Figura 11** - Variação dos valores da concentração de oxigênio dissolvido na água nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.



**Figura 12** - Variação dos valores de condutividade elétrica da água nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.



**Figura 13-** Variação dos valores de pH da água nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.



**Figura 14-** Variação dos valores da alcalinidade total da água nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.

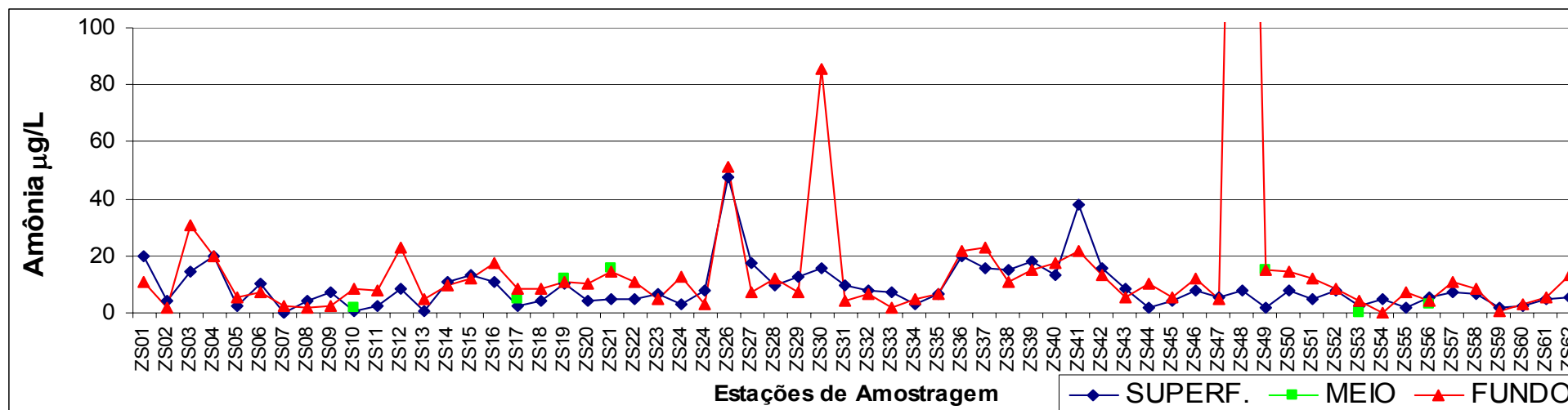


Figura 15- Variação dos valores de amônia nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.

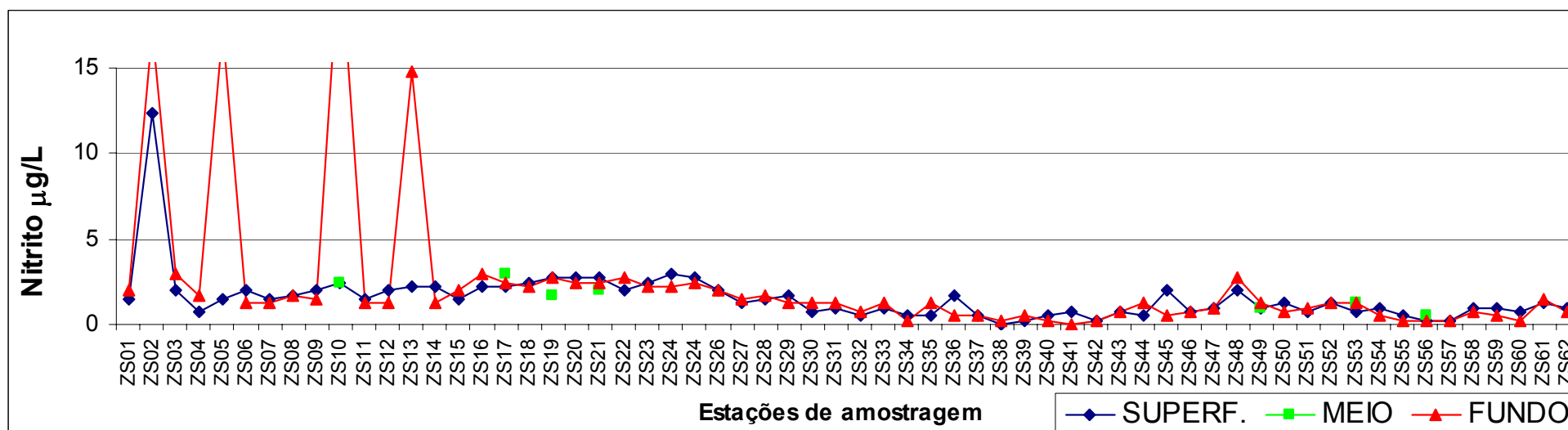


Figura 16- Variação dos valores de nitrito nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.

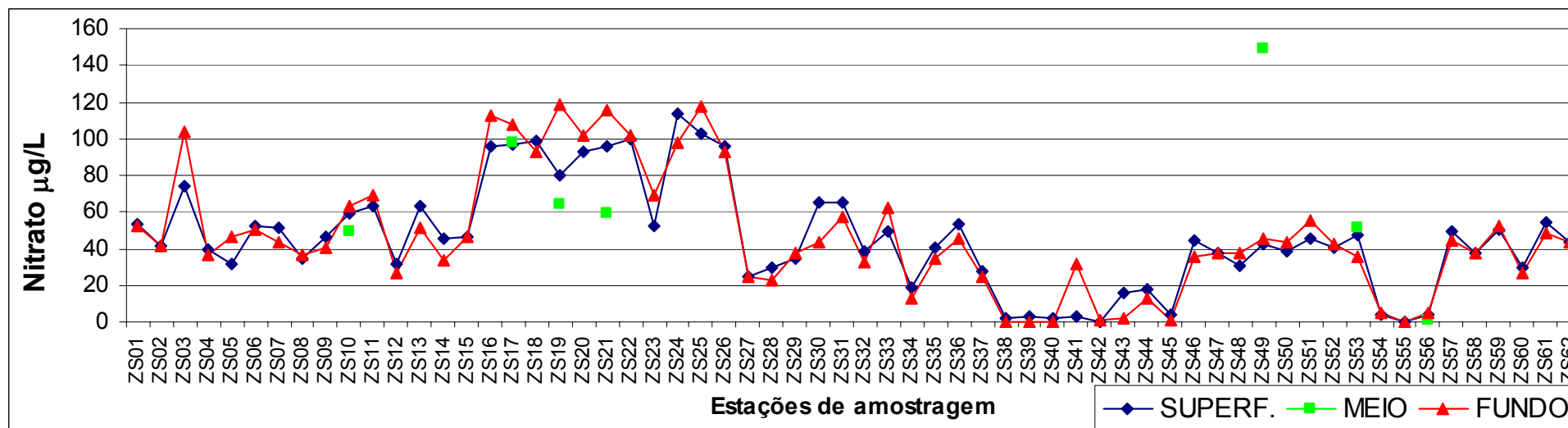


Figura 17- Variação dos valores de nitrato nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.

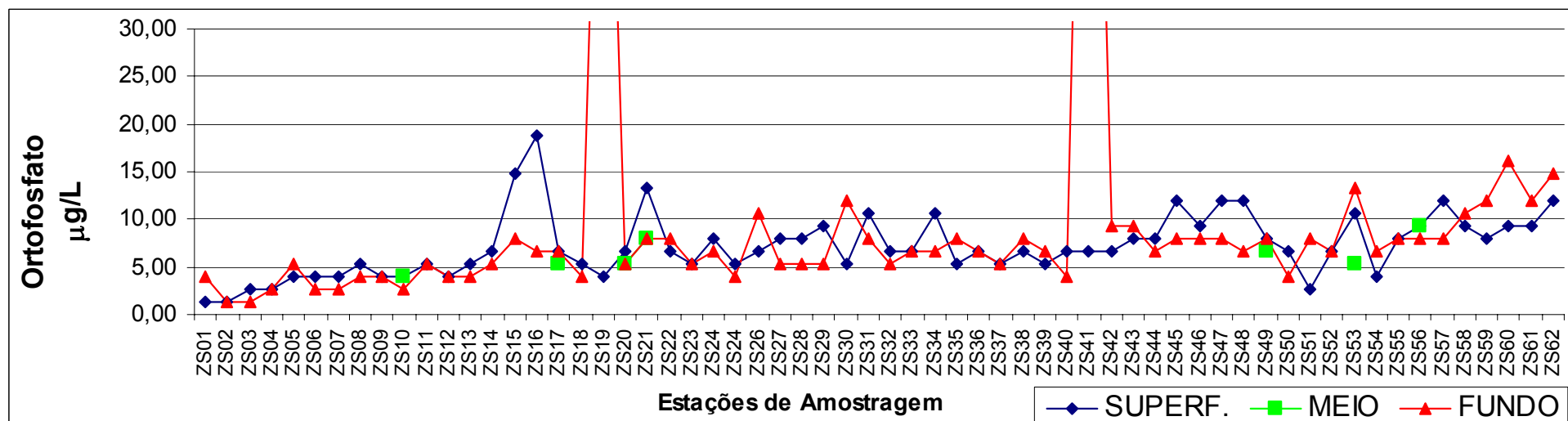
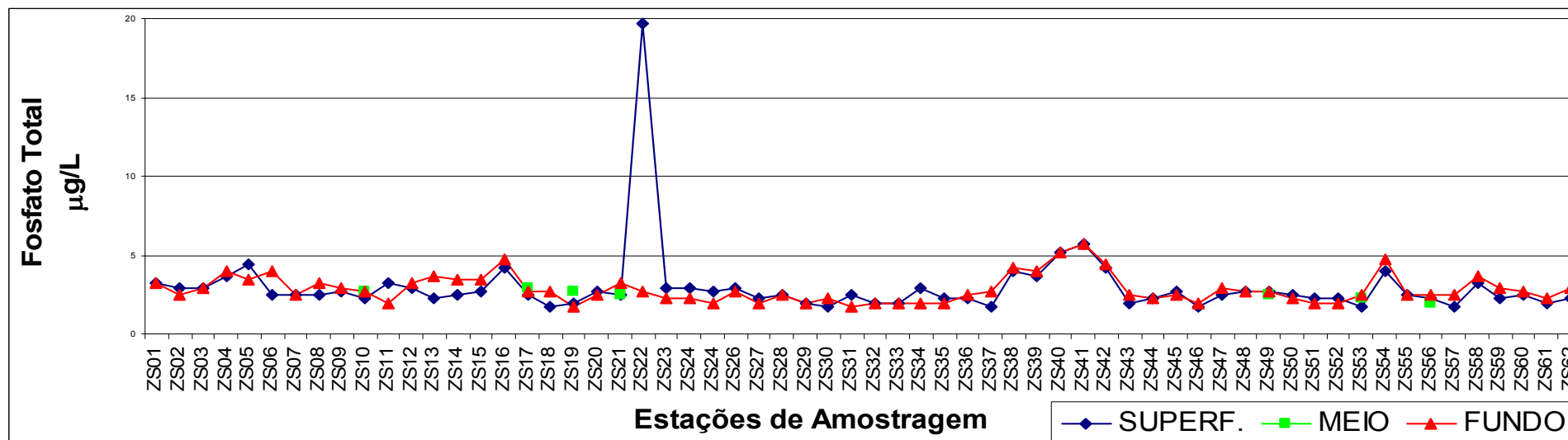
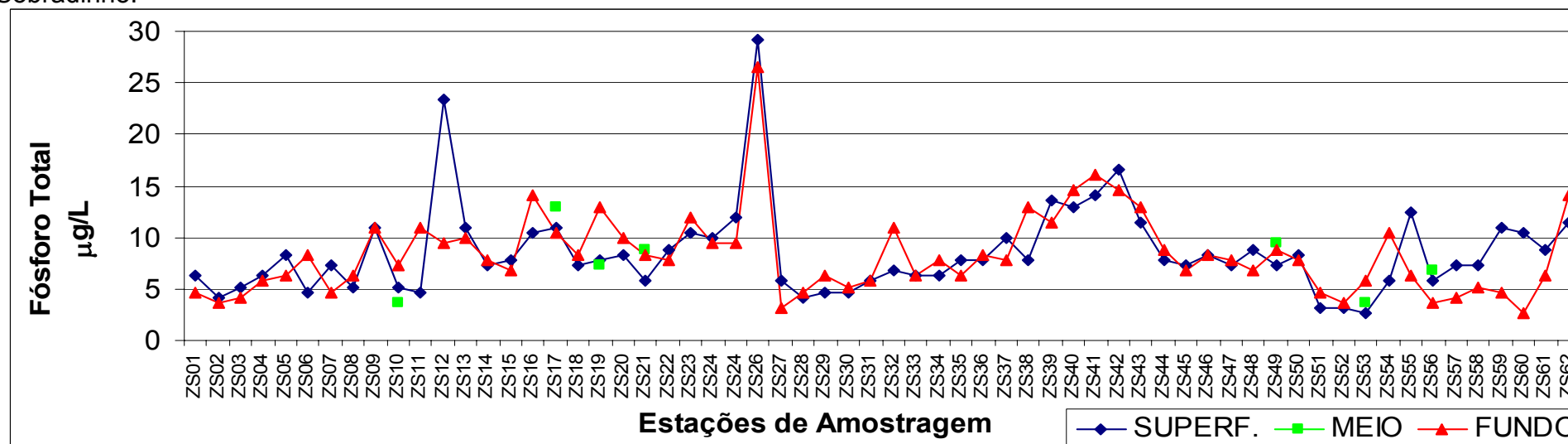


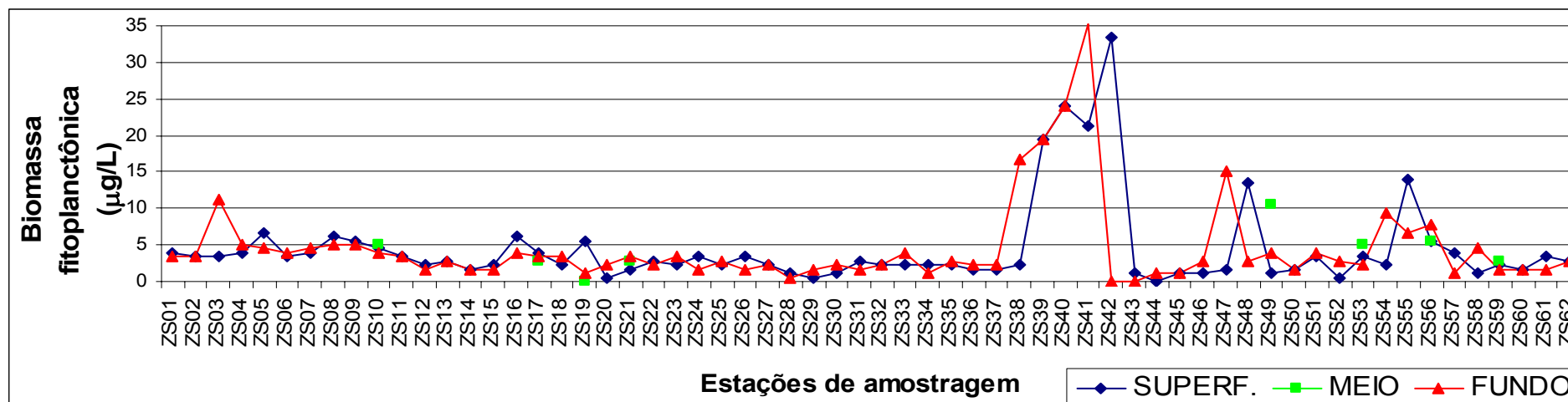
Figura 18- Variação dos valores de ortofosfato nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.



**Figura 19-** Variação dos valores de fosfato total nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.



**Figura 20-** Variação dos valores de fósforo total nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.



**Figura 21-** Variação dos valores da biomassa fitoplanctônica (clorofila-a) nas diferentes estações e profundidades de amostragem do reservatório de Sobradinho.



**Tabela 7** – Valores mínimo, máximo e média das variáveis limnológicas analisadas em campo (A) e em laboratório (B), nos diferentes meandros do reservatório de Sobradinho.

**A**

Variáveis	Superfície			Fundo		
	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média
Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )	57	115	72,79	58	116	73,06
O.D. (mg/L)	5,36	13,60	8,98	4,71	13,10	8,62
pH	6,95	8,50	7,76	6,72	8,39	7,50
Secchi (m)	0,5	3	1,56	-	-	-
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	23,12	26,18	24,34	21,17	26,16	23,98

**B**

Variáveis	Superfície			Fundo		
	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média
Alcalinidade (mg/L $\text{CaCO}_3$ )	28	44	36,12	29,5	44,5	35,97
Amônia ( $\mu\text{g/L}$ )	0	47,52	8,88	0	392,87	17,71
Clorofila ( $\mu\text{g/L}$ )	0	33,48	4,46	0	35,15	4,56
Fosfato ( $\mu\text{g/L}$ )	1,72	19,70	2,97	1,72	5,66	2,84
Fósforo ( $\mu\text{g/L}$ )	2,60	29,14	8,53	2,60	26,54	8,34
Nitrato ( $\mu\text{g/L}$ )	0	113,44	46,02	0	118,13	47,01
Nitrito ( $\mu\text{g/L}$ )	0	12,31	1,54	0	22,16	2,35
Ortofosfato ( $\mu\text{g/L}$ )	1,34	18,74	7,25	1,34	103,07	9,56

#### 4.2 Áreas com potencial de aproveitamento aquícola e sua capacidade de produção

De acordo com os levantamentos *in situ* e análise de imagem de satélite, foram identificadas 46 áreas de reentrâncias no reservatório de Sobradinho (Figura 24, Tabela 8), inseridas no trecho desde a montante de Remanso até a montante da barragem, no qual ocorrem ambientes lênticos, protegidos e com largura compatível com a implantação de áreas aquícolas.

A montante de Pilão Arcado, em decorrência das características geomorfológicas da calha do São Francisco no trecho – mais estreita, com bancos de areia e margens constituídas de diques formados pela deposição de sedimentos, ao longo dos sucessivos movimentos alternados a cada variação de nível hidrológico - e do marcante deplecionamento de nível ao qual o reservatório de Sobradinho está sujeito, não

encontram-se áreas adequadas à implantação de tanques-rede. Este trecho apresenta características tipicamente lóxicas (rio), com lagoas de dimensões variadas dispostas ao longo das margens do rio, provavelmente constituídas por vales formados pelo leito abandonado do São Francisco, em sua maioria intermitentes e sujeitas a total ou parcial depleção.

A análise das 46 áreas mencionadas, em função de suas características geográficas e de critérios físicos adequados à atividade piscícola em tanques-rede, como profundidade, isolamento, proteção, acessibilidade e infra-estrutura de apoio à atividade, visando seu aproveitamento potencial, levou à indicação de apenas 31 delas como adequadas à exploração com piscicultura em tanques-rede. A Figura 25 indica a localização dos meandros do reservatório em cada zona discriminada na Figura 24, cujas áreas correspondentes estão contidas na Tabela 8. Estas totalizam cerca de 176,3 km<sup>2</sup>, sendo que 64% delas encontram-se na margem esquerda do reservatório, correspondendo a uma superfície estimada de 159,8 km<sup>2</sup>.

Na área de influência do reservatório de Sobradinho, estão localizadas diversas áreas integradas a projetos de irrigação, sendo os maiores deles, voltados ao cultivo de uvas na margem esquerda em Casa Nova, de manga na margem direita em Sento Sé e de banana na margem direita, no distrito de Aldeia, município de Sento Sé. Todos estes estão distribuídos no trecho médio superior da região considerada do reservatório. Outra área com aglomeração de projetos irrigados está localizada ao redor de Casa Nova, estendendo-se em direção à barragem, pela margem esquerda do reservatório, também com plantio predominante de frutas.

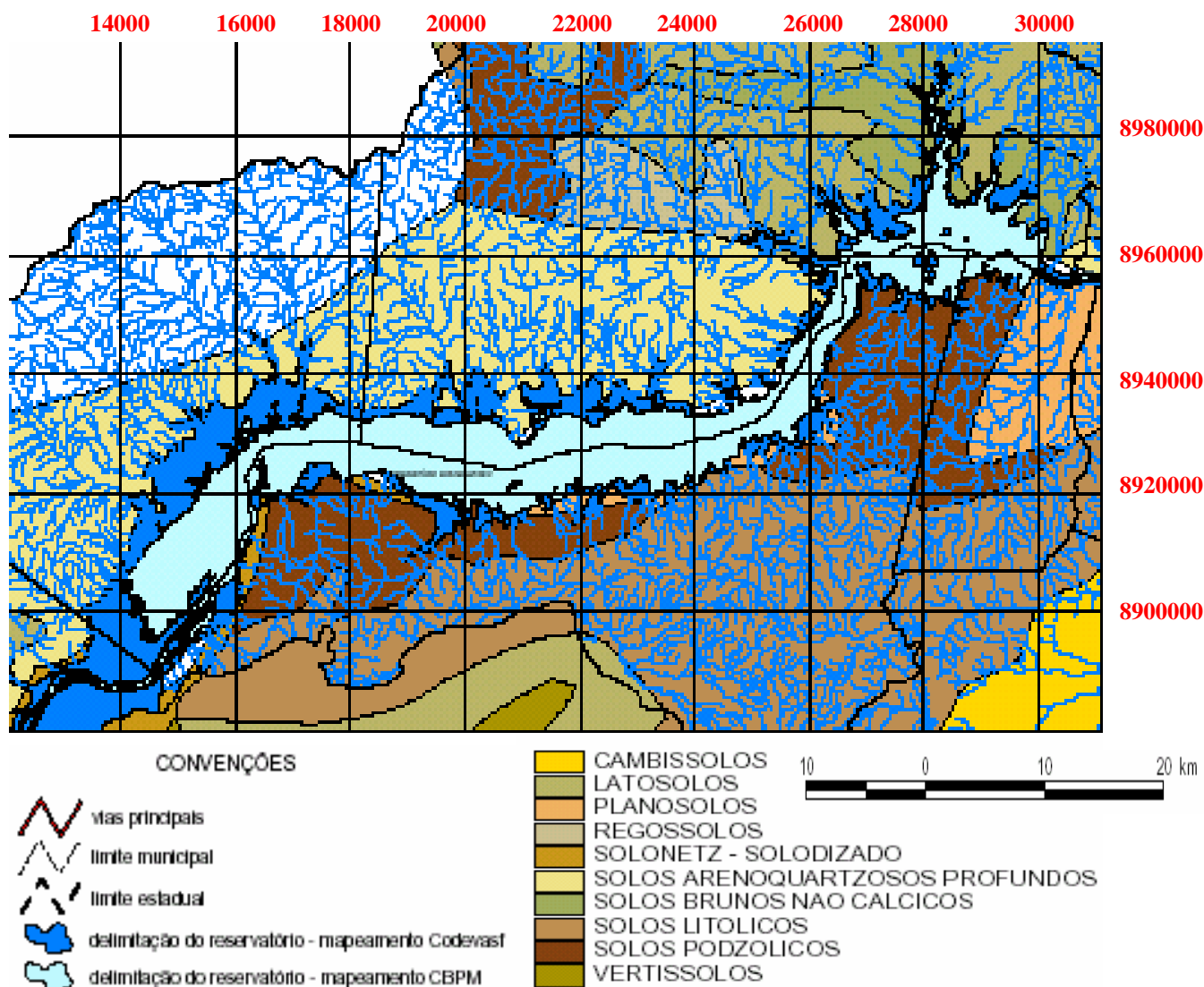
Diversas reentrâncias, conforme sua localização e existência de áreas de irrigação em sua bacia de captação, estão sujeitas à influência das atividades desenvolvidas nas mesmas, sendo passíveis de processos erosivos, com o aporte de sedimentos, adubos e agrotóxicos, dependendo das características de relevo das áreas, seu grau de proteção das margens e manejo das lavouras (Figuras 22 e 23). O uso destes locais para a implantação de áreas aquícolas deve, portanto, ser feita com a devida cautela, além de ser adotado um menor percentual de aproveitamento das mesmas. O fator mais limitante ao aproveitamento de diversas reentrâncias do reservatório de Sobradinho, no trecho considerado, é a baixa declividade das margens, contribuindo para a pouca profundidade dos meandros.

Dentre as 31 áreas consideradas adequadas (Tabela 9), com uma superfície aproximada de 12.717 ha, foi estimada uma capacidade bruta de produção de 25.742,

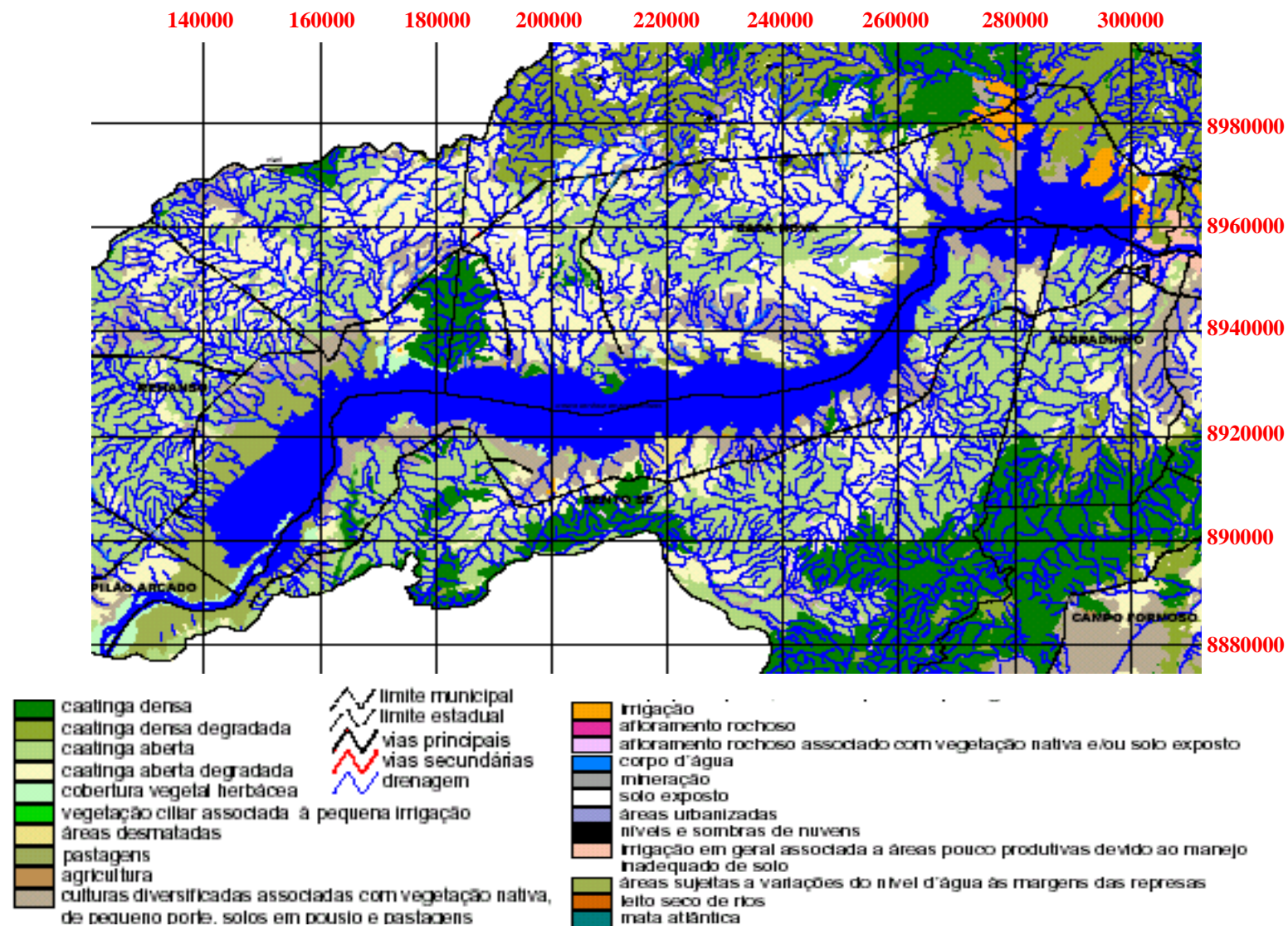
14.042 e 9.651 ton/ano, assumindo-se, respectivamente, 5, 10 e 15 dias de tempo de assimilação do fósforo na coluna d'água. Considerando-se as restrições existentes em cada área, como presença de árvores submersas, cidades, projetos agrícolas, a capacidade de produção líquida estimada foi de 12.503, 6.820 e 4.688 ton/ano, numa área total correspondente a 6.161 ha, equivalente a 2,95% da superfície média do reservatório no período 2001/2002 (Tabela 9).

**Tabela 8** – Resumo das áreas superficiais de cada meandro do reservatório de Sobradinho, contido nas diferentes zonas delineadas nas Figuras 34 e 35.

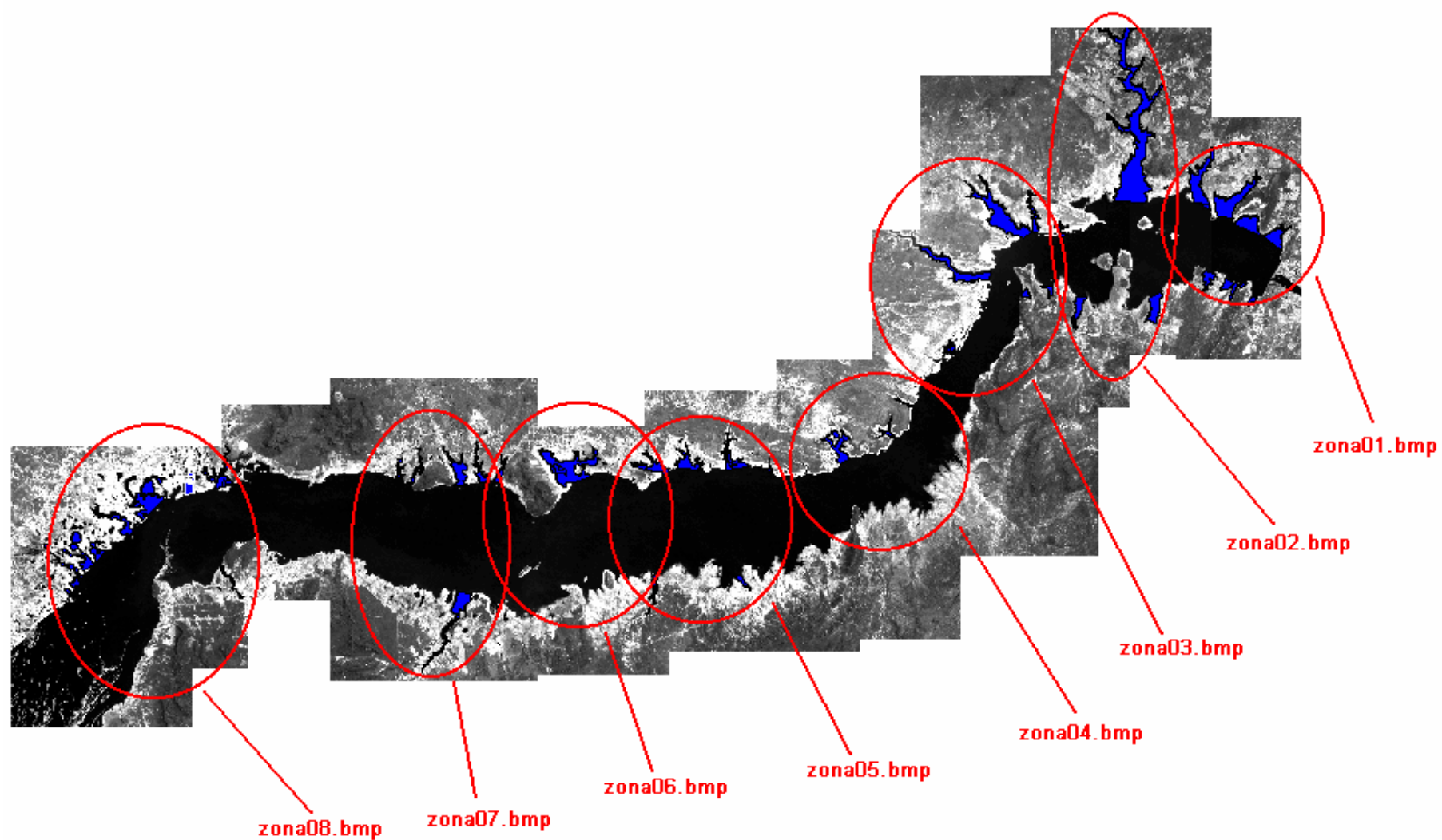
Meandro	Área (m <sup>2</sup> )	Área (km <sup>2</sup> )	Obs.
01	521359	0,52	
02	314930	0,31	
03	742745	0,74	
04	1140697	1,14	
05	1997666	2,00	ver zona01.bmp
06	3627696	3,63	
07	4332517	4,33	
08	8650489	8,65	
09	7682958	7,68	
10	6879454	6,88	
11	37486808	37,49	
12	4104200	4,10	ver zona02.bmp
13	828977	0,83	
14	2577523	2,58	
15	2002416	2,00	
16	11877365	11,88	
17	845648	0,85	ver zona03.bmp
18	6803725	6,80	
19	794865	0,79	
20	1006849	1,01	
21	313607	0,31	
22	890328	0,89	ver zona04.bmp
23	4519003	4,52	
24	283671	0,28	
25	3093389	3,09	
26	932686	0,93	ver zona05.bmp
27	3864062	3,86	
28	1214226	1,21	
29	3304123	3,30	
30	11851872	11,85	ver zona06.bmp
31	1230479	1,23	
32	1956688	1,96	
33	4070033	4,07	
34	5499377	5,50	ver zona07.bmp
35	1062545	1,06	
36	695554	0,70	
37	3421361	3,42	
38	588710	0,59	
39	3343690	3,34	
40	8647932	8,65	ver zona08.bmp
41	2863886	2,86	
42	1653827	1,65	
43	4202174	4,20	
44	1535970	1,54	
45	714709	0,71	
46	311531	0,31	



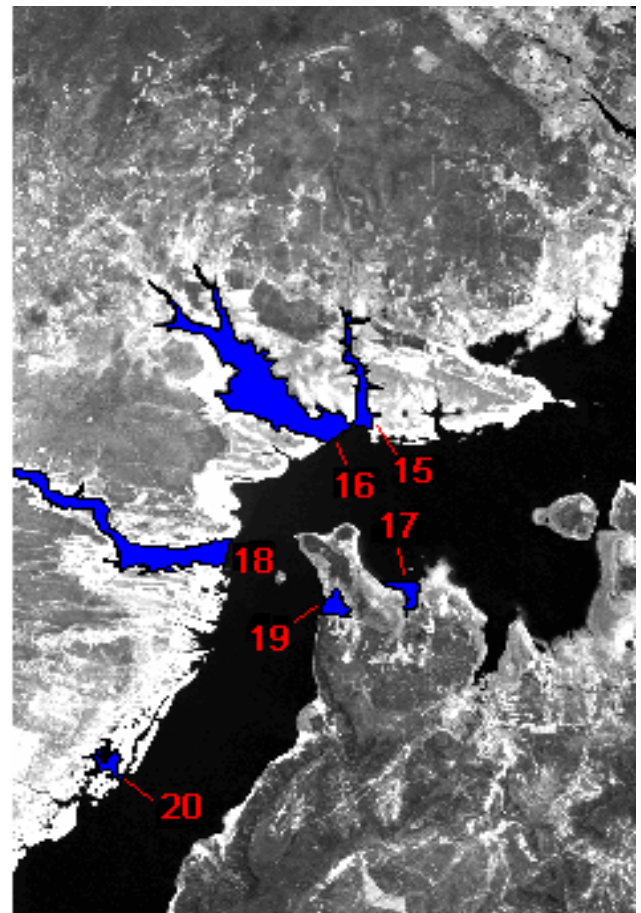
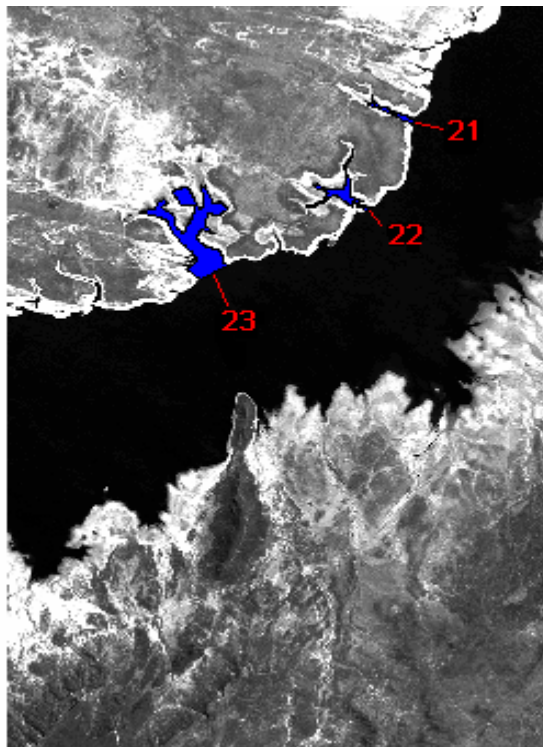
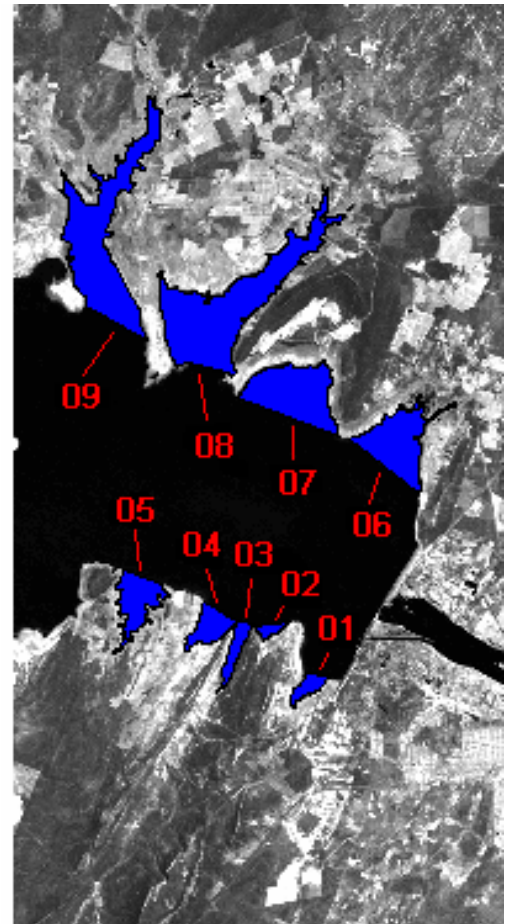
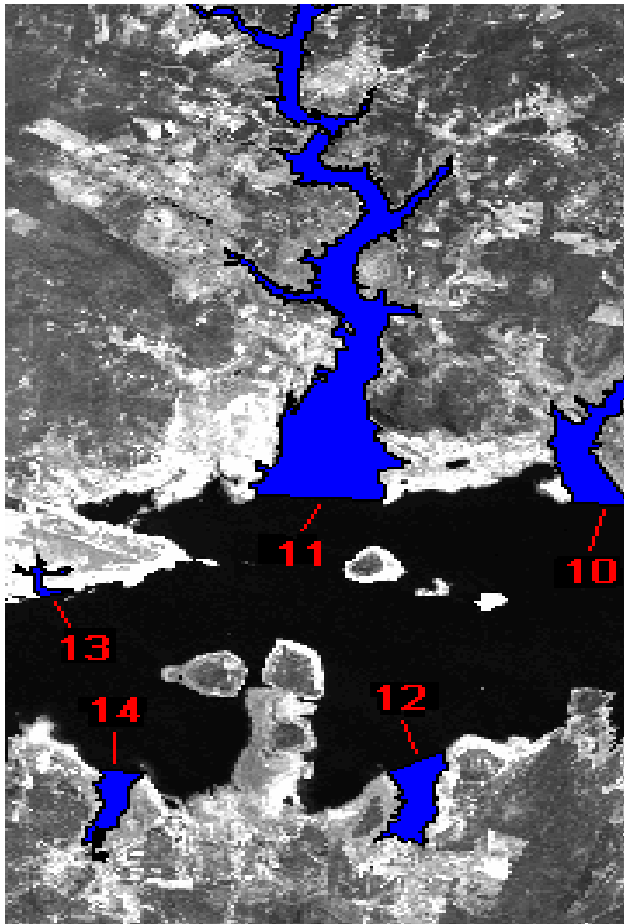
**Figura 22** - Mapa reservatório de Sobradinho, médio São Francisco, com a distribuição dos tipos de solos do entorno de reservatório (Fonte: CHESF).



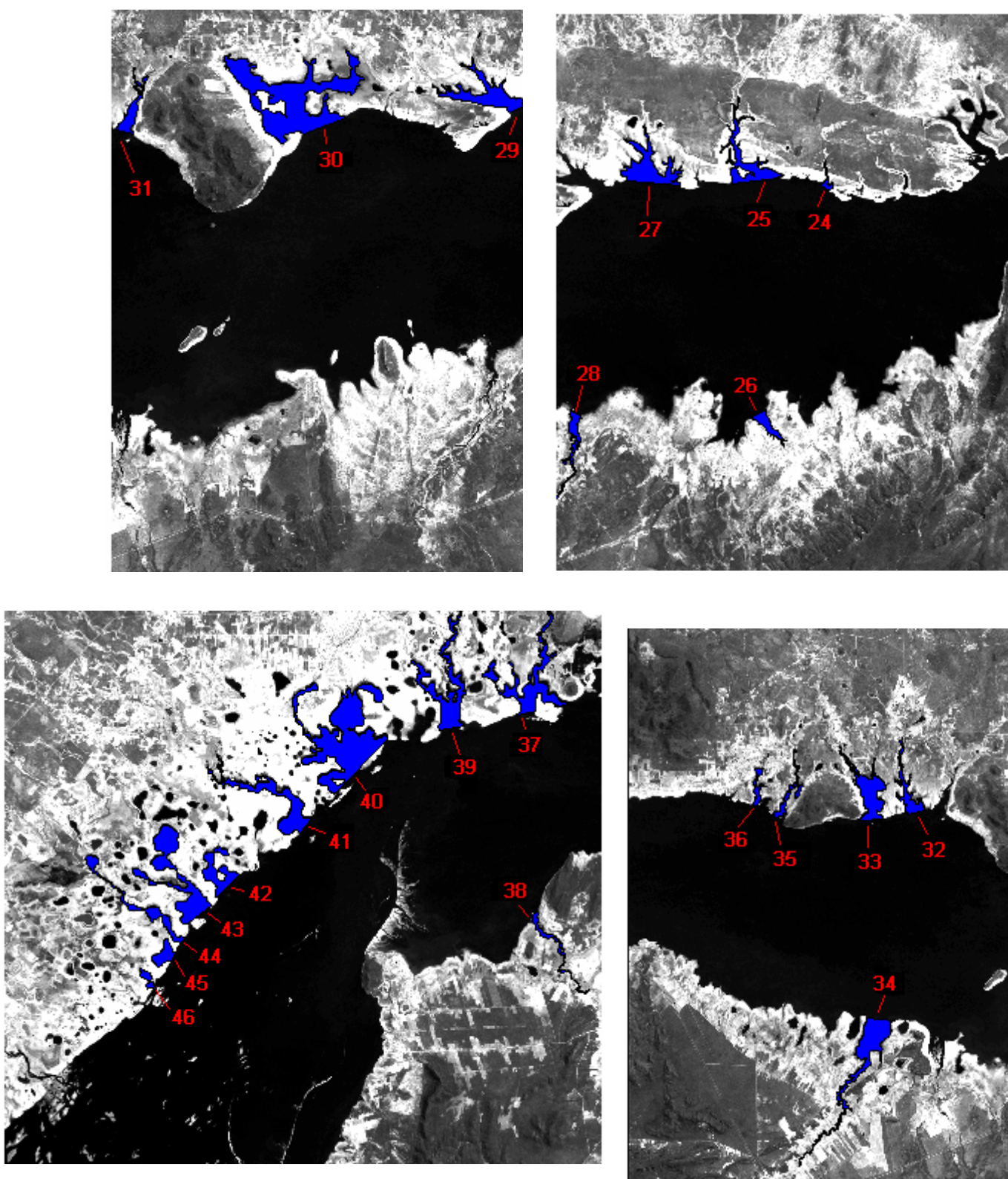
**Figura 23** - Mapa do reservatório de Sobradinho, médio São Francisco, com a distribuição das categorias de uso e ocupação do solo do entorno de reservatório (Fonte: CHESF).



**Figura 24** - Vista geral do reservatório de Sobradinho, com indicação de diferentes zonas que contêm áreas passíveis de aproveitamento para a instalação de tanques-rede, conforme detalhado na Figura 35, apresentada a seguir.



**Figura 25** – Detalhes das zonas 1, 2, 3 e 4, conforme Figura 34, com detalhe das áreas de reentrâncias contidas nas mesmas.



**Figura 25** (continuação) – Detalhes das zonas 5, 6, 7 e 8, conforme Figura 34, com detalhe das áreas de reenrâncias contidas nas mesmas.



**Tabela 9** - Estimativa da capacidade de produção das áreas de reentrâncias do reservatório de Sobradinho, com potencial para aproveitamento em tanques-rede.

Área (#)	Área Km <sup>2</sup>	Área ha	Prof. Ref. (m)	Capacidade de suporte estimada da área (ton/ano)							Área útil ha
				Bruta			Líquida				
				T <sub>P</sub> *			% aprov.	T <sub>P</sub> *			
				5 dias	10 dias	15 dias		5 dias	10 dias	15 dias	
1	0,52	52,14	6,3	109,77	59,88	41,16	60	65,86	35,93	24,69	31,28
2	0,31	31,49	6,3	66,31	36,17	24,86	60	39,78	21,70	14,92	18,90
3	0,74	74,27	6,3	156,38	85,30	58,63	60	93,83	51,18	35,18	44,56
4	1,14	114,07	6,3	240,17	131,01	90,05	60	144,10	78,60	54,03	68,44
5	2,00	199,77	6,3	420,60	229,43	157,69	60	252,36	137,66	94,62	119,86
6	3,63	362,77	5	606,19	330,66	227,28	70	424,33	231,47	159,09	253,94
7	4,33	433,25	8	1158,34	631,85	434,29	70	810,84	442,30	304,00	303,28
8	8,65	865,05	7	2023,70	1103,89	758,73	70	1416,59	772,72	531,11	605,53
9	7,68	768,30	5,8	1489,23	812,35	558,35	60	893,54	487,41	335,01	460,98
10*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	37,49	3748,68	6,2	7767,42	4236,98	2912,20	30	2330,22	1271,10	873,66	1124,60
12	4,10	410,42	6,3	864,12	471,36	323,98	70	604,89	329,95	226,79	287,29
13	0,83	82,90	6	166,23	90,67	62,32	50	83,11	45,34	31,16	41,45
14	2,58	257,75	6,3	542,69	296,03	203,47	60	325,61	177,62	122,08	154,65
15	2,00	200,24	8	535,37	292,03	200,72	30	160,61	87,61	60,22	60,07
16	11,88	1187,74	8,27	3282,71	1790,66	1230,77	50	1641,35	895,33	615,38	593,87
17	0,85	84,56	6,3	178,05	97,12	66,75	80	142,44	77,70	53,40	67,65
18	6,80	680,37	6,3	1432,50	781,40	537,08	50	716,25	390,70	268,54	340,19
19	0,79	79,49	6,3	167,36	91,29	62,75	50	83,68	45,64	31,37	39,74
20	1,01	100,68	6,5	218,72	119,31	82,00	60	131,23	71,58	49,20	60,41
21	0,31	31,36	4,5	47,16	25,73	17,68	40	18,87	10,29	7,07	12,54
22	0,89	89,03	5,5	163,65	89,27	61,36	40	65,46	35,71	24,54	35,61
23	4,52	451,90	4,9	740,02	403,67	277,45	60	444,01	242,20	166,47	271,14
24	0,28	28,37	4	37,92	20,69	14,22	50	18,96	10,34	7,11	14,18
25	3,09	309,34	4	413,52	225,57	155,04	50	206,76	112,78	77,52	154,67
26	0,93	93,27	6,3	196,37	107,12	73,63	50	98,19	53,56	36,81	46,63
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	11,85	1185,19	4	1584,36	864,24	594,02	60	950,61	518,54	356,41	711,11
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	1,06	106,25	6	213,06	116,22	79,88	30	63,92	34,87	23,96	31,88
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	1,65	165,38	4	221,08	120,60	82,89	30	66,33	36,18	24,87	49,61
43	4,20	420,22	4	561,75	306,42	210,61	30	168,52	91,93	63,18	126,07
44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	0,71	71,47	4	95,54	52,12	35,82	30	28,66	15,63	10,75	21,44
46	0,31	31,15	4	41,65	22,72	15,61	30	12,49	6,82	4,68	9,35
<b>TOTAL</b>	<b>127,169</b>	<b>12716,878</b>	<b>-</b>	<b>25741,93</b>	<b>14041,75</b>	<b>9651,30</b>	<b>-</b>	<b>12503,42</b>	<b>6820,39</b>	<b>4687,85</b>	<b>6160,94</b>

\*Tp = tempo (dias) necessário para a incorporação do fósforo lançado na água  
 (#) Número da área conforme consta da Figura 35

### 4.3 Estimativa da capacidade de suporte do reservatório e comparação dos métodos empregados

A estimativa da capacidade de suporte do reservatório de Sobradinho, segundo o modelo de Dillon & Rigler (1974), empregando os dados para o período anteriormente citado – 2001/2003 –, baseou-se nos seguintes valores:

Área superficial do reservatório:  $A = 2.087 \text{ km}^2 = 208.700 \text{ ha}$  ou  $2.087.000.000 \text{ m}^2$

Volume:  $V = 13.634.850.000 \text{ m}^3$

Profundidade média:  $\bar{z} = V / A = 6,53 \text{ m}$

Coefficiente de fluxo:  $\rho = Q_o/V$ , onde  $Q_o = \text{defluência média diária} \cdot 365 \text{ dias} = 1.512,35 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 365 \text{ d} \cdot 24 \text{ h} \cdot 60 \text{ min} \cdot 60 \text{ s} = 47.693.469.600 \text{ m}^3$ , de modo que:  $\rho = 3,497 \text{ ano}^{-1}$ , o que corresponde a um tempo de residência médio de 104,4 dias.

Considerando os valores médios de fósforo total **Ptot in** de superfície dos meandros analisados, baseado nos dados constantes da Tabela 7B, adotou-se o valor médio de  $8,53 \text{ mg m}^{-3}$ .

Para a definição da carga aceitável de fósforo **Ptot fin**, após a introdução dos tanques-rede, foi considerada a Resolução CONAMA n°. 20, que esta estabelece  $25 \text{ mg/m}^3$  como valor limite para a concentração de fosfato total, adotado para a Classe de Águas categoria II. Na presente análise, adotou-se este valor ( $25 \text{ mg/m}^3$ ) como sendo o valor limite de concentração de fósforo total, a despeito dos valores de fosfato total corresponderem a cerca de  $1/3$  daqueles de fósforo total detectados nos meandros analisados ( $P \text{ total nos meandros} = 3,1 (\pm 1,2) \times PO_4 \text{ total nos meandros}$ ) (Tabela 7B), o que equivaleria a aproximadamente  $75 \text{ mg/m}^3$  de **Ptot fin**.

Na etapa seguinte da análise, têm-se que:

$$\Delta P_{tot} = P_{tot \text{ fin}} - P_{tot \text{ in}} = 25 - 8,53 = 16,47 \text{ mg/m}^3$$

Considerando-se que  $\Delta P_{tot} = P_{peixe} (1 - R_{peixe}) / \bar{z} \rho$ , tem-se que  $P_{peixe} = \Delta P_{tot} \bar{z} \rho / (1 - R_{peixe})$  e  $R_{peixe} = x + [(1 - x) R]$ , onde  $R = 0,468$ , calculado a partir da equação  $R = 1 / (1 + 0,614 \rho^{0,491})$ , e  $x$  foi assumido como sendo 0,5.

Como resultado, tem-se que  $R_{peixe} = 0,5 + [(1 - 0,5) 0,468] = 0,734$ . Então,  $P_{peixe} = 16,47 \times 6,53 \times 3,497 / 0,266 = 1413,91 \text{ mg/m}^2/\text{ano} = 1,414 \text{ g/m}^2/\text{ano}$ .

Como o reservatório tem uma superfície de  $2.087.000.000 \text{ m}^2$ , ou  $2,1 \cdot 10^9 \text{ m}^2$ , a carga aceitável de  $P = 1,414 \text{ g/m}^2/\text{ano} \times 2,1 \cdot 10^9 \text{ m}^2 = 2,9694 \cdot 10^9 \text{ g/ano}$  ou  $2.969,4 \text{ ton/ano}$ .

Assim, a quantidade de peixe que pode ser produzida, assumindo uma carga de fósforo de  $18,2 \text{ kg ton}^{-1}$  de peixe produzido, conforme Kubitza (1999), é igual a  $2.969,4 \text{ ton/ano} / 18.200 \text{ g} = 2.969,4 \text{ ton P/ano} / 0,0182 \text{ ton P/ton peixe} = 163.154$  toneladas de peixe por ano.

A área total de meandros levantada, calculada a partir das imagens de satélite, foi de  $12.717 \text{ ha}$  ou  $127.168.700 \text{ m}^2$  (Tabela 9), o que corresponde a  $6,1\%$  da área total média estimada para o reservatório no período analisado (jan/2001 a dez/2002), que foi de  $2.087.000.000 \text{ m}^2$ . Considerando-se o período correspondente ao da obtenção das imagens (julho-agosto), quando a área média do reservatório foi da ordem de  $1.700 \text{ km}^2$  (Tabela 5), a área estimada de meandros corresponderia a aproximadamente  $7,5\%$  daquela do reservatório no mesmo período.

A capacidade de produção bruta estimada na área total de meandros analisados, admitindo um tempo de assimilação do fósforo de 5 dias, foi de  $25.742 \text{ ton/ano}$ , ou seja,  $15,8\%$  da estimativa global para o reservatório, segundo o modelo de Dillon & Rigler (1974). Neste sentido, admitindo-se a capacidade total estimada por aquele método e os mesmos critérios empregados na seleção das áreas aquícolas, para atingir o total da produção estimada para o reservatório, seria utilizada uma área correspondente a cerca de  $38,6\%$  de sua superfície total ( $1/0,158 * 6,1\% = 38,6\%$ ), ou um aumento de cerca de 2,6 vezes a produção na área total de meandros consideradas.

Se for considerada a capacidade de produção líquida, mais compatível com as características físicas dos meandros e suas limitações de profundidade, esta seria de  $12.503 \text{ ton/ano}$ , também considerando um tempo de assimilação do fósforo de 5 dias, o que equivaleria a  $7,7\%$  da estimativa global para o reservatório, segundo o modelo de Dillon & Rigler (1974). Deste modo, considerando o exposto acima, seria utilizada uma área correspondente a cerca de  $79,2\%$  de sua superfície total ( $1/0,077 * 6,1\% = 79,2\%$ ), ou um aumento de cerca de 13 vezes a produção na área total de meandros consideradas.

Considerando-se a limitação das áreas propícias à instalação de tanques-rede no reservatório de Sobradinho, torna-se difícil tal ampliação de área, o que deve representar uma pressão adicional para a produção nas áreas remanescentes. Tal aspecto reveste-se de importância, pois as áreas de meandros existentes, obviamente não suportariam uma produção acima dos valores estimados para cada uma delas, o que certamente contribuiria para um processo de deterioração da qualidade da água.

Tendo em vista o deplecionamento ao qual o reservatório de Sobradinho é sujeito, o mesmo apresentou uma variação de área e volume da ordem de 133 e 222%, respectivamente, ao longo dos anos de 2.001 e 2.002. Deste modo, uma variação desta magnitude implica em sensíveis diferenças na estimativa da capacidade de suporte. Assim, a Tabela 10 apresenta uma simulação para o referido período, expressando a estimativa da capacidade de suporte, a qual variou entre 136.963 e 204.535 ton/ano, com uma diferença entre os meses da ordem de 49,3%.

**Tabela 10** – Parâmetros e cálculo da capacidade de suporte do reservatório de Sobradinho para a produção de peixes em tanques-rede, segundo o modelo de Dillon & Rigler, considerando a variação mensal de nível, com base nos valores médios para os anos 2001/2002.

<b>Média para os anos 2001/2002</b>						
<b>Parâmetros / Meses</b>	<b>JAN.</b>	<b>FEV.</b>	<b>MAR.</b>	<b>ABR.</b>	<b>MAI.</b>	<b>JUN.</b>
Área (km <sup>2</sup> )	2176,5	2525	2709,5	2649	2488	2322,5
Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	11664,5	17541,5	19237	18712	17218	15760,5
Vazão defluente (m <sup>3</sup> /s)	1.477	1.512	1.828	1.857	1.513	1.371
Prof. Média (m)	5,36	6,95	7,10	7,06	6,92	6,79
Vazão total (m <sup>3</sup> )	46578672000	47666664000	57647808000	58546584000	47698200000	43220088000
Coef. Fluxo (ano <sup>-1</sup> )	3,993	2,717	2,997	3,129	2,770	2,742
R	0,4521	0,4992	0,4872	0,4819	0,4969	0,4981
Rpeixe	0,7261	0,7496	0,7436	0,7410	0,7484	0,7491
1 - Rpeixe	0,2739	0,2504	0,2564	0,2590	0,2516	0,2509
Ppeixe	1286,69	1241,77	1366,75	1405,26	1255,14	1221,36
Carga de P aceitável (ton ano <sup>-1</sup> )	2800,48	3135,46	3703,20	3722,53	3122,78	2836,62
Produção peixe (ton ano <sup>-1</sup> )	153872,33	172278,05	203472,73	204534,79	171581,34	155858,10

<b>Média para os anos 2001/2002</b>						
<b>Parâmetros / Meses</b>	<b>JUL.</b>	<b>AGO.</b>	<b>SET.</b>	<b>OUT.</b>	<b>NOV.</b>	<b>DEZ.</b>
Área (km <sup>2</sup> )	2155,5	1983	1763,5	1559,5	1438,5	1460
Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	14421	12811,5	10956,5	9272,5	8290,5	8428
Vazão defluente (m <sup>3</sup> /s)	1312	1325	1455	1376	1397,5	1495,5
Prof. Média (m)	6,69	6,46	6,21	5,95	5,76	5,77
Vazão total (m <sup>3</sup> )	41375232000	41785200000	45884880000	43393536000	44071560000	47162088000
Coef. Fluxo (ano <sup>-1</sup> )	2,869	3,262	4,188	4,680	5,316	5,596
R	0,4926	0,4768	0,4463	0,4329	0,4176	0,4115
Rpeixe	0,7463	0,7384	0,7232	0,7165	0,7088	0,7058
1 - Rpeixe	0,2537	0,2616	0,2768	0,2835	0,2912	0,2942
Ppeixe	1246,04	1326,75	1548,03	1616,27	1732,87	1808,09
Carga de P aceitável (ton ano <sup>-1</sup> )	2685,85	2630,95	2729,94	2520,57	2492,73	2639,81
Produção peixe (ton ano <sup>-1</sup> )	147574,08	144557,83	149996,89	138492,73	136963,04	145044,33

## 5. DISCUSSÃO

Dados da FAO - Organização para Alimentação e Agricultura das Nações Unidas -, mostram que a produção da aqüicultura brasileira cresceu de 26.800 toneladas para 30.750 toneladas, entre 1992 e 1994, e estima-se que tenham sido produzidas no Brasil cerca de 45.000 e 60.000 toneladas de pescado, oriundo de cultivo, nos anos de 1996 e 1997, respectivamente (FAO, 2002).

A despeito dos mais de 5 milhões de hectares de águas represadas no Brasil, o uso de reservatórios públicos ou privados para a instalação de tanques-rede para a criação intensiva de peixes, ainda é uma prática pouco utilizada pelos piscicultores brasileiros (CASTAGNOLLI, 2000). A ausência de uma legislação adequada, a carência de assistência técnica especializada em várias regiões e o elevado custo operacional da modalidade têm contribuído para tal.

A aqüicultura - criação comercial de organismos aquáticos - é o setor de maior crescimento na economia alimentícia mundial. Sua produção cresceu a uma taxa de 11 % ao ano durante a última década, aumentando de 13 milhões de toneladas de peixes, produzidos em 1990, para 31 milhões de toneladas, em 1998. A piscicultura está a ponto de ultrapassar a pecuária como fonte de alimentos, o que deve ocorrer até o fim desta década (FAO, 2002).

A atividade de piscicultura em gaiolas, ou tanques-rede, segundo Beveridge (1991), é uma modalidade de cultivo intensivo, na qual os meios de produção são totalmente dominados pelo produtor, com pouca ou nenhuma dependência de fatores naturais, excetuando-se o recurso hídrico no qual instalam-se as unidades de produção.

Como modalidade de cultivo intensivo, a alimentação dos organismos cultivados depende totalmente do insumo oferecido pelo criador (ração), sendo sua quantidade dependente da intensidade do cultivo e, conseqüentemente, das características dos organismos cultivados – espécie, características biológicas, hábito alimentar, taxa de crescimento -, deste modo influenciando a densidade de cultivo e os níveis de produção e produtividade.

O aproveitamento do alimento pelos organismos cultivados (peixes) não é total, ou seja, o alimento (ração) oferecido aos peixes não é convertido totalmente em carne, havendo perdas na ingestão, assimilação, digestão e absorção (AVAULT, 1996),

representadas por restos de alimento não ingerido e substâncias metabolizadas e excretadas pelos animais (fezes, urina e metabólitos).

Esses organismos dependem diretamente do alimento oferecido, o qual deve apresentar uma composição que atenda às exigências nutricionais e energéticas dos peixes, apresentando elevados níveis de proteína. Tal fato implica em concentrações elevadas de certos elementos químicos - por exemplo, nitrogênio e fósforo - que, quando liberados no ambiente natural, constituem nutrientes utilizados por microorganismos para seu crescimento e reprodução, com aumento de suas populações naturais, sobretudo daquelas que compõem os elos iniciais das cadeias alimentares dos ambientes naturais (algas), implicando no comprometimento do equilíbrio destas cadeias e na conseqüente deterioração da qualidade ambiental. A deterioração da qualidade da água empregada para o cultivo – condição fundamental e imprescindível para a viabilização técnica do aproveitamento de uma área de cultivo e a implantação de um empreendimento – vai comprometer a viabilidade do próprio empreendimento. O tempo de resposta do efeito deletério depende da magnitude do impacto (quantidade de nutriente liberado) e da capacidade do meio (estrutura da comunidade) de processar este impacto, sem alterações em sua qualidade ambiental (JOHANSSON *et al.*, 1998).

Deste modo, 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.

O dimensionamento da capacidade de aproveitamento dos diferentes reservatórios do rio São Francisco, para a prática da piscicultura em tanques-rede, foi feito com base em características técnicas que norteiam a implantação dos projetos de cultivo e em características ambientais dos diferentes reservatórios (FADURPE, 2000a,b,c).

Os critérios técnicos de cultivo basearam-se em algumas características em comum. A espécie alvo dos cultivos na região é a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e a unidade básica de produção são gaiolas com capacidade líquida de 4 m<sup>3</sup> (2m X 2m X 1m). A densidade aproximada do cultivo é de 250 peixes/m<sup>3</sup>, o que corresponde a uma média de 1.000 peixes por gaiola; sendo que o peso médio final estimado dos indivíduos cultivados de 0,5 kg, o que corresponde a uma biomassa total média produzida por gaiola e por ciclo de cultivo, de 500 kg. O tempo médio de cultivo é de seis meses, o que corresponde a dois ciclos de produção por ano, equivalentes a uma produção de 1000 kg/gaiola/ano (FADURPE, 2000a).

As áreas aquícolas, assim denominadas as porções contíguas de água em baías ou reentrâncias do reservatório (sensu BRASIL, 1998), e que constituem o local de instalação dos tanques-rede, devem apresentar uma profundidade superior a 4 m, de modo a permitir uma boa movimentação de água abaixo dos tanques.

As áreas de cultivo devem ser protegidas de ventos fortes, que dificultam o manejo e comprometem a proteção e integridade das estruturas de cultivo (BEVERIDGE, 1991), o que restringe a sua implantação a braços de rio ou meandros, longe do corpo central do reservatório, de modo a não impedir a navegabilidade dos cursos d'água.

Em função da liberação de metabólitos pelos peixes, que favorecem a proliferação de algas, bactérias e agentes patógenos (SILVA & SIQUEIRA, 1997), as unidades de cultivo não devem ser implantadas em áreas de captação de água para abastecimento público (áreas de manancial). 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 que constitui o meio de cultivo e de contaminação dos organismos cultivados (peixes).

O reservatório de Sobradinho foi formado pelo represamento do rio São Francisco, a montante da cidade de Sobradinho (BA), tendo como limite de sua inundação a cidade de Xique-Xique (BA), localizada a aproximadamente 360 km a montante da barragem. Sua bacia de captação tem o rio São Francisco como principal contribuinte, aliado a diversos rios intermitentes, com vazão sazonal apenas no período chuvoso, cujos vales inundados pela formação do reservatório formaram as reentrâncias de ambas as margens, que constituem os locais de implantação das áreas aquícolas.

Em decorrência da sinuosidade do rio São Francisco em seu trecho compreendido no reservatório de Sobradinho, pelas diferenças na declividade do relevo da região e pelo reduzido número de vales e depressões que integram sua bacia de captação, o reservatório de Sobradinho apresenta um baixo número de reentrâncias em suas margens. Este é ainda mais reduzido, em decorrência do deplecionamento anual cíclico ao qual o reservatório está submetido. Deste modo, as áreas que apresentam condições técnicas adequadas para a implantação de áreas aquícolas são determinadas pela profundidade, grau de perenicidade e acessibilidade, ficando notadamente restritas ao trecho inferior do reservatório, a jusante de Remanso e Sento Sé. Algumas reentrâncias e braços laterais do rio São Francisco, localizados a montante de Pilão Arcado, não são recomendados como áreas aquícolas por serem caracterizados pela



disponibilidade temporária de água e elevado nível de suscetibilidade à depleção hídrica.

De um modo geral, as reentrâncias consideradas para aproveitamento para a implantação de áreas aquícolas devem ter sua ocupação por tanques-rede limitada às suas porções iniciais (externas), mais próximas ao corpo central do reservatório, de modo a obter 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. Este aspecto pode ser visualizado na Tabela 11, na comparação das áreas total útil dos reservatórios de Itaparica, Moxotó e Xingó.

**Tabela 11** – Dimensão das áreas total e útil dos meandros de reservatórios do rio São Francisco (dados de FADURPE, 2000b,c; 2001).

Local	Nº de áreas*	Área total (ha)	Área útil (ha)**
Itaparica	101	15625,090	9548,876
Moxotó	40	1366,98	641,47
Xingó	33	2326,62	624,5
Sobradinho	46	17600,3	12717

\* **Número total de áreas levantadas**

\*\* **Áreas remanescente considerando as restrições de uso.**

A caracterização limnológica das áreas de reentrâncias levantadas indica condições satisfatórias para a sua utilização no cultivo de peixes em tanques-rede. As variáveis ambientais: condutividade elétrica, pH, temperatura e concentração de oxigênio dissolvido na água apresentaram ampla variação espacial e ao longo da coluna d'água, decorrente do tamanho dos meandros, da variedade de biótopos e do extenso perímetro do reservatório. Apesar disto, não foram registradas condições anóxicas no fundo em estação alguma; a coluna d'água apresentou uma homogeneidade térmica para as diversas estações, a despeito das temperaturas um pouco elevadas em alguns locais mais rasos; e o pH manteve-se neutro a ligeiramente alcalino. A transparência da água nas porções internas das reentrâncias foi mais elevada que no corpo central do

reservatório, refletindo um processo mais intenso de precipitação do material em suspensão nestes locais, cujos níveis variaram sazonalmente com as variações de vazão afluente ao reservatório.

A despeito dos valores de nutrientes terem variado espacialmente, seus níveis podem ser considerados baixos e compatíveis com águas da Classe 2 (Res. CONAMA nº. 20, de 18/06/86). Níveis mais elevados foram registrados em locais isolados e mais internos dos diferentes meandros, onde recebem o provável aporte proveniente de pequenas criações de animais ou atividades agrícolas nas margens, sendo seus níveis na coluna d'água intensificada pela baixa circulação e renovação de água nestes locais. Os níveis médios de nutrientes dissolvidos na coluna d'água indicam um baixo grau de trofia para o reservatório, enquadrando-o como oligotrófico a mesotrófico, quanto às concentrações de amônia, nitrito e nitrato, segundo a classificação de Vollenweider (ESTEVES, 1998).

As concentrações de fosfato inorgânico foram baixas em todo o reservatório. Os níveis de fosfato inorgânico dissolvido são normalmente baixos em águas bem oxigenadas, em decorrência de sua assimilação pelos produtores primários (fitoplâncton) ao longo da zona eufótica e da precipitação do fósforo em direção ao sedimento, contribuindo para seus valores mais elevados que na coluna d'água (ESTEVES, 1998).

As capacidades estimadas de aproveitamento de cada área de reentrância do reservatório de Sobradinho, apresentadas na Tabela 9, indicam uma capacidade de produção líquida sustentável total entre 4.687 e 12.503 ton/ano, dependendo da combinação de critérios adotada. Estes valores correspondem entre 2,9 e 7,7% da capacidade de suporte média estimada para o reservatório no período 2001/2002. Caso seja adotado um critério arbitrário de proporcionalidade de área para efeito do dimensionamento do parque aquícola do reservatório, por exemplo, 1% de sua superfície, deve-se contemplar uma análise cuidadosa da capacidade de produção desta área com os dois modelos empregados. Por exemplo, 1% da superfície de Sobradinho naquele período corresponderia a aproximadamente 20,8 Km<sup>2</sup>, ou 2.080 ha, o que implicaria numa produção de 1.582 a 4.687 ton/ano – considerando proporcionalmente a estimativa da capacidade de produção desta área de reentrâncias – ou 163,2 ton/ano – se considerado o reservatório com apenas 1% de sua área no modelo de Dillon & Rigler (1974). Como pode-se verificar, a forma do cálculo, neste caso, implica numa inversão no grau de permissividade previsto inicialmente por cada um dos métodos empregados na análise – maior estimativa inicial para o reservatório

pelo método de Dillon & Rigler (1974). Tais argumentos reforçam 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.

Outro aspecto relevante na estimativa da capacidade de produção das áreas aquícolas refere-se à profundidade considerada no cálculo do volume de diluição. Se for considerada a profundidade média do epilímnio em cada área, no lugar de profundidades arbitrárias, como 2, 4 ou 6m, a capacidade de produção em reservatórios mais profundos, como Xingó, tende a aumentar, conforme pode ser observado, comparando-se os dados da Tabela 12.

**Tabela 12** – Estimativas da capacidade de produção de reservatórios do rio São Francisco (FADURPE, 2000b, c; 2001; 2002a).

Local	Capacidade de suporte estimada da área (ton/ano)*		
	T <sub>p</sub> * = 5 dias	T <sub>p</sub> = 10 dias	T <sub>p</sub> = 15 dias
	Profundidade do epilímnio = 6 m		
Itaparica	18343,39	10005,31	6879,01
Moxotó	1232,26	672,13	462,12
Xingó	11173,82	6094,81	4190,24

Local	Capacidade de suporte estimada da área (ton/ano)**		
	T <sub>p</sub> = 5 dias	T <sub>p</sub> = 10 dias	T <sub>p</sub> = 15 dias
Sobradinho	25741,93	14041,75	9651,30
Xingó+	36608,88	19962,24	13731,19

\*Profundidades arbitrária de 6m

\*\*Profundidade média do epilímnio

+Dados do redimensionamento da capacidade de produção (FADURPE, 2002a)

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 da carga de fósforo que o mesmo recebe, 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

trofогênica 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.

Porém, estes modelos não levam em consideração a área de cada meandro, profundidade média, sedimentação, local de implantação entre outros fatores correlacionados, que influenciam na estimativa da capacidade de suporte.

Segundo Beveridge (1991), os erros preditivos dos diferentes modelos é da ordem de 55 a 65%, embora informações mais recentes, como aquelas discutidas por Johansson *et al.* (1998), acerca do cálculo de R, indicam que este pode ser ainda maior. Apesar disso, tais previsões são suficientemente boas como referencial para o manejo de níveis permissíveis de produção, podendo ser ajustadas com base em dados sobre a qualidade da água dos corpos d'água após a implantação dos empreendimentos de cultivo.

A complexidade das interações dos nutrientes nos corpos d'água torna difícil o dimensionamento dos processos envolvidos em sua dinâmica, que só pode ser avaliada e dimensionada com o adequado conhecimento de todos os componentes envolvidos.

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.

## 6. CONCLUSÕES

Com base nos dados levantados e sua análise, pode-se concluir que:

- O reservatório de Sobradinho, devido ao seu papel na regularização da vazão do rio São Francisco e no suprimento dos reservatórios localizados em seu trecho submédio, é sujeito a uma ampla variação sazonal de nível.
- As características geomorfológicas de sua bacia de retenção determinam diferenças no declive lateral e longitudinal do reservatório, com áreas mais planas em suas porções inicial e intermediária e com maior declive na porção final, próxima à barragem.
- 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 profundidade.
- O impacto antrópico sobre a qualidade da água na área de influência direta do reservatório é baixo e está associado, principalmente, ao aporte de efluentes predominantemente orgânicos, proveniente das cidades de Xique-Xique, Pilão Arcado, Remanso, Casa Nova e Sento Sé, além de alguns povoados localizados às suas margens.
- As áreas sob a influência de projetos de irrigação estão sujeitas ao enriquecimento por nutrientes carregados, bem como ao aporte de agrotóxicos. Sua utilização para a implantação de tanques-rede deve ser cautelosa, com um monitoramento permanente de suas condições limnológicas.
- As características físico-químicas e biológicas da água do reservatório indicam uma condição oligotrófica (corpo central) a mesotrófica (algumas reentrâncias), com baixos níveis de nutrientes, apesar das peculiaridades e diferenças entre as regiões. Os níveis de temperatura e oxigênio dissolvido são compatíveis com as exigências para a principal espécie cultivada (tilápia do Nilo); bem como do pH, cujos valores alcalinos refletem a alcalinidade das águas do rio São Francisco na região, propiciando estabilidade desta variável. As variáveis analisadas, na maioria das estações, atendem às especificações da Classe 2 da Resolução CONAMA nº. 20.
- O corpo central do reservatório é empregado para a navegação de embarcações de carga, pesca e passeio. A largura de seu eixo central, na porção inferior – abaixo de Sento Sé – é bastante extensa e passível da ação de ventos, comuns na região, inviabilizando a implantação de unidades de cultivo (tanques) ao longo do mesmo. Tais aspectos restringem a locação das áreas aquícolas às reentrâncias do reservatório.
- Dentre estas, um total de 31 áreas foram consideradas viáveis para a implantação de tanques-rede, perfazendo uma superfície total estimada de 127,2 km<sup>2</sup> ou 12.717 ha. Em função de algumas limitações, como atividades agrícolas, captação de água para abastecimento doméstico ou localização de centros urbanos, além da restrição do uso das áreas mais internas das reentrâncias, a área total passível de aproveitamento foi estimada em 6.161 ha ou 61,6 km<sup>2</sup>, que corresponde a aproximadamente 48% da área total de meandros viáveis.
- O aproveitamento das diferentes áreas dimensionadas deve considerar o nível de aproveitamento indicado para cada uma delas, bem como os limites de capacidade de produção estimados dentro dos critérios citados, mesmo considerando que a

locação das áreas aquícolas em cada reentrância seja feita na porção externa do mesmo, evitando o aproveitamento das mais internas.

- O dimensionamento da capacidade de produção das áreas aquícolas selecionadas do reservatório de Sobradinho permitiu estimar uma produção anual entre 4.687 e 12.503 toneladas de tilápia do Nilo, enquanto a estimativa da capacidade de suporte de todo o reservatório foi de 163.154 toneladas por ano.
- As estimativas feitas pelas duas metodologias empregadas devem servir como referência para o dimensionamento da atividade de piscicultura em tanques-rede em Sobradinho, atentando-se para as limitações de cada reentrância empregada e a estimativa da capacidade máxima do reservatório como um todo.
- 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. BIBLIOGRAFIA

AVAULT, J.W. 1998. **Fundamentals of Aquaculture**. 2ª ed., Baton Rouge, AVA Pub. Co., 888p.

A.P.H.A/A.A.W.W.A/W.E.F. 1995. **Standart methods for the examination of water and wastewater**. 19ª ed., Washington, A .P. H. A.

BARDACH, J.E; RYTHER, J.H.; McLARNEY 1972. **Aquaculture: The farming and Husbandry of freshwater and marine organisms**. New York, 868p

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

BEVERIDGE, M.C.M. & LITTLE, D.C. 2002. The history of aquaculture in traditional societies. In: COSTA-PIERCE, B.A. **Ecological aquaculture**, Oxford, Blackwell Pub., p. 1-29.

BRANDINI, F.P.; SILVA, A.S.; PROENÇA, L.A.O. 2000. Oceanografia e maricultura. In: VALENTI, W. (ed.). **Aqüicultura no Brasil: bases para um desenvolvimento sustentável**. Brasília, CNPq/MCT, p. 107-141.

BRASIL. 1986. 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 /86.

CASTAGNOLLI, N. 1979. **Fundamentos de nutrição de peixes**. Piracicaba, Livroceres, 108p.

CASTAGNOLLI, N. 2000. Piscicultura intensiva e sustentável. In: VALENTI, W. (ed.). **Aqüicultura no Brasil: bases para um desenvolvimento sustentável**. Brasília, CNPq/MCT, p. 180-195.

COLE, G.A. 1975. **Textbook of limnology**. Saint Louis, The C.V. Mosby, 283p.

COMPANHIA DO DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA. 2002. Disponível em <[http://www.codevasf.gov.br/vale/reg\\_fisiograficas.htm](http://www.codevasf.gov.br/vale/reg_fisiograficas.htm)>. Acesso em: 21 jan. 2002.

COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO. 2003. Disponível em: <<http://www.chesf.com.br>>. Acesso em: 22 jan. 2003.

COSTA, Ayrton Fernandes. 1991. **Introdução à ecologia das águas doces**. Recife: UFRPE, 297p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS. 2003. Disponível em <[http:// www.dnocs.gov.br](http://www.dnocs.gov.br)>. Acesso em: 28 out. 2003.

DILLON, P.J. & RIGLER, F.H. 1974. 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.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2003. Disponível em: <<http://www.cnpem.embrapa.br>>. Acesso em: 21 mai.2003.

ESTEVEZ, F. A. 1998. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 602p.

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

FADURPE; UFRPE; CHESF. 2000b. **Zoneamento da piscicultura em tanques-rede nos reservatórios do submédio São Francisco**: Zoneamento do Reservatório de Xingó. Recife, FADURPE/CHESF/UFRPE, 90 p.

FADURPE; UFRPE; CHESF. 2000c. **Zoneamento da piscicultura em tanques-rede nos reservatórios do submédio São Francisco**: Zoneamento do Reservatório de Moxotó. Recife, FADURPE/CHESF/UFRPE, 63 p.

FADURPE; UFRPE; CHESF. 2001. **Zoneamento da piscicultura em tanques-rede nos reservatórios do submédio São Francisco**: Zoneamento do Reservatório de Itaparica. Recife, FADURPE/CHESF/UFRPE, 110 p.

FADURPE; UFRPE; CHESF. 2002a. **Redimensionamento da capacidade de produção em tanques-rede do Reservatório de Xingo**: Relatório Técnico. Recife, FADURPE/CHESF/UFRPE, 85p.

FADURPE; UFRPE; CHESF. 2002b. **Redimensionamento da capacidade de produção em tanques-rede do Reservatório de Xingo**: Sumário Executivo. Recife, FADURPE/CHESF/UFRPE, 33p.

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

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2002. **The state of world fisheries and aquaculture**. Rome, FAO. 150p.

GOLTERMAN, H .J.; CLYMO, R .S.; OHNSTAD, M. A. M. 1978. **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**. London, Blackwell Sci. Pub., 214 p. (IBP Handbook, 8).

HAKANSON, L. & CARLSSON, L. 1998. 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**, v. 1: p. 1-24.

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



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

IDRISI. 1995. **Project planning software, version 3.2 [s.i.]**. Clark University.

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

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

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

KUBITZA, F. 1999b. Tanques-rede, Rações e Impacto Ambiental. **Panorama da AQUICULTURA**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 51, p. 44-50.

LANDSAT TM7. Engesat. 1999. Imagem de Satélite. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e composição colorida 3, 4 e 5.

MACKERETH, F.J.H.; HERON, J.; TALLING, J.F. 1978. **Water analysis**: some revised methods for limnologists. London, Scient. Public., v. 36, 121p.

NUSCH E. 1980. A. 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.

PANORAMA DA AQUICULTURA. 1999. Paulo Afonso: um oásis no sertão. Rio de Janeiro, **Panorama da aqüicultura**, v. 9, n. 52, p. 20-21.

PETRERE Jr., M. 1996. **Fisheries in large tropical reservoirs in South America**.

SAINT-PAUL, U. 1986. Potential for aquaculture off south American fresh water fishes: A review. **Aquaculture**, v. 51, p. 205-240

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

SCHINDLER, D.W. 1974. Eutrophication and recovery in experimental lakes – Implications for lake management. **Science**, v. 184, p. 897-899.

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

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

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

WALMSLEY, R.D. & THORTON, J.A. 1984. An evaluation of OECD-type phosphorous eutrophication models for predicting the trophic state of southern African man-made lakes. **S. Afr. J. Sci.**

WETZEL, R.G. 1983. **Limnology**. Philadelphia, Saunders College Pub.

ZIMMERMANN, S. 1999. Incubação artificial: técnica permite a produção de tilápias do Nilo geneticamente superiores. **Panorama da Aqüicultura**, v. 9, n. 54, p. 15-21.