

**ANTONY EVANGELISTA DE LIMA**

**EFEITO DA CASCATA DE RESERVATÓRIOS SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA  
NO RIO SÃO FRANCISCO, NORDESTE DO BRASIL**

**RECIFE,  
2012**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA**

**EFEITO DA CASCATA DE RESERVATÓRIOS SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA  
NO RIO SÃO FRANCISCO, NORDESTE DO BRASIL**

**Antony Evangelista de Lima**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como exigência para obtenção do título de Mestre.

**Prof. Dr. William Severi**  
Orientador

**Recife,**  
**Junho/2012**

Ficha catalográfica

Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central - UFRPE

L732e Lima, Antony Evangelista de  
Efeito da cascata de reservatórios sobre a qualidade da  
água no rio São Francisco, nordeste do Brasil / Antony  
Evangelista de Lima. -- Recife, 2012.  
65 f. : il.

Orientador: William Severi.  
Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e  
Aquicultura) – Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
Departamento de Pesca e Aquicultura, Recife, 2012.  
Referências.

1. Oligotrofização 2. Reservatórios 3. Estado trófico  
I. Severi, William, orientador II. Título

CDD 639

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA**

**EFEITO DA CASCATA DE RESERVATÓRIOS SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA**  
**NO RIO SÃO FRANCISCO, NORDESTE DO BRASIL**

**Antony Evangelista de Lima**

Dissertação julgada adequada para obtenção do título de mestre em Recursos Pesqueiros e Aquicultura. Defendida e aprovada em 29/06/2012 pela seguinte Banca Examinadora.

---

**Prof. Dr. William Severi** – Orientador  
Departamento de Pesca e Aquicultura  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

**Profa. Dra. Ariadne do Nascimento Moura** – Membro Externo  
Departamento de Biologia  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

**Prof. Dr. Alfredo Olivera Gálvez** – Membro Interno  
Departamento de Pesca e Aquicultura  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

**Prof. Dr. Paulo Guilherme Vasconcelos de Oliveira** – Membro Interno  
Departamento de Pesca e Aquicultura  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

**Prof. Dr. Fernando de Figueiredo Porto Neto** – Membro Suplente  
Departamento de Zootecnia  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

*“Falou Daniel, dizendo: Seja bendito o nome de Deus de eternidade a eternidade, porque dele são a sabedoria e a força;*

*E ele muda os tempos e as estações; ele remove os reis e estabelece os reis; ele dá sabedoria aos sábios e conhecimento aos entendidos.”*

**Daniel 2: 20-21**

*“Toda honra e toda glória seja dada somente ao nome de JESUS”*

## **Dedicatória**

*A Deus, pela realização desta dissertação.*

*À minha mãe, Maria, pela vida que dedicou a mim.*

*À minha esposa, Suziany, pelo amor, carinho e companheirismo.*

## **Agradecimentos**

A Deus, por me dar inspiração e fé para finalizar esta dissertação;

À minha mãe, pelo amor e apoio incondicional durante toda a vida;

À minha esposa Suziany, pela paciência, pelo amor que me dedica, pela família que ela me deu, minha sogra Solange, meu sogro Aldemir, minha cunhada Suziene (Ninha) e meu cunhado Adeilton. E pela família que vamos formar.

À minhas tias Nida, Célia, Aguinalda e Lourdinha, por elas me amarem tanto que dá para sentir até de longe;

Ao Professor Dr. William Severi, pela amizade, paciência, orientação, confiança e pelos ensinamentos que guardarei para sempre. À Sra. Verônica Severi, pelo ensinamentos de vida e pela amizade;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa;

À Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) e à Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional (FADURPE), pelo apoio financeiro;

A meu pai, Simone, minhas irmãs (Maria Clara e Ana Paula), Silene e Silvanete, pela amizade;

Aos amigos que fiz durante a graduação em Matemática/UPE e que guardarei para sempre, representados por Driele, Kalline, Dani, Rebeca, Maria, Camila, Tati, Romário, Tia Eliane e Jó. Também a Anita e Diehgo, pela amizade que supera a distancia!

À família acreana que Deus me deu, Dona Socorro, Seu Rogério, vó Maria, Júnior, Renan, Luana, Dr. Paulo, Dona Maria e Marxson;

Aos Professores Drs. Alfredo Olivera Gálvez, Ariadne do Nascimento Moura, Paulo Guilherme Vasconcelos de Oliveira e Fernando de Figueiredo Porto Neto, por aceitarem compor a minha banca;

À equipe e amigos (irmãos) do Laboratório de Limnologia, Sérgio, Bruno, Tereza, Aureliano, Maira, Diego (Miro) e Rodrigo;

À equipe e amigos do Laboratório de Ictiologia, pelo apoio e confiança;

Aos funcionários e amigos do Departamento de Pesca e Aqüicultura da UFRPE, Dona Eliane, Dona Telma, Dona Tânia, Dona Selma, Vani, Socorro, Lia e Sr. Manoel; e

À Professora Maria José de Sena (Magnífica Reitora da UFRPE), à Professora Maria de Fátima Santiago e à Sra. Enery Melo, pela demonstração de honestidade e justiça.

## Resumo

O presente trabalho teve como finalidade avaliar a influência da vazão sobre o estado trófico da água na cascata de reservatórios do médio, submédio e baixo rio São Francisco. Foram realizadas coletas trimestrais da água na superfície, entre dezembro/2007 e setembro/2008, nos reservatórios de Sobradinho, Itaparica, Moxotó, PA-I,II,III, PA-IV e Xingó. As variáveis utilizadas no estudo foram vazão afluente e defluente, além da transparência da água (DS) e as concentrações de clorofila-a (CLO), fósforo total (FT) e fósforo solúvel reativo (FSR), empregadas para o cálculo do índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo-Júnior (IETM), com posterior cálculo do índice de estado trófico médio. Foi realizada uma análise de variância de Kruskal-Wallis complementada pelo teste post-hoc de Dunn ( $p < 0,05$ ) para detectar diferenças espaciais (reservatórios) e temporais (meses para cada reservatório) entre as variáveis analisadas. Análises de componentes principais (ACP) foram realizadas individualmente para os meses de coleta, para avaliar a variação do estado trófico dos reservatórios em função da mudança das vazões e da concentração de nutrientes. O reservatório de Sobradinho mostrou-se diferentes dos demais para todas as variáveis e índices estudados, com maiores vazões afluentes nos meses de dezembro/2007 e março/2008, sendo classificado como eutrófico e mesotrófico ao longo do estudo. Os reservatórios de Itaparica, Moxotó, PA-I,II,III, PA-IV e Xingó mostraram uma relativa uniformidade de funcionamento, com maiores entradas e saídas de água em dezembro/2007 e setembro/2008, e estado trófico variando entre oligotrófico e mesotrófico. Houve uma variação no estado trófico ao longo do sistema, fato evidenciado por DS e CLO. O efeito da oligotrofização da água dos reservatórios ao longo da cascata, entretanto, foi atenuado pelo aporte lateral de nutrientes pelos rios tributários Motoxó e Pajeú e pelos efluentes das cidades no entorno do sistema, principalmente na região de Paulo Afonso, como evidenciado pelos IETM (FT) e IETM (FSR). As ACP exibiram a mudança no estado trófico do sistema ao longo do tempo, tendo a maior semelhança nos IETM entre os reservatórios sido registrada em março/2008. De modo geral, as ACP separaram os reservatórios de Sobradinho de Xingó, com Itaparica e o Complexo de Paulo Afonso apresentando um estado trófico intermediário entre os primeiros, conforme demonstrado pelo índice de estado trófico médio.

**Palavras-chave:** estado trófico, oligotrofização, rio São Francisco

## **Abstract**

The present study evaluates the influence of the river flow on the trophic state of the reservoir cascade formed by the dams on the medium, submedium and low São Francisco River. Surface water sampling was conducted quarterly between December 2007 and September 2008, along the reservoirs of Sobradinho, Itaparica, Moxotó, PA-I,II,III, PA-IV and Xingó. The hydrological variables analyzed were inflow and outflow, and water transparency (DS), chlorophyll-a (CLO), total phosphorous (FT) and reactive soluble phosphorous (FSR) concentrations used for the estimation of the Carlson trophic state index modified by Toledo-Júnior (IETM), with posterior estimation of the average trophic state index. A Kruskal-Wallis test followed by the post-hoc Dunn's test ( $p < 0.05$ ) was used to detect spatial (reservoirs) and temporal (months) differences between the variables analyzed. Principal component analysis (PCA) was used for each sampling month data in order to evaluate the variation of reservoir trophic state in response to changes in flow and nutrient concentration. Sobradinho differed from the other reservoirs for all variables and indexes analyzed, showing higher inflow in December 2007 and March 2008, and was regarded as eutrophic and mesotrophic throughout the study period. Itaparica, Moxotó, PA-I,II,III, PA-IV and Xingó reservoirs presented a relative uniformity, with higher inflow and outflow in December 2007 and September 2008, and a trophic state varying between mesotrophic and oligotrophic. A trophic state reduction along the reservoir cascade was detected, as evidenced by DS and CLO. However, the effect of reservoir water oligotrophication was attenuated by lateral contributions from the Moxotó and Pajeú tributary rivers, and effluents from the cities located along the system, particularly in the Paulo Afonso region, as evidenced by IETM(FT) and IETM (FSR). PCA exhibited a temporal change in the system trophic state, with a higher IETM similarity in March 2008. The PCA separated the Sobradinho and Xingó reservoirs, while Itaparica and the Paulo Afonso Complex reservoirs presented an intermediate trophic state, as demonstrated by the average trophic state index.

**Key words:** trophic state, oligotrophication, São Francisco River

## Lista de figuras

Página

Figura 1- Mapa da bacia hidrográfica do rio São Francisco e indicação das diferentes regiões da bacia. Fonte: <http://www.saofrancisco.cbh.gov.br/>. .....17

Figura 2- Localização dos reservatórios do médio, submédio e baixo rio São Francisco.....18

### Artigo

Figura 1 - Bacia hidrográfica do rio São Francisco com suas subdivisões: alto, médio, submédio e baixo São Francisco. Reservatórios: Três Marias (A), Sobradinho (B), Itaparica (C), Complexo de Paulo Afonso (D e E) e Xingó (F). Fonte: Sato & Godinho (2003) modificado.....35

Figura 2 - Amplitudes de variação e valores medianos entre reservatórios para vazão afluente e defluente (A), transparência e IETM (DS) (B), clorofila-a e IETM (CLO) (C), fósforo total e IETM (FT) (D), fósforo solúvel reativo e IETM (FSR) (E) e IETM médio (F) na cascata de reservatórios do submédio e baixo rio São Francisco. Letras diferentes entre medianas indicam diferença significativa entre reservatórios ( $p \leq 0,05$ ) .....38

Figura 3 - Ordenação de pontos da análise de componentes principais para dezembro/2007 (A), março/2008 (B), junho/2008 (C) e setembro/2008 (D). Vazão afluente (VAFL); Vazão defluente (VDFL); Índice de Estado Trófico Modificado (IETM); Transparência (DS); Clorofila-a (CLO); Fósforo total (FT) e Fósforo solúvel reativo (FSR). .....46

## Lista de tabelas

Página

Tabela 1- Valores medianos para as variáveis utilizadas entre os meses de amostragem na cascata de reservatórios do rio São Francisco. Vazão afluente (VAFL); Vazão defluente (VDFL); Fósforo solúvel reativo (FSR); Fósforo total (FT); Clorofila-a (CLO); Transparência (DS). Letras diferentes entre medianas indicam diferença significativa entre meses ( $p \leq 0,05$ ).....41

Tabela 2- Valores medianos para os índices de estado trófico estimados entre os meses de amostragem na cascata de reservatórios do rio São Francisco. Índice de Estado Trófico Modificado (IETM); Transparência (DS); Clorofila-a (CLO); Fósforo total (FT) e Fósforo solúvel reativo (FSR). Letras diferentes entre medianas indicam diferença significativa entre meses ( $p \leq 0,05$ ).....44

## Sumário

Página

Dedicatória

Agradecimento

Resumo

Abstract

Lista de figuras

Lista de tabelas

1- Introdução.....	12
2- Revisão de literatura.....	14
2.1- Recursos hídricos.....	14
2.2- A bacia do rio São Francisco.....	15
2.3- Reservatórios e sistema em cascata.....	18
2.4- Qualidade de água e índice de estado trófico.....	21
3- Referências bibliográficas .....	23
4- Artigo científico (Estado trófico na cascata de reservatórios de um rio no semiárido brasileiro).....	30
4.1- Normas da Revista Brasileira de Ciências Agrárias.....	57

## 1- Introdução

Em muitas regiões dos continentes norte e sul-americanos, africano e sudeste da Ásia, os reservatórios foram utilizados como pólos de desenvolvimento regional, contribuindo não só para a geração de energia, mas também estimulando a economia local e regional por meio de novas oportunidades e alternativas de desenvolvimento. Reservatórios são ecossistemas mais expressivos da regionalização ecológica que os próprios rios (MARGALEF, 2002).

As represas são um dos componentes de três subsistemas ecológicos fundamentais: a bacia hidrográfica e sua rede hídrica, o reservatório propriamente dito e as descargas e o sistema a jusante. Esses subsistemas são interativos e operam em conjunto, sendo os reservatórios dependentes dessas interações (MATSUMURA-TUNDISI e TUNDISI, 2003).

Segundo Barbosa et al. (1999), a distribuição de reservatórios em “cascata” numa ordem sucessiva em um mesmo percurso de um rio ensejou o estabelecimento de um novo conceito, o “Conceito do contínuo em cascata de reservatórios”. Estes autores enfatizam que, a despeito da interrupção do trajeto de um curso de água, com implicações na estrutura e no funcionamento das comunidades nas barragens, as represas na seqüência longitudinal apresentam interconectividade significativa entre si (FERREIRA et al., 2006).

Nos reservatórios em cascata, ocorre diminuição dos poluentes ao longo de sua seqüência espacial, pois o reservatório a montante funciona como um quimiostato, retendo parte dos poluentes e nutrientes e melhorando a qualidade das águas e sedimento cascata abaixo (STRASKRABA, 1994; BARBOSA et al., 1999; TUNDISI et al., 1999). Algumas considerações teóricas sobre os efeitos causados nos reservatórios a jusante do sistema foram agrupadas por Straskraba (1990), dentre as quais se destacam:

alterações químicas no reservatório a jusante e os efeitos indiretos nos processos químicos e biológicos.

Contudo, quanto aos sistemas de reservatórios construídos em série em um mesmo rio, enquanto unidade funcional, estes ainda são poucos conhecidos e estudados (BARBOSA et al., 1999; NOGUEIRA et al., 2002), não havendo registros deste tipo de análise na bacia do rio São Francisco.

Neste sentido, o presente estudo constitui uma importante contribuição para o conhecimento limnológico da cascata de reservatórios existente no rio São Francisco, sendo o único sistema deste tipo na região semiárida do Brasil. Além disso, os recursos hídricos dessa região sofrem intensa pressão de uso devido a sua escassez, sendo imprescindível ampliar e consolidar o conhecimento técnico existente para seu melhor gerenciamento e conservação.

## 2- Revisão de literatura

### 2.1 Recursos hídricos

A utilização da água nas diversas atividades humanas tem conseqüências muito variadas sobre o corpo d'água. O recurso hídrico pode ser usado com derivação de águas, por exemplo, no abastecimento urbano e industrial, na irrigação, na aquíicultura, etc.; ou sem derivação de água, como é o caso, em geral, da geração hidrelétrica, navegação fluvial, pesca, recreação e assimilação de esgotos (BORSOI e TORRES, 1997).

Além de usar a água para suas funções vitais, como os demais organismos vivos, o homem utiliza os recursos hídricos para um grande conjunto de atividades. Entretanto, 97% da água do planeta Terra estão nos oceanos e não pode ser utilizada para irrigação, uso doméstico e dessedentação. Os 3% restantes têm, aproximadamente, um volume de 35 milhões de quilômetros cúbicos. Grande parte deste volume está sob a forma de gelo na Antártida ou na Groelândia. Somente 100 mil km<sup>3</sup>, ou seja, 0,3 % do total de recursos de água doce estão disponíveis e podem ser utilizados pelo homem. Este volume está armazenado em lagos, flui nos rios e continentes e é a principal fonte de suprimento, acrescido de águas subterrâneas (RAUCCI e POLETTE, 2001).

A partir da década de 1980, consolida-se no mundo a discussão de um novo modelo de desenvolvimento, que tem como princípio central o conceito de sustentabilidade. É no contexto desta agenda que os estados brasileiros passaram a discutir e redefinir seu arcabouço jurídico e institucional sobre recursos hídricos, o qual se fundamenta nos princípios da gestão descentralizada, integrada e participativa, tendo a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão e a água como um bem público e econômico (GARJULLI, 2003).

O Brasil possui uma das maiores reservas hídricas do mundo, concentrando cerca de 12% da água doce superficial disponível no planeta, estando aproximadamente 80% da produção hídrica total localizada nas bacias do Amazonas, São Francisco e Paraná (REBOUÇAS et al., 2002). Porém, a distribuição espacial hídrica dos recursos brasileiros não coincide com as demandas da população, pois praticamente 89% do volume total está concentrado nas regiões Norte, com contém 7,95% da população brasileira, e Centro-Oeste, onde estão localizados apenas 7,19% da população. Para as regiões Nordeste, com 28% da população; Sudeste com 42,33% e Sul, com 14,54%, há disponível apenas 11% do potencial hídrico do país (MIRANDA, 2004; IBGE, 2007; BARROS, 2008).

A região semiárida brasileira caracteriza-se, principalmente, pela escassez de água, decorrente da incidência de chuvas apenas em curtos períodos de três a cinco meses por ano, irregularmente distribuídas no tempo e no espaço. Essa característica causa uma forte dependência da intervenção do homem sobre a natureza, no sentido de garantir, por meio de obras de infraestrutura hídrica, o armazenamento de água para abastecimento humano e demais usos produtivos (GARJULLI, 2003).

Por isso, é imprescindível que a água seja considerada como um recurso estratégico, para que o seu uso sustentável seja embasado no seu uso racional, no fortalecimento institucional, em marcos regulatórios, no planejamento e gestão integrada, na disponibilidade de recursos financeiros e, principalmente, no respeito ao princípio de que todos têm igual direito de acesso a água de qualidade, um bem fundamental à vida (BARROS, 2008).

## **2.2 A bacia do rio São Francisco**

A bacia hidrográfica do rio São Francisco (Figura 1) abrange 639.219 km<sup>2</sup> de área de drenagem (7,5% do País) e possui uma vazão média de 2.850 m<sup>3</sup>/s (2% do total). O

rio São Francisco tem 2.700 km de extensão e nasce na Serra da Canastra, em Minas Gerais, escoando no sentido sul-norte pelos estados da Bahia e Pernambuco, quando altera seu curso para leste, chegando ao Oceano Atlântico, através da divisa entre Alagoas e Sergipe. A bacia está distribuída em sete unidades da federação: Bahia (48,2% da área total da bacia), Minas Gerais (36,8%), Pernambuco (10,9%), Alagoas (2,2%), Sergipe (1,2%), Goiás (0,5%) e Distrito Federal (0,2%), englobando 504 municípios, correspondentes a cerca de 9% do total de municípios do País (CBHSF, 2009).

A bacia é tradicionalmente dividida em quatro segmentos: alto, médio, submédio e baixo (Figura 1). O alto compreende o trecho desde a nascente até Pirapora (MG), numa extensão de 630 km (111.804 km<sup>2</sup> - 17,5% da bacia); o médio, com 1.090 km (339.763 km<sup>2</sup> - 53%), estende-se de Pirapora (MG) até Remanso (BA); o submédio de Remanso (BA) até a cachoeira de Paulo Afonso (onde se encontra o complexo hidrelétrico de Paulo Afonso), com 686 km (155.637 km<sup>2</sup> - 24,4%) e, finalmente, o baixo correspondendo ao trecho mais curto, com 274 km (32.013 km<sup>2</sup> - 5,1%), que se estende de Paulo Afonso (BA) até a foz (AL/SE) (PAIVA, 1982; CBHSF, 2009). O alto curso é caracterizado por águas rápidas, frias e oxigenadas; o médio por ser rio de planalto, com menor velocidade e sujeito a grandes cheias; o submédio está praticamente barrado e o baixo, por ser trecho de planície, é mais lento e encontra-se sob influência marinha (SATO e GODINHO, 1999).

O rio São Francisco recebe água de 168 afluentes, dos quais 99 são perenes, 90 estão na sua margem direita e 78 na esquerda. A produção de água de sua bacia concentra-se nos cerrados do Brasil Central e em Minas Gerais e a grande variação do porte dos seus afluentes é consequência das diferenças climáticas entre as regiões drenadas. Os índices pluviiais da Bacia do São Francisco variam entre sua nascente e sua

foz. A pluviometria média vai de 1.900 milímetros na área da Serra da Canastra a 350 milímetros no semiárido nordestino. Por sua vez, os índices relativos à evaporação mudam inversamente e crescem de acordo com a distância das nascentes, variando desde 500 milímetros anuais, na cabeceira, a 2.200 milímetros anuais em Petrolina (PE) (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2010).

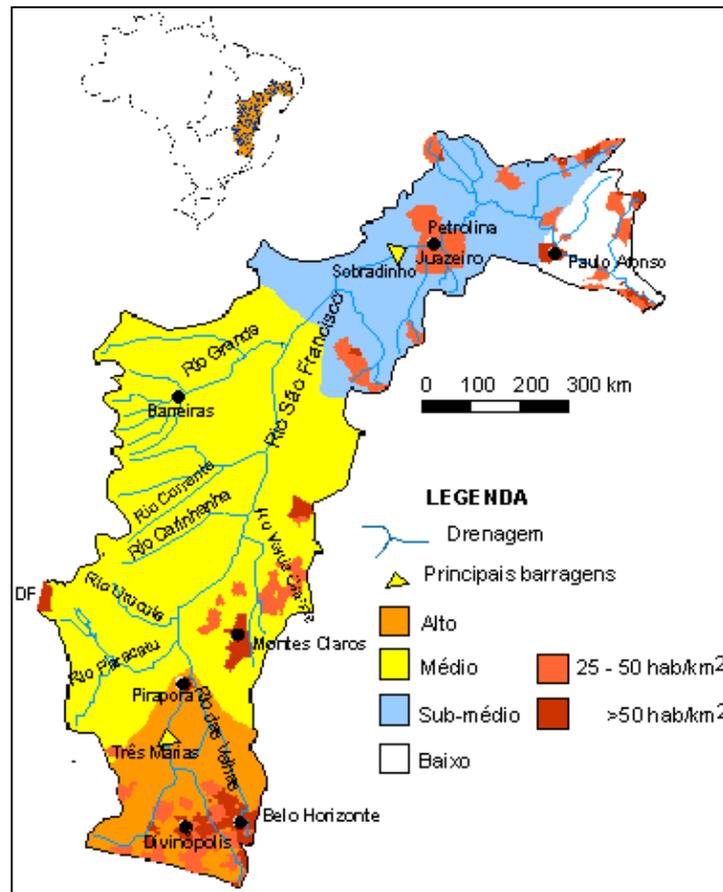


Figura 1. Mapa da bacia hidrográfica do rio São Francisco e indicação das diferentes regiões da bacia. Fonte: <http://www.saofrancisco.cbh.gov.br/>.

As principais usinas hidrelétricas dessa bacia, em área alagada ou potência, encontram-se na calha principal do rio. Apenas uma, Três Marias, foi construída na sua porção superior, enquanto as demais (Sobradinho, Itaparica, Moxotó, o complexo de Paulo Afonso e Xingó) (Figura 2) encontram-se na porção remanescente. Em conjunto, elas têm capacidade de geração de 7.902 MW, mas inundaram uma área de cerca de

6.250 km<sup>2</sup>, em sua maioria composta de terras férteis. O reservatório de Sobradinho, com 4.214 km<sup>2</sup>, está entre os maiores espelhos d'água artificiais da Terra. Entre a barragem de Três Marias e o reservatório de Sobradinho, numa extensão de cerca de 1.050 km, o rio flui livre de barramentos, apresenta extensas várzeas, particularmente a jusante da foz do rio Paracatu, e recebe a grande maioria dos principais afluentes perenes (GODINHO e GODINHO, 2003). No trecho restante, os tributários têm caráter predominantemente intermitente, com vazões apenas no período chuvoso.

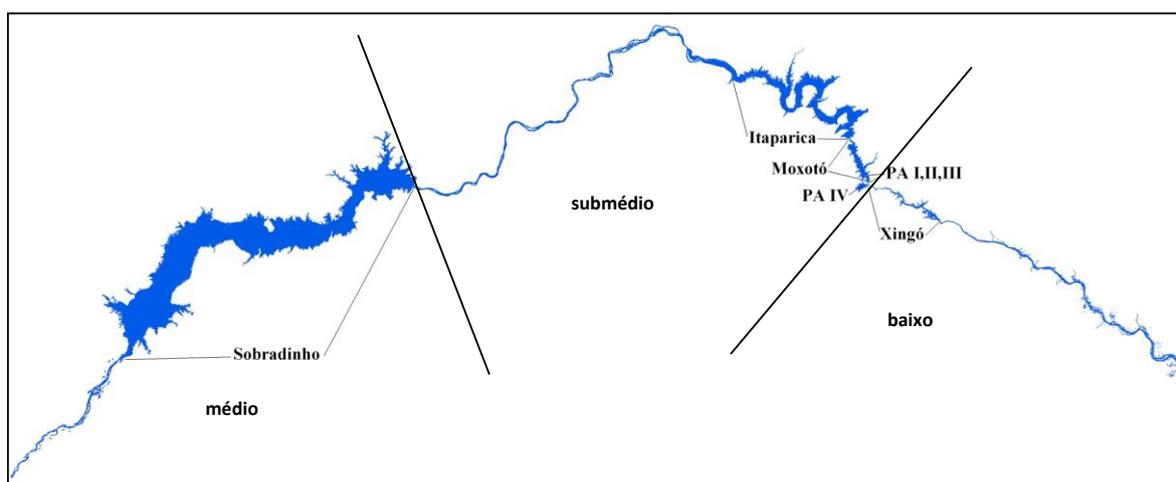


Figura 2. Localização dos reservatórios do médio, submédio e baixo rio São Francisco.

### 2.3 Reservatórios e sistema em cascata

Reservatórios são sistemas artificiais de armazenamento de água para usos múltiplos. Dependendo da localização de um divisor de águas, do tamanho da área de drenagem, do tamanho e da geomorfologia da bacia e dos fatores climáticos associados à atividade antrópica, a qualidade da água pode ser afetada, com provável efeito sobre a diversidade biológica e o padrão de funcionamento do reservatório como um todo (TUNDISI et al., 1999).

Barragens têm sido construídas há milhares de anos, para controlar inundações, represar águas como fonte de energia hidrelétrica, fornecer água para consumo humano

direto, uso industrial ou irrigação de plantações. A partir de 1950, iniciativas governamentais e privadas (em alguns países) foram responsáveis pela construção de um número crescente de barragens, à medida que as populações aumentavam e as economias nacionais se fortaleciam. Desde então, pelo menos 45.000 grandes barragens foram construídas para atender às demandas de água ou energia. Hoje, quase metade dos rios do mundo tem ao menos uma grande barragem (COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS, 2000).

A construção de reservatórios para várias finalidades representa uma das maiores experiências humana na modificação dos ecossistemas naturais. Fazer uso dos rios pela construção de uma série de reservatórios é uma prática comum em grandes rios brasileiros (RODGHER et al., 2005). Segundo Barbosa et al. (1999), a distribuição em “cascata” de reservatórios em ordem sucessiva em um mesmo percurso de um rio ensejou o estabelecimento de um novo conceito ecológico, o “Conceito do contínuo em cascata de reservatórios”. Os autores enfatizam que, a despeito da interrupção do trajeto de um curso de água, com implicações na estrutura e no funcionamento das comunidades nos reservatórios, as represas ao longo de uma sequência longitudinal apresentam interconectividade significativa entre si (FERREIRA et al., 2005).

Nos reservatórios em cascata, ocorre diminuição dos poluentes ao longo de sua sequência espacial, pois o reservatório a montante funciona como um quimiostato, retendo parte dos poluentes e nutrientes, diminuindo a quantidade de sedimento e melhorando a qualidade das águas cascata abaixo (STRASKRABA, 1994; BARBOSA et al., 1999; TUNDISI et al., 1999). Entretanto, a presença de tributários em reservatórios do sistema em cascata, aliada às características hidrológicas, geológicas e antrópicas da cada sub-bacia, pode interferir no processo longitudinal característico,

bem como na intensidade e natureza de tais influências e na capacidade depuradora de cada reservatório do sistema (LIMA, 2009).

Algumas considerações teóricas sobre os efeitos causados nos reservatórios a jusante do sistema foram agrupadas por Straskraba (1990), dentre as quais se destacam: alterações químicas no reservatório a jusante (a. diminuição da turbidez; b. diminuição da cor da água e da carga orgânica, com consequência sobre as condições de luminosidade; c. decréscimo na concentração de fósforo devido à diminuição da turbidez e absorção fitoplanctônica) e efeitos indiretos nos processos químicos e biológicos (a. redução da produção primária devido à queda na concentração de fósforo e b. diminuição da concentração de oxigênio nas camadas de águas mais profundas).

No Brasil, o efeito da construção de sucessivos barramentos em um mesmo rio sobre a qualidade da água e das comunidades associadas, tem sido estudado em algumas bacias. Como exemplo, diversos estudos foram desenvolvidos na bacia do rio Tietê, incluindo aqueles de Barbosa et al. (1999), Cavenaghi et al. (2003), Rodgher et al. (2005) e Sendacz et al. (2005), e no rio Paranapanema, como Nogueira et al. (2005), Jorcin & Nogueira (2005) e Jorcin & Nogueira (2008), nos quais são avaliadas diferenças espaciais e sazonais das concentrações de nitrogênio e fósforo, o transporte e a retenção de sedimento, o comportamento vertical da temperatura e do oxigênio dissolvido, a eutrofização, a influencia do tempo de residência, a contribuição de tributários para as bacias, dentre outros aspectos.

Para a bacia do São Francisco, nas porções média, submédia e baixa existem poucos estudos realizados até o momento, desenvolvidos isoladamente nos diferentes reservatórios, como o de Costa (2004) no reservatório de Sobradinho, sobre a caracterização da qualidade da água, através de variáveis físico-químicas e biológicas, para a exploração de áreas potenciais para a instalação de tanques-rede. Callisto et al.

(2005) avaliaram o efeito na cascata sobre a comunidade bentônica, tendo sido desenvolvido apenas nos reservatórios de Moxotó, PA-I,II,III, PA-IV e Xingó. Souza (2007) avaliou as alterações limnológicas no Reservatório de Moxotó e PA-I,II,III causadas pelo cultivo de tilápias em sistemas de *raceways* nos reservatórios de Moxotó e PA-I,II,III. Recentemente, alguns estudos ictiofaunísticos foram desenvolvidos no reservatório de Sobradinho, incluindo Silva et al. (2010) que estudaram a morfologia de larvas e juvenis de *Anchoiella vaillanti*.; e Rocha et al. (2011) e Pinto et al. (2011) que avaliariam a composição da dieta de duas espécies de peixe-cachorro do gênero *Acestrorhynchus* e da sardinha *Triportheus guentheri*, respectivamente.

#### **2.4 Qualidade de água e índice de estado trófico**

O armazenamento de água em regiões semiáridas tem se tornado numa importante e imprescindível iniciativa visando reduzir a escassez deste recurso natural. Assim, é comum em regiões com tais características, como a maior parte do Nordeste Brasileiro, a construção de grandes reservatórios, que tem servido para atender, com certa regularidade, demandas para os mais diversos usos da água. Por outro lado, o seu armazenamento em reservatórios acaba tornando esses ambientes vulneráveis a um maior risco de degradação. Como se sabe, a água armazenada fica sujeito a um longo tempo de residência, permitindo que algumas modificações químicas e biológicas possam ocorrer (SOUSA et al., 2007).

A eutrofização de lagos e reservatórios é o seu enriquecimento com nutrientes para plantas, principalmente fósforo e nitrogênio, que entram como soluto e se transformam em partículas orgânicas e inorgânicas, oriundos principalmente de efluentes domésticos e industriais e da exploração agrícola, cuja natureza depende do tipo de uso e ocupação do solo. O crescimento acelerado e a proliferação de vegetais

aquáticos (micro e macroscópicos) frequentemente causam a deterioração da qualidade hídrica. As condições ambientais dentro dos corpos hídricos e dos mananciais determinam a magnitude da eutrofização (HOLMES, 1996; VARIS, 1996; COELHO, 2000; UNEP-IETC, 2001).

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

O índice de Carlson (1977) é uma das ferramentas mais empregadas para a estimativa do estado trófico em ambientes aquáticos. O mesmo tem sido usado em diferentes ecossistemas aquáticos, incluindo lagoas costeiras (SCHÄFER, 1988; CALADO-NETO, 2007) e reservatórios (MATSUMURA-TUNDISI et al., 1986; CALEFFI et al., 1994). A modificação proposta por Toledo et al. (1983) para este índice, também tem sido amplamente empregada para estimar o estado trófico, principalmente de lagos e reservatório de regiões tropicais e subtropicais (TUNDISI, 1988; MERCANTI e TUCCI-MOURA, 1999).

Neste contexto, a região nordeste do Brasil é a única da América Latina onde existe um complexo de reservatórios em cascata em região semiárida, sujeito a uma variação sazonal marcante da vazão e controle de nível dos reservatórios pela geração hidrelétrica. Considerando a relevância social e econômica destes ecossistemas aquáticos para a região e o impacto potencial das atividades humanas sobre a qualidade

dos recursos hídricos, faz-se necessário avaliar a qualidade de água dos reservatórios do sistema como um todo e da influência do manejo da vazão sobre o estado trófico dos reservatórios da cascata.

### **3- Referências bibliográficas**

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

BARBOSA, F.A.R.; PADISÁK, J.; ESPINDOLA, E.L.G.; BORICS, G.; ROCHA, O. The Cascading Reservoir Continuum Concept (CRCC) and its application to the river Tietê basin, São Paulo State, Brazil. In: TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M. Theoretical reservoir ecology and its applications. International Institute of Ecology, Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers, 1999. p. 425-437.

BARROS, J.G.C. Origem, Distribuição e preservação da água no planeta Terra. **Revista das Águas**, ano 2, n.6, p.1-3, 2008.

BORSOI, Z.M.F.; TORRES, S.D.A. A política de recursos hídricos no Brasil. **Revista do BNDES**, p.1-15, 1997.

CALADO NETO, A.V. Características limnológicas e dimensionamento da capacidade ambiental de aproveitamento do reservatório de Pedra – BA para implantação de piscicultura em tanques – rede. 2007. 114p. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco.

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

CALLISTO, M.; GOULART, M.; BARBOSA, F.A.R.; ROCHA, O. Biodiversity assessment of benthic macroinvertebrates along a reservoir cascade in the lower São Francisco river (Northeastern Brazil). **Braz. J. Biol.**, v.65, p.229-240, 2005.

CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v.22, p.361-369, 1977.

CAVENAGHI, A.L.; VELINI, E.D.; GALO, M L B.T.; CARVALHO, F.T.; NEGRISOLI, E.; TRINDADE, M.L.B.; SIMIONATO, J.L.A. Caracterização da qualidade de água e sedimento relacionados com a ocorrência de plantas aquáticas em cinco reservatórios da bacia do rio Tietê. **Planta Daninha**, v.21, p.43-52, 2003.

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

COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS. **Barragens e Desenvolvimento: Um Novo Modelo para Tomada de Decisões**. O Relatório da Comissão Mundial de Barragens. London: Earthscan Publications Ltda, 2000. 48p.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO – CBHSF. **A bacia hidrográfica do São Francisco**. 2009. Disponível em: <http://www.saofrancisco.cbh.gov.br/>. Acesso em: 24 maio 2010.

COSTA, B.D.F. Caracterização ambiental e dimensionamento da capacidade de aproveitamento do Reservatório de Sobradinho para a instalação de tanques-rede. 2004. 74p. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco.

FERREIRA, R.A.R.; SANTOS, C.M.; HENRY, R. Estudo Qualitativo da comunidade Perifítica no complexo Canoas (Rio Paranapanema, SP/PR) Durante as Fases de Pré e Pós-enchimento. In: NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R.; JORCIN, A. Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata. São Carlos: Rima, 2005, p. 205-234.

GARJULLI, R. Os recursos hídricos no semi – árido. **Ciência e Cultura**, v.55, p.38-39, 2003.

GODINHO, A.L.; GODINHO, H.P. Breve visão do rio São Francisco. In: GODINHO, A.L.; GODINHO, H.P. (Org.) *Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais*. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003. p. 15-24.

HOLMES, P.R. Measuring success in water pollution control. **Wat. Res.**, v.34, p.155-164, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Contagem da população 2007**. 2007. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatística/população/contagem2007/default.shtm>. Acesso em: 30 maio 2010.

JORCIN, A.; NOGUEIRA, M.G. Temporal and spatial patterns based on sediment and sediment–water interface characteristics along a cascade of reservoirs (Paranapanema River, south-east Brazil). **Lakes & Reservoirs: Research and Management**, v.10, p.1–12, 2005.

JORCIN, A.; NOGUEIRA, M.G. Benthic macroinvertebrates in the Paranapanema reservoir cascade (southeast Brazil). **Braz. J. Biol.**, v.68, n.4 (Suppl.), p.1013-1024, 2008.

LIMA, A.E. Qualidade da água do sistema de reservatórios em cascata do médio e baixo rio São Francisco. 2009. 39p. **Monografia (Graduação)** – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco.

MARGALEF, R. La superficie del planeta y la organización de la Biosfera: reacción a los nuevos mecanismos añadidos por el poder creciente de los humanos. **Munibe – Ciencias Naturales**, n. 53, p.7-14, 2002.

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

MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J.G. Calanoida (Copepoda) Species Composition Changes in reservoirs of São Paulo State (Brazil) in the Last Twenty Years. **Hydrobiologia**, v.504, p.215-222, 2003.

MERCANTE, C.T.J; TUCCI-MOURA, A. comparação entre os índices de Carlson e de Carlson modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais, São Paulo, SP. **Acta Limnologia Brasiliensia**, v.11, p.1-14, 1999.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Um rio que une climas e regiões diferentes**. 2010. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/saofrancisco/rio/index.asp>.. Acesso em: 24 maio 2010.

MIRANDA, E. E. **Água na natureza, na vida e no coração dos homens**. Campinas. 2004. Disponível em: <http://www.aguas.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 24 maio 2010.

NOGUEIRA, M.G.; JORCIN, A.; VIANNA, N.C.; BRITTO, Y.T. Uma avaliação dos processos de eutrofização nos reservatórios em cascata do Rio Paranapanema (SP/PR), Brasil. In: CIRRELI, A.F.; MARQUISÁ, G.C. El agua em Iberoamérica – De La Limnología a La Gestión em Sudamérica. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo. Buenos Aires: CYTED XVII/ Ceta (Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos), 2002, p. 91-106.

NOGUEIRA, M.G.; JORCIN, A.; VIANNA, N.C.; BRITTO, Y.C.T. Reservatórios em Cascata e os Efeitos na Limnologia e Organização das Comunidades Bióticas (Fitoplâncton, Zooplâncton e Zoobentos) Um Estudo de Caso no Rio Paranapanema (SP/PR). In: NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R.; JORCIN, A. (Org.). Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata. São Carlos: Rima, 2005, p. 83-125.

PAIVA, M. P. **Grandes represas do Brasil**. Brasília: Editerra, 1982. 304p.

PINTO, G.A.; ROCHA, A.A.F.; SANTOS, N.C.L.; MEDEIROS, T.N.; SEVERI, W. Variação sazonal na dieta de *Triportheus guentheri* (GARMAN, 1890) (Actinopterygii:

Characidae), no reservatório de Sobradinho, rio São Francisco, BA. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.37, p.295–306, 2011.

RAUCCI, G.D.; POLETTE, M. “Subsídios para análise da capacidade de suporte da praia central de balneário Camboriú – SC”. In: Semana Nacional de Oceanografia Rio Grande, 14, 2001. Rio Grande do Sul. Anais. Rio Grande do Sul: Furg, 2001.

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

ROCHA, A.A.F.; SANTOS, N.C.L.; PINTO, G.A.; MEDEIROS, T.N.; SEVERI, W. Diet composition and food overlap of *Acestrorhynchus britskii* and *A. lacustris* (Characiformes: Acestrorhynchidae) from Sobradinho reservoir, São Francisco river, Bahia State. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v.33, p. 407-415, 2011.

RODGHER, S.; ESPÍNDOLA, E.L.G.; ROCHA, O.; FRACÁCIO, R.; PEREIRA, R.H. G.; RODRIGUES, M.H.S. Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoirs in the Tietê river (São paulo, Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, v.65, p.697-710, 2005.

SATO, Y.; GODINHO, H.P. Peixes da bacia do rio São Francisco. In: LOWE-McCONNELL, R. H. Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais. São Paulo: Edusp. 1999. 534p.

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

SENDACZ, S.; MONTEIRO JÚNIOR, A.J.; MERCANTE, C.T.; MENEZES, L.C.B.; MORAES, J.F. Sistema em Cascata: Comcentrações e Cargas de Nutrientes no Sistema Produtor Alto Tietê, São Paulo. In: Nogueira, M.G.; Henry, R.; Jorcin, A. (Org.). Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata. São Carlos: Rima, 2005, p. 417-434.

SILVA, A.C.G.; SEVERI, W.; CASTRO, M.F. Morphological development of *Anchoviella vaillanti* (Steindachner, 1908) (Clupeiformes: Engraulidae) larvae and early juveniles. **Neotropical Ichthyology**, v.8, p.805-812, 2010.

SOUSA, I.V.A.; SOUZA, R.O.; PAULINO, W.D. Cálculo do índice de estado trófico em reservatório com estudo de caso no reservatório Acarape do Meio. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17., 2007. São Paulo. **Anais**. São Paulo/SP. ABRH, 2007. p. 1-13. CD-ROM.

SOUZA, S. M. L. Avaliação limnológica em reservatórios: estudo de caso do cultivo de tilápias em raceways, Paulo Afonso - Bahia. 2007. 50p. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco.

STRASKRABA, M. Limnological particularities of multiple reservoir series. **Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.**, v.33, p.677-678, 1990.

STRASKRABA, M. Vltava cascade as teaching grounds for reservoir limnology. **Wat. Sci. Tech.**, v.30, p.289-297, 1994.

TOLEDO-JÚNIOR, A.P.; TALARICO M.; CHINEZ S.J.; AGUDO E.G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 12, 1983, Camburiú. **Anais**. Camboriú: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 1983.

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

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. Limnologia de águas interiores. Impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: REBOUÇAS, A.C.; TUNDISI, J.G. ed. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras Editora, 1999. p. 195-223.

United Nations Environment Programme-UNEP/International Environmental Technology Centre-IETC. **Planejamento e gerenciamento de lagos e represas: uma abordagem integrada ao problema de eutrofização**. São Carlos: IIE, 2001. 385p.

VARIS, O. Water quality models: typologies for environmental impact assessment; **Wat. Res.**, v.34, p.109-117, 1996.

#### **4 - Artigo científico (Estado trófico na cascata de reservatórios de um rio no semiárido brasileiro)**

Artigo científico a ser encaminhado à **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**.

Todas as normas de redação e citação, deste capítulo, atendem as estabelecidas pela referida revista (em anexo).

## Estado trófico na cascata de reservatórios de um rio no semiárido brasileiro

Antony Evangelista de Lima &amp; William Severi

## Resumo

O presente trabalho teve como finalidade avaliar a influência da vazão sobre o estado trófico da água na cascata de reservatórios do médio, submédio e baixo rio São Francisco. Foram realizadas coletas trimestrais da água na superfície, entre dezembro/2007 e setembro/2008, nos reservatórios de Sobradinho, Itaparica, Moxotó, PA-I, II, III, PA-IV e Xingó. As variáveis utilizadas no estudo foram vazão afluente e defluente, sendo a transparência da água (DS), as concentrações de clorofila-a (CLO), fósforo total (FT) e fósforo solúvel reativo (FSR), empregadas para o cálculo do índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo-Júnior (IETM), com posterior cálculo do índice de estado trófico médio. Foi realizada uma análise de variância de Kruskal-Wallis complementada pelo teste post-hoc de Dunn ( $p < 0,05$ ) para detectar diferenças espaciais (reservatórios) e temporais (meses para cada reservatório) entre as variáveis analisadas. Análises de componentes principais (ACP) foram realizadas individualmente para os meses de coleta para avaliar a variação do estado trófico dos reservatórios em função da mudança das vazões e da concentração de nutrientes. O reservatório de Sobradinho mostrou-se diferentes dos demais para todas as variáveis e índices estudados, com maiores vazões afluentes nos meses de dezembro/2007 e março/2008, sendo classificado como eutrófico e mesotrófico ao longo do estudo. Os reservatórios de Itaparica, Moxotó, PA-I, II, III, PA-IV e Xingó mostraram uma relativa uniformidade de funcionamento, com maiores entradas e saídas de água em dezembro/2007 e setembro/2008, e estado trófico variando entre oligotrófico e mesotrófico. Houve uma variação no estado trófico ao longo do sistema, fato evidenciado por DS e CLO. O efeito da oligotrofização da água dos reservatórios ao longo da cascata, entretanto, foi atenuado pelo aporte lateral de nutrientes pelos tributários: rios Motoxó e Pajeú e pelos efluentes das cidades no entorno do sistema, principalmente na região de Paulo Afonso, como evidenciado pelos IETM (FT) e IETM (FSR). As ACP exibiram a mudança no estado trófico do sistema ao longo do tempo, tendo a maior semelhança nos IETM entre os reservatórios sido registrada em março/2008. De modo geral, as ACP separaram os reservatórios de Sobradinho de

Xingó, com Itaparica e o Complexo de Paulo Afonso apresentando um estado trófico intermediário entre os primeiros, conforme demonstrado pelo índice de estado trófico médio.

Palavras-Chave: estado trófico, oligotrofização, rio São Francisco

Trophic state in the cascade of reservoirs in a river in Brazilian Semi-arid

Abstract

The present study evaluates the influence of the river flow on the trophic state of the reservoir cascade formed by the dams on the medium, submedium and low São Francisco River. Surface water sampling was conducted quarterly between December 2007 and September 2008, at 38 sampling stations along the reservoirs of Sobradinho, Itaparica, Moxotó, PA-I, II, III, PA-IV and Xingó. The hydrological variables analyzed were inflow and outflow, and water transparency (DS), chlorophyll-a (CLO), total phosphorous (FT) and reactive soluble phosphorous (FSR) concentrations were used for the estimation of the Carlson trophic state index modified by Toledo-Júnior (IETM), with posterior estimation of the average trophic state index. A Kruskal-Wallis test followed by the post-hoc Dunn's test ( $p < 0,05$ ) was used to detect spatial (reservoirs) and temporal (months) differences between the variables analyzed. Principal component analysis (ACP) was used for each sampling month data in order to evaluate the variation of reservoir trophic state in response to changes in flow and nutrient concentration. Sobradinho differed from the other reservoirs for all variables and indexes analyzed, showing higher inflow in December 2007 and March 2008, and was regarded as eutrophic and mesotrophic throughout the study period. Itaparica, Moxotó, PA-I, II, III, PA-IV and Xingó reservoirs presented a relative uniformity, with higher inflow and outflow in December 2007 and September 2008, and a trophic state varying between mesotrophic and oligotrophic. A trophic state reduction along the reservoir cascade was detected, as evidenced by DS and CLO. However, the effect of reservoir water oligotrophication was attenuated by lateral contributions from the Moxotó and Pajeú tributaries, and effluents from the cities located along the system, particularly in the Paulo Afonso region, as evidenced by IETM(FT) and IETM (FSR). ACP exhibited a temporal change in the system trophic state, with a higher IETM similarity in March

2008. The ACP separated the Sobradinho and Xingó reservoirs, while Itaparica and the Paulo Afonso Complex reservoirs presented an intermediate trophic state, as demonstrated by the average trophic state index.

Key-Words: trophic state, oligotrophication, São Francisco River

## Introdução

A partir de 1950 em alguns países, os governos ou o setor privado passaram a construir um número cada vez maior de barragens, à medida que as populações aumentavam e as economias nacionais se fortaleciam. Hoje, quase metade dos rios do mundo tem ao menos uma grande barragem. Esses reservatórios têm sido utilizados como pólos de desenvolvimento regional, estimulando também a economia local e regional por meio de novas oportunidades e alternativas de desenvolvimento, sendo assim, esses ecossistemas tornaram-se mais expressivos para a regionalização ecológica que os próprios rios (Comissão Mundial de Barragens, 2000; Margalef, 2002).

As represas são um dos componentes de três subsistemas ecológicos fundamentais: a bacia hidrográfica e sua rede hídrica, o reservatório propriamente dito e suas descargas e o sistema a jusante. Esses subsistemas são interativos e operam em conjunto, sendo os reservatórios dependentes dessas interações (Matsumura-Tundisi & Tundisi, 2003). A distribuição em “cascata” de reservatórios em ordem sucessiva em um mesmo percurso de um rio ensejou o estabelecimento do Conceito Contínuo em Cascata de reservatórios. Este novo conceito ecológico que, a despeito da interrupção do trajeto de um curso de água com implicações na estrutura e no funcionamento das comunidades nas barragens, as represas na seqüência longitudinal apresentam interconectividade significativa entre si (Barbosa et al., 1999; Ferreira et al., 2005).

Algumas considerações teóricas sobre os efeitos causados nos reservatórios a jusante no sistema de cascata foram agrupadas por Straskraba (1990), dentre as quais se destacam: alterações químicas no reservatório a jusante (a. diminuição da turbidez; b. diminuição da cor da água e da carga orgânica, com conseqüência sobre as condições de luminosidade; c. decréscimo na concentração de fósforo devido à diminuição da turbidez e absorção fitoplanctônica) e efeitos indiretos nos processos químicos e biológicos (a. redução da produção primária devido à queda na concentração de fósforo e b. diminuição da concentração de oxigênio nas camadas de águas mais profundas).

A quantificação do estado trófico por meio de diferentes índices permite classificar tradicionalmente os lagos e reservatórios em três categorias principais: oligotrófico, mesotrófico e eutrófico. Esses índices funcionam como referência e permitem acompanhar as alterações quantitativas sofridas pelos lagos, em virtude da descarga de nutrientes (Stednick & Hall, 2003; Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008). Contudo, quanto aos sistemas de reservatórios construídos em série em um mesmo rio, enquanto unidade funcional, estes índices ainda são poucos conhecidos e estudados (Barbosa et al., 1999; Nogueira et al., 2002), não havendo registro deste tipo de análise para os reservatórios da bacia do São Francisco.

Diante do exposto, o presente trabalho pretende responder a duas questões: 1) a distribuição espacial dos reservatórios em cascata do rio São Francisco e 2) as vazões sazonais interferem no estado trófico da água do sistema.

## Material e Métodos

### Área de estudo

A bacia hidrográfica do São Francisco, principal rio do semiárido brasileiro, abrange 639.219 km<sup>2</sup> de área de drenagem (7,5% da superfície do Brasil) e vazão média de 2.850 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (2% do total do país). O rio São Francisco tem 2.700 km de extensão e nasce na Serra da Canastra em Minas Gerais, escoando no sentido sul-norte pelos estados Bahia e Pernambuco, quando altera seu curso para este, chegando ao Oceano Atlântico através da divisa entre os estados Alagoas e Sergipe (CBHSF, 2009).

Suas principais usinas hidrelétricas, em área alagada ou potência instalada, encontram-se na calha principal do rio. Apenas Três Marias foi construída na porção superior da bacia, enquanto as demais (Sobradinho, Itaparica, Moxotó, Complexo de Paulo Afonso e Xingó, último reservatório da cascata, está encaixado no cânion do São Francisco, Figura 1) encontram-se nas porções média e inferior. Em conjunto, elas têm capacidade de geração de 7.902 MW, tendo inundado cerca de 6.250 km<sup>2</sup>, em sua maioria representada por terras férteis (Godinho & Godinho, 2003; Callisto et al., 2005; Melo & Severi, 2010).

### **Análise das variáveis físicas, químicas, biológicas e hidrológicas**

As coletas foram realizadas trimestralmente, entre dezembro de 2007 e setembro de 2008, em 38 estações amostrais distribuídas ao longo dos reservatórios, no trecho compreendido entre Barra – BA, a montante do reservatório de Sobradinho, e a

montante da barragem de Xingó. As estações estão assim distribuídas: nove no reservatório de Sobradinho (RSF 01 a 09), oito em Itaparica (RSF 10 a 17), doze no Complexo de Paulo Afonso, sendo sete em Moxotó (RSF 18 a 24), duas em PA-I,II,III (RSF 25 e 26) e três em PA-IV (RSF 27 a 29), e nove em Xingó (RSF 30 a 38).

A transparência da água (DS, m) foi estimada através da leitura da profundidade média de extinção de disco de Secchi. Foi utilizada uma garrafa de Van Dorn para coleta de água de superfície. As demais variáveis limnológicas avaliadas e utilizadas no cálculo dos índices de estado trófico foram fósforo solúvel reativo (FSR,  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) e fósforo total (FT,  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ), determinados segundo Strickland & Parsons (1960), e a concentração de clorofila-a (CLO,  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) analisada segundo Nusch (1980) e recomendações de Wetzel & Likens (2000).

Os dados de vazão afluente (VAFL) e defluente (VDFL) de cada reservatório foram cedidos pela Divisão de Meio Ambiente e Geração – DEMG da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF, responsável pela operação de todas as usinas.

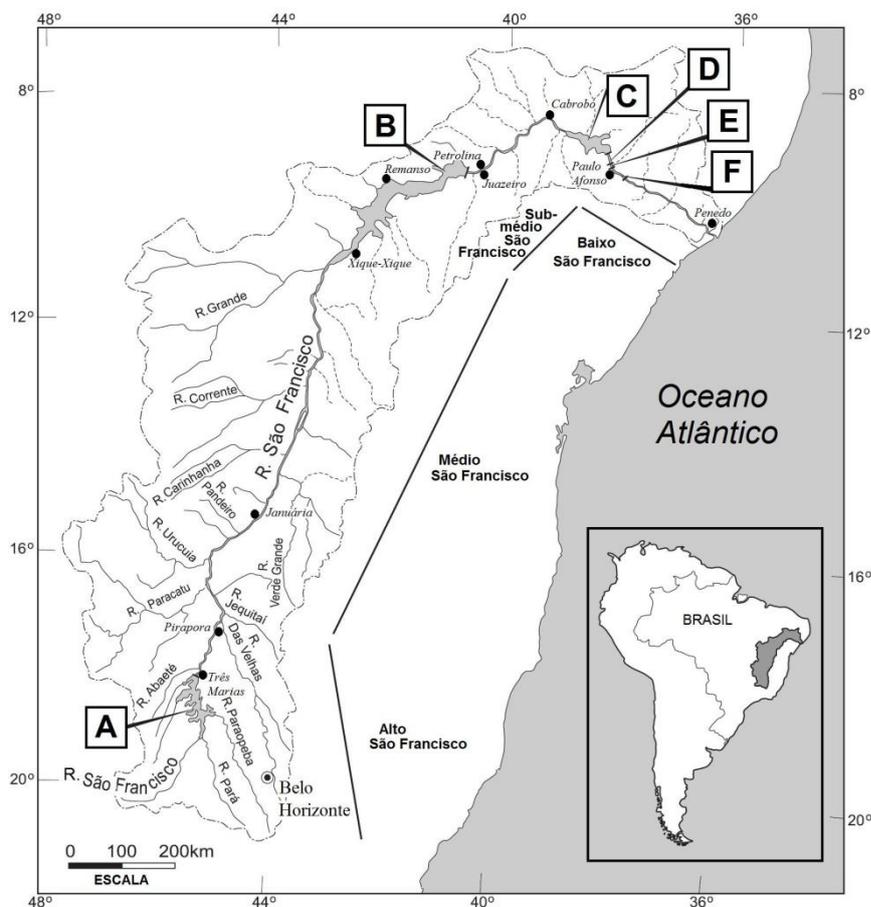


Figura 1. Bacia hidrográfica do rio São Francisco com suas subdivisões: alto, médio, submédio e baixo São Francisco. Reservatórios: Três Marias (A), Sobradinho (B), Itaparica (C), Paulo Afonso Complex (D e E) e Xingó (F). Fonte: Sato & Godinho (2003) modificado.

Figure 1. The catchment basin of the São Francisco River with its subdivisions: high, medium, submedium and low São Francisco. Reservoirs: Three Marias (A), Sobradinho (B), Itaparica (C), Paulo Afonso Complex (D and E) and Xingó (F). Source: Sato & Godinho (2003) modified.

### Índice de Estado Trófico

A avaliação do estado trófico dos reservatórios foi baseada nos valores dos Índices de Estado Trófico de Carlson (1977) modificado (IETM) proposto por Toledo-Junior et al. (1983), considerando os valores DS, CLO, FT e FSR, assim como a ponderação resultante dos quatro índices, representada por IETM Médio.

As equações utilizadas para cálculo dos IETM foram:

$$IETM (DS) = 10 * \left( 6 - \frac{0,64 + \ln (DS)}{\ln 2} \right)$$

$$IETM (CLO) = 10 * \left( 6 - \frac{2,04 - 0,695 * \ln (CLO)}{\ln 2} \right)$$

$$IETM (FT) = 10 * \left( 6 - \frac{\ln (80,32/FT)}{\ln 2} \right)$$

$$IETM (FSR) = 10 * \left( 6 - \frac{\ln (21,67/FSR)}{\ln 2} \right)$$

$$IETM (Médio) = \frac{IETM (DS) + 2 * [IETM (CLO) + IETM (FT) + IETM (FSR)]}{7}$$

Os limites de classificação para os estados tróficos utilizados foram: Oligotrófico ( $\leq 44$ ), Mesotrófico ( $44 < IETM < 54$ ) e Eutrófico ( $\geq 54$ ) (Toledo et al., 1983).

### Análise dos dados

Foi realizada a avaliação da normalidade (Teste de Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors) e da homocedasticidade (Teste de Levene) para todos os dados utilizados. Em seguida, para verificação de possíveis diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre reservatórios da cascata e meses de coleta, utilizou-se a análise não paramétrica de Kruskal-Wallis, complementada pelo Teste de Dunn.

Foi realizada uma análise de correção de Spearman para identificar eventuais colinearidades entre as vazões (afluente e defluente) e os índices de estado trófico. Todas as análises foram realizadas através do aplicativo Statistica 8 (Statsoft, 2008).

Aplicou-se também uma análise de componentes principais (ACP) para avaliação da dispersão dos dados em relação às vazões e IETM avaliados, através do aplicativo MVSP (versão 3.1). As correlações entre os dois primeiros eixos gerados e as variáveis analisadas foram consideradas estatisticamente significativas quando  $d = \sqrt{2/n}$ , sendo  $n$  o número de variáveis utilizadas na análise (Legendre & Legendre, 1998).

## Resultados

### Variação espacial

A variação espacial das variáveis estudadas ao longo da cascata de reservatórios do submédio e baixo São Francisco consta da Figura 2.

A vazão afluente (VAFL) apresentou um aumento ao longo da cascata, variando entre Sobradinho (valor mediano de  $1416,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) e Xingó ( $1618,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), com valores menores e semelhantes em PA-I,II,III e PA-IV (Figura 2A), tendo diferido entre os reservatórios ( $p < 0,0001$ ). A vazão defluente (VDFL) apresentou variação espacial semelhante a VAFL, tendo diferido entre os reservatórios ( $p < 0,0001$ ), com valores significativamente menores em Moxotó e PA-I,II,III (Figura 2A). Esta diferença decorre do fato do reservatório de Moxotó estar associado aos reservatórios de PA-I,II,III e PA-IV, formando o Complexo Hidrelétrico de Paulo Afonso. A VAFL do Complexo depende de Itaparica, enquanto que a VDFL do mesmo é repartida entre PA-IV e PA-I,II,III o qual recebe afluência de Moxotó. A maior VDFL da cascata ( $1734,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) foi registrada em Xingó e a menor em PA-I,II,III ( $539,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Dentre as variáveis utilizadas para o cálculo do IETM, DS apresentou maior diferença entre os reservatórios avaliados ( $p < 0,0001$ ), com diminuição ao longo da cascata (Figura 2B). Sobradinho apresentou os menores valores (0,70 m) e Xingó os mais elevados (3,00 m), tendo diferido significativamente entre si. Os demais reservatórios apresentaram valores intermediários e semelhantes entre eles.

A concentração de clorofila-a apresentou uma diminuição ao longo da cascata (Figura 2C), embora não diferindo entre os reservatórios ( $p = 0,0577$ ). Apesar de um pico isolado em Moxotó ( $12,06 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) e ligeira elevação em Xingó, as maiores concentrações foram registradas em Sobradinho e as menores medianas em PA-I,II,III e PA-IV (respectivamente  $1,90$  e  $2,00 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ).

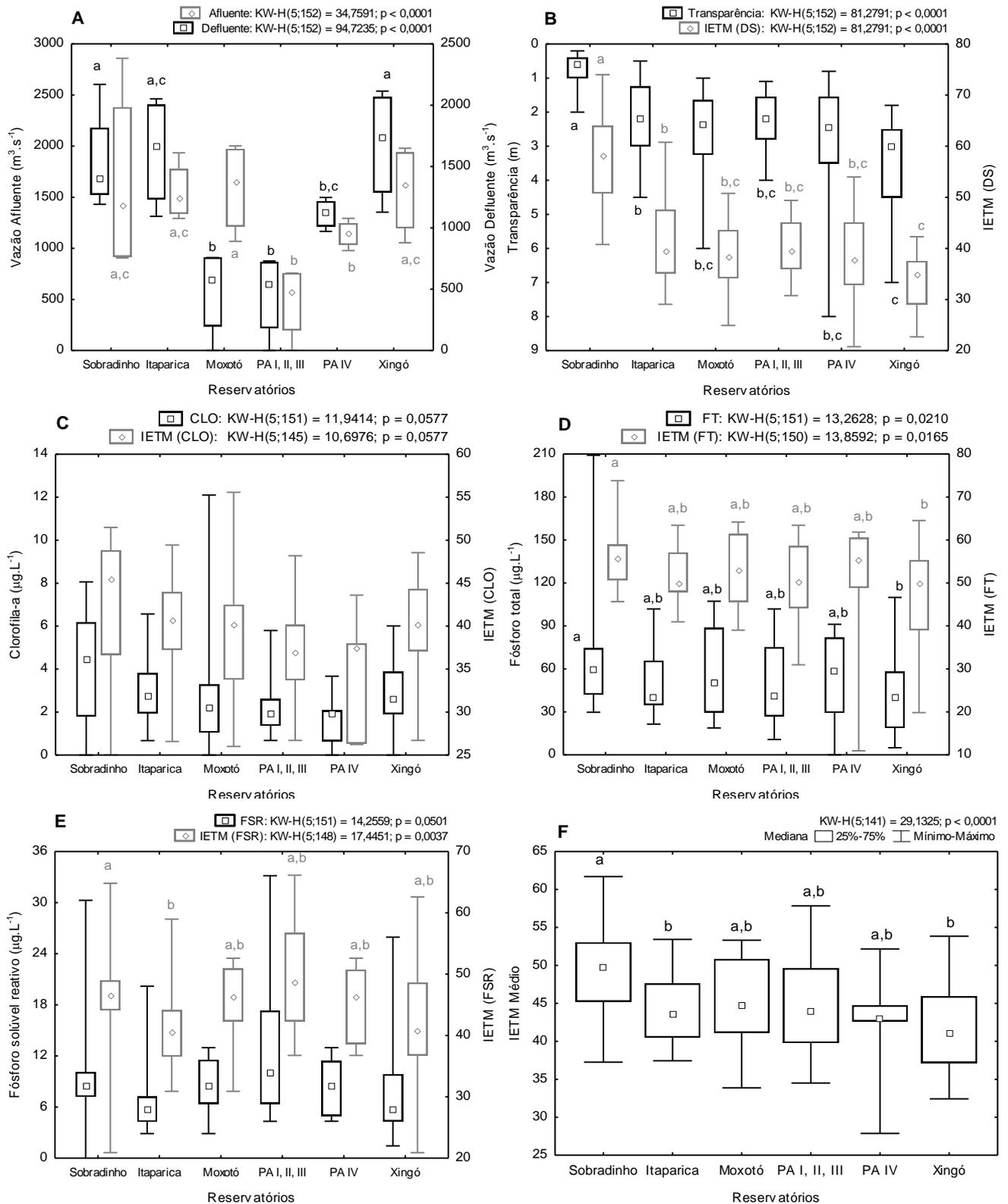


Figura 2. Amplitudes de variação e valores medianos entre reservatórios para vazão afluente e defluente (A), transparência e IETM (DS) (B), clorofila-a e IETM (CLO) (C), fósforo total e IETM (FT) (D), fósforo solúvel reativo e IETM (FSR) (E) e IETM médio (F) na cascata de reservatórios do submédio e baixo rio São Francisco. Letras diferentes entre medianas indicam diferença significativa entre reservatórios ( $p \leq 0,05$ ).

Figure 2. Ranges of variation and median values between reservoirs for inflow and outflow (A), transparency and IETM (DS) (B), chlorophyll-a and IETM (CLO) (C), total phosphorus and IETM (FT) (D), soluble reactive phosphorus and IETM (FSR) (E) and IETM medium (F) in the cascade of reservoirs in the submedium and low São Francisco River. Different letters indicate significant difference of medians between reservoirs ( $p \leq 0.05$ ).

O fósforo total (FT) apresentou uma tendência de queda nas concentrações ao longo dos reservatórios ( $p=0,0210$ ), tendo Sobradinho ( $59,48 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e Xingó ( $40,22 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) apresentado a maior diferença entre eles (Figura 2D). A redução da concentração de FT entre os reservatórios extremos da cascata foi modificada por uma elevação nos reservatórios de Moxotó e PA-IV ( $52,05$  e  $57,60 \mu\text{g.L}^{-1}$ , respectivamente), cujos valores não diferiram entre si e daqueles registrados em Itaparica e PA-I,II,III.

A concentração de fósforo solúvel reativo (FSR) apresentou uma variação semelhante àquela de FT (Figura 2E), embora não tenha diferido entre os reservatórios ( $p = 0,0501$ ), com valores medianos mais elevados nos reservatórios de Sobradinho, Moxotó, PA-IV e PA-I,II,III e menores em Itaparica e Xingó. As maiores amplitudes de variação foram registradas em Sobradinho e PA-I,II,III ( $28,83 \mu\text{g.L}^{-1}$ ). A região do Complexo de Paulo Afonso apresentou uma elevação nas concentrações de FSR, alterando o comportamento de decréscimo ao longo da cascata até o reservatório de Xingó ( $5,77 \mu\text{g.L}^{-1}$ ).

No tocante à avaliação do estado trófico (IETM), o reservatório de Sobradinho foi enquadrado como eutrófico para (DS) e (FT) ( $58,14$  e  $55,67$ , respectivamente) e mesotrófico para (CLO), (FSR) e (Médio), com valores respectivos de  $45,51$ ,  $46,75$  e  $49,76$  (Figuras 2B-E). Os demais reservatórios apresentaram-se oligotróficos e mesotróficos, com exceção de PA-IV considerado eutrófico ( $55,30$ ) para (FT) (Figura 2D).

O IETM (DS) mostrou uma diminuição ao longo da cascata no sentido Sobradinho-Xingó ( $p<0,0001$ , Figura 2B), sendo o trecho entre Itaparica e Xingó classificado como oligotrófico. Para o IETM (CLO), observou-se a menor variação das medianas dentre os índices utilizados e reservatórios avaliados ( $p = 0,0577$ ), variando de  $37,02$  (PA-I,II,III) a  $45,51$  (Sobradinho). Assim como para (DS), houve uma diminuição do IETM (CLO) a partir de PA-I,II,III, com elevação em PA-IV ( $37,54$ ) e Xingó ( $40,13$ ) (Figura 2C).

O IETM (FT) apresentou os maiores valores medianos (entre mesotróficos e eutróficos), tendo os reservatórios de Sobradinho e Xingó diferido entre si ( $p=0,0165$ ) e se assemelhado aos demais (Figura 2D). Os maiores valores medianos foram registrados em Sobradinho ( $55,67$ ), seguidos por PA-IV ( $55,30$ ) e Moxotó ( $53,74$ ), com os menores ocorrendo em Itaparica e Xingó ( $50,02$  para ambos) e em PA-I,II,III ( $50,23$ ).

Sobradinho e Itaparica mostraram-se diferentes entre si e semelhantes aos outros reservatórios para IETM (FSR) ( $p=0,0037$ , Figura 2E). Este índice teve um

comportamento diferente dos demais, com diminuição dos valores de Sobradinho (46,75) para Itaparica (40,54), elevação de Itaparica para PA-I,II,III (48,79) e posterior queda em PA-IV (46,36) e Xingó (40,91). Ainda, diferindo dos demais índices, o IETM (FSR) mostrou, no reservatório de PA I, II, III, os maiores valor (66,14), mediana (48,79) e amplitude (29,39), características registradas para outros índices no reservatório de Sobradinho.

Na avaliação do IETM médio, os reservatórios diferiram entre si ( $p < 0,0001$ , Figura 2F), sendo Sobradinho (49,76) e Moxotó (44,79) mesotróficos e Itaparica (43,65), PA-I,II,III (43,87), PA-IV (43,08) e Xingó (40,97) oligotróficos. Houve uma redução no IETM médio entre Sobradinho e Xingó e uma separação particular entre os reservatórios, com Sobradinho diferindo dos demais, por sua condição trófica mais elevada. Ainda, Itaparica e Xingó não diferiram entre si, tendo Moxotó, PA-I,II,III e PA-IV apresentado valores semelhantes entre eles. Os reservatórios foram agrupados em três grupos tróficos distintos ao longo da cascata: Sobradinho (Meso-eutrófico), Itaparica-Xingó (oligotrófico) e Complexo de Paulo Afonso (Meso-oligotrófico).

#### Variação sazonal

A Tabela 1 exibe a variabilidade sazonal para as variáveis e índices estudados. A VAFL apresentou diferença estatística entre meses para todos os reservatórios, exceto PA-I,II,III ( $p = 0,0719$ ). Dentre os reservatórios estudados, Sobradinho esteve sujeito à maior variação da VAFL, com amplitude de  $1953,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (diferença mar/08-jun/08) e os maiores valores registrados em dez/07 ( $1902,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) e mar/2008 ( $2859,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Nos demais reservatórios da cascata, os meses de maior afluência foram dez/07 e set/08. O reservatório de PA-I,II,III apresentou as menores afluências do período estudado, com 1,13 e  $397,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , respectivamente em março e junho de 2008.

A VDFL também diferiu entre os meses em cada reservatórios, exceto PA-I,II,III ( $p = 0,0719$ ). Seus maiores valores sazonais foram registrados em Sobradinho ( $2170,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  – set/2008) e Xingó ( $2115,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  – dez/2007), e os menores em Moxotó e PA-I,II,III ( $1,13$  e  $0,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  respectivamente – ambos em mar/2008). A vazão diferencial (VAFL-VDFL) caracterizou o período de dez/07 ( $550,19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) e março/08 ( $1667,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) como períodos de enchimento de Sobradinho, enquanto jun ( $-554,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) e set/08 ( $-1239,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) foram períodos de esvaziamento (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médianos para as variáveis utilizadas entre meses de amostragem na cascata de reservatórios do rio São Francisco. Vazão aflúente (VAFL); Vazão defluente (VDFL); Fósforo solúvel reativo (FSR); Fósforo total (FT); Clorofila-a (CLO); Transparência (DS). Letras diferentes entre medianas indicam diferença significativa entre meses ( $p \leq 0,05$ ).

*Table 1. Median values for variables used between sampling periods in the cascade of reservoirs in the São Francisco River. Inflow (VAFL); Outflow (VDFL); Soluble reactive phosphorus (FSR); total phosphorus (FT); chlorophyll-a (CLO) and transparency (DS). Different letters indicate significant difference of medians between months ( $p \leq 0.05$ ).*

Variáveis	Reservatórios	Meses				p
		dez/07	mar/08	jun/08	set/08	
VAFL	Sobradinho	1902,00 <sup>a,c</sup>	2859,00 <sup>a</sup>	906,00 <sup>b</sup>	931,00 <sup>b,c</sup>	< 0,0001
	Itaparica	1616,00 <sup>b,c</sup>	1293,00 <sup>a</sup>	1384,00 <sup>a,c</sup>	1934,00 <sup>b</sup>	< 0,0001
	Moxotó	2002,00 <sup>a</sup>	1068,00 <sup>b</sup>	1361,00 <sup>b,c</sup>	1944,00 <sup>a,c</sup>	< 0,0001
	PA-I,II,III	758,00	1,13	397,00	758,00	0,0719
	PA-IV	1294,00 <sup>a</sup>	1092,87 <sup>a,b</sup>	978,00 <sup>b</sup>	1195,00 <sup>a,b</sup>	0,0117
	Xingó	1979,00 <sup>a</sup>	1055,00 <sup>b</sup>	1339,00 <sup>b,c</sup>	1897,00 <sup>a,c</sup>	< 0,0001
VDFL	Sobradinho	1351,81 <sup>a,b</sup>	1192,00 <sup>a</sup>	1460,00 <sup>b,c</sup>	2170,00 <sup>c</sup>	< 0,0001
	Itaparica	2052,00 <sup>a</sup>	1094,00 <sup>b</sup>	1375,00 <sup>b,c</sup>	1953,00 <sup>a,c</sup>	< 0,0001
	Moxotó	758,00 <sup>a</sup>	1,13 <sup>b</sup>	397,00 <sup>a,b</sup>	758,00 <sup>a</sup>	< 0,0001
	PA-I,II,III	730,00	0,00	367,00	712,00	0,0719
	PA-IV	1248,00 <sup>a</sup>	1055,00 <sup>a,b</sup>	972,00 <sup>b</sup>	1185,00 <sup>a,b</sup>	0,0117
	Xingó	2115,00 <sup>a</sup>	1128,00 <sup>b</sup>	1453,00 <sup>b,c</sup>	2016,00 <sup>a,c</sup>	< 0,0001
DS	Sobradinho	0,40 <sup>a</sup>	0,60 <sup>a,b</sup>	0,60 <sup>a,b</sup>	1,00 <sup>b</sup>	0,0496
	Itaparica	3,00 <sup>a</sup>	3,00 <sup>a</sup>	1,00 <sup>b,c</sup>	2,30 <sup>a,c</sup>	0,0014
	Moxotó	4,50 <sup>a</sup>	2,30 <sup>a,b</sup>	1,00 <sup>b</sup>	2,40 <sup>a,b</sup>	< 0,0001
	PA-I,II,III	3,30	2,50	1,10	2,20	0,1435
	PA-IV	6,50 <sup>a</sup>	2,50 <sup>a,b</sup>	1,10 <sup>b</sup>	2,40 <sup>a,b</sup>	0,0245
	Xingó	6,00 <sup>a</sup>	4,00 <sup>a,c</sup>	2,30 <sup>b</sup>	2,70 <sup>b,c</sup>	0,0001
CLO	Sobradinho	5,58 <sup>a,c</sup>	6,25 <sup>a</sup>	3,42 <sup>b,c</sup>	1,23 <sup>b</sup>	0,0001
	Itaparica	1,63 <sup>a</sup>	2,90 <sup>a,b</sup>	4,01 <sup>b</sup>	3,21 <sup>a,b</sup>	0,0022
	Moxotó	2,09	1,31	3,28	2,72	0,0555
	PA-I,II,III	1,61	2,60	3,60	1,30	0,3666
	PA-IV	2,02	0,65	3,28	1,90	0,5144
	Xingó	1,99	2,60	2,66	3,07	0,5946
FT	Sobradinho	64,35	67,03	41,56	54,52	0,0575
	Itaparica	37,54 <sup>b,c</sup>	72,40 <sup>a</sup>	64,35 <sup>a,c</sup>	34,70 <sup>b</sup>	0,0004
	Moxotó	29,49 <sup>a</sup>	48,26 <sup>a,b</sup>	96,53 <sup>b</sup>	52,05 <sup>a,b</sup>	0,0013
	PA-I,II,III	33,52	36,20	97,87	32,22	0,2615
	PA-IV	2,68 <sup>a</sup>	61,67 <sup>a,b</sup>	83,12 <sup>b</sup>	47,09 <sup>a,b</sup>	0,0216
	Xingó	18,77 <sup>a,c</sup>	50,94 <sup>b,c</sup>	61,67 <sup>b</sup>	27,26 <sup>a,c</sup>	0,0026
FSR	Sobradinho	7,21 <sup>a,b</sup>	10,09 <sup>a</sup>	4,32 <sup>b</sup>	8,43 <sup>a,b</sup>	0,0004
	Itaparica	4,33 <sup>a,b</sup>	4,32 <sup>a,b</sup>	10,81 <sup>a</sup>	4,92 <sup>b</sup>	0,0173
	Moxotó	5,77 <sup>a</sup>	10,09 <sup>b,c</sup>	12,97 <sup>b,c</sup>	7,03 <sup>a,c</sup>	0,0026
	PA-I,II,III	7,93	11,53	24,51	8,43	0,4180
	PA-IV	4,33 <sup>a</sup>	7,21 <sup>a,b</sup>	12,97 <sup>b</sup>	9,84 <sup>a,b</sup>	0,0227
	Xingó	5,77 <sup>a,b</sup>	4,32 <sup>a</sup>	12,97 <sup>b</sup>	7,03 <sup>a,b</sup>	0,0020

Para Itaparica, os meses com maiores diferenças entre as vazões foram dez/07 e mar/08, tendo VDFL superado VAFL em 436,00 e 199,00  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  respectivamente, enquanto nos demais meses as diferenças foram de 9,00  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  (jun/08) e 19,00  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  (set/08). PA-I,II,III e PA-IV apresentaram vazões semelhantes, com valores de vazão diferencial inferiores a 50  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  dentre os meses.

O reservatório de Moxotó apresentou vazão diferencial superior a 1000,00  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  ao longo do ano. Entretanto, tal fato não o caracteriza como um armazenador de água no sistema, pois essa vazão positiva é liberada através do reservatório de PA-IV, cuja VAFL é suprida pelo reservatório de Moxotó, através de um canal de abastecimento que liga os dois reservatórios.

A transparência (DS) apresentou uma variação sazonalmente inversa entre os reservatórios, com maiores valores em junho e setembro/2008 em Sobradinho e em dez/07 e mar/08 no restante da cascata, diferindo entre os meses nos reservatórios, exceto em PA-I,II,III ( $p = 0,1435$ ). Os maiores valores de DS no período ocorreram em dez/2007, registrados em PA-IV (6,50 m) e Xingó (6,00 m), enquanto os menores (1,00 m – Moxotó e 1,10 m – PA I, II, III e PA IV) ocorreram em jun/08, exceto em Sobradinho, onde o maior valor (0,40 m) foi registrado em dez/07 (Tabela 1).

A despeito da amplitude de variação da clorofila-a entre os reservatórios (0,65  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$  em PA-IV e 6,25  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$  em Sobradinho, em mar/08), esta variável diferiu sazonalmente entre os meses apenas em Sobradinho e Itaparica. O reservatório de Sobradinho diferiu dos demais reservatórios da cascata do São Francisco, com maiores concentrações de CLO nos meses de dez/07 (5,58  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ ) e mar/08 (6,25  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ ), enquanto nos demais reservatórios as maiores concentrações foram registradas em jun e set/08.

Para o FT, jun/08 apresentou os maiores valores em PA-I,II,III (97,87  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ ) e Moxotó (96,53  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ ). Sobradinho apresentou variação sazonal, mesmo sem diferir significativamente ( $p=0,0575$ ), com valores mais elevados em dez/07 (64,35  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ ) e mar/08 (67,03  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ ), menores em jun (41,56  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ ) e set/08 (54,52  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ ). Os outros reservatórios do sistema apresentaram concentrações semelhantes entre si, com valores mais elevados em março e junho, exceto Moxotó com concentrações elevadas em mar/08 (48,26  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ ) e set/08 (52,05  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ ) e pico em jun/08 (96,53  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ , Tabela 1).

O fósforo solúvel reativo apresentou as maiores concentrações no mês de jun/08, com máximo em PA-I,II,III (24,51  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ ), seguido por PA-IV e Xingó (12,97  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$  - ambos). Os menores valores, 4,32 e 4,33  $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ , ocorreram em mar/08 e dez/07,

respectivamente em Itaparica, PA-IV e Xingó, tendo todos os reservatórios apresentado diferença significativa entre meses para FSR, exceto PA-I,II,III ( $p=0,4180$ ).

O IETM (DS) mostrou valores eutróficos no reservatório de Sobradinho em dez/07 (63,99), mar/08 e jun/08 (58,14 para ambos), sendo set/08 (50,77) classificado como mesotrófico. Os reservatórios compreendidos entre Itaparica (50,77) e Xingó (49,39) apresentaram valores mesotróficos apenas em jun/08, sendo os demais meses classificados como oligotróficos, com valores entre 23,76 (dez/07 – PA-IV) e 39,45 (set/08 – PA-I,II,III). O reservatório de Xingó foi classificado com oligotrófico ao longo dos meses de estudo, com valores de 24,92 (dez/07) a 38,75 (jun/08). No tocante ao IETM (CLO), ocorreram apenas três valores mesotróficos em Sobradinho, nos meses de dez/07 (48,10) e mar/08 (48,95), e em Itaparica em jun/08 (44,49, Tabela 2).

O índice de estrado trófico modificado do fósforo total mostrou variação de eutrófico (dez/07, mar/08 e set/08) a mesotrófico (jun/08) para Sobradinho. Seus maiores valores ocorreram nos reservatórios do Complexo de Paulo Afonso em jun/08, sendo eutróficos em Moxotó (62,65), PA-I,II,III (62,84) e PA-IV (60,49). Para o reservatório de Xingó, também ocorreu valor eutrófico (56,19) em jun/08.

O IETM (FSR) apresentou valores significativamente diferentes entre os meses para todos os reservatórios, exceto PA-I,II,III, onde foi registrado o maior valor (60,81 – jun/08 – eutrófico). Nos demais meses e reservatórios do sistema, os valores foram mais estáveis, sendo classificados como oligotróficos e mesotróficos. Para Sobradinho, os maiores valores de IETM (FSR) ocorreram em mar e set/08, enquanto nos outros reservatórios esses foram verificados em mar e jun/08.

O IETM médio apresentou os maiores valores em dez/07 e mar/08 em Sobradinho, enquanto nos demais reservatórios esses ocorreram em mar/08 e jun/08, não tendo diferido sazonalmente apenas em PA-I,II,III ( $p = 0,2440$ ) de modo semelhante ao observado para os demais índices nesse reservatório.

O reservatório de Sobradinho foi classificado como mesotrófico nos meses de dez/07, mar/08 e set/08 (50,92, 53,04 e 45,22) e oligotrófico em jun/08 (43,86), enquanto Itaparica, Complexo de Paulo Afonso e Xingó apresentaram suas maiores medianas nesse mês. Esses reservatórios foram classificados como oligotróficos, principalmente Xingó, com valores de 37,84 a 40,61, exceto para jun/08 (46,21-mesotrófico). Uma diferença sazonal no estado trófico ficou evidente ao longo da cascata, mas ocorreu principalmente no primeiro reservatório do sistema (Sobradinho).

Nos demais reservatórios esse efeito temporal foi atenuado ou ainda limitado a um determinado trimestre de amostragem (junho/2008).

**Tabela 2.** Valores medianos para os índices de estado trófico estimados entre os meses de amostragem na cascata de reservatórios do rio São Francisco. Índice de Estado Trófico Modificado (IETM); Transparência (DS); Clorofila-a (CLO); Fósforo total (FT) e Fósforo solúvel reativo (FSR). Letras diferentes entre medianas indicam diferença significativa entre meses ( $p \leq 0,05$ ).

*Table 2.* Median values for trophic state index used between sampling periods in the cascade of reservoirs in the São Francisco River. Trophic State Index Modified (IETM), transparency (DS), chlorophyll-a (CLO), total phosphorus (FT) and soluble reactive phosphorus (FSR). Different letters indicate significant difference of medians between months ( $p \leq 0.05$ ).

Variáveis	Reservatórios	Meses				p
		dez/07	mar/08	jun/08	set/08	
IETM (DS)	Sobradinho	63,99 <sup>a</sup>	58,14 <sup>a,b</sup>	58,14 <sup>a,b</sup>	50,77 <sup>b</sup>	0,0496
	Itaparica	35,12 <sup>a</sup>	35,12 <sup>a</sup>	50,77 <sup>b,c</sup>	38,81 <sup>a,c</sup>	0,0014
	Moxotó	29,07 <sup>a</sup>	38,75 <sup>a,b</sup>	50,77 <sup>b</sup>	38,14 <sup>a,b</sup>	< 0,0001
	PA-I,II,III	33,87	37,84	49,39	39,45	0,1435
	PA-IV	23,76 <sup>a</sup>	37,55 <sup>a,b</sup>	49,39 <sup>b</sup>	38,14 <sup>a,b</sup>	0,0245
	Xingó	24,92 <sup>a</sup>	30,77 <sup>a,c</sup>	38,75 <sup>b</sup>	36,44 <sup>b,c</sup>	0,0001
IETM (CLO)	Sobradinho	48,10 <sup>a,c</sup>	48,95 <sup>a</sup>	42,88 <sup>b,c</sup>	32,62 <sup>b</sup>	< 0,0001
	Itaparica	35,34 <sup>a</sup>	41,19 <sup>a</sup>	44,49 <sup>b,c</sup>	42,17 <sup>a,c</sup>	0,0022
	Moxotó	37,97	33,54	42,49	41,43	0,1048
	PA-I,II,III	35,22	40,13	41,05	31,92	0,3666
	PA-IV	37,60	26,23	43,05	37,02	0,0934
	Xingó	37,47	40,13	41,84	41,82	0,3986
IETM (FT)	Sobradinho	56,80	57,39	50,49	54,41	0,0575
	Itaparica	49,03 <sup>b,c</sup>	58,34 <sup>a</sup>	56,75 <sup>a,c</sup>	47,89 <sup>b</sup>	0,0004
	Moxotó	45,55 <sup>a</sup>	52,65 <sup>a,b</sup>	62,65 <sup>b</sup>	53,74 <sup>a,b</sup>	0,0013
	PA-I,II,III	42,91	47,65	62,84	46,78	0,2615
	PA-IV	25,95 <sup>a</sup>	56,19 <sup>a,b</sup>	60,49 <sup>b</sup>	52,30 <sup>a,b</sup>	0,0216
	Xingó	39,03 <sup>a,c</sup>	53,43 <sup>b,c</sup>	56,19 <sup>b</sup>	44,41 <sup>a,c</sup>	0,0026
IETM (FSR)	Sobradinho	44,12 <sup>a</sup>	48,97 <sup>b</sup>	44,12 <sup>a</sup>	46,39 <sup>a,b</sup>	0,0032
	Itaparica	36,75 <sup>a,b</sup>	36,75 <sup>a,b</sup>	49,94 <sup>a</sup>	38,46 <sup>b</sup>	0,0171
	Moxotó	40,90 <sup>a</sup>	48,97 <sup>b,c</sup>	52,60 <sup>b,c</sup>	43,76 <sup>a,c</sup>	0,0032
	PA-I,II,III	44,94	47,33	60,81	46,18	0,4180
	PA-IV	36,75 <sup>a</sup>	44,12 <sup>a,b</sup>	52,60 <sup>b</sup>	48,61 <sup>a,b</sup>	0,0227
	Xingó	40,91 <sup>a,b</sup>	36,75 <sup>a</sup>	52,60 <sup>b</sup>	43,76 <sup>a,b</sup>	0,0020
IETM Médio	Sobradinho	50,92 <sup>a</sup>	53,04 <sup>a</sup>	43,86 <sup>b</sup>	45,22 <sup>b</sup>	0,0002
	Itaparica	40,51 <sup>a</sup>	44,61 <sup>a,c</sup>	50,75 <sup>b,c</sup>	43,02 <sup>a</sup>	0,0002
	Moxotó	38,47 <sup>a</sup>	44,11 <sup>a,b</sup>	51,89 <sup>b</sup>	45,03 <sup>a,b</sup>	0,0002
	PA-I,II,III	40,00	44,01	54,11	41,32	0,2440
	PA-IV	32,61 <sup>a</sup>	43,18 <sup>a,b</sup>	51,94 <sup>b</sup>	42,98 <sup>a,b</sup>	0,0499
	Xingó	37,84 <sup>a</sup>	40,61 <sup>a</sup>	46,21 <sup>b</sup>	40,97 <sup>a</sup>	0,0002

### Análise de componentes principais

As análises de componentes principais dos reservatórios e das variáveis limnológicas e hidrológicas (para cada mês de coleta) encontram-se na Figura 3. A análise mostrou, ao longo de cada mês, a separação e o agrupamento dos reservatórios da cascata do São Francisco em função da variação das vazões afluente e defluente (esvaziamento e enchimento dos reservatórios), principalmente no reservatório de Sobradinho (em função da sua localização na cascata e das mudanças sazonais no índice de estado trófico). A ACP expressou também a separação do primeiro reservatório do sistema (Sobradinho), do último (Xingó), o qual apresentou baixo grau de trofia e reduzida variação hidrológica. Correções superiores a 0,535 foram consideradas significativas ao longo dos meses na cascata de reservatórios do São Francisco.

No mês de dez/07, os eixos 1 e 2 explicaram 56,51% da variabilidade dos dados ( $\lambda_1=2,734$ ;  $\lambda_2=1,221$ ). O eixo 1 exibiu correlação direta com todos os índices de estado trófico modificado, sendo a maior correlação com o IETM médio (0,518). O eixo dois apresentou correlações significativas e inversas com VAFL (-0,541) e VDFL (-0,694). Mesmo não sendo significativas as correlações com o eixo 1, verificou-se a influência do IETM (CLO) sobre o IETM médio, além do IETM (FT) e IETM (DS). Fica evidente a interação dos dados de Sobradinho com IETM (FT) nesse mês, associado às concentrações elevadas de FT, assim como a elevação da vazão afluente e vazão diferencial para esse reservatório. Existiu também uma separação entre os autovalores de Sobradinho e Xingó, daqueles de Itaparica e Moxotó, assemelhando-se a ambos (Figura 3A).

Em mar/08, 70,87% foi o percentual de explicação dos eixos 1 e 2 para a variabilidade dos dados ( $\lambda_1=3,379$ ;  $\lambda_2=1,582$ ). Apesar de não serem significativas, o eixo 1 mostrou correlações com VAFL (0,450), IETM (DS - 0,435), IETM (CLO - 0,407) e IETM médio (0,457). Já o eixo dois apresentou correlações inversas com VDFL (-0,519) e IETM (CLO) (-0,358), e diretas com IETM (DS) e IETM (FSR - 0,652). Houve uma diminuição da diferença do estado trófico entre os reservatórios, resultando num agrupamento dos dados da cascata. Sobradinho ainda se mostrou distinto, mas com menor diferença (Figura 3B). A VAFL para esse mês aumentou 66,53% em Sobradinho e diminuiu nos demais reservatórios, assim com houve queda na defluência em todos os reservatórios do sistema. Também se observa que VAFL e IETM (FT) apresentaram forte correlação com os dados de Sobradinho, o que

influenciou o estado trófico de toda a cascata do São Francisco. Em março, Sobradinho foi marcado pela elevação da vazão diferencial (1667,00 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>), caracterizando enchimento e aumento do tempo de residência nesse reservatório. Para os outros reservatórios, houve aumento na condição trófica decorrente provavelmente de precipitação local.

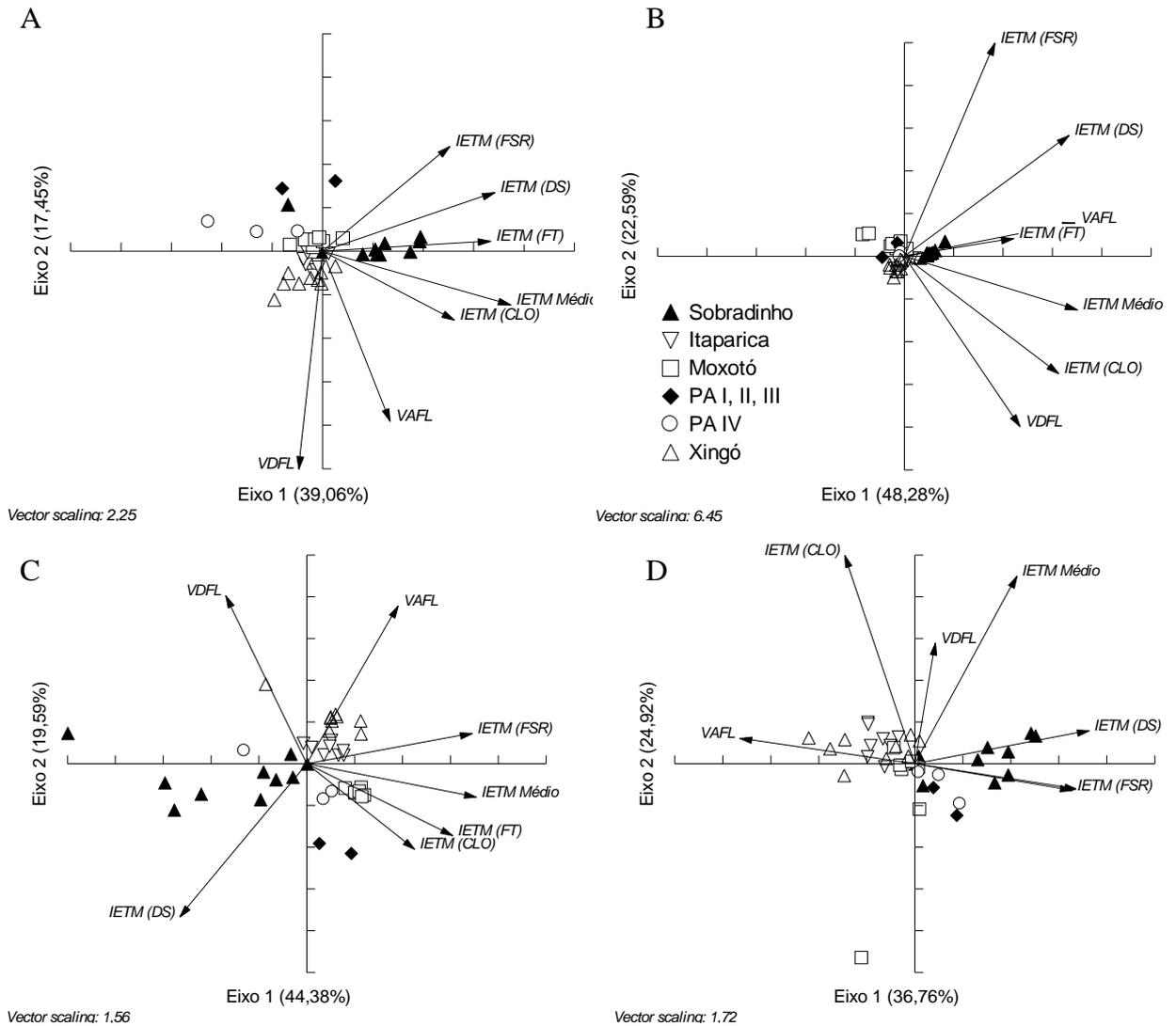


Figura 3. Ordenação de pontos da análise de componentes principais para dezembro/2007 (A), março/2008 (B), junho/2008 (C) e setembro/2008 (D).. Vazão afluente (VAFL); Vazão defluente (VDFL); Índice de Estado Trófico Modificado (IETM); Transparência (DS); Clorofila-a (CLO); Fósforo total (FT) e Fósforo solúvel reativo (FSR).

Figure 3. Point ordination of principal component analysis for December 2007 (A), March 2008 (B), June 2008 (C) and September 2008 (D). Inflow (VAFL); outflow (VDFL) modified trophic state index (IETM), transparency (DS), chlorophyll-a (CLO), total phosphorus (FT) and soluble reactive phosphorus (FSR).

No terceiro mês do estudo, os eixos 1 e 2 explicaram 63,97% da variabilidade dos dados ( $\lambda_1=3,107$ ;  $\lambda_2=1,371$ ). O eixo um mostrou correlação inversa com IETM (DS) (-0,368) e direta com IETM (FT - 0,421), IETM (FSR - 0,477) e IETM médio (0,489). O eixo 2 exibiu correlações com três das sete variáveis analisadas, sendo diretas com

VAFL (0,524) e VDFL (0,577) e inversa com IETM (DS) (-0,507). Com a diminuição da vazão afluente em Sobradinho e a elevação nos demais reservatórios, houve novamente a separação dos autovalores do sistema. O IETM (DS) mostrou interação com os dados de Sobradinho, que diferiu de toda a cascata, enquanto Itaparica (1384,00  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) e Xingó (1339,00  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) exibiram associação da condição trófica com a VAFL (Figura 3C). O Complexo de Paulo Afonso, localizado em posição intermediária na cascata, mostrou um agrupamento particular entre Moxotó (51,89) e PA IV (51,94) e mais distante com PA-I,II,III (54,11), com seus respectivos IETM médio (que influenciaram o sistema com os maiores valores dentre os reservatórios para o mês), correlacionados com IETM (FT e CLO).

Com explicação de 61,68% da variabilidade dos dados para os eixos 1 e 2 ( $\lambda_1=2,573$ ;  $\lambda_2=1,745$ ), set/08 apresentou uma dispersão de dados evidenciando que os reservatórios de Sobradinho, Moxotó e PA-I,II,III foram influenciados pelos valores de IETM (PSR, FT e DS). O eixo 1 mostrou correlação direta com VAFL (0,491) e inversa com IETM (DS/-0,487), IETM (FT/-0,453) e IETM (FSR/-0,440), enquanto que o eixo 2 exibiu correlações diretas com VDFL, e significativas com IETM (CLO - 0,671) e IETM médio (0,604). Além da elevação de VDFL em todos os reservatórios do sistema, houve aumento também na VAFL nos reservatórios a jusante de Sobradinho, sendo Itaparaca (1934,00), Moxotó (1944,00  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) e Xingó (1897,00  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) mais influenciados por essa variável, assim como o índice de estado trófico modificado da clorofila-a (Figura 3D).

## Discussão

O regime hidrológico dos reservatórios da cascata do São Francisco apresentou uma sazonalidade marcante, com diferenciação espacial decorrente da operação de cada barramento no sistema. Sobradinho, primeiro reservatório do sistema e com maior variação nas vazões ao longo do ano, é o maior reservatório hidroelétrico brasileiro, com uma superfície de cerca de 420.000 ha e um volume de  $34 \times 10^9 \text{ m}^3$ . A variação de nível do reservatório está diretamente associada a eventos pluviométricos na região superior da bacia e à operação da usina, de modo que sua elevação não coincide com o período de maior precipitação na área de influência direta do reservatório. Tal fato está diretamente relacionado às características do clima semiárido na região de Sobradinho, uma vez que precipitações locais não são suficientes para provocar extensos alagamentos (Pinto et al., 2011; Rocha et al., 2011).

Reservatórios destinados à regularização da vazão de rios geralmente apresentam elevada variação do nível hidrológico, controlada pelo ciclo hidrológico do rio que os origina (Tundisi et al., 2008), como visto no presente trabalho para Sobradinho, onde os períodos de maior afluência ocorreram em dezembro de 2007 e março de 2008. Sobradinho mantém uma vazão regularizada de  $2.060 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  nos períodos de estiagem, permitindo a operação de todas as usinas da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco situadas à jusante do barramento (Costa et al., 2008).

Sobradinho está sujeito a um deplecionamento anual de seu nível, cuja amplitude depende das condições hidrológicas do rio São Francisco, das variações meteorológicas na bacia de captação e do manejo de cota pela operação da Usina Hidrelétrica, podendo ultrapassar 12 m (Melo & Severi, 2010). Com base nos dados das vazões (afluente e defluente) do reservatório de Sobradinho, é possível classificá-lo como armazenador de água do sistema (função de acumulação). Reservatórios deste tipo usualmente têm capacidade de armazenamento variada de moderada a grande, localização no trecho médio do rio, ampla área de inundação e ampla variação de nível ao longo do ano (Kennedy, 1999; Nogueira et al., 2005). Os efeitos do controle de vazão em bacias hidrográficas em decorrência da presença de represas podem se prolongar por extensas regiões a jusante (Nogueira et al., 2005), principalmente em sistemas que operam com reservatórios em cascata.

Com base na vazão diferencial dos reservatórios de Itaparica, Moxotó, PA-I,II,III, PA-IV e Xingó, esses podem ser classificados como reservatórios de fio d'água, nos quais a flutuação de nível é determinada fundamentalmente pela operação do sistema na barragem, assim como a equivalência entre as vazões afluente e defluente (Kennedy, 1999; Nogueira et al., 2005). As particularidades observadas em Itaparica, cujas vazões defluentes foram superiores às afluentes em dez/07, decorreram do depleciamento programado do reservatório de Itaparica para receber o aporte de água que Sobradinho acumulou no mesmo período e que começou a ser liberada em mar/08, para a manutenção da cascata. As vazões diferenciais de Xingó foram sempre negativas e próximas a  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , pois o mesmo é responsável pela manutenção da vazão do trecho do rio a jusante da barragem (até a foz do São Francisco), assim como pelo recebimento da defluência acumulada do sistema a montante, necessitando manter uma vazão defluente mais acentuada ao longo do ano.

O complexo de Paulo Afonso teve suas vazões sempre próximas a zero, cabendo salientar que as vazões diferenciais positivas e elevadas que o reservatório de Moxotó

apresentou não implicam na sua caracterização como acumulador de água. A vazão diferencial (real) para Moxotó é dada pela subtração, não somente da afluência pela defluência deste, mas também da vazão de entrada de PA-IV, levando a valores próximos da nulidade. O reservatório de PA-IV deflui diretamente no cânion do São Francisco (reservatório de Xingó), enquanto que Moxotó deságua no reservatório de PA-I,II,III, o que explica o fato de suas vazões afluentes serem equivalentes às defluências de Moxotó ao longo do trabalho, decorrente da interconectividade desse Complexo.

Nos reservatórios em cascata ocorre diminuição dos poluentes ao longo de sua sequência espacial, pois o reservatório a montante funciona como um quimiostato, retendo parte do sedimento, poluentes e nutrientes e melhorando a qualidade da água cascata abaixo (Straskraba, 1994; Barbosa et al., 1999; Tundisi et al., 1999). Nesse contexto, a classificação do estado trófico ao longo da cascata do São Francisco evidenciou que o reservatório de Sobradinho apresenta a condição trófica mais elevada (mesotrófico-eutrófico) dentre os demais da cascata e em todos os meses de estudo. Assim, a transparência e o seu respectivo índice de estado trófico foram as variáveis mais adequadas para a visualização dos efeitos da cascata de reservatórios propostas por Straskraba (1990). Dentre eles, a gradativa retenção de sólidos ao longo dos reservatórios, a exemplo do observado no reservatório de Xingó, último barramento da cascata do São Francisco, que apresentou os menores valores de DS e IETM (DS) e características oligotróficas.

As modificações dos cursos naturais dos rios, pela construção de barragens, resultam em grandes alterações no transporte de partículas em suspensão e substâncias dissolvidas. Quantidades significativas de sedimentos e nutrientes podem ser armazenadas num sistema de reservatórios. A liberação e a retenção de nutrientes e substâncias tóxicas ou outras provenientes dos sedimentos, depende de processos internos, bem como de influências externas, tais como os regimes hidrológicos e pluviométricos (Jorcin & Nogueira, 2005). Segundo Nogueira et al. (2005), a transparência da água, embora seja uma medida simples, mostrou ser uma variável apropriada para indicar a influência da exploração agrícola na cascata de reservatórios do rio Paranapanema. Para o São Francisco, o DS evidenciou a retenção de sólidos que ocorre ao longo do sistema, fato também observado por Barbosa et al. (1999) para a bacia do rio Tietê.

A concentração da clorofila e seu respectivo índice (IETM (CLO)), apesar de não apresentarem diferença significativa entre os reservatórios (e entre os meses, apenas em Sobradinho e Itaparica), também mostraram uma tendência de oligotrofização ao longo do sistema. É possível notar o efeito da cascata sobre essas variáveis, com uma diminuição de seus valores medianos ao longo de todos os reservatórios. O acúmulo de nutrientes, associado ao aumento da luminosidade são as principais causas da proliferação de vegetais aquáticos (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008; Fuentes et al., 2010; Esteves, 2011). Os reservatórios do Complexo de Paulo Afonso sofrem influência das cidades em seu entorno, com despejo de resíduos domésticos, assim como das atividades de piscicultura em tanque-rede que ocorrem em Moxotó e da produção em *raceway* às margens de PA-I,II,III. Deste modo, a elevação dos valores de CLO e IETM(CLO) no reservatório de Xingó pode estar associada ao aporte de nutrientes proveniente dos reservatórios a montante, ainda favorecida pelos maiores valores de transparência. Nogueira et al. (2005) citam dentre os fatores que elevam a concentração de nutrientes no reservatório de Jurumirim (SP), o enriquecimento causado por ações antrópicas, que ocorrem nas adjacências dos corpos d'água; incluindo atividades que geram resíduos e representam fontes de poluição difusa e pontual, provocando alterações na estrutura e funcionamento dos ecossistemas aquáticos (Rebouças, 1999).

Num sistema de cascata de reservatórios, geralmente, os maiores valores de nutrientes ocorrem no primeiro reservatório do sistema (Sobradinho, no caso do São Francisco), pois está sujeito a afluência de trecho de rio sem barramentos. Atualmente, apenas o trecho de 1.100 km entre as barragens de Três Marias e Sobradinho tem corredeiras, com um desnível de 50 m, com menor velocidade e sujeito a grandes cheias (Luz et al., 2009; CODEVASF, 2012).

Os grandes reservatórios do início da cascata no rio Paranapanema (Jurumirim e Chavantes) exibiram uma tendência de aumento nas concentrações de nutrientes associada ao processo de sedimentação de material particulado da coluna d'água em função do elevado tempo de retenção (Nogueira et al., 2005). No São Francisco, Sobradinho caracterizou-se com um ambiente mesotrófico a eutrófico, mas diferindo da tendência de acumuladores de água apresentarem as condições tróficas mais elevadas numa cascata, os maiores valores medianos de IETM de PSR e PT foram encontrados nos reservatórios em reservatórios intermediários (PA-I,II,III e PA-IV). Além das influências antrópicas locais já mencionadas, existe o incremento da carga de nutrientes oriundos de tributários.

A presença de tributários em reservatórios em cascata, aliada às características hidrológicas, geológicas e antrópicas da cada sub-bacia, pode interferir no processo longitudinal característico deste tipo de sistema. O reservatório de Moxotó tem um tributário cujo nome foi atribuído a este reservatório, enquanto no reservatório de Itaparica, o rio Pajeú é o tributário responsável pelo aporte lateral.

Ferrareze et al. (2005) enfatizaram que o conhecimento da contribuição dos aportes laterais (via entrada de tributários) foi fundamental para o entendimento dos processos de funcionamento dos grandes reservatórios da bacia hidrográfica do rio Paranapanema. A entrada de tributários na represa de Barra Bonita (rio Tietê, SP) tem pronunciado efeito sobre a organização espacial desse sistema (Moretto & Nogueira, 2003). Ainda, a presença de plantas marginais e flutuantes está normalmente associada ao processo de sedimentação que ocorre nas margens e nas áreas de ingresso de tributários nos reservatórios (Cavenaghi et al., 2003).

Os reservatórios em cascata do rio São Francisco apresentam o comportamento teórico descrito por Straskraba (1990) e Barbosa et al. (2005), com diminuição de nutrientes e aumento da transparência em virtude da retenção de sólidos. O reservatório de Sobradinho mostrou a condição trófica de armazenador do sistema (eutrófico - mesotrófico) e aqueles entre Itaparica e PA-IV estão sujeitas a modificações associadas diretamente à presença de tributários e cidades em seu entorno, enquanto Xingó apresenta caráter predominantemente oligotrófico.

## **Conclusões**

A condição trófica dos reservatórios do São Francisco varia conforme a posição espacial de cada reservatório na cascata, com tendência de oligotrofização descendente no sistema, a despeito de influências locais no trecho intermediário. O sistema apresenta um padrão de variação sazonal do estado trófico na maioria dos reservatórios, dependente da afluência e defluência do reservatório de Sobradinho e da operação das diferentes usinas para a geração de energia.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa concedida ao primeiro autor; e à Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional – Fadurpe e à Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa.

### **Literatura citada**

- Barbosa, F.A.R.; Padisák, J.; Espindola, E.L.G.; Borics, G.; Rocha, O. The cascading Reservoir Continuum Concept (CRCC) and its application to the river Tietê basin, São Paulo State, Brazil. In: Tundisi, J.G.; Straskraba, M. (Ed.). Theoretical reservoir ecology and its applications. São Carlos: International Institute of Ecology, Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers, 1999. p. 425-437.
- Callisto, M.; Goulart, M.; Barbosa, F.A.R.; Rocha, O. Biodiversity assessment of benthic macroinvertebrates along a reservoir cascade in the lower São Francisco river (Northeastern Brazil). *Braz. J. Biol.*, v.65, n.2, p.229-240, 2005.
- Carlson, R.E. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, v.22, n.2, p.361-369, 1977.
- Cavenaghi, A.L.; Velini, E.D.; Galo, M.L.B.T.; Carvalho, F.T; Negrisoli, E.; Trindade, M.L.B.; Simionato, J.L.A. Caracterização da qualidade de água e sedimento relacionados com a ocorrência de plantas aquáticas em cinco reservatórios da bacia do rio Tietê. *Planta Daninha*, v.21, Edição Especial, p.43-52, 2003.
- Comissão Mundial de Barragens. Barragens e Desenvolvimento: Um Novo Modelo para Tomada de Decisões. O Relatório da Comissão Mundial de Barragens. London: Earthscan Publications Ltda, 2000. 48p.
- Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco – CBHSF. A bacia hidrográfica do São Francisco. <http://www.saofrancisco.cbh.gov.br/>. 17 Nov. 2009.
- Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF. Submédio São Francisco. 2012. <http://www.codevasf.gov.br/osvales/vale-do-sao-francisco/recus/submedio-sao-francisco>. 23 Jun 2012.
- Costa, B.D.F.; Pessoa, M.N.C.; Lima, A.E.; Prado, M.D.C.; Santos, T.C.P. ; Antonello, M.M.B.; Antonello, A.; Severi, W. Influência do ciclo hidrológico do reservatório de Sobradinho sobre a carga de fósforo total. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, v. Ed. Es, p. 32-35, 2008.
- Esteves, F.A. Fundamentos da Limnologia. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826p.
- Ferreze, M.F.F.; Nogueira, M.G.; Vianna, N.C. Transporte de Nutrientes e sedimentos no rio Paranapanema (SP/PR) e seus principais tributários nas estações secas e chuvosas. In: Nogueira, M.G.; Henry, R.; Jorcin, A. (Org.). *Ecologia de*

- reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata. São Carlos: Rima, 2005. p. 435-459.
- Ferreira, R.A.R.; Santos, C.M.; Henry, R. Estudo Qualitativo da comunidade Perifítica no complexo Canoas (Rio Paranapanema, SP/PR) Durante as Fases de Pré e Pós-enchimento. In: Nogueira, M.G.; Henry, R.; Jorcín, A. (Org.). Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata. São Carlos: Rima, 2005. p. 205-234.
- Fuentes, E.V.; Oliveira, H.S.B.; Cordeiro-Araújo, M.K.; Severi, W.; Moura, A.N. Variação espacial e temporal do fitoplâncton do rio de Contas, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Pesca*, v.5, n.2, p. 13-25, 2010.
- Godinho, A.L.; Godinho, H.P. Breve visão do rio São Francisco. In: Godinho, A.L.; Godinho, H.P. (Org.) Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003. p. 15-24.
- Jorcín, A.; Nogueira, M.G. Temporal and spatial patterns based on sediment and sediment–water interface characteristics along a cascade of reservoirs (Paranapanema River, south-east Brazil). *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, v.10, n.1, p.1–12, 2005.
- Jorcín, A.; Nogueira, M.G. Benthic macroinvertebrates in the Paranapanema reservoir cascade (southeast Brazil). *Braz. J. Biol.*, v.68, n.4 (Suppl.), p.1013-1024, 2008.
- Kennedy, R.H. Reservoir design and operation: limnological implications and management opportunities. In: Tundisi, J. G.; Straškraba, M. (Ed.). *Theoretical reservoir ecology and its applications*. IIE, Brazilian Academy of Sciences & Backhuys Publishers: São Carlos, 1999. p. 1-28.
- Legendre, P.; Legendre, L. *Numerical Ecology*. Elsevier: Amsterdam, 1998. 870p.
- Luz, S.C.S.; El-Deir, A.C.A.; França, E.J.; Severi, W. Estrutura da assembléia de peixes de uma lagoa marginal desconectada do rio, no submédio Rio São Francisco, Pernambuco. *Biota Neotropica*, v.9, n.3, p.117-129, 2009.
- Margalef, R. La superficie del planeta y la organización de la Biosfera: reacción a los nuevos macanismos añadidos por el poder creciente de los humanos. *Munibe (Ciencias Naturales-Natur Zientziak)*, n.53, p.7-14, 2002.
- Matsumura-Tundisi, T.; Tundisi, J.G. Calanoida (Copepoda) Species Composition Changes in reservoirs of São Paulo State (Brazil) in the Last Twenty Years. *Hydrobiologia*, v.504, n.1-3, p.215-222, 2003.

- Melo, A.J.S.; Severi, W. Abundância e distribuição espacial e sazonal do ictioplâncton no reservatório de Sobradinho, Bahia. In: Moura, A.N.; Araújo, E.L.; Bittencourt-Oliveira, M.C.; Pimentel, R.M.M.; Albuquerque, U.P. (Ed.). Reservatórios do nordeste do Brasil: biodiversidade, ecologia e manejo. Bauru: Canal6, 2010. p. 503-540
- Mercante, C.T.J; Tucci-Moura, A. comparação entre os índices de Carlson e de Carlson modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais, São Paulo, SP. Acta Limnologica Brasiliensia, v.11, n.1, p.1-14, 1999.
- Moretto, E.M.; Nogueira, M.G. Physical and chemical characteristics of Lavapés and Capivara rivers, tributaries of Barra Bonita Reservoir (São Paulo – Brazil). Acta Limnologica Brasiliensia, v.15, n.1, p.27-39, 2003.
- Nogueira, M.G.; Jorcin, A.; Vianna, N.C.; Britto, Y.T. Uma avaliação dos processos de eutrofização nos reservatórios em cascata do Rio Paranapanema (SP/PR), Brasil. In: Cirreli, A.F.; Marquisá, G.C. (Ed.). El agua em Iberoamérica – De La Limnología a La Gestión em Sudamérica. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo. Buenos Aires: CYTED XVII/ Ceta (Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos), 2002. p. 91-106.
- Nogueira, M.G.; Jorcin, A.; Vianna, N.C.; Britto, Y.C.T. Reservatórios em Cascata e os Efeitos na Limnologia e Organização das Comunidades Bióticas (Fitoplâncton, Zooplâncton e Zoobentos) Um Estudo de Caso no Rio Paranapanema (SP/PR). In: Nogueira, M.G.; Henry, R.; Jorcin, A. (Org.). Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata. São Carlos: Rima, 2005. p. 83-125.
- Nusch, E.A. Comparison of diferent methods for chlorophyll and phaeopigment. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol., v.14, p.14-36, 1980.
- Pinto, G.A.; Rocha, A.A.F.; Santos, N.C.L.; Medeiros, T.N.; Severi, W. Variação sazonal na dieta de *Triportheus guentheri* (GARMAN, 1890) (Actinopterygii: Characidae), no reservatório de Sobradinho, rio São Francisco, BA. Boletim do Instituto de Pesca, v.37, n.3, p.295–306, 2011.
- Rebouças, A.C. Água doce no mundo e no Brasil. In: Rebouças, A.C.; Braga, B.; Tundisi, J.G. (Ed.). Águas doces no Brasil: Capital ecológico uso e conservação. São Paulo: Escrituras, 1999. p. 12-21.

- Rocha, A.A.F.; Santos, N.C.L.; Pinto, G.A.; Medeiros, T.N.; Severi, W. Diet composition and food overlap of *Acestrorhynchus britskii* and *A. lacustris* (Characiformes: Acestrorhynchidae) from Sobradinho reservoir, São Francisco river, Bahia State. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v.33, n.4, p. 407-415, 2011.
- Sato, Y.; Godinho, H.P. Migratory Fishes of the São Francisco river. In: Carolsfeld, J.; Harvey, B.; Ross, C.; Baer, A. *Migratory Fishes of South America: Biology, Fisheries and Conservation Status*. Victoria: The World Bank, International Development Research Centre, 2003. p. 195-232.
- Sendacz, S.; Monteiro Júnior, A.J.; Mercante, C.T.; Menezes, L.C.B.; Moraes, J.F. Sistema em Cascata: Concentrações e Cargas de Nutrientes no Sistema Produtor Alto Tietê, São Paulo. In: Nogueira, M.G.; Henry, R.; Jorcin, A. (Org.). *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. São Carlos: Rima, 2005. p. 417-434.
- Statsoft. STATISTICA (data analysis software system), version 8. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com). Statsoft. Tulsa, 2008.
- Stednick, J.D., Hall, E.B. Applicability of trophic status indicators to Colorado plains reservoirs. Colorado: Colorado State University: Completion Report, No. 195. 2003. 104p.
- Straskraba, M. Limnological particularities of multiple reservoir series. *Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, v.33, p.677-678, 1990.
- Straskraba, M. Vltava cascade as teaching grounds for reservoir limnology. *Wat. Sci. Tech.*, v.30, n.10, p.289-297, 1994.
- Strickland, J.D.; Parsons, T.R. A manual of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bel. Can.*, v.125, p.1-185, 1960.
- Toledo-Júnior, A.P.; Talarico M.; Chinez S.J.; Agudo E.G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 12, 1983, Camboriú. *Anais...* Camboriú: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 1983.
- Tundisi, J.G.; Matsumura-Tundisi, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631p.
- Tundisi, J.G, Matsumura-Tundisi, T, Abe, D.S. The ecological dynamics of Barra Bonita (Tietê River, SP, Brazil) reservoir: implications for its biodiversity. *Brazilian Journal of Biology*, v.68, p.1078-1098, 2008.

Tundisi, J.G.; Matsumura-Tundisi, T.; Rocha, O. Limnologia de águas interiores. Impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: Rebouças, A.C.; Tundisi, J.G. (Ed.). Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras Editora, 1999. p. 195-223.

Wetzel, R.G., Likens, G.E. Limnological analyses. Springer-Verlag: New York. 2000.

#### 4. 1- Normas da Revista Brasileira de Ciências Agrárias

# Revista Brasileira de Ciências Agrárias

## Brazilian Journal of Agricultural Sciences

ISSN (on line) 1981-0997. Recife, v.6, n.4, out.-dez., 2011  
www.agraria.ufrpe.br

### Diretrizes para Autores

#### Objetivo e Polícia Editorial

A **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** (RBCA) é editada pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) com o objetivo de divulgar artigos científicos, para o desenvolvimento científico das diferentes áreas das Ciências Agrárias. As áreas contempladas são: Agronomia, Engenharia Agrícola, Engenharia Florestal, Engenharia de Pesca e Aqüicultura, Medicina Veterinária e Zootecnia. Os artigos submetidos à avaliação devem ser originais e inéditos, sendo vetada a submissão simultânea em outros periódicos. A reprodução de artigos é permitida sempre que seja citada explicitamente a fonte.

#### Forma e preparação de manuscritos

O trabalho submetido à publicação deverá ser cadastrado no portal da revista (<http://www.agraria.pro.br/sistema>). O cadastro deverá ser preenchido apenas pelo autor correspondente que se responsabilizará pelo artigo em nome dos demais autores.

Só serão aceitos trabalhos depois de revistos e aprovados pela Comissão Editorial, e que não foram publicados ou submetidos em publicação em outro veículo. Excetuam-se, nesta limitação, os apresentados em congressos, em forma de resumo.

Os trabalhos subdivididos em partes 1, 2..., devem ser enviados juntos, pois serão submetidos aos mesmos revisores. Solicita-se observar as seguintes instruções para o preparo dos artigos.

*Pesquisa envolvendo seres humanos e animais obrigatoriamente deve apresentar parecer de aprovação de um comitê de ética institucional já na submissão.*

#### Composição seqüencial do artigo

- a. Título: no máximo com 15 palavras, em que apenas a primeira letra da primeira palavra deve ser maiúscula.
- b. Os artigos deverão ser compostos por, **no máximo, 6 (seis) autores**;
- c. Resumo: no máximo com 15 linhas;
- d. Palavras-chave: no mínimo três e no máximo cinco, não constantes no Título;
- e. Título em inglês no máximo com 15 palavras, ressaltando-se que só a primeira letra da primeira palavra deve ser maiúscula;
- f. Abstract: no máximo com 15 linhas, devendo ser tradução fiel do Resumo;
- g. Key words: no mínimo três e no máximo cinco;
- h. Introdução: destacar a relevância do artigo, inclusive através de revisão de literatura;
- i. Material e Métodos;

**j.** Resultados e Discussão;

**k.** Conclusões devem ser escritas de forma sucinta, isto é, sem comentários nem explicações adicionais, baseando-se nos objetivos da pesquisa;

**l.** Agradecimentos (facultativo);

**m.** Literatura Citada.

**Observação:** Quando o artigo for escrito em inglês, o título, resumo e palavras-chave deverão também constar, respectivamente, em português ou espanhol, mas com a seqüência alterada, vindo primeiro no idioma principal.

### **Edição do texto**

**a. Idioma:** Português, Inglês e Espanhol

**b. Processador:** Word for Windows;

**c. Texto:** fonte Times New Roman, tamanho 12. Não deverá existir no texto palavras em negrito;

**d. Espaçamento:** duplo entre o título, nome(s) do(s) autor(es), resumo e abstract; simples entre item e subitem; e no texto, espaço 1,5;

**e. Parágrafo:** 0,5 cm;

**f. Página:** Papel A4, orientação retrato, margens superior e inferior de 2,5 cm, e esquerda e direita de 3,0 cm, no máximo de 20 páginas não numeradas;

**g.** Todos os itens em letras maiúsculas, em negrito e centralizados, exceto Resumo, Abstract, Palavras-chave e Key words, que deverão ser alinhados à esquerda e apenas as primeiras letras maiúsculas. Os subitens deverão ser alinhados à esquerda, em negrito e somente a primeira letra maiúscula;

**h.** As grandezas devem ser expressas no SI (Sistema Internacional) e a terminologia científica deve seguir as convenções internacionais de cada área em questão;

#### **i. Tabelas e Figuras (gráficos, mapas, imagens, fotografias, desenhos)**

- Títulos de tabelas e figuras, para artigos escritos em português ou espanhol, deverão ser escrito em fonte Times New Roman, estilo normal e tamanho 9. A tradução em inglês deverá ser inserida logo abaixo com fonte Times New Roman, estilo itálico e tamanho 8. Para artigos escritos em Inglês, as traduções podem ser realizadas em português ou espanhol;

- As tabelas e figuras devem apresentar larguras de 9 ou 18 cm, com texto em fonte Times New Roman, tamanho 9, e ser inseridas logo abaixo do parágrafo onde foram citadas pela primeira vez. Exemplo de citações no texto: Figura 1; Tabela 1. Tabelas e figuras que possuem praticamente o mesmo título deverão ser agrupadas em uma tabela ou figura criando-se, no entanto, um indicador de diferenciação. A letra indicadora de cada sub-figura numa figura agrupada deve ser maiúscula e com um ponto (exemplo: A.), e posicionada ao lado esquerdo superior da figura e fora dela. As figuras agrupadas devem ser citadas no texto da seguinte forma: Figura 1A; Figura 1B; Figura 1C.

- As tabelas não devem ter tracejado vertical e o mínimo de tracejado horizontal.

Exemplo do título, o qual deve ficar acima: Tabela 1. Estações do INMET selecionadas (sem ponto no final). Em tabelas que apresentam a comparação de médias, mediante análise estatística, deverá existir um espaço entre o valor numérico (média) e a letra. As unidades deverão estar entre parêntesis.

- As figuras não devem ter bordadura e suas curvas (no caso de gráficos) deverão ter espessura de 0,5 pt, e ser diferenciadas através de marcadores de legenda diversos e nunca através de cores distintas. Exemplo do título, o qual deve ficar abaixo: Figura 1. Perda acumulada de solo em função do tempo de aplicação da chuva simulada (sem ponto no final). Para não se tornar redundante, as figuras não devem ter dados constantes em tabelas. Fotografias ou outros tipos de figuras deverão ser escaneadas com 300 dpi e inseridas no texto. O(s) autor(es) deverá(ão) primar pela qualidade de resolução das figuras, tendo em vista uma boa reprodução gráfica. As unidades nos eixos das figuras devem estar entre parêntesis, mas, sem separação do título por vírgula.

### **Exemplos de citações no texto**

a. Quando a citação possuir apenas um autor: ... Freire (2007) ou ... (Freire,2007).

b. Quando possuir dois autores: ... Freire & Nascimento (2007), ou ... (Freire & Nascimento, 2007).

c. Quando possuir mais de dois autores: Freire et al. (2007), ou (Freire et al., 2007).

### **Literatura citada**

A citação dos artigos relacionados com o tema do trabalho publicados anteriormente na **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, não é obrigatória, porém é recomendável. O corpo editorial da revista poderá sugerir a inclusão de alguma referência significativa se julgar oportuno.

O artigo deve ter, preferencialmente, no máximo **25 citações bibliográficas**, sendo a maioria em **periódicos recentes (últimos cinco anos)**.

As Referências deverão ser efetuadas no estilo ABNT (NBR 6023/2000) conforme normas próprias da revista.

As referências citadas no texto deverão ser dispostas em ordem alfabética pelo sobrenome do primeiro autor e conter os nomes de todos os autores, separados por ponto e vírgula. As citações devem ser, preferencialmente, de publicações em periódicos, as quais deverão ser apresentadas conforme os exemplos a seguir:

#### **a. Livros**

Mello, A.C.L. de; Véras, A.S.C.; Lira, M. de A.; Santos, M.V.F. dos; Dubeux Júnior, J.C.B; Freitas, E.V. de; Cunha, M.V. da . Pastagens de capim-elefante: produção intensiva de leite e carne. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco, 2008. 49p.

#### **b. Capítulo de livros**

Serafim, C.F.S.; Hazin, F.H.V. O ecossistema costeiro. In: Serafim; C.F.S.; Chaves, P.T. de (Org.). O mar no espaço geográfico brasileiro. Brasília- DF: Ministério da Educação, 2006. v. 8, p. 101-116.

#### **c. Revistas**

Sempre que possível o autor deverá acrescentar a url para o artigo referenciado e o número de identificação DOI (Digital Object Identifiers).

Costa, R.B. da; Almeida, E.V.; Kaiser, P.; Azevedo, L.P.A. de; Tyszka Martinez, D. Tsukamoto Filho, A. de A. Avaliação genética em progênies de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. na região do Pantanal, estado do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.6, n.4, p.685-693, 2011. <<http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=v6i4a1277&path%5B%5D=990>> 29 Dez. 2011. doi:10.5039/agraria.v6i4a1277

**d. Citações no prelo** (aceitas para publicação) devem ser evitadas.

Brandão, C.F.L.S.; Marangon, L.C.; Ferreira, R.L.C.; Silva, A.C.B.L. e. Estrutura fitossociológica e classificação sucessional do componente arbóreo em um fragmento de floresta atlântica em Igarassu-Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 2009. No prelo.

**e. Dissertações e teses**

Bandeira, D.A. Características sanitárias e de produção da caprinocultura nas microrregiões do Cariri do estado da Paraíba. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005. 116p. Tese Doutorado.

**f. Trabalhos apresentados em congressos (Anais, Resumos, Proceedings, Disquetes, CD-ROMS)** devem ser evitados.

Dubeux Júnior, J.C.B.; Lira, M. de A.; Santos, M.V.F. dos; Cunha, M.V. da . Fluxo de nutrientes em ecossistemas de pastagens: impactos no ambiente e na produtividade. In: Simpósio sobre o Manejo da Pastagem, 23, 2006, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, 2006. v.único, p.439-506.

No caso de disquetes ou CD-ROM, o título da publicação continuará sendo Anais, Resumos ou Proceedings, mas o número de páginas será substituído pelas palavras Disquetes ou CD-ROM.

**g. WWW (World Wide Web) e FTP (File Transfer Protocol)**

Burka, L.P. A hipertext history of multi-user dimensions; MUD history. <http://www.ccs.neu.edu/home/lpb/mud-history-html>. 10 Nov. 1997.

**h. Citações de comunicação pessoal** deverão ser referenciadas como notas de rodapé, quando forem imprescindíveis à elaboração dos artigos.

**Outras informações sobre a normatização de artigos**

1) Os títulos das bibliografias listadas devem ter apenas a primeira letra da primeira palavra maiúscula, com exceção de nomes próprios. O título de eventos deverá ter apenas a primeira letra de cada palavra maiúscula;

2) O nome de cada autor deve ser por extenso apenas o primeiro nome e o último sobrenome, sendo apenas a primeira letra maiúscula;

3) Não colocar ponto no final de palavras-chave, key words e títulos de tabelas e figuras. Todas as letras das palavras-chave devem ser minúsculas, incluindo a primeira letra da primeira palavra-chave;

4) No Abstract, a casa decimal dos números deve ser indicada por ponto em vez de vírgula;

- 5) A Introdução deve ter, preferencialmente, no máximo 2 páginas. Não devem existir na Introdução equações, tabelas, figuras, e texto teórico sobre um determinado assunto;
- 6) Evitar parágrafos muito longos;
- 7) Não deverá existir itálico no texto, em equações, tabelas e figuras, exceto nos nomes científicos de animais e culturas agrícolas, assim como, nos títulos das tabelas e figuras escritos em inglês;
- 8) Não deverá existir negrito no texto, em equações, figuras e tabelas, exceto no título do artigo e nos seus itens e subitens;
- 9) Em figuras agrupadas, se o título dos eixos x e y forem iguais, deixar só um título centralizado;
- 10) Todas as letras de uma sigla devem ser maiúsculas; já o nome por extenso de uma instituição deve ter maiúscula apenas a primeira letra de cada nome;
- 11) Nos exemplos seguintes o **formato correto** é o que se encontra no lado direito da igualdade: 10 horas = **10 h**; 32 minutos = **32 min**; 5 l (litros) = **5 L**; 45 ml = **45 mL**; l/s = **L.s<sup>-1</sup>**; 27°C = **27 °C**; 0,14 m<sup>3</sup>/min/m = **0,14 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>**; 100 g de peso/ave = **100 g de peso por ave**; 2 toneladas = **2 t**; mm/dia = **mm.d<sup>-1</sup>**; 2x3 = **2 x 3** (deve ser separado); 45,2 - 61,5 = **45,2-61,5** (deve ser junto). A % é unidade que deve estar junta ao número (**45%**). Quando no texto existirem valores numéricos seguidos, colocar a unidade somente no último valor (Exs.: **20 e 40 m**; **56,0, 82,5 e 90,2%**). Quando for pertinente, deixar os valores numéricos com no máximo duas casas decimais;
- 12) No texto, quando se diz que um autor citou outro, deve-se usar apud em vez de citado por. Exemplo: Walker (2001) apud Azevedo (2005) em vez de Walker (2001) citado por Azevedo (2005). Recomendamos evitar essa forma de citação.
- 13) Na definição dos parâmetros e variáveis de uma equação, deverá existir um traço separando o símbolo de sua definição. A numeração de uma equação deve estar entre parêntesis e alinhada esquerda. Uma equação deve ser citada no texto conforme os seguintes exemplos: Eq. 1; Eq. 4.;
- 14) Quando o artigo for submetido não será mais permitida mudança de nome dos autores, seqüência de autores e quaisquer outras alterações que no sejam por solicitadas pelo editor.

### **Procedimentos para encaminhamento dos artigos**

O autor correspondente deve se cadastrar como autor e inserir o artigo no endereço <http://www.agraria.ufrpe.br> ou

<http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria>

O autor pode se comunicar com a Revista por meio do e-mail [agrarias@prppg.ufrpe.br](mailto:agrarias@prppg.ufrpe.br), [editorgeral@agraria.pro.br](mailto:editorgeral@agraria.pro.br) ou [secretaria@agraria.pro.br](mailto:secretaria@agraria.pro.br).