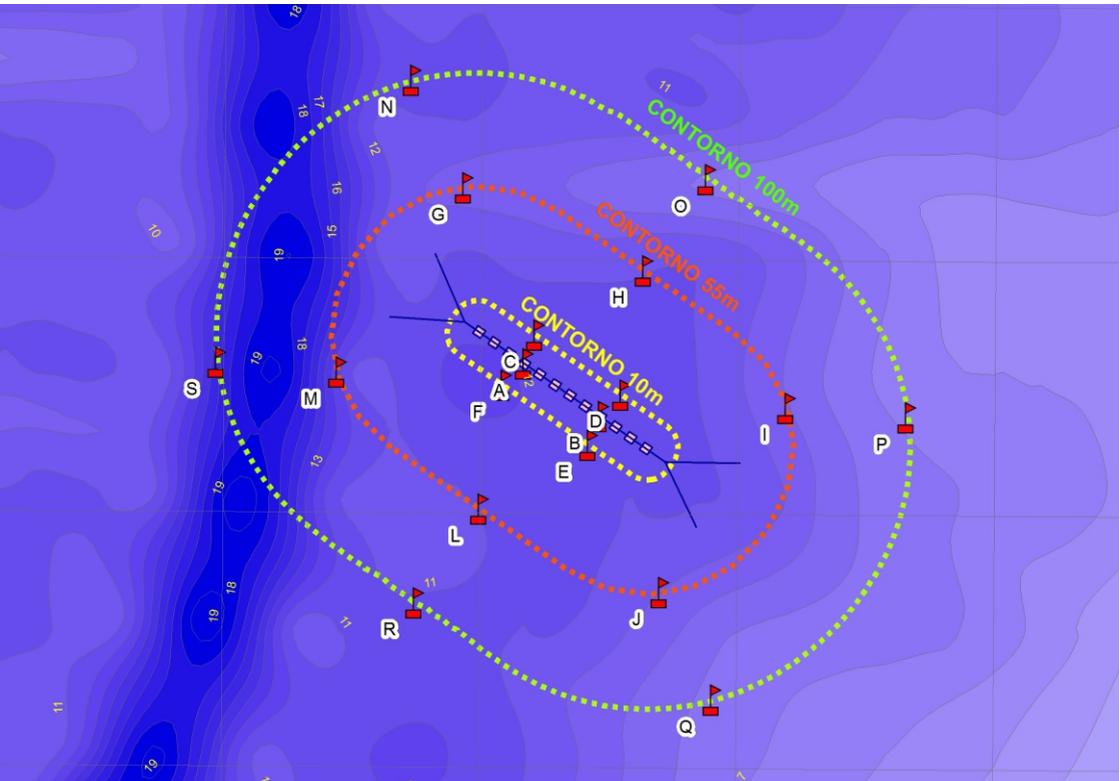


Monitoramento de qualidade de água das atividades aquícolas em reservatórios continentais brasileiros



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Pesca e Aquicultura
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 32

**Monitoramento de qualidade
de água das atividades
aquícolas em reservatórios
continentais brasileiros.**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Pesca e Aquicultura

Prolongamento da Avenida NS 10,
cruzamento com a Avenida LO 18, sentido
Norte, loteamento Água Fria, Palmas, TO
Caixa Postal nº 90 , CEP 77008-900
Fone: (63) 3229-7800/ 3229-7850
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Unidade responsável pelo conteúdo

Embrapa Pesca e Aquicultura

Comitê de Publicações

Presidente: *Eric Arthur Bastos Routledge*

Secretária-Executiva: *Marta Eichenberger Ummus*

Membros: *Alisson Moura Santos, Andrea Elena Pizarro Munoz, Hellen Christina G. de Almeida, Jefferson Christofolletti, Luciana Cristine Vasques Villela, Luciana Nakaghi Ganeco, Rodrigo Veras da Costa.*

Unidade responsável pela edição

Embrapa Pesca e Aquicultura

Coordenação editorial

Embrapa Pesca e Aquicultura

Supervisão editorial

Embrapa Pesca e Aquicultura

Normalização bibliográfica

Embrapa Pesca e Aquicultura

Editoração eletrônica e

tratamento das ilustrações

Jefferson Christofolletti

Foto da capa

Embrapa Pesca e Aquicultura

1ª edição

Versão eletrônica (2016)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Informação Tecnológica

Monitoramento de qualidade de água das atividades aquícolas em reservatórios continentais brasileiros. / autores, Flávia Tavares de Matos... [et al.]. Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2016.

66 p. (Documentos / Embrapa Pesca e Aquicultura, ISSN 2318-1400 ; 32).

1. Monitoramento ambiental. 2. Aquicultura. 3. Reservatórios continentais brasileiros. 4. Geoprocessamento. I. Matos, Flávia Tavares de. II. Webber, Daniel Chaves. III. Fontoura, Alexandre Cesar. IV. Pinho, Emílio. V. Roubach, Rodrigo. VI. Bueno, Guilherme Wolff. VII. Florêncio, Deusiano. VIII. Barros, Dayane Juliate. IX. Embrapa Pesca e Aquicultura. X. Série.

CDD 664.942

© Embrapa 2016

Autores

Flávia Tavares de Matos

Zootecnista, doutora em Engenharia Ambiental, pesquisadora da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

Daniel Chaves Webber

Administrador, mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, analista da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

Alexandre Cesar Fontoura

Estagiário do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO

Emílio Pinho

Estagiário do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Faculdade Católica do Tocantins, Palmas, TO

Rodrigo Roubach

Rodrigo Roubach, Biólogo, PhD em Fisheries and Allied Aquacultures pela Auburn University, pesquisador do INPA/MCTI

Guilherme Wolff Bueno

Zootecnista, Doutor em Ciências Animais pela Universidade de Brasília/ University of Guelph, professor da Universidade Estadual Paulista - UNESP

Deusiano Florêncio

Engenheiro Ambiental, mestre em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins - UFT, TO

Dayane Juliate Barros

Engenheira Ambiental, Universidade Federal do Tocantins - UFT, TO.

Apresentação

Para que se garanta a sustentabilidade da atividade aquícola em reservatórios, torna-se indispensável a adoção de um plano de monitoramento limnológico dos cultivos, que irá garantir tanto a segurança do empreendedor, como dos demais usos múltiplos. Entretanto, devido à grande quantidade de parâmetros preconizados na legislação vigente e ao alto custo envolvido nas análises de água, esse assunto vem sendo abordado em diversas esferas do Governo, no sentido de tornar o processo mais exequível em termos operacionais e econômicos.

Nesse sentido, o presente documento visa complementar o arcabouço legal vigente e orientar de forma mais prática a execução de todas as etapas envolvidas em um plano de monitoramento para atividades aquícolas instaladas nos reservatórios continentais brasileiros. Espera-se que o mesmo possa servir como instrumento útil para o controle de qualidade de água dos empreendimentos rurais, bem como para órgãos fiscalizadores, órgãos de assistência técnica e extensão rural, empresas de consultoria técnica e também para futuras pesquisas da Embrapa e de outras instituições de pesquisa e desenvolvimento.

Pontos específicos abordados nesse documento merecem atenção especial, pois são de suma importância para o planejamento, execução do plano e análise dos dados. Dentre eles, destaca-se a escolha de

pontos de coleta para o monitoramento, as técnicas de amostragem, os insumos utilizados nas coletas de campo, a interpretação dos dados de qualidade de água, com base em análises espaciais e temporais. Algumas informações descritas foram fruto de experiências práticas em projetos de pesquisa desenvolvidos pela Embrapa Pesca e Aquicultura e da participação em reuniões técnicas da Rede Nacional de Pesquisa e Monitoramento Ambiental da Aquicultura em Águas da União.

Eric Arthur Bastos Routledge

Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento

Sumário

Monitoramento de qualidade de água das atividades aquícolas em reservatórios continentais brasileiros.	9
Introdução	9
Impactos da aquicultura na qualidade de água de reservatórios	11
O processo de eutrofização	12
Particularidades dos ciclos biogeoquímicos em reservatórios	13
O fósforo nas águas	13
Dinâmica do nitrogênio nos ecossistemas aquáticos	16
Parâmetros de qualidade de água, periodicidade e pontos de coleta para monitoramento da aquicultura em reservatórios continentais segundo a legislação.....	18
Processos hidrodinâmicos em reservatórios continentais	24
Metodologia para avaliação da área de influência de atividade aquícola – Estudo de Caso do Reservatório da PCH Lagoa Grande	31
Coletas de Água em Campo	34

Análises laboratoriais	47
Interpretação de dados de qualidade de água da aquicultura em reservatórios continentais	47
Análise Temporal de Qualidade de Água.....	48
Análise Espacial de Qualidade de Água.....	50
Índices de qualidade de água comumente utilizados para reservatórios	52
Índice de Estado Trófico – IET	53
Índice de Qualidade de Água para Reservatórios – IQAR.....	55
Índice da Comunidade Zooplancônica para Reservatórios (ICZ RES).....	59
Considerações finais	60
Referências	61

Monitoramento de qualidade de água das atividades aquícolas em reservatórios continentais brasileiros.

Flávia Tavares de Matos

Daniel Chaves Webber

Alexandre Cesar Fontoura

Emílio Pinho

Rodrigo Roubach

Guilherme Wolff Bueno

Deusiano Florêncio

Dayane Juliate Barros

Introdução

O grande volume de tanques-rede que vêm sendo instalados em reservatórios continentais brasileiros tem trazido impactos na qualidade das águas, resultantes da sobra de ração utilizada nos cultivos e da excreção de nutrientes pelos peixes, causando a eutrofização das águas e a conseqüente proliferação de algas e macrófitas no corpo hídrico. Estes impactos prejudicam não somente outros usuários de águas, como também outros cultivos em áreas próximas.

A regularização das áreas aquícolas em águas federais brasileiras é um processo lento e burocrático, sendo balizado por leis e critérios estabelecidos por cinco órgãos distintos: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA; Agência Nacional de Águas – ANA; Marinha; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA; Secretaria de Patrimônio da União – SPU. Para finalizar, o processo ainda passa pelo licenciamento ambiental e atendimento às condicionantes exigidas pelos órgãos de meio ambiente estaduais.

Uma vez licenciadas, faz-se necessária a adoção de um plano de monitoramento da qualidade de água nas áreas produtivas com base legislação federal regida pelas Resoluções CONAMA n° 357 de 2005 e n° 413 de 2009. No entanto, ressalta-se que enquanto a Resolução CONAMA n° 357 exige um número significativo de parâmetros de qualidade de água a serem mensurados, a Resolução CONAMA n° 413 estabelece uma quantidade menor, caracterizando, assim, uma falta de padronização na legislação. Por esta razão, e devido à falta de estabelecimento de outros critérios como a profundidade e a periodicidade mínima de coleta, ocorre a omissão do monitoramento por grande parte dos produtores, trazendo riscos ao meio ambiente e à própria atividade. Paralelamente, a ausência de padronização das condicionantes exigidas pelos órgãos estaduais de meio ambiente, a carência de fiscalização e de profissionais da área ambiental (principalmente limnologistas com conhecimento em sistemas de produção) resultam na inexistência ou na execução de monitoramentos superficiais, que não consideram os parâmetros adequados para avaliar os possíveis impactos da aquicultura em tanques-rede.

Buscando sanar a carência de informações a respeito do monitoramento da aquicultura em reservatórios brasileiros, o presente documento foi elaborado para instruir empreendedores aquícolas, órgãos ambientais e reguladores acerca dos aspectos relevantes do planejamento, execução de coletas e análises de qualidade de água em reservatórios continentais. O conteúdo abrange as particularidades da dinâmica da água e dos nutrientes em reservatórios, bem como as técnicas de amostragem e interpretação de dados de qualidade de água, incluindo listagem e descrição de equipamentos e itens necessários para as coletas de campo. Tal conteúdo foi elaborado a partir de referencial teórico e de experiências de campo da equipe técnica do Projeto “Desenvolvimento de metodologia para o cálculo da capacidade máxima de pescados no reservatório de Peixe Angical, TO”. Outros quesitos importantes como a utilização de índices de qualidade de água na interpretação dos resultados também são explorados.

Impactos da aquicultura na qualidade de água de reservatórios

Segundo Bueno et al. (2011), a aquicultura nacional encontra-se em franca expansão, apresentando grande potencial de mercado, ocupação e renda, dada a queda observada na produção do pescado do extrativismo. O cultivo de peixes em tanque-rede é uma alternativa de baixo custo e de rápida implantação, que possibilitará o adequado aproveitamento dos recursos hídricos, além da rápida expansão da piscicultura industrial no País. Apesar de ser considerada uma atividade promissora, o ordenamento da aquicultura sem uma avaliação adequada para o cálculo da produção máxima de pescados a serem produzidos nos grandes reservatórios do País, pode resultar em grande prejuízo ambiental, levando à extrapolação da capacidade suporte do ambiente e, no outro extremo, a um inadequado aproveitamento das potencialidades de crescimento pelo setor.

Os principais impactos relacionados à aquicultura em rios, lagos e reservatórios estão ligados ao aumento do fluxo de partículas e nutrientes dissolvidos no ambiente, (AZEVEDO et al., 2011). A maior contribuição dos efluentes oriundos da aquicultura provém das dietas e sobras de ração não consumida durante a alimentação, que causam um aumento nas concentrações de nitrogênio e fósforo no ambiente, promovendo um processo de eutrofização artificial (TUNDISI; TUNDISI, 2008), que ocasiona a deterioração da qualidade da água, podendo inviabilizar o próprio empreendimento.

Em reservatórios, a capacidade de diluição dos efluentes oriundos do cultivo em tanques-rede dependerá, principalmente, da circulação da água do ambiente. Neste contexto, torna-se indispensável a avaliação da capacidade suporte do corpo hídrico receptor, sendo definida a produção máxima permissível de organismos aquáticos, na qual a emissão de resíduos não ultrapasse a capacidade de absorção do ambiente (ARARIPE et al., 2006).

Há uma relação clara entre o potencial poluente das rações e as taxas de conversão alimentar dos peixes cultivados. Quanto melhor for a conversão de uma ração em carne, menor será o seu potencial poluente (BUENO, 2011). Segundo Cyrino et al. (2010), a alimentação excessiva ou o uso de rações não balanceadas reduzem a absorção de nutrientes pelos peixes, o que pode resultar em excesso de matéria orgânica nos sistemas de produção. Em condições tropicais, esta matéria orgânica seria mineralizada rapidamente. Nutrientes regenerados neste processo estariam prontamente disponíveis para o florescimento do fitoplâncton, reduzindo transparência e alterando a qualidade da água, especialmente reduzindo a concentração de oxigênio dissolvido no período noturno, induzindo estresse respiratório e bioquímico com sérios riscos à saúde dos peixes e possíveis perdas no sistema de produção.

O processo de eutrofização

Os corpos d'água são utilizados de várias maneiras e com diversos fins, como abastecimento de água, irrigação de lavouras, lazer e despejo de águas residuais brutas, sendo a eutrofização uma das principais modificações provocadas pelo homem, geralmente pelo aporte excessivo de nutrientes nos ambientes aquáticos (MACEDO; SIPAÚBA-TAVARES, 2010).

Os nutrientes são de grande importância para os principais ciclos da natureza, sendo indispensáveis para o crescimento vegetal, animal e microbiano. Particularmente, o fósforo e o nitrogênio são elementos essenciais que oferecem excelentes condições de crescimento aos organismos consumidores, que são vitais para os processos biológicos (GALLO; BASSO, 2013). Segundo Bueno et al. (2011), o excesso desses compostos leva ao processo de eutrofização, com conseqüente proliferação de cianofíceas, fitoplâncton, algas e de macrófitas (plantas aquáticas superiores), podendo interferir e até prejudicar os múltiplos usos da água.

De acordo com TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI (2002), os principais efeitos da eutrofização são listados a seguir:

- Anoxia (ausência de oxigênio dissolvido), que causa a morte de peixes e de invertebrados e também resulta na liberação de gases tóxicos com odores desagradáveis;
- Florescimento de algas e crescimento incontrolável de outras plantas aquáticas;
- Produção de substâncias tóxicas por algumas espécies de cianofíceas;
- Altas concentrações de matéria orgânica;
- Deterioração do valor recreativo dos reservatórios devido à diminuição da transparência da água;
- Acesso restrito à pesca e às atividades recreativas devido ao acúmulo de plantas aquáticas;
- Diminuição da biodiversidade (menor número de espécies de plantas e animais);
- Depleção do oxigênio nas camadas mais profundas;
- Diminuição da produção de peixes causada por depleção de oxigênio na coluna d'água.

Particularidades dos ciclos biogeoquímicos em reservatórios

O fósforo nas águas

Segundo Esteves (1998), a importância do fósforo nos ambientes aquáticos se deve à participação deste elemento em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos, tais como: armazenamento de energia (forma uma fração essencial da molécula de ATP) e estruturação da membrana celular (através dos fosfolípidios). Na maioria das águas continentais, o fósforo é o principal fator limitante

da produtividade primária, que é representada pelo fitoplâncton. Ou seja, na maior parte dos ecossistemas, as quantidades disponíveis de ortofosfato são muito baixas. Por esta razão, a produção biológica torna-se limitada, não ocorrendo o crescimento de algas (produtividade primária), a base da cadeia alimentar.

Além disso, tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial destes ecossistemas. Como todo o fósforo presente nas águas naturais encontra-se na forma de fosfato, essa denominação é utilizada para se referir às diferentes formas de fósforo no ambiente aquático.

Dentre várias formas, o ortofosfato dissolvido é, evidentemente, a principal fonte de fósforo para as plantas aquáticas, sobretudo para o fitoplâncton (TUNDISI; TUNDISI, 2008). As plantas absorvem a maior parte de seu fósforo como íon ortofosfato primário ($H_2PO_4^-$). Pequenas quantidades de íon ortofosfato secundário (HPO_4^{2-}) são também absorvidas. O pH do solo influencia grandemente a relação destes dois íons absorvidos pela planta. Outras formas de fósforo podem ser utilizadas, mas em quantidades muito menores que os ortofosfatos (LOPES, 1989).

O fluxo de fósforo para as águas continentais depende dos processos geoquímicos nas bacias hidrográficas. De um modo geral, as formas mais comuns de fósforo orgânico são de origem biológica. Fosfatos dissolvidos são derivados do processo de lixiviação de minerais, como a apatita presente em rochas. O fósforo também pode ser encontrado em partículas de várias dimensões, até na forma coloidal. Sedimentação de partículas e excreta de animais planctônicos ou bentônicos contribuem para o acúmulo no sedimento (TUNDISI; TUNDISI, 2008). O ciclo do fósforo no meio ambiente é mostrado na Figura 1.

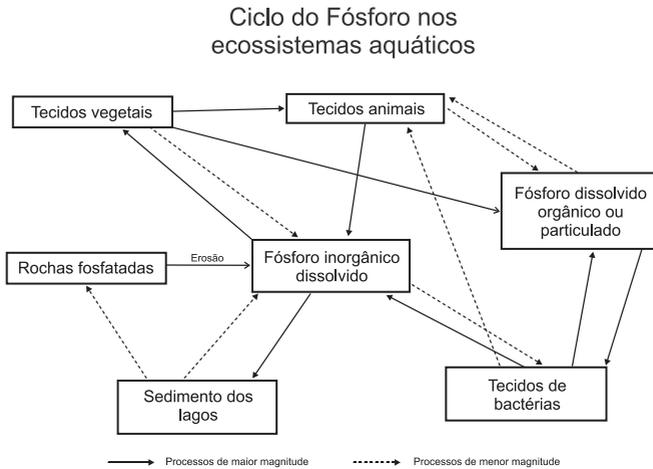


Figura 1. Ciclo do fósforo (TUNDISI; TUNDISI, 2008)

Considerando as fontes de poluição com fosfato no meio aquático, Pellegrini (2005) aponta que há um consenso em afirmar que no meio rural, as fontes difusas (agricultura, lançamento de efluentes domésticos, etc) são as que mais contribuem para a contaminação das águas, tanto superficiais quanto sub-superficiais. Paralelamente, cita que esse tipo de poluição se caracteriza por apresentar uma variabilidade temporal e espacial nas concentrações e quantidades de fósforo transferidas para e pelo sistema de drenagem de uma determinada bacia hidrográfica. O escoamento da água sobre a camada superficial do solo de áreas agrícolas durante os eventos pluviométricos vem a ser a principal fonte difusa de poluição aos mananciais hídricos. No entanto, as fontes de fósforo podem ser, também, dos sedimentos erodidos das margens ou depositados no leito dos cursos d'água.

Correll (1998) alerta para a necessidade de se estudar a disponibilidade do fósforo particulado nas suas distintas formas, de acordo com a energia com que este está adsorvido aos grupos funcionais dos colóides dos sedimentos. Isso porque, se a maior parte do fósforo particulado estiver adsorvido com alta energia de ligação, o seu potencial poluidor pode ser diminuído. Por outro lado, se os sedimentos possuem elevados teores de fósforo em formas com fraca energia de ligação,

a reposição do fósforo solúvel é facilitada, aumentando assim o seu potencial contaminante.

De maneira global, é possível estimar a concentração de fósforo em águas continentais quantificando-se a carga desse componente que regularmente é lançada nos corpos d'água. Esse cálculo é realizado com base na carga de fósforo originada das áreas localizadas no entorno do corpo hídrico, na intensidade do fluxo de água que contribui para a diluição do fósforo, na taxa de armazenamento de fósforo no sedimento e na quantidade do elemento que é lançada nos oceanos. Os fertilizantes agrícolas colaboram com os maiores fluxos de entrada de fósforo em solos propensos à erosão, que é considerada a principal responsável pela concentração do elemento em ambientes aquáticos continentais. O transporte de fósforo do solo para as águas continentais ocorre por meio de sua adsorção em partículas de solo erodido e formas dissolvidas de fósforo. Uma vez carregado para lagos e rios, é acumulado no sedimento ou carregado para corpos d'água adjacentes localizados à jusante (CARPENTER; BENNET, 2011).

Dinâmica do nitrogênio nos ecossistemas aquáticos

As plantas aquáticas utilizam nitrogênio principalmente na síntese de proteínas e aminoácidos. As principais fontes de nitrogênio são nitrato, nitritos, amônio, compostos nitrogenados dissolvidos, como uréia, aminoácidos livres e peptídeos. Nitrogênio atmosférico dissolvido na água é fixado por algumas espécies de cianobactérias (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

Segundo os mesmos autores, o ciclo do nitrogênio é também bastante complexo em razão da existência de uma ampla reserva de nitrogênio na atmosfera (70%). Os processos de transferência entre os diversos compartimentos são extremamente importantes para a produtividade aquática. A transferência de nitrogênio do N_2 (gás dinitrogênio) atmosférico por fixação microbiológica ou em cianobactérias, e o seu retorno à atmosfera via N_2O (óxido nitroso) e desnitrificação, são particularidades do ciclo do nitrogênio que não ocorrem no ciclo do fósforo e que têm grande significado biológico e químico.

Parâmetros de qualidade de água, periodicidade e pontos de coleta para monitoramento da aquicultura em reservatórios continentais segundo a legislação

De acordo com a Fundação Nacional de Saneamento Ambiental - FUNASA (BRASIL, 2014), o conceito de qualidade de água sempre tem ligação com o uso que se faz dessa água. Os usos de parâmetros de qualidade de água para definição de enquadramento dos corpos d'água são uma determinação da Resolução CONAMA n° 357 (BRASIL, 2005), que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

No artigo 4°, Inciso III, da Resolução CONAMA n° 357 informa-se a caracterização das águas de classe 2, na qual inclui-se a atividade de aquicultura:

"...III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;*
- b) à proteção das comunidades aquáticas;*
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000;*
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e*
- e) à aquicultura e à atividade de pesca..."*

A mesma Resolução define que em águas doces de classe 2, onde ocorrer pesca ou cultivo de organismos para fins de consumo

intensivo, 121 parâmetros de qualidade de água (físicos, químicos e microbiológicos) devem ser analisados, conforme é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros e respectivos limites para classe 2 para fins de aquicultura (BRASIL, 2005).

Parâmetros Físicos, Químicos e Microbiológico	Limites
Corantes antrópicos	Ausentes
Materiais flutuantes (inclusive espumas não naturais)	Ausentes
Óleos e graxas	Ausentes
Substâncias que causem odor	Ausentes
Resíduos Sólidos Objetáveis	Ausentes
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	≥ 5,0 mg/L ¹
pH	Entre 6,0 a 9,0
Turbidez (UNT)	≤ 100 UNT
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L
Cor Verdadeira	≤ 75 mg Pt/L
Clorofila-a (µg/L)	≤ 30 µg/L
Densidade de Cianobactérias (cel/mL)	≤ 50.000 cel/mL
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	3,7 mg/L N, para pH ≤ 7,5 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 mg/L N, para pH > 8,5
Nitrito (mg/L)	≤ 1,0 mg/L N
Nitrato (mg/L)	≤ 10,0 mg/L N
DBO (mg/L)	≤ 5 mg/L O ₂ *
Fósforo Total (mg/L)	≤ 0,030 mg/L P (ambientes lânticos) ≤ 0,050 mg/L P (ambientes intermediários) ³ 0,1 mg/L P (ambientes lóticos e tributários de ambientes intermediários)
Coliformes Termotolerantes	≤ 1.000 por 100 mililitros
Metais e Substâncias relacionadas	Limites
Alumínio dissolvido	0,1 mg/L Al
Arsênio total	0,01 mg/L As
Bário total	0,7 mg/L Ba

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Parâmetros Físicos, Químicos e Microbiológico	Limites
Berílio total	0,04 mg/L Be
Boro total	0,5 mg/L B
Cádmio total	0,001 mg/L Cd
Chumbo total	0,01mg/L Pb
Cianeto livre	0,005 mg/L CN
Cloreto total	250 mg/L Cl
Cloro residual total (combinado + livre)	0,01 mg/L Cl
Cobalto total	0,05 mg/L Co
Cobre dissolvido	0,009 mg/L Cu
Cromo total	0,05 mg/L Cr
Ferro dissolvido	0,3 mg/L Fe
Fluoreto total	1,4 mg/L F
Lítio total	2,5 mg/L Li
Manganês total	0,1 mg/L Mn
Mercurio total	0,0002 mg/L Hg
Níquel total	0,025 mg/L Ni
Prata total	0,01 mg/L Ag
Selênio total	0,01 mg/L Se
Sulfato total	250 mg/L SO ₄
Sulfeto (H ₂ S não dissociado)	0,002 mg/L S
Urânio total	0,02 mg/L U
Vanádio total	0,1 mg/L V
Zinco total	0,18 mg/L Zn
Pesticidas	Limites
Acrilamida	0,5 µg/L
Alacloro	20 µg/L
Aldrin + Dieldrin	0,005 µg/L
Atrazina	2 µg/L
Benzeno	0,005 mg/L
Benzidina	0,001 µg/L
Benzo(a)antraceno	0,05 µg/L
Benzo(a)pireno	0,05 µg/L
Benzo(b)fluoranteno	0,05 µg/L
Benzo(k)fluoranteno	0,05 µg/L
Carbaril	0,02 µg/L

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Parâmetros Físicos, Químicos e Microbiológico	Limites
Clordano (cis + trans)	0,04 µg/L
2-Clorofenol	0,1 µg/L
Criseno	0,05 µg/L
2,4-D	4,0 µg/L
Demeton (Demeton-O + Demeton-S)	0,1 µg/L
Dibenzo(a,h)antraceno	0,05 µg/L
1,2-Dicloroetano	0,01 mg/L
1,1-Dicloroetano	0,003 mg/L
2,4-Diclorofenol	0,3 µg/L
Diclorometano	0,02 mg/L
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	0,002 µg/L
Dodecacloro pentaciclodecano	0,001 µg/L
Endossulfan	0,056 µg/L
Endrin	0,004 µg/L
Estireno	0,02 mg/L
Etilbenzeno	90,0 µg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4aminoantipirina)	0,003 mg/L
C6H5OH Glifosato	65 µg/L
Gution	0,005 µg/L
Heptacloro epóxido + Heptacloro	0,01 µg/L
Hexaclorobenzeno	0,0065 µg/L
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,05 µg/L
Lindano	0,02 µg/L
Malation	0,1 µg/L
Metolacloro	10 µg/L
Metoxicloro	0,03 µg/L
Paration	0,04 µg/L
PCBs - Bifenilas policloradas	0,001 µg/L
Pentaclorofenol	0,009 mg/L
Simazina	2,0 µg/L
Substâncias tensoativas que reagem com o azul de metileno	0,5 mg/L
LAS 2,4,5-T	2,0 µg/L
Tetracloroeto de carbono	0,002 mg/L
Tetracloroetano	0,01 mg/L

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Parâmetros Físicos, Químicos e Microbiológico	Limites
Tolueno	2,0 µg/L
Toxafeno	0,01 µg/L
2,4,5-TP	10,0 µg/L
Tributilestanho	0,063 µg/L
TBT Triclorobenzeno (1,2,3-TCB + 1,2,4-TCB)	0,02 mg/L
Tricloroetano	0,03 mg/L
2,4,6-Triclorofenol	0,01 mg/L
Trifluralina	0,2 µg/L
Xileno	300 µg/L
Parâmetros específicos para aquicultura	Limites
Arsênio total	0,14 µg/L As
Benzidina	0,0002 µg/L
Benzo(a)antraceno	0,018 µg/L
Benzo(a)pireno	0,018 µg/L
Benzo(b)fluoranteno	0,018 µg/L
Benzo(k)fluoranteno	0,018 µg/L
Criseno	0,018 µg/L
Dibenzo(a,h)antraceno	0,018 µg/L
3,3-Diclorobenzidina	0,028 µg/L
Heptacloro epóxido + Heptacloro	0,000039 µg/L
Hexaclorobenzeno	0,00029 µg/L
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,018 µg/L
PCBs - Bifenilas policloradas	0,000064 µg/L
Pentaclorofenol	3,0 µg/L
Tetracloroeto de carbono	1,6 µg/L
Tetracloroetano	3,3 µg/L
Toxafeno	0,00028 µg/L
2,4,6-triclorofenol	2,4 µg/L

¹ 5 dias a 20°C

** em qualquer amostra, não inferior.

³ com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico.

Vale ressaltar que a Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) estabelece diferentes ambientes aquáticos para definição de limites do parâmetro fósforo total, sendo estes: lótico, intermediário e lêntico.

Em complemento à Resolução CONAMA nº 357, foi publicada a Resolução CONAMA nº 413 (BRASIL, 2009), que dispõe sobre o licenciamento ambiental da aquicultura e dá outras providências. Em seu anexo VI, são descritos os parâmetros mínimos para a realização do Programa de Monitoramento Ambiental em empreendimentos aquícolas. Os parâmetros hidrobiológicos exigidos são os seguintes:

- Material em suspensão (mg/L);
- Transparência (Disco de Secchi - m);
- Temperatura (°C);
- OD (mg/L);
- DBO (mg/L);
- pH;
- Amônia-N (mg/L);
- Nitrito-N (mg/L);
- Nitrato-N (mg/L);
- Fosfato-P e Silicato-Si (mg/L);
- Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) e;
- Coliformes termotolerantes (NMP).

Dependendo da análise dos dados apresentados, outros parâmetros hidrobiológicos podem ser acrescentados ou retirados do plano de monitoramento, a critério do órgão ambiental competente. Paralelamente, deverão ser apresentados os relatórios técnicos dos parâmetros hidrobiológicos com todos os dados analisados e interpretados, de acordo com a frequência estabelecida pelo órgão ambiental competente, além de um cronograma de execução do Plano, contemplando o período de validade da Licença de Operação.

Ambas as resoluções não estabelecem uma periodicidade mínima de coleta de dados para o monitoramento ambiental do cultivo. A Resolução nº 413 menciona em seu Anexo VI apenas que os empreendimentos aquícolas deverão disponibilizar os dados de monitoramento quando

forem requisitados oportunamente por órgãos competentes (IBAMA e órgãos ambientais estaduais).

Com relação à distribuição espacial das amostras, a Resolução CONAMA nº413 estabelece que para empreendimentos localizados diretamente no corpo hídrico (tanques-rede), os pontos amostrais devem estar localizados no ponto central da área aquícola e ao longo do sentido predominante das correntes, antes e depois do ponto central. Além de não definir como deve ser feita a aferição das correntes, esta resolução não estabelece o número mínimo de pontos no entorno da área aquícola e tão pouco as profundidades das coletas em cada ponto amostral.

Processos hidrodinâmicos em reservatórios continentais

Segundo a CETESB (2011), o monitoramento e o diagnóstico da qualidade ambiental, bem como as ações de fiscalização, envolvem a medida de uma ou mais variáveis, cujos resultados serão utilizados para avaliar as condições de um ambiente e dar subsídios para a tomada de medidas preventivas e corretivas, com base na legislação existente. Nesse sentido, os objetivos do trabalho, as estratégias de amostragem e os métodos de análises a serem empregados, devem ser criteriosamente definidos para se obter resultados robustos. A etapa de amostragem é crucial nesse processo, pois o material coletado deve representar de forma fidedigna o local amostrado. Contudo, todo corpo d'água é heterogêneo e independente do local de amostragem, este não é representativo de todo o sistema em estudo.

Segundo Tundisi e Tundisi (2008) apud Gentil (2015), a característica essencial de um reservatório é a existência de gradientes horizontais e verticais e de um fluxo contínuo em direção à barragem. Os gradientes apresentam variações temporais que dependem do fluxo de água para o reservatório e das diferenças de nível que ocorrem durante as diversas épocas do ano. Além disso, a biomassa em reservatórios depende da

disponibilidade de nutrientes, dos fatores físicos, do aporte de material em suspensão que impede a entrada de luz ao longo da coluna d'água e da perda constante de material biológico devido à saída da água pelas turbinas ou movimentação unidirecional de determinados canais de transposição (CALIJURI et al., 1999).

A retirada seletiva de água a diferentes profundidades em represas produz mecanismos de circulação peculiares, principalmente correntes de advecção. Os gradientes verticais são mais acentuados se correntes de advecção se distribuem nas diversas profundidades como resultado da estratificação produzida pela entrada de água mais densa e fria a partir dos afluentes à represa (IMBERGER, 1994) durante curtos períodos.

Segundo Tundisi e Tundisi (2008), os principais processos de força física que atuam na estratificação e mistura das águas de reservatórios continentais são efeitos acumulados das trocas de calor e das entradas da energia; radiação solar com a profundidade (a qual depende das condições óticas da água na superfície); direção e força do vento e; direção e energia cinética das entradas de água. Outros fatores como profundidade máxima, média, volume e localização (latitude, longitude e altitude) têm importância nas misturas vertical e horizontal.

Segundo Von Sperling (1996), o perfil vertical de temperatura em lagos e reservatórios varia com as estações do ano. Tal variação de temperatura afeta diretamente a densidade da água e, em decorrência, a capacidade de mistura e estratificação do corpo d'água. Durante o verão e os meses mais quentes do ano, a temperatura superficial da água tende a ser bem mais elevada que a temperatura do fundo, devido a radiação solar. Assim, a densidade da água superficial torna-se inferior a camada do fundo, criando diferentes camadas ao longo da coluna d'água, quais sejam, epilímnio (camada superior, mais quente e menos densa, com maior circulação), metalímnio/termoclina (camada de transição que apresenta uma queda gradual de temperatura em relação ao epilímnio - aproximadamente, 1°C a cada metro) e hipolímnio (camada inferior, mais fria, mais densa, com maior estagnação). As

diferenças de densidade podem ser tão significativas que acabam por causar uma completa estratificação da coluna d'água que, por sua vez apresenta um perfil clinogrado, impedindo a mistura completa entre estas camadas, conforme representação esquemática na Figura 3.

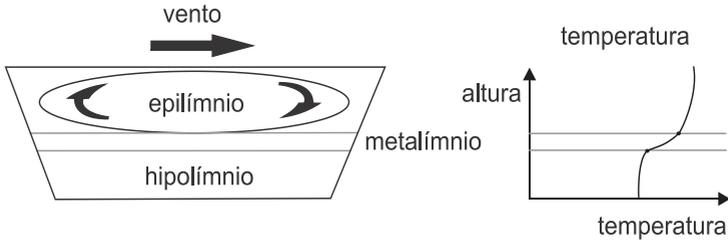


Figura 3. Representação do fenômeno da estratificação térmica (BREDA, 2011).

Já nas estações mais frias, há uma diminuição da temperatura da camada superior, causando uma homogeneização da temperatura ao longo de toda a coluna d'água, permitindo os movimentos de circulação em toda a profundidade, desde que haja uma força externa, geralmente, representada pela ação dos ventos (Figura 3). Neste caso, a coluna d'água apresenta um perfil ortogrado, com temperatura semelhante da superfície ao fundo. Assim, os ambientes lênticos estão permanentemente sujeitos a uma alternância de processos de estratificação e de circulação (RUAS, 2006 apud VIDAL, 2012).

Além disso, se gerarmos um plano imaginário no reservatório em nível intermediário que divida uma camada iluminada e com circulação completa e produtiva de outra camada escura, com circulação reduzida e onde prevalecem processos de decomposição, chega-se ao que se define como termoclina planar (TUNDISI; TUNDISI, 2008). Este plano é essencial para compreender como funcionam a circulação e distribuição de nutrientes em reservatórios (Figura 4).

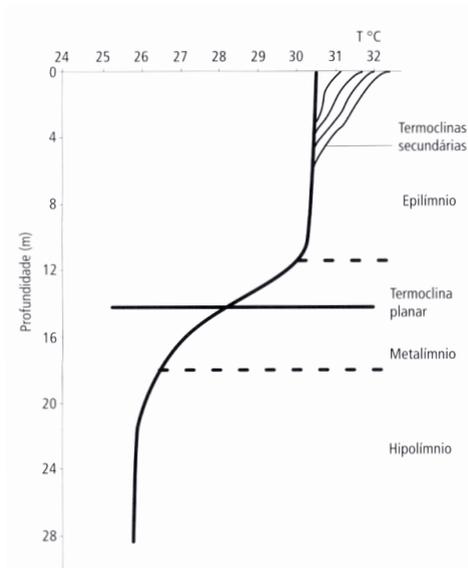


Figura 4. Estratificação térmica em reservatórios (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

Outro processo que influencia na circulação da água em reservatórios e, conseqüentemente, na estratégia de escolha de pontos amostrais, são as intrusões via tributários. Segundo Tundisi e Tundisi (2008), quando o rio encontra as águas mais estáticas do reservatório, de um modo geral, encontra massas de água com temperatura, salinidade ou turbidez diferentes. A água de intrusão pode ser mais ou menos densa que a água de superfície do ecossistema lântico e, desse modo, há diferentes pontos de intrusão – na superfície, embaixo da superfície ou no fundo (Figura 5). Essa intrusão significa um transporte de material em suspensão, carga de nutrientes ou organismos que são transportados às várias profundidades.

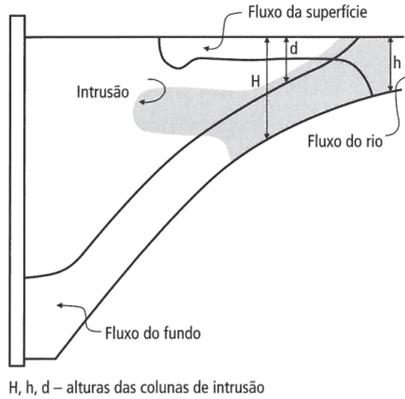


Figura 5. Intrusão de águas na superfície ou no fundo de lagos e represas (Fonte: modificado de Imberger e Patterson (1990) apud Tundisi e Tundisi (2008)).

A zona de mistura, a qual é formada por dois ou mais tipos de águas que estão em processo de mistura (rio logo a jusante da descarga de um efluente ou tributário), não é local adequado para fazer coletas de água (Figura 6). A coleta deve ser realizada após a completa mistura.

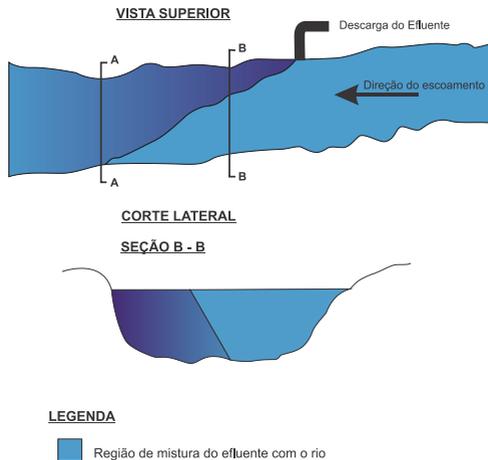


Figura 6. Representação da mistura de um efluente com o rio (CETESB, 2011).

Kimmer e Groeger (1984) e Straskraba e Tundisi (1999) classificam os reservatórios em 3 zonas distribuídas desde a entrada até a barragem do reservatório, cada uma com suas próprias características biológicas,

físicas e químicas, sendo estas zona de rio, zona de transição e zona lacustre.

Segundo Cordeiro (2013) e Wachholz (2012) a zona de rio ou fluvial é rasa e possui fluxo elevado devido o espaço entre as margens ser estreito, o que ocasiona alta advecção de nutrientes, redução da zona eufótica e da produção primária. Como consequência disso, a zona fluvial geralmente apresenta condições eutróficas.

A zona de transição é mais larga e profunda que a zona fluvial, mas menos larga que a zona lacustre. Possui fluxo reduzido, reduzida advecção de nutrientes, baixa concentração de materiais em suspensão, elevada sedimentação e condições mesotróficas. A zona eufótica é elevada, aumentando a produção primária e a presença de herbívoros.

A zona lacustre é a que possui maior distância entre suas margens, elevada profundidade, fluxo muito baixo, baixos níveis de advecção de nutrientes devido a reciclagem interna, baixa concentração de materiais em suspensão, elevada zona eufótica, baixa produção primária e, conseqüentemente, condições oligotróficas.

Com relação à concentração de matéria orgânica ao longo das zonas, esta costuma ser encontrada em maior quantidade na zona de rio (origem alóctone), diminuindo em direção à zona lacustre (alóctone e autóctone). Porém, a presença de paliteiros em decomposição (vegetação remanescente de área inundada) pode aumentar a matéria orgânica independente da zona do reservatório.

A Figura 7 ilustra os compartimentos de um reservatório.

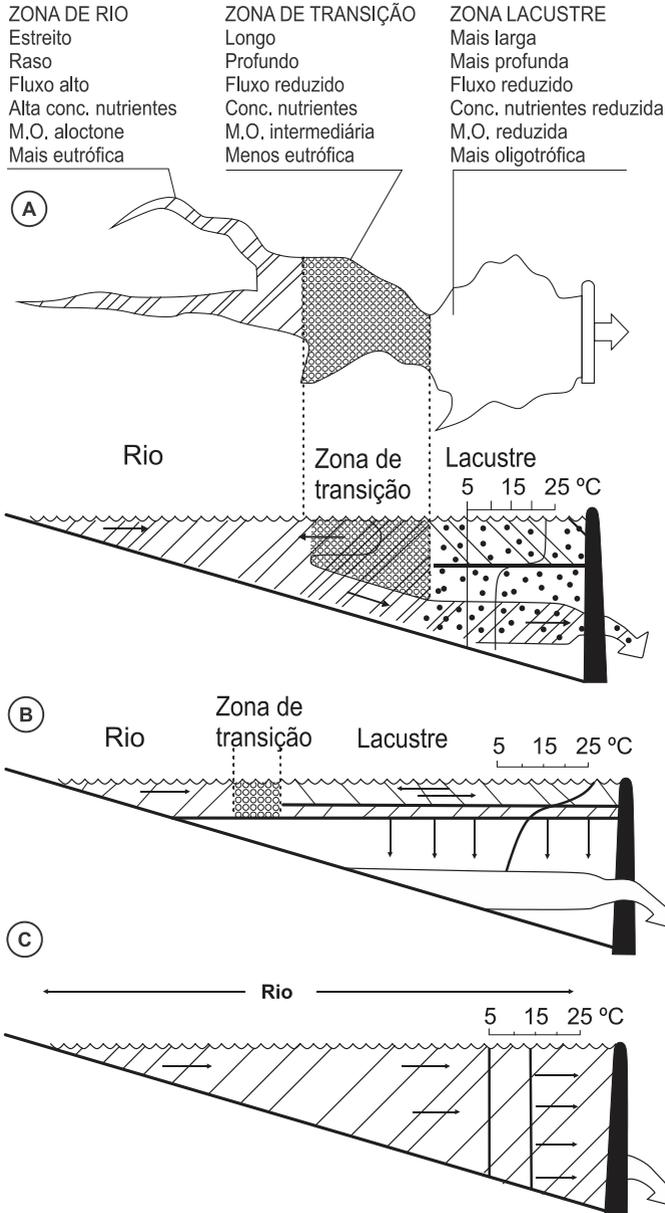


Figura 7. Zonas horizontais de um reservatório (STRASKRABRA; TUNDISI, 2000).

Metodologia para avaliação da área de influência de atividade aquícola – Estudo de Caso do Reservatório da PCH Lagoa Grande

A partir de estudos realizados em cultivos experimentais do Projeto “Desenvolvimento de Metodologia para o Cálculo da Capacidade de Produção Máxima de pescados no Reservatório de Peixe Angical, TO”, desenvolveu-se um método para avaliação da área de influência de atividades aquícolas em reservatórios utilizando-se ferramentas de geoprocessamento. Além da definição da área de influência, esta metodologia permitiu também avaliar a periodicidade ideal para o monitoramento de qualidade de água e a direção das correntes que incidem nos cultivos.

Neste estudo de caso, foi realizado um cultivo de tabaquis em uma linha de 12 tanques-rede instalada no sentido longitudinal do reservatório da PCH Lagoa Grande, município de Dianópolis, TO. Foi realizado o monitoramento da qualidade da água nos pontos “A” a “S” (Figura 8), com periodicidade mensal no período de estiagem (de Maio a Outubro) no reservatório, quando não existe diluição dos efluentes pela água precipitada. Pelo fato deste corpo hídrico ser estratificado, os pontos de coleta transversal foram monitorados em 3 profundidades (0,30 m da lâmina d’água, 1,0 m do fundo e no ponto médio da coluna d’água), utilizando amostras compostas para cada ponto. Os parâmetros de qualidade de água para avaliar a área de diluição de efluentes (pluma) foram os básicos indicados pela Resolução CONAMA nº 413 (BRASIL, 2009).

O ponto chave para identificação da área de influência foi a amostragem horizontal, isto é, utilizou-se pontos amostrais em diferentes direções e distâncias no entorno do cultivo (formato em cruz ou estrelar) e avaliou-se posteriormente a distribuição da pluma de efluentes, utilizando-se ferramentas de interpolação.

Conforme ilustrado na Figura 8, foram posicionados pontos amostrais em todas as direções no entorno do cultivo, utilizando a ferramenta *buffer*, facilmente encontrada em *softwares* de sistema de informação geográfica - SIG. As distâncias de 10, 55 e 100 metros da linha central dos tanques-rede foram utilizadas de forma aleatória, visando identificar a distância máxima que os efluentes atingiram.

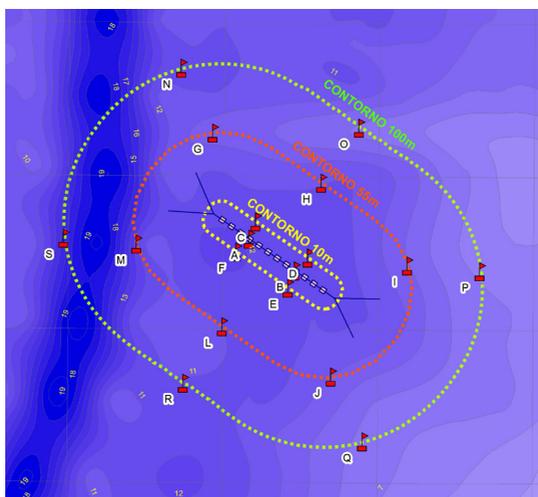


Figura 8. Esquema de pontos amostrais (A à S) em formato estrelar em 3 contornos de distância (10, 55 e 100 metros) do cultivo (Elaboração: EMBRAPA PESCA E AQUICULTURA, 2016).

Após obter os dados brutos das análises laboratoriais, foi realizado em SIG a interpolação dos mesmos a partir do método IDW (inverso do peso da distância) sob a base amostral distribuída espacialmente. A Figura 9 apresenta o resultado desta análise geoestatística para o parâmetro nitrogênio amoniacal (mg/L).

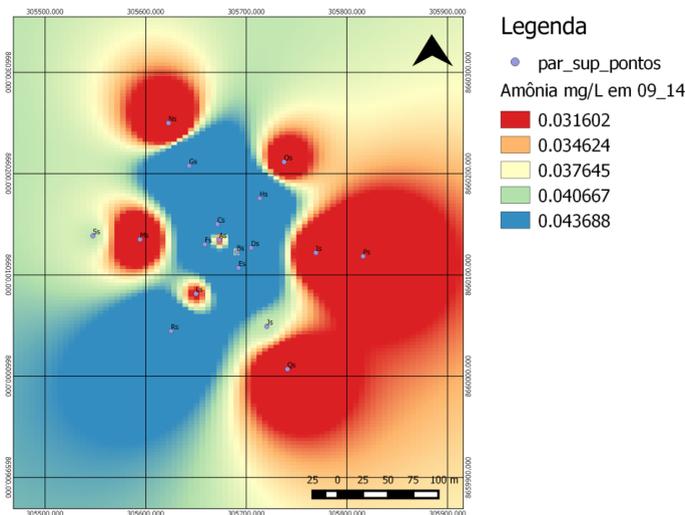


Figura 9. Análise geoestatística do parâmetro amônia (mg/L) em 18 pontos amostrais no entorno do cultivo, utilizando SIG (Elaboração: EMBRAPA PESCA E AQUICULTURA, 2016).

Através da análise geoestatística do parâmetro amônia foi possível identificar que apesar da qualidade da água estar dentro dos limites da Resolução CONAMA n° 357 (BRASIL, 2005), a pluma de amônia ficou mais concentrada no *buffer* (contorno) de 55 metros (cor azul), porém a mesma chegou a atingir o *buffer* de 100 metros.

A mesma pluma de amônia demonstrou que a direção principal das correntes no período de seca foi no sentido NE->SW. Com relação à periodicidade, verificou-se que o monitoramento mensal foi desnecessário, haja vista que somente no 3° mês após o término da temporada de chuvas (agosto) ocorreu o incremento dos efluentes do cultivo (amônia e fósforo total) se intensificando no mês mais seco (setembro). Assim, além da área de influência, esta metodologia permitiu também aferir a direção das correntes predominantes que incidem nos tanques-rede e a periodicidade adequada para o monitoramento da qualidade de água neste reservatório.

Partindo-se destas análises, o programa de monitoramento da qualidade de água neste cultivo foi definido utilizando-se apenas 3 pontos amostrais: 100 metros a montante do cultivo, ponto central do cultivo e 100 metros a jusante do cultivo, no sentido NE -> NW (pontos "O", "C" e "R" da Figura 8). A periodicidade definida foi bimestral, de modo a manter maior rigor amostral.

Coletas de Água em Campo

Após a fase de planejamento da seleção de pontos amostrais para qualidade de água, é necessário realizar o planejamento das atividades de campo, sendo esta etapa composta pela previsão meteorológica e checagem dos itens para coleta de água.

O clima é um fator fundamental para a eficiência das atividades de campo e para a segurança da tripulação. A equipe de campo deve dar preferência para a navegação em dias de pouco vento, poucas nuvens e ausência de chuvas. Isto porque, o vento aumenta a incidência de ondas, que podem deslocar a embarcação na direção da corrente e desfavorecer a fixação da embarcação sobre os pontos amostrais previamente definidos. Dias com muita nebulosidade podem interferir na recepção de sinais de satélite por equipamentos de geolocalização, dificultando o posicionamento da embarcação sob os pontos previamente definidos e gerando erros de amostragem por coletas em locais indevidos. A incidência de chuvas no momento das coletas, além de atrapalhar na visibilidade e na navegação, pode camuflar os níveis de parâmetros de qualidade de água, como por exemplo, a transparência, a turbidez, o ph, o oxigênio dissolvido, além de diluir nutrientes existentes na água.

Para avaliar as condições meteorológicas, sugere-se que o técnico/produtor faça uma prévia pesquisa no endereço eletrônico do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPET-INPE). Este serviço permite verificar as condições meteorológicas para os próximos 11 dias na região de

interesse, incluindo os parâmetros de precipitação (mm/h), temperatura a 2m (°C), umidade relativa (%), vento a 10m (m/s), pressão ao nível do mar (hPa) e nebulosidade (%).

Considerando o rigor metodológico dos procedimentos de coleta de água, principalmente o atendimento aos horários adequados para coleta e o prazo de validade da água para análises de alguns parâmetros, é recomendável que antes de realizar as coletas, os técnicos/produtores envolvidos certifiquem-se de transportar todos os equipamentos necessários.

Assim, foi elaborada uma lista de checagem (Quadro 1) que pode ser utilizada por produtores, órgãos de fiscalização, de pesquisa e de desenvolvimento da aquicultura. Vale acrescentar que alguns itens citados nesta lista não são únicos no atendimento aos objetivos de monitoramento da qualidade de água em reservatórios continentais no Brasil, porém são citados pelo fato de terem desempenhado a função requerida de forma comprovada pela equipe do projeto “Desenvolvimento de metodologia para o cálculo da capacidade máxima de pescados no reservatório de Peixe Angical, TO”.

Quadro 1. Lista de checagem de itens para realização de coletas de água para monitoramento ambiental.

Itens	Check-list	
	sim	não
Frascos para Coleta de Água		
A quantidade de frascos e tampas é suficiente para a quantidade de pontos e profundidades necessários?		
Os frascos já foram rotulados?		
Os frascos para coleta de patológicos foram esterilizados?		
Frascos extras?		
Há gelo suficiente para conservar a quantidade de amostras durante o tempo de serviço necessário?		
Equipamentos de Medição	sim	não
Há dois receptores de sinal por satélite?		
Os receptores de sinal por satélite estão configurados com o sistema de coordenadas previamente definido no planejamento?		
A base de dados dos pontos amostrais de coleta de água foi importada para os receptores de sinal por satélite de forma adequada?		
As pilhas ou bateria dos receptores de sinal por satélite estão carregadas?		
Pilhas extras?		
A sonda multiparamétrica está calibrada e devidamente revisada (sensores, membranas e eletrodos)?		
O oxímetro está calibrado e devidamente revisado (membranas e eletrodo)?		
Cabos elétricos da sonda e do oxímetro possuem comprimento adequado à profundidade do reservatório?		
Pilhas ou baterias da sonda e do oxímetro estão carregadas?		
Pilhas extras?		
Disco de Secchi possui o peso suficiente para medição (sem ser arrastado por correntes)?		
A corda do disco de Secchi atinge 6 metros de comprimento?		
Equipamentos de Proteção Individual	sim	não
Existem coletes salva-vidas para toda a tripulação?		
Coletes são homologados pela Marinha?		
Protetor Solar com fator acima de 30?		
Vestimentas com proteção contra raios solares UV (chapéu, camisa de manga longa, calças)?		

Continua...

Quadro 1. Continuação.

Repelente contra insetos?		
Kit primeiros socorros?		
Rádio VHF para comunicação		
Veículo e Carreta	SIM	NÃO
Pneus, combustível, óleo e água estão em bom estado/nível?		
Possui a tração adequada para o tipo de relevo que se vai percorrer?		
Possui guincho elétrico?		
Pneus de reserva e chaves de roda adequadas para veículo e carreta?		
Possui engate para carreta com sistema elétrico?		
Faróis traseiros da carreta estão funcionando?		
Embarcação e Acessórios	SIM	NÃO
Casco, hélice, bateria e motor estão em bom estado de conservação?		
Proa adequada para as condições de navegação?		
Motor possui potência adequada para as condições de navegação?		
Motor foi revisado?		
O tanque de combustível do motor possui capacidade suficiente para a distância, tempo de navegação e quantidade de tripulantes?		
Existem remos suficientes caso ocorra algum problema com o motor?		
Existem cordas suficientemente longas para atracação e apoitamento do barco nas áreas mais profundas do reservatório?		
A poita possui peso suficiente para interromper o movimento da embarcação mesmo sob ação de correntes?		
A poita está devidamente atada a uma corda e esta a um local seguro na embarcação?		

Elaboração: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2016.

Na sequência, são destacados e recomendados os itens que requerem maior atenção, bem como orientações de uso. Ressalta-se que alguns itens citados nesta lista não são únicos no atendimento aos objetivos de monitoramento da qualidade de água em reservatórios continentais no Brasil, porém são citados pelo fato de terem desempenhado a função requerida de forma comprovada pela equipe do projeto. Vale acrescentar que para a realização da coleta de água, é recomendada a consulta ao Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras, elaborado pela Agência Nacional das Águas – ANA e Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2011).

Camionete Pick-up, com cabine aberta e tração 4x4: É necessário o uso desse tipo de veículo, pois geralmente o acesso aos pontos de coleta dos reservatórios é muito difícil e há muitos equipamentos para serem transportados, além da embarcação. São acessórios necessários: capota náutica para cobrir a cabine aberta; engate na parte traseira da camionete para conexão da carreta e; guincho elétrico na parte dianteira para retirada da camionete em caso de atolamento (Figura 10).



Figura 10. Camionete Pick-up com engate para carreta. Foto: Daniel Webber.

Embarcação de alumínio de 6 metros, com proa em semi-quilha: A embarcação para a realização das coletas deve ser econômica, segura, leve e forte, adequada para navegação em reservatórios, braços e rios

com ondas e poucas pedras (Figura 11). Deve permitir o transporte de pequena tripulação, equipamentos de aferição e conservação de amostras. É recomendável o uso de capota escamoteável, motor de popa 2 tempos de 60 HP e carreta que sustente adequadamente o peso da embarcação escolhida.



Figura 11. Embarcação de 6 metros, motor de popa e carreta. Foto: Daniel Webber.

Corda naval e poita pequena de 4kg: Para a realização das coletas, é necessário o uso de cordas e poitas, no intuito de manter a embarcação parada no ponto de coleta. A corda amarra a poita em sua extremidade e a outra é amarrada na embarcação, tendo a função de ancoragem do barco (Figura 12A). A poita é um corpo pesado que serve para diminuir a movimentação da embarcação na água (Figura 12B). Ao chegar ao ponto, joga-se a poita na água para que assim possa manter o barco no mesmo local, evitando que possíveis interferências como ondas ou ventos possam retirá-lo do lugar. Não são indicadas âncoras do tipo garatêa, pois ficam presas facilmente em paliteiros (muito comuns nos reservatórios brasileiros) ou em fundos rochosos.



Figura 12. Corda naval de ancoragem (Fig. A) e Poita (Fig. B). Fotos: Daniel Webber.

Equipamentos de proteção individual: São acessórios essenciais para executar trabalhos de campo de forma segura, haja vista a exposição ao sol, ondas, pisos escorregadios e insetos durante um longo período de tempo. Alguns itens básicos podem ser citados: protetor solar, repelente de insetos, botas de neoprene, vestimentas com fator de proteção UV (chapéu, blusa, calça, etc.) e colete salva-vidas homologado pela Marinha do Brasil.

Caixas térmicas com rodinhas: As caixas térmicas são muito importantes para o armazenamento dos frascos com as amostras em um ambiente de temperatura controlada, mantendo assim suas propriedades tão próximas quanto as originais.

Gelo em barra: É necessária a utilização de gelo em barra para manter controlada a temperatura das amostras coletadas. Não recomenda-se a utilização de gelo em cubos pois descongelam mais rapidamente (Figura 13).



Figura 13. Gelo em barra. Foto: Alexandre César.

Frascos de vidro esterilizados: Para o acondicionamento das amostras microbiológicas, são necessários frascos de 100 mL com tampa rosqueável. (Figura 14). Para coletar a água na superfície, mergulha-se a boca do frasco contra a corrente principal do local, tampando-o em seguida e armazenando na caixa térmica, tomando sempre cuidado para evitar o contato direto com qualquer parte interna do frasco, evitando assim alguma possível contaminação do mesmo. O número de frascos será definido de acordo com o número de pontos amostrais na camada superficial. Após a coleta, os frascos microbiológicos precisam ser enviados para análise em laboratório, em um período inferior a 24 horas¹ (tempo entre a coleta do parâmetro mais exigente e o início do ensaio no laboratório). As amostras não devem ser congeladas (CETESB, 2011).

1 Quando o laboratório de ensaios se encontra em local distante dos pontos de amostragens, recomenda-se que as amostras sejam compostas em períodos menores que 24 horas, devido aos tempos máximos para a realização de ensaios de alguns parâmetros, de forma a não exceder o prazo de validade da amostra (CETESB, 2011).



Figura 14. Frasco microbiológico esterilizado. Foto: Alexandre César.

Frascos de Polietileno: Para o acondicionamento das amostras de água, são necessários frascos de 1 litro com tampa lacrável para cada amostra de parâmetros físicos e químicos coletada (Figura 15). A definição da quantidade de frascos é escolhida de acordo com a quantidade de parâmetros requerida e a quantidade de pontos amostrais - ver tópico 6. Antes de dar início às coletas, é necessário rotular os frascos de polietileno com caneta de tinta permanente.



Figura 15. Frasco de polietileno para amostragem de água. Foto: Alexandre César.

Segundo CETESB (2011), a coleta da água da superfície é feita colocando o frasco contra a corrente a aproximadamente 0,20 m de profundidade da lâmina d'água. Com a ajuda da garrafa de Van Dorn são coletadas as amostras de meio e fundo, respectivamente, nos frascos de polietileno identificados como tal (p.e.: 01M, 01F). O prazo de validade das amostras de água coletadas em frascos de polietileno é de 24hs (considerando o parâmetro mais exigente).

Garrafa de Van Dorn: Esse equipamento permite a coleta de amostras em diversas profundidades na coluna d'água (Figura 16). Recomenda-se utilizar corda de 10 cm de espessura para facilitar o recolhimento da garrafa por seu operador. O comprimento da corda deve ser de acordo com a profundidade máxima do reservatório (geralmente 30m de comprimento já são suficientes).



Figura 16. Garrafa de Van Dorn. Foto: Alexandre César.

Sonda multiparamétrica: para análises da qualidade da água in situ, possuindo uma unidade de controle integrado e os multissensores que aferem diversos parâmetros (geralmente: ph, oxigênio dissolvido, temperatura, turbidez, condutividade, salinidade, sólidos totais dissolvidos e potencial de oxi-redução) de forma simultânea quando em contato com a água. Requer manutenção periódica (duas em duas semanas) e calibração sempre antes de utilizar.

Oxímetro: Mede até 300% de saturação, ou 45 PPM (mg/L) com compensação de temperatura e calibração automática. Requer calibração e manutenção periódica (duas em duas semanas).

Receptores de Sinal por Satélite: São aparelhos móveis de navegação por satélite, popularmente conhecidos como GPS. Estes equipamentos emitem sinais para estações de controle, que por sua vez enviam o sinal para satélites em órbita mais próxima. Os satélites fazem cálculos de triangulação para retornar o sinal emitido com as coordenadas geográficas do local em que o aparelho se encontra, permitindo que o usuário localize sua posição. São requisitos mínimos destes equipamentos: emitir e receber sinais em qualquer região do globo terrestre, em qualquer condição climática e em regiões próximas a morros e copas de árvores. É sempre recomendável trazer 2 aparelhos para o trabalho de campo, a fim de evitar possíveis imprevistos, como falha de um aparelho ou que a carga de energia de um se acabe. O uso dos receptores de sinal de satélite facilitam sobremaneira a identificação e navegação até os pontos de amostragem, sem que para isso seja necessário fazer o apoitamento de bóias de sinalização. Estes instrumentos permitem economizar, mas é necessário cuidado, considerando que a grande maioria dos receptores de sinal GPS e Glonass apresentam margem de erro (aproximadamente 3 metros).

Disco de Secchi de Ferro Galvanizado com 30 cm de raio e cabo de 10 metros: Para aferir a transparência, o operador mergulha o disco de Secchi (Figura 17) em posição vertical até que as cores preta e branca do disco não sejam mais identificadas a olho nu. Quando este limite é verificado, o operador marca na corda graduada a distância de transparência em centímetros e, em seguida, anota na planilha de registros de dados.



Figura 17. Disco de Secchi de ferro galvanizado. Foto: Alexandre César.

Planilha de registro de dados: Esta tabela permite descrever informações sobre parâmetros medidos com equipamentos mecânicos (p.e. transparência de Secchi), profundidade do ponto de coleta, presença de sólidos em suspensão, óleos, graxas, etc. Além disso, pode ser uma cópia de segurança dos dados obtidos em sondas e oxímetros e ainda um local para armazenar informações sobre as condições climáticas do momento da coleta, observações relevantes do local de coleta que influenciem nas análises de laboratório (p.e. presença de algas macrófitas no local). A Figura 18 apresenta um modelo de planilha de anotações para o campo.

PLANILHA DE CONTROLE PARA AMOSTRAGEM DE ÁGUA										
Corpo Hídrico: Reservatório de Serra da Mesa										
Local: Parque 1										
Descrição: Cultivo de Tambaquis em 20 Tanques-rede										
Data: 21/11/2015										
Nome do ponto	Horários da Coleta	Profundidade do local (m)	Profundidade da Coleta (m)	Transparência de Secchi (m)	Presença de Sólidos em suspensão	Presença de óleos, graxas, corantes	Odor	Outros parâmetros	Características Climáticas	Observações
A		15	10	2	Não	Não	Não	ph=6,0	Chuva moderada, temp. do ar = 29° C	Ponto e jusante do cultivo próximo à calha original do rio
B		7	0,2	2,5	Não	Não	Sim	ph=5,0	Sem Chuvas, temp. do ar = 35° C	Ponto a montante do cultivo

Figura 18. Planilha de anotações para controle de amostragem de água.

Análises laboratoriais

É recomendável que as análises laboratoriais dos parâmetros não mensuráveis *in situ* sejam realizadas por laboratório especializado. Neste sentido, o produtor ou técnico de empresa fiscalizadora/pesquisa deverá exigir do laboratório contratado que as análises estejam de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). Além disso, os laboratoristas deverão utilizar os mesmos tipos de reagentes durante todo o monitoramento, para evitar inconsistências nos resultados.

Interpretação de dados de qualidade de água da aquicultura em reservatórios continentais

A interpretação correta dos dados de qualidade de água deve ser coerente com a estratégia amostral previamente definida. O responsável técnico precisa ter a preocupação de correlacionar as análises dos parâmetros físicos, químicos e biológicos aos fatores involuntários do meio ambiente onde o cultivo está inserido (externalidades) e à fatores internos provocados pelo manejo do cultivo. É a partir da interpretação dos dados que o produtor irá subsidiar suas tomadas de decisão quanto às fases de planejamento, implantação e funcionamento do empreendimento.

As externalidades podem estar relacionadas a alguns fatores como: radiação solar que o reservatório está submetido, incidência de pistas de ventos, regime de chuvas da região, características geomorfológicas e pedológicas do local, tempo de residência e variações nas cotas do reservatório e/ou ainda possíveis contaminações provocadas por outros usuários à montante e no entorno do cultivo. Já os aspectos internos podem estar relacionados à densidade de estocagem, ao arraçoamento, a conversão alimentar das espécies cultivadas, entre outros fatores ligados ao manejo do cultivo.

Os dados de qualidade de água podem ser analisados temporalmente e espacialmente, utilizando-se para isso métodos estatísticos e/ou geostatísticos para avaliar os parâmetros de forma conjunta ou separadamente. A disponibilidade de dados brutos (séries históricas), de infraestrutura, de recursos humanos e financeiros é que indicarão a possibilidade destas análises. Em virtude da importância destas interrelações, os próximos tópicos serão voltados à compreensão e detalhamento de cada um destes tipos de análises.

Análise Temporal de Qualidade de Água

As análises temporais de qualidade de água permitem avaliar um determinado fenômeno ou comportamento no meio aquático ao longo do tempo. Citando um exemplo, Breda (2011) utilizou a análise temporal para avaliar a evolução da qualidade da água do rio Grande (bacia hidrográfica do rio Paraná, região sul do estado de Minas Gerais) face à implantação do barramento, e conseqüente formação de um reservatório (Figura 19), bem como os demais fatores que podem influenciar na qualidade das águas. Neste estudo, foram utilizados dados quadrimestrais (período chuvoso, seco e intermediário) de 2001 a 2009 (Figura 20), sendo representado o cenário de rio (pré-enchimento) e pós-barramento (reservatório). Breda (2011) descreveu que apesar de verificada influência da construção do barramento nos parâmetros físico-químicos, não houve riscos sobre o uso das águas decorrentes da alteração de sua qualidade no reservatório analisado.



Figura 19. Reservatório formado a partir do barramento do Rio Grande, MG (BREDA (2011)).

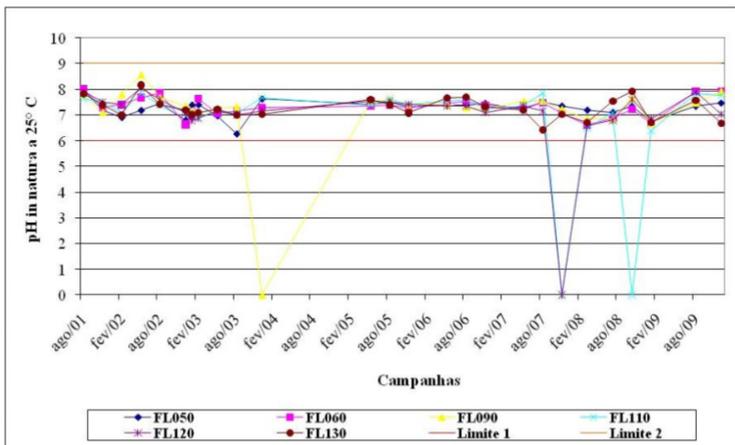


Figura 20. Comportamento do pH antes e após a construção do barramento se manteve na faixa dos 6,5 a 8,5, durante um período de 8 anos. As amostras com pH=0 devem ser desconsideradas pois tratam-se de problemas no sensor deste parâmetro durante a coleta (BREDA (2011)).

Outra análise temporal passível de ser realizada é o monitoramento da qualidade da água durante um ano de cultivo de uma determinada espécie de pescado cultivada, ou ainda de cada fase do cultivo, que varia de acordo com a espécie cultivada. Esta análise permite identificar as diferentes concentrações de efluentes oriundos do cultivo durante

as estações do ano existentes na região estudada, tendo em vista que a temperatura, a precipitação e outros fatores climáticos sazonais podem influenciar na zona de mistura e diluição dos efluentes do cultivo.

Outro uso bastante útil desse tipo de análise é o cálculo de capacidade suporte de um corpo hídrico, no qual as análises limnológicas temporais em conjunto com a interpretação de outros aspectos ambientais, sociais e econômicos dão o subsídio necessário para a tomada de decisão dos gestores. Nesses estudos, a produção máxima de pescados pode ser calculada a partir da identificação de padrões de qualidade de água do corpo hídrico em séries históricas consistentes (preferencialmente 36 meses consecutivos, ou superior), definindo-se limites de inputs de nutrientes na água (principalmente fósforo total e nitrogênio total), sem que com isso os limites dos parâmetros mensurados sejam ultrapassados e provoquem impactos ambientais negativos.

Análise Espacial de Qualidade de Água

Análises espaciais de qualidade de água, também conhecidas como análises de variação horizontal, são comumente utilizadas para avaliar a escolha de áreas aptas para instalação de tanques-rede e demarcação de parques aquícolas.

A NeoCorp (2011), no intuito de espacializar as informações de qualidade de água do reservatório de Lajeado-TO elaborou mapas da distribuição espacial das variáveis físico-químicas de interesse (ph, temperatura, oxigênio dissolvido, turbidez, transparência, alcalinidade, condutividade, dureza, clorofila-a, fósforo, ortofosfato, amônia, nitrato e nitrito). Para tanto, foram efetuadas interpolações matemáticas com os dados brutos dos 14 parâmetros nos 44 pontos amostrados na campanha de reconhecimento. A interpolação foi realizada no *software* SURFER 8.0 (GOLDEN SOFTWARE) por meio do método de Krigagem (Kriging - SURFER 8.0). A krigagem usa informações a partir de um semivariograma para encontrar os pesos ótimos a serem associados às amostras com valores conhecidos no intuito de estimar pontos desconhecidos. Este método compreende uma série de análises de regressão a fim de minimizar a variância estimada a partir de

um modelo prévio, considerada a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço (LANDIM; STURARO, 2002). Os mapas gerados com o método de interpolação proposto referem-se aos dados limnológicos obtidos na campanha realizada pela NeoCorp.

Com base na metodologia proposta, a NeoCorp gerou mapas para todas as variáveis levantadas em campo e analisadas em laboratório, sendo exemplificado na Figura 21, o mapa da análise espacial (variação horizontal) do parâmetro temperatura (°C).

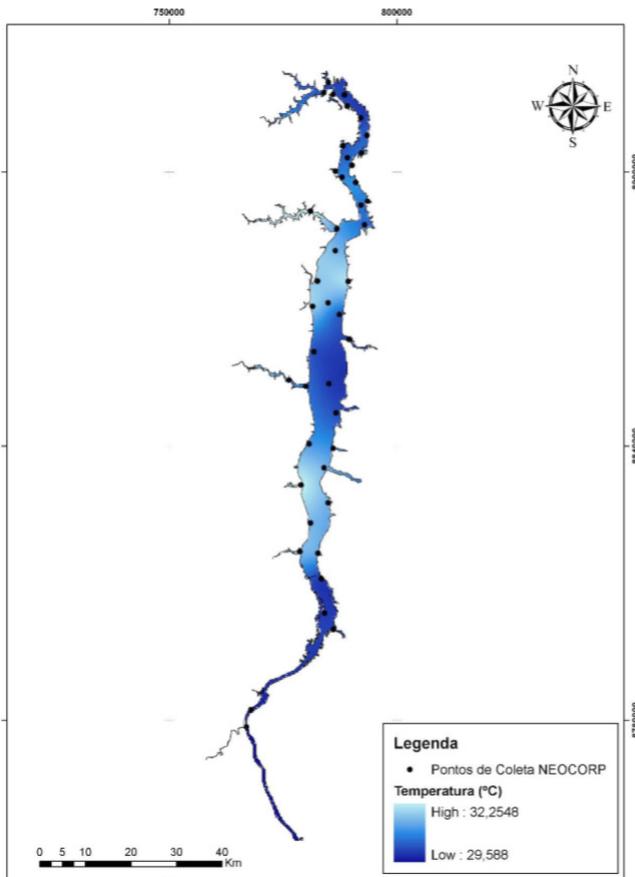


Figura 21. Análise Espacial do parâmetro temperatura (°C) no reservatório de Lajeado. Fonte: NeoCorp (2011).

Assim, a partir das análises espaciais e da classificação de zonas propostas por Kimmer e Goerge (2000), foi possível identificar que nas zonas de rio (faixas mais estreitas nas porções sul e no norte do reservatório) as temperaturas são mais baixas do que nas zonas de transição e lacustre, devido ao menor tempo de residência e menor área laminar nestas áreas do reservatório.

A Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI, em estudo de caso para determinar os Planos Locais de Desenvolvimento da Maricultura (PLDM) da Ilha de Florianópolis (SC), empregou dois métodos de interpolação (krigagem e por densidade) do software ARCGIS ©ESRI a partir dos dados brutos de salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido, pH, turbidez, % de carbono, % de enxofre, % de nitrogênio, % de matéria orgânica e coliformes fecais. O resultado é uma superfície contínua que deve ser interpretada como influência do parâmetro físico, químico ou microbiológico no interior da baía sul de Florianópolis através da análise de distância ponderada pelos valores do parâmetro. As zonas geradas pela interpolação que estavam acima dos limites da Resolução CONAMA nº 357 eram consideradas como não-aptas a aquicultura.

Índices de qualidade de água comumente utilizados para reservatórios

Devido à complexidade dos ecossistemas lacustres, considerando suas diferentes características e usos múltiplos, a utilização de índices de qualidade de água é de grande importância para diagnosticar e monitorar a evolução da qualidade do corpo aquático ao longo do tempo. O desenvolvimento de ferramentas para o gerenciamento integrado desses ecossistemas deve auxiliar a tomada de decisão para a proposição de medidas mitigatórias. De acordo com Dotto et al. (1996), os índices de qualidade de água podem ser vistos como ferramentas para avaliar o planejamento de um local, possibilitando o estudo da tendência histórica da qualidade da água e a elaboração de programas de gerenciamento hídrico.

Diferentes indicadores de qualidade de água foram desenvolvidos para a finalidade de abastecimento humano e para avaliar o grau de trofia de corpos d'água, porém até o momento não há relatos de estudos voltados ao desenvolvimento de um indicador de qualidade de água preciso para o planejamento e monitoramento da aquicultura.

A seguir, nos próximos tópicos veremos alguns exemplos de índices de qualidade de água mais utilizados no Brasil e no mundo.

Índice de Estado Trófico – IET

A caracterização do estado trófico de sistemas aquáticos tem como objetivo simplificar uma série de parâmetros em valores inteiros, fáceis de entendimento pelo público, tornando-se uma ferramenta utilizada para o gerenciamento da qualidade de água para comunidade científica.

O IET foi desenvolvido por Carlson (1977) com o objetivo de tornar mais clara a comunicação de estudos envolvendo a eutrofização e a classificação de corpos aquáticos. Ele é um método de classificação de corpos d'água em diferentes graus de trofia (oligotrófico, mesotrófico e eutrófico), ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas (CETESB, 2011). As três variáveis consideradas para o cálculo do IET são: clorofila-a, fósforo total e transparência.

Toledo Jr. et al. (1983) adaptou o IET de Carlson (1977) para avaliar o grau de eutrofização em corpos d'água de regiões de clima subtropical, haja vista que o mesmo era voltado apenas para regiões temperadas. Nesta adaptação, mais um parâmetro químico foi adicionado, o fosfato (PO_4^{3-}). Toledo Jr. (1990) aprimorou o indicador criando mais duas classes de trofia (ultraoligotrófico e hipereutrófico).

Lamparelli (2004) desenvolveu diferentes IET para rios, reservatórios e lagos do Estado de São Paulo, nos quais integra o tempo de residência (função temporal do volume útil do reservatório e o fluxo de saída necessário para a troca completa da água, calculada em ano ou dias)

como parâmetro para definir o grau de trofia. Este índice desenvolveu mais uma classe de trofia, a classe supereutrófico. Nesse índice, os resultados correspondentes ao fósforo, IET(P), devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo. A avaliação correspondente à clorofila-a, IET(CL), deve ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando de forma adequada o nível de crescimento de algas (CETESB, 2011).

Ressalta-se que a CETESB adota apenas as variáveis fósforo total e clorofila-a para o cálculo do IET. A instituição indica que os valores de transparência muitas vezes não são representativos no estado de trofia, sendo afetada pela elevada turbidez decorrente de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos (CETESB, 2011). As fórmulas para o cálculo do IET para clorofila-a e fósforo total em reservatórios, são mostradas a seguir:

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((0,92 - 0,34 \times (\ln \text{CL})) / \ln 2))$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \times (6 - (1,77 - 0,42 \times (\ln \text{PT})) / \ln 2)$$

Onde:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em mg.L^{-1} ;

CL: concentração de clorofila-a medida à superfície da água, em mg.L^{-1} ;

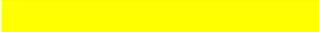
ln: logaritmo natural.

$$\text{IET} = [\text{IET (PT)} + \text{IET (CL)}] / 2$$

Na interpretação dos resultados, os pontos serão classificados conforme os resultados obtidos para o IET anual. Assim, para cada ponto, as médias geométricas das concentrações de fósforo total e clorofila-a serão utilizadas para cálculo do IET(PT) e IET(CL) anual, sendo o IET final resultante da média aritmética simples dos índices anuais relativos ao fósforo total e a clorofila-a (CETESB, 2011). O

Quadro 2 mostra a classificação do IET, com os respectivos critérios e cores.

Quadro 2. Classificação do Estado Trófico para rios segundo Índice de Carlson Modificado.

Estado Trófico	Critério	Cor correspondente
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	
Superutrófico	$63 < IET \leq 67$	
Hipereutrófico	$IET > 67$	

Fonte: CETESB (2011).

Índice de Qualidade de Água para Reservatórios – IQAR

Visando atender monitoramentos limnológicos sistemáticos otimizados, racionais e de baixo custo, o Instituto Ambiental do Paraná – IAP (2004) desenvolveu com bases científicas consistentes um método para conhecer as principais características ecológicas de reservatórios do estado do Paraná, determinando a qualidade das águas e sua tendência ao longo do tempo. Nesse sistema, o grau de comprometimento dos reservatórios é estabelecido e medidas de saneamento e manejo (profiláticas ou terapêuticas) são sugeridas visando conservar ou recuperar a qualidade das águas destes ecossistemas em função dos seus usos múltiplos. (FORNAROLLI-ANDRADE et al., 1994).

Diferente dos IETs para reservatórios, o IQAR requer coletas em diferentes profundidades (superfície, meio e fundo) e emprega outros parâmetros físico-químicos, como: déficit de oxigênio dissolvido (%), demanda química de oxigênio – DQO (mg/L), nitrogênio inorgânico total (N-mg/L), profundidade do local (m), tempo de residência (dias) e cianobactérias (nº de células/mL). A inclusão destes parâmetros, principalmente os físicos, somado aos de fósforo total, clorofila a e transparência, torna este indicador de degradação da água uma ferramenta robusta e indicada para classificar reservatórios, tendo

em vista que estes corpos d'água apresentam zonas com diferentes dinâmicas de fluxo hídrico.

Antes de ser calculado o índice, os valores dos parâmetros analisados nos reservatórios são enquadrados numa matriz desenvolvida pelo IAP que apresenta seis classes de qualidade da água (Quadro 3), as quais foram estabelecidas a partir do cálculo dos percentis 10%, 25%, 50%, 75% e 90% de cada uma das variáveis selecionadas (IAP, 2004).

Quadro 3. Matriz das seis classes de qualidade de água do IQAR desenvolvido pelo IAP (IAP, 2004).

Variáveis	Classes de qualidade (q)					
	1	2	3	4	5	6
Déficit de Oxigênio dissolvido (%)	≤5	6-20	21-35	36-50	51-70	>70
Clorofila a (µg/L)	≤1,5	1,5-3,0	3,1-5,0	5,1-10,0	11,0-32,0	>32
Fósforo total (PO ₂ -mg/L)	≤0,010	0,011-0,025	0,026-0,040	0,041-0,085	0,086-0,210	>0,210
Profundidade – Disco de Secchi (m)	≥3	3-2,3	2,2-1,2	1,1-0,6	0,5-0,3	<0,3
Demanda química de oxigênio – DQO (mg/L)	≤3	3-5	6-8	9-14	15-30	>30
Tempo de residência (dias)	≤10	11-40	41-120	121-365	366-550	>550
Nitrogênio inorgânico total (N-mg/L)	≤0,15	0,16-0,25	0,26-0,60	0,61-2,00	2,00-5,00	>5,00
Cianobactérias (nº de células /mL)	≤1.000	1.001-5.000	5.001-20.000	20.001-50.000	50.001-100.000	>100.000
Profundidade média (metros)	≥35	34-15	14-7	6-3,1	3-1,1	<1

Para calcular o IQAR, as variáveis selecionadas recebem pesos em função do seu nível de importância para a avaliação da qualidade da água (Tabela 2):

Tabela 2. Variáveis e respectivos pesos para avaliação da qualidade da água no reservatório (IAP, 2004).

Parâmetro de Qualidade de Água	Pesos
Déficit de Oxigênio Dissolvido (%) ¹	17
Clorofila-a (µg/L)	15
Fósforo total (PO ₂ -mg/L) ²	12
Profundidade Secchi (m)	12
Demanda química de oxigênio – DQO (mg/L) ²	12
Tempo de Residência (dias)	10
Nitrogênio inorgânico total (N-mg/L) ²	8
Cianobactérias (nº de células /mL) ³	8
Profundidade média (metros)	6
Total	100

¹média da coluna d'água;

²média das profundidades superfície e coluna d'água;

³concentração da profundidade superfície.

O IQAR é calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{IQAR: } \frac{\sum (w_i \cdot q_i)}{\sum w_i}$$

sendo,

w_i = peso da variável i;

q_i = classe de qualidade em relação a variável i (pode variar de 1 a 6).

Os valores do IQAR são classificados em seis faixas, conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Valores do Índice de Qualidade de Água para Reservatórios do IAP (IAP, 2004).

Parâmetro de Qualidade de Água	Pesos
0 – 1,50	Não impactado a muito pouco degradado
1,51 – 2,50	Pouco degradado
2,51 – 3,50	Moderadamente degradado
3,51 – 4,50	Criticamente degradado a poluído
4,51 – 5,50	Muito poluído
> 5,51	Extremamente poluído

O índice de qualidade de água para a proteção da vida aquática - IVA (Zagatto et al., 1999) tem como objetivo a avaliação da qualidade das águas visando a proteção da fauna e flora aquáticas. O IVA é composto por dois sub-índices:

- IPMCA - Índice de Parâmetros Mínimos para a Preservação de Comunidades Aquáticas: Considera a concentração de substâncias que causam efeito tóxico sobre os organismos aquáticos. Os limites dos parâmetros foram determinados pela Resolução CONAMA nº 357 para as classes de enquadramento que se destinam à preservação da vida aquática (Tabela 4).

Tabela 4. Índice de parâmetros mínimos para a preservação de comunidades aquáticas (IPMCA) (ZAGATTO et al., 1999).

IPMCA	Qualidade da Água
1	Boa
2	Regular
3 e 4	Ruim
≥ 6	Péssima

- IET - Índice do Estado Trófico de Carlson modificado por Toledo (Tabela 5).

Tabela 5. Índice de estado trófico (IET) (ZAGATTO et al., 1999).

IET	Qualidade da Água
1	Oligotrófica
2	Mesotrófica
3	Eutrófica
4	Hipereutrófica

O IVA é calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{IVA} = (\text{IPMCA} \times 1,2) + \text{IET}$$

Quando não houver o valor do IET, o mesmo é considerado igual a 1.

Os valores do IVA são classificados nas seguintes faixas (Tabela 6).

Tabela 6. Valores do índice para proteção da vida aquática (IVA) (ZAGATTO et al., 1999).

Valor do IVA	Qualificação
$\leq 2,5$	Ótima
$2,6 \leq IVA \leq 3,3$	Boa
$3,4 \leq IVA \leq 4,5$	Regular
$4,6 \leq IVA \leq 6,7$	Ruim
$IVA > 6,8$	Péssima

Índice da Comunidade Zooplanctônica para Reservatórios (ICZ RES)

O Índice da Comunidade Zooplanctônica para Reservatórios - ICZ RES foi desenvolvido por pesquisadores da CETESB, com a finalidade de subsidiar a avaliação do estado trófico de alguns reservatórios do Estado de São Paulo. Este índice leva em consideração a presença ou ausência dos grupos principais e relaciona a razão entre o número total de calanóides (NCal) - indicador de melhor qualidade da água (MATSUMURA-TUNDISI, 1999 apud OLIVEIRA et al., 2011) e o número total de ciclopóides (NCyc) – indicador de ambientes altamente eutróficos (SAMPAIO et al., 2002 apud OLIVEIRA et al., 2011), com o respectivo IET, calculado com base nas concentrações de clorofila-a.

Estes dois índices (razão NCal/NCyc e IET) são então associados com categorias de qualidade da água: Boa, Regular, Ruim e Péssima, conforme apresentado na figura 23.

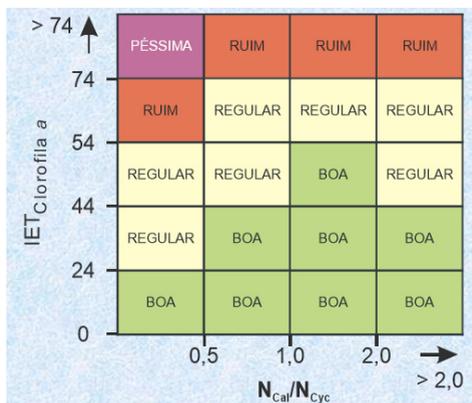


Figura 23. Escala de eutrofização da água através do ICZ RES (ZAGATTO et al., 1999).

Considerações finais

De modo geral, considera-se que os assuntos abordados neste documento podem subsidiar alterações nas políticas públicas brasileiras referentes ao uso e monitoramento da qualidade de água para aquicultura, considerando as lacunas e divergências entre diferentes instrumentos normativos atualmente vigentes. O conteúdo desta publicação elucidou aspectos relativos ao programa de monitoramento de qualidade de água para a aquicultura em reservatórios continentais até então não bem esclarecidos pela legislação vigente, servindo como um instrumento complementar a esta que pode ser utilizado pelo público-alvo da publicação, representado por produtores, órgãos reguladores da aquicultura em águas da União, de fiscalização ambiental, bem como instituições de ensino e pesquisa, no sentido de auxiliar a sustentabilidade da aquicultura nacional em reservatórios continentais.

As técnicas de planejamento e execução do monitoramento da qualidade de água descritas neste documento poderão auxiliar na padronização de procedimentos, trazendo informações que reflitam as reais condições do ambiente, tornando o controle ambiental mais eficiente e garantindo a sustentabilidade da produção aquícola.

Por outro lado, verifica-se ainda a necessidade de se compatibilizar a legislação brasileira que estabelece os limites de parâmetros para corpos hídricos com finalidade de aquíicultura à instrução normativa que define as regras de monitoramento da aquíicultura em reservatórios. Assim, recomenda-se que a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) defina melhor as características de ambientes lóticos e seus respectivos limites de parâmetros, uma vez que as zonas de rio de um reservatório não podem ser comparadas a de cursos d'água externos a reservatórios (p.e. córregos, corredeiras, cachoeiras, ribeirões, etc). Soma-se a isso a necessidade de atualização da legislação vigente, no que diz respeito aos limites de parâmetros estabelecidos para reservatórios tropicais onde a aquíicultura é pretendida.

A metodologia sugerida para identificar a área de influência permite gerar subsídios técnicos para desenvolver o programa de monitoramento ambiental de atividade aquícola.

Considerando os indicadores de qualidade de água, identifica-se como de extrema necessidade o desenvolvimento de um índice de qualidade de água específico para fins de aquíicultura em reservatórios continentais tropicais, uma vez que os existentes são voltados ao uso da água para outros fins (p.e. abastecimento público).

Referências

APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21^o ed. Washington (USA), 2005, 1162p.

ARARIPE, H.G.A.; LOPES, J.B.; FRANÇA SEGUNDO, L.; ARARIPE, M.N.B.A. Efeito do Cultivo de Peixes em Tanques-rede sobre o aporte de fósforo para o ambiente. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 8, n. 2, 2006.

AZEVEDO, P.A.; PODEMSKI, C.L.; HESSLEIN, R.H.; KASIAN, S.E.M.; FINDLAY, D.L., BUREAU, D.P. Estimation of waste outputs by a rainbow

trout cage farm using a nutritional approach and monitoring of lake water quality. **Aquaculture**, vol. 311, p. 175-186, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília : Funasa, 2014, 112 p.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.**

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 413, de 26 de junho de 2009.**

BREDA, L. S. **Avaliação espaço – temporal da qualidade da água do reservatório da usina hidrelétrica de Funil – Região Sul de Minas Gerais** [manuscrito] / Luís de Souza Breda .- 2011 xvii, 294 f., enc. : il.

BUENO, G.W. **Impacto ambiental do fósforo em rações para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. 2011. 64p. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca do Centro de Engenharias e Ciências Exatas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná.

BUENO, G. W.; MATOS, F. T. de; CANZI, C.; OSTRENSKY, A.; SAMPAIO, M. B.; BARONE, R. S. C.; ROUBACH, R. A capacidade de suporte: produção de peixes cultivados em reservatórios: bases conceituais (Parte I). **Panorama da Aqüicultura**, Rio de Janeiro, n. 126, p. 48-63, jul./ago. 2011.

CALIJURI, M.C.; DEBERDT, G.L.B.; MONOTI, R.T. **A produtividades primária pelo Fitoplâncton na Represa de Salto Grande**. In: Henry, R. (Ed.). *Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais*. Botucatu: FUNDIBIO. São Paulo: FAPESP. cap. 5. p. 111-148. 1999.

CARLSON, R.E. **A trophic state index for lakes**. *Limnology and Oceanography* Vol 22 (2) p. 361-369. 1977.

CARPENTER; S.R; BENNETT, E. Reconsideration of the planetary boundary for phosphorus. *Environmental Research Letters*. vol 6., 2011.

CETESB - Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e Defesa do Meio Ambiente. Guia Nacional De Coleta E Preservação De Amostras Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas E Efluentes Líquidos. 2011. 327 p. Disponível em: <<http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/guia-nacional-coleta-2012.pdf>>. Acesso: 02 maio 2016

CORDEIRO, S. F. O. **Avaliação do grau de trofia as águas do Reservatório da UHE Barra dos Coqueiros**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia. UFG. Jataí, 2013.

CORRELL, D. L. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 27, p. 261- 266, 1998.

CYRINO, J. E. P.; BICUDO, Á. J. A.; SADO, R.Y.; BORGHESI, R.; DAIRIKI, J.K. 2010. A piscicultura e o ambiente – o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 39, p. 68-87, 2010

DOTTO, S.E.; SANTOS, R.P. DOS; SINGER, E. Determinação de um índice de qualidade de água para algumas culturas irrigadas em São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 1, p. 193-200. 1996.

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

FORNAROLLI - ANDRADE, L; XAVIER, C.F.; BRUNKOW, R.F.; TREUERSCH, M. 1994. **Sistema de Avaliação, Classificação e Monitoramento de Qualidade das Águas de Reservatórios do Estado do Paraná**. I Seminário de qualidade de Águas Continentais no Mercosul - Anais. Porto Alegre, Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. p. 333 - 342.

GALLO, L.A.; BASSO, L.C. 2013. **O Nitrogênio e o ciclo do Nitrogênio**. Departamento de Ciências Biológicas. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ, Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://docentes.esalq.usp.br/luagallos/nitrogenio.htm>>. Acesso em: 13 Jul. 2016

GENTIL, W.B., Topobatimetria e Sedimentação no Reservatório da Usina Hidrelétrica de Caçu - Goiás [manuscrito] / Wnaderlubio Barbosa Gentil - 2015. XI, 79 f.: il.

HUTCHINSON, G. E.A. **Treatise on Limnology**, vol. I, Geography and Physics of Lakes. 1975. 540 p.

IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná, no período de 1999 a 2004**. Curitiba, 2004.13p.

IMBERGER, J. **Transport processes in lakes: A review**. 1994.

IMBERGER, J.; PATTERSON, J. C. Physical limnology. **Advances in applied mechanics**, v. 27, p. 303-475, 1990.

KIMMEL, Bruce L.; GROEGER, Alan W. Factors controlling primary production in lakes and reservoirs: a perspective. **Lake and reservoir management**, v. 1, n. 1, p. 277-281, 1984.

LAMPARELLI, M.C. Graus de Trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: Avaliação dos Métodos de Monitoramento. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo – USP. Departamento de Ecologia. 2004.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro: Unesp. Lab. Geomatemática, 2002. 20 p. (Texto Didático 06). Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/geologia/GAA01001/aulas_files/kindicativa.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2014.

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. Piracicaba: ANDA/POTAFÓS, 1989. 153p.

MACEDO, C.F.; SIPAÚBA-TAVARES, L.H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: conseqüências e recomendações. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, 36 (2) 149-163, 2010.

MATSUMURA-TUNDISI, T. 1999. **Diversidade de zooplâncton em represas do Brasil**. In: Henry, Raoul (Ed.). Ecologia de reservatórios:

estrutura, função e aspectos sociais. Botucatu: FAPESP/FUNDIBIO, p. 41-54.

NEOCORP CONSULTORIA LTDA. Estudos para a Demarcação de Parques Aquícolas no Reservatório de Lajeado localizado no Estado do Tocantins: Produto 1. Relatório Técnico. 2011.

OLIVEIRA, L.L.D., LEITE, M.A., ROCHA, O. **Caracterização da comunidade Zooplanctônica do Reservatório de Ilha Solteira e sua aplicação em índices de qualidade de água.** I Simpósio Internacional de Ecologia, Universidade Federal de São Carlos. SP, 2011.

PELLEGRINI, J.B.R. 2005. **Fósforo na água e no sedimento da Microbacia do Arroyo Lino, Agudo, RS.** Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Químicos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS).

RUAS, A. L. **Avaliação das alterações da qualidade de águas tropicais decorrentes da instalação de barramentos para fins de geração de energia elétrica – estudo de caso do rio Pomba.** 280 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SAMPAIO, E. V.; ROCHA, O.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J. G. 2002. Composition and abundance of zooplankton in the limnetic zone of seven reservoirs of the Paranapanema river, Brazil. **Braz. J. Biol.**, 62 (3): 525-545

Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca – SEAP. 2007. Planos Locais de Desenvolvimento da Maricultura – PLDM's de Santa Catarina. Brasília, DF.

STRASKRABA, M; TUNDISI, J.G. 1999. Reservoir Ecosystem Functioning: Theory and Applications. In: Straskraba, M. e Tundisi, J.G. (Eds.) *Theoretical Reservoir Ecology and its applications*, p. 565-597. Leiden, Holanda: Backhuys.

TOLEDO Jr., 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: *Anais do 12º Congresso Brasileiro*

de *Engenharia Sanitária*. Camboriú, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. Camboriú (SC) 34p. 1983.

TOLEDO, Jr., A. P. **Informe preliminar sobre os estudos para obtenção de um índice para a avaliação do estado trófico de reservatórios de regiões quentes tropicais**. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (Relatório CETESB), 1990. 12 p. + 32 figuras.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Lagos e reservatórios – Qualidade da água: O impacto da eutrofização**. (tradução), vol. 3. São Paulo: UNEP/IETC/ILEC/IIIE, 2002.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2008. 632 p.

VIDAL, M.M. **O Papel da Usina Hidrelétrica do Funil na Acumulação de Mercúrio**. Dissertação [Mestrado]. Curso de Pós-graduação em Geociências (Geoquímica). Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ. 2012. 97p.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 2ª Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 1996. 243p.

WACHHOLZ, F. Alterações espectrais nas imagens de satélite nos reservatórios das usinas hidrelétricas Caçu e Barra dos Coqueiros – GO. *Geonorte*, v. 1, n.4, p. 1170-1179, 2012.

ZAGATTO, P. A.; LORENZETTI, M. L.; LAMPARELLI, M. C.; SALVADOR, M. E. P.; MENEGON JR., N.; BERTOLETTI, E. 1999. Aperfeiçoamento de um índice de qualidade de águas. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 11(2): 111-126.

Embrapa

Pesca e Aquicultura

MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO**



CGPE 13329