



UFG

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
CAMPUS DE JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

SUSY FERREIRA OLIVEIRA CORDEIRO

**AVALIAÇÃO DO GRAU DE TROFIA DAS ÁGUAS DO RESERVATÓRIO DA
USINA HIDRELÉTRICA BARRA DOS COQUEIROS - GO**

JATAÍ, 2013

SUSY FEREIRA OLIVEIRA CORDEIRO

**AVALIAÇÃO DO GRAU DE TROFIA DAS ÁGUAS DO RESERVATÓRIO DA
USINA HIDRELÉTRICA BARRA DOS COQUEIROS - GO**

Apresentado ao Programa de Pós-Graduação em
Geografia/PPG-GEO Stricto Sensu da
Universidade Federal de Goiás - Campus
Jataí/CAJ-UFG, para a obtenção do título de
mestre, sob orientação do Prof. Dr. João Batista
Pereira Cabral.

JATAÍ, 2013

AGRADECIMENTOS

Ao findar mais uma importante etapa de minha vida, muitos agradecimentos se fazem necessários.

Inicialmente agradeço a toda equipe do laboratório de Geociências, Celso Braga, Pollyana Nogueira, Makele Rosa, Hudson Moraes, Isabel Rocha, Assunção Barcelos, ao motorista Aureliano Neto, todos vocês foram fundamentais nos nossos trabalhos. Agradeço a todos que participaram dos trabalhos de campo e enfrentaram calor escaldante, chuva, frio, ondas fortes, ventos e poeira, temporais, motores quebrados, equipamentos perdidos. A dedicação de cada um foi fundamental.

Agradeço ao Dr. Flávio Wachholz, pela sua disposição em avaliar e por seus ensinamentos. Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa e Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho pela participação na banca de defesa.

E no comando desta valorosa equipe esteve o professor Dr João Batista Pereira Cabral, ao qual devo os meus mais sinceros agradecimentos. Certamente sem sua orientação, amizade, confiança e conhecimentos seria impossível tal feito.

Agradeço imensamente a toda minha família, minha irmã Fabélia Oliveira e Alex Oliveira, especialmente aos meus pais Adauto Godart de Oliveira e Francisca Ferreira de Oliveira, pelo apoio e incentivo e por ser companhia e educadores dos meus filhos em tantos momentos de ausência devido as atividades acadêmicas desenvolvidas até aqui. E aos meus filhos Mayane e Nathan pela compreensão dos muitos momentos em que tive ausente e pelos incentivos que mesmo com pouca idade tem muita maturidade, vocês sempre foram meus principais estímulo para esta conquista.

Ao meu esposo Vinicius Sandri que me apoiou e suportou os momentos de estresses e ausência pelos trabalhos de campo e de laboratório, por todo seu amor, incentivo, atenção e companhia nos momentos de alegria e de tristeza. A minha irmã Suzeli que é exemplo de força e coragem para enfrentar as dificuldades e os problemas que a vida nos traz.

Por fim e acima de tudo e de todas as coisas, agradeço a Deus. Sem tua bondade e proteção eu nada seria.

Agradeço a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

RESUMO

A crescente demanda energética fez com que houvesse um aproveitamento de parte do potencial hídrico energético do Brasil, e nesse contexto o aproveitamento da bacia do Rio Claro, um dos principais afluentes da bacia do rio Paranaíba, localizado na região sul do estado de Goiás também se enquadrrou, e é alvo deste estudo o reservatório da usina hidrelétrica Barra dos Coqueiros, situado na porção média desta bacia. O enriquecimento da água em nutrientes é denominado eutrofização, e a medida desta são através do cálculo do Índice do Estado Trófico (IET). O objetivo da presente pesquisa, é avaliar e classificar IET do reservatório da Usina Hidrelétrica Barra dos Coqueiros através do método proposto de Carlson (1977), e modificado por Toledo (1984) e Lamparelli (2010) em dois períodos distintos, seco (julho de 2012) e chuvoso (janeiro de 2013). As variáveis analisadas são: fósforo, clorofila *a* e profundidade da transparência de Secchi, as quais foram aplicadas nas equações propostas por cada um dos métodos. O IET da variável clorofila *a*, predominou duas classes em todas as propostas nos dois períodos analisados, que foi oligotrófico e mesotrófico. O IET total na proposta de Carlson (1977) e Toledo (1983) teve pouca variação teve predomínio oligotrófico e mesotrófico no período seco e eutrófico e mesotrófico no período chuvoso. Já na proposta de Lamparelli (2004) todas as classes foram diagnosticadas nos dois períodos. Em todas as variáveis analisadas e aplicadas às propostas o IET foi mais elevado no período chuvoso que no período seco.

Palavras-chave: índice do estado trófico, Usina Hidrelétrica Barra dos Coqueiros, eutrofização

ABSTRACT

The increasing energy demand made there was a use of part of the water potential energy of Brazil, and in this context the use of the basin of Rio Claro, one of the main tributaries of the Rio Parnaíba basin, located in the southern state of Goiás also framed, and the target of this study is the reservoir of the hydroelectric Barra dos Coqueiros, located in the middle portion of the basin. The enrichment of water with nutrients is called eutrophication and this is measured by calculating the Trophic State Index (TSI). The goal of this research is to evaluate and classify TSI reservoir of the hydroelectric Barra dos Coqueiros by proposed method of Carlson (1977) and modified by Toledo (1984) and Lamparelli (2010) in two distinct periods, dry (July 2012) and rainy (January 2013). The variables analyzed are: phosphorus, chlorophyll a and Secchi depth transparency, which were applied to the equations proposed by each method. The total proposed EIT in Carlson (1977) and Toledo (1983) had little variation was oligotrophic and mesotrophic dominance in eutrophic and mesotrophic dry period during the rainy season. Already in porposta of Lamparelli (2004) all classes were diagnosed in both periods. In all variables and applied to the proposed EIT was higher in the rainy season than in the dry.

Keywords: index of trophic status, hidroelectric Barra dos Coqueiros, eutrophication

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Localização da Bacia Hidrográfica da UHE Barra dos Coqueiros.....	33
Mapa 2 – Uso da terra e cobertura vegetal da bacia do reservatório da UHE Barra do Coqueiros em agosto de 2010.....	35
Mapa 3 – Mapa de solos da bacia UHE Barra dos Coqueiros.....	41
Mapas 4 A e B: espacialização do IET de fósforo total segundo a proposta de Carlson (1977) período seco e período úmido.....	55
Mapa 5 a b: espacialização do IET de fósforo total seguindo a proposta de Toledo (1983)	57
Mapa 6 A e B: espacialização do IET de fósforo seguindo a proposta de Lamparelli (2004)	59
Mapa 7 A e B: espacialização do IET da variável clorofila a segundo a proposta de Carlson (1977)	63
Mapa 8 a b: espacialização do IET da Clorofila a segundo a proposta de Toledo (1983)	65
Mapa 9 a b: espacialização do IET da variável clorofila a segundo a proposta de Lamparelli (2004).....	67
Mapa 10: Compartimentos aquáticos longitudinais dos reservatórios das UHE Barra dos Coqueiros, de acordo com estudo realizado por Wachholz (2012).....	71
Mapa 11 A e B: espacialização do IET da variável secchi segundo a proposta de Carlson (1977).....	73
Mapa 12 A e B: espacialização do IET da variável secchi segundo a proposta de Toledo (1983)	75
Mapa 13 A e B: espacialização do IET da variável secchi segundo a proposta de Lamparelli (2004).....	77
Mapa 14 A e B: espacialização do IET total segundo a proposta de Carlson (1977)	79
Mapa 15 A e B: espacialização do IET total segundo a proposta de Toledo (1983)	81
Mapa 16 A e B: espacialização do IET total segundo a proposta de Lamparelli (2004)	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Características das fases da compartimentação horizontal e vertical de reservatórios.....	16
--	----

LISTA DE FOTOGRAFIA

Foto 01 – Principais usos da terra da bacia UHE Barra dos Coqueiros.....	36
Foto 02 – Bordas da bacia com morros testemunhos.....	38
Foto 3 a b – Equipes em campo.....	43
Foto 04 a b – Frascos com os filtros mergulhados em metanol, envolvidos em papel alumínio e sendo refrigerados (a); espectrofotômetro utilizado para leitura da absorvência (b).....	45
Fotografia 05 – Verificação da transparência de Secchi (m).....	46

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1: Classe de abrangência de cada variável nos IETs analisados....	30
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites para os diferentes níveis tróficos de Carlson que foi adaptado por Mandú e Santos (2011).....	48
Tabela 2 – Limites para diferentes níveis de estado trófico segundo o sistema de classificação proposto por Toledo (1990).....	49
Tabela 3 – equivalência do IET para as medidas das variáveis de fósforo, clorofila a e transparência em reservatórios Lamparelli (2004).	50
Tabela 4. Resultados da variável fósforo no reservatório estudo.....	52
Tabela 5: Concentração de clorofila a nos períodos seco e chuvoso	61
Tabela 6: Profundidade da transparência de Secchi nos períodos seco e chuvoso.....	69
Tabela 7. Profundidade da transparência de secchi no período seco e chuvoso.....	71

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

UHE	Usina Hidrelétrica
IET	Índice do Estado Trófico
IET(CL)	Índice do Estado Trófico de Clorofila
IET(PT)	Índice do Estado Trófico de Fósforo Total
IET(S)	Índice do Estado Trófico de Secchi

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	Reservatórios.....	14
2.2	Fósforo	17
2.3	Clorofila a.....	18
2.4	Transparência de Secchi.....	20
2.5	Índice do Estado Trófico (IET).....	20
3	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	32
4	PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS.....	43
4.1	Trabalho de campo.....	43
4.2	Análise da Clorofila a.....	43
4.3	Transparência da água.....	45
4.4	Fósforo total.....	46
4.5	Índice do Estado Trófico (IET).....	47
4.6	Espacialização dos dados.....	50
5	RESULTADOS E DISCUSÃO.....	52
5.1	Análise do fósforo.....	52
5.2	Clorofila a.....	60
5.3	Transparência de Secchi.....	68
5.4	IET Total.....	78
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
	REFERENCIAS.....	88

1 INTRODUÇÃO

Estudos limnológicos vêm sendo desenvolvidos no Brasil há mais de um século. Porém, somente com a chegada do americano Stillman Wringht, em 1934, que as pesquisas limnológicas sistemáticas se desenvolveram. Wringht estudou a macrófita e a zooplanktons dos açudes do nordeste (ESTEVES, 1998).

De modo geral, os estudos limnológicos possuem grande significado nos âmbitos ecológico, econômico e social, pois o gerenciamento, conservação e recuperação dos sistemas aquáticos são de importância fundamental para a vida, com reflexos na economia, na sociedade e nos usos múltiplos das águas.

Segundo Schulz et al. (2004), a qualidade dos ecossistemas aquáticos, mais especificamente, depende do uso e ocupação da bacia hidrográfica, as perturbações na qualidade da água devem-se a várias causas simultâneas, decorrentes de ações antrópicas e de condicionantes naturais, como o aumento da densidade populacional, a influência de marés e a precipitação pluviométrica em certas épocas do ano. A resolução CONAMA 357/2005 “considera que a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas”.

A construção de empreendimentos hidráulicos, nos ambientes lóticos, tem proporcionado diferentes tipos de impactos no sistema aquático. Um dos mais importantes impactos quali-quantitativos em rios, lagos e represas é o da eutrofização, que afeta, com maior ou menor intensidade, praticamente todos os ecossistemas aquáticos continentais (TUNDISI E MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Mudanças com a construção do represamento de rios e o monitoramento dos padrões de qualidade destes “novos” ecossistemas aquáticos são de suma importância para a proteção, preservação do equilíbrio da qualidade da água e a produção energética.

Outros efeitos causados pela formação de grande lagos artificiais que podem ser relacionados são: a elevação do lençol freático, aumentando a umidade do solo nas proximidades do lagos; aumento da taxa de sedimentação na entrada dos córregos com o reservatório; aumento das comunidade de macrófitas (plantas aquáticas), principalmente flutuantes; maior possibilidade de deslizamentos e tremores de terra, em virtude do peso das águas represadas e do peso da barragem

em si e, ainda, mudança na taxa de transpiração e/ou evaporação, gerando alterações climáticas locais ou regionais (ESTEVES, 1998; TUNDISI, MATSUMURA-TUNDISI, ROCHA, 2006).

Assim, os impactos das atividades humanas nos ecossistemas aquáticos podem gerar uma série de problemas. Neste sentido, as pesquisas limnológicas têm despertado interesse crescente, visto que seus resultados podem ser amplamente aplicados para a conservação do ambiente aquático.

Por outro lado, a eutrofização é um fenômeno que afeta rios, lagos, reservatórios e tanques de abastecimentos, na superfície e águas costeiras. A eutrofização tem provocado a deterioração dos ecossistemas aquáticos e produzido impactos ecológicos, econômicos, sociais e na saúde pública (TUNDISI 2005, p. 81).

Tais impactos nos ambientes aquáticos e a mensuração da eutrofização em ambientes aquáticos podem ser realizados por meio da determinação do Índice do Estado Trófico (IET), que é a avaliação do grau de trofia, ou seja, um modelo que busca resumir as variáveis analisadas a um número que possibilite analisar a evolução do ambiente, no tempo e no espaço, e que possa facilitar a interpretação de extensas listas de variáveis e indicadores (GASTALDINI; SOUZA, 1994).

Conforme estabelecido pela Política Nacional do meio Ambiente (Brasil, 1981), o acompanhamento sistemático da qualidade dos ambientes é atribuição legal dos órgãos da administração pública responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental.

Além de servirem para o estabelecimento de políticas ambientais, os resultados do monitoramento devem ser utilizados como fonte de informações, para fins de cobrança das agências ambientais governamentais e órgãos gestores, uma vez que há uma crescente consciência de que estes aspectos estão vinculados à qualidade de vida da população (LAMPARELLI, 2004).

A crescente demanda energética fez com que houvesse um aproveitamento de parte do potencial hidroenergético do Brasil e, nesse contexto, o aproveitamento da bacia do Rio Claro, um dos principais afluentes da bacia do rio Paranaíba, localizado na região sudoeste do estado de Goiás. Neste afluente e nesta região está localizado o reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Barra dos Coqueiros, que é o objeto de estudo desta pesquisa.

De acordo com os trabalhos desenvolvidos na bacia hidrográfica da UHE Barra dos Coqueiros, a mesma sofre elevado grau de antropização devido ao modelo agropastoril implantado a partir de 1970, sendo que a cobertura vegetal original do cerrado foi suprimida para dar origem a imensos campos de pastagem extensiva e áreas de agricultura. A alteração do uso da terra no local foi capaz de proporcionar a degradação e compactação do solo, acentuando o escoamento superficial, condição que leva à intensificação dos processos erosivos, especialmente em áreas vulneráveis, retirando nutrientes do solo e conduzindo-os para dentro do reservatório (CABRAL et al. 2012; BRAGA et. al. 2012; BRAGA 2013).

Portanto, a escolha do reservatório da UHE Barra dos Coqueiros como objeto de estudo deve-se à necessidade de caracterizar o sistema através da classificação do grau de trofia. Tal caracterização visa contribuir para o estabelecimento de um plano de manejo coerente e adequado para a área estudada, oferecendo subsídios que conciliem produção de energia e qualidade ambiental à população do entorno e comunidades aquáticas.

Portanto, a avaliação da qualidade da água através do índice do estado trófico do reservatório da UHE Barra dos Coqueiros, além de servir para o estabelecimento de políticas ambientais, pode ser utilizada para informar ao público a real situação do grau de trofia do reservatório.

Logo, o presente estudo teve por objetivo avaliar o nível trófico do reservatório da UHE Barra dos Coqueiros, em dois períodos distintos (chuvoso e seco), utilizando a proposta de Carlson (1977), modificado por Toledo *et al.* (1983) e Lamparelli (2004), que, a partir das variáveis fósforo, clorofila *a* e transparência da água, permite determinar o grau de trofia do reservatório.

Como objetivo específico, foi proposto analisar e relacionar as variáveis limnológicas: fósforo, clorofila *a* e transparência da água do reservatório da UHE Barra dos Coqueiros;

Classificar as águas do reservatório de acordo com o índice de estado trófico do reservatório, conforme a proposta de Carlson (1977), modificado por Toledo (1983) e Lamparelli (2010);

Verificar a variação espaço temporal das variáveis limnológicas e do índice trófico no reservatório, no período seco (julho 2012) e no período chuvoso (janeiro 2013).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Reservatórios

Segundo Lopes (2009), sistemas lacustres são ecossistemas lênticos, como lagos, lagoas, pântanos e ou represas. Lêntico refere-se à água parada, ou seja, as massas de água lênticas não apresentam velocidade de escoamento ou então a sua velocidade é mínima. Ambientes aquáticos com velocidade são considerados os rios, riachos, córregos e outros, os quais são denominados lóticos. A Resolução CONAMA 357/2005 define assim lêntico e lótico:

ambiente lêntico: ambiente que se refere à água parada, com movimento lento ou estagnado; ambiente lótico: ambiente relativo a águas continentais moventes (CONAMA 357/2005, art. 2º inciso IV e V)

Barramentos de ruas construídos pelo homem são feitos há milhares de anos. No entanto, no final do século XIX e todo o século XX, esses sistemas artificiais construídos em todo o planeta apresentaram dimensões muito grandes (mais de 1 km³ de volume na maioria e áreas de inundação de algumas centenas ou milhares de quilômetros) (TUNDISI E MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

No Brasil, as décadas de 60 e 70 foram o período de grandes construções de reservatórios de água, principalmente para fins de produção de hidroeletricidade e abastecimento humano. Muitos destes reservatórios estão em atividade, produzindo inúmeros benefícios locais e regionais (TUNDISI, 2007).

Branco e Rocha (1977) afirmam, ainda, que a construção de represas pode significar progresso, através da produção de energia elétrica, abastecimento de água potável, da irrigação e regularização da vazão dos rios, possibilitando o controle das enchentes, mas que traz como consequência uma série de alterações de caráter hidrológico, com repercussões climáticas e ecológicas que podem afetar flora e fauna, tanto aquática quanto terrestre. Ainda, devido à disponibilidade de energia, poder-se-á haver um aumento populacional e industrial, elevando, assim, a produção de esgotos domésticos e industriais e outros poluentes.

O aumento da demanda energética tem sido uma das principais causas das construções de inúmeros reservatórios para usinas hidrelétricas. Reservatórios dessa natureza constituem-se em ecossistemas de grande importância, pois neles se constata consideráveis modificações na estrutura ecológica do ambiente lótico,

principalmente as interações dos ecossistemas terrestre/lacustre (GUIMARÃES JR. et al. 1998).

Segundo Tundisi, Matsumura-Tundisi e Rocha (2006), as principais bacias hidrográficas do Brasil estão reguladas pela construção de reservatórios isoladamente ou até mesmo em cascata, provocando impactos quantitativos e qualitativos e alterando o fluxo hídrico da região.

De acordo com Straskraba, Duncan e Tundisi (1993), inicialmente, a construção de hidrelétricas e a reserva de água para diversos fins foram o principal propósito. Nos últimos vinte anos, os usos múltiplos desses sistemas diversificaram-se ainda mais, ampliando a importância econômica e social desses ecossistemas artificiais, introduzindo, ao mesmo tempo, novas complexidades no seu funcionamento e impactos.

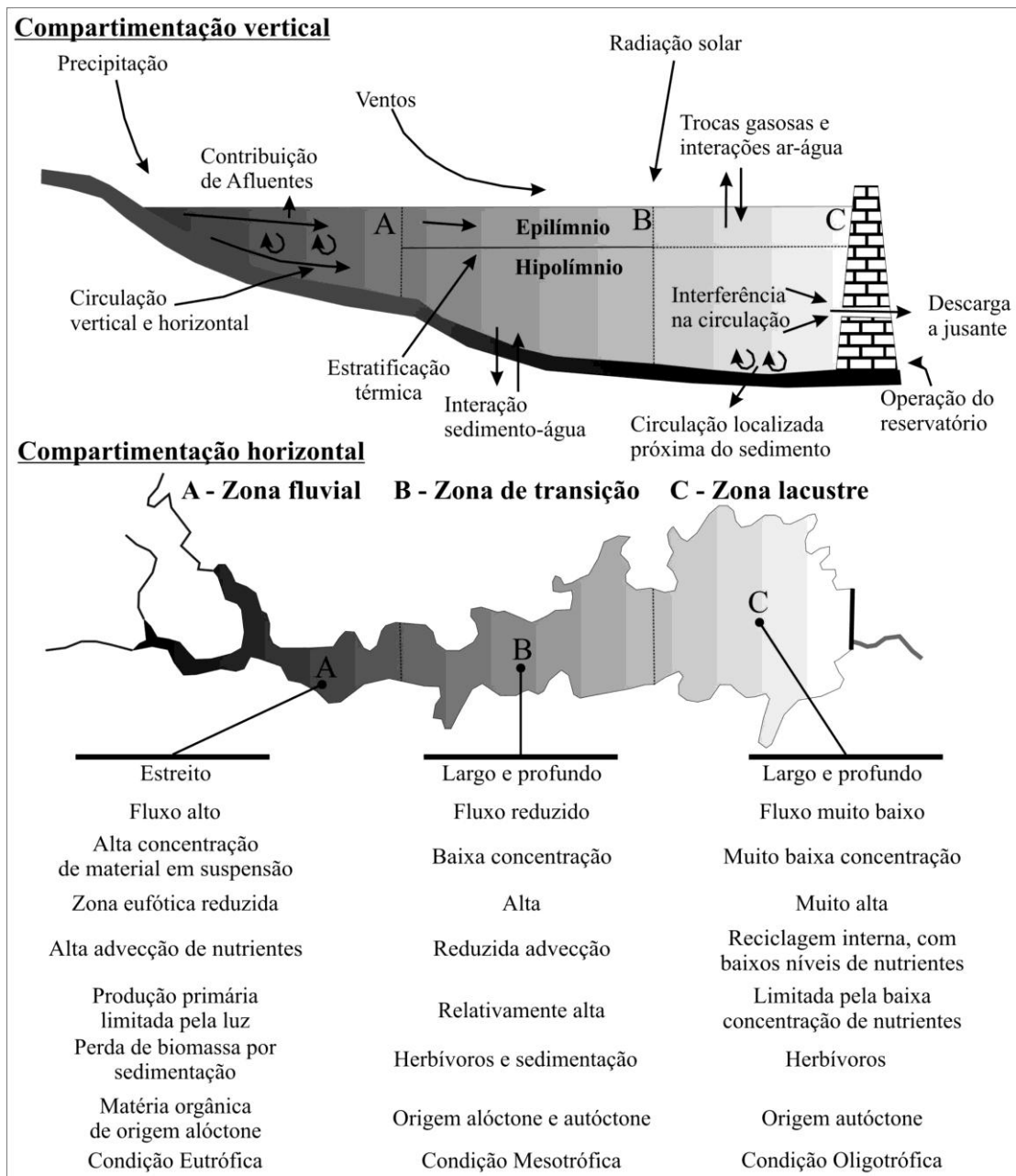
A construção de um reservatório promove uma série de mudanças no ambiente aquático de um rio. Segundo Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008), com a construção de barragem, o reservatório apresenta uma série de alterações, ocorrendo, assim, diminuição da corrente e aumento das condições lacustres.

A transformação do ambiente lótico em lêntico promove uma série de alterações espaço-temporal no rio, tais como aumento da taxa de sedimentação, a inundação de áreas florestais e agrícolas, alterações físicas e químicas no meio aquático e modificações substanciais na fauna e na flora silvestres (ESTEVES, 1998).

Segundo Gunkel *et al.* (2003), a morfologia, as condições físicas e a química da água representam impactos na origem de um reservatório. Além disso, os organismos lóticos são substituídos por novas espécies e surgem novos processos ecológicos (sedimentação e desenvolvimento de plâncton).

Tais características são classificadas como fases ou zonas, conhecidas como fluvial, transição e lacustre. Wachholz (2011) fez uma adaptação de Tundisi (1999) e Kimmel et al. (1990), em que se é possível identificar as três zonas através das compartimentações horizontal e vertical (figura 1).

Figura 1: Características das fases das compartimentações horizontal e vertical de reservatórios



Fonte: WACHHOLZ, 2011

Tais condições de reservatório apresentam-se em três fases: condições de rio, condições de transição e condições lacustres:

Condições de rio: com a concentração de oxigênio dissolvido próxima às do rio e turbulência igualmente similar à do rio; Condições de transição: em região que já ocorreu uma diminuição da corrente, queda acentuada no O.D. e decréscimo da turbulência; Condições lacustre: em região de grande profundidade, onde se desenvolve uma estratificação

térmica com um hipolímnio geralmente anóxico, que não há turbulência (TUNDISI E MTSUMURA-TUNDISI, 2008, p. 328).

De acordo com Guimarães Jr. et al. (1998), um sistema de represamento artificial de água é formado, principalmente, por comunidades terrestres circundantes e humanas, na bacia hidrográfica, que interagem entre si de tal modo que o efeito de uma delas pode acarretar modificações significativas em outra.

As grandes cadeias de reservatórios construídas e/ou em construção têm, portanto, um enorme significado econômico, ecológico, hidrológico e social, sendo que em muitas regiões, ainda, esses ecossistemas artificiais são utilizados como base para o desenvolvimento regional; em outros casos, este planejamento é pouco desenvolvido. Entretanto, devido às pressões dos usos múltiplos, estudos intensivos foram e estão sendo realizados com a finalidade de ampliar as informações existentes e promover uma base de dados adequada que sirva como plataforma para futuros desenvolvimentos (BRAGA et al., 1998).

2.2 Fósforo

Esteves (1998) afirma que, comparada com a atividade agrícola, a pastoril tem efeitos mais reduzidos sobre a eutrofização artificial de corpos d'água. Isto se deve ao fato de que os excrementos de bovinos, caprinos, etc., não apresentam concentrações altas de fosfato e nitrogênio (VOLLENWEIDER, 1968). Somente grandes populações destes animais podem exercer influência significativa sobre o nível destes nutrientes em ecossistemas lacustres.

No entanto, Esteves (1998) afirma que a atividade agrícola, por outro lado, pode ser considerada como uma das principais fontes de fosfato e nitrogênio para ecossistemas lacustres. Seu grau de interferência aumentou consideravelmente a partir de 1942, e foi intensificada com a agricultura de precisão, a introdução de superfosfatos como meio de incrementar e aumentar a produtividade e produção agrícola. As perdas de nutrientes a partir de terras cultivadas podem ocorrer, principalmente, de duas maneiras: por lavagem da parte superior do solo, após as primeiras chuvas, e por lavagem e percolação de nutrientes solúveis, principalmente nitrogênio, que atingem o lençol freático (ESTEVES, 1998).

No estudo realizado por Antonello (2006), em que as coletas foram realizadas trimestralmente, de janeiro a outubro de 2004, a variável fósforo teve uma amplitude

bem variada, indo de 0,00 a 612,88 $\mu\text{g.L}^{-1}$, no reservatório Boa Esperança, no Rio Parnaíba, entre os estados do Piauí e Maranhão.

De acordo com os estudos realizados por Santos (2012), no reservatório Vargem das Flores - MG, as concentrações encontradas nas análises de fósforo, em 27 pontos de coleta, variaram entre 69,0 e 202 $\mu\text{g.L}^{-1}$; tais coletas foram realizadas em outubro de 2010.

Lopes (2007), na avaliação realizada no Parque Estadual da Fonte do Ipiranga- SP, encontrou uma variação de fósforo total de 3 a 550 $\mu\text{g.L}^{-1}$, tendo no verão os maiores índices. A autora explica o fato devido à turbulência causada pela chuva, provocando a suspensão do sedimento e o possível transporte pelo escoamento superficial e através de afluentes.

Nos estudos realizados por Starling (2000), em 6 distintos corpos d'água, verificaram-se concentrações de fósforo total que variaram em 10, 14, 28, 41 e 6000 $\mu\text{g.L}^{-1}$, sendo este último de uma lagoa de estabilização, com valor superior aos demais.

Pelegrini (2005) realizou estudo sobre a concentração de fósforo na água e nos sedimentos em uma microbacia. O autor relacionou o uso da terra à concentração de fósforo total, que aumentou em 11,5 vezes da área com atividades de lavoura para a área com cobertura vegetal. Mesmo em pontos onde o uso do solo é parte da lavoura, parcialmente, 12% e 22%, houve um aumento de sete vezes a concentração de fósforo total.

Em trabalho realizado por Quevedo (2009), no Rio Tietê, com índices de até vinte e um anos, foram encontradas concentrações entre 14 a mais de 4000 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de fósforo total. A autora afirma que no alto Tietê e Tietê/Sorocaba a tendência de aumento gradual de fósforo ao longo dos anos é um fator que demonstra acompanhar o desenvolvimento econômico e populacional dessas bacias.

2.3 – Clorofila a

Lopes-Ferreira (2000) afirma que houve redução de 50% de nitrito, 63% de fosfato inorgânico, 32% de fósforo e 90% da densidade de coliformes fecais na água do reservatório de Salto Grande, em Americana, São Paulo. A autora atribui à comunidade de macrófitas aquáticas, associadas às áreas alagadas, a

imprescindível conservação dos recursos hídricos, devido à sua capacidade de filtração de despoluição, bem como de absorver metais pesados.

Segundo Delello (2008), apesar de haver alguns benefícios, a presença de plantas aquáticas aponta também prejuízos, pois pode acarretar a proliferação de tais elementos, como a ocorrência (densidade de biomassa) de macrófitas e algas, de maneira descontrolada em reservatórios, o que constitui um problema de importância crescente.

A proliferação descontrolada pode impedir a navegação, obstruir as grades de tomada d'água dos reservatórios, diminuindo a produção de energia elétrica, impedindo, assim, as atividades recreacionais e favorecendo a formação de habitats propícios à proliferação de vetores de doenças de veiculação hídrica e outros transtornos (MARCONDES et. al., 2003).

Segundo Osório e Oliveira (2001), em um ambiente eutrofizado, a floração de cianobactérias é especialmente perigosa, pois diversas espécies liberam toxinas, causando sérios prejuízos às águas utilizadas para abastecimento público. Foi a presença dessas toxinas que provocou a morte de 40 pacientes de uma clínica de hemodiálise de Caruaru, em Pernambuco, no ano de 1996.

Esteves (1998) lembra ainda que, além das macrófitas, o plâncton é constituído pelo fitoplâncton (algas), pelo zooplâncton (pequenos animais) e pelo bacterioplâncton (organismos marinhos). E a variação temporal do fitoplâncton, em lagos e reservatórios tropicais, depende da disponibilidade de nutrientes, que é controlada pela radiação subaquática, que, por sua vez, é influenciada por fatores externos e internos ao ecossistema.

Segundo Lamparelli (2004), uma das variáveis para a determinação do Índice do Estado Trófico (IET) é a clorofila-*a*, que é encontrada em todas as plantas. No entanto, há outras variedades de clorofilas como a *b*, *c* e *d*, que são comuns em ambientes de água doce, sendo que a concentração dessas clorofilas varia dependendo das espécies estudadas. Portanto, a clorofila *a* é determinante em todas as algas eucariontes e nas cianobactérias.

Além da disponibilidade de nutrientes, outro fator que influencia a produtividade planctônica é a penetração de luz e a presença de material em suspensão na água (LAMPARELLI, 2004). Assim, a clorofila *a* é frequentemente

utilizada como indicadora da biomassa algal; no entanto, ela pode corresponder de 0,1 a 9,7% do peso das algas, dependendo das espécies presentes.

2.4 – Transparência da água

A transparência da água é medida pelo disco de secchi (um disco de 20 cm a 30 cm de diâmetro, branco e preto, introduzido por Ângelo Secchi, em 1886). A profundidade de desaparecimento do disco, quando o mesmo é mergulhado na água por meio de uma corda marcada, corresponde à transparência de secchi ou profundidade de secchi (IAP, 2009).

Segundo Lamparelli (2004), a adoção da transparência como indicadora de estado trófico está associada a estudos que correlacionam o aumento da densidade fitoplanctônica à diminuição da penetração de luz, por um processo de sombreamento.

A diminuição da velocidade da água em reservatórios possibilita a sedimentação do material em suspensão, propiciando maior transparência.

2.5 Índice do Estado Trófico (IET)

O monitoramento de parâmetros de qualidade da água constitui-se em ferramenta básica para avaliar alterações ambientais causadas pela ação antrópica. Os índices de qualidade da água podem ser usados como acessórios na interpretação de dados, auxiliando na avaliação dos resultados e permitindo a comparação das condições da água, ao longo do tempo e em várias localizações geográficas, possibilitando uma comunicação explícita entre profissionais e o público, já que a informação sobre a qualidade da água e a localização da poluição é transmitida em termos simples (MOLOZZI, et al., 2005).

Para tal monitoramento, de acordo com a Resolução 357, do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, as águas brasileiras são classificadas segundo seus usos preponderantes e seguem alguns parâmetros de qualidade.

De acordo com Derisio (2000), a qualidade da água de determinado corpo hídrico pode ser representada através de parâmetros que traduzem as suas características físicas, químicas e biológicas. Essas características, se mantidas dentro de certos limites, viabilizam determinado uso da água.

Para Sperling (2008), nutriente limitante é aquele que é essencial para uma determinada população, limitando, assim, seu crescimento; já em conformidade com a lei de Liebig, é aquele cuja concentração é a mais próxima da mínima relativa à demanda do organismo. Em baixas concentrações, o crescimento populacional é baixo, com a elevação da concentração, o crescimento populacional também aumenta. Essa situação persiste até o ponto em que sua concentração passa a ser tão elevada no meio, de forma que outro nutriente passe a ser fator limitante, por não se apresentar em concentrações suficientes para suprir os elevados requisitos da grande população. Esse nutriente passa, então, a ser o novo nutriente limitante, pois de nada adianta aumentar a concentração do primeiro se a população não poderá crescer, pois estará limitada pela insuficiência do novo nutriente limitante.

O conhecimento do nutriente limitante é de grande importância em termos de estratégia de controle da poluição das águas, por permitir que se centre o foco no fator realmente causador do eventual problema de crescimento excessivo de organismos.

A CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), em estudos realizados no Estado de São Paulo, chegou à conclusão de que, em 85,9% dos ambientes aquáticos estudados, a concentração de fósforo está acima do valor estipulado pelo padrão de qualidade CONAMA (CETESB, 2001), podendo, desta forma, o fósforo vir a ser um nutriente limitante no processo de eutrofização de corpos d'água.

Segundo Lamparelli, 2004, o enriquecimento por nutrientes dos corpos d'água está associado ao aumento da produtividade primária e econômica de episódios de desenvolvimento excessivo de algas ou macrófitas aquáticas, as quais podem prejudicar o uso para o abastecimento, produção de energia, recreação e proteção da vida aquática. A deterioração da qualidade de água também implica maiores custos no seu tratamento (Straskraba e Tundisi, 2000) para distribuição nos sistemas de abastecimento público.

Visando ao acompanhamento desse fenômeno, o índice de estado trófico, proposto por Carlson (1977), é amplamente utilizado em monitoramento da qualidade da água e é baseado na biomassa fitoplanctônica presente em um determinado corpo d'água. Este índice adota três variáveis: clorofila-a, transparência da água (transparência com disco de secchi) e fósforo total, que estimam,

independentemente, a biomassa algal. Diferentemente do conceito original, no qual a eutrofização é progressiva e inexorável, este é um índice dinâmico, sendo que os lagos podem mudar de classificação ao longo do tempo, tanto para classes de maior trofia, como para classes de menor trofia.

Todas as impurezas da água, exceto os gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos total presente na água (LIMA, 2008). A Clorofila *a* é um pigmento presente em indivíduos autótrofos, como fitoplâncton e algas, e está relacionada diretamente com a quantidade de nutrientes, pois quanto maior a disponibilidade, maior a taxa de crescimento dos organismos e, conseqüentemente, maior a quantidade de clorofila no ambiente aquático.

Segundo Esteves (1998), a fase moderna dos estudos limnológicos enfoca, principalmente, a avaliação do estado trófico das águas continentais, estudos estes desenvolvidos principalmente na Europa e na América do Norte.

Ao se interceptar o fluxo d'água de um rio, além de causar inúmeras modificações num amplo espectro de atividades e processos ao longo da bacia, as represas interferem nos processos de evolução nas comunidades de organismos aquáticos, peixes, plânctons e qualidade de água. Neste contexto, deve-se considerar o aumento da produção da fertilização crescente do reservatório, bem como o aumento da produção crescente de nutrientes e de matéria orgânica e a perda da qualidade da água (GUIMARÃES JR. et al. 1998).

Em ambientes lóticos, devido, sobretudo, à alta relação entre o volume de água e a região marginal, além de uma maior velocidade das águas quando comparada aos ambientes lênticos, são encontradas maiores concentrações de fósforo e menores concentrações de clorofila *a* (LAMPARELLI 2004). A CETESB utilizava a metodologia de Toledo *et al.* (1983), que foi desenvolvida para lênticos e era aplicada para ambientes lóticos. Portanto, Lamparelli (2004) desenvolveu uma adaptação da metodologia de Toledo para ambientes lóticos, a qual a CETESB adotou como método de avaliação e classificação de ambientes aquáticos.

Esteves (1998) destaca ainda que a eutrofização é o aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, nos ecossistemas aquáticos, que tem como consequência o aumento de suas produtividades.

A dinâmica do fósforo em rio, riachos e reservatórios apresenta-se em dinâmicas diferentes, consistindo, principalmente, no armazenamento dos

sedimentos depositados no leito do ambiente aquático. Nos rios, a dissorção do fósforo é facilitada pela ressuspensão dos sedimentos pelo fluxo turbulento da água (KOSKIVÄHÄLÄ, HARTIKAINEN, 2001; MCDOWELL et al., 2001) e nos reservatórios, pelas condições de oxi-redução (PANT, REDDY, 2001) e da atividade dos organismos bentônicos na interface água-sedimento.

O fósforo é considerado elemento chave para desencadeamento da eutrofização, pois algumas espécies de algas têm capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico, portanto, autossuficientes, neste nutriente, havendo, assim, uma necessidade de maior eficiência no controle do fósforo em ambientes eutrofizados (PELLEGRINI, 2005; QUEVEDO, 2009).

A CETESB (2006) utiliza, entre outros índices de avaliação da qualidade da água, o Índice de Estado Trófico (IET), que tem como finalidade classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas. Este índice sofreu alterações ao longo do tempo; dentre as adaptações, a CETESB utiliza atualmente as variáveis clorofila a e fósforo.

A matéria orgânica depositada em ambiente lacustre pode consumir todo o oxigênio disponível, ocorrendo, assim, a anoxia; e o fósforo possui a tendência de se manter depositado no sedimento. Já na presença de oxigênio, o fosfato fica solúvel, ficando disponível para o processo fotossintetizante. Portanto, a eutrofização é um processo contínuo e crescente, caso não sejam adotadas medidas de controle na introdução de fosfatos em ambientes aquáticos (QUEVEDO, 2009).

Segundo a CETESB (2004), o grau de eutrofização de um corpo hídrico é considerado um importante indicador hidrobiológico. De acordo com Golterman (1975 apud Toledo et al., 1983), deve-se fazer uma clara distinção no processo de eutrofização entre o aumento do suprimento de nutrientes (causa) e o resultante aumento do crescimento fitoplanctônico (efeito). No caso do Índice de Estado Trófico (IET), aplicado neste relatório, das duas variáveis relacionadas com o processo de eutrofização, o fósforo total está relacionado com a causa e a clorofila a com o efeito. Deste modo, esta última variável também tem sido utilizada pela CETESB para a avaliação da qualidade das águas dos rios e reservatórios do Estado de São Paulo.

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), por sua vez, deve ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando, de forma adequada, o nível de crescimento de algas que têm lugar em suas águas. Assim, o índice médio engloba, de forma satisfatória, a causa e o efeito do processo.

Deve-se ter em conta, ainda, que num corpo hídrico, em que o processo de eutrofização encontra-se plenamente estabelecido, o estado trófico determinado pelo índice da clorofila a certamente coincidirá com o estado trófico determinado pelo índice do fósforo. Já nos corpos hídricos, em que o processo esteja limitado por fatores ambientais, como a temperatura da água ou a baixa transparência, o índice relativo à clorofila a irá refletir esse fato, classificando o estado trófico em um nível inferior àquele determinado pelo índice do fósforo. Além disso, caso sejam aplicadas algicidas, a consequente diminuição das concentrações de clorofila a resultará em uma redução na classificação obtida a partir do seu índice (CETESB, 2006).

Em lagos e reservatórios pode ocorrer o termoclima, que é a diminuição da temperatura em muitos graus em poucos metros, dividindo a parte superior em epilímnio (mais quente) e hipolímnio (mais fria), ocasionando, assim, mudança na concentração vertical do oxigênio, alta na superior e muito baixa na inferior. A depleção de oxigênio frequentemente ocasiona completa desoxigenação ou anoxia nas regiões mais profundas do lago ou dos reservatórios, uma vez que o oxigênio se dissolve muito fracamente na água (UNEP-IETC/ILEC/IIE, 2011).

Essas condições matam peixes e invertebrados, e as atividades bacterianas podem provocar a liberação dos sedimentos, amônia e gás sulfídrico que, em concentrações elevadas, atuam como gases venenosos, afetando sistemas de transmissão de eletricidade em hidrelétricas. O fósforo também pode ser liberado na água, enriquecendo-a com nutrientes (UNEP-IETC/ILEC/IIE, 2011).

As proliferações de alguns tipos de algas liberam toxinas que podem ser venenosas, tanto para animais como para o ser humano:

Alguns tipos particulares de algas que crescem em lagos e reservatórios muito enriquecidos com nutrientes (algas verde-azuis ou cianobactérias, e também dinoflagelados que podem produzir marés vermelhas) liberam na água toxinas altamente

poderosas que são venenosas mesmo em concentrações muito baixas. Algumas dessas toxinas produzem efeitos negativos no fígado de animais em concentrações mínimas, mas podem ocasionar a morte do gado, outros animais e mesmo seres humanos quando ingeridas em água potável contaminada em altas concentrações (UNEP-IETC/ILEC/IIIE, 2011, p.10).

Segundo Reynolds e Davies (2000), a introdução de fósforo no sistema aquático depende do uso e ocupação da terra, por eles denominado de agroecossistemas e ecossistemas naturais. Segundo os autores, em ambientes naturais de florestas, a quantidade de fósforo transferida é inferior a $9 \text{ Kg há}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Porém, com a retirada da vegetação natural e a introdução da agricultura em sistemas de cultivos convencionais, aumentam drasticamente as perdas desse nutriente, podendo ultrapassar $100 \text{ kg}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de fósforo total, nutrientes estes que podem ser transportados através do escoamento superficial e infiltração no deflúvio superficial e subterrâneo.

Dessa forma, Pellegrini (2005) afirma que as concentrações de fósforo encontradas no escoamento e no deflúvio superficial são resultantes da interação entre a água das chuvas e o teor de fósforo na camada superficial do solo. Esta, por sua vez, depende da riqueza natural dos solos e das adições de fontes de fosfatos, sejam elas orgânicas ou químicas.

A eutrofização já é o grande problema do século XXI, resultante da falta de tratamento de esgoto e de descargas excessivas de fertilizantes utilizados, principalmente, na agricultura, afetando, desta maneira, águas superficiais, produzindo uma deterioração rápida na qualidade da água, com florescimento de cianofíceas e, em alguns casos, com cepas tóxicas (TUNDISI, 2000).

Segundo Esteves (1998), a eutrofização pode ser natural ou artificial/cultural. Quando natural, o processo é lento e contínuo, resultante do aporte de nutrientes trazidos pelas chuvas e pelas águas superficiais que erodem e lavam a superfície terrestre. A eutrofização natural corresponde ao que poderia ser chamado de “envelhecimento natural” do lago ou represa e pode até ser benéfico, aumentando a capacidade de produção de todo o sistema, desde que não cause desequilíbrio ecológico (QUEVEDO, 2009).

A eutrofização artificial ocorre quando há intervenção antrópica, podendo ser de fontes diversas, como: efluentes domésticos, efluentes industriais, atividades agrícolas, dentre outras, denominando-se, assim, “envelhecimento precoce”.

Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008) também afirmam que o aumento do grau de trofia dos lagos e dos reservatórios pode ocorrer em condições naturais e pode levar centenas de anos, pois depende da carga inorgânica para os corpos d'água e da contribuição dos processos naturais nas bacias.

Já o processo de eutrofização artificial ocorre devido à interferência humana, direta ou indireta, exercida na bacia:

O aumento do nitrogênio e do fósforo produzido pela atividade humana acelera acentuadamente o processo de eutrofização natural, reduzindo as características naturais de lagos e represas e deteriorando a qualidade da água, tornando-a indisponível para vários usos e encarecendo consideravelmente o processo de tratamento. (TUNDISI E MATSUMURA-TUNDISI, 2008, p.328).

Sperling (2007) afirma que a importância do fósforo no meio aquático está associada, principalmente, ao fato de ele ser um nutriente essencial para o crescimento de algas, podendo, por isso, em certas condições, conduzir a fenômenos de eutrofização de lagos e represas.

Os resultados correspondentes ao fósforo, IET(PT), devem ser entendidos como uma medida potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como agente causador do processo (SPERLING 2008). O IET(CL) é uma medida do ambiente aquático ao agente causador, que indica o crescimento de algas, fitoplânctos.

Segundo Esteves (1998), a eutrofização artificial/cultural pode ser considerada como uma reação em cadeia de causas e efeitos bem evidentes, cuja característica principal é a quebra de estabilidade do ecossistema (homeostasia); o ecossistema passa, assim, a produzir matéria orgânica acima da sua capacidade de consumir e decompor.

A eutrofização ocorre, principalmente, em corpos d'água com baixas velocidades (ex: lagos e reservatórios, além de estuarinos). Estes corpos d'água, geralmente, oferecem características mais adequadas para o crescimento de algas, destacando-se o fato de que a transparência da água (advinda de condições propícias para a melhor sedimentação de partículas de solo) é frequentemente maior do que em rios, o que favorece a fotossíntese algal (SPERLING, 2008).

Os processos naturais que ocorrem em uma bacia hidrográfica e que causam o aumento progressivo e lento da sedimentação, da concentração de nitrogênio e fósforo e da matéria orgânica estão relacionados com os efeitos do vento, erosão por chuva, adição de material biológico (matéria orgânica morta ou em

decomposição, como por exemplo, a adição de folhas e restos nas matas ciliares de lagos e, até mesmo, vegetação não retirada da área alagada dos reservatórios).

A taxa de eutrofização em um lago depende, fundamentalmente, desses vários fatores, considerando-se uma carga constante de nutrientes (TUNDISI E MATSUMURA-TUNDISI, 2008, p.512).

Segundo Tundisi (2008), a eutrofização é ocasionada pela carga de nutrientes aos reservatórios, especialmente de nitrogênio e fósforo. As principais fontes de nutrientes são: a) as descargas de esgotos domésticos e industriais; b) afluição de partículas de solos, contendo nutrientes, em decorrência de erosão hídrica; c) presença de gado, principalmente no entorno do reservatório; e d) exploração de piscicultura intensiva no espelho d'água do açude.

O elemento fósforo pode ser encontrado nos corpos d'água, sob várias formas, sendo as mais comuns os ortofosfatos, polifosfatos e o fósforo orgânico. O fósforo é constituinte de sólidos em suspensão e sólidos solutos. Na natureza, é proveniente da dissolução dos solos e decomposição de matéria orgânica; já sua ocorrência antrópica pode advir do uso de fertilizantes, despejos domésticos e industriais, detergentes e excrementos animais. O fósforo, quando em excesso em um curso d'água, pode possibilitar supercrescimento de algas, podendo vir a causar a eutrofização neste curso (SPERLING, 2008).

Segundo Tundisi (2005), a eutrofização artificial acelera o processo de enriquecimento das águas subterrâneas e superficiais. Nos casos dos lagos, rios e represas, esse processo consiste de um rápido desenvolvimento de plantas aquáticas, ou algas “verdes azuis”, as quais produzem substâncias tóxicas que podem afetar a saúde humana e causar a mortalidade de animais e também intoxicações.

Para Esteves (1998), a eutrofização artificial é um processo que pode tornar um corpo d'água inaproveitável para o abastecimento, a geração de energia, e como área de lazer. Quando os nutrientes provêm de efluentes tratados, ou de áreas cultivadas, a deterioração do ecossistema lacustre ocorre de maneira mais lenta. Estes nutrientes provocam inicialmente o aumento na produção primária do ecossistema e, somente numa fase posterior, passam a ocorrer modificações significativas na taxa de sedimentação, na dinâmica de oxigênio, alterações nas comunidades e na redução da qualidade da água para fins econômicos e de lazer.

No entanto, quando a fonte de nutrientes são esgotos domésticos e industriais (especialmente de indústrias de alimentos) não tratados, o processo de deterioração do ecossistema é mais rápido.

Segundo Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008), a eutrofização tem uma série de consequências que pode ser sintetizada nos seguintes processos gerais:

Anoxia (ausência de oxigênio na água), que provoca mortalidade de peixes e invertebrados e produz liberação de gases com odor, muitas das vezes tóxicos (H_2S e CH_4). Florescimento de algas e crescimento não controlados de plantas aquáticas, principalmente macrofitas. Produção de toxinas por algumas espécies de algas tóxicas. Alta concentração de matéria orgânica, as quais, se tratadas com cloro, podem produzir substâncias carcinogênicas. Deterioração dos valores recreacionais dos lagos ou represas, em razão da diminuição da transparência. Acesso restrito a pesca e a atividades recreacionais por causa do acúmulo de plantas aquáticas que podem impedir a locomoção e o transporte. Acentuada queda na biodiversidade e no número de espécies de plantas e animais. Alterações na composição de espécies de peixes, com diminuição do seu valor comercial (mudanças nas espécies e perda do valor comercial pela contaminação). Diminuição do oxigênio dissolvido, sobretudo nas camadas mais profundas de lagos de regiões temperadas, durante o outono. Diminuição dos estoques de peixes, causada pela depleção de oxigênio dissolvido na água, nas regiões mais profundas de lagos e represas. Efeitos crônicos e agudos na saúde humana (TUNDISI E MATSUMURA-TUNDISI, 2008, p. 526).

O estágio final do processo de eutrofização artificial é praticamente irreversível e, somente com o emprego de muita energia e capital, será evitado que o ecossistema se torne inútil para o homem. Desta maneira, é fundamental que as fontes de eutrofização artificial de ecossistemas aquáticos tenham seu efeito reduzido ao máximo, ou seja, eliminada em tempo hábil. Caso isto não ocorra, o “envelhecimento precoce”, com a consequente “morte” do ecossistema lacustre, pode ser encarado como um fato consumado (ESTEVEZ, 1998).

Segundo Tundisi e Matsumura-Tundisi (2004), o termo trofia foi introduzido por Weber, em 1907, para distinguir áreas alagadas com maior ou menor concentração de nutrientes, e Naumann, em 1919, estendeu o termo para lagos. Já os termos mesotrofia e hipertrofia foram acrescentados para designar termos intermediários ou avançados.

Segundo Quevedo (2009), em trabalho proposto por Vollenweider, em 1968, estimou as cargas de fósforo total, de acordo com os diferentes estados tróficos: ultra-oligotrófico, oligomesotrófico, meso-eutrófico, eu-politrófico e politrófico.

Conforme Fonseca (2010), com as alterações ocorridas, um ambiente aquático lântico pode ser classificado quanto à concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. Assim, os ecossistemas lânticos podem ser classificados em:

Oligotrófico: Corpos de água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água; Mesotrófico: Corpos de água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis na maioria dos casos; Eutrófico: Corpos de água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral, afetados por atividades antrópicas, em que ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água e interferências nos seus múltiplos usos; Hipereutrófico: Corpos de água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, podendo inclusive estar associados a episódios de florações de algas e de mortandade de peixes e causar consequências indesejáveis sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas (FONSECA, 2010, p. 6).

A classificação de acordo com o nível trófico é especialmente utilizada em ambientes de regime lântico, para os quais se calcula o Índice de Estado Trófico (IET), desenvolvido por Carlson. Esse índice tem por finalidade classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia, avaliando a qualidade da água quanto a seu enriquecimento por nutrientes e o efeito relacionado ao crescimento de macrófitas aquáticas. Esse índice não está relacionado à qualidade da água, conceito mais relacionado à utilização múltipla, e à capacidade de produção da biomassa algal.

O estudo realizado por Carlson (1977) foi desenvolvido a partir da relação entre as variáveis, transparência de secchi, clorofila a e fósforo total, relativos ao período do verão no hemisfério Norte. Então, chegou-se a uma equação de regressão linear, tendo-se assim o Índice de Carlson (DUARTE *et. al.*, 1998).

Carlson (1977), para usar a variável transparência, transformou as leituras de transparência em log2: $IET = 10(6 - \log_2 Tra)$. O valor é multiplicado por 10 para se obter uma faixa de valores de 0 a 100, por meio de uma regressão entre as variáveis clorofila, fósforo total e transparência de secchi; criaram-se equações empíricas para cada variável, e a classificação do IET é numérica e não nomeclatural, apesar de que autores como Mandú e Santos (2011), Kratzer e Brezonik (1981) entre outros, classificaram o IET de Carlson por adaptação nomenclatural. Uma das questões em relação aos demais índices, neste trabalho utilizado, é que o IET de Carlson foi desenvolvido para ambiente de clima temperado.

Este índice tem sido amplamente aceito devido à sua simplicidade computacional e capacidade de comunicação entre pesquisadores, agências governamentais e moradores da comunidade local (Sheela *et al.*, 2010). De acordo com Cheng *et al.* (2001), estas relações empíricas são propriedades locais e as equações para IET(CL) e IET(PT) deverão ser modificadas quando aplicadas a diferentes ambientes a partir de estudos de Carlson.

Portanto, Toledo (1983) fez modificações no IET de Carlson e o adaptou a ambientes de climas tropicais; também fez uma classificação nomenclatural do IET de Carlson em cinco classes: ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico.

Segundo a CETESB (s/d), foram definidas cores padrão para cada classe de índice, independente do método adotado.

A diferença na classificação de uma mesma variável em classes diferentes, utilizando as propostas aqui aplicadas, justifica-se devido ao fato de serem variadas as faixas que abrangem cada índice, como mostra o quadro 1 a seguir:

Quadro 1: Classe de abrangência de cada variável nos IETs analisados

	Estado Trófico	IET Total	Clorofila a (µg/L)	Fósforo total (µg/L)	Transparência (m)
Carlson (1977)	Oligotrófico	≤ 40	$< 2,6$	≤ 12	$> 4,0$
	Mesotrófico	$40 < \text{IET} \leq 55$	$\leq 2,6 < \text{CL} \leq 12,75$	$\leq 12 < \text{FT} \leq 18$	$\leq 4,0 < S \leq 1,5$
	Eutrófico	$\text{IET} \geq 55$	$> 12,75$	≥ 18	$< 1,5$
Toledo (1983)	Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 24$	$\leq 0,51$	$\leq 6,6$	$\geq 7,8$
	Oligotrófico	$24 < \text{IET} \leq 44$	0,52-3,81	7 – 26	7,7 – 2,0
	Mesotrófico	$44 < \text{IET} \leq 54$	3,82-10,34	27- 52	1,9 – 1,00
	Eutrófico	$54 < \text{IET} \leq 74$	10,35-76,06	53 – 211	0,9 – 0,3
	Hipereutrófico	$\text{IET} \geq 74$	$> 76,06$	> 211	$< 0,3$
Lamparelli (2004)	Ultraoligotrófico	≤ 47	$\leq 1,17$	≤ 8	$\geq 2,4$
	Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	$1,17 < \text{CI} \leq 3,24$	$8 < \text{FT} \leq 19$	$2,2 > S \geq 1,7$
	Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	$3,24 < \text{CI} \leq 11,03$	$19 < \text{FT} \leq 52$	$1,7 > S \geq 1,1$
	Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$	$11,03 < \text{CI} \leq 30,55$	$52 < \text{FT} \leq 120$	$1,1 > S \geq 0,8$
	Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$	$30,55 < \text{CI} \leq 69,05$	$\leq 120 < \text{FT} \leq 233$	$0,8 > S \geq 0,6$
	Hipereutrófico	> 67	$> 69,05$	> 233	$< 0,6$

Dodds, Jones e Welch (1998) propuseram uma classificação do IET para sistemas lóticos, de ambientes temperados. Os autores utilizaram a variável clorofila-a e fósforo total e classificaram os sistemas aquáticos em três classes: oligotrófico, mesotrófico e eutrófico.

Para Sperling (2005), o controle da eutrofização, dependente da classificação do IET, pode ocorrer como medida preventiva ou medida corretiva.

As medidas preventivas são de atuação na bacia por meio da redução das fontes externas; as medidas corretivas, por sua vez, são de atuação no reservatório ou lago com processos mecânicos, químicos e biológicos.

3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

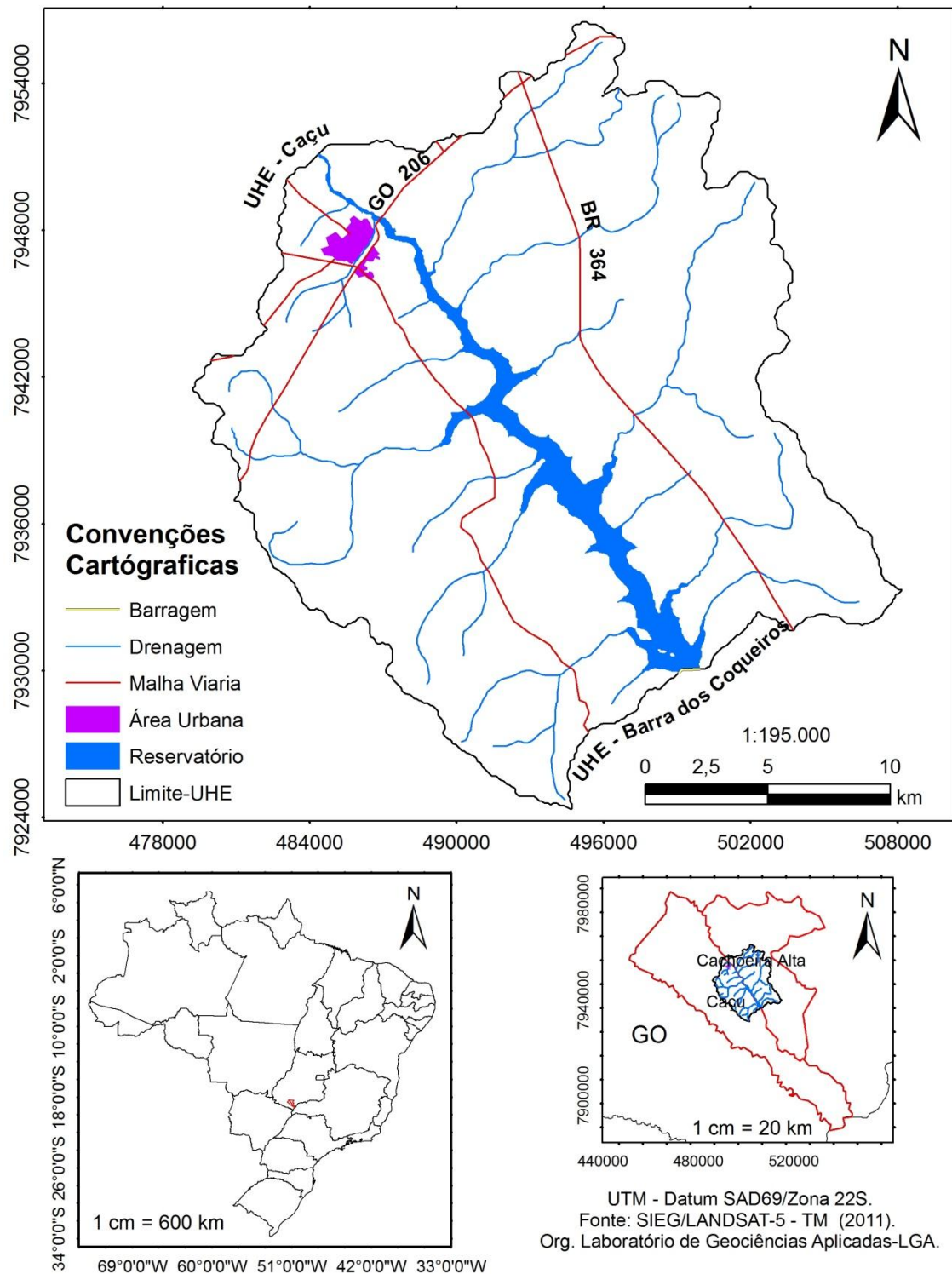
O Rio Claro possui um leito rochoso e águas caudalosas; é um dos principais afluentes da bacia do Rio Paranaíba. Localiza-se no Sudoeste Goiano e possui uma extensão de aproximadamente 400 km. Nasce no Noroeste do Estado de Goiás, na Serra do Caiapó, na divisa dos Municípios de Jataí e Caiapônia e corre para a direção sudeste, passando pelos municípios de Jataí, Caiapônia, Perolândia, Aparecida do Rio Doce, Caçu, Cachoeira Alta, Paranaiguara e São Simão, desaguando no Rio Paranaíba.

O Rio Claro possui um grande potencial hidrelétrico, com vários projetos de instalação de usinas e com algumas usinas em funcionamento como: PCH (Pequena Central Hidrelétrica) Jataí, UHE Caçu, UHE Barra dos Coqueiros e UHE Foz do Rio Claro (EIBH, 2005).

O local de estudo é o reservatório da UHE Barra dos Coqueiros, que possui um potencial de 90 MW (de propriedade da Empresa Gerdau Aços Longos S/A), o qual entrou em funcionamento no início do ano de 2010. O reservatório da UHE Barra dos Coqueiros tem espelho da água que possui 25,48 km², e localiza-se entre as coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator): 479338 e 509087 de longitude e 7923981 e 7956739 de latitude, tendo como o seu principal curso o rio Claro (Mapa1).

A montante do reservatório da UHE Barra dos Coqueiros está localizada na UHE Caçu (de propriedade do mesmo grupo), com potência de 66 MW, que regula o nível d'água e vazão à jusante.

Mapa 1 - Localização da Bacia Hidrográfica da UHE Barra dos Coqueiros.



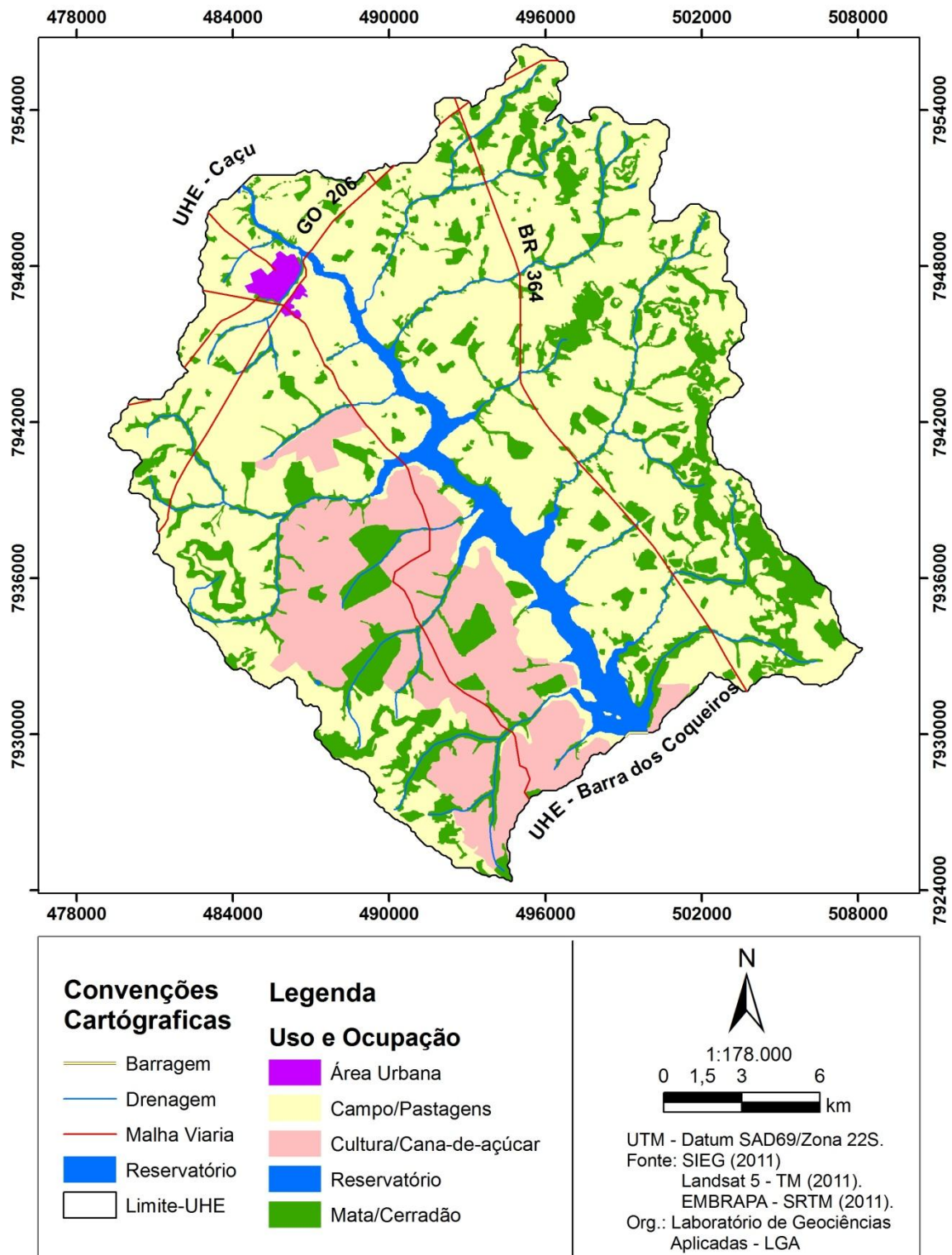
Fonte: ROCHA, I. R., (2011).

O uso da terra da bacia em estudo (Mapa 2) tinha aproximadamente, em julho de 2012, 57% da sua área ocupada com pastagens, 20% com cobertura natural (cerrado), 18% com culturas, principalmente de cana de açúcar, 4,6% coberta com água pelo represamento do rio Claro, para formação do reservatório da UHE Barra dos Coqueiros e, ainda, 0,5% de área urbana da cidade de Caçu.

De acordo com Braga (2012), o uso da terra, na área de estudo, é predominante de criação extensiva de gado de corte. Mas há um elemento relativamente novo no uso da terra, nessa área; refere-se à inserção do cultivo de cana-de-açúcar. A ampliação do cultivo se justifica pela instalação de uma unidade industrial do setor sucroenergético no município de Caçú, como parte da expansão desse setor para outras áreas do Cerrado goiano.

Outra mudança no uso da terra é o aumento da área coberta com água, causada pela formação do reservatório da UHE Barra dos Coqueiros, que entrou em funcionamento no início do ano de 2010, tendo como consequência a perda de parte da vegetação ciliar ao longo do rio e seus afluentes.

Mapa 2 - Uso da terra e cobertura vegetal da Bacia do Reservatório da UHE Barra dos Coqueiros em agosto de 2011.



Fonte: ROCHA, I. R., (2011).

Na foto 1, observam-se os principais usos da terra da bacia analisada, sendo o ponto 1 área de serra com vegetação nativa (cerrado), o ponto 2 canavial, ponto 3 área inundada com o afogamento de matas ciliares, ponto 4 pastagens e ponto 5 área inundada sem mata ciliar.

Foto 1 - Principais usos da terra da bacia da UHE Barra dos Coqueiros.



Fonte: BRAGA, C.C. (2011).

Geologicamente, a área de estudo, segundo o SIEG (2009), é composta por rochas do grupo Bauru, que é composto pelas formações Vale do Rio do Peixe e Marília, e rochas do grupo São Bento da Formação Serra Geral.

As rochas da Formação Serra Geral foram formadas de derrames de composição predominantemente básica. Rochas hipoabissais, sob a forma de diques ou *sills*, de composição básica, são correlacionáveis a este evento extrusivo. São encontradas encaixadas em unidades litoestratigráficas mais antigas, como nos basaltos (IBGE, 1983).

As rochas basálticas apresentam-se normalmente com aspecto maciço, cor cinza-escura, granulação fanerítica fina a média, ocasionalmente com a presença de amígdalas e fraturadas (AGIM/ CPRM, 2002).

A Formação Vale do Rio do Peixe repousa diretamente sobre basaltos da Formação Serra Geral. É composta por estratos de espessura submétrica, de arenitos intercalados com siltitos ou lamitos arenosos. Os arenitos são de finos a muito finos, de cores que variam do marrom claro, rosados a alaranjados e de seleção moderada à boa. Têm aspecto maciço ou estratificação cruzada tabular e acanalada de médio a pequeno porte. Tem espessura máxima preservada da ordem de 100 m (FERNANDES, 2004; CABRAL, 2006).

Segundo Fernandes (2004), nos estratos “maciços”, podem ocorrer zonas de estratificação/laminação plano-paralela grosseira, formadas por: a) superfícies onduladas (amplitude e comprimento de onda centimétricos), às vezes com laminação interna (*climbings* eólicos); b) ondulações de adesão; ou c) planos bem definidos, com lineação de partição.

Fernandes (2004) afirma, ainda, que a Formação Marília é constituída por arenitos de finos a médios, predominantemente mal selecionados, imaturos, com frações grossas e grânulos em quantidades subordinadas, sobretudo, nas zonas marginais da bacia. Formam estratos de aspecto maciço, de cores bege à rosa (pálidas) características, com cimentação e nódulos carbonáticos. Poucas vezes exibem estratificação cruzada de médio porte. As intercalações de lamitos e arenitos lamíticos têm cor marrom, espessuras centimétricas a decimétricas (até 1 m), que são mais frequentes nas partes interiores da bacia.

Geomorfologicamente, verifica-se na área de estudo Superfície Regional de Aplainamento (SRAIIB-RT), com cotas entre 550 e 750 m, formadas principalmente sobre os basaltos da Formação Serra Geral (LATRUBESSE & CARVALHO, 2006).

O relevo para a região estudada comporta quatro segmentos distintos: compartimento de morros testemunhos, compartimento de rebordo e Vale do Rio Claro. O Compartimento de Morros Testemunhos, Foto 2, é representado por elevações com padrão de mesas e mesetas, com topo plano e bordas escarpadas, sustentadas por rochas chamadas “arenitos”, que se destacam na paisagem regional.

Foto 2 - Bordas da bacia com Morros Testemunhos.



Fonte: BRAGA, C.C. (2011).

As áreas de chapadas correspondem a todo o setor com padrão de relevo plano a suave ondulado, com baixa amplitude de relevo e baixa densidade da drenagem (com relação aos demais compartimentos). Esse compartimento forma a maior parte da área da bacia e, atualmente, o tipo de uso predominante é a monocultura, além da pecuária e o cultivo de cana-de-açúcar (NOVELIS, 2006).

As áreas de rebordos correspondem à transição entre o compartimento de Chapada e o Vale do Rio Claro. A área de Vale do Rio Claro apresenta um padrão de relevo ondulado, sendo este compartimento ocupado essencialmente por pecuária extensiva e culturas de subsistência, já que as declividades moderadas impedem o desenvolvimento de culturas mecanizadas (NOVELIS, 2006).

Novelis (2006) descreve que o Vale do Rio Claro apresenta relevo ondulado, com densidade de drenagem moderada, com incisão de drenagem local forte, em que o processo erosivo é atenuado pela grande resistência dos basaltos da Formação Serra Geral aos processos de intemperismo físico, limitando o processo erosivo local. A densidade da drenagem é moderada, representada por solos com baixa capacidade de drenagem.

Pedologicamente, nas áreas de chapada, a sudeste da bacia, verifica-se a presença de Latossolo Vermelho-Amarelo, que representa a maior parte da área da bacia, em que o uso mais frequente é a pecuária extensiva e a plantação de cana-de-açúcar, com relevo plano e suave ondulado, baixa amplitude de relevo, baixa densidade de drenagem, com cotas hipsométricas inferiores a 530 metros; nas bordas deste relevo, podem-se alcançar cotas aproximadas a 600 metros, o que resulta em um compartimento com pequena amplitude de relevo.

Quanto à geodinâmica, pode-se afirmar que o intemperismo químico supera amplamente os processos de transporte e acumulação. As chapadas são áreas, com amplas superfícies residuais, com latossolização predominante (NOVELIS, 2006).

Segundo Braga (2012), as áreas de borda da bacia são caracterizadas por Morros Testemunhos, representadas por relevo residual com elevações de topo plano, limitado por bordas escarpadas, sustentadas por arenitos do Grupo Bauru, resultantes do recuo pela erosão de frente de cuesta. Estas áreas encontram-se mais distantes dos cursos d'água, na maior parte com solos de baixa fertilidade e dificuldade de mecanização, sendo as áreas mais preservadas da bacia em função do restrito uso e ocupação. Os solos destas áreas são contrastantes, representados por Latossolos arenosos e espessos no topo dos platôs e por Cambissolos nas porções de bordas.

Entretanto, o Latossolo Vermelho distrófico é a classe predominante na bacia da UHE Barra dos Coqueiros, e está relacionado às deposições da Formação Serra Geral. Esta classe de solo é caracterizada pela textura argilosa, com saturação por bases baixas ($V < 50\%$) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, o que favorece maior resistência aos processos erosivos. Os solos possuem teores de Fe_2 e O_3 entre 8 e 18 % nos solos argilosos ou muito argilosos, e teores inferiores a 8% nos solos de textura média. São bem drenados, possuem baixa densidade aparente, de 0,84 g a 1,03 g/cm³, e porosidade muito alta ou alta. Assim, aliadas às características do relevo e por serem ácidos, requerem correção de acidez e adubação. Tomando-se os devidos cuidados, favorecem o plantio de diversas culturas (EMBRAPA, 1999).

O Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico é característico do Grupo Bauru. Possui também características semelhantes às dos solos do tipo Latossolos

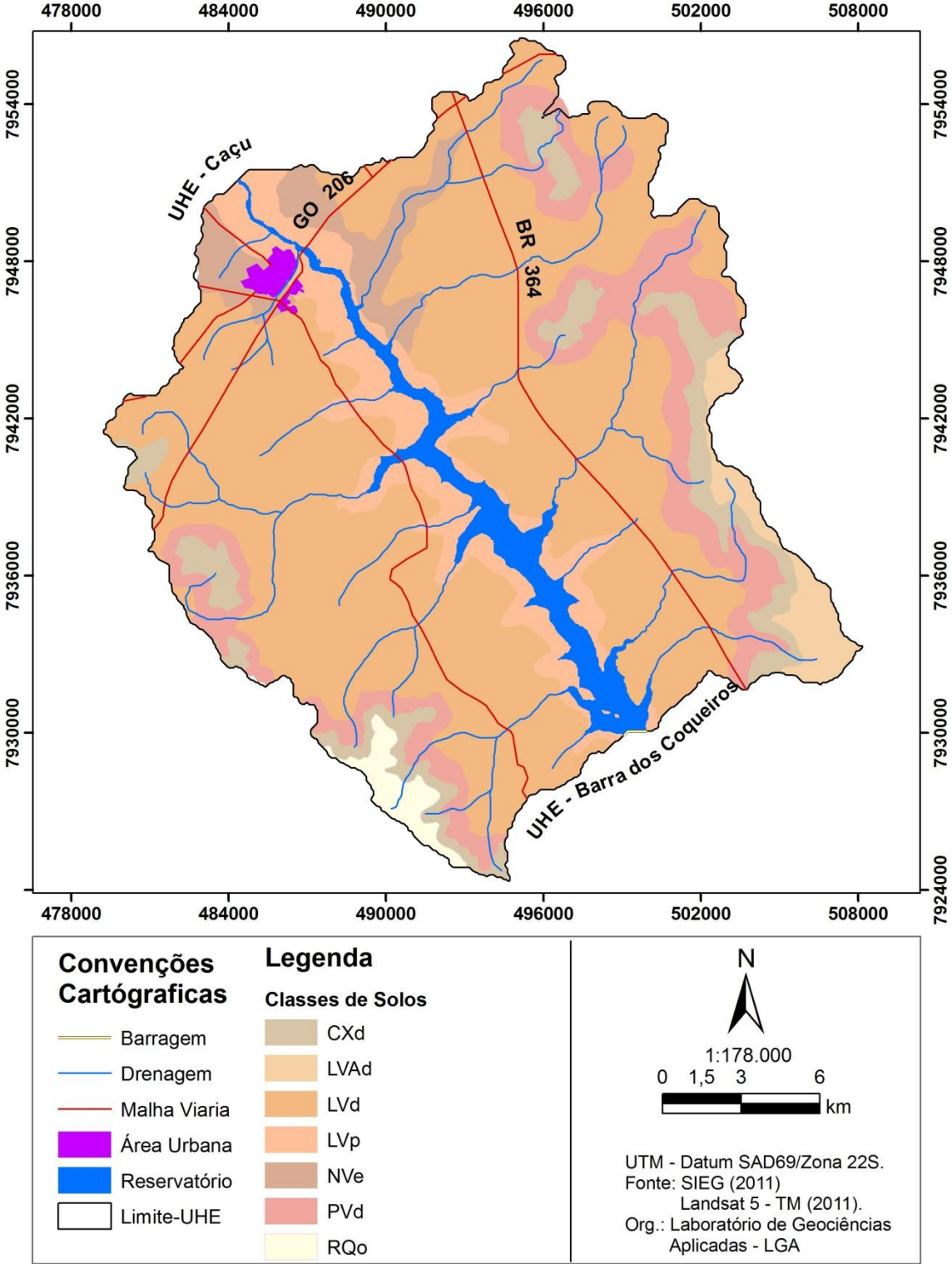
Vermelhos, com a diferença de apresentar suprimento de óxido de ferro menor, com teores de Fe_2 e O_3 iguais ou inferiores a 11%, o que acarreta a coloração mais amarelada. São solos profundos ou muito profundos, bem drenados, com textura argilosa, muito argilosa ou média, ácidos a muito ácidos, com saturação por bases baixas (distróficos) e, por vezes, álicos - nesses casos, com alumínio trocável maior que 50%. Para o manejo de culturas, requerem correção da acidez, adubação fertilizante e controle de erosão, pois apresentam fertilidade química baixa.

Segundo a EMBRAPA (1999), os Latossolos são classificados por possuírem material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300cm, se o horizonte A apresenta mais que 150cm de espessura.

Na parte norte da bacia da UHE Barra dos Coqueiros (Mapa 3), às margens do Rio Claro, encontra-se o Nitossolo Vermelho eutrófico. Este solo tem saturação por bases altas (>50%), na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, onde possui maior quantidade de argila que os latossolos e horizontes mais profundos, o que possibilita o desenvolvimento de vegetação nativa de maior porte.

A EMBRAPA (1999) conceitua os Nitossolos como solos constituídos por material mineral, com horizonte B nítico de argila de atividade baixa, textura argilosa ou muito argilosa, em blocos angulares, com superfície dos agregados reluzente, com cor vermelho-escuro tendendo à arroxada. Estes solos são derivados do intemperismo de rochas básicas, ricas em minerais, ferro e magnésio. Seus teores de ferro (Fe_2 e O_3) são elevados (superiores a 15%). Apresentam como principais limitações a baixa saturação por bases baixas, sendo predominantemente distróficos, com pequenas ocorrências de solos eutróficos e álicos.

Mapa 3 - Mapa de solos da bacia da UHE Barra dos Coqueiros.



Fonte: ROCHA, I. R., (2011).

O clima da região do cerrado é classificado, por Coutinho (2000), com uma estação seca no inverno e outra chuvosa no verão e, segundo a classificação de Kopën, o clima é tropical chuvoso Aw, savânico.

O clima tropical da região tem temperaturas elevadas, principalmente no período primavera-verão, com grande frequência de temperaturas máximas diárias acima de 30,0 °C, com poucas invasões de ar frio de origem polar. Já no inverno, são comuns dias frios com temperaturas mínimas abaixo de 10°C, principalmente nos meses de junho e julho, podendo ocorrer geadas, com baixa umidade do ar; tudo isso decorrente da chegada de massas de ar polares que acontecem com frequência nesta época do ano. Porém, quando estas massas de ar frias não chegam, as temperaturas médias são altas, mesmo no inverno (Mariano, 2005).

Em estudos realizados por Cardoso (2011), na região Sudoeste de Goiás, o clima é classificado como Cwa, sendo tropical chuvoso, com invernos secos e verão quente, isto é, a temperatura do mês mais frio é menor que 18°C, e o total de chuva do mês mais seco é inferior a 30 mm. Pode-se dizer, assim, que na região Sudoeste do Estado de Goiás são verificadas duas estações climáticas bem definidas: uma estação úmida, de outubro a abril, com chuvas mensais acima de 30 mm; e uma estação seca, entre maio e setembro, com índices de precipitações, em geral, inferiores a 30 mm mensais, o que caracteriza um período de estiagem.

Observou-se que o índice pluvial médio mensal do período chuvoso, de outubro a abril, da bacia UHE Barra dos Coqueiros, situa-se em torno de 105 a 405 mm. Na estação seca (maio a setembro), a distribuição dos valores pluviais variou de 0 a 34 mm mensais (ROCHA 2012).

Em relação ao clima, segundo Mariano, Santos e Scopel (2003), predominam na região sudoeste de Goiás duas estações climáticas bem distintas: sendo uma no período chuvoso (outubro a abril), com variação de 1200 mm a 1800 mm, e outra em período mais seco (maio a setembro), quando a precipitação varia bastante, com valores que chegam próximo de zero. Em relação à temperatura, Lobato (2002) apud Mariano (2005) observou que as temperaturas médias anuais variam de 20,0 °C a 23,0 °C.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Trabalho de Campo

Foram efetuadas duas coletas das amostras de água em campo: uma em 11 julho de 2012 (correspondente ao período seco), ocasião em que ocorre um déficit hídrico; e outra em 25 de janeiro de 2013 (correspondente ao período chuvoso), no qual ocorre excedente hídrico.

Com o intuito de compreender a distribuição espacial e temporal no reservatório, foram selecionados 40 pontos de amostragem, cuja localização foi definida de modo a abranger todos os compartimentos aquáticos do reservatório, de acordo com a proposta de Kimmel *et al.* (1990).

O trabalho *in loco* foi realizado com duas equipes, dentro do reservatório, com o uso de barcos a motor, GPS, câmera fotográfica, planilhas de anotações, garrafas pet e caixas térmicas com gelo (foto 03).

Foto 03 - Equipes em campo



Fonte: OLIVEIRA, 2012



Fonte: OLIVEIRA, 2013

Tais amostras foram acondicionadas em caixas térmicas com gelo até a filtragem ou a realização das análises.

4.2 Análise da Clorofila *a*

O método para a determinação da Clorofila *a* segue a proposta apresentada por Yunes e Araújo [s/d], com base em Mackinney (1941), Paranhos (1996) e Chorus (1999). As amostras de água foram coletadas e mantidas resfriadas até a filtragem, que ocorreu logo após, no final da coleta.

Os procedimentos de filtração e extração de pigmentos foram realizados sempre sob fraca iluminação. Para a filtração, utilizou-se filtro de fibra de vidro AP20 Millipore, de 47 mm de diâmetro, com capacidade de retenção nominal 0,8 a 8,0 micra. O volume da amostra de água, 200 ml, foi sendo despejado até que o filtro não permitisse mais a passagem da amostra de água, ou seja, após alcançado o volume previamente estabelecido (a filtração não deve demorar mais que 15 minutos). O filtro então foi removido e colocado sobre um papel absorvente para retirada do excedente da umidade.

A filtração para extração dos pigmentos não foi feita na sequência, por isso estes foram envolvidos em papel alumínio (dobrando-os ao meio, com os pigmentos voltados para dentro); a metodologia descreve que se pode congelá-los por, no máximo, 3 meses.

Para a extração do pigmento da clorofila *a*, foram colocados os filtros dentro de frascos, adicionados 10 ml de metanol, os quais, em seguida, foram tampados e envolvidos em papel alumínio, permanecendo refrigerado por um período de 24 horas (foto 4 a).

Para a leitura da absorbância, no espectrofotômetro, os filtros foram retirados da refrigeração, e o sobrenadante foi pipetado e colocado nas cubetas, com passo óptico de 1 cm, do espectrofotômetro. Conforme Mackinner (1941), Yunes e Araújo [s/d], a absorbância da Chl-*a* ocorre em 663 nm e a turbidez das células das cianobactérias em 750 nm.

Para o cálculo da concentração de clorofila em $\mu\text{g.L}^{-1}$, são levados em consideração as medições do espectrofotômetro, o volume de pigmentos extraídos e o volume filtrado, conforme apresentado na Equação 1. Nos experimentos realizados, utilizou-se o Espectrofotômetro modelo UV – 1000A, com faixa de operação entre 320 a 1100 nm da Instrutherm (foto 4 b).

Foto 4 a b – Frascos com os filtros mergulhados em metanol, envolvidos em papel alumínio e sendo refrigerados(a); Espectrofotômetro utilizado para leitura da absorbância (b);

a



Fonte: OLIVEIRA, 2012

b



Fonte: OLIVEIRA, 2012

A leitura realizada pelo espectrofotômetro deu-se através da absorbância que, quando aplicada à fórmula, obtém-se a concentração de clorofila a.

$$Chl\ a\ (mg/L) = \frac{[A(663-750) \cdot 12,63\ Vol.\ Extração\ (mL) \cdot 1000]}{Vol.\ Filtrado\ (mL)} \dots\dots\dots (01)$$

Onde: A: absorbância em 663 e 750 nm; 12,63: constante; Vol. Extração: volume de metanol utilizado; Vol. Filtrado: volume de água filtrada.

4.3 Transparência da água

As medidas de transparência de água do lago foram realizadas com disco de Secchi, de acordo com a proposta de Esteves (1988), que consiste em afundar um disco subdividido em quatro partes, pintado nas cores branco e preto, com 25 cm de diâmetro, e verificar a que profundidade ele desaparece do campo de visão do observador, sendo aí a profundidade do disco de Secchi.

Essa profundidade, sob a qual o disco desaparece e logo reaparece, é a profundidade de transparência (foto 5). A partir da medida do disco de Secchi, é possível estimar a profundidade da zona fótica, ou seja, a profundidade de penetração vertical da luz solar na coluna d'água, que indica o nível da atividade fotossintética de lagos ou reservatórios.

Foto 5 - verificação da transparência de Secchi



Fonte: WACHHOLZ 2012

Das três variáveis que compõem o IET, a de mais fácil e prática obtenção é a profundidade de secchi, pois o disco de secchi pode ser considerado o dispositivo de menor custo e de mais rápida construção que se dispõe em estudos limnológicos e ou oceanográficos, além do que sua avaliação é também extremamente simples e rápida, não envolvendo qualquer tipo de análise laboratorial (TOLEDO, 1990, p. 9).

Para o cálculo do IET, Toledo (1983) utiliza-se de uma ponderação para a transparência, de modo a dar menor peso ao índice referente à profundidade secchi, ao invés de eliminá-lo.

4.4 Fósforo total

Fósforo: as principais fontes naturais de fósforo para o ambiente aquático são o intemperismo de rochas contendo fosfato e a decomposição da matéria orgânica. Esgotos domésticos, especialmente aqueles contendo detergentes, efluentes industriais e a enxurrada de áreas agrícolas também contribuem para elevar a concentração de fósforo na água.

O fósforo encontrado em águas superficiais pouco poluídas é raramente detectado pelos métodos analíticos disponíveis, isto porque este nutriente é

rapidamente assimilado pelos vegetais. Como resultado, pode ser evidenciada uma flutuação sazonal nas concentrações de fósforo nas águas naturais associada aos ciclos de crescimento e cenescência das populações fitoplanctônica. Na maioria das águas naturais, o fósforo $\text{PO}_4\text{-P}$ varia de 0,005 a 0,020 mg/L^{-1} .

O fósforo é, geralmente, considerado o elemento limitante à produção primária do fitoplankton e de macrófitas aquáticas, embora a associação de fatores físicos, químicos e biológicos seja mais adequada para avaliar a ocorrência de florações de algas ou infestações por macrófitas.

Utilizou-se a adaptação do método Fósforo Total, Método Vanadomolibdico Fotocolorímetro, através do equipamento multiparâmetro de bancada da AT100 Alfakit, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th edition. A reação entre o fosfato e os reagentes causa uma coloração azul na amostra, com tonalização variando de acordo com a concentração.

4.5 Índice do Estado Trófico (IET)

A finalidade do Índice do Estado Trófico (IET) é classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes.

Para fins de comparação, foram utilizados três métodos para análise do IET: Carlson (1977), Toledo Jr. (1984) e Lamparelli (2004). Os índices utilizados para estimativa do estado trófico do reservatório resultaram das equações abaixo:

- Na forma original, o índice, de acordo com proposta de Carlson (1977), é calculado através das seguintes equações:

$$IET(S) = 10 \left[6 - \frac{\ln S}{\ln 2} \right] \quad (02)$$

$$IET(P) = 10 \left[6 - \frac{\ln \left(\frac{48}{P} \right)}{\ln 2} \right] \quad (03)$$

$$IET(CL) = 10 \left[6 - \frac{2,04 - 0,68(\ln CL)}{\ln 2} \right] \quad (04)$$

Leia-se IET () = índice do estado trófico

S = profundidade Secchi em m

P = concentração de fósforo total em $\mu\text{g.L}^{-1}$

CL = concentração de clorofila-a em $\mu\text{g.L}^{-1}$

ln = logaritmo natural

O índice do estado trófico total na proposta de Carlson (1977) é feito através de uma média simples dos três índices tróficos das variáveis, tabela 1.

$$IET\ total = \frac{IET\ (S) + IET\ (CL) + IET\ (P)}{3} \quad (05)$$

Tabela 1 - Limites para os diferentes níveis tróficos de Carlson que foram adaptados por Mandú e Santos (2011)

Estado Trófico	Critério	Clorofila a ($\mu\text{g/L}$)	Fósforo total ($\mu\text{g/L}$)	Transparência (m)
Oligotrófico	≤ 40	$< 2,6$	≤ 12	$> 4,0$
Mesotrófico	$40 < IET \leq 55$	$\leq 2,6 < CL \leq 12,75$	$\leq 12 < FT \leq 18$	$\leq 4,0 < S \leq 1,5$
Eutrófico	$IET \geq 55$	$> 12,75$	≥ 18	$< 1,5$

- Cálculo do IET, de acordo com a proposta de Toledo Jr. (1984), que o adequou para ambientes em regiões tropicais, conforme as equações 1, 2 e 3.

$$IET(S) = 10 \times \left[6 - \frac{(0,64 + \ln S)}{\ln 2} \right] \quad (06)$$

$$IET(CL) = 10 \left[6 - \frac{(2,04 - 0,695 \ln CL)}{\ln 2} \right] \quad (07)$$

$$IET(P) = 10 \left[6 - \frac{\ln\left(\frac{80,32}{P}\right)}{\ln 2} \right] \quad (08)$$

Leia-se:

S = transparência, medida por meio de disco de Secchi, expressa em m.

P = concentração de fósforo total medida à superfície da água, expressa em $\mu\text{g.L}^{-1}$.

CL = concentração de clorofila a medida à superfície da água, expressa em $\mu\text{g.L}^{-1}$.

ln = logaritmo natural

De acordo com Toledo (1983), a profundidade do disco de Secchi é muito afetada pela elevada turbidez dos reservatórios na maior parte do ano; o autor determina limites para cada variável, tabela 2. Assim, para controlar tal problema, este autor sugere ponderar o IET médio, de forma a dar peso à variável transparência da água, na seguinte forma:

$$IET_{total} = \frac{IET(S) + 2(IET(CL) + IET(P))}{5} \quad (09)$$

Tabela 2 - Limites para diferentes níveis de estado trófico, segundo o sistema de classificação proposto por Toledo (1990).

Estado Trófico	Critério	Clorofila a ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Transparência (m)
Ultraoligotrófico	$IET \leq 24$	$\leq 0,51$	$\leq 6,6$	$\geq 7,8$
Oligotrófico	$24 < IET \leq 44$	0,52-3,81	7 - 26	7,7 – 2,0
Mesotrófico	$44 < IET \leq 54$	3,82-10,34	27- 52	1,9 – 1,00
Eutrófico	$54 < IET \leq 74$	10,35-76,06	53 - 211	0,9 – 0,3
Hipereutrófico	$IET \geq 74$	$> 76,06$	> 211	$< 0,3$

- O cálculo do IET para Lamparelli (2004):

$$IET(S) = 10 \left[6 - \frac{\ln S}{\ln 2} \right] \quad (10)$$

em que a transparência (S) é expressa em m.

$$IET(CL) = 10 \left[6 - \frac{0,92 - 0,64(\ln CL)}{\ln 2} \right] \quad (11)$$

em que a clorofila (CL) é expressa em $\mu\text{g.L}^{-1}$.

$$IET(PT) = 10 \left[6 - \frac{1,77 - 0,42(\ln PT)}{\ln 2} \right] \quad (12)$$

e o fósforo total (PT) é expresso em $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Tabela 3 - Equivalência do IET para as medidas das variáveis de fósforo, clorofila a e transparência em reservatórios em Laparelli (2004).

Nível trófico	IET	Clorofila a $\mu\text{g.L}^{-1}$	Fósforo total $\mu\text{g.L}^{-1}$	Transparência S (m)
Ultraoligotrófico	≤ 47	$\leq 1,17$	≤ 8	$\leq 2,4$
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	$1,17 < \text{CI} \leq 3,24$	$\leq 8 < \text{FT} \leq 19$	$2,2 > \text{S} \geq 1,7$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	$3,24 < \text{CI} \leq 11,03$	$\leq 19 < \text{FT} \leq 52$	$1,7 > \text{S} \geq 1,1$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$	$11,03 < \text{CI} \leq 30,55$	$\leq 52 < \text{FT} \leq 120$	$1,1 > \text{S} \geq 0,8$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$	$30,55 < \text{CI} \leq 69,05$	$\leq 120 < \text{FT} \leq 233$	$0,8 > \text{S} \geq 0,6$
Hipereutrófico	> 67	$> 69,05$	$> 0,233$	$> 0,6$

4.6 Espacialização dos dados

Com os dados cartográficos disponibilizados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), de escala 1: 250.000 (folhas SE-22-Y-B – Caçu e SE-22-Z-A Quirinópolis), foi delimitado o recorte da bacia em estudo. Com a imagem LANDSAT5/TM, cena 223, ponto 73, de 2010, foi delimitado o limite do lago da UHE Barra dos Coqueiros. A partir dos dados cartográficos, teve-se a possibilidade de recortar o banco de dados, confeccionando os mapas dos valores obtidos pelas análises executadas.

Para a execução dos mapeamentos, foi necessário gerar um banco de dados no programa de geoprocessamento SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciais), versão 5.1.7, do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

No Software SPRING/INPE, foram gerados os Planos de Informações (PIs), para as categorias em análise: Clorofila a, Fósforo Total e Secchi (transparência da água). As categorias em análise foram obtidas por dados amostrais de modelo de dados MNT (Modelo Numérico do Terreno), a partir do método de interpolação de

dados amostrais. Desse modo, no SPRING 5.1.7, foram realizadas as interpolações pelo método de “Geração de Grade Regular”, com o interpolador “Média Ponderada”. Após esse procedimento, foi obtido o fatiamento dos MNTs, gerando isolinhas de classificação para as classes previamente criadas no modelo de dados tipo “Temático”, conforme os métodos de IET (Índice de Estado Trófico) de Carlson (1977), Toledo (1983) e Lamparelli (2004), em avaliação nesta pesquisa.

Os dados dos pontos amostrais utilizados nos mapeamentos foram adquiridos por coleta em campo e por análises executadas em laboratório.

Em seguida, para elaboração final dos mapeamentos, com melhor resolução e maiores detalhes, os mapas gerados foram exportados em arquivos de extensão, formato tipo “shp”, para uso no Software ArcGIS 10, extensão ArcMap 10, finalizando, de modo fácil, os mapas elaborados no SPRING 5.1. 7.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da coleta das amostras de água, coletadas no reservatório da UHE Barra dos Coqueiros, nos dias 12 de julho de 2012 e 13 janeiro de 2013, e da tabulação dos dados de campo, foi possível obter resultados das análises de 40 pontos amostrais, que aqui são expostos.

5.1. Análise do Fósforo

Os dados referentes às coletas realizadas no período chuvoso e seco são apresentados na tabela 4.

Tabela 4: resultados da variável fósforo no reservatório

Pontos	Fósforo $\mu\text{g.L}^{-1}$ (seco)	Fósforo $\mu\text{g.L}^{-1}$ (chuvoso)
1	0,0	1045,00
2	0,0	911,00
3	0,0	798,00
4	0,0	783,00
5	0,0	1014,00
6	0,0	928,00
7	0,0	104,00
8	0,0	923,00
9	0,0	788,00
10	0,0	619,00
11	0,0	689,00
12	0,0	304,00
13	0,0	393,00
14	0,0	343,00
15	0,0	245,00
16	0,0	186,00
17	209,00	129,00
18	0,0	135,00
19	0,0	286,00
20	0,0	221,00
21	0,0	124,00
22	0,0	166,00
23	0,0	149,00
24	0,0	137,00
25	0,0	101,00
26	0,0	151,00
27	0,0	195,00
28	432,00	34,00
29	50,00	156,00
30	432,00	134,00

31	356,00	126,00
32	0,0	84,00
33	0,0	134,00
34	0,0	148,00
35	0,0	157,00
36	0,0	113,00
37	0,0	11,00
38	0,0	152,00
39	0,0	98,00
40	0,0	158,00

Em relação ao período seco, no reservatório da UHE Barra dos Coqueiros, as concentrações de fósforo variaram de 0,0 a 432 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Das 40 amostras, em somente 5 pontos de coleta obtiveram-se valores superiores à 0,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$. No entanto, em relação ao período chuvoso, as concentrações variaram entre 34,00 e 1050,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$, não havendo nenhuma amostra, no período chuvoso, que ficasse zerada a concentração.

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece como limite para o fósforo, a concentração de 20 $\mu\text{g/L}$ para ambientes lênticos, e 25 $\mu\text{g/L}$, para ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambientes lênticos. Observando o que diz Novelis (2005), o tempo de residência do reservatório da UHE Barra dos Coqueiros é de 23 dias no período chuvoso e 35 dias no período seco.

Relacionando a presente pesquisa com outros estudos desenvolvidos, percebe-se que a variação dos valores das concentrações de fósforo deve-se à influência das chuvas na bacia, proporcionando o carreamento de fósforo para os corpos hídricos.

As concentrações de fósforo no período seco foram diagnosticadas com valor superior a 0,0 em somente 12,5% dos pontos amostrados, enquanto no período chuvoso, em 30% das amostras, essas concentrações tiveram valor superior a 100 $\mu\text{g.L}^{-1}$, como pode ser observado na tabela 5.

Portanto, devido ao cálculo do IET ser feito por uma função logarítmica, e logaritmo de zero ser negativo e, ainda, em virtude de nenhuma das propostas adotadas atribuir classe para IET negativo, os valores de zero foram substituídos por 1,055 $\mu\text{g.L}^{-1}$, valor matemático mínimo para que se possam obter resultados, em relação ao grau de trofia dos reservatórios para a concentração de fósforo.

Conforme o índice do estado trófico (IET) da variável fósforo, no período seco, segundo a proposta de Carlson, a água do reservatório Barra dos Coqueiros classifica-se, aproximadamente, 75% em oligotrófico, mais de 17% em eutrófico e 6% em mesotrófico, como pode ser observado no mapa 4 A. Vale a pena lembrar que o índice desenvolvido por Carlson foi para ambientes temperados .

Já no período chuvoso, o índice do estado trófico (IET) da variável fósforo, pela proposta de Carlson, o reservatório foi classificado em mesotrófico e eutrófico, com valores aproximados de 40 e 60%, consecutivamente. Portanto, o índice eutrófico no período chuvoso é 10 vezes superior ao período seco; outra diferença é que, no período chuvoso, não apareceu a classe oligotrófico, sendo a mesotrófico a menor classificação, que é mais que o dobro da área classificada nesta classe, mapa 4 B.

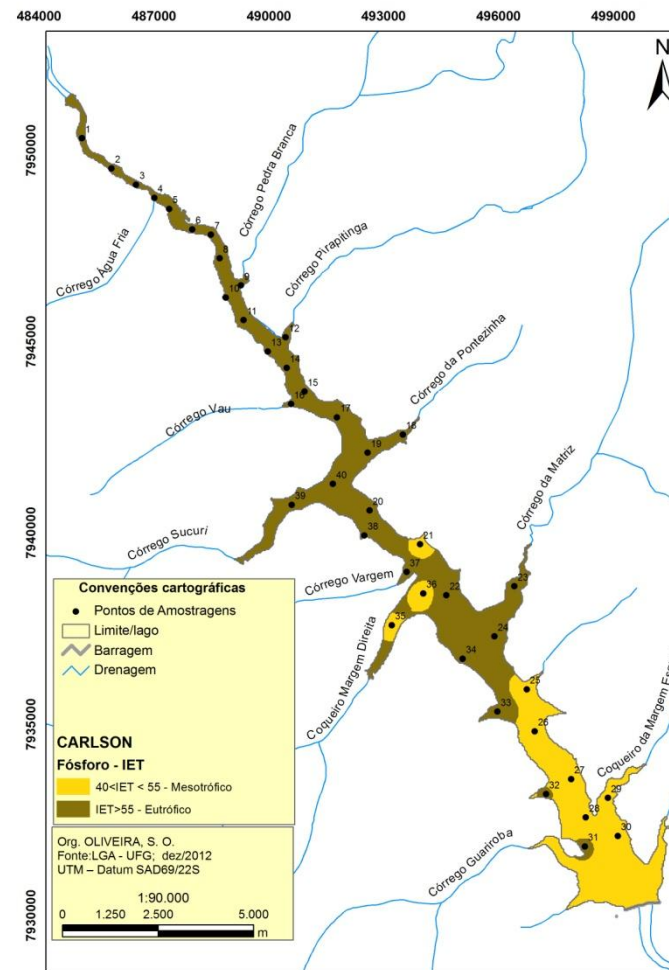
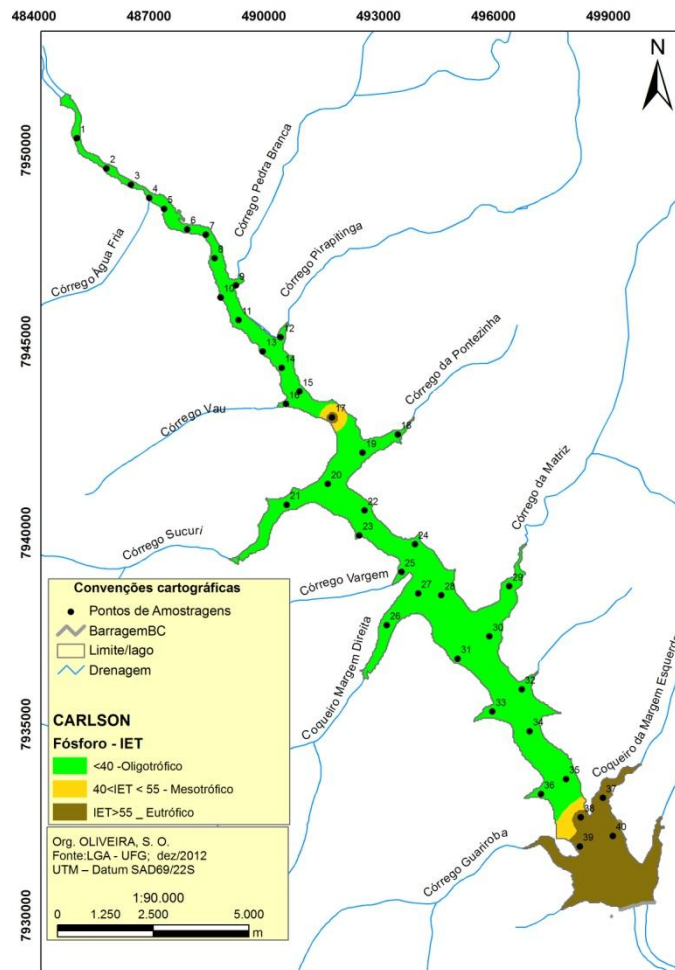
A partir da análise espacial, é possível verificar, no período seco, que o trecho classificado como eutrófico se encontra entre o reservatório e os córregos Guariroba e Coqueiro Esquerdo. Isso deve-se ao fato do tempo de residência da água, que chega a ficar parada 16 dias nesse trecho.

Já no período úmido, esse setor do reservatório passa a ser classificado como mesotrófico, na fase lago, mas, à montante deste local, o reservatório classifica-se em eutrófico, devido ao carreamento e aumento de nutrientes como fósforo.

Mapas 4 A e B: espacialização do IET de fósforo total, segundo a proposta de Carlson (1977)

Mapa A – Período seco

Mapa B – Período chuvoso



Outros estudos semelhantes e distintos aos estudos apresentados merecem destaque, pois podem ser comparados aos resultados obtidos para a UHE Barra dos Coqueiros como:

Bueno *et al.* (2008) realizaram estudos no reservatório da UHE Itaipu, no período seco, e encontraram o IET de fósforo em $28,41 \mu\text{g.L}^{-1}$, sendo classificado em oligotrófico pelo método de Carlson, semelhante ao estudo realizado para Barra dos Coqueiros.

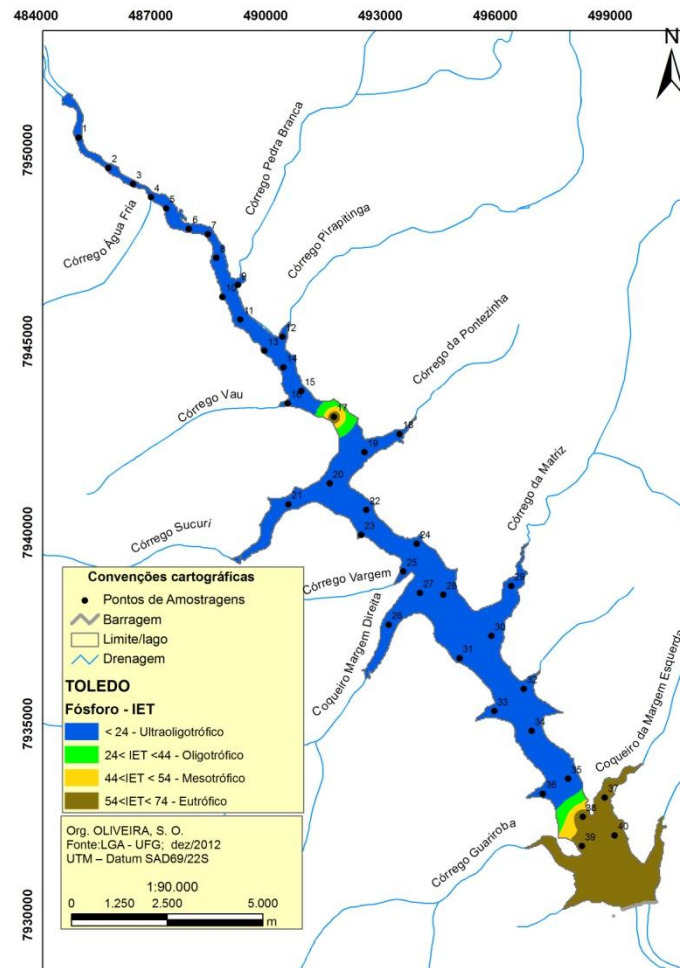
Na pesquisa desenvolvida por Xavier (2005), encontrou-se no reservatório no Rio Passaúra o índice de trofia para fósforo variando em oligotrófico e mesotrófico, por meio da proposta de Salas e Matino(1991). A autora afirma que tal fato está relacionado apenas à carga de fósforo no reservatório, pois, neste caso, a concentração de fósforo observada refere-se apenas à água livre e não considera os nutrientes associados à biomassa das plantas.

A partir da espacialização dos dados de fósforo, de acordo com a proposta de Toledo, no período seco, as águas do reservatório de Barra dos Coqueiros podem ser classificadas, em aproximadamente 75%, como ultraoligotrófico, 13% eutrófico, 5% oligotrófico e 7% mesotrófico, desta forma demonstrando classificações diferenciadas em relação à proposta de Carlson. A principal diferença é que o IET de Toledo tem uma classe inferior à oligotrófica e eutrófica, que é a ultraoligotrófica, portanto, abrange menores intervalos de classes, como pode ser observado no mapa 5 A, que foi a classe predominante, quando espacializados os dados do período seco no reservatório.

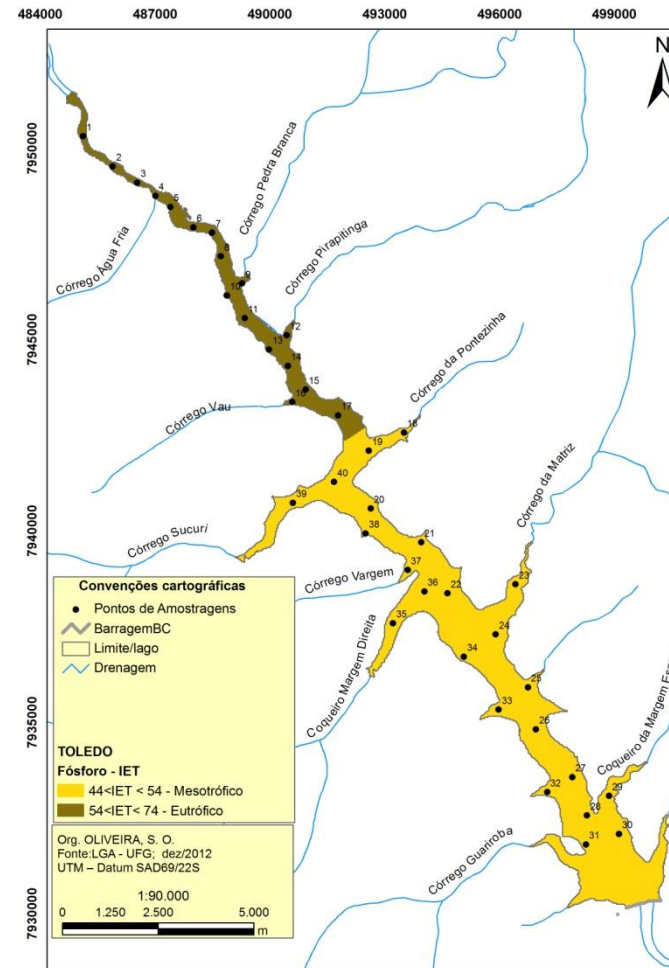
Seguindo a aplicação da proposta de Toledo, no período chuvoso, o reservatório pode ser classificado como mesotrófico em aproximadamente 80% da sua área e o restante foi classificado em eutrófico, demonstrando maior índice de trofia no período chuvoso, mapa 5 B.

Mapa 5 A e B: espacialização do IET de fósforo total, seguindo a proposta de Toledo (1983)

Mapa A – Período seco



Mapa B – Período chuvoso



Cunha (2007) realizou pesquisa no Rio Pariqueraçu, no Vale do Ribeira de Iguape–SP, e utilizou-se da proposta de Toledo (1983), no mês de janeiro de 2007, classificando a área pesquisada como mesotrófica e eutrófica, tais classificações ocorreram da nascente para a foz.

Em estudos realizados por Monteiro, Nascimento e Moura (2007), utilizando-se da proposta de Toledo (1983), o reservatório Saco I–PE foi classificado como Hipereutrófico, nos períodos seco e chuvoso.

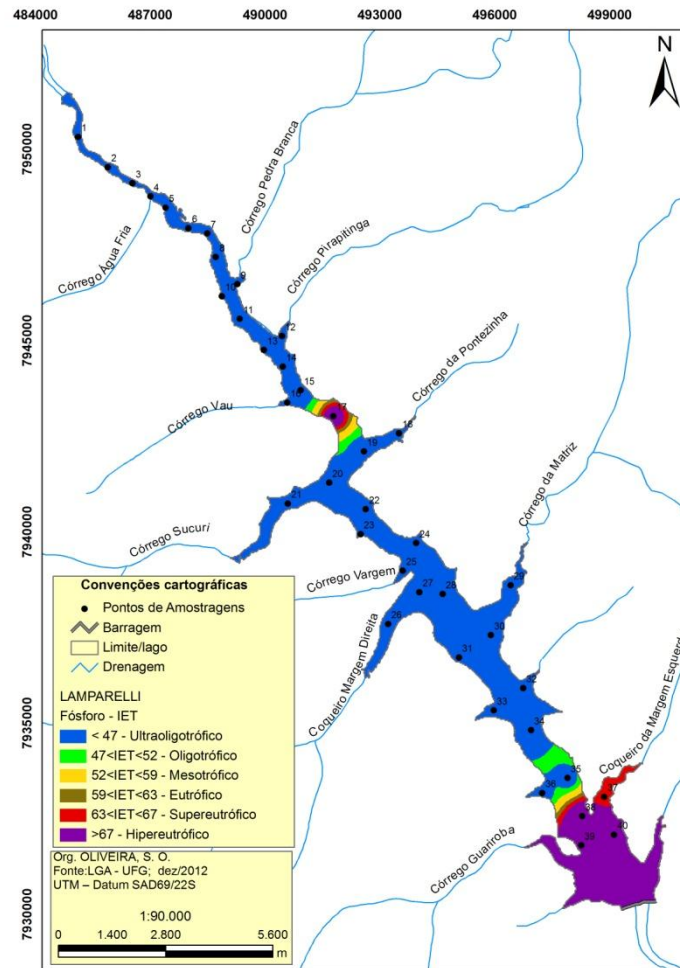
Meirinho (2010), em um braço do reservatório do Complexo Billings–SP, também classifica o ambiente aquático por cada uma das variáveis e, na variável de fósforo, o reservatório estudado foi classificado como eutrófico na região de zona de rio e na zona transição, e lacustre mesotrófico, na proposta de Toledo (1983).

Assim como os estudos citados anteriormente, ocorreu uma elevação dos índices de trofia nas águas da montante para a jusante, fato semelhante ao que ocorre para as águas do reservatório de Barra dos Coqueiros.

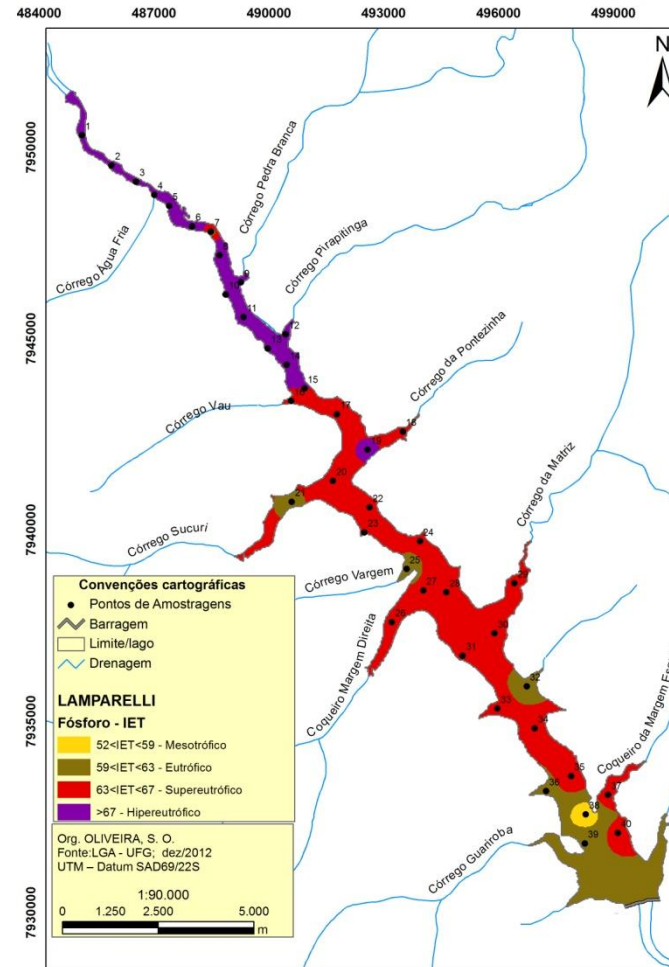
De acordo com a proposta de Lamparelli (2004), no período seco, para a variável fósforo, quase 70% da água do reservatório da UHE Barra dos Coqueiros pertencem à classe ultraoligotrófico, e mais de 20% se classificaram em hipereutrófico, mapa 6 A. No entanto, no período chuvoso, a classe que teve maior representatividade foi a supereutrófico, com aproximadamente 59% do total da área, seguida por 25% da área como eutrófico e o restante em hipereutrófico, mapa 6 B.

Mapa 6 A e B: espacialização do IET de fósforo seguindo a proposta de Lamparelli (2004)

Mapa A – Período seco



Mapa B – Período chuvoso



No estudo realizado por Garcia, Garcia e Leite (2007), para o reservatório de Ilha Solteira, no IET proposto por Lamparelli (2004), o fósforo total se classifica predominante como mesotrófica, em janeiro, com classificação de ultraoligotrófico em fevereiro e março e eutrófico em abril.

Lamparelli (2004), que pesquisou 34 reservatórios no Estado de São Paulo, diagnosticou três faixas de classificação em relação aos índices de fósforo, classificando suas áreas de estudo entre eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico. A faixa eutrófica abrange entre 59 – 63, que é diagnosticada em 0,27% da área do reservatório. O índice supereutrófico é de 63 a 67, ocupando 29,58% da área, e o hipereutrófico diz respeito a todos os índices maiores de 67, que abrangem 70,15% do reservatório. As concentrações bastante altas de fósforo podem ser justificadas devido ao período chuvoso em que se deu a coleta, pois, nessas condições, o fósforo está sendo transportado pelo escoamento superficial.

Na Europa e na América do Norte, estima-se que 53% e 41% dos reservatórios, respectivamente, encontram-se eutrofizados, com concentrações de fósforos superiores a 0,1mg/L, sendo de 25µg/L o limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005 (CHORUS E BARTRAN, 1999) para os rios e reservatórios brasileiros.

Outro estudo que também diagnosticou uma maior concentração de fósforo no período chuvoso foi o de Gomes et. al. (2010), quando se verificou, no rio Catolé-BA, que as concentrações de fósforo foram maiores na coleta realizada no início de julho, período este caracterizado por grande quantidade de chuvas (no estado da Bahia), as quais podem ter favorecido o carreamento deste elemento para o interior do rio.

5.2 Clorofila a

Segundo a Resolução CONAMA 357/2005, a concentração de clorofila a é de 10 µg/L para águas da classe 1, e de 30 µg/L para a classe 2. Para águas da classe 3, as concentrações são de 60 µg/L para clorofila a, de tributários diretos de ambientes lênticos, lembrando que o tempo de residência da água do reservatório da UHE Barra dos Coqueiros, segundo Novelis (2005), varia de 23 a 35 dias.

Delello (2008) realizou análises de clorofila a total no reservatório do Lobo (Broa), obtendo as maiores concentrações de clorofila a no mês de novembro, com

valores máximo de 12,20 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e mínimo de 8,13 $\mu\text{g.L}^{-1}$. No mês de maio, foram encontrados valores com a máxima concentração de 0,21 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e mínima de 0,01 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em pontos distintos.

Em pesquisa realizada por Starling (2000), na mesma região, Brasil Central, Distrito Federal, em ambientes aquáticos lênticos, a concentração de clorofila *a*, nos Reservatórios Santa Maria, Descoberto e Paranoá, foram de 12, 2,6 e 61 $\mu\text{g.L}^{-1}$, no período em que é predominante seco. Apesar de apresentarem características climáticas muito idênticas, na atual pesquisa, os índices de clorofila *a* foram superiores aos encontrados no Reservatório Barra dos Coqueiros. Possivelmente, tais diferenças devem-se à eutrofização artificial devido a áreas urbanizadas da bacia de captação.

Lopes (2007), em estudo realizado em três lagos, no Parque Estadual da Fonte do Ipiranga–SP, obteve uma variação entre 0,001 e 601,42 $\mu\text{g.L}^{-1}$. As concentrações mais altas foram encontradas no período da primavera, ocorrendo um decréscimo no verão.

Na presente pesquisa, as concentrações de clorofila *a* detectadas ficaram entre 0,4 e 3,4 $\mu\text{g.L}^{-1}$, no período seco, com uma média de 2,7 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e, no período chuvoso, as concentrações variaram entre 0,84 e 8,42 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com média de 4,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (tabela 5).

Tabela 5. Concentração de clorofila *a* nos períodos seco e chuvoso

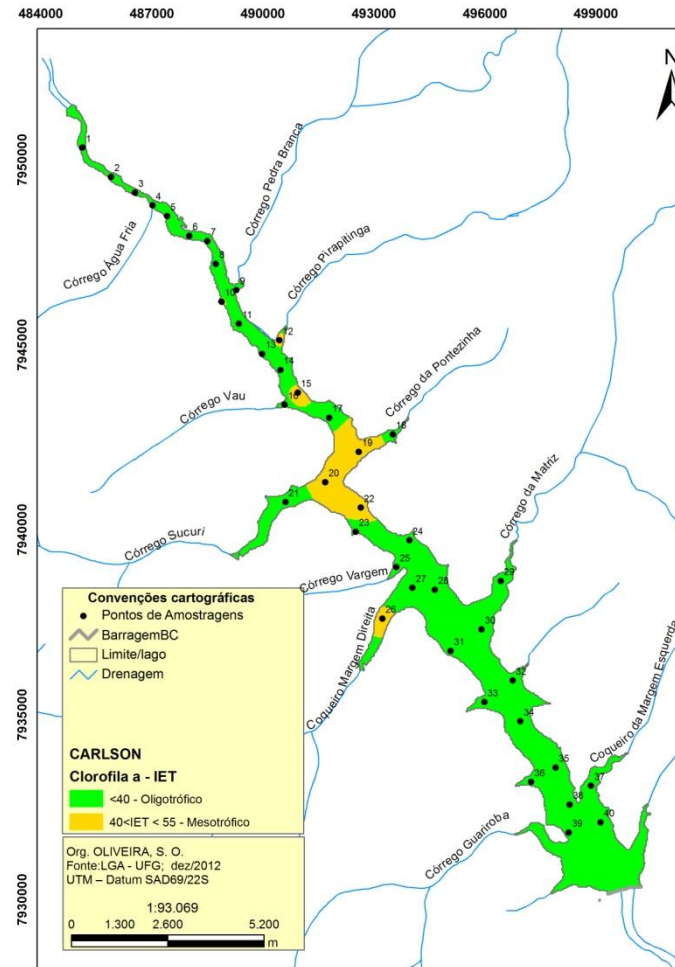
Pontos	Clorofila $\mu\text{g.L}^{-1}$ (seco)	Clorofila $\mu\text{g.L}^{-1}$ (chuvoso)
1	1,9	1,7
2	1,9	2,1
3	1,9	1,7
4	0,8	1,3
5	0,8	1,7
6	0,4	1,7
7	0,8	1,7
8	0,4	1,3
9	1,3	0,8
10	2,9	1,7
11	2,1	2,5
12	2,9	3,4
13	1,3	3,0
14	1,7	3,0
15	2,9	3,4

16	2,5	3,4
17	2,5	5,5
18	2,5	2,5
19	3,4	4,2
20	3,4	5,1
21	2,5	1,7
22	2,1	7,2
23	1,7	7,6
24	1,3	7,2
25	2,1	7,6
26	2,1	8,4
27	2,1	6,7
28	2,1	5,5
29	1,7	4,6
30	2,5	6,7
31	1,7	4,2
32	1,7	6,3
33	2,1	6,3
34	2,5	5,9
35	2,9	5,1
36	2,5	6,3
37	1,3	3,4
38	2,1	3,8
39	0,8	5,5
40	3,4	3,8
Média	2,7	4,1

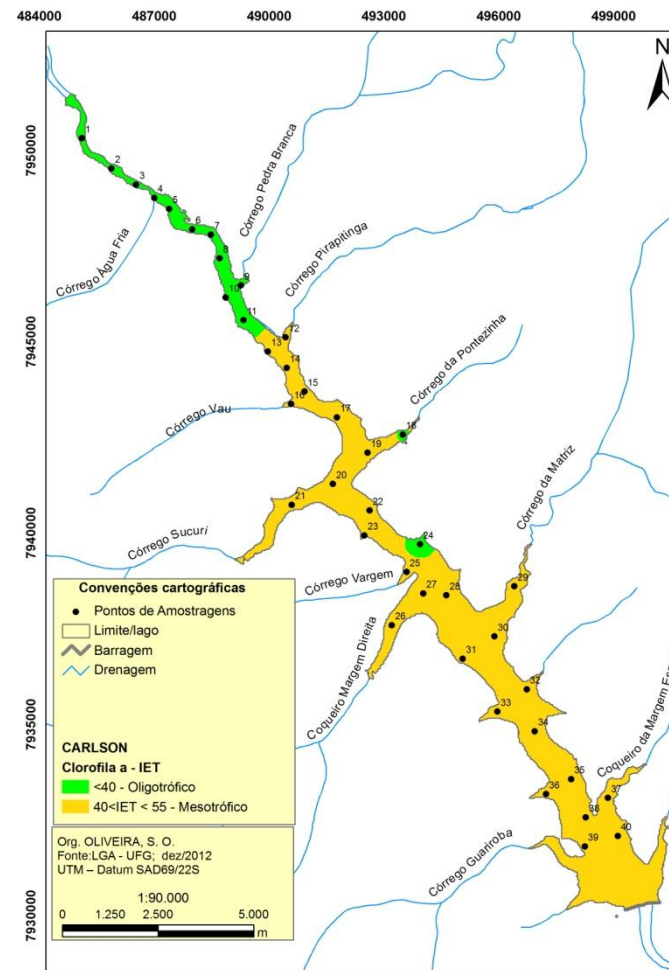
Tomando-se a variável clorofila *a*, de acordo com a proposta de Carlson, no período seco, predominou a classe mesotrófica, com 95%, restando à classe oligotrófica 5%, mapa 7 A. No período chuvoso, o predomínio foi da classe mesotrófica, com mais de 88% da área, mapa 7 B, e o restante com quase 12% foi oligotrófica; no período chuvoso é superior ao período seco.

Mapa 7A e B: espacialização do IET da variável clorofila a segundo a proposta de Carlson (1977)

Mapa A – Período seco



Mapa B – Período chuvoso



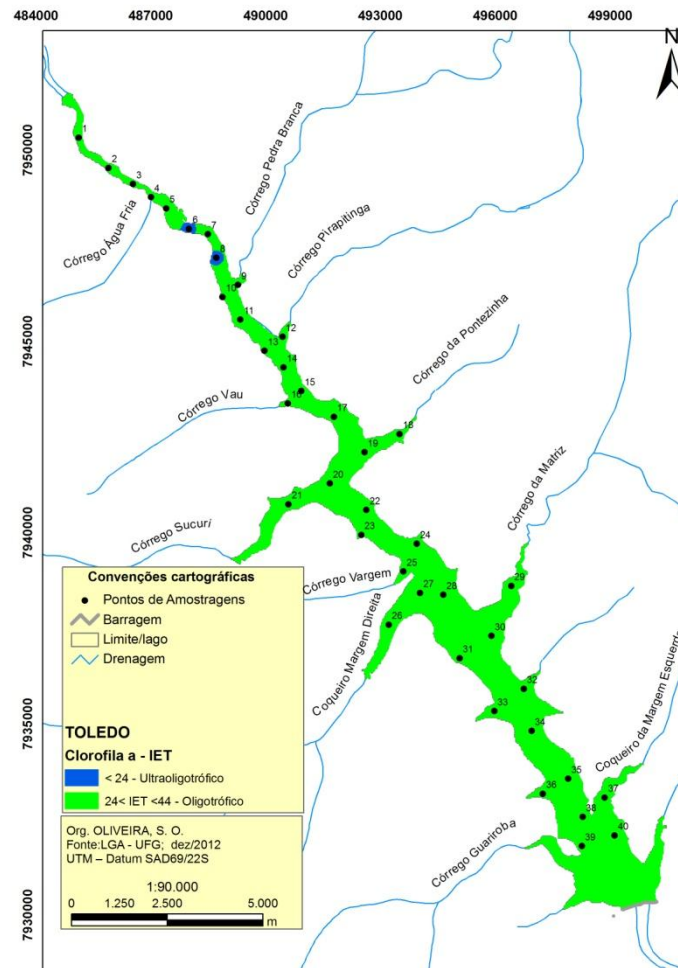
Na proposta de Toledo, a variável clorofila *a* predominou a classe oligotrófico, com aproximadamente 99% e com pouca representatividade a ultraoligotrófico, no período seco, mapa 8 A. Já no período chuvoso, o grau de trofia foi superior a 78% para a classe mesotrófico, e aproximadamente 22% em oligotrófico, mapa 8 B.

Ramirez (1996), em estudo realizado no lago das Garças, utilizando a proposta de Toledo (1983), classificaram o mesmo em mesotrófico, com aproximadamente 95% da área estudada.

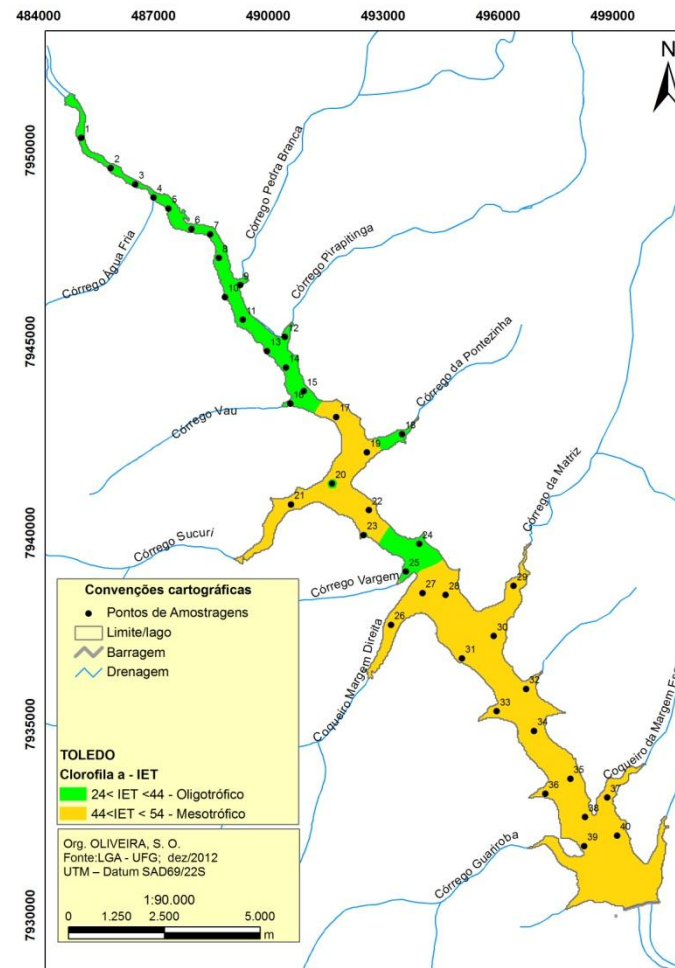
Vieira *et al.* (2002) classificaram o reservatório Ibatinga-SP em mesotrófico, utilizando a proposta de Toledo (1983), por meio da variável clorofila *a*.

Mapa 8 A e B: espacialização do IET da Clorofila a segundo a proposta de Toledo (1983)

Mapa A – Período seco



Mapa B – Período chuvoso



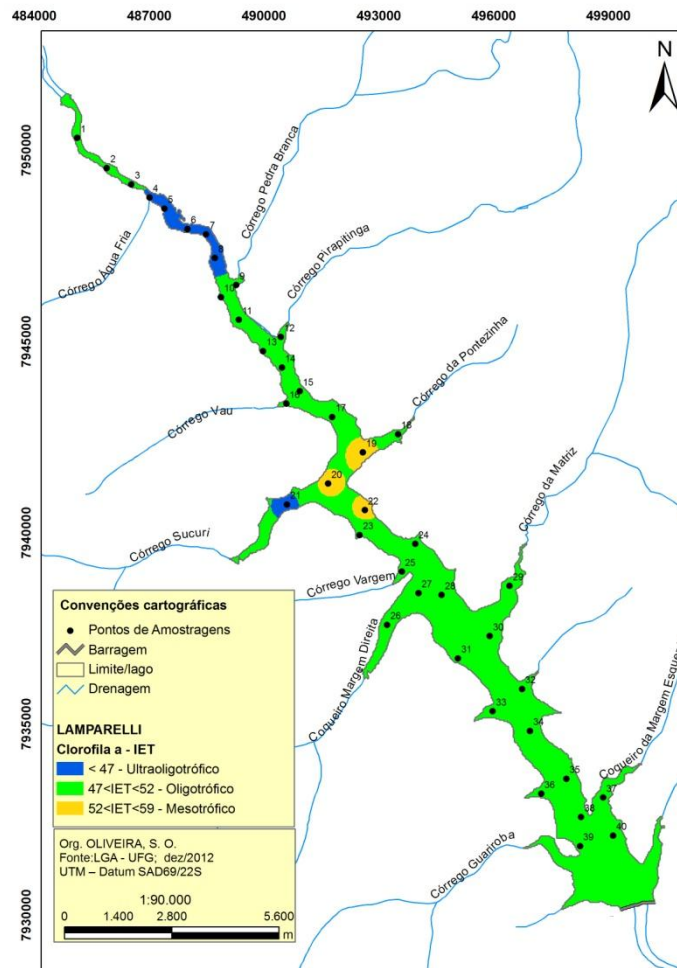
Referente à variável clorofila *a*, a classificação realizada conforme a proposta de Lamparelli, no período seco, duas classes foram identificadas - oligotrófico e mesotrófico -, com 13% e 87%, respectivamente, do total da área analisada (mapa 9 A). No período chuvoso, destacaram-se três classes, ultraoligotrófico, oligotrófico e mesotrófico, com aproximadamente 5%, 90% e 5% da área do reservatório, consecutivamente (mapa 9 B).

Em estudos realizados por Bem (2009), a autora utilizou a proposta de Lamparelli (2004) para calcular o grau de trofia, referente à variável clorofila *a*, do reservatório Birigui, a partir da coleta de 3 pontos de amostragem, realizadas em 23/04/2008, 18/06/2008, 30/09/2008 e 03/12/2008. Segundo essas amostragens, no reservatório pesquisado, predominaram as classes de trofia: ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico.

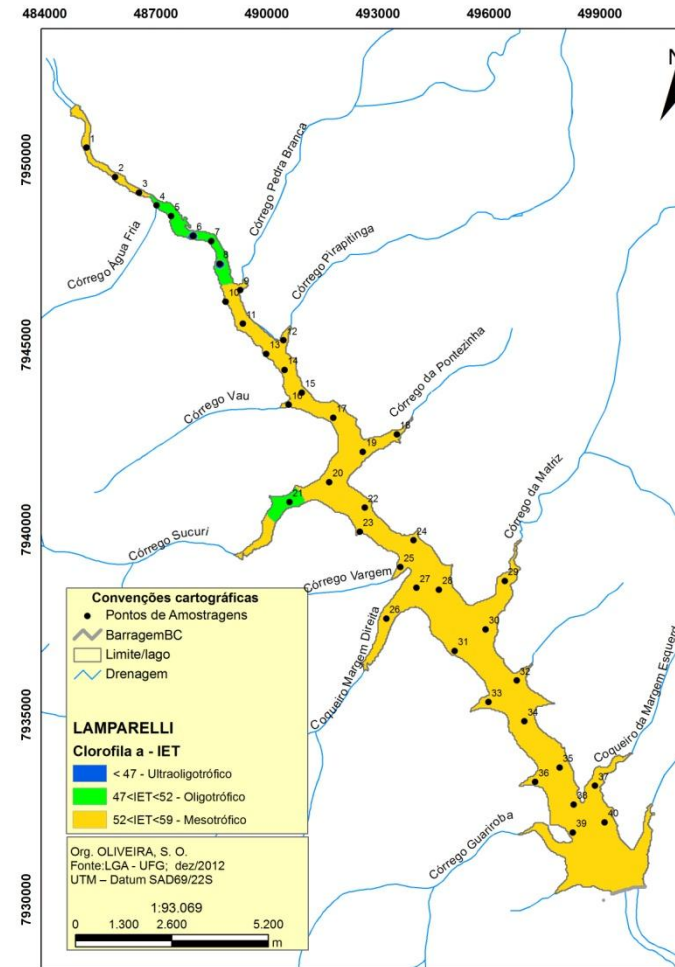
Garcia, Garcia e Leite (2007), por meio da proposta de Lamparelli (2004), classificaram o reservatório de Ilha Solteira, para variável clorofila *a*, em oligotrófica, com algumas exceções para as estações 1 e 5, em janeiro; estações 1 e 4, em fevereiro; estação 1, em março e estação 4, em abril, classificando o mesmo em ultraoligotrófico, e as estações 2 e 6, em fevereiro e estações 5 e 6, em março, como mesotróficas.

Mapa 9 A e B: espacialização do IET da variável clorofila a segundo a proposta de Lamparelli (2004)

Mapa A – Período seco



Mapa B – Período chuvoso



Segundo os estudos realizados por Meirinho (2010), para o complexo Billigins, os teores de fósforo total e de clorofila *a* mostraram diminuição na concentração em direção à barragem, a qual foi classificada como eutrófica e mesotrófica, nos dois períodos de coleta - setembro e março. Já no presente estudo, não é possível fazer tal diagnóstico, pois não houve uma caracterização do ambiente relacionado aos compartimentos do reservatório.

Tal fato demonstra que não é possível relacionar a concentração de fósforo à clorofila *a*, porque a classificação do IET da clorofila *a* é inferior a de fósforo, o que, possivelmente, é justificado devido ao reservatório ser ainda “novo”, não havendo proliferação de macrófitas, fitoplânctons e algas, mas, devido à disponibilidade de fósforo, haverá, possivelmente, aumento de tal variável, caso continuem as concentrações de fósforo. Portanto, o fósforo, no momento da pesquisa, não é nutriente limitante para a clorofila *a*.

Lopes (2007) realizou um estudo em três reservatórios do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, em São Paulo e, segundo esse estudo, o índice trófico de clorofila *a* encontrado no verão está entre supereutrófico e hipereutrófico, na proposta de Lamparelli. Nas coletas feitas no período de inverno, os três reservatórios são hipereutróficos. Tais resultados encontrados por Lopes (2007) foram muito superiores aos encontrados no reservatório Barra dos Coqueiros.

5.3 Transparência de Secchi

A variável transparência da água avaliada pela profundidade de Secchi, medida em metro (m), variou entre 1,25 e 3,09 m de profundidade, no período seco. No período chuvoso, a média para este período foi de 1,82m, tabela 5. O aumento na profundidade da transparência foi crescente na direção da fase/zona lacustre do reservatório, explicada devido à diminuição da turbulência e deposição das partículas sólidas.

No período chuvoso, a profundidade da transparência de secchi oscilou entre 0,24 e 1,53m. Neste período, a média foi de 0,66m e o aumento da transparência em direção à fase lacustre também foi notório neste período, como pode ser observado na tabela 6.

Tabela 6: Profundidade da transparência de Secchi nos períodos seco e chuvoso

Pontos	Secchi (M) (seco)	Secchi (M) (chuvoso)
1	1,25	0,24
2	1,25	0,80
3	1,25	0,30
4	1,67	0,30
5	1,59	0,27
6	1,97	0,32
7	1,87	0,32
8	1,9	0,30
9	1,53	0,26
10	1,93	0,29
11	2	0,25
12	1,93	0,51
13	2,05	0,47
14	1,98	0,49
15	2,14	0,44
16	2,32	0,80
17	2,2	0,67
18	2,36	0,82
19	2,55	0,88
20	2,5	1,31
21	2,65	1,50
22	1,66	1,31
23	2,42	1,22
24	2,86	1,26
25	2,68	1,48
26	3,09	1,53
27	2,93	1,43
28	3,08	1,45
29	2,87	1,45
30	3	1,51
31	2,74	1,40
32	2,8	1,41
33	2,67	1,30
34	2,86	1,39
35	2,7	1,44
36	2,66	1,50
37	2,75	1,36
38	2,59	1,09
39	2,47	1,27
40	2,4	1,09
Média	1,82	0,66

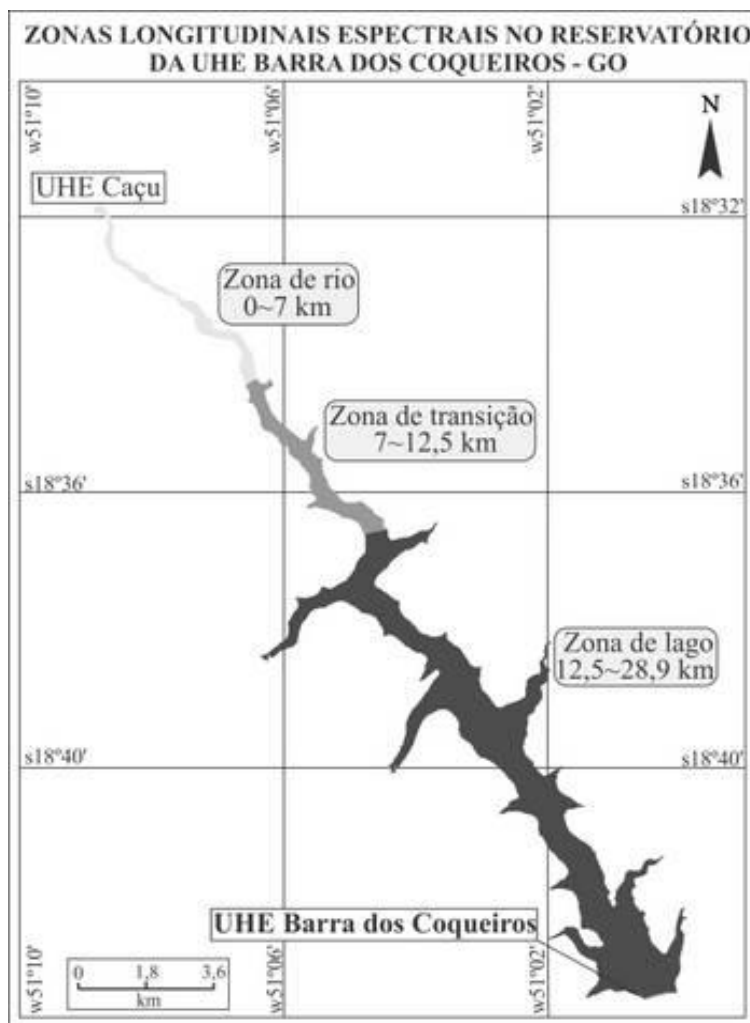
Meirinho (2010), em um braço do reservatório do Complexo Billings-SP, também diagnosticou tal deposição em direção à zona lacustre. A autora encontrou profundidade que variou entre 0,8 e 1,75 m; tal variação ocorreu tanto no mês de setembro como no mês de março.

Santos (2012), em estudos na represa Vargem das Flores, em Belo Horizonte-MG, encontrou transparências entre 0,2 e 2,1 metros de profundidade.

Antonello (2006) encontrou, no reservatório Boa Esperança, na bacia do Rio Parnaíba, entre os estados do Piauí e Maranhão, profundidades da transparência do Disco de Secchi que variaram entre 0,10 e 4 m, em 56 pontos de amostragem, com aumento da zona lótica para a lântica.

De acordo com análise espectral das imagens de satélite realizada por Wachholz (2012), no reservatório da UHE Barra dos Coqueiros, foram definidas três zonas - rio, transição e lago - no período seco. Mas esse comportamento aquático pode apresentar deslocamento de acordo com o fluxo de vazão dos afluentes e do canal principal, assim como a operação do reservatório (Mapa 10).

Mapa 10: Compartimentos aquáticos longitudinais dos reservatórios das UHE Barra dos Coqueiros, de acordo com estudo realizado por Wachholz (2012)



Diagnosticado por Wachholz (2012), e confirmado nas coletas a campo, desta pesquisa, a fase/zona rio caracteriza-se por ser mais estreita, apresentar maior concentração de material em suspensão com zona eufótica reduzida, alta advecção de nutrientes e, mesmo assim, possui uma produção primária reduzida, devido à limitação de luz, ocorrendo ainda, nesta área, a perda de biomassa por sedimentação. A matéria orgânica desta fase é geralmente alóctone e a condição em relação ao IET foi predominantemente superior.

Já na fase/zona de transição, a elevação da profundidade da transparência passa a ocorrer nas proximidades do tributário Pedra Branca, em que as características se apresentam um pouco diferentes da fase inicial. O reservatório apresenta-se um pouco mais profundo e mais largo que na fase anterior; o fluxo d'água está mais reduzido, ocorrendo menor concentração de material suspenso, com uma zona eufótica alta e reduzida advecção. Por haver maior penetração de

luz, a produção primária é relativamente alta, com provável apresentação de herbívoros e sedimentação; a matéria orgânica caracteriza-se de origem alóctone e autóctone, em relação ao IET. Possui ainda características de redução do grau de trofia, devido ao aumento da profundidade da transparência da água.

Na fase/zona lacustre, na faixa de confluência do Córrego Sucuri, é a parte do reservatório que se apresenta mais larga e profunda, com fluxo e concentração de material suspenso baixo; a zona eufótica apresenta-se, portanto, alta. No entanto, a reciclagem interna é de baixa concentração de nutrientes, afetando, assim, a produção primária; a matéria orgânica é autóctone e o IET em relação à transparência tende a se apresentar oligotrófico.

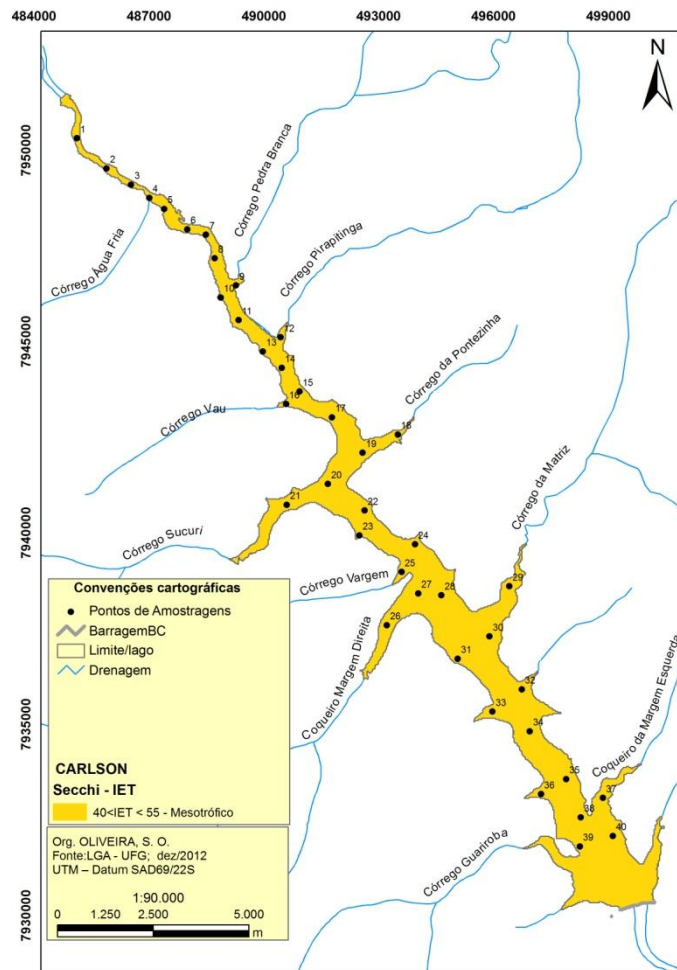
Para fins de cálculo do IET, a variável transparência de Secchi nem sempre é usada. Segundo Lamparelli (2004), a CETESB normalmente não considera, na estimativa de Estado Trófico, o cálculo do índice de transparência, pois esta é afetada pela elevada turbidez, decorrente de material em suspensão, comum em reservatórios e rios.

Toledo (1983) também afirma que o parâmetro transparência de Secchi é afetado pela turbidez e que uma maneira de contornar tal problema seria uma ponderação no IET médio, ao invés de simplesmente eliminá-lo.

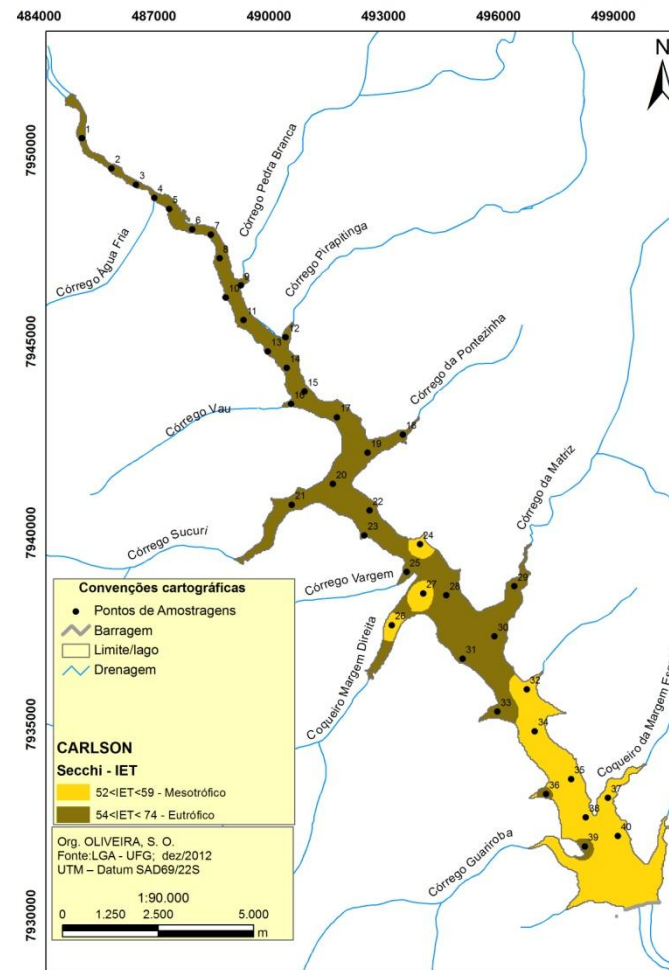
Nesta análise do período seco, para o IET da transparência de Secchi, conforme método de Carlson, aproximadamente 100% da área do reservatório recebe a classificação mesotrófico, Mapa 11 A. Já no período chuvoso, as classes que foram diagnosticadas com 40% e 60%, respectivamente, foram a mesotrófica e eutrófica, demonstrando um aumento de 60% do grau de trofia de um período para o outro, mapa 11 B.

Mapa 11 A e B: espacialização do IET da variável secchi, segundo a proposta de Carlson (1977)

Mapa A – Período seco



Mapa B – Período chuvoso



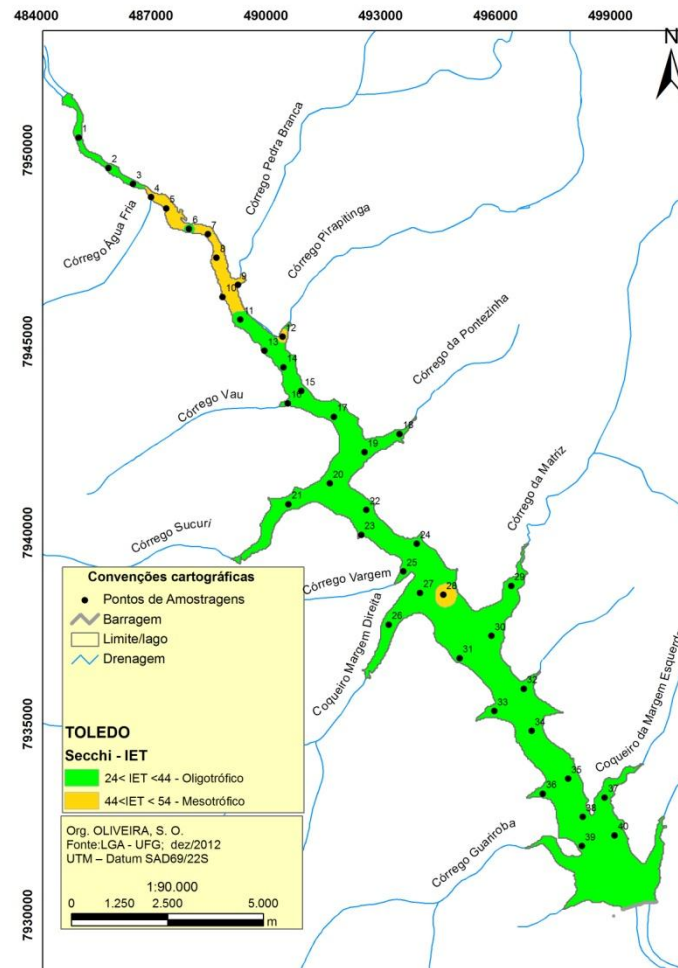
Bueno *et al.* (2008) realizaram estudos no reservatório da UHE Itaipu e encontraram IET com transparência de Secchi em 2,74 m, sendo classificado o lago em oligotrófico, pelo método de Carlson.

No reservatório Rio Grande, Meirinho (2010) obteve profundidades de Secchi de 0,83 a 1,7m, em períodos distintos, mês de setembro e março respectivamente, sendo classificado o reservatório em oligotrófico e mesotrófico, por meio da proposta de Carlson (1977), modificada por Toledo (1983).

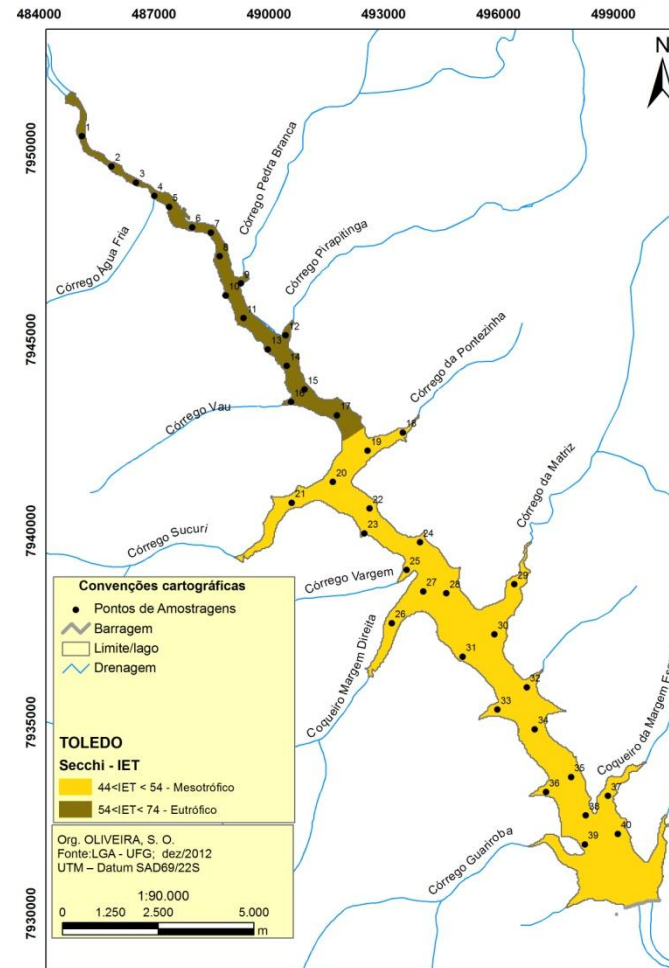
Na proposta de Toledo, duas classes foram representadas, oligotrófico e mesotrófico, com 85% e 15%, respectivamente, da área total do reservatório da UHE Barra dos Coqueiros, no período seco, mapa 12 A. No período chuvoso, a classe mesotrófica apresentou-se em 40%, e o surgimento de eutrófico 60%, com o índice trófico mais intensificado, mapa 12 B.

Mapa 12 A e B: espacialização do IET da variável secchi segundo a proposta de Toledo (1983)

Mapa A – Período seco



Mapa B – Período chuvoso

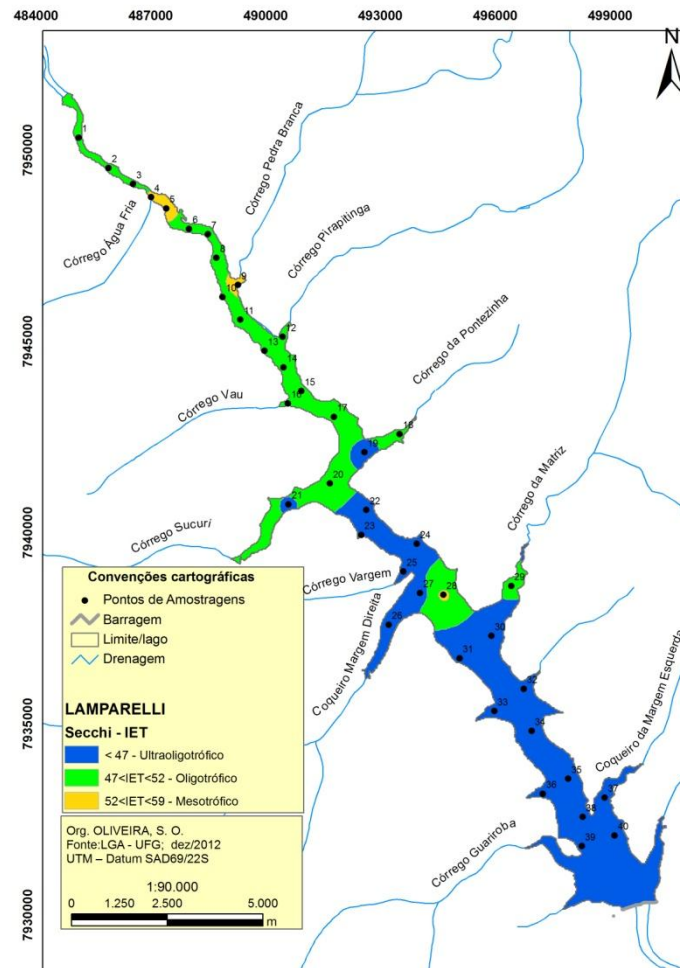


No trabalho de Xavier (2005), o reservatório Passaúna, em Curitiba, foi classificado como mesotrófico, a partir da proposta de Carlson.

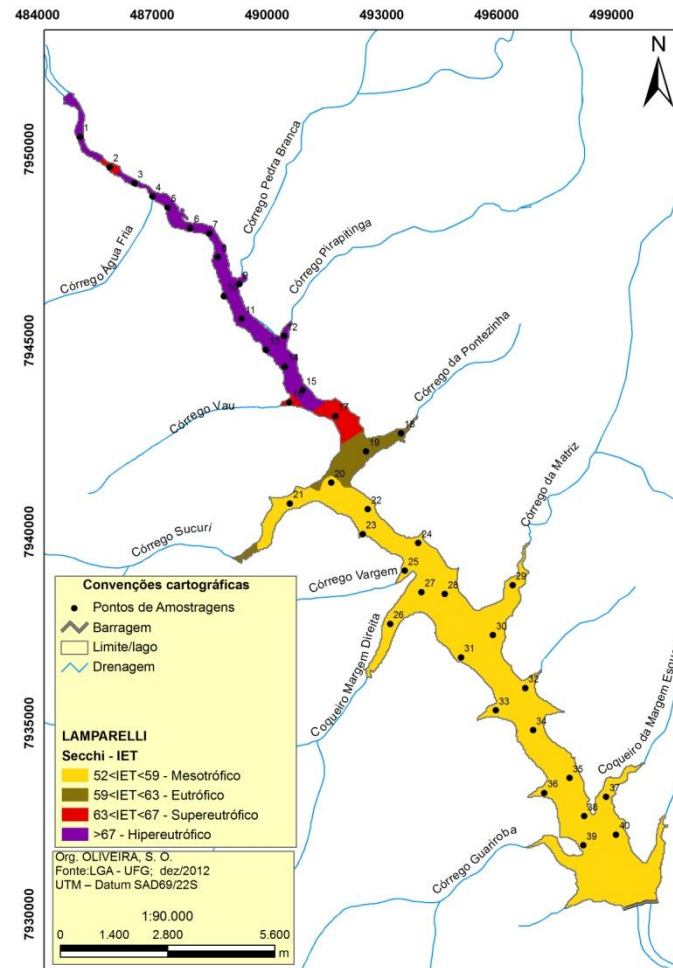
O mapa 13 A representa o índice de Lamparelli para a variável transparência de secchi, com classes variando entre oligotrófico 65% e mesotrófico 35%, no período seco. No período chuvoso, mapa 13 B, 75% da área do reservatório é mesotrófico; eutrófico 6%, supereutrófico com 4%, apresentando também uma quarta classe, a hipereutrófico, em 15% do total.

Mapa 13 A e B: espacialização do IET da variável secchi segundo a proposta de Lamparelli (2004)

Mapa A – Período seco



Mapa B – Período chuvoso



5.4 IET total

O índice do estado trófico total é a média aritmética simples das variáveis clorofila a, fósforo e transparência de secchi. Após o cálculo da média das variáveis do IET, os resultados são classificados de acordo com as faixas determinadas pelas propostas aqui aderidas.

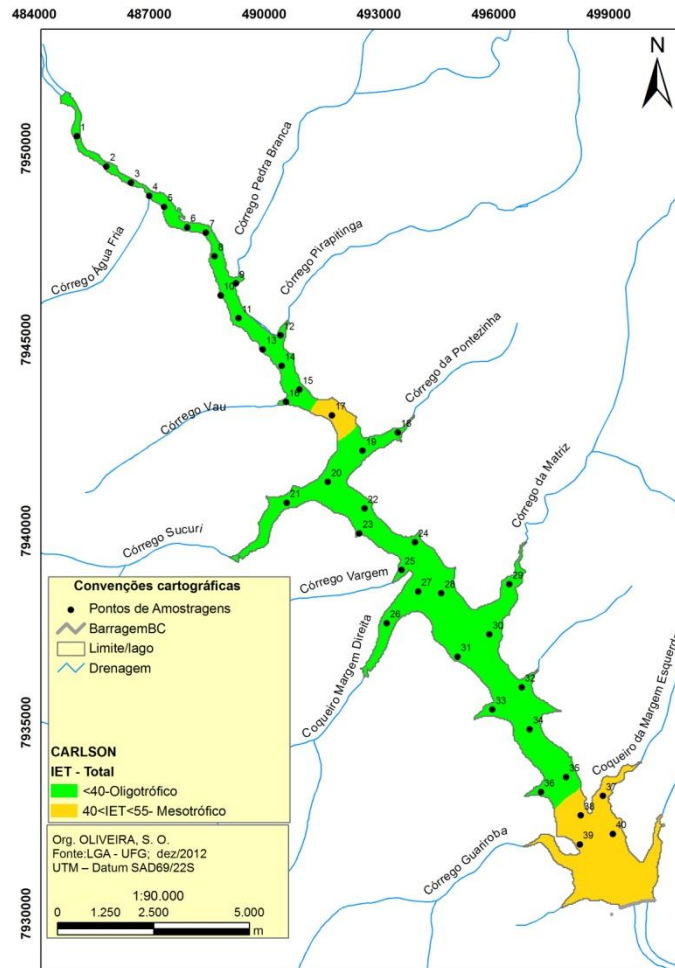
Segundo Carlson (1977), a relação entre a transparência de Secchi e a concentração de biomassa de algas é que a cada duplicação da massa algal, um novo estado trófico será reconhecido e a transparência de Secchi se reduz pela metade. Neste caso, Carlson não leva em consideração a concentração de sólidos suspensos que interfiram na transparência. Já Toledo (1983), através da modificação do modelo de Carlson, introduz uma ponderação para a transparência de Secchi.

O IET total, no período seco, segundo a proposta de Carlson, classificou o reservatório da UHE Barra dos Coqueiros em oligotrófico e mesotrófico, 74% e 26%, respectivamente, mapa 14 A. No período chuvoso, a classificação foi intensificada e praticamente todo o reservatório, com aproximadamente 98%, foi classificado em eutrófico, mapa 14 B.

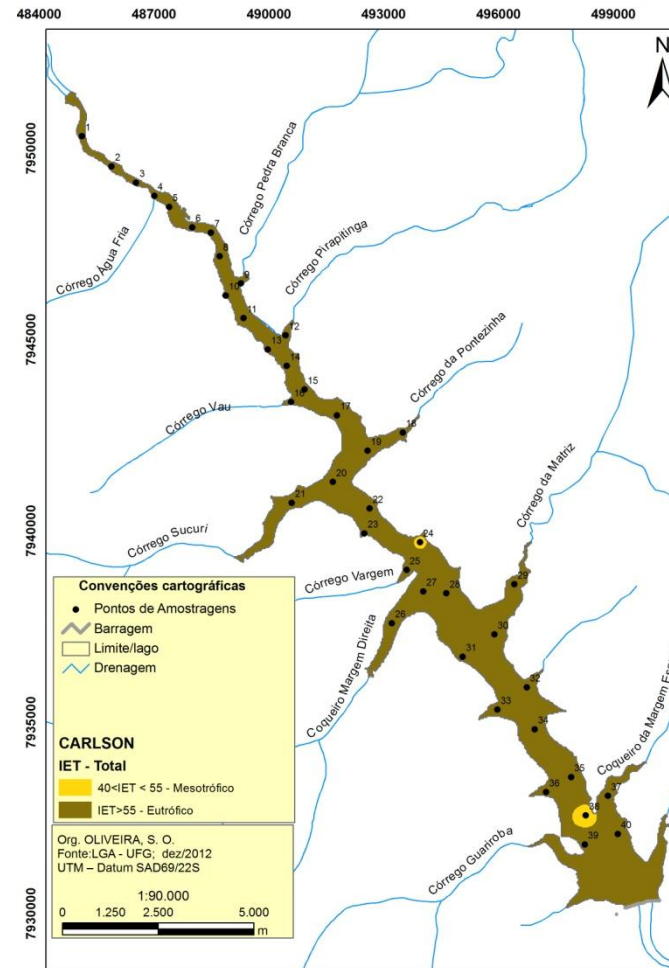
Moura et al. (2007), em estudos realizados no reservatório Mandaú-PE, adotaram o método de Carlson, classificando o reservatório como eutrófico, no período seco e, no período chuvoso, os índices encontrados foram 66,39 e 63,84, respectivamente.

Mapa 14 A e B: espacialização do IET total segundo a proposta de Carlson (1977)

Mapa a – Período seco



Mapa b – Período chuvoso



O ÍET total de Toledo é calculado através de uma média aritmética, mas com uma ponderação, conforme a equação 08, chegando-se ao resultado de que aproximadamente 85% do reservatório pertencem à classe oligotrófico e 15% mesotrófico (mapa 15 A). O reservatório, no período chuvoso, classificou-se como 5% mesotrófico e 95% eutrófico (Mapa 15 B). Houve um aumento significativo do grau de trofia do reservatório do período seco para o período chuvoso.

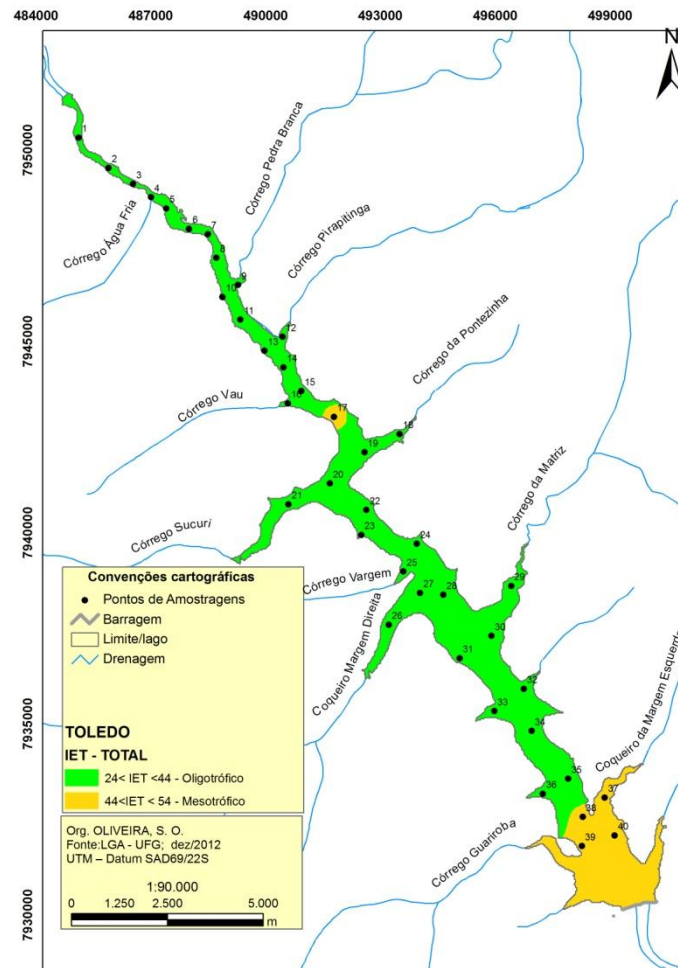
Paschoal e Sá (2011) estudaram os reservatórios das UHE Marechal Mascarenhas de Moraes e Luiz Carlos Barreto de Carvalho, da Bacia hidrográfica do médio Rio Grande-MG; os autores utilizaram o método Toledo et al. (1983). Segundo seus estudos, a água foi classificada como Oligotrófica para ambas UHEs (somente em dezembro, a UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho foi tida como mesotrófica); já para IET total, de Lamparelli (2004), a água foi classificada em eutrófica na UHE Marechal Mascarenhas de Moraes (exceto em junho, quando foi classificada como mesotrófica). Já na UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho, houve prevalência de águas mesotróficas (exceto em dezembro, onde foi classificada como eutrófica).

Delello (2008) obteve, em seus estudos, na represa do Lobo (Broa), em pontos distintos, o IET total de 54,63, classificando-os em eutrófico, através do método Toledo, e oligotrófico no mês de maio, que houve o menor IET total, 33,08. Houve também classificações intermediárias, mesotrófico IET total em 47,62. Porém, quando foi obtida a média final do índice do estado trófico total dos quatro meses estudados, apenas um dos pontos estudados, do total de 8 pontos, classificou-se como oligotrófico e os demais como mesotrófico.

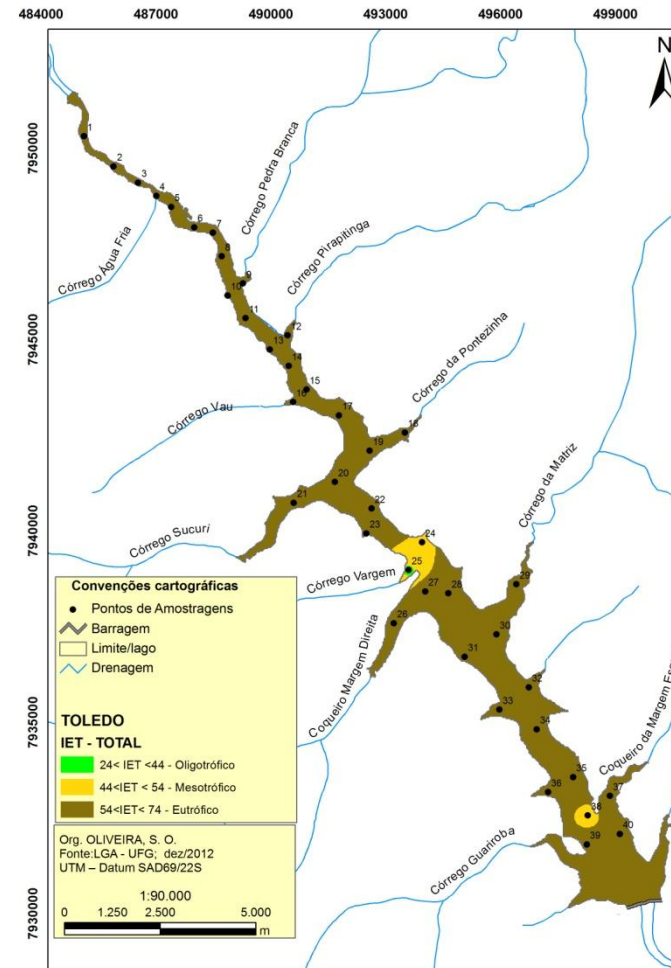
Na pesquisa realizada por Meirinho (2010), por meio do método de Carlson, adaptado por Toledo (1983), nas coletas do mês de setembro, o reservatório Rio Grande classificou-se como mesotrófico apenas em uma pequena parcela, prevalecendo, na maior parte, o eutrófico. Já no mês de março, houve um processo inverso, uma área mesotrófica bem maior que na primeira coleta.

Mapa 15 A e B: espacialização do IET total segundo a proposta de Toledo (1983)

Mapa A – Período seco



Mapa B – Período chuvoso

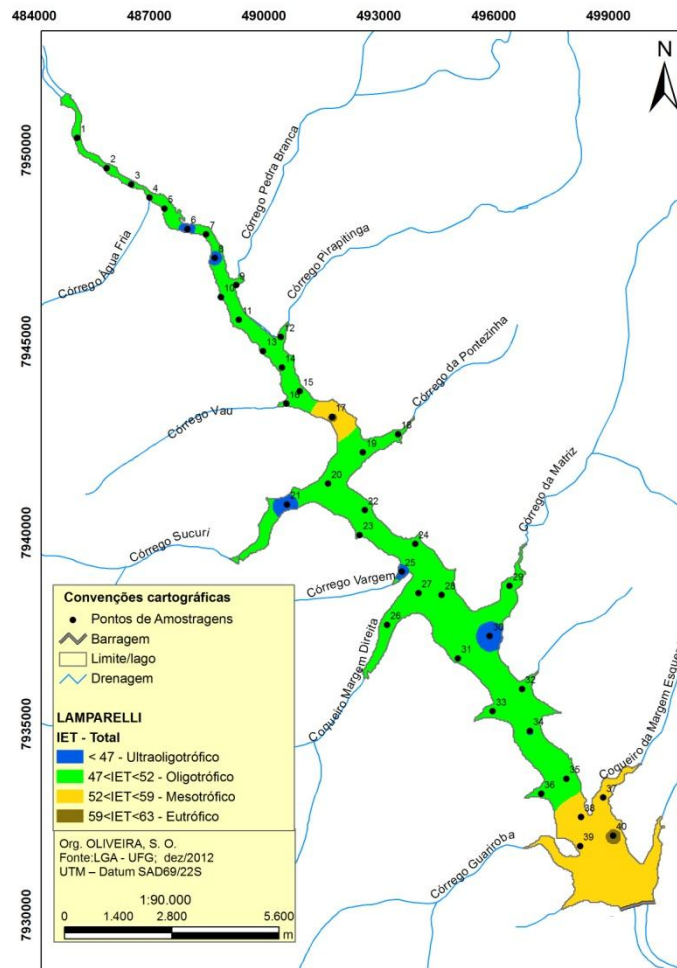


Para o índice de Lamparelli, mapa 16 A, na classificação final destacaram-se três classes, ultraoligotrófico, oligotrófico e mesotrófico, com 4,69 e 26%, destacando-se o predomínio da oligotrófico, no período seco. No período chuvoso, a água do reservatório classificou-se com 68, 17 e 14% da área do reservatório, ou seja, é eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico, respectivamente, mapa 16 B.

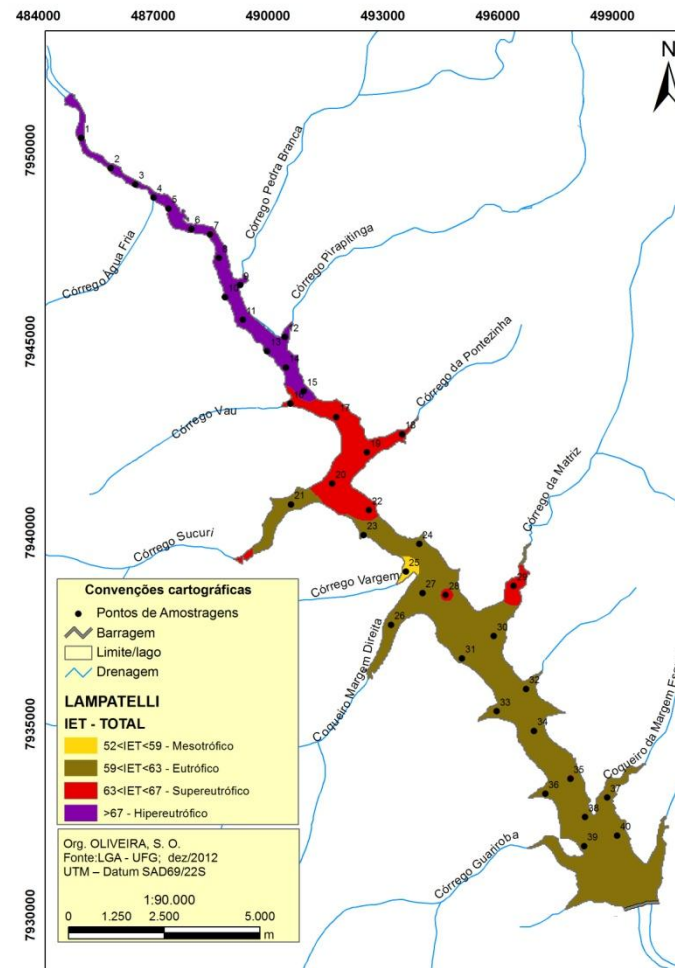
Faria (2010) classificou a represa Itaqui, em São José dos Pinhais-PR, como hipereutrófico, nos meses de novembro 2008 e fevereiro de 2009, utilizando o método de Lamparelli (2004).

Mapa 16 A e B: espacialização do IET total segundo a proposta de Lamparelli (2004)

Mapa A – Período seco



Mapa B – Período chuvoso



As concentrações de clorofila estão diretamente relacionadas com a capacidade de o feixe de luz atravessar a coluna d'água. Portanto, uma maior concentração de sólidos suspensos aumenta a turbidez, dificultando a passagem de luz e diminuindo a taxa fotossintética. Além disso, maiores concentrações de nutrientes aumentam a taxa de produção fotossintética. É possível que exista pouca concentração de nutrientes e alta concentração de sólidos suspensos, o que dificulta a passagem de luz, diminuindo a concentração de clorofila (CUNHA, 2007), fato este observado no período chuvoso, pois o IET de clorofila *a* foi inferior ao IET de fósforo e da profundidade da transparência de Secchi.

Meirinho (2010), em seus estudos, diagnosticou que nas áreas mais próximas à barragem do Complexo Billings-SP houve os menores índices de concentração de clorofila-*a* e fósforo total, e a transparência apresentou profundidade superior às demais do reservatório. No presente estudo, tal fato ocorreu em relação ao IET total da transparência de Secchi, quando aplicada aos métodos de Toledo e de Lamparelli, havendo variações na classificação em quase toda a fase lacustre do reservatório.

Já segundo o método de Carlson, permaneceu praticamente todo homogêneo o reservatório, com a classificação Eutrófico. A variável clorofila-*a* também quase não apresentou variação de classificação, em toda a área do ambiente.

Em estudos realizados por Xiao et al. (2010), no reservatório tropical Gancun em Guangdong, no sul da China, encontraram-se concentrações de fósforo, variando entre 25 e 117 $\mu\text{m/L}$, e concentração de clorofila-*a* encontrada nos estudo foi entre 16 e 48 $\mu\text{m/L}$, não encontrando nenhuma correlação significativa entre a transparência de secchi e clorofila-*a*.

Santos (2012) analisou a probabilidade de eutrofização do reservatório Vargem das Flores, por meio da curva probabilística de Salas e Martini (1991), e, através da variável fósforo, o reservatório apresentou maior probabilidade de ser um ambiente eutrófico, sendo as chances de aproximadamente 80%.

Na pesquisa realizada por Liu, Quanfa e Liu (2012), foram estudados 16 reservatórios de água e, dentre as variáveis analisadas, o fósforo total variou entre 0.04 e 0.19 mg/L; já a variável de clorofila *a* deu-se entre 2,7 a 31 $\mu\text{m/L}$. Quanto ao índice do estado trófico, 15 dos 16 reservatórios foram classificados como eutrófico

que, calculados segundo o método de Carlson (1977), variaram entre 50 e 71, eutrófico.

O índice trófico total abrange, de forma satisfatória, a causa e o efeito do processo. Deve-se ter em conta que um ambiente aquático, em que o processo de eutrofização encontra-se plenamente estabelecido, o índice trófico, determinado através do índice da variável clorofila-a, certamente coincidirá com o estado trófico determinado pelo índice de fósforo. Já nos corpos hídricos em que o processo esteja limitado por fatores ambientais, como a temperatura da água ou a baixa transparência, o índice relativo à clorofila-a irá refletir esse fato, classificando o estado trófico em um nível inferior àquele determinado pelo índice de fósforo (CETESB 2007).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido às condições ambientais, em que havia uma quantidade considerável de sólidos suspensos interferindo na transparência de Secchi, durante o período da coleta das amostras, a variável clorofila *a* não pode ser relacionada com a disponibilidade de fósforo na água. Deste modo, o IET de clorofila *a* é inferior ao de Secchi e fósforo.

Por meio da análise dos compartimentos do reservatório não foi possível diagnosticar o fator principal da eutrofização, devido à homogeneidade dos dados em todos os compartimentos, ocorrendo pouca representatividade das concentrações em compartimentos específicos.

Ainda, de todos os métodos estudados, não foi possível diagnosticar aquele que seria mais apropriado para avaliar o índice trófico de reservatórios da região do cerrado, com uma única campanha de coleta em cada período. Talvez fosse necessário um número maior de coletas, em períodos diversos, para se chegar ao método mais apropriado em circunstâncias tais.

Vê-se que o índice trófico proposto de Carlson (1983) foi desenvolvido para ambientes temperados, portanto, a regressão linear encontrada é em função de um ambiente bem diferenciado do tropical, que, devido às condições climáticas, deixa o ambiente aquático diferenciado.

Segundo a proposta de Toledo (1983), por meio do logaritmo natural, não se é possível identificar o IET de fósforo, porque, se a concentração for igual a zero, o grau de trofia é negativo, o que não é um valor real.

Já na proposta de Lamparelli (2004), mesmo o ambiente aquático com baixa concentração de qualquer variável, o IET se classifica no limite da menor classe; portanto, por menor que seja a concentração, há uma possibilidade de não ser classificado em um índice inferior.

De acordo com a proposta de Carlson, as águas do reservatório podem ser classificadas predominantemente como oligotrófico, no período seco, e eutrófico, no chuvoso, o que coaduna com a proposta de Toledo.

Um pouco diferente é a proposta de Lamparelli, segundo a qual as águas do reservatório podem ser classificadas, de forma dominante, como oligotrófico, no

período seco e, no chuvoso, de forma hegemônica, destacando-se duas classes, eutrófica e hipereutrófica.

No IET da variável clorofila *a* predominaram duas classes em todas as propostas nos dois períodos analisados, que foram oligotrófico e mesotrófico, ocorrendo variação proporcional entre os períodos, sendo que no chuvoso predominou o índice mais elevado das duas classes, que foi o mesotrófico.

Apesar de o reservatório ser novo, já é possível verificar que existe interferência da precipitação e uso da terra na bacia, pois em todos os métodos o lago foi classificado entre eutrófico e hipereutrófico no período chuvoso.

Este trabalho serve como base para estudos futuros, que por meio deste diagnóstico poderá analisar prováveis alterações futuras neste ambiente aquático.

REFERÊNCIAS

Agência Goiana de Indústria e Mineração/Companhia de Recursos Minerais (AGIM/CPRM) **Mapa geológico do Estado de Goiás**. CD/ROM, 2002.

ANTONELLO, A. **Influência das variações sazonais e espaciais nas variáveis limnológicas do reservatório de Boa Esperança, Rio Parnaíba, PI-MA**. 2006. 63 f. Dissertação. (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aquicultura) Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2006.

BELO, F. H; GUANDIQUE, M. E. G. Diagnóstico ambiental do meio aquático do Rio Ipanema, Sorocaba/SP. **Holos Enviroment**, v. 11, n.12, 2011, p.94. Disponível em: < www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/holos/article/.../433..> Acesso em: 10 ago. 2012.

BRAGA, B; ROCHA, O; TUNDISI, J. G. **Dams and the environment: The brazilian experience**. In: Water Resources development. v. 14, n. 2. 1998. p. 127-140

BRAGA, C. C. **Distribuição espacial e temporal de sólidos em suspensão nos afluentes e reservatório da usina hidrelétrica Barra dos Coqueiros – GO**. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Goiás. 2012.

BRAGA, C. C; CABRAL, J.B. P; ROCHA, H. M; . ROCHA, I. R da. Distribuição espacial e temporal de sólidos em suspensão no reservatório da usina hidrelétrica Barra dos Coqueiros – GO. **Geoambiente**. Jataí, n. 19, jul/dez. 2012. p.197-213.

BRAGA, C. C. distribuição espacial e temporal de sólidos em suspensão nos afluentes do reservatório da usina hidrelétrica Barra dos Coqueiros – GO. **Boletim Goiano de Geografia**. Goiânia, v. 33, n. 2, mai/ago. 2013. p. 121-134./

BRANCO, S.M; ROCHA, A. A. **Poluição, proteção e usos múltiplos de represas**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1977. p. 185.

BRASIL. LEI No. 6.938, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências de 31 de agosto de 1981.

BUENO, G. W; MARENGONI, N. G; GONÇALVES JUNIOR, A. C; BOSCOLO, W.R; TEIXEIRA, R. de A. Estado trófico e bioacumulação do fósforo total no cultivo de peixes em tanques-rede na área aquícola do reservatório de Itaípu. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 30, n. 3, p. 237-243, 2008.

CABRAL, J. B. P. **Análise da sedimentação e aplicação de método de previsão para tomada de medidas mitigadoras quanto ao processo de assoreamento no reservatório de Cachoeira Dourada - GO/MG**. Curitiba, 2006. Tese (Doutor em Geologia) - Universidade Federal do Paraná.

CARDOSO, M. R. D. **Caracterização e classificação climática do Estado de Goiás e Distrito Federal. Goiás – GO**. Monografia, do curso de Geografia do

Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, UFG – Universidade federal de Goiás. 49p, 2011.

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

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo – 2000**. São Paulo: CETESB, 2001. 351p.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo – 2000**. São Paulo: CETESB, 2004. 307p.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2005/CETESB**. São Paulo: CETESB, 2006. 488 p.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **IET – Índice do Estado Trófico**. s/d Disponível em:

<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/04.pdf> Acesso em: 20 jun. 2011.

CHENG, K. S.; LEI, T. S.; YEH, H. C. Reservoir trophic state evaluation using landsat TM images. **Journal of American Water Resources Association**, 37(5), 2001. 1321–1334.

CHORUS, I; BARTRAM, J. **Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management**. Londres: WHO/UNEP, 1999. Disponível em:

<http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/toxcyanobacteria.pdf> Acesso em: 10 jun. 2012

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente**. Resolução nº 357, 17 de março de 2005. Disponível em:

<www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> Acesso em: 05 out.2011.

COUTINHO, L. M. **Aspectos do cerrado**. Disponível em:

<http://ecologia.ib.usp.br/cerrado/aspectos_bioma.htm> Acesso em: 15 out 2011.

DELELLO, D. **Composição e distribuição (espacial e temporal) de macrófitas aquáticas no reservatório do Lobo (Broa), Itirapina, SP**. 2008. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 2, Ed. São Paulo: Signus, 2000.

DODDS, W. K; JONES, J. R; WELCH, E. B. Suggested classification of stream trophic state: distribution of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen and phosphorus. **Water Research**, v. 51, 1998. p. 1455-1462.

DUARTE, M. A. C.; CEBALLOS, O.; SUSANA, B.; ANNEMARIE, K.; MELO, H. N. M.; ARAÚJO, J. A. H. Índice do estado trófico de Carlson (IET) aplicado em corpos aquáticos lênticos do nordeste do Brasil. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 26, 1998. Lima, **Resumes...**Lima: Asociación Peruana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - AIPS; AIDIS.1998 p. 1-5.

EIBH - **Estudo Integrado de Bacias Hidrográficas para Avaliação de aproveitamentos Hidroelétricos**. Goiânia, 2005.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. Disponível em: <http://www.solos.ufmt.br/docs/esp/SIBCs_2009.pdf >. Acesso em 10 set. 2011.

FARIA, D. M. de. **Diatomáceas Perifíticas de um reservatório eutrófico do rio Itaquí: aspectos qualitativos e quantitativos**. 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado Botânica) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

FERNANDES, L. A. Mapa litoestratigráfico da parte oriental da bacia Bauru (PR, SP, MG), escala 1:1.000.000. In: **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 55. 2004. p. 53-66.

FONSECA, G. A. B da; **Contribuição antrópica na poluição de reservatórios hidrelétricos: o caso da usina hidrelétrica de São Simão - GO/MG**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE. Originalmente apresentado como dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2ª Ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1988.

GARCIA, C. Z.; GARCIA, D.C.O.; LEITE, M.A. Comparação entre dois Índices de Estado Trófico para o Reservatório de Ilha Solteira. In: VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 2007, Caxambu. **Anais...** Caxambu, 2007.

GASTALDINI, M. C.C; SOUZA, M.D.S. Diagnóstico do Reservatório do Vacaí-Mirim através de índices de qualidade de água. In: Seminário sobre qualidade de águas continentais no Mercosul, 1. 994., Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 1994. p. 86-90.

GOMES, D. P. P.; BARROS, F. M.; BARRETO L. V.; ROSA R. C. C.; TAGLIAFERRI, C. **Avaliação do estado trófico para o rio Catolé-BA em diferentes épocas do ano**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, v.6, N.11; 2010.

GUIMARÃES JR, C; LEOPOLDO, R. P; CRUZ, A. J; FONTANA, S. C. Aspecto limnológico do reservatório de Ibitinga-SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V.3 n.1 jan/mar, 1998. p.89-103

GUNKEL, G.; et al. The environmental and operational impacts of Curuá-Una, a reservoir in the Amazon region of Pará, Brazil. **Lake & Reservoirs: research and management**, v. 8, n. 3-4, 2003. p. 201-220.

IAP – Instituto Ambiental do Paraná. **Monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do Estado do Paraná no período de 2005 a 2008**. Ed. Fundamento, Curitiba – PR, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. Ed- Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

Kimmel, B.L.; Lind, O.T.; Paulson, L.J. Reservoir primary production. In: Thornton, K.W.; Kimmel, B.L.; Payne, F.E. (ed.). **Reservoir limnology: ecological perspectives**. New York: John Wiley & Sons, 1990. p.133-193.

KOSKI-VÄHÄLÄ, J. & HARTIKAINEN, H. Assessment of the risk of phosphorus loading due to resuspended sediment. **Journal of Environmental Quality, Madison**, v.30, 2001. p.960-966.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. São Paulo, 2004. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Ecossistemas Terrestres e aquáticos) – USP. 2004.

LATRUBESSE, E. M.; CARVALHO, T. M. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiânia, GO: Secretaria de Indústria e Comércio e Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás, 2006.

LIMA, W. S. **Qualidade da água em Ribeirópolis-SE: o açude do cajueiro e a barragem do João Ferreira**. São Cristóvão, 2008. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – UFS. Disponível em http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/id/38178422.html . Acesso em: 11 out.2011.

LIU, W; QUANFA, Z; LIU, G. **Influences of watershed landscape composition and configuration on lake-water quality in the Yangtze River basin of China**. Hydrological Processes. n. 26. 2012 . p. 570-578 Disponível em: < [http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/\(ISSN\)1099-1085](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/(ISSN)1099-1085)> Acesso em 19 abr. 2012.

LOPES, A. F. M. **Estudo trófico da Lagoa da Malagueira (Évora) e proposta de reabilitação**. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente) Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.

LOPES, A. G. D. **Estudos da comunidade fitoplanctônica como bioindicador de poluição em três reservatório em série do Parque Estadual das Fontes do**

Ipiranga (PEFI), São Paulo, SP. 2007. 137 f. Dissertação (Mestre em Saúde Pública) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

LUCCA, J. V. de. **Caracterização limnológica do Lago Dom Helvécio, sistema de lagos do Vale do Médio Rio Doce (MG).** São Carlos, SP. 2006. 235 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2006.

MANDÚ, M. A. L. G. M.; SANTOS, P. T. dos. **Índice do Estado Trófico.** Rio de Janeiro: UERJ, 2011. Disponível em: <<file:///C:/Users/Susy/Desktop/IET%20-%20final.htm>> Acesso em: 10 jun. 2012.

MARIANO, Z. F.; SANTOS, M. J. Z.; SCOPEL, I. Variabilidade e tendência climática da região do Sudoeste de Goiás e sua relação com a cultura da soja. In: **Seminário de Pós-Graduação em geografia da UNESP**, 3, 2003, Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2003, v. 1, p. 596-616.

McDOWELL, R. W.; SHARPLEY, A. N.; CONDRN, L.M. et al. Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.59, 2001. p.269-284.

MEIRINHO, P. do AMARAL. **Compartimentalização da comunidade zooplancônica em reservatório tropical urbano eutrofizado (braço Rio Grande, Complexo Billings, SP).** 2010. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade de São Paulo, 2010.

MOLOZZI, J.; SILVA, A.; PINHEIRO, A.; HEPP, L. U. A cultura do arroz influenciando a distribuição de macrófitas aquáticas. **Revista Perspectiva**, Erechim: EdiFAPES v.29, 2005. p. 61-68.

MONTEIRO, J. J. F.; NASCIMENTO, E. C. do.; MOURA, A. do N. Diversidade Fitoplancônica e Características Limnológicas do Reservatório Saco I – Sertão de Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, supl. 2, jul. 2007. p. 324-326

MOURA, A. do N; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. do C; DANTAS, Ê. W; ARRUDA NETO, J. D. de T. Phytoplanktonic associations: a tool to understanding dominance events in tropical brazilian reservoir. **Acta Botanica Brasilica**. v.23, n0. 3, 2007. p. 641-648

NOVELIS. Inc. **RIA/RIMA UHEs Caçu e Barra dos Coqueiros.** 230p. 2005.

OSÓRIO, V. K. L; OLIVEIRA, W. Polifosfatos em detergentes em pó comerciais. **Revista eletrônica Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 5, 2001.

PANT, H. K. & REDDY, K. R. Phosphorus sorption characteristics of estuarine sediments under different redox conditions. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.30, 2001. p.1474-1480.

PASCHOAL, L. R. P; SÁ, O. R. de. Análise da qualidade da água das UHE Marechal Mascarenhas de Moraes e Luiz Carlos Barreto de Carvalho da Bacia hidrográfica do médio rio Grande (MG) utilizando o índice do estado trófico (IET) e o índice da qualidade da água (IQA). **Ciência et Praxis**. v. 4, n. 7, 2011.

PAULA, M. R., CABRAL, J. B. P. Uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na análise da vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica da UHE Barra dos Coqueiros – GO. In: XIX Seminário de Iniciação Científica / VIII COMPLEX, 2011, Goiânia. **Anais...**Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO, 2011.

PAULINO, W.D.; OLIVEIRA, R. R. A.; AVELINO, F. F. **Metodologia para definição da eutrofização**. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/boletim-de-qualidade-eutrofizacao>> Acesso em: 10 out. 2012.

PELLEGRINI, J. B. R. **Fósforo na água e no sedimento na microbacia hidrográfica do Arroio Lino – Agudo – RS**. 2005. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

QUEVEDO, C. M. G. de. **As atividades do homem e a evolução da dinâmica do fósforo no meio ambiente**. 2009. 247 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

REYNOLDS, C. S; DAVIES, P. S. Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwaters: a british perspective. **Biology Review**, v.76, p.27-64, 2001.

ROCHA, I. R., CABRAL, J. B. P. Uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na análise da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica da UHE Barra dos Coqueiros – GO. In: XIX Seminário de Iniciação Científica / VIII COMPLEX, 2011, Goiânia. **Anais...**Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO, 2011.

ROCHA, H. M. **Análise espaço-temporal das águas dos afluentes e reservatório da UHE Barra dos Coqueiros em Goiás**. 2012. 147 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2012.

SALAS, H. J.; MARTINO, P. A. Simplified trophic state model for warm water tropical lakes. **Water Research**, v. 25, n. 3, 1991. p. 341-350.

SANTOS, S. P. dos. **morfometria, compartimentação e hidrodinâmica de um reservatório periurbano tropical: prognósticos sobre o tempo de vida útil do reservatório de Vargem das Flores, Minas Gerais – Brasil**. 2012. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

SIEG. **Sistema Estadual de Estatísticas Informações Geografias de Goiás**. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br>>. Acesso em: 22 jul. 2009.

SOUZA, B. F. de. **Monitoramento da qualidade da água para preservação de vida aquática do rio Santo Anastácio**. Presidente Prudente, Monografia (Graduação em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP. 2006.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. DESA-UFMG, 2008.

SPERLING, M. V. **Estudo e modelagem da qualidade da água de rios**. DESA-UFMG, 2007.

STARLING, F. L do R. M. Corporative study of the zooplankton composition of six lacustrine ecosystems in central Brazil during in dry season. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60 (1), 2000. p.101-110.

STRASKRABA, M; TUNDISI, J. G; DUNCAN, A. **Comparative reservoir limnology and water quality management**. Kluwer Academic Publisher. 1993.

STRASKRABA, M; TUNDISI, J. G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas**. Ed. ILEC – IIE, São Carlos, 2000. 280p.

TOLEDO JR, A. P. **Informe preliminar sobre estudos para a obtenção de um índice para a avaliação simplificada do estado trófico de reservatórios de regiões quentes tropicais**. CETESB: São Paulo, 1990.

TOLEDO JR, A. P. DE; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processos de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. **Anais...** Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 12, Camboriú, 1983.

TUNDISI, J. G. **Limnologia e gerenciamento integrado de recursos hídricos: avanços conceituais e metodológicos**. Revista Ciência e Ambiente. UFSM. V.1 n.20 (jul/dez) – Santa Maria, 2000. p. 09- 20

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. RiMa, iie. 2, Ed. São Carlos, 2005.

TUNDISI, J. G; MATSUMURA-TUNDISI, T; ROCHA, O. Ecossistemas de águas interiores. In: REBOUÇAS, A. da C; BRAGA, B; TUNDISI, J. G. (org.) **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. Escrituras: São Paulo, 2006. p. 161-202.

TUNDISI, J. G. Reservatórios como sistemas complexos: teorias, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: HENRY, R. (Ed.) **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. Botucatu: FUNDIBIO, 2007. p. 19-38.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 631.

UNEP-IETC/ILEC. **Lagos e reservatórios – qualidade da água: efeitos da eutrofização**. Disponível em:

<<http://www.4shared.com/document/J2Rdg8x/LagoseReservatorios.html>> Acesso em: 10 de ago. 2011.

VERCELINO, I. S; BICUDO, D. de C. Sucessão da comunidade de algas perifíticas em reservatório oligotrófico tropical (São Paulo, Brasil): comparação entre período seco e chuvoso. **Revista Brasileira de Botânica**, v.29, n.3, p.363-377, jul-set. 2006. Disponível em:

< <http://www.scielo.br/pdf/rbb/v29n3/a04v29n3.pdf>> Acesso em: 10 de ago. 2012.

VIEIRA, M. da S.; FERREIRA, J. R.; CASTRO, P. M. G. de, ROCHA A.de A. Aspectos da química da água e do sedimento do reservatório de Ibatinga (São Paulo - Brasil - 21° 45' S e 48° 50' W). **Boletim do Instituto de Pesca**, v.28 (1), São Paulo, 2002. p. 77-91

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.

XAVIER, C. da F. **Avaliação da influência do uso e ocupação do solo e de características geomorfológicas sobre a qualidade das águas de dois reservatórios da região metropolitana de Curitiba-PA**. 2005. 167 f. Dissertação (Mestrado em Solos)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

XIANGCAN, J. **Analysis of eutrophication state and trend for lakes in China**. Journal Limnology. n. 62 v.2. 2003 p. 60-66

XIAO, L; OUYANG, H; LI, H; CHEN, M; LIN, Q; HAN, B-P. Enclosure Study on Phytoplankton Response to Stocking of Silver Carp (*Hypophthalmichthys olitrix*) in a Eutrophic Tropical Reservoir in South China. **International Review of Hydrobiology**. 2010 4–5 370–382

Disponível em: www.revhydro.com Acesso em 23/04/12

YUNES, J. S; ARAÚJO, E. A. C. **Protocolo para análise de clorofila-a na água**. Rio Grande do Sul: Unidade de Pesquisa em Cianobactérias da Fundação Universidade Federal de Rio Grande. [s/d].