

## 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)

Quality water analysis at Marechal Mascarenhas de Moraes and Luiz Carlos Barreto de Carvalho Hydroelectrical Power Stations of Rio Grande - Minas Gerais, using the trophic level index (TLI) and water quality index (WQI)

Lucas Rezende Penido Paschoal<sup>1</sup>; Odila Rigolin de Sá<sup>2</sup>

**Resumo:** Com o objetivo de avaliar a qualidade das águas das UHEs Marechal Mascarenhas de Moraes e de Luiz Carlos Barreto de Carvalho foram utilizados o Índices de Estado Trófico modificado (IETm) por Toledo *et al.* (1983), bem como por Lamparelli (2004); e de Qualidade da água (modificado neste estudo, utilizando apenas 7 parâmetros: pH, nitrogênio e fosfato total, temperatura, oxigênio dissolvido, coliformes totais e sólidos totais). Através de análises físico químicas e biológicas, realizadas nos períodos de dezembro (2007), março, junho e setembro (2008) em 12 pontos na UHE Marechal Mascarenhas e em 8 na UHE Luiz Carlos Barreto; o IETm de Toledo *et al.* (1983) caracterizou ambas UHEs como oligotróficas, já Lamparelli (2004) as insere em meso-eutróficas. Diferença esta causada pela desconsideração do parâmetro clorofila a, sendo o IETm de Toledo *et al.* (1983) melhor adotado devido essa característica. A baixa condutividade anual fez com que houvesse uma queda nos nutrientes nitrogenados e fosfatados, possíveis causadores da eutrofização. O IQA classifica as águas de ambas UHEs como boa, com baixa oscilação para ótima. Estes índices se mostraram adequados para avaliação da qualidade trófica sanitária dos corpos hídricos, porém é necessário uma ação mitigadora para que não haja futuro comprometimento das águas.

**Palavras-chave:** Qualidade da água; IQA/IETm; UHE Marechal Mascarenhas de Moraes; UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho.

**Abstract:** In order to evaluate the water quality at the Hydroelectric Power Plants of Marechal Mascarenhas de Moraes (Peixoto) and Luiz Carlos Barreto de Carvalho (Estreito), and the water quality (modified in this study, using only 7 parameters: pH, total nitrogen and phosphate, temperature, dissolved oxygen, total coliforms and total solids, the Trophic level indices modified (TLIm) by Toledo et al (1983) as well as by Lamparelli (2004) were used. Through physical, chemical and biological analysis, carried out during the periods of December (2007), March, June and September (2008) in 12 points at HEP Marechal Mascarenhas and 8 at the HEP Luiz Carlos Barreto; the TLIm by Toledo *et al.* (1983) characterized both Hydroelectric Power Plants as oligomesotrophic classes, whereas Lamparelli (2004) puts them in eutrophic classes. This difference is caused by lack of chlorophyll a parameter, whereas the Toledo's et al. (1983) TLIm is better adopted because of this feature. A drop in nitrogen and phosphorous nutrients was caused by the low annual conductivity; and these nutrients could have been the causes of eutrophication. The Water Quality Index (WQI) classifies the waters of both Hydroelectric Power Plants as good, with low oscillation to be acceptable. These indices were suitable to evaluate the sanitary trophic quality of water bodies, but it is necessary a controlling action so that there will not be a future water damage.

**Keywords:** Water quality; WQI/TLIm; Marechal Mascarenhas de Moraes and Luiz Carlos Barreto de Carvalho Hydroelectric Power Plants.

### INTRODUÇÃO

Os reservatórios podem ser considerados corpos d'água intermediários entre rios e lagos, dependendo do seu tempo de retenção. Isso devido a sua operação, sendo que a região mais a montante, possui características similares a rios, enquanto as áreas próximas à barragem apresentam condições eutróficas e se assemelham a lagos; cuja evolução depende da entrada de várias informações no tempo e espaço, ou seja, são partes integrantes de uma bacia hidrográfica e, portanto, são excelentes detentores de todos os impactos das

atividades antropogênicas que se desenvolvem na bacia (ESTEVES, 1998; STRASKRABA & TUNDISI, 2000).

A maioria desses represamentos no Brasil é destinada à produção de energia elétrica, porém seus múltiplos usos (balneabilidade, recreação, paisagismo e etc.) acabam por comprometer ainda mais a qualidade da água. Processos como a eutrofização, podem gerar compostos nocivos à água potável; se somados aos impactos da presença e das atividades humanas as áreas alagáveis tendem a diminuir; os efeitos mais evidentes estão relacionados ao despejo *in natura* de efluentes domésticos.

<sup>1</sup>Mestre em Zoologia pela UESC (BA); graduação em Ciências Biológicas pela Fundação de Ensino Superior de Passos (FESP/UEMG).

<sup>2</sup>Professora Adjunta da Fundação de Ensino Superior de Passos (FESP/UEMG). Email: odilarigolin@yahoo.com.br

O crescimento demográfico e o desenvolvimento dos centros urbanos, agrícolas e industriais próximos aos ambientes aquáticos têm sido apontados como as principais fontes causadoras de deterioração da qualidade da água (TUCCI *et al.*, 2000).

Além dos inúmeros benefícios, o represamento de um rio acarreta também diversos efeitos negativos, reduzindo a quantidade e qualidade da água nos rios e reservatórios, com efeito direto na capacidade de geração de energia elétrica e abastecimento humano.

Straskraba & Tundisi (2000) e Tundisi (2003) listam, entre os impactos indiretos decorrentes da construção de reservatórios: o desmatamento, a redução da cobertura vegetal e erosão da camada fértil de solos agrícolas, o aumento da contaminação e da toxicidade no sistema, o aumento da poluição orgânica e da eutrofização, a alteração da biodiversidade com remoção de espécies ecologicamente importantes e por fim efeitos negativos à saúde humana resultante da deterioração da qualidade da água.

Rebouças (1999) aponta que mesmo com esses problemas, a tecnologia normalmente empregada nas estações de tratamento de esgotos é simples, e amplamente difundida nos países em desenvolvimento. O mesmo autor ressalta, ainda, que isso se deve à falta de vontade política e iniciativa institucional, sendo apontadas como principais responsáveis pela ausência de práticas de saneamento e tratamento de esgotos.

A contaminação da água por resíduos químicos atinge, por sua vez, tanto países desenvolvidos quanto nações em desenvolvimento. A atividade agrícola é atualmente a maior fonte de contaminação não-pontual de águas nos Estados Unidos, Canadá (WHILES *et al.*, 2000; PARRIS, 2002) e os Países Baixos (BROUWER & VAN BERKUM, 1996; RIVM/CBS, 1999), porém nesses países ocorreu grande avanço no monitoramento da poluição, principalmente em relação aos resíduos industriais e urbanos, entretanto ainda não foi possível estabelecer metodologias eficientes para o controle da poluição em áreas agrícolas.

A poluição, a qual os corpos d' água estão sujeitos, conduz à necessidade de planos de prevenção e recuperação ambiental, a fim de garantir condições de usos atuais e futuros, para diversos fins. Esses planos, além de medidas de acompanhamento de suas metas, através de fiscalização, requerem para sua proposição e efetiva implementação, dados que indiquem o estado do ambiente aquático. Para esse fim, são estabelecidos os programas de monitoramento da qualidade da água, com finalidade de avaliar as substâncias presentes na água, avaliadas sob os aspectos físicos, químicos e biológicos, permitindo detectar possíveis fontes poluentes que podem prejudicar o uso da água (SANTOS *et al.*, 2001).

O uso de índices de qualidade de água é uma tentativa que todo programa de monitoramento de águas superficiais prevê como forma de analisar, através de informações resumidas, a evolução da qualidade da

água no tempo e no espaço. Assim, facilita a interpretação de extensas listas de variáveis ou indicadores dos recursos hídricos ao longo da bacia hidrográfica ou ao longo do tempo. Neste sentido, a busca em trabalhos de campo e a obtenção de índices de qualidade de água que reflitam resumidamente e objetivamente as alterações, com ênfase para as intervenções humanas, como o uso agrícola, urbano e industrial (COUILLARD & LEFEBVRE, 1985; BAIRD, 2002).

Esse estudo teve como objetivo realizar a caracterização limnológica geral das represas UHE Marechal Mascarenhas de Moraes e UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho (ambas localizadas no Rio grande - MG) visando, sobretudo à avaliação do estado trófico e qualidade destes ambientes.

## MATERIAL E MÉTODOS

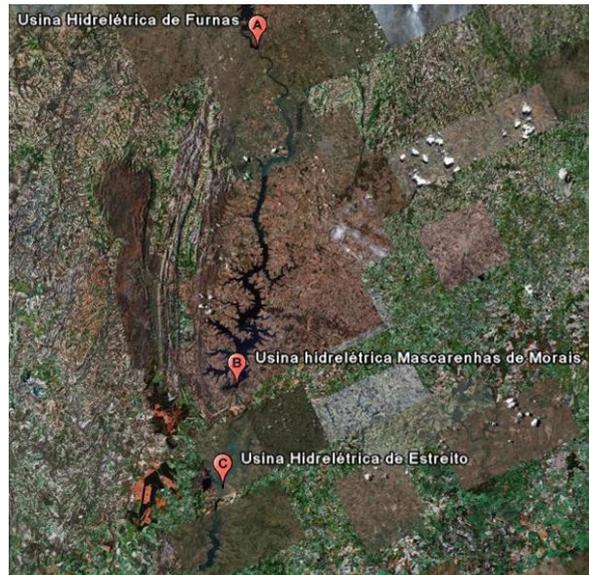
A UHE Marechal Mascarenhas de Moraes situa-se próximo à cidade de Ibiraci (MG) entre as usinas de Furnas (à montante) e de Luiz Carlos Barreto de Carvalho (à jusante). O reservatório possui um nível máximo de armazenamento de, aproximadamente, 650 m e uma área inundada de 250 km<sup>2</sup>. A UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho situa-se à jusante da usina de Furnas próxima à cidade de Franca (SP), com uma área inundada de 46,7km<sup>2</sup> (Figura 1). Ambas UHEs se inserem na bacia do médio rio Grande (MG), localizando-se em uma região com alta densidade demográfica, tendo no setor primário sua principal atividade, destacando-se a pecuária, cana-de-açúcar, laranja, café e culturas temporárias.

Esses reservatórios são importantes para a região como reserva de água, na geração de energia elétrica, como local de lazer e fonte de renda para muitas famílias que vivem da pesca. Além disto, sustenta, direta e indiretamente, grande diversidade de vida silvestre. Devido ao desenvolvimento de atividade agropecuária em suas margens e ao aumento do uso de fertilizantes e descargas de efluentes domésticos em diversos pontos ao longo das UHEs, a qualidade da água vem sendo afetada, prejudicando seu valor recreativo, a qualidade da pesca e a integridade do ecossistema como um todo.

Foram definidos 12 pontos na UHE Marechal Mascarenhas de Moraes (Figura 2) e 8 pontos UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho (Figura 2), com distribuição aleatória (esquema de varredura) para acoplar as diferentes regiões dos reservatórios, sendo que as campanhas de campo foram realizadas nos meses de dezembro de 2007 e março, junho e setembro de 2008, em triplicatas. Sendo que as amostras e as medidas realizadas in situ ocorreram entre 10:00 e 18:00 horas.

As medidas de pH, condutividade elétrica e concentração de oxigênio dissolvido e temperatura foram realizadas nos 20 pontos amostrais, na camada superficial da água ( $\pm 10$  cm de profundidade) e próxima ao fundo, utilizando-se um equipamento multi-sensor da marca YS1 modelo 6600/650 MDS.

Figura 1: Fotografia de satélite, com a localização das UHEs inseridas na Bacia do médio rio Grande (MG)



A transparência da água (Zsd) foi estimada através da medida do desaparecimento visual do disco de Secchi. A proporção entre a profundidade do disco de Secchi em relação à profundidade local foi determinada.

Nos pontos de amostragem foram coletadas amostras da água da superfície ( $\pm 10$  cm de profundidade) para a determinação das concentrações de nutrientes (compostos nitrogenados e fosfatados), material em suspensão (sólidos totais suspensos, sólidos totais e sólidos fixos) e pigmentos vegetais (clorofila a). As coletas de água foram realizadas com garrafa de van Dorn (5 litros).

As variáveis medidas, as metodologias e as referências utilizadas são sumarizadas no Quadro 1.

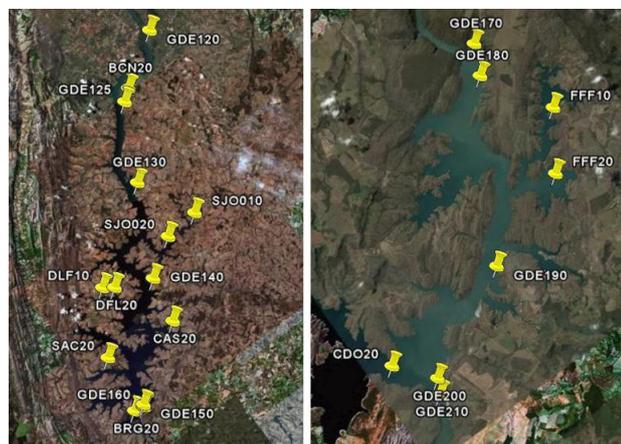
A água para determinação da concentração de clorofila a e do material em suspensão total foi filtrada em filtros GFF de fibra de vidro, com  $0,7\mu\text{m}$  de abertura dos poros, sendo que a água resultante da filtração foi

armazenada em frascos plásticos, congeladas e posteriormente utilizadas para determinação dos nutrientes dissolvidos (nitrato, nitrito, amônia e fosfatos). As concentrações de nitrogênio e fósforo totais foram determinadas em amostras não filtradas de água.

O grau de eutrofização das UHE Marechal Mascarenhas de Moraes e UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho foi estimado a partir do cálculo dos índices de Carlson modificado por Toledo *et al.* (1983), bem como por Lamparelli (2004), porém este autor utiliza somente os valores de fósforo total e clorofila-a para o cálculo do IET.

O IQA em cada ponto amostrado foi calculado pelo produto ponderado das qualidades de água correspondentes aos seguintes parâmetros: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), coliforme fecal, demanda bioquímica de oxigênio (5 dias,  $20^{\circ}\text{C}$ ), nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez (CETESB, 2001).

Figura 2: Pontos de coletas utilizados no presente trabalho (a) UHE Marechal Mascarenhas de Moraes e (b) Luiz Carlos Barreto de Carvalho



Quadro 1: Variáveis limnológicas analisadas nas amostras de água para as UHEs Marechal Mascarenhas de Moraes e Luiz Carlos Barreto de Carvalho

Variável	Metodologia	Referência
Nitrito	Espectrofotometria	Mackereth <i>et al.</i> (1978)
Nitrato	espectrofotometria	Mackereth <i>et al.</i> (1978)
Amônia	espectrofotometria	Koroleff (1976)
Nitrogênio total	espectrofotometria	Valderrama (1981)
Fosfato total dissolvido	espectrofotometria	Golterman <i>et al.</i> (1978)
Fósforo total	espectrofotometria	Valderrama (1981)
Clorofila a	espectrofotometria	Nusch & Palme (1975)
Coliformes fecais	tubos múltiplos	APHA (1998)
Silicato	colorimetria	APHA (1998)
Materiais Suspensos (Sólidos totais, fixos e voláteis)	gravimetria	APHA (1998)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura da água variou entre 19,60°C e 28,10°C na UHE Marechal Mascarenhas de Moraes (Tabela 1). Com relação à concentração de oxigênio dissolvido, em dezembro foi observada uma hipóxia relativa, quase anóxica em alguns pontos, já nos meses de junho e setembro a coluna d'água esteve bem oxigenada com concentrações variando entre 5,9 mg.L<sup>-1</sup> e 7,8 mg.L<sup>-1</sup> (junho) e entre 4,2 mg.L<sup>-1</sup> e 7,8 mg.L<sup>-1</sup> (setembro) (Tabela 1). Na UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho, as variações da temperatura na coluna d'água foram similares as observadas na UHE Marechal Mascarenhas de Moraes, com médias de 23°C (Tabela 1). A concentração de oxigênio foi relativamente mais alta em comparação a UHE Marechal Mascarenhas de Moraes, com médias variando de 4,8 a 7,7 mg.L<sup>-1</sup>; tendo uma oxigenação constante e mais equilibrada se comparada a outra UHE (Tabela 1).

Os valores médios do pH indicam uma condição ligeiramente básica durante o ano (7,20) para ambas UHEs (Tabela 1). Sendo ligeiramente ácida em março, em ambas

UHEs com valores entre 6,8 e 6,9 (Tabela 1). Na UHE Marechal Mascarenhas de Moraes, as médias dos valores obtidos variaram entre 6,0 e 8,7; enquanto que na UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho foi de 6,4 e 7,2 (Tabela 1).

A condutividade elétrica variou entre 17,4 µS.cm<sup>-1</sup> e 130,2 µS.cm<sup>-1</sup> durante o ano na superfície da UHE Marechal Mascarenhas de Moraes (Tabela 1). Na UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho os valores mínimos registrados se aproximaram bastante aos valores máximos para a condutividade elétrica (34,6 µS.cm<sup>-1</sup> a 45,36 µS.cm<sup>-1</sup>), sendo inferiores se relacionados à amplitude encontrada nos valores da UHE Marechal Mascarenhas de Moraes, onde essa ultrapassou 130 µS.cm<sup>-1</sup> em Dezembro de 2007 (Tabela 1).

As concentrações médias de nutrientes (compostos nitrogenados e fosfatados), pigmento vegetal (clorofila a), silicato e material em suspensão (sólidos fixos, voláteis e totais suspensos) UHE Marechal Mascarenhas de Moraes e UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho são sumarizados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. Pamplin (2004), verificou valores similares para a Represa

Tabela 1: Valores (mínimos, máximos, médios e erro-padrão) do pH, condutividade, temperatura e oxigênio dissolvido na UHE Marechal Mascarenhas de Moraes e UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho, no final de 2007 e em 2008.

UHE Marechal Mascarenhas de Moraes					UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho			
Dezembro	Março	Junho	Setembro		Dezembro	Março	Junho	Setembro
7,7 – 8,7	6,0 – 7,6	6,9 – 7,45	6,82 – 7,78	pH	6,8 – 7,23	6,4 – 7,2	7,2 – 7,35	6,9 – 7,27
8,1 ± 0,3	6,9 ± 0,4	7,2 ± 0,15	7,35 ± 0,26		7,23 ± 0,21	6,8 ± 0,27	7,2 ± 0,07	7,2 ± 0,1
29,8 - 130,2	17,4 - 68,8	31,1 - 60,6	33,3 - 125,5	Condutividade (µS.cm <sup>-1</sup> )	36,8 - 38,73	34,6 - 45,36	35,31 - 38,31	37 - 42,44
45,9 ± 26,7	38,0 ± 12,5	36,2 ± 12,4	44,1 ± 23,13		37,71 ± 23,66	37,6 ± 3,4	36,9 ± 1,0	38,7 ± 1,6
0,9 – 6,7	4,1 – 6,66	5,9 – 7,84	4,22 – 7,98	Oxigênio dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> )	4,8 – 7,37	6,36 – 7,2	6,5 – 7,7	6,95 – 7,7
5,4 ± 1,4	5,5 ± 0,7	6,7 ± 0,52	6,95 ± 0,96		6,4 ± 1,4	4,8 ± 0,26	7,0 ± 0,35	7,3 ± 0,26
22,9 – 27,4	24,8 – 28,1	20,8 – 23,4	19,6 – 24,03	Temperatura (°C)	22,1 – 25,73	25,1 – 26	22,9 – 23,4	21,9 – 22,27
25,3 ± 1,1	26,1 ± 0,96	22,6 ± 0,85	22 ± 1,0		23,66 ± 1,87	25,7 ± 0,32	23,16 ± 0,16	22,1 ± 0,12

Tabela 2: Concentrações (mínimas, máximas, médias e erro-padrão) dos compostos nitrogenados e fosfatados, pigmento vegetal (clorofila a), silicato e material em suspensão (sólidos fixos, voláteis e totais suspensos) na UHE Marechal Mascarenhas de Moraes no final de 2007 e em 2008.

	Dezembro	Março	Junho	Setembro
Nitrito ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	1,0 – 141	1,0 – 36	1,0 – 9,0	1 – 109
	$8,6 \pm 27,2$	$5,4 \pm 7,8$	$2,7 \pm 1,66$	$6,35 \pm 20,9$
Nitrato ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	79 - 431	35 – 294	95 - 290	95 – 551
	$178,2 \pm 92$	$106,2 \pm 60,2$	$144,9 \pm 38,5$	$189 \pm 111,9$
Amônia ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Nd - 1038	Nd - 132	Nd - 56,0	Nd – 1084
	$85,8 \pm 255,1$	$67,75 \pm 54$	$26,2 \pm 23,09$	$296,75 \pm 525,53$
Nitrogênio total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	0,1 - 1,1	0,2 - 1,0	0,3 - 1,9	0,3 – 1,4
	$0,5 \pm 0,25$	$0,6 \pm 0,25$	$0,68 \pm 0,34$	$0,5 \pm 0,2$
PO <sub>4</sub> total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	2,0 - 31	4,0 – 22	2,0 – 7,0	2,0 – 39
	$4,7 \pm 5,5$	$6,36 \pm 3,8$	$4 \pm 1,3$	$5,2 \pm 7$
P total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	10 - 203	7,0 – 95	4,0 – 39	6,0 – 130
	$53,6 \pm 44,1$	$20,24 \pm 19,5$	$12,92 \pm 8,57$	$16,3 \pm 24$
Sólidos totais ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	0,1 - 27,1	0,7 - 49,8	0,5 - 6,8	0,5 – 35,3
	$3,0 \pm 5,3$	$7,0 \pm 10,7$	$1,62 \pm 1,46$	$3,2 \pm 6,9$
Sólidos voláteis ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Nd - 4,2	Nd - 15,1	0,4 - 2,4	0,4 - 8,1
	$0,6 \pm 0,9$	$2,26 \pm 2,93$	$0,98 \pm 0,43$	$1,27 \pm 1,51$
Sólidos fixos ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Nd – 22,9	Nd - 6,9	Nd - 2,9	0,1 – 27,2
	$2,6 \pm 4,6$	$1,78 \pm 1,66$	$0,46 \pm 0,83$	$2 \pm 5,41$
Silicato ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	2,2 - 8,6	0,8 - 6,4	1,4 - 5,4	2,3 – 6,0
	$4,5 \pm 1,4$	$2,54 \pm 1,3$	$3,45 \pm 0,88$	$4,41 \pm 1,2$
Clorofila a ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	0,2 - 6,0	Nd - 3,9	0,08 - 1,3	0,03 - 3,17
	$0,9 \pm 1,3$	$1,6 \pm 1,08$	$0,43 \pm 0,36$	$0,73 \pm 0,86$

\* A sigla Nd refere-se à concentração não detectável pelo método utilizado.

de Ponte Nova, utilizando metodologia e nível amostral semelhante; mostrando baixos valores em relação à condutividade, sendo esse parâmetro interligado principalmente a quantidade de componentes fosfatados e nitrogenados (íons) na água, logo os parâmetros nutricionais obtiveram baixos valores, devido à baixa capacidade conduzir corrente elétrica ao meio.

Aplicando-se o modelo de Vollenweider, foi possível, determinar a quantidade de fósforo lançada em ambas UHEs (Tabelas 2 e 3). As cargas mensais da UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho foram inferiores em relação à UHE Marechal Mascarenhas de Moraes (com exceção ao mês de Junho), variando de 162 a 818 ton/mês e 360 a 1186 ton/mês, respectivamente (Figura 3). Com esses resultados estima-se que a carga média anual seja 28,5 kg/km<sup>2</sup>/ano na UHE Marechal Mascarenhas de Moraes e 20,76 kg/km<sup>2</sup>/ano UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho. Valores similares foram encontrados para UHE Ipueiras, variando de 25,1 a 42,8 kg/km<sup>2</sup>/ano em 2004, classificando-a como mesotrófica (BRASIL, 2005).

Observando-se a figura 4, que apresenta as variações temporais dos índices de estado trófico, nota-se que o IETm médio das presentes UHEs são completamente distintos, pois com o IETm de Toledo *et al.* (1983) a água foi classificada como Oligotrófica para ambas UHEs (somente em dezembro na UHE Luiz Car-

los Barreto de Carvalho foi tida como mesotrófica); já para IETm de Lamparelli (2004), a água foi classificada em eutrófica na UHE Marechal Mascarenhas de Moraes (exceto em junho onde foi classificada como mesotrófica), já UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho, houve prevalência de águas mesotróficas (exceto em dezembro onde foi classificada como eutrófica).

Houve uma alta variação em relação ao IETm usado por Toledo *et al.* (1983) e por Lamparelli (2004), no decorrer do período de estudo, que apresentaram valores dentro dos limites das classificações encontradas. As maiores oscilações estão relacionadas ao parâmetro de transparência e fosfato dissolvido, pois Lamparelli (2004) não utiliza esse parâmetro.

Garcia *et al.* (2007), verificaram variações semelhantes para o Reservatório de Ilha Solteira ao utilizar os dois índices, sendo que em seu estudo a variação de trofia foi alta, variando de oligotrófico e mesotrófico de acordo Toledo *et al.* (1983), para ultraoligotrófico e eutrófico segundo Lamparelli (2004). Isso, devido ao método de Lamparelli (2004), apresentar maior sensibilidade às mudanças, aumentando desta forma a amplitude das classificações tróficas.

Em todos os pontos amostrados, o Índice de Qualidade da Água (IQA) apresentou valores entre 74 e 90, o que significa uma qualidade Boa para todo o reser-

Tabela 3: Concentrações (mínimas, máximas, médias e erro-padrão) dos compostos nitrogenados e fosfatados, pigmento vegetal (clorofila a), silicato e material em suspensão (sólidos fixos, voláteis e totais suspensos) na UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho, no final de 2007 e em 2008.

	Dezembro	Março	Junho	Setembro
Nitrito ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Nd - 7 $1,8 \pm 1,7$	1,0 - 6,0 $3,3 \pm 1,1$	1,0 - 4,0 $1,95 \pm 0,83$	1,0 - 3,0 $1,53 \pm 0,62$
Nitrato ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	113 - 298 $186,8 \pm 55$	103 - 272 $168,4 \pm 49,6$	107 - 182 $144,7 \pm 16,7$	97 - 218 $126,9 \pm 25,7$
Amônia ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Nd - 12 $4,5 \pm 3,66$	Nd	Nd	Nd - 10 $5,5 \pm 6,36$
Nitrogênio total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	0,1 - 0,6 $0,4 \pm 0,14$	0,1 - 0,9 $0,44 \pm 0,2$	0,3 - 1,1 $0,6 \pm 0,2$	0,3 - 0,8 $0,44 \pm 0,16$
PO <sub>4</sub> total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	4,0 - 23,0 $13,5 \pm 7,7$	4,0 - 11,0 $6,95 \pm 1,66$	2,0 - 12,0 $3,55 \pm 2,14$	2,0 - 7 $4,0 \pm 1,0$
P total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	20,0 - 79,0 $37,0 \pm 16,8$	7,0 - 23,0 $12,4 \pm 3,8$	4,0 - 39,0 $12,92 \pm 8,57$	6,0 - 130,0 $16,3 \pm 24$
Sólidos totais ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	0,5 - 8,7 $1,4 \pm 1,8$	0,6 - 9,2 $2,96 \pm 2,0$	0,4 - 4,3 $1,2 \pm 1,0$	0,5 - 2,4 $1,03 \pm 0,57$
Sólidos voláteis ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Nd - 1,4 $0,2 \pm 0,3$	0,5 - 2,3 $1,18 \pm 0,35$	0,3 - 1,4 $0,73 \pm 0,31$	0,4 - 1,3 $0,72 \pm 0,22$
Sólidos fixos ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Nd - 7,3 $1,2 \pm 1,5$	Nd - 6,9 $1,8 \pm 1,66$	Nd - 2,9 $0,46 \pm 0,83$	0,1 - 1,3 $0,32 \pm 0,4$
Silicato ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	2,1 - 4,9 $3,7 \pm 0,9$	2,5 - 6,7 $5,06 \pm 0,77$	2,1 - 5,2 $4,0 \pm 0,9$	1,6 - 5,7 $3,5 \pm 1,33$
Clorofila a ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Nd - 2,1 $0,54 \pm 0,54$	Nd - 1,08 $0,5 \pm 0,3$	0,07 - 0,64 $0,32 \pm 0,18$	Nd - 0,71 $0,28 \pm 0,16$

\* A sigla Nd refere-se à concentração não detectável pelo método utilizado.

vatório (com exceção do mês de setembro para ambas UHE's onde foram classificadas como águas de Ótima qualidade) (Figura 5).

Este resultado demonstra a tendência apresentada pela estação de monitoramento da CETESB, no rio São José dos Dourados, o qual apresentou valor médio de 67 para este afluente do reservatório (CETESB, 2001), e no monitoramento da qualidade feito no Reservatório do Tapacurá em Pernambuco, onde se constatou que o valor de IQA foi superior a 60, assim sendo sua água classificada

como boa de acordo a CETESB (BRASIL, 2004).

Nota-se que o comportamento do IQA, no mês de dezembro, em ambas UHE's foi ótimo. Estes altos índices estão ligados à ausência de coliformes termotolerantes neste período, pois, este parâmetro representa 18% no cálculo do IQA. Pinto (2007) aponta como possível causa da ausência de coliformes fecais, a rotatividade do gado nas pastagens e o baixo índice pluviométrico não ocasionando, portanto, o escoamento superficial direto.

Figura 3: Quantidade mensal de fósforo (toneladas) lançado na UHE Marechal Mascarenhas de Moraes (vermelho) e UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho (verde), no final de 2007 e em 2008.

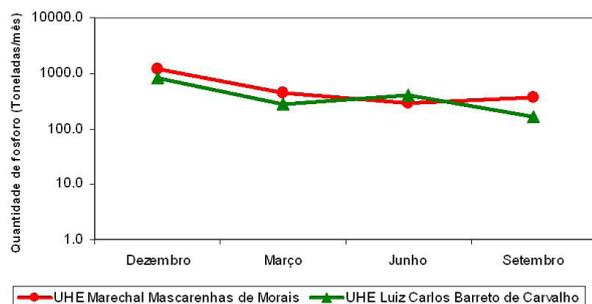
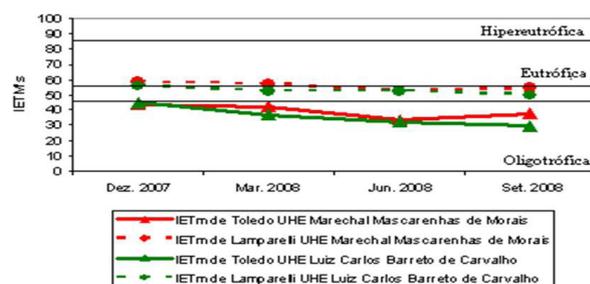


Figura 4: Variação do IETm de Toledo *et al.* (1983) e Lamparelli (2004), na UHE Marechal Mascarenhas de Moraes (vermelho) e UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho (verde), no final de 2007 e em 2008.



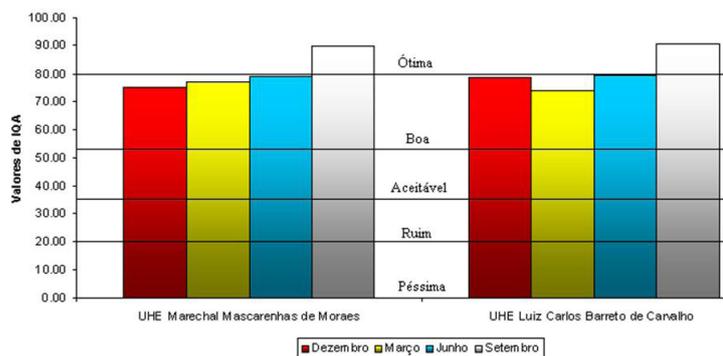


Figura 5: Valores do IQA (CETESB, 2001) na UHE Marechal Mascarenhas de Moraes e UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho no final de 2007 e em 2008.

## CONCLUSÃO

Os índices utilizados apresentaram valores diferenciados, sendo que dentro das faixas apontadas pelos mesmos foram observadas variações significativas para os valores médios, tanto em relação às variações temporais e pontuais. Em termos de aplicação, percebeu-se que o melhor índice adotado para as UHEs foi o de Toledo-Jr, *et al.* (1983), pois este foi capaz de detectar baixos valores de concentrações de clorofila-a e fósforo total, que é uma característica dessas UHEs.

A qualidade da água das UHEs variou de boa a ótima, com um aumento no IQA no mês de setembro em UHE Marechal Mascarenhas de Moraes e UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho durante o período seco, o qual não foi influenciado pelo arraste dos poluentes e/ou coliformes trazidos pelas chuvas, associado ao fato de serem UHEs em cascata; podendo assim uma diluir ou aumentar a carga de poluentes da outra.

Pode-se concluir, com este trabalho, que os pontos onde se verificaram os maiores valores médios dos índices de trofia e menor qualidade de água correspondem àqueles situados nas áreas que sofrem alta influência antrópica, fazendo-se necessária identificação das possíveis causas para a respectiva mitigação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Reserva de disponibilidade hídrica para o aproveitamento hidrelétrico Ipueiras**. Tocantins, 2005. 34p.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 th ed. APHA, Washington, 1998.
- BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2ed. Porto Alegre: Bookman. 2002.
- BROUWER, F. M.; VAN BERKUM, S. **CAP and environment in the European Union: Analysis of the effects of the CAP on the environment and assessment of existing environmental conditions in policy**. Wageningen Press, Wageningen, the Netherlands. 1996.
- CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2000**. Vol.1. 214p. 2001.
- COUILLARD, D.; LEFEBVRE, Y. Analysis of water quality indices. **Journal of Environmental Management**, v.21, p.161-179, 1985.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 1998, 602p.
- 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 do VIII Congresso de Ecologia do Brasil**. Caxambu, 2007.
- GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S., & OHNSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**. 2a. ed.. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 213p., 1978.
- KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In: PAMPLIN, P. A. Z. **Avaliação da qualidade ambiental da represa de Americana (SP - Brasil) com ênfase no estudo da comunidade de macroinvertebrados bentônicos e parâmetros ecotoxicológicos**. 1999. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo. 238p. 2004.
- MACKERETH, F. J. H. et al., **Water analysis: some revised methods for limnologists**. Vol. 36. Titus Wilson & Sons Ltd, Kendal, 117p., 1978.
- NUSCH, E. A.; PALME, G. **Bilogische methoden für die Praxis der gewässeruntersuchung**. Gmf. Wasser/Abwasser, n.116, p.562-565. 1975.
- PAMPLIN, P. A.Z. **Estudo comparativo da estrutura da comunidade bentônica de duas represas com diferenças no grau de eutrofização**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, UFSCar, São Carlos, 2004.

- PARRIS, K. Environmental impacts in the agricultural sector: using indicator as a tool for policy purposes. Paper presented to the Comission for Environmental Cooperating Meeting. 2002. In: EGLER, M. **Utilizando a comunidade de macroinvertebrados bentônicos na avaliação da degradação de ecossistemas de rios em Áreas Agrícolas**. 2002. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz. Escola Nacional de Saúde Pública Rio de Janeiro, 2002.
- PINTO, D. B. F. **Qualidade dos recursos hídricos superficiais em sub-bacias hidrográficas da região Alto Rio Grande (MG)**. Dissertação (Mestrado) - Programa Pós-Graduação em Engenharia de Água e Solo – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. & TUNDISI, J. G. (eds). **Águas doces no Brasil: uso e conservação**. São Paulo. Escrituras Editora. 1999. In: EGLER, M. **Utilizando a comunidade de macroinvertebrados bentônicos na avaliação da degradação de ecossistemas de rios em Áreas Agrícolas**. 2002. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz. Escola Nacional De Saúde Pública Rio de Janeiro, 2002.
- RIVM/CBS. **Milieucompendium 1999** - Het milieu in cijfers Samson BV, Alphen aan de Rijn, The Netherlands. 1999
- SANTOS, I. dos; FILL, H. D.; SUGAI, M.R.V.B; BUBA, H.; KISHI, R. T.; LAUTERT, L.F. **Hidrometria Aplicada**. LACTEC- Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba, PR. 2001.372p.
- SECRETARIA DE CIÊNCIA TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE – SECTMA. **Plano de Monitoramento Sistemático da Bacia do Rio Ipojuca e do Reservatório de Tapacurá - PNMA II**. Recife: SECTMA, 2004. 40p.
- STRASKRABA, M. & TUNDISI, J. G. G. **Poluição de Reservatórios e Deterioração da Qualidade da Água**, Cap. 6, 85-96p., 2000. In: **Gerenciamento da qualidade da água de represas**, Editora São Carlos: IEC; IIE, Vol. 9, 258p. 2000.
- TOLEDO, J. T. Utilização do índice de qualidade de águas (IAQ-CETESB) e do índice de estado trófico (IET-Carlson) para classificar a qualidade das águas da lagoa do Taquaral–Campinas–SP. 1985. In: NAVAL, L. P.; SILVA, C. D. F. SOUZA, M. A. A. **Comportamento dos Índices do Estado Trófico de Carlson (IET) e modificado (IETm) no Reservatório da UHE Luís Eduardo Magalhães, Tocantins - Brasil**. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Forjando el Ambiente que Compartimos. San Juan, AIDIS, p.1- 6, Ilus. Ago. 2004.
- TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a visão mundial da água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 31-43, 2000.
- TUNDISI, J.G. **Água do século XXI: Enfretando a Escassez**. São Carlos: RIMA, IIE. 2003
- VALDERRAMA, J.C. The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural waters. **Mar. Chem., Amsterdam**, v.10, p.109-122, 1981.
- WHILES, M. R.; BROCK, B. L.; FRANZEN, A. C. & DINSMORE, S. C. Environmental Auditing: Stream invertebrate communities, water quality and land use patterns in an agricultural drainage basin in northeastern Nebraska, USA. **Environmental Management**, 26: 563-576. 2000.

**Apoio:** Fundação de Ensino Superior de Passos (FESP|UEMG); Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e Furnas Centrais Elétricas S/A.