



## XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

### **AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA FORMAÇÃO DE UM PEQUENO RESERVATÓRIO ARTIFICIAL SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA – ESTUDO DE CASO DA PCH CAVERNOSO II**

*Pires, Gheysa do Rocio Morais<sup>1</sup>; Giordani, Soraia<sup>2</sup>; Sieciechowicz, Marianne Schaefer França<sup>3</sup>;  
Brassac-Arruda, Nicole Machuca<sup>4</sup>; Silveira, Letícia, Uba<sup>5</sup>*

**RESUMO** – Este estudo foi realizado na região da PCH Cavernoso II, no centro sul do estado do Paraná. O objetivo deste trabalho é avaliar a influência do enchimento do reservatório na qualidade da água através de análises físico-químicas e biológicas, do IQA - Índice de Qualidade da Água e do perfil de temperatura e oxigênio dissolvido. Foi realizada uma comparação entre os resultados do monitoramento mensal correspondente à fase anterior e posterior ao enchimento. Não foram observadas alterações significativas no IQA ou aumento de não conformidades com a Resolução 357/05 após o enchimento do reservatório. As não conformidades observadas foram quanto às variáveis turbidez, oxigênio dissolvido, fósforo total, DBO e coliformes termotolerantes. A variável que apresentou o maior número de não conformidades foi coliformes termotolerantes. A única variável diretamente influenciada pelo enchimento do reservatório foi a concentração de oxigênio dissolvido na coluna d'água, porém esta alteração foi observada apenas nos três primeiros meses logo após o enchimento. Os prováveis fatores responsáveis pela não alteração da qualidade da água é o curto tempo de residência do reservatório e a realização da limpeza da bacia de acumulação com supressão de 100% da cobertura florestal e com a demolição de edificações e desinfecção.

**ABSTRACT** – This study was conducted in the region of the Small Hydropower Plant Cavernoso II, in the south-center of Paraná State. The objective is to evaluate the influence of the reservoir filling in the water quality from the results of physical-chemical and biological analysis, the IQA-Water Quality Index and the dissolved oxygen and temperate profile. A results comparison of the

---

<sup>1</sup> LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento; gheysa.pires@lactec.org.br

<sup>2</sup> LACTEC – COPEL – Companhia Paranaense de Energia; soraia.giordani@copel.com

<sup>3</sup> LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento; marianne.franca@lactec.org.br

<sup>4</sup> LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento; n.brassac@lactec.org.br

<sup>5</sup> Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento; leticia.silveira@lactec.org.br

monthly monitoring correspondent to the period before and after the reservoir filling is presented. No significant alterations on the IQA or on disagreements with the Resolution CONAMA 357/05 after the reservoir filling were observed. The variables that disagreed with the Resolution CONAMA 357/05 were turbidity, dissolved oxygen, total phosphorous, BOD and thermotolerant coliforms. The variable that presented the larger number of disagreements was thermotolerant coliforms. The only variable directly influenced by the reservoir filling was the concentration of dissolved oxygen in the water column, but this alteration was observed only in the three months directly after the reservoir filling. The probable factors responsible for the non alteration on the water quality were the short retention time of the reservoir and the cleaning in the accumulation basin with suppression of 100% of the vegetation, the disinfection and demolition of buildings.

**Palavras-Chave** – Qualidade da Água, Enchimento de Reservatório Artificial, Pequena Central Hidrelétrica.

## INTRODUÇÃO

A Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Cavernoso II, com capacidade de 19 MW, está instalada no rio Cavernoso, entre os municípios de Virmond e Candói, no centro sul do estado do Paraná, a cerca de 350 km de Curitiba. A jusante desta PCH está localizada a PCH Cavernoso.

O monitoramento da qualidade da água do rio Cavernoso nesta região teve início em dezembro de 2010, aproximadamente 5 meses antes do início da obra. O enchimento do reservatório se deu em outubro de 2012. Neste trabalho foi realizada uma comparação entre os resultados dos monitoramentos mensais de dezembro de 2010 a maio de 2012, correspondentes à fase anterior ao enchimento e de novembro de 2012 a dezembro de 2013, correspondentes à fase posterior ao enchimento do reservatório. Ressalta-se que antes do enchimento deste, foi procedida a limpeza da área de inundação, com supressão de 100% da cobertura florestal, demolição das edificações, e desinfecção de qualquer estrutura que pudesse apresentar risco a qualidade da água do reservatório tais como banheiros, pocilgas, tanques de peixe, estábulos, entre outras. A limpeza da bacia de acumulação é uma exigência do órgão ambiental, porém em raros casos é realizada a supressão de 100% da cobertura florestal. Tal limpeza é essencial para evitar a contaminação do corpo hídrico na região a ser inundada e para reduzir o impacto da degradação da matéria orgânica na qualidade da água, principalmente quanto à concentração de oxigênio dissolvido na coluna d'água.

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência do enchimento do reservatório na qualidade da água do rio Cavernoso, na região da PCH Cavernoso II, através da avaliação de variáveis físico-químicas e biológicas e de índices de qualidade de água IQA e IET e do perfil de oxigênio dissolvido na coluna d'água do reservatório.

## METODOLOGIA

Para o monitoramento da qualidade de água foram definidas três estações de amostragem, sendo uma localizada a montante do reservatório, uma próxima à barragem, e outra a jusante da usina, após a restituição da casa de força. Estas se encontram ilustradas na Figura 1 e descritas na Tabela 1. Destaca-se a existência do reservatório da PCH Cavernoso, localizado a 500 metros a jusante do reservatório estudado.

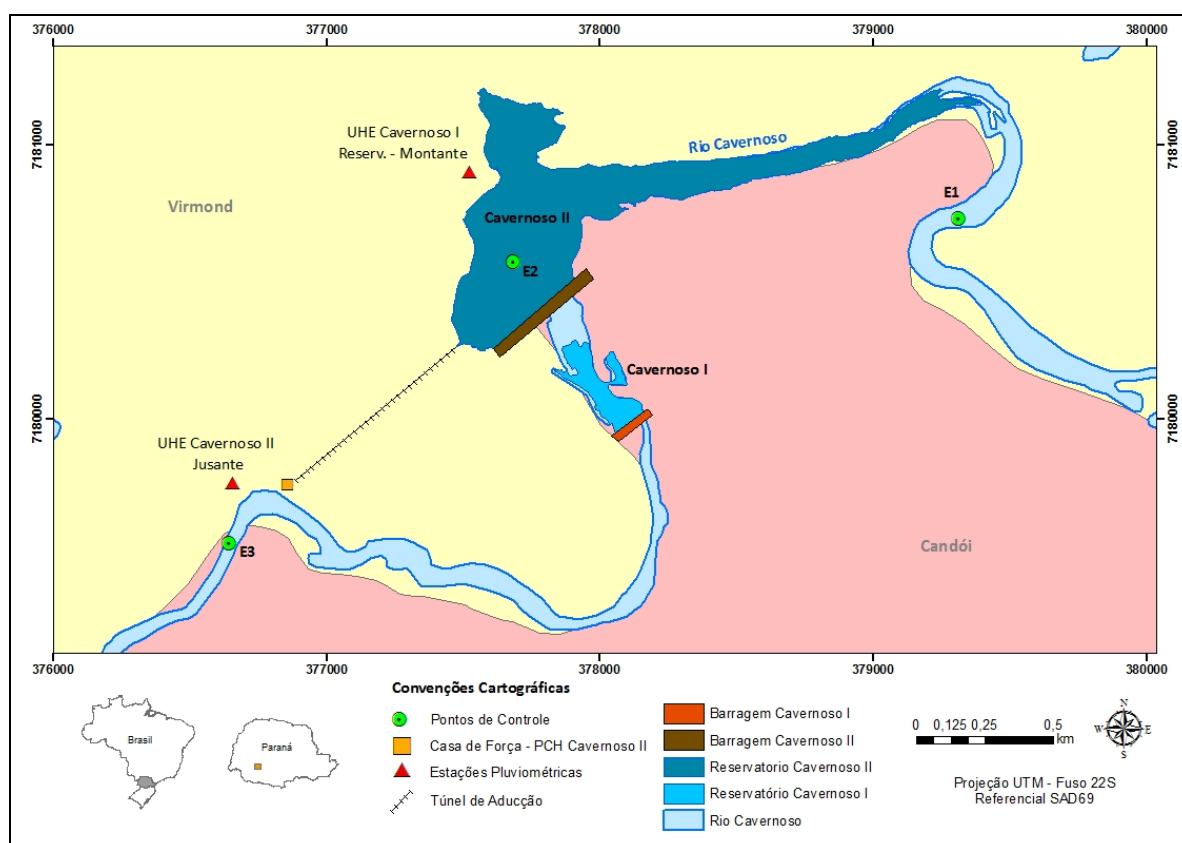


Figura 1 - Localização da área de estudo

Tabela 1 - Descrição e localização das estações de amostragem

Estação	Localização	Coordenadas UTM	
E1	Rio Cavernoso, a montante do reservatório da PCH Cavernoso II	379353 E	7180663 N
E2	Rio Cavernoso, no corpo do reservatório da PCH Cavernoso II, próximo ao eixo da barragem	377621 E	7180507 N
E3	Rio Cavernoso, a jusante da restituição da casa de força da PCH Cavernoso II	376606 E	7179573 N

A metodologia de coleta de amostras de água seguiu o descrito por Santos *et al.* (2001). Foram coletadas amostras do tipo “simples”, caracterizada por uma única amostra coletada em um ponto, em um determinado instante, em um frasco individual. Para este estudo foram analisados os seguintes índices: Índice de Qualidade da Água – IQA e o Índice de Estado Trófico - IET. Também foi realizado o perfil de temperatura e oxigênio dissolvido na estação de monitoramento

correspondente ao reservatório (estação E2). O cálculo do Índice de Qualidade da Água segue a metodologia proposta pela CETESB (DERÍSIO, 1992), engloba 9 variáveis de qualidade da água: oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH, DBO, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez e sólidos totais. O cálculo do Índice de Estado Trófico (IET) segue a metodologia adotada pela CETESB que utiliza o Índice de Estado Trófico de Carlson (1977) modificado por Toledo *et al.* (1983 e 1984). Apenas duas variáveis são aplicadas para o cálculo deste índice: clorofila-a e fósforo total. As medidas de oxigênio dissolvido e temperatura nas diferentes profundidades foram realizadas utilizando sonda multiparamétrica.

## RESULTADOS

### Índices de Qualidade de Água

A Figura 2, a Figura 3 e a Figura 4 apresentam o resultado do IQA antes e após a formação do reservatório na estação E1, E2 e E3, respectivamente.

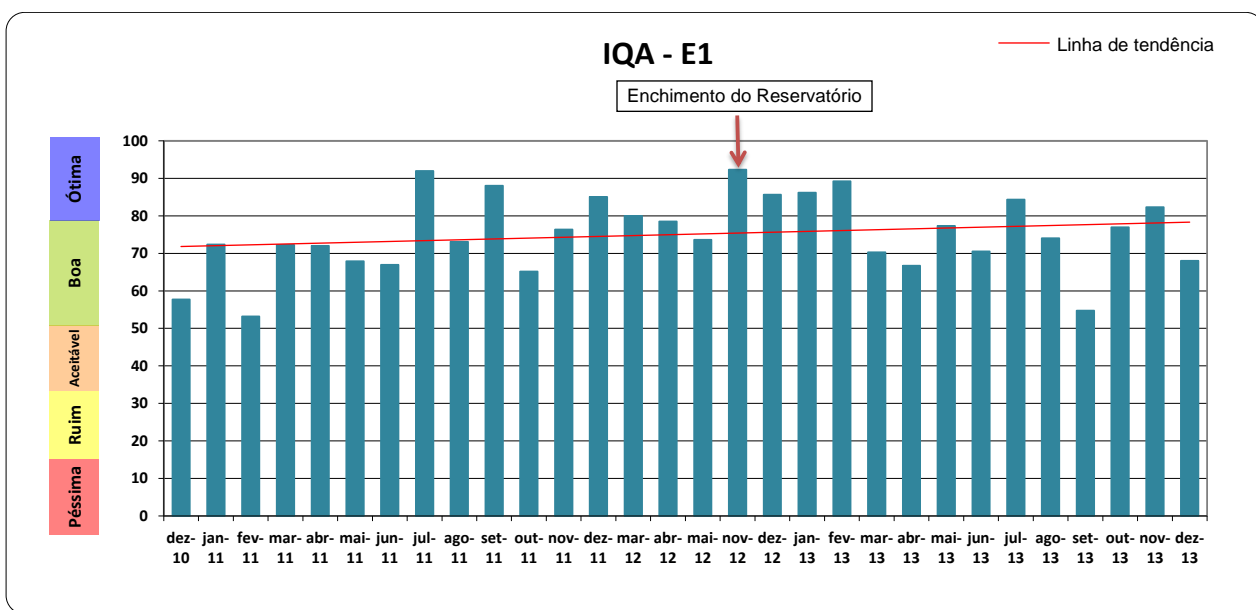


Figura 2 – Resultados do IQA na estação E1

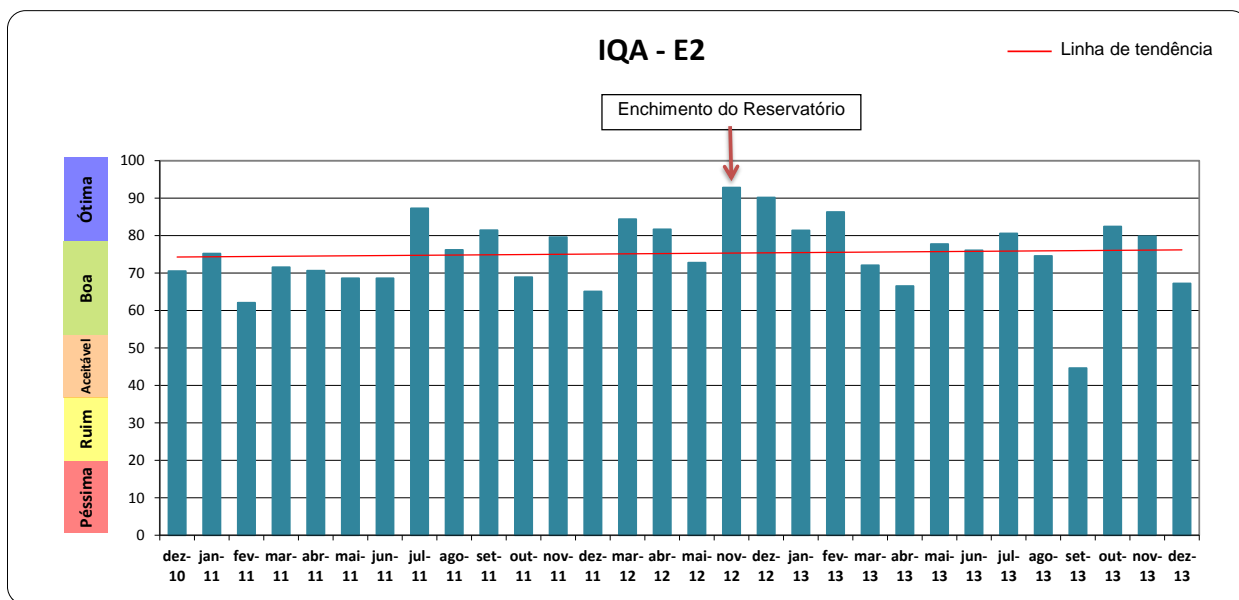


Figura 3 – Resultados do IQA na estação E2

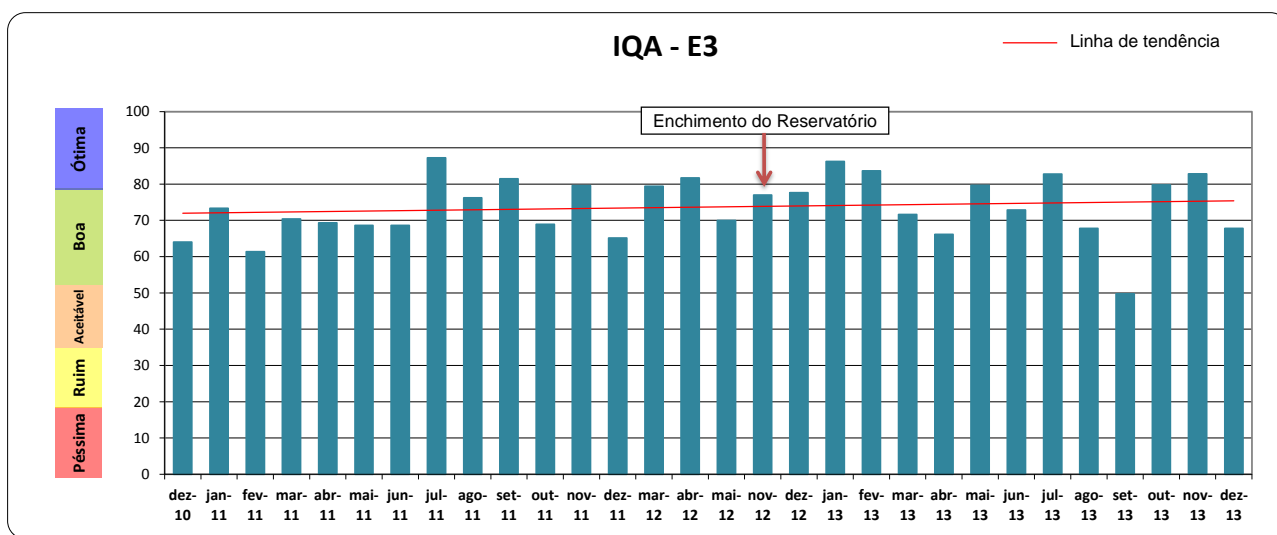


Figura 4 – Resultados do IQA na estação E3

Pode-se observar através dos resultados do IQA que a qualidade das águas do rio Cavernoso é, na maior parte do tempo, de boa a ótima. Apenas no mês de setembro de 2013, foi observado um valor de IQA correspondente à qualidade aceitável nas estações E2 e E3. Não houve alteração significativa no IQA após a formação do reservatório, como pode ser observado através da linha de tendência os gráficos de IQA. Não foi possível calcular o IQA nos meses de janeiro/12 e fevereiro/12 devido a problemas técnicos com a sonda multiparamétrica.

### Desacordos com a Resolução CONAMA 357/05

Os desacordos com a Resolução 357/05 observados foram quanto aos parâmetros turbidez, oxigênio dissolvido, fósforo total, DBO e coliformes termotolerantes. A Tabela 2, a

### Tabela 3 e a

Tabela 4 apresentam os desacordos observados nas estações E1, E2 e E3, respectivamente. Salienta-se que foram realizadas, no total, 32 campanhas nas três estações. Segundo enquadramento determinado pelo IAP, o rio Cavernoso pertence à Classe 2 (IAP, 1996). O reservatório é classificado como ambiente lótico, pois seu tempo de residência é de 11,5 horas, ou seja, inferior a 2 dias.

Tabela 2 – Desacordos observados na estação E1

PONTO	Limites*	E1											
		dez-10	fev-11	set-11	out-11	jan-12	mar-13	abr-13	jun-13	set-13	dez-13		
Data da coleta	-												
Turbidez (NTU)	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	176	-	-
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	≥ 5,00	3,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P Total (mg.L <sup>-1</sup> )	≤ 0,1	-	-	0,12	-	-	-	-	-	-	0,256	-	-
Coliformes Termotolerantes	≤ 1.000	2.600	17.000	-	3.300	22.000	1.700	3.200	1.300	-	-	-	1.100

\* Estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05, para rios de classe 2

Tabela 3 – Desacordos observados na estação E2

PONTO	Limites*	E2											
		fev-11	out-11	dez-11	jan-12	fev-12	abr-13	jun-13	set-13	dez-13			
Data da coleta	-												
Turbidez (NTU)	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	178	-	-
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	≥ 5,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P Total (mg.L <sup>-1</sup> )	≤ 0,1	-	-	0,23	-	-	-	-	-	0,10	0,18	-	-
Coliformes Termotolerantes	≤ 1.000	1.200	1.300	-	1.300	-	-	3.600	-	-	32.000	1.700	-

\* Estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05, para rios de classe 2

Tabela 4 – Desacordos observados na estação E3

PONTO	Limites*	E3												
		dez-10	fev-11	set-11	out-11	dez-11	jan-12	fev-12	mai-12	mar-13	abr-13	jun-13	set-13	dez-13
Data da coleta	-													
Turbidez (NTU)	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	196	-
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	≥ 5,00	4,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P Total (mg.L <sup>-1</sup> )	≤ 0,1	-	-	0,12	-	0,23	-	-	-	-	-	0,13	0,16	-
DBO (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	≤ 5,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,07
Coliformes Termotolerantes	≤ 1.000	-	1.300	-	1.100	-	1.300	-	1.500	1.400	3.800	-	6.300	-

\* Estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05, para rios de classe 2

Observa-se nas tabelas de desacordos, que a variável coliformes termotolerantes foi a que mais apresentou desacordos. A presença de coliformes pode estar associada à existência de pastos com criação de gado nas propriedades no entorno do reservatório. A estação E2 foi a que apresentou menor número de desacordos e o maior número de desacordos foi observado na estação E3. A variável que mais apresentou desacordos foi a variável coliformes termotolerantes seguida da variável fósforo total. Não foi observado aumento significativo de desacordos após o enchimento do reservatório.

### Perfil de Oxigênio Dissolvido e Temperatura

A Figura 5 e a Figura 6 apresentam os perfis de oxigênio dissolvido medidos na estação E2 nos meses de novembro/12 a dezembro/13.

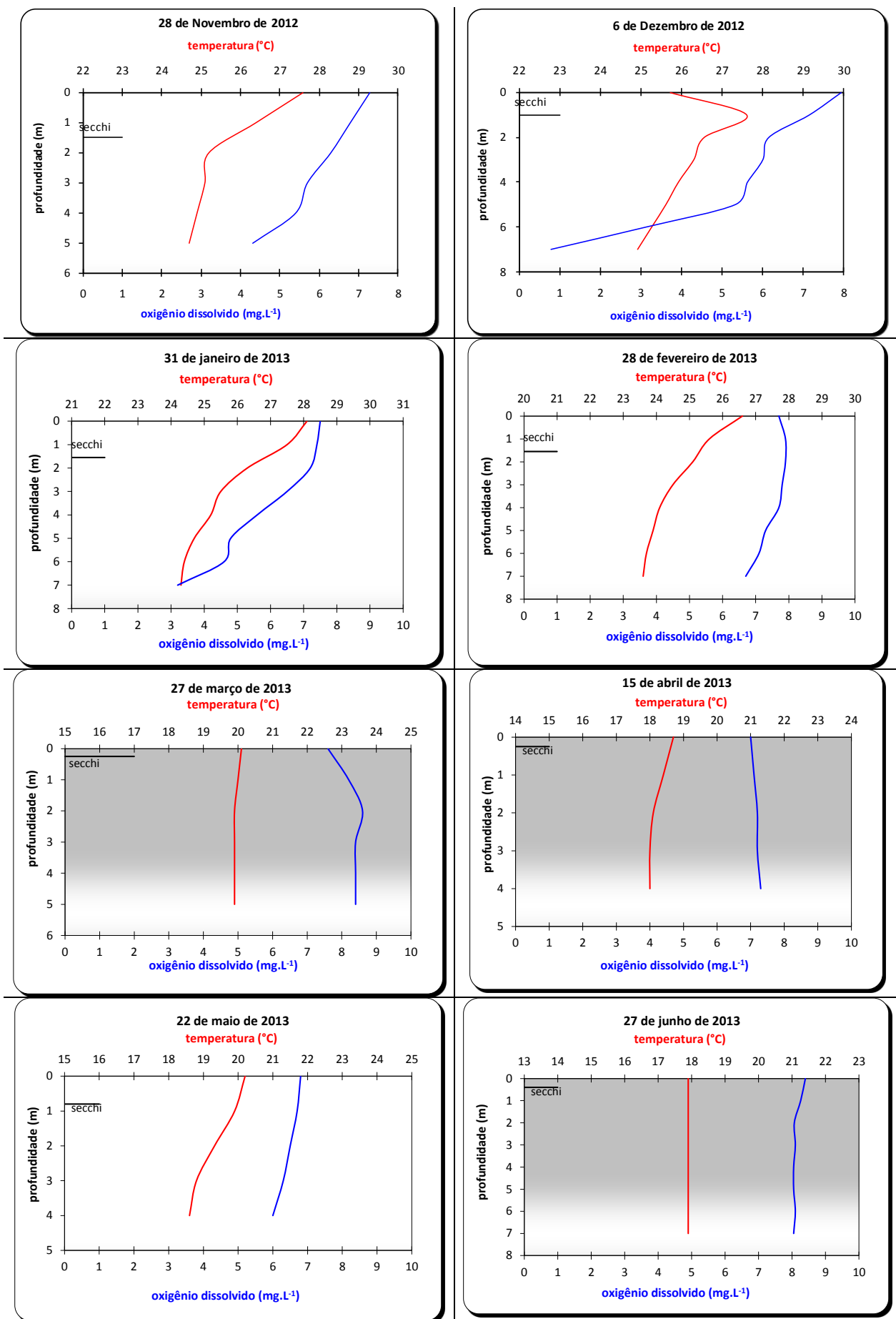


Figura 5 - Perfis verticais de oxigênio e temperatura no reservatório da PCH Cavernoso II nos meses de novembro/12 a junho/13, nas proximidades da barragem (E2)

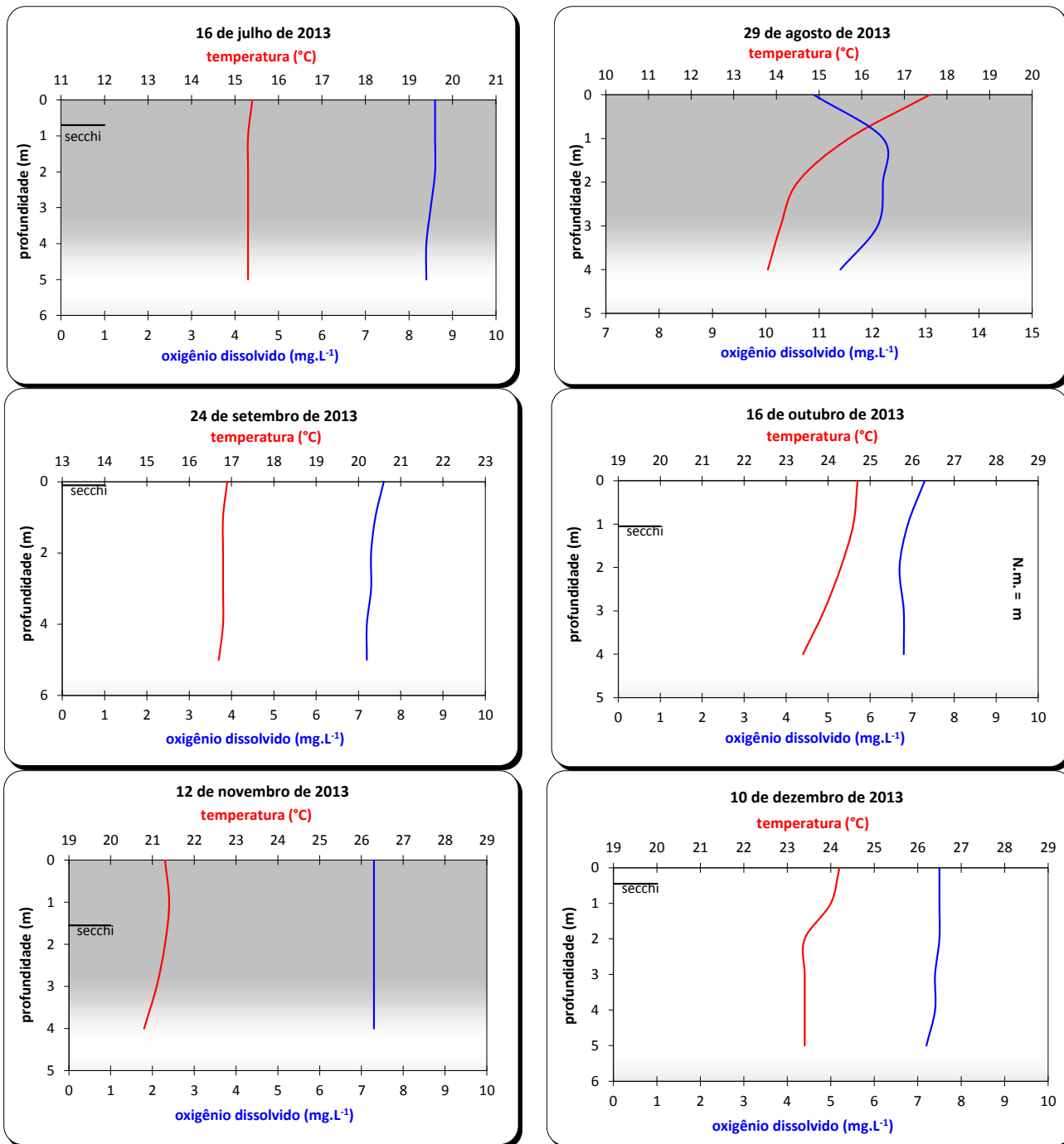
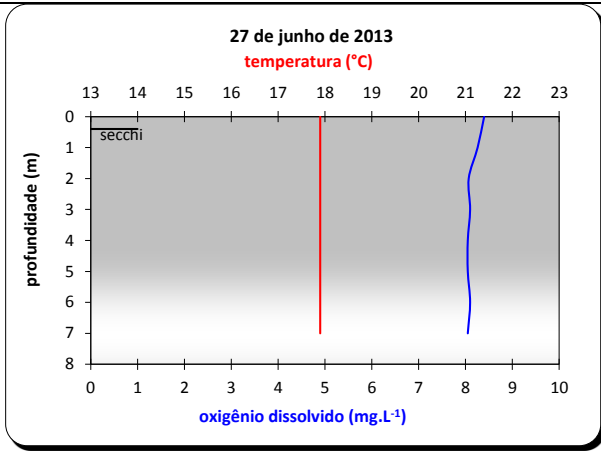
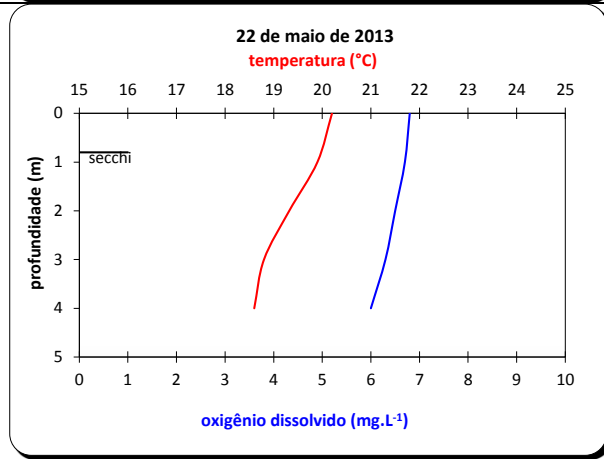
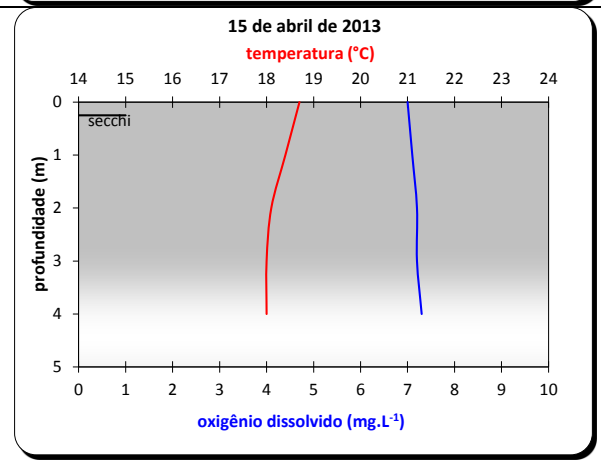
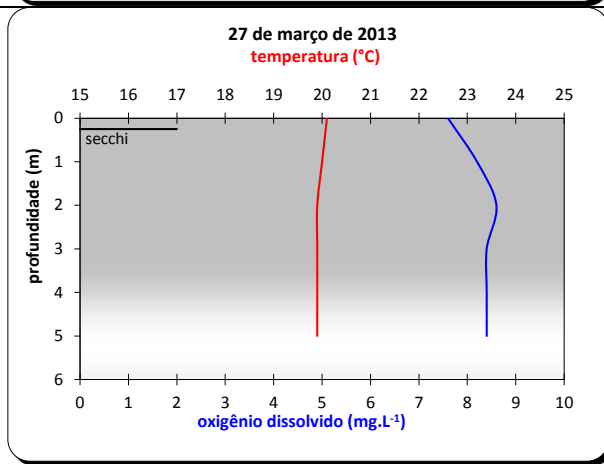
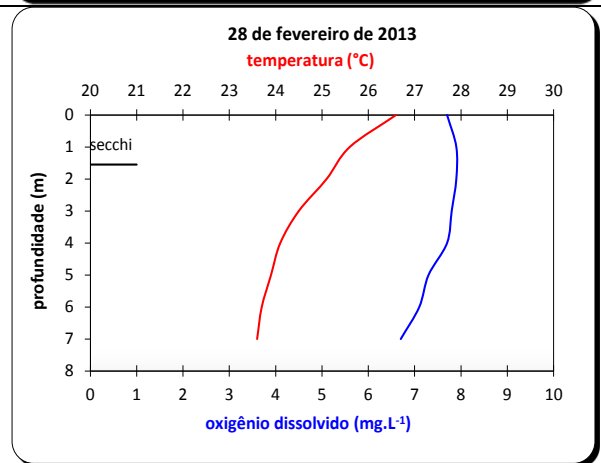
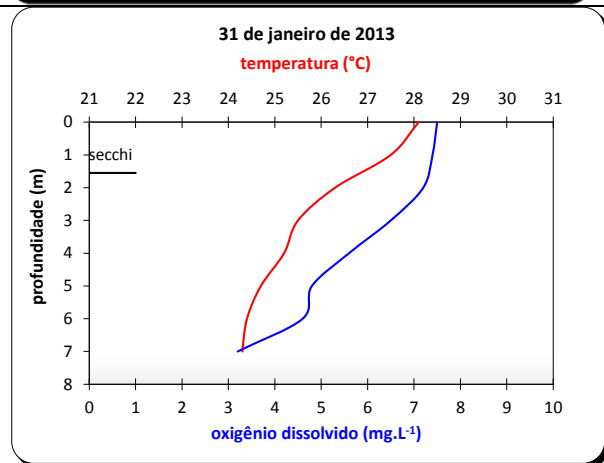
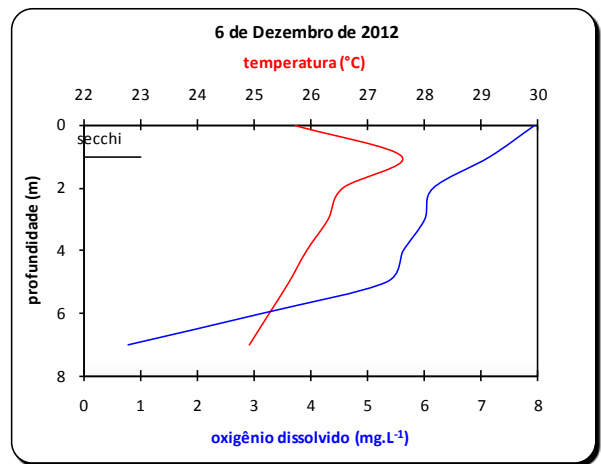
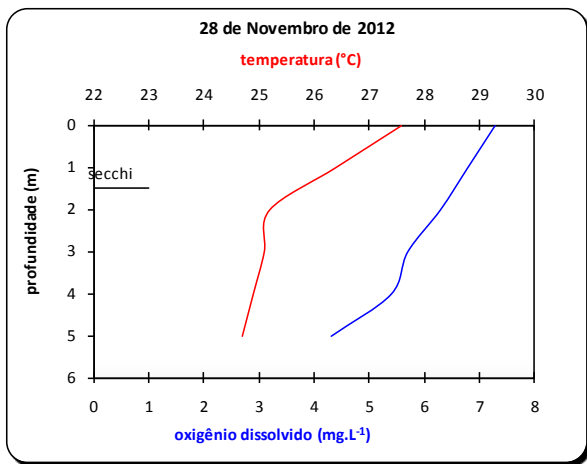


Figura 6 - Perfis verticais de oxigênio e temperatura no reservatório da PCH Cavernoso II nos meses de julho/13 a dezembro/13, nas proximidades da barragem (E2)

O reservatório de Cavernoso II é um reservatório pouco profundo. Durante o período monitorado, o mesmo apresentou profundidade máxima de 7 m. Observando-se a





e a Figura 6, pode-se perceber que, mesmo sendo um reservatório pouco profundo, este apresentou estratificação em alguns meses, especialmente nos três meses logo após o enchimento. Embora tenha sido efetuada a supressão de 100% da vegetação e a limpeza da bacia de acumulação, a remoção de toda a matéria orgânica lábil não foi total, o que resultou no consumo de oxigênio pela degradação da matéria orgânica nos três meses logo após o enchimento. Ressalta-se que a estratificação química foi mais evidente do que a estratificação térmica. Foi observada hipóxia no fundo do reservatório nos meses de novembro/12, dezembro/12 e janeiro/13. Nos meses seguintes a concentração de oxigênio dissolvido voltou a ser superior ao limite mínimo imposto pela Resolução CONAMA 357/05.

Observou-se no período monitorado que o reservatório tendeu à circulação na maioria dos meses do ano, com esporádicas variações graduais de temperatura e de oxigênio dissolvido. Esta é uma característica de reservatórios pouco profundos e com poucos nutrientes, portanto, este comportamento é esperado.

## **CONCLUSÃO**

O índice de qualidade da água não foi significativamente afetado pelo enchimento do reservatório, assim como o índice de estado trófico. As não conformidades com a Resolução CONAMA 357/05 foram turbidez, oxigênio dissolvido, fósforo total, DBO e coliformes termotolerantes. A estação de monitoramento que apresentou o menor número de não conformidades foi a estação E2 e a estação que apresentou maior número de não conformidades foi a estação E3. A variável que apresentou o maior número de não conformidades foi a variável coliformes termotolerantes. A única variável diretamente influenciada pelo enchimento do reservatório foi a concentração de oxigênio dissolvido. O perfil de oxigênio dissolvido apresentou uma redução da concentração desta variável nos três primeiros meses logo após o enchimento, com rápida recuperação nos meses seguintes. Um dos fatores responsáveis pela não alteração da qualidade da água é o curto tempo de residência do reservatório que não propicia ambiente ideal para o acúmulo de nutrientes e da redução da concentração de oxigênio dissolvido. Outro fator importante para a não alteração da qualidade da água foi a realização da limpeza da bacia de acumulação com retirada de 100% da cobertura florestal e com a demolição de edificações e desinfecção. Esta limpeza muito provavelmente auxiliou na mitigação dos impactos à qualidade da água.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* Vol 22 (2) p 361-369. 1977.
- DERISIO, J. C. 1992. *Introdução ao Controle de Poluição Ambiental*. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB.
- SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. *Hidrometria Aplicada*, Curitiba: Editora CEHPAR – Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza. 2001. 372 p.
- TOLEDO Jr., A.P.; AGUDO, E.G.; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. Trabalho apresentado do XIX Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental – AIDIS. Santiago do Chile, 11 a 16 de novembro de 1984. 56 p. 1984.
- TOLEDO Jr., A.P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J.; AGUDO, E.G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: *Anais do 12 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária*. Camboriú, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. Camboriú (SC) 34 p. 1983.