

**FESURV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE  
FACULDADE DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA DO RIO CLARO COM  
A IMPLANTAÇÃO DA UHE CAÇU**

**HUGO WANDERSON SANTIAGO DE MOURA MORAIS**  
*(Engenheiro Ambiental)*

**RIO VERDE  
GOIÁS - BRASIL  
2011**

**HUGO WANDERSON SANTIAGO DE MOURA MORAIS**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA DO RIO CLARO COM  
A IMPLANTAÇÃO DA UHE CAÇU**

Artigo apresentado à Fesurv – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências da Faculdade de Engenharia Ambiental, para obtenção do título de *Engenheiro Ambiental*

**RIO VERDE  
GOIÁS - BRASIL  
2011**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da FESURV**

Morais, Hugo Wanderson Santiago de Moura

Avaliação da qualidade de água do rio Claro com a  
implantação da UHE Caçu. / Hugo Wanderson Santiago de  
Moura Moraes. – Rio Verde – GO: FESURV, 2011. 30f.:  
29,7cm.

Monografia (artigo) Apresentada à Universidade de Rio Verde  
– GO – FESURV, Faculdade de Engenharia Ambiental, 2011.  
Orient: Prof. Msc. Fausto Rodrigues de Amorim.

**HUGO WANDERSON SANTIAGO DE MOURA MORAIS**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA DO RIO CLARO COM  
A IMPLANTAÇÃO DA UHE CAÇU**

Artigo apresentado à Fesurv – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências da Faculdade de Engenharia Ambiental, para obtenção do título de *Engenheiro Ambiental*

APROVADA: 02 de dezembro de 2011

---

Prof. Msc. Fausto Rodrigues de Amorim  
(Orientador)

---

Prof. Msc. Weliton Eduardo Lima de  
Araújo

(Membro da banca)

---

Prof. Msc. Joiran Luiz Magalhães

(Membro da banca)

## **DEDICATÓRIA**

Primeiramente dedico este trabalho a Deus, razão da minha existência e fortaleza, onde sempre busquei forças para atingir meus objetivos. Dedico também aos meus pais, a meus familiares, a minha namorada, a meu orientador e meus amigos, principalmente pelo companheirismo e incentivo frente a todas as dificuldades enfrentadas ao longo da graduação. Não poderia deixar de citar aqui, toda a equipe da empresa Mais Verde Planejamento Socioambiental, com a qual convivo diariamente desde julho de 2008, e que sempre incentivou meus estudos.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida e por todas as bênçãos que vem me proporcionando.

A minha mãe, em primeiro lugar, e a minha família, pelo amor e apoio dispensados ao longo da minha vida.

A minha namorada, que em todos os momentos, inclusive os mais difíceis, esteve ao meu lado, dando apoio e incentivo para a conquista dos meus objetivos.

Ao meu orientador Fausto Rodrigues de Amorim, pela atenção, amizade, conhecimentos, orientação e apoio dispensados em todas as etapas de realização deste trabalho.

Aos professores Weliton e Barros pelos valiosos ensinamentos durante a minha vida acadêmica na graduação, e também aos professores Bruno Saleh e Marcelo Judice, que muito contribuíram na elaboração deste estudo.

Aos meus verdadeiros amigos de Faculdade: Silvia, Wanderson, Odilon, Thiago, Fernanda e Nathália, por todo o conhecimento dividido, companheirismo, laços de amizade criados e por serem modelos como alunos e pessoas para toda a minha vida.

Ao meu grande amigo Dimy, sempre presente em minha vida, e que esteve me apoiando durante a minha luta para conclusão deste trabalho.

A Daniela Romão, e toda a equipe da Mais Verde Planejamento Socioambiental, por todos os ensinamentos na carreira profissional e pelo incentivo durante todo o meu curso.

Muito obrigado a todos!

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá”.

(Ayrton Senna)

“O valor das coisas não está no tempo em que elas duram, mas na intensidade com que elas acontecem. Por isso, existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis”.

(Fernando Pessoa)

## **BIOGRAFIA**

HUGO WANDERSON SANTIAGO DE MOURA MORAIS, filho de Celes Ney Gomes de Moraes e Raquel Garcia Moura, nasceu no dia 13/10/1989, em Caçu, Goiás. Concluiu em 2006 o Ensino Médio no Colégio Estadual Dom Pedro II de Caçu. Em 2008, ingressou no curso de graduação em Engenharia Ambiental, graduando-se em dezembro de 2011.



## **Avaliação da qualidade de água do rio claro com a implantação da UHE Caçu**

Hugo Wanderson Santiago de Moura Morais

**Resumo:** Este trabalho foi desenvolvido à jusante da Usina Hidrelétrica Caçu, visando avaliar a influência do barramento na qualidade das águas do Rio Claro, focando especificamente no ponto de captação para abastecimento público da cidade de Caçu. As análises de água foram fornecidas pela empresa responsável pelo Saneamento em Goiás, referente ao período de janeiro de 2008 a julho de 2011. Foram selecionados os parâmetros utilizados para cálculo do Índice de Qualidade das Águas e foi realizado tratamento estatístico dos mesmos. Os resultados das médias anuais de cada parâmetro mostraram que apenas os coliformes termotolerantes excederam os limites da Resolução nº 357/05, no ano de 2011. A análise de variância comprovou que só houve diferença significativa nos valores do referido parâmetro, também no ano de 2011. O Índice de Qualidade das Águas indicou que a água do ponto de amostragem é classificada como “boa” em todos os anos analisados neste trabalho. Concluiu-se que a água do Rio Claro apresenta boa qualidade, enquadrando-se dentro dos padrões da legislação vigente, e que as variações dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos não indicaram até o momento, influência significativa da implantação da Usina Hidrelétrica Caçu.

**Palavras-chaves:** hidrelétrica, monitoramento, abastecimento público.

### **Evaluation of the water quality of the Claro River after the implantation of Caçu's UEH**

**Abstract:** This work was developed by going downstream Caçu's Hydroelectric Plant, aiming to evaluate the influence of the water barrage in the quality of Claro River's waters, specifically focusing on the catchment area for public water supply in the town of Caçu. The analyses of water were offered by the company which is responsible for the Sanitation in Goiás, from January 2008 to July 2011. Parameters were chosen to calculate the Index of Water Quality and a statistical treatment of data was done. The results of the annual averages of each parameter showed that only the themostable *coliphorms numbers* exceeded the limits of the Resolution no. 357/05, in the year of 2011. The variance analysis proved that there was only significant difference in the values of the referred parameter in the year of 2011 as well. The Index of Water Quality indicated that the water of the sampling point is classified as "good " in each and every year that was analyzed in this work. It was concluded that the water from Claro River is good water, what is consonant with the standards in our current legislation, and that the variations of the physical, chemical and bacteriological parameters did not indicate a possible influence of the installation of Caçu's Hydroelectric Plant so far.

**Key words:** hydroelectric plant, monitoring, public water supply.

## INTRODUÇÃO

Atualmente, a preocupação com os recursos naturais está em evidência no Brasil e no mundo, sendo frequentemente discutido nos âmbitos científicos, políticos e sociais. Diante disto, as diversas ações antrópicas sobre o meio ambiente, e seus impactos, principalmente negativos, têm sido alvos de estudos e discussões.

Dentre estas ações, está inserida a produção de energia através da hidroeletricidade, que, no Brasil, é a principal forma de geração de energia elétrica devido a sua grande disponibilidade hídrica. Apesar disso, “a maior parte de água doce do país, cerca de 70%, encontra-se na região amazônica, habitada por menos de 5% da população” (SETTI, 2001, p. 12).

Segundo Pimenta et al. (2009), a geração de energia elétrica através de usinas hidrelétricas é uma recomendação internacional, por se tratar de uma energia mais limpa em comparação a outras fontes energéticas, como as usinas termoeletricas e nucleares. Mesmo assim, esses empreendimentos requerem intensas modificações do meio natural para sua implantação, gerando diversos impactos ambientais negativos sobre os meios físico, biótico e socioeconômico.

Para Rebouças (2006), tanto a quantidade como a qualidade dos corpos hídricos sofrem impactos em decorrência de causas naturais ou antrópicas. Entre as ações antrópicas que podem alterar o balanço hídrico destacam-se a supressão vegetal e a construção de barragens em escala local e regional.

O barramento de recursos hídricos significa a transformação de um ambiente lótico, águas correntes, em um ambiente com características preponderantemente lênticas, águas paradas. Isso influencia diretamente na alteração das condições físicas, químicas e biológicas da massa d'água, causando diferenças na estrutura e composição das comunidades aquáticas (SILVA et al., 2009). A soma dessas características são o que definem a qualidade da água em um recurso hídrico.

Tais transformações constituem um significativo impacto sobre os corpos hídricos e, dependendo dos usos da bacia de drenagem, essas alterações podem acarretar uma elevada degradação deste reservatório (VELINI, 2005). Dentre elas, podem ser citadas a eutrofização (CAVENAGHI et al., 2003), que, dependendo do seu nível, pode comprometer os múltiplos usos a que o recurso hídrico é destinado (PRADO e NOVO, 2007).

Outro tipo de degradação que o barramento de corpos d'água pode causar é a estratificação das águas. Ela pode ocorrer devido às diferenças de temperatura ao longo da profundidade do corpo hídrico que provoca diferenças na densidade da água. Isso ocasiona a formação de estratos com características distintas, fenômeno este conhecido como estratificação (RUAS, 2006).

Para Von Sperling (2005, p. 223), o perfil vertical de temperatura em lagos e reservatórios varia com as estações do ano e isso afeta a densidade da água e, em decorrência, a capacidade de mistura e estratificação do corpo d'água.

Ainda de acordo com Von Sperling (2005, p. 223), “a diferença de densidades pode ser tal, que cause uma completa estratificação no corpo d'água, com as três camadas não se misturando entre si. Essa estratificação tem uma grande influência na qualidade da água”.

O somatório de todos esses fatores de degradação de um corpo d'água provocado pelo seu barramento pode refletir diretamente na alteração na qualidade de suas águas, calculada pelo IQA - Índice de Qualidade das Águas (BONNET et al., 2008). O cálculo deste índice é realizado através dos valores de concentrações de poluentes, sendo mais sensível em refletir situações globais de baixa qualidade (SAAD et al., 2007).

Nesse contexto, o barramento do Rio Claro para a implantação da Usina Hidrelétrica Caçu pode influenciar na qualidade de suas águas. O empreendimento localiza-se nas coordenadas 18°03' de latitude sul e 51°09' de longitude oeste, aproximadamente 3 km a montante do ponto de captação de água para abastecimento público da cidade de Caçu (coordenadas 18°33' de latitude sul e 51°07' de longitude oeste), de responsabilidade da Companhia Estadual de Saneamento de Goiás – SANEAGO. A Usina encontra-se a cerca de 106,5 km da foz com o Rio Paranaíba, entre os municípios de Caçu e Cachoeira Alta, região sudoeste de Goiás. A extensão do reservatório é de 75,5 km e área de inundada de 16,81 km<sup>2</sup>. O volume total do reservatório na cota 477 m é de 231,77 hm<sup>3</sup>, com capacidade de gerar 65MW. A profundidade média do lago é de 29 m (NOVELIS, 2005).

O Rio Claro possui área de drenagem de 13.650 km<sup>2</sup>. Ao norte faz limite com as bacias do Rio Preto e Alegre, e a o sul com a do Rio Verde. A sua extensão é de 426 km, tendo sua nascente na Serra do Caiapó, município de Caiapônia – GO, e exutório no Rio Paranaíba, município de São Simão – GO, encontrando com o remanso do reservatório da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira (NOVELIS, 2005). Conforme a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, o Rio Claro é classificado como de água doce,

ou seja, com salinidade menor ou igual a 0,05%, e está enquadrado na classe 2. Nesse sentido, as possíveis alterações nos parâmetros físicos, químicos e biológicos do Rio Claro, decorrentes da implantação da UHE Caçu, podem influenciar na qualidade e tratabilidade da água e, conseqüentemente, a saúde da população caçuense.

Desta forma, este trabalho objetiva avaliar a influência do barramento da UHE Caçu na qualidade das águas do Rio Claro, mais especificamente no ponto de captação para abastecimento público da cidade de Caçu.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Procedimentos metodológicos

A metodologia desse trabalho foi determinada a partir da escolha do ponto de onde seria analisada a qualidade das águas do Rio Claro: o ponto de captação de água para abastecimento público da cidade, de responsabilidade da Estatal de Saneamento do Estado de Goiás (SANEAGO). Esse ponto foi escolhido devido ao histórico de análises já existentes, levantadas pela SANEAGO, tanto antes quanto depois do barramento do referido rio, em um período variando entre janeiro de 2008 e julho de 2011. O trabalho foi delineado a partir das seguintes ações metodológicas:

- Seleção dos parâmetros utilizados para o cálculo do IQA;
- Tratamento estatístico destes parâmetros (Análise de Variância e Teste Tukey), e cálculo do IQA.

A Tabela 1, abaixo, mostra todos os parâmetros físicos, químicos e biológicos determinados pela SANEAGO em cada de suas análises realizadas periodicamente.

Tabela 1 – Dados levantados da qualidade de água do Rio Claro.

<b>Tipo de parâmetro</b>	<b>Parâmetros avaliados</b>
Físico-químicos	Alcalinidade, alcalinidade $\text{CO}_3$ , alcalinidade $\text{HCO}_3$ , alcalinidade total, cloretos, cor aparente, DBO, dureza total, ferro total, fósforo total, oxigênio consumido, oxigênio dissolvido, nitrato, nitrito, nitrogênio total, pH, sólidos totais, sulfato, temperatura ambiente, temperatura da água e turbidez.
Bacteriológicos	Índice de coliformes totais e termotolerantes.

Fonte: SANEAGO (2011).

A metodologia analítica para coleta, preservação das amostras e análise dos parâmetros aplicada pela SANEAGO, segue as especificações da edição mais recente da publicação *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2005), de autoria das instituições *American Public Health Association* (APHA), *American Water Works Association* (AWWA) e *Water Environment Federation* (WEF), conforme definido no Artigo 17 da Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde.

As amostras de água do Rio Claro foram coletadas bimestralmente. O período de monitoramento contemplado neste trabalho, mostrado na Tabela 2, estendeu-se de janeiro/2008 a julho/2011, totalizando 22 coletas, sendo 14 delas antes e 8 depois do enchimento do reservatório, iniciado em 25/03/2010.

Tabela 2 – Frequência das coletas de água no Rio Claro.

Ano	Período de monitoramento			
	2008	2009	2010	2011
Data de coleta	10/01	19/02	12/01	18/01
	25/03	23/04	22/04	01/03
	20/05	09/06	15/07	03/05
	17/07	23/07	09/09	12/07
	26/08	08/09	23/11	-
	23/10	05/11	-	-
	11/12	-	-	-

Fonte: SANEAGO (2011).

A partir dos dados destas análises, foi realizado o tratamento estatístico com a média anual dos resultados de cada um dos parâmetros analisados, com o intuito de verificar se houve interferência do barramento na qualidade das águas do Rio Claro.

### Tratamento estatístico dos dados

O tratamento estatístico dos resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas foi realizado através do programa SISVAR 5.3. Foram realizadas análises de variância (ANOVA) das médias anuais dos resultados dos parâmetros relacionados ao cálculo de IQA, para verificar se há diferença entre os resultados das amostras do período analisado. Segundo Von Sperling (2005), a análise de variância é uma extensão do teste *t* de Student para a situação na qual se quer fazer comparações entre mais de dois grupos de dados.

Quando foi constatada diferença significativa entre os anos, aplicou-se o teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade, identificando-se quais anos que diferiram estatisticamente entre si (LUCAS et al., 2010).

### **Cálculo do Índice de Qualidade das Águas (IQA)**

A metodologia do cálculo do IQA utilizada é multiplicativa, por ser mais sensível em refletir situações globais de baixa qualidade, bem como identificar variações acentuadas específicas (VON SPERLING, 2007).

O cálculo do IQA foi desenvolvido pela “National Sanitation Foundation (NSF) - USA”, através de uma pesquisa de opinião feita junto a vários profissionais de distintas especialidades. Foram selecionados nove parâmetros considerados relevantes para a avaliação da qualidade das águas, quais sejam: coliformes fecais (termotolerantes), pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fósforo total, temperatura da água, turbidez, sólidos (resíduos) totais, oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 2007).

Para cada parâmetro foi definido um peso relativo ( $w_i$ ) e estabelecida uma curva de variação da qualidade da água ( $q_i$ ) em função da sua concentração ou medida. O IQA final é calculado como um produto das notas individuais de cada parâmetro, elevadas aos respectivos pesos. Os valores do índice variam entre 0 e 100. No Brasil, o IQA-NSF foi modificado pela CETESB (2004), que substituiu o nitrato por nitrogênio total (VON SPERLING, 2007).

Assim, o IQA é calculado a partir da Equação 1:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

**IQA:** Índice de Qualidade das Águas (número entre 0 e 100);

**$q_i$ :** qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

**$w_i$ :** peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, conforme a Equação 2:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (\text{Equação 2})$$

i: número do parâmetro, variando de 1 a 9 (n=9, ou seja, o número de parâmetros que compõem o IQA é 9).

Os pesos de ( $w_i$ ) de cada parâmetro estão apresentados na Tabela 3. Estes pesos foram determinados pelo painel de especialistas que desenvolveu o IQA-NSF, e retratam a importância relativa de cada parâmetro. Como visto na Equação 2, a soma dos pesos  $w_i$  dos nove parâmetros é igual a 1 ( $w_1 + w_2 + \dots + w_9 = 1$ ). Após a atribuição de cada nota individual para cada parâmetro ( $q_i$ ), esta deve ser elevada ao respectivo peso ( $w_i$ ), compondo os valores de  $q_i^{w_i}$ . O IQA é o produto dos nove valores  $q_i^{w_i}$  obtidos (VON SPERLING, 2007).

Tabela 3 – Valores dos pesos  $q_i$  de cada parâmetro do IQA.

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Qi</b>
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	0,15
pH	-	0,12
DBO <sub>5</sub>	mg/L	0,10
Nitrogênio total	mgN/L	0,10
Fósforo total	mgPO <sub>4</sub> /L	0,10
Diferença de temperatura	°C	0,10
Turbidez	NTU	0,08
Sólidos totais	mg/L	0,08
OD	% saturação	0,17

Fonte: VON SPERLING (2007, p. 256).

A classificação da qualidade da água segundo o IQA é feita de acordo com a Tabela 4. Nesta tabela, apresenta-se a versão adaptada da CETESB.

Tabela 4 – Classificação da qualidade da água segundo IQA-CETESB.

<b>Classificação</b>	<b>Cor</b>	<b>Faixa de IQA</b>
Ótima	Azul	$80 \leq \text{IQA} \leq 100$
Boa	Verde	$52 \leq \text{IQA} < 80$
Aceitável	Amarela	$37 \leq \text{IQA} < 52$
Ruim	Vermelha	$20 \leq \text{IQA} < 37$
Péssima	Preta	$0 \leq \text{IQA} < 20$

Fonte: VON SPERLING (2007, p. 257).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Variáveis físico-químicas e bacteriológicas

Em razão do grande número de parâmetros analisados pela SANEAGO, optou-se por apresentar somente os resultados daqueles responsáveis pelo cálculo do IQA.

Dessa forma, na Tabela 5 abaixo, estão apresentadas as médias anuais dos resultados analisados, entre os anos 2008 e 2011, comparando-se com os limites estabelecidos pela Resolução nº 357/05 do CONAMA para Rios de Classe 2.

Tabela 5 – Resultados físico-químicos e bacteriológicos do ponto de monitoramento no Rio Claro, comparados à Resolução nº 357/05 do CONAMA.

<b>Parâmetros</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>Res. 357/05</b>
Col. termot. (NMP/100 mL)	180,29	386,50	372,60	1485	<1000
pH	7,40	7,21	7,01	7,16	6,0 – 9,0
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	1,58	1,10	1,73	1,68	< 5
Nitrogênio total(mg N/L)	0,80	0,78	0,37	0,09	<2,17
Fósforo total (mg P/L)	0,05	0,06	0,03	0,04	<0,1
Temp. da água (°C)	23,00	23,52	24,00	23,25	-
Turbidez (NTU)	34,47	49,72	24,53	27,26	<100
Sólidos totais (mg/L)	57,40	62,00	65,48	59,80	< 500
Oxigênio dissolvido (mg/L)	6,51	6,73	6,63	8,18	>5

Fontes: SANEAGO (2011); Resolução nº 357/05 do CONAMA.

Analisando a Tabela 5 acima, verifica-se que dentre os resultados das médias anuais para cada parâmetro, em comparação com a Resolução nº 357/05 do CONAMA, apenas



os valores de coliformes termotolerantes excederam os limites estabelecidos e somente para a média das análises realizadas no ano de 2011, até o mês de julho. Para melhor visualização dos resultados apresentados na Tabela 5, seguem gráficos apresentados pela Figura 1 à Figura 10, que mostram o comportamento das médias anuais dos parâmetros ao longo dos anos monitorados.

### Coliformes termotolerantes

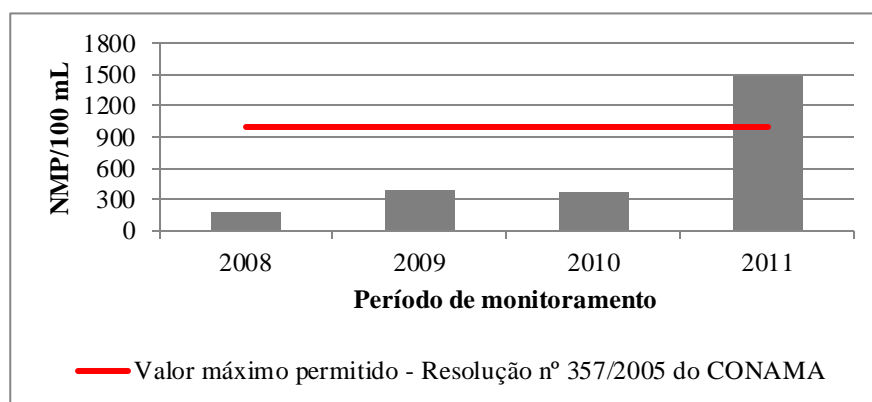


Figura 1 – Comportamento dos coliformes termotolerantes.

De acordo com o gráfico da figura acima, os valores obtidos pela média anual dos resultados das amostragens de coliformes termotolerantes estão dentro do estabelecido pela Resolução nº 357/05 do CONAMA, exceto para o ano de 2011, que foi superior comparando-se aos outros anos.

O alto índice de contaminação no ano de 2011 pode ser indício de alguma fonte de poluição situada a montante do reservatório da UHE Caçu, possivelmente originada de fezes de animais de sangue quente, tanto selvagens como domésticos. Além disso, a falta de cobertura vegetal proporcionada pela supressão da vegetação ao redor do Rio Claro, para enchimento do reservatório, pode ter interferido nos processos que envolvem o ciclo hidrológico, causando maiores mudanças nas características do escoamento na bacia hidrográfica (SILVA e UENO, 2008).

Outra hipótese a ser levantada, é que o monitoramento no referido ano ocorreu apenas até julho, período de menor vazão do rio, dessa forma pode ter ocorrido menor diluição das cargas poluidoras e conseqüentemente aumentando o nível de contaminação (CUNHA et al., 2010).

Também é importante levar em consideração, que um ou mais frascos utilizados durante o monitoramento, já poderiam estar contaminados, fazendo com que houvesse esta diferença nos resultados.

### Potencial hidrogeniônico (pH)

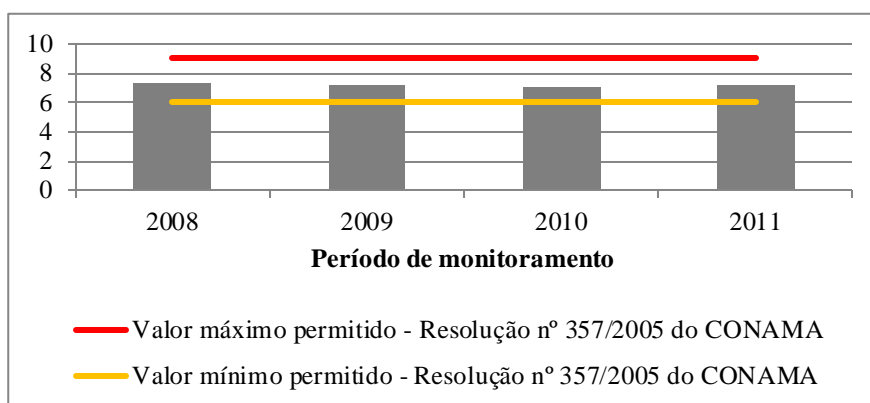


Figura 2 – Comportamento do pH.

Com pôde ser observado no gráfico da figura acima, o pH da água captada para abastecimento do município de Caçu oscilou entre a neutralidade e a ligeiramente básica, porém, sempre dentro dos limites estabelecidos pela Resolução 357/05 do CONAMA.

### Demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>)

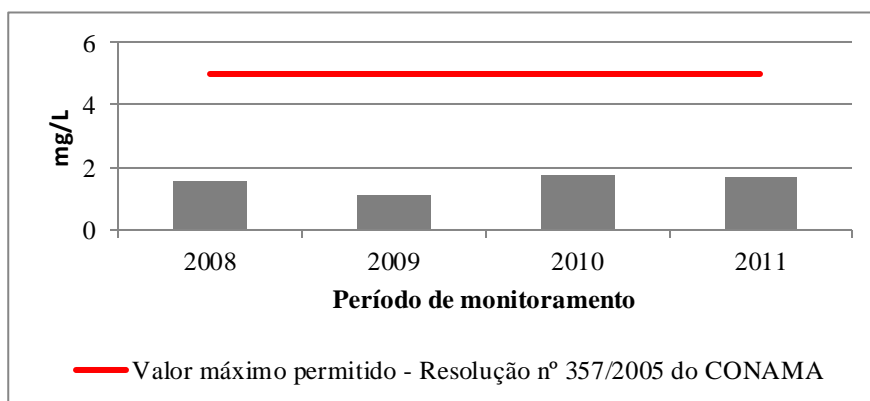


Figura 3 – Comportamento da DBO<sub>5</sub>.

Em relação à DBO<sub>5</sub>, no ano de 2010 o valor foi levemente maior. Este aumento, comparado aos outros anos, pode ser justificado pelo aumento de massa vegetal no rio

durante a etapa de enchimento do reservatório, elevando assim a quantidade de matéria orgânica. Além disso, é possível perceber que a maior média de  $DBO_5$  ocorreu quando o valor de sólidos totais na água foi maior. No entanto, em todo o período de monitoramento o nível do parâmetro esteve em conformidade com a Resolução 357/05 do CONAMA.

### Nitrogênio total

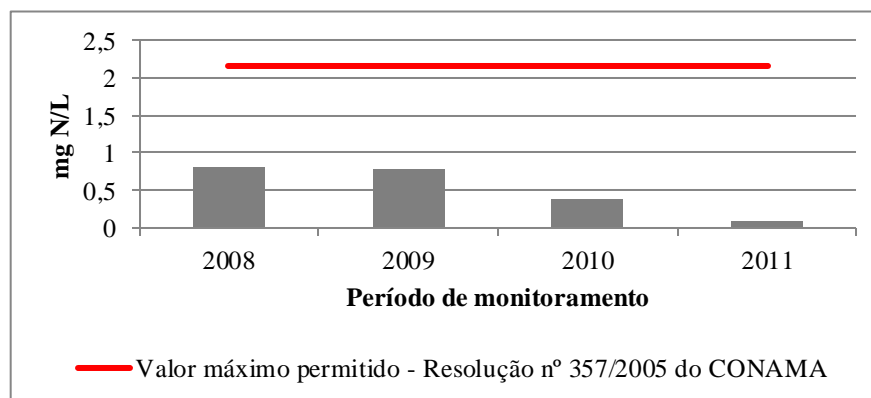


Figura 4 – Comportamento do nitrogênio total.

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Esta importância deve-se principalmente à sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. Pode estar presente na água nas formas de nitrogênio molecular ( $N_2$ ), nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão), amônia, nitrito ( $NO_2^-$ ) e nitrato ( $NO_3^-$ ). Encontra-se sob a forma de sólidos em suspensão e dissolvidos e suas fontes principais são despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes (RUAS, 2006).

O nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento de algas e plantas aquáticas (macrófitas) e, quando presente em elevadas concentrações, pode conduzir a um crescimento exagerado desses organismos. Além disso, nos processos de conversão da amônia a nitrito e deste a nitrato, implica no consumo de oxigênio dissolvido do meio (RUAS, 2006).

Quanto aos valores de nitrogênio total, observa-se no gráfico acima que a maior média obtida foi no ano de 2008. No entanto, os resultados de todos os anos em estudo estiveram em conformidade com a Resolução 357/05 do CONAMA. A menor média de nitrogênio total foi obtida em 2011. Como o monitoramento no referido ano ocorreu

apenas até julho, período menos chuvoso, este fato pode ter influenciado no menor resultado médio do parâmetro.

### Fósforo total

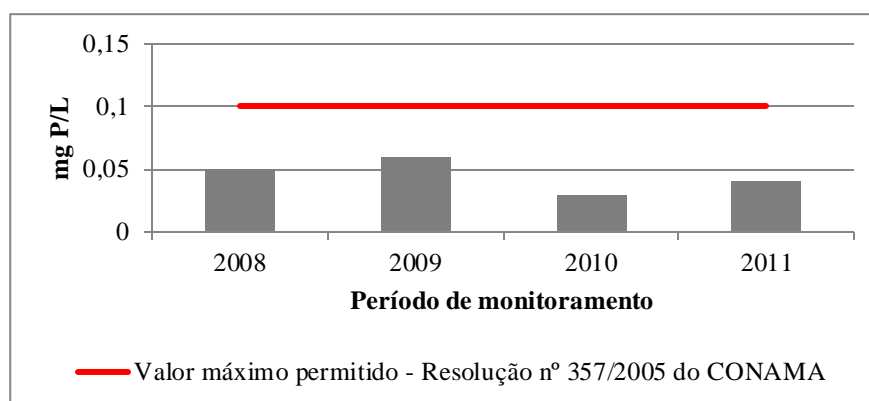


Figura 5 – Comportamento do fósforo total.

O fósforo é um elemento químico essencial à vida aquática e, na forma de fosfatos dissolvidos, é um importante nutriente para os produtores primários. Juntamente com o nitrogênio, o fósforo é o principal nutriente responsável pelo processo de eutrofização dos ecossistemas aquáticos. Originado da dissolução de compostos do solo e da decomposição da matéria orgânica, o fósforo, quando em altas concentrações, pode desencadear crescimento excessivo de macrófitas e algas, principalmente em águas paradas, que podem representar grande impacto a toda comunidade aquática, à qualidade da água, favorecer o surgimento de doenças e comprometer o uso, em geral, do corpo aquático.

Os valores obtidos de fósforo total estão em conformidade com a Resolução 357/05 do CONAMA, como pode ser verificado no gráfico acima, sendo que o maior valor encontrado foi na média do ano de 2010.

Para o parâmetro fósforo total, a CETESB (2006) utiliza o Índice do Estado Trófico (IET), que tem por finalidade classificar 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. Nesse índice, os resultados correspondentes ao fósforo total, devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo.

Conforme Von Sperling (2007), o estado trófico do ponto estudado no Rio Claro durante todo o período monitorado, pode ser classificado como oligotrófico, indicando uma carga de nutrientes variando entre ausente a muito escassa.

Considerando que o nitrogênio e o fósforo são os principais nutrientes responsáveis pelo processo de eutrofização de ecossistemas aquáticos (VELINI et al., 2005), e que as médias dos resultados de tais parâmetros foram baixas, pode-se dizer que o ponto de monitoramento em estudo não apresenta condições propícias para crescimento de macrófitas e algas (VON SPERLING, 2004).

### Temperatura da água

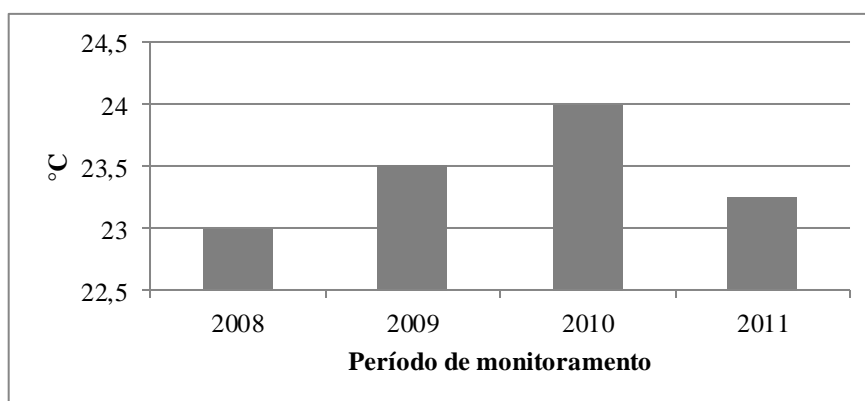


Figura 6 – Comportamento da temperatura da água.

### Temperatura ambiente

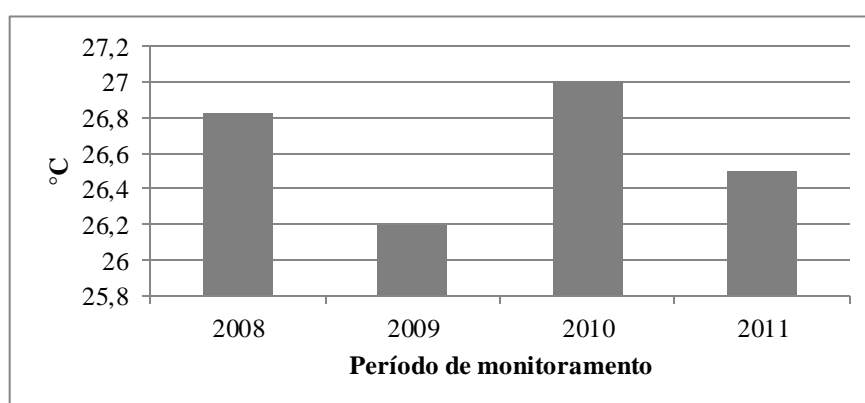


Figura 7 – Comportamento da temperatura ambiente.

De acordo com os resultados apresentados no gráfico da Figura 6, a maior média do valor da temperatura da água foi registrado em 2010. Apesar de não existir limites

estabelecidos pela Resolução 357/05 do CONAMA para o referido parâmetro, observou valores de temperatura relativamente baixos. Segundo Bárbara et al. (2010), a profundidade do lago da usina promove o resfriamento do perfil aquático à medida que a profundidade aumenta. Dessa forma, vertido o volume hídrico advindo do hipolímnio, a tendência é que a água se apresente com temperaturas menores à jusante da hidrelétrica.

Assim como a temperatura da água, a maior média do valor da temperatura ambiente (Figura 7) foi registrada em 2010. No entanto, houve pequena variação entre os demais anos monitorados.

### **Turbidez**

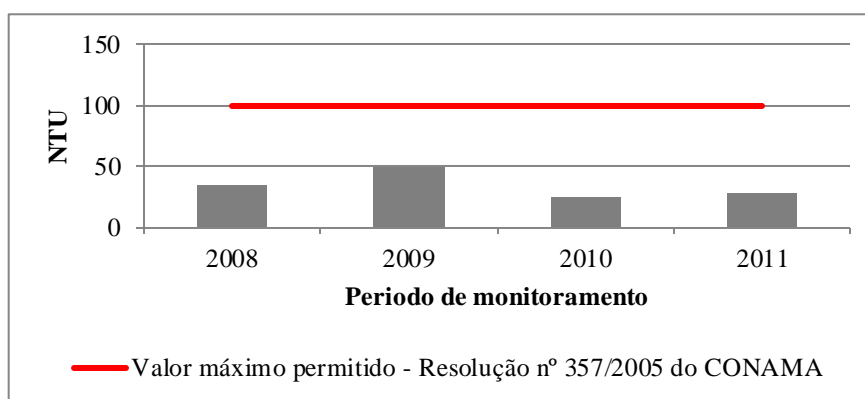


Figura 8 – Comportamento da turbidez.

A turbidez da água é provocada pela matéria orgânica e inorgânica em suspensão (SARDINHA et al., 2008). Sobre ela, verifica-se no gráfico da figura acima, que também se manteve dentro do limite estabelecido pela legislação vigente. O ano de 2009 apresentou maior valor de turbidez, e este aumento pode estar intimamente associado às obras civis da UHE Caçu, particularmente as etapas de construção das ensecadeiras e desvio do Rio Claro. Ambos os processos podem ter provocado um aumento da turbidez da água, como consequência do carreamento de sedimentos, causado principalmente pela movimentação de terra nas margens e no próprio leito do rio.

## Sólidos totais

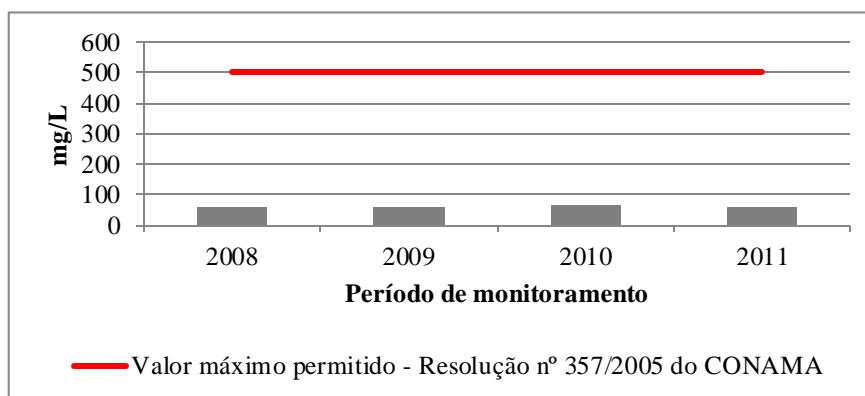


Figura 9 – Comportamento dos sólidos totais.

Os valores de sólidos totais (Figura 9) apresentaram pequena variação: mínimo de 57,4 mg/L e máximo de 65,48 mg/L. A maior oscilação verificada ocorreu no ano de 2010. O parâmetro esteve bem abaixo do limite estabelecido pela legislação vigente.

## Oxigênio dissolvido

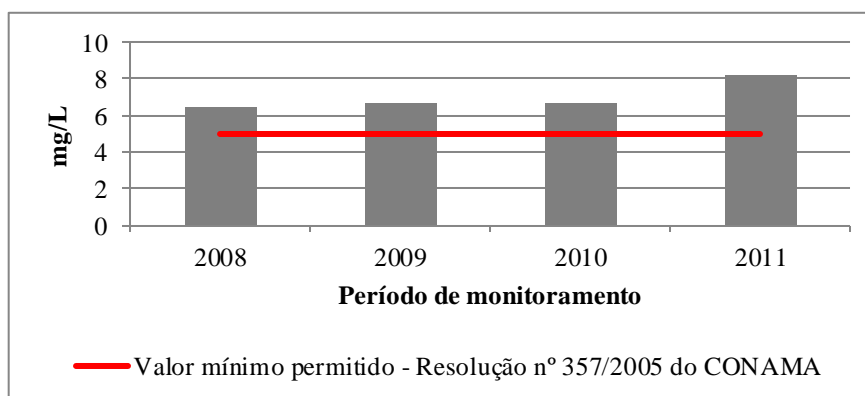


Figura 10 – Comportamento do oxigênio dissolvido.

Segundo Sardinha et al. (2008), o oxigênio dissolvido é um dos gases dissolvidos mais importantes na dinâmica e caracterização de ecossistemas aquáticos.

O nível de oxigênio dissolvido no ponto de monitoramento sofreu uma variação muito pequena, apresentando boa oxigenação. O menor valor obtido foi de 6,51 mg/L no ano de 2008. Já em 2011 obteve-se o maior valor, de 8,18 mg/L, que segundo Silva

(2009) pode estar associado ao período de estiagem, em que as concentrações do parâmetro são mais elevadas.

Outra hipótese que pode ser levantada, quanto ao maior valor de oxigênio dissolvido no ano de 2011, é que este aumento pode estar associado a ação do vertedouro da UHE Caçu, que está 3 km a montante do ponto escolhido para estudo.

### Tratamento estatístico dos parâmetros utilizados para cálculo do IQA

Os resultados da análise de variância dos parâmetros utilizados para cálculo do IQA estão apresentados na Tabela 6 a seguir:

Tabela 6 – Resultados da análise de variância dos parâmetros utilizados para cálculo do IQA

Parâmetros	FV	GL	SQ	QM	F	P	CV
Col. term.	Ano	3	4748165.325974	1582721.775325	5.393	0.0079	104.69
pH	Ano	3	0.470639	0.156880	1.702	0.2023	4.21
DBO <sub>5</sub>	Ano	3	1.900500	0.633500	0.797	0.5211	64.94
NT	Ano	3	1.617336	0.539112	1.834	0.1842	101.69
FT	Ano	3	0.002314	0.000771	0.936	0.4477	63.42
Temp. água	Ano	3	2.904000	0.968000	0.120	0.9470	12.12
Turb.	Ano	3	2090.316754	696.772251	0.401	0.7540	118.91
ST	Ano	3	236.452500	78.817500	1.023	0.4086	14.54
OD	Ano	3	7.508428	2.502809	3.076	0.0686	12.89

Legenda: **FV** – Fonte de variação; **GL** – Graus de liberdade; **SQ** – Soma dos quadrados; **QM** – Quadrado médio; **F** – Valor do teste F calculado; **P** – Probabilidade; **CV** – Coeficiente da variação.

Os resultados da análise de variância, apresentados na Tabela 6 acima, permitiram verificar que apenas uma variável de qualidade de água, os coliformes termotolerantes, diferenciaram-se significativamente a 5% de probabilidade, pelo teste F.

A partir desse resultado, foi aplicado o teste de Tukey ( $P < 0,05$ ), com o objetivo de identificar quais anos monitorados diferenciaram entre si. A Tabela 7 a seguir, apresenta os resultados da análise estatística do teste de Tukey.



Tabela 7 – Análise estatística do teste de Tukey.

<b>Parâmetros</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
Col. term.	180.285714 a	386.500000 a	372.600000 a	1485.000000 b
pH	7.400000 a	7.205000 a	7.006000 a	7.160000 a
DBO <sub>5</sub>	1.280000 a	0.766667 a	1.733333 a	1.675000 a
NT	0.840000 a	0.744000 a	0.372000 a	0.087500 a
FT	0.052000 a	0.058000 a	0.030000 a	0.040000 a
Temp. água	23.000000 a	23.520000 a	24.000000 a	23.250000 a
Turb.	34.465714 a	49.723333 a	24.530000 a	27.260000 a
ST	57.400000 a	61.500000 a	65.220000 a	56.275000 a
OD	6.508000 a	6.733333 a	6.625000 a	8.175000 a

Médias na horizontal seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A análise estatística do teste de Tukey, apresentada na Tabela 7 acima, indica que o parâmetro coliformes termotolerantes apresentou média estatisticamente diferente no ano de 2011.

### **Cálculo do IQA e classificação da qualidade das águas**

Na Tabela 8 abaixo, estão apresentados os resultados de Índice de Qualidade de Água – IQA do ponto de monitoramento no Rio Claro, do período compreendido entre 2008 e 2011.

Tabela 8 – Classificação do IQA no período estudado.

<b>Ano</b>	<b>IQA</b>	<b>Classificação</b>
2008	73,2	Boa
2009	68,7	Boa
2010	70,8	Boa
2011	55,9	Boa

Fonte: Dados calculados pelos autores.

Para melhor visualização dos resultados apresentados na Tabela 8, segue abaixo o gráfico da Figura 11, que mostra a variação dos valores de IQA ao longo dos anos monitorados.

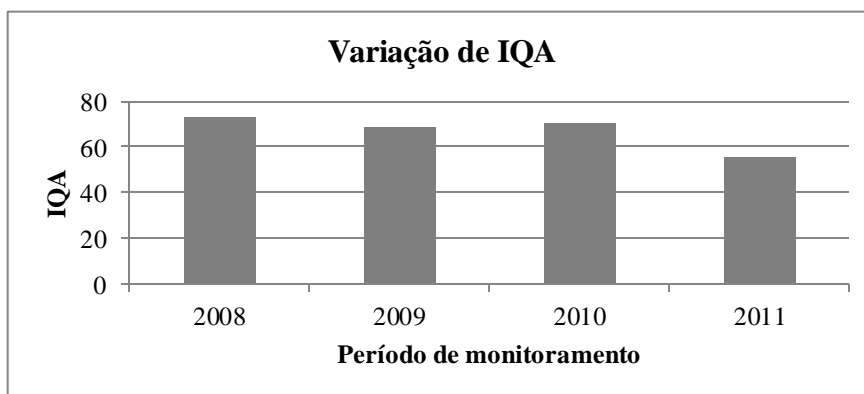


Figura 11 – Variação de IQA durante o período de monitoramento.

Conforme apresentado na Tabela 8 e no gráfico da Figura 11, de acordo com o IQA-CETESB, a classificação da qualidade da água do Rio Claro no ponto de monitoramento, pode ser considerada “boa”. Em um mapa com a marcação do rio, este trecho poderia ser colorido com verde. No entanto, no ano de 2011 verificou-se uma queda no valor do IQA, que pode estar diretamente associada ao alto valor de coliformes termotolerantes. Mesmo assim, sua qualidade da água continua sendo classificada como “boa”.

## CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu concluir que:

1. A água do Rio Claro, captada para abastecimento público da cidade de Caçu apresentou boa qualidade, enquadrando-se dentro dos padrões estabelecidos para rios de Classe 2 (Resolução nº 357/2005 do CONAMA) em todos os anos analisados;
2. Constatou-se que as variações dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos não indicaram, até o momento, influência significativa nos valores dos mesmos devido ao barramento da UHE Caçu.

Visto a importância do Rio Claro, recomenda-se:

1. Continuar o programa de monitoramento e cálculo de IQA em um período maior de tempo, visando avaliar o efeito da UHE Caçu na qualidade nas águas do Rio Claro, mais especificamente no ponto de captação para abastecimento público da cidade de Caçu;
2. Estender o presente estudo para outros trechos do Rio Claro.

## LITERATURA CITADA

BÁRBARA, V. F.; CUNHA, A. C.; RODRIGUES, A. S. L.; SIQUEIRA, E. Q. Monitoramento sazonal da qualidade da água do rio Araguari/AP. **Revista Biociências**, v.16, n.1, p.57-72, 2010.

BONNET, B. R. P.; FERREIRA, L. G.; LOBO, F. C. Relações entre qualidade da água e uso do solo em Goiás: uma análise à escala da bacia hidrográfica. **Revista Árvore**, v.32, n.2, p.311-322, 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelecer as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 de março de 2005, p. 58-63.

BRASIL. Ministério da Saúde. Estabelece procedimentos e responsabilidade relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Portaria n. 518, de 25 de março de 2004. **Ministério da Saúde**, Brasília, julho de 2005.

CAVENAGHI, A. L. et al. Caracterização da qualidade de água e sedimento relacionados com a ocorrência de plantas aquáticas em cinco reservatórios da bacia do rio Tietê. **Revista Planta Daninha**, v.21, n.spe, p.43-52, 2003.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2004. 264p.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2006. 488p.

CUNHA, A. H.; TARTLER, N.; SANTOS, R. B.; FORTUNA, J. L. Análise microbiológica da água do rio Itanhém em Teixeira de Freitas-BA. **Revista Biociências**, v.16, n.2, p.86-93, 2010.

LUCAS, A. A. T.; FOLEGATI, M. V.; DUARTE, S. N. Qualidade da água em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.9, p.937-943, 2010.

NOVELIS. **EIA: Estudo de Impacto Ambiental do Complexo Energético Caçu/Barra dos Coqueiros**. São Paulo: NOVELIS, 2005. 1318p.

PIMENTA, S. M.; PENA, A. P.; GOMES, P. S. Aplicação de métodos físicos, químicos e biológicos na avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidroelétrico da bacia do rio São Tomás, município de Rio Verde – Goiás. **Revista Sociedade & Natureza**, v.21, n.3, p.393-412, 2009.

PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. M. Avaliação espaço-temporal da relação entre o estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP) e o potencial poluidor de sua bacia hidrográfica. **Revista Sociedade & Natureza**, v.19, n.2, p.5-18, 2007.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil**. 3ª Edição. São Paulo: Editora Escrituras, 2006. 768p.

RUAS, A. L. **Avaliação das alterações da qualidade de águas tropicais decorrentes da instalação de barramentos para fins de geração de energia elétrica: Estudo de caso do rio Pomba**. 2006. 287f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, 2006. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/1843/ENGD-6SWRZM/1/andreluiz270.pdf>>. Acesso em: 11/09/2011.

SAAD, A. R.; SEMENSATTO JR, D. L.; AYRES, F. M.; OLIVEIRA, P. E. Índice de qualidade da água – IQA do reservatório do Tanque Grande, município de Guarulhos, Estado de São Paulo, Brasil: 1990-2006. **Revista UNG – Geociências**, v.6, n.1, p.118-133, 2007.

SANEAMENTO DE GOIÁS S.A. – SANEAGO. Saneamento. Monitoramento da água. Disponível em: <[www.saneago.com.br/site/index.php?id=agua5&tit=agua](http://www.saneago.com.br/site/index.php?id=agua5&tit=agua)>. Acesso em 03/10/11.

SARDINHA, D. S.; CONCEIÇÃO, F. T.; SOUZA, A. D. G.; SILVEIRA, A.; JULIO, M. Avaliação da qualidade da água e autodepuração do ribeirão do Meio, Leme (SP). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.13, n.3, p. 329-338, 2008.

SETTI, A. A. et. al. **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos**. 3ª Edição. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional das Águas, 2001.

SILVA, A. P. S.; DIAS, H. C. T.; BASTOS, R. K. X.; SILVA, E. Qualidade da água do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Peti, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.33, n.6, p.1063-1069, 2009.

SILVA, A. B. A.; UENO, M. Qualidade sanitária das águas do rio Una, São Paulo, Brasil, no período das chuvas. **Revista Biociências**, v.14, n.1, p.82-86, 2008.

VELINI, E. D. et al. Caracterização da qualidade de água e sedimento na UHE Americana relacionados à ocorrência de plantas aquáticas. **Revista Planta Daninha**, v.23, n.2, p.215-223, 2005.

VON SPERLING, E. Qualidade da água durante a formação de lagos profundos em cavas de mineração: Estudo de caso do lago de Águas Claras – MG. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.9, n.3, p.250-259, 2004.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª Edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. Cap. 3, p.135-244.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 1ª Edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. Cap. 6, p.237-277.