

## **IV-195 – EFEITO DA REDUÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA DE RESERVATÓRIO DE HIDRELÉTRICA NA QUALIDADE DE SUAS ÁGUAS**

**Gabriela Rodrigues Barroso<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental e Sanitarista pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Adriana Alves Pereira<sup>(2)</sup>**

Engenheira Química pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em Ciências em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). PhD pela Vrije Universiteit Amsterdam (VU Amsterdam). Professora do Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Escola de Engenharia - UFMG, Avenida Antônio Carlos - 6627- Bloco 1 - Pampulha - Belo Horizonte - Minas Gerais - CEP: 31270901 - Brasil - Tel: (31) 988256576 - e-mail: [gabriela\\_r\\_barroso@hotmail.com](mailto:gabriela_r_barroso@hotmail.com)

### **RESUMO**

A qualidade da água de reservatórios sofre influência de diversos fatores, como da precipitação, responsável por carrear poluentes, e do volume de água, relacionado principalmente à sua capacidade de diluição. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da diminuição do volume de água de reservatório em parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade de água. Para tanto, dados da Usina Hidrelétrica (UHE) de Nova Ponte foram utilizados como estudo de caso. A adequação da qualidade da água do reservatório aos usos múltiplos de suas águas também foi verificada através do atendimento aos limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 375/2005. Os dados utilizados na análise foram fornecidos pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). Foram analisados os parâmetros temperatura, turbidez, pH, oxigênio dissolvido, DBO, DQO, nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo total, ortofosfato, cianobactérias, clorofila a e coliformes termotolerantes em três locais no reservatório, entre os anos de 2009 a 2015, período em que foi registrada uma diminuição de aproximadamente 70% no volume de água do reservatório. Os resultados indicaram que os parâmetros temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, DBO, nitrato, ortofosfato e clorofila a mostraram-se dependentes do volume de água do reservatório, apresentando maiores valores quando os volumes registrados foram menores. No geral, os valores encontrados para os parâmetros de qualidade de água do reservatório da UHE de Nova Ponte apresentaram-se em acordo com os padrões definidos na Resolução CONAMA nº 357/2005. Algumas exceções foram observadas para o pH, oxigênio dissolvido, fósforo total, cianobactérias e coliformes termotolerantes, mas não representam maiores riscos aos usos múltiplos de suas águas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Usina hidrelétrica, parâmetros de qualidade, precipitação, CONAMA 357/2005.

### **INTRODUÇÃO**

No Brasil, um importante tipo de uso de águas superficiais é para a geração de energia elétrica, pois as usinas hidrelétricas (UHEs) compõem a maior parte da matriz energética brasileira. Segundo dados do Ministério de Minas e Energia (MME), a capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil, em agosto de 2018, por meio de hidrelétricas, independente do porte, correspondia a aproximadamente 64% da capacidade instalada total do país (MME, 2018).

Os projetos de UHEs requerem, na maioria dos casos, a formação de reservatórios de acumulação. A qualidade de suas águas sofre influência de um conjunto de fatores relacionados com processos que ocorrem na bacia de drenagem e no próprio reservatório (TUNDISI, 1986). A precipitação pluviométrica desempenha um importante papel na alteração da qualidade da água dos reservatórios, pois proporciona o aporte de cargas poluidoras advindas do escoamento superficial sobre a bacia hidrográfica. Além disto, o volume de água dos reservatórios, que varia em decorrência da precipitação, da evaporação e das vazões afluentes e defluentes,

constitui outro fator que pode influenciar na qualidade de suas águas, pois interfere na capacidade de diluição de poluentes.

Reservatórios de UHEs, além de serem utilizados para a geração de energia elétrica, geralmente apresentam diversos usos, como abastecimento doméstico, dessedentação de animais, abastecimento industrial, irrigação, cultivo de peixes, recreação e controle de cheias. Segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico, os volumes úteis de vários reservatórios localizados na região sudeste do Brasil sofreram reduções significativas ao longo dos últimos anos (ONS, 2018). Essas reduções podem estar contribuindo para alterar a qualidade das águas desses reservatórios, comprometendo os usos múltiplos de suas águas.

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar, ao longo do tempo e do espaço, o efeito da diminuição do volume de água de reservatório em parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade de água. Para tanto, dados da UHE de Nova Ponte foram utilizados como estudo de caso. A adequação da qualidade da água do reservatório aos usos múltiplos de suas águas foi verificada através do atendimento aos padrões ambientais legais.

## METODOLOGIA

### DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A UHE de Nova Ponte está situada no rio Araguari, na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, no município de Nova Ponte, estado de Minas Gerais. O reservatório da usina ocupa uma área de 449,24 km<sup>2</sup>, com volume útil máximo de 10.380 hm<sup>3</sup> e profundidade máxima de 115 m (CEMIG, 2006).

O clima da região da UHE de Nova Ponte caracteriza-se pelo regime tropical, com período de seca entre os meses de abril e setembro e período de chuva entre os meses de outubro e março. A precipitação anual é de cerca de 1.350 mm.ano<sup>-1</sup>. A temperatura média do mês mais frio do ano (julho) é de 18°C e a do mês mais quente do ano (janeiro) é de 24°C. A água do reservatório da usina é usada para diversos fins além da geração de energia elétrica, tais como irrigação de hortaliças, legumes e jardins de condomínios localizados em seu entorno, dessedentação animal em pontos isolados, piscicultura, pesca, dragagem de areia e esportes náuticos.

### OBTENÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

O volume útil do reservatório da UHE de Nova Ponte sofreu uma redução de aproximadamente 70% entre os anos de 2009 a 2015 (ONS, 2018). No mesmo período, também foi registrada uma redução na precipitação média na região, conforme apresentado na Tabela 1 (CEMIG, 2016). Devido a esta redução drástica, este período foi selecionado para análise no presente estudo.

**Tabela 1: Valores do volume útil médio do reservatório e da precipitação média na região da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.**

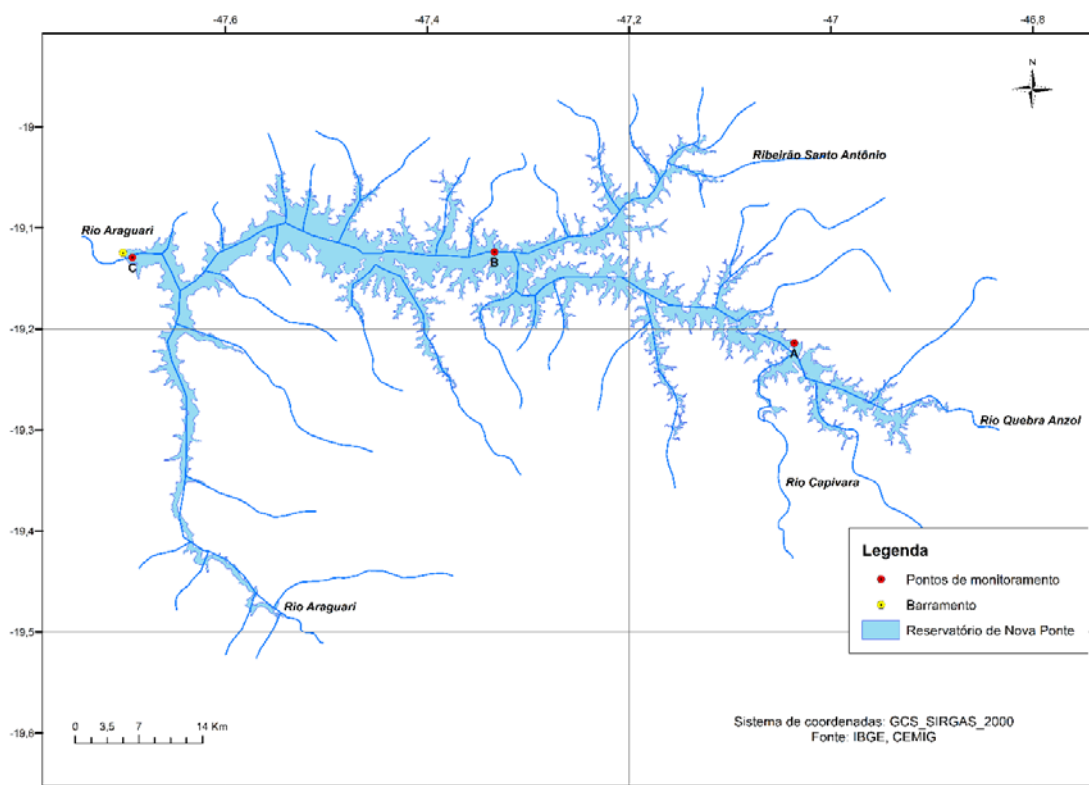
Período	Volume útil médio (%)	Precipitação média (mm)
2009-2010	81,1	1403
2011-2012	64,5	1275
2013-2014-2015	26,2	1062

Os dados de qualidade da água foram obtidos nos Relatórios do Monitoramento da Qualidade das Águas da UHE de Nova Ponte disponibilizados pela CEMIG (SISÁGUA, 2018). Os parâmetros selecionados foram: temperatura, turbidez, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo total, ortofosfato, cianobactérias, clorofila a e coliformes termotolerantes. Foram analisados resultados de qualidade

da água em 3 pontos do reservatório, sendo um localizado distante do barramento (ponto A), outro na porção intermediária do reservatório (ponto B) e o outro mais próximo do barramento (ponto C) (Figura 1).

Os dados dos parâmetros de qualidade da água analisados neste estudo são referentes a 24 campanhas de monitoramento, compreendidas no período de março de 2009 a julho de 2015. Tais dados são correspondentes às coletas superficiais de amostras, exceto nas campanhas de março/2009, maio/2009, setembro/2009 e dezembro/2009 nos pontos A e B, cujas amostras de água foram coletadas na metade da zona fótica.

As técnicas de amostragem, preservação e análise das amostras basearam-se no Manual de Procedimentos de Coleta e Metodologias de Análise de Água da CEMIG (CEMIG, 2009) e no *Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).



**Figura 1: Localização dos pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte**

Os resultados dos parâmetros de qualidade da água foram comparados com os limites estabelecidos para águas doces classe 2, correspondente ao enquadramento dos corpos d'água da área de estudo, na Resolução CONAMA n.º 357 de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005).

Os dados referentes ao volume útil do reservatório (volume efetivamente destinado a operação do reservatório) da UHE de Nova Ponte e à precipitação, durante o período de estudo, também foram fornecidos pela CEMIG. Os valores de volume útil foram obtidos através da tabela de cota reservatório. Já os dados de precipitação foram medidos por pluviômetro localizado próximo ao reservatório da UHE de Nova Ponte, nas seguintes coordenadas (19°07'59" S / 47°41'37" O).

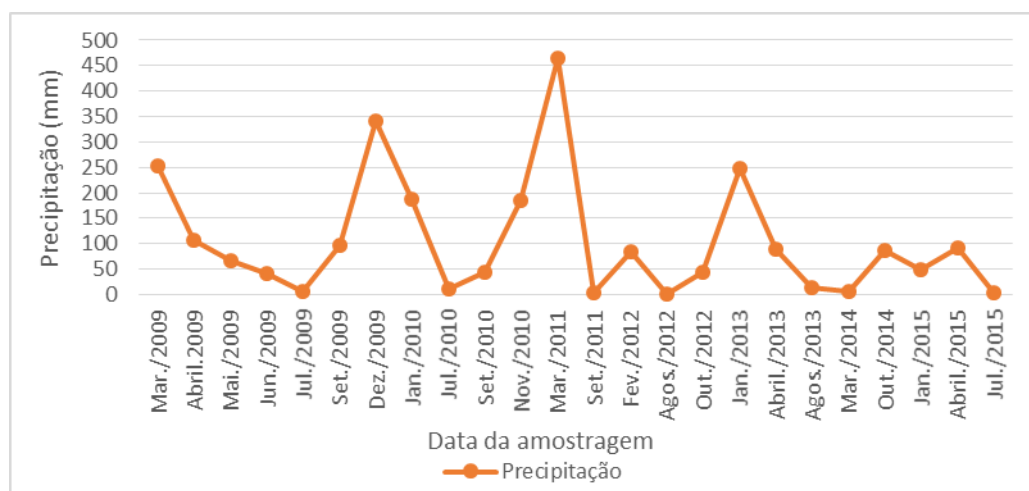
Análises estatísticas foram utilizadas para subsidiar a discussão dos resultados. Primeiramente foi testada a normalidade dos dados através do teste *Kolmogorov Smirnov* e a homogeneidade de variância pelo método de comparações múltiplas. Posteriormente foi realizada uma análise descritiva dos dados de cada parâmetro de qualidade de água. Para a análise temporal, o período avaliado (2009-2015) foi dividido em 3 grupos: 2009-2010, 2011-2012, 2013-2014-2015. Para avaliar o efeito dos períodos e dos locais de coleta sobre os parâmetros de qualidade de água, foram utilizados os testes *t-Student* (quando o teste de comparações

múltiplas indicou homogeneidade de variâncias) e *Mann-Whitney* (para os casos em que as variâncias não apresentaram-se homogêneas). Para avaliar a influência do volume de água do reservatório nos parâmetros de qualidade de água foi utilizado o teste Qui-Quadrado de independência.

Ressalta-se que, para os dados de qualidade de água reportados abaixo do limite de detecção do método, empregou-se a metade de tais valores na análise estatística. Todos os testes estatísticos foram realizados com um nível de significância de 5% ( $\alpha=0,05$ ). Foram utilizados os softwares *Minitab* 17 (Minitab versão 17.3 trial, State College, USA) e *Statistica* (Statistica versão 12.0 trial, Dell StatSoft South America, USA).

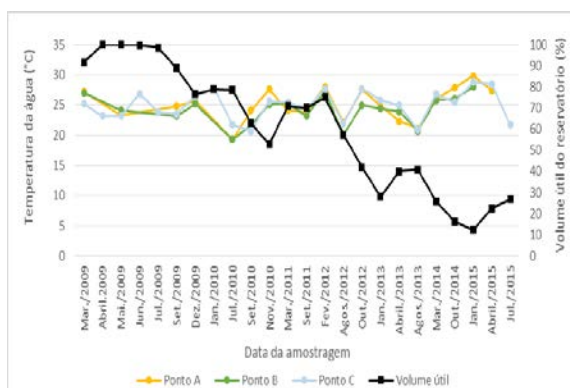
## RESULTADOS OBTIDOS

A Figura 2 apresenta as precipitações médias registradas nos meses de realização das amostragens.

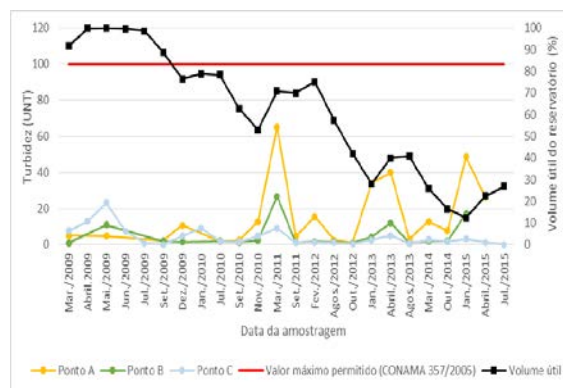


**Figura 2: Precipitação média mensal registrada na região do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte**  
Fonte: CEMIG (2016)

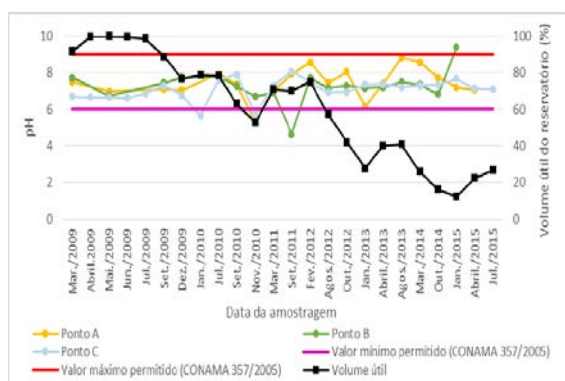
Gráficos das séries de todos os parâmetros de qualidade da água, em cada um dos três pontos de amostragem no reservatório, ao longo de todas as campanhas de monitoramento, foram elaborados (Figuras 3 a 15). O volume útil do reservatório, ao longo das campanhas, também foi incluído nos gráficos. Quando existentes, os limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005 foram representados nos gráficos para verificação do atendimento aos padrões legais ao longo do tempo. Resultados foram discutidos com relação aos fatores influenciadores da qualidade da água do reservatório, com destaque para o efeito da precipitação e do volume do reservatório nos resultados.



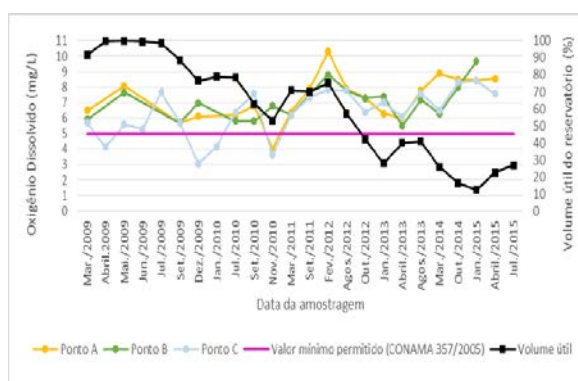
**Figura 3: Temperatura da água no reservatório da UHE de Nova Ponte**



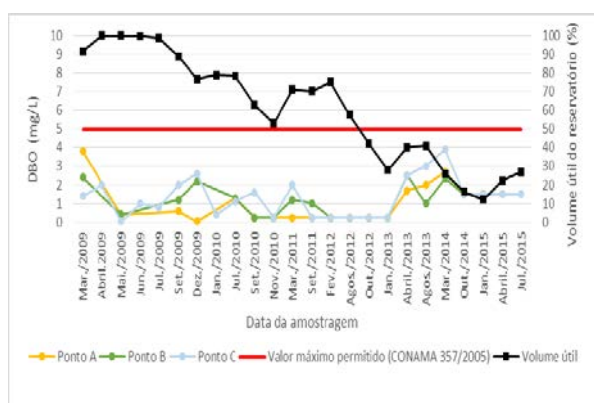
**Figura 4: Turbidez da água no reservatório da UHE de Nova Ponte**



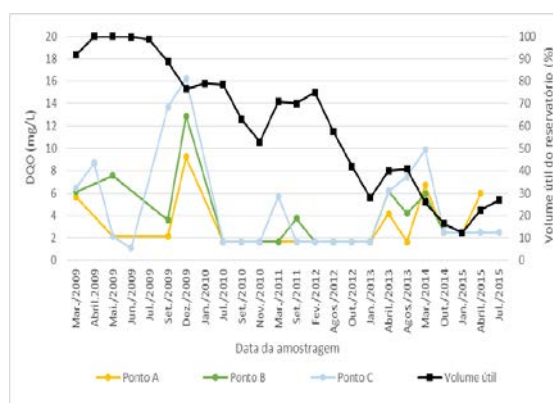
**Figura 5: pH da água no reservatório da UHE de Nova Ponte**



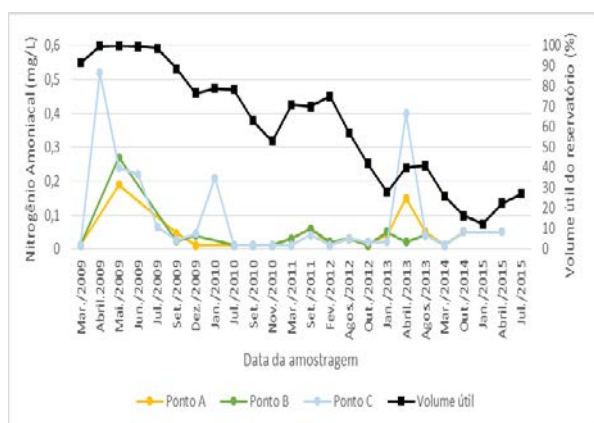
**Figura 6: Oxigênio dissolvido da água no reservatório da UHE de Nova Ponte**



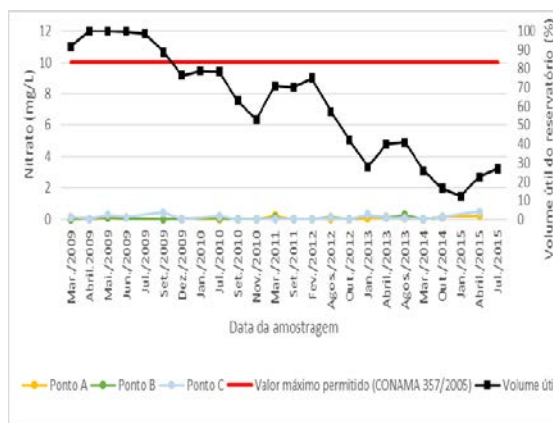
**Figura 7: DBO da água no reservatório da UHE de Nova Ponte**



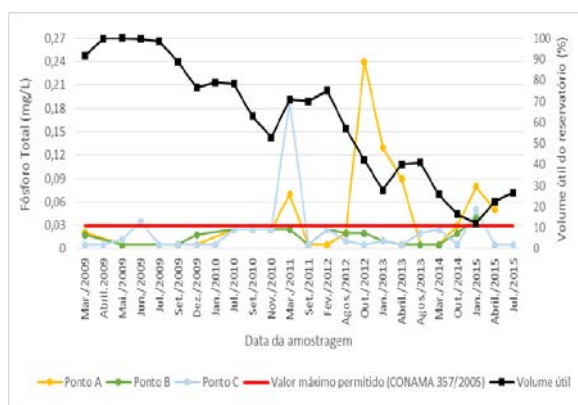
**Figura 8: DQO da água no reservatório da UHE de Nova Ponte**



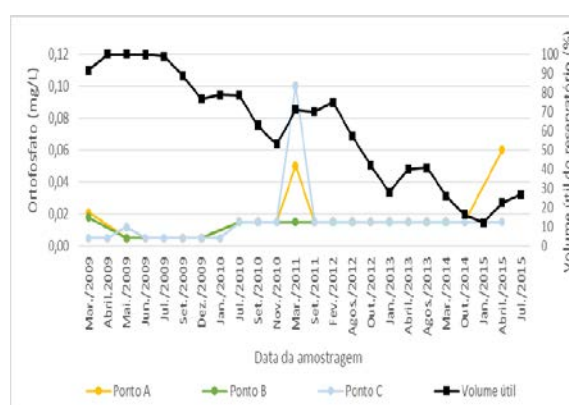
**Figura 9: Nitrogênio Amônia da água no reservatório da UHE de Nova Ponte**



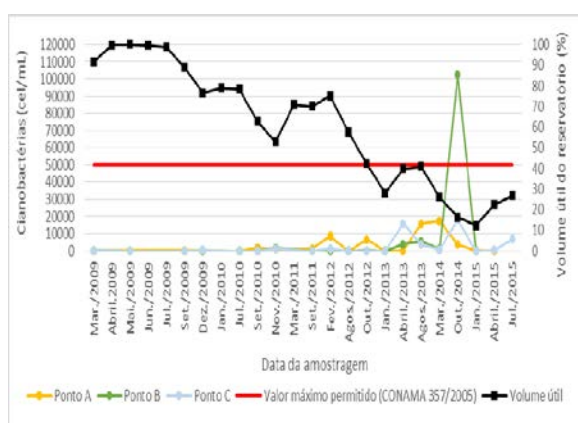
**Figura 10: Nitrato da água no reservatório da UHE de Nova Ponte**



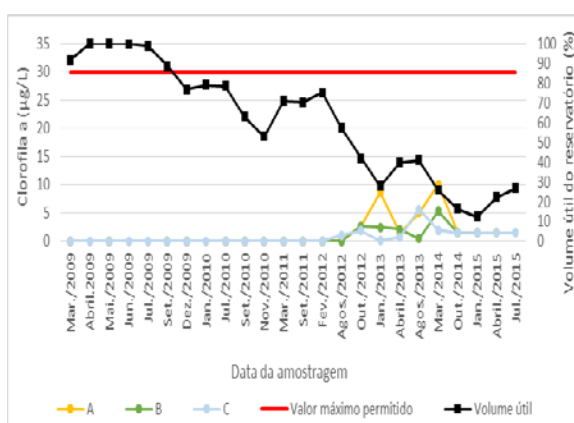
**Figura 11: Fósforo total da água no reservatório da UHE de Nova Ponte**



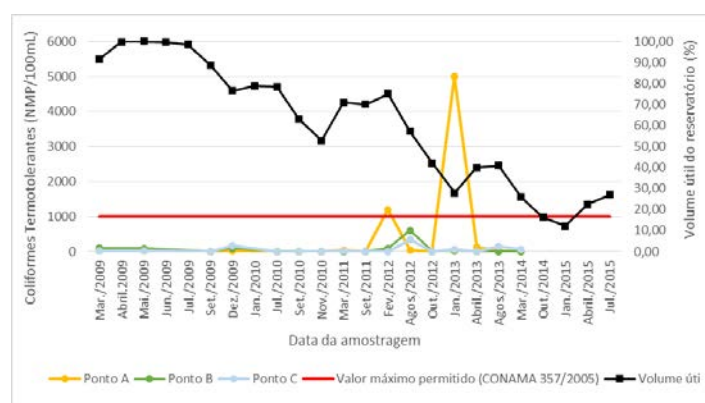
**Figura 12: Ortofosfato da água no reservatório da UHE de Nova Ponte**



**Figura 13: Cianobactérias na água do reservatório da UHE de Nova Ponte**



**Figura 14: Clorofila a na água do reservatório da UHE de Nova Ponte**



**Figura 15: Coliformes Termotolerantes na água do reservatório da UHE de Nova Ponte**

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise espacial dos parâmetros de qualidade da água do reservatório da UHE de Nova Ponte revelou que apenas os níveis de turbidez são influenciados pelo local de coleta. O ponto A, que sofre influência da vazão afluente proveniente do Rio Capivara e que se localiza mais distante do barramento, apresentou maiores valores médios de turbidez em relação aos outros pontos de monitoramento no reservatório ( $p < 0,05$ ).

A análise temporal indicou que os parâmetros pH, oxigênio dissolvido, DBO, DQO, nitrato, ortofosfato, cianobactérias, clorofila a e coliformes termotolerantes apresentaram, de uma forma geral, valores mais elevados no último período de análise (2013-2014-2015) em comparação com os demais períodos (2009-2010 e 2011-2012) ( $p < 0,05$ ), quando foram registrados os menores valores de volume útil médio do reservatório da UHE de Nova Ponte. Dentre esses parâmetros, o pH, oxigênio dissolvido, DBO, nitrato, ortofosfato e clorofila a, além da temperatura da água, mostraram-se dependentes do volume de água do reservatório em todas as campanhas realizadas ( $p < 0,05$ ).

Os valores encontrados para os parâmetros de qualidade de água do reservatório da UHE de Nova Ponte apresentaram-se em acordo com os padrões definidos na Resolução CONAMA nº 357/2005 na maioria das campanhas de monitoramento (Figuras 3 a 15). Algumas poucas exceções foram registradas para os parâmetros pH, oxigênio dissolvido, fósforo total, cianobactérias e coliformes termotolerantes.

## CONCLUSÕES

A acentuada redução do volume de água do reservatório da UHE de Nova Ponte ao longo período de 2009 a 2015 resultou na elevação da concentração de determinadas substâncias em função da menor capacidade de diluição do reservatório, assim como na maior exposição da massa d'água aos raios solares e na modificação da dinâmica da produtividade primária. Apesar de ter sido evidenciado que a redução do volume de água do reservatório influencia na qualidade de suas águas, esta manteve-se em boas condições ao longo do período estudado, não representando maiores riscos aos seus usos múltiplos.

Recomenda-se analisar outros parâmetros de qualidade da água e de outros pontos de monitoramento para melhor compreender a dinâmica da qualidade da água do reservatório estudado e melhor relacionar a qualidade da água com a variação do volume de água do mesmo. Também recomenda-se ampliar esse estudo para outros reservatórios, no sentido de reforçar a relação entre quantidade e qualidade de água.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CEMIG pela disponibilização dos dados ao CEFET-MG pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22º ed. New York: American Public Health Association, 1360 p. 2012.
2. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 18 mar. 2005.
3. CEMIG. COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. *Usinas da Cemig: A história da eletricidade em Minas e no Brasil. 1952-2005*. Rio de Janeiro: Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, 304 p. 2006.
4. CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Sistema Cemig de monitoramento e controle de qualidade da água de reservatórios – siságua- *Manual de Procedimentos de Coleta e Metodologias de Análise de Água*. Belo Horizonte: Cemig, 2009.
5. COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG. *Dados de volume útil do reservatório da UHE de Nova Ponte e dados de precipitação na região do reservatório*. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <gabriela\_r\_barroso@hotmail.com> em mar. 2016.
6. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Secretaria de Energia Elétrica. Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico. *Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro*. Agosto – 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico++Agosto++2018.pdf/52bd520e-11fb-4b92-a3d8-621f3e27ed78>>. Acesso em: 30 out. 2018.

7. ONS. OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. *Volume Útil dos Principais Reservatórios*. Disponível em: <<http://ons.org.br/pt/paginas/energia-agora/reservatorios>>. Acesso em: 30 out. 2018.
8. SISÁGUA. SISTEMA DE INFORMAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS DA CEMIG. *Companhia Energética de Minas Gerais*. 2018. Disponível em: <<http://www2.cemig.com.br/sag/>>. Acesso em: 30 out. 2018.
9. TUNDISI, J. G. Represas Artificiais: Perspectivas para o Controle e Manejo da Qualidade da Água para Usos Múltiplos. *Revista Brasileira de Educação*. v. 1, n.1, p.37-47. 1986.