

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DE NOVA PONTE (MG) E SUA RELAÇÃO COM O VOLUME DE ÁGUA DO RESERVATÓRIO

EVALUATION OF WATER QUALITY OF THE RESERVOIR OF THE NOVA PONTE HYDROELECTRIC POWER PLANT AND ITS RELATIONSHIP WITH WATER VOLUME OF THE RESERVOIR

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE DE LA REPRESA HIDROELÉCTRICA DE NOVA PONTE (MG) Y SU RELACIÓN CON EL VOLUMEN DE AGUA DEL EMBALSE

GABRIELA RODRIGUES BARROSO

Mestranda do Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais - Escola de Engenharia da UFMG, Avenida Presidente Antônio Carlos, 6627, Bloco 1, Pampulha, CEP 31270-901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. gabriela_r_barroso@hotmail.com

WAGNER FERREIRA PINHEIRO

Universidade Federal de Minas Gerais, Avenida Presidente Antônio Carlos, 6627, Pampulha, CEP 31270-901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. wagner2235@gmail.com

ADRIANA ALVES PEREIRA

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Campus I - Avenida Amazonas, 5253, Nova Suíça, CEP 30421-169, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. adri.a.p@terra.com.br

RESUMO

A qualidade da água de reservatórios sofre influência de diversos fatores. Dentre eles, destaca-se o volume de água do reservatório, que está relacionado principalmente à sua capacidade de diluição de poluentes. Neste contexto, este trabalho avaliou a influência da diminuição do volume de água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte (UHE de Nova Ponte) sobre parâmetros de qualidade da água, a partir de análises estatísticas. Também foi avaliada a influência de outros fatores (local de coleta, precipitação e uso e ocupação do solo) nos resultados desses parâmetros, além do atendimento aos padrões ambientais legais. Os dados utilizados 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 a 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: Qualidade da água; Reservatório; Estatística; Nova Ponte; Minas Gerais.

ABSTRACT

The water quality of reservoir is influenced by several factors. Among them, an important one is the volume of water of the reservoir, which is related mainly to its capacity of dilution of pollutants. In this context, this study evaluated the influence of the decreasing water volume of the reservoir of Nova Ponte hydroelectric power plant (UHE of Nova Ponte) on parameters of water quality, based on statistical analysis. It also evaluated the influence of other factors (collection site, precipitation and land use and occupation) on the results of these parameters besides the compliance with legal environmental standards. The data used were provided by Electrical Company of Minas Gerais (CEMIG). It was analyzed the parameters temperature, turbidity, pH, dissolved oxygen, DBO, DQO, ammoniacal nitrogen, nitrate, total phosphorus, orthophosphate, cyanobacteria, chlorophyll a and thermotolerant coliforms in three sites in the reservoir, between the years 2009 to 2015, period that was recorded a decreasing of approximately 70% in the volume of water of the reservoir. The results indicated that the water temperature, pH, dissolved oxygen, DBO, nitrate, orthophosphate and chlorophyll a were dependent on the water volume of the reservoir, showing higher values when the volumes recorded were smaller. In general, the values found for the water quality parameters of Nova Ponte hydroelectric power plant's reservoir were in accordance with the recommended standards of the CONAMA Resolution nº357/2005. Some exceptions were observed for pH, dissolved oxygen, total phosphorus, cyanobacteria and thermotolerant coliforms, but they not represent major risks to the multiple uses of the water.

Keywords: Water quality; Reservoir; Statistic; Nova Ponte; Minas Gerais.

RESUMEN

La calidad del agua de los embalses es influenciada por diversos factores. Entre ellos, se destaca el volumen de agua del embalse, lo cual se relaciona principalmente con su capacidad de dilución de contaminantes. En este contexto, este trabajo evaluó la influencia de la disminución del volumen de agua del embalse de la Represa Hidroeléctrica de Nova Ponte (UHE de Nova Ponte), sobre parámetros de calidad del agua, a partir de análisis estadísticos. También se evaluó la influencia de otros factores (sitio de recolección, precipitación y uso y ocupación del suelo) en los resultados de esos parámetros, además del cumplimiento de los estándares ambientales legales. Los datos utilizados fueron suministrados por la Compañía Energética de Minas Gerais (CEMIG). Se analizaron los parámetros temperatura, turbidez, pH, oxígeno disuelto, DBO, DQO, nitrógeno amoniacal, nitrato, fósforo total, ortofosfato, cianobacterias, clorofila y coliformes termotolerantes en tres puntos del embalse, entre los años 2009 y 2015, período en que se registró una disminución de aproximadamente el 70% del volumen de agua del embalse. Los resultados indicaron que la temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto, DBO, nitrato, ortofosfato y clorofila a mostraron dependencia del volumen de agua del embalse, presentando mayores valores cuando los volúmenes registrados fueron menores. En general, los valores encontrados para los parámetros de calidad de agua del embalse de la UHE de Nova Ponte cumplieron con los estándares definidos en la Resolución CONAMA no 357/2005. Algunas excepciones se observaron para el pH, oxígeno disuelto, fósforo total, cianobacterias y coliformes termotolerantes, pero no representan mayores riesgos para los múltiples usos de sus aguas.

Palabras clave: Calidad del agua; Embalse; Estadística; Nova Ponte; Minas Gerais.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso fundamental para a manutenção da vida e para o desenvolvimento socioeconômico, uma vez que seus múltiplos usos são indispensáveis a um largo espectro das atividades humanas. A importância da água torna-se ainda maior ao considerar o crescimento da população registrado nas últimas décadas, que ocasionou um aumento da demanda de água em qualidade adequada aos diversos usos (FARIAS, 2006; FONTENELE et al., 2011). Além disso, o aumento das interferências antrópicas sobre os recursos hídricos, tais como, a poluição difusa oriunda do uso de fertilizantes e agrotóxicos na agricultura, os despejos de efluentes domésticos e industriais, as atividades de mineração exercidas ao longo da bacia hidrográfica, entre outras, têm contribuído para generalizada deterioração da qualidade das águas superficiais (BRAGA et al., 2005; ALVES et al., 2008; von SPERLING, 2014). Dessa forma, é de grande importância a busca da conservação dos recursos hídricos e da avaliação de sua qualidade e disponibilidade (von SPERLING, 2014).

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 (RUAS, 2006). Segundo dados do Ministério de Minas e Energia (MME), a capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil, ao final de 2016, por meio de hidrelétricas, independente do porte, correspondia a aproximadamente 64% da capacidade instalada total do país (MME, 2016).

Os projetos de UHEs requerem, na maioria dos casos, a formação de reservatórios de acumulação (TUNDISI, 1986; CRUZ, 2012). A qualidade da água de tais reservatórios sofre influência de um conjunto de fatores relacionados com processos que ocorrem na bacia de drenagem e no próprio reservatório. A precipitação pluviométrica desempenha um importante papel na alteração da qualidade da água dos reservatórios, seja pela diluição de suas águas ou pelo aporte de cargas poluidoras advindas do escoamento superficial sobre a bacia hidrográfica (MARQUES, 2011).

O volume de água constitui outro fator que pode influenciar a qualidade da água dos reservatórios. Ele sofre variação em decorrência da precipitação, da evaporação e das vazões afluentes e defluentes dos reservatórios. Segundo Ruas (2006), o volume de um corpo hídrico interfere na capacidade de diluição do mesmo. Geralmente, os lagos e os reservatórios volumosos apresentam capacidade de assimilação de poluentes bastante superior àquela encontrada em corpos d'água pequenos e rasos. Dessa forma, as substâncias tendem a ficar mais concentradas quanto menor o fator de diluição. Com a redução do volume a radiação solar também pode atingir mais profundamente o corpo hídrico, elevando a temperatura da água e aumentando a produtividade primária (von SPERLING, 1999).

Segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2016) e os dados disponibilizados pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), o volume útil do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte (UHE de Nova Ponte) sofreu uma redução de aproximadamente 70% entre os anos de 2009 a 2015. Esta redução significativa do volume de água do reservatório pode estar contribuindo para alterar a qualidade de suas águas, consequentemente comprometendo seus diversos usos, tais como irrigação, dessedentação de animais, piscicultura e lazer.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo avaliar, ao longo do tempo e do espaço, parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade da água do reservatório da UHE de Nova Ponte e identificar uma possível influência da diminuição do volume de água do reservatório nesses parâmetros. Embora existam estudos de avaliação da qualidade da água para o reservatório da UHE de Nova Ponte (VIANA et al., 2013; FLAUZINO, 2014; VIANA, 2014), os mesmos não focaram na relação entre qualidade e quantidade de águas. Além disso, pretende-se verificar o atendimento aos padrões ambientais legais de modo a avaliar a adequação da

qualidade da água do reservatório aos usos múltiplos de suas águas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. 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 (Figura 1). O reservatório da usina ocupa uma área de 449,24 km², com volume útil máximo de 10.380 hm³ (CEMIG, 2006) e profundidade máxima de 115 m (VIANA, 2014).

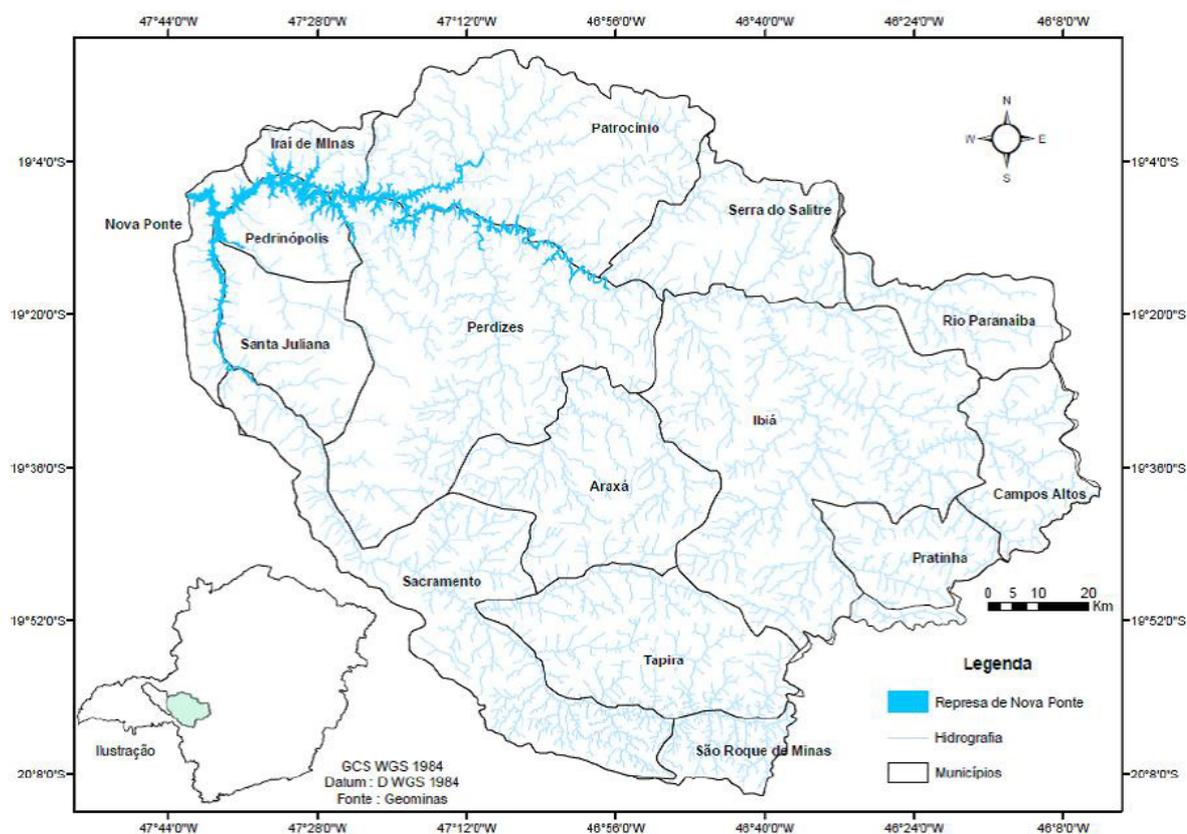


Figura 1 - Mapa de localização do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte e sua área de drenagem
Fonte: Viana (2014)

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⁻¹. 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 (FLAUZINO, 2014).

Com relação ao uso e ocupação do solo, na bacia hidrográfica da UHE de Nova Ponte há predomínio da agropecuária, principalmente da cultura de soja e milho. Grande parte das práticas agrícolas caracterizam-se pelo consumo de insumos e defensivos (agrotóxicos). Ocorre também o uso do solo para silvicultura (CARRIJO, 2003; BRANDT MEIO AMBIENTE, 2016).

A água do reservatório 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 (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2016).

O enquadramento dos corpos de água segundo os usos preponderantes ainda não foi implementado na bacia hidrográfica do rio Araguari (IGAM, 2012). Assim, de acordo com a Resolução CONAMA n° 357/2005 e a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008, os corpos d'água da área de estudo são considerados como classe 2 (BRASIL, 2005; MINAS GERAIS, 2008).

2.2. Parâmetros de qualidade de água, volume do reservatório e dados pluviométricos

Os dados de qualidade da água utilizados neste estudo foram obtidos nos Relatórios do Monitoramento da Qualidade das Águas da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte disponibilizados pela CEMIG. Os resultados do monitoramento são armazenados no Sistema de Informação da Qualidade da Água dos Reservatórios da CEMIG – SISÁGUA e podem ser acessados no site: <www2.cemig.com.br/sag> (SISÁGUA, 2015). Buscou-se selecionar os parâmetros de qualidade da água mais representativos do ponto de vista sanitário e ambiental, que normalmente são utilizados em avaliações de qualidade de águas de reservatórios. Além disso, foram selecionados parâmetros com maior número de dados disponíveis nos relatórios de qualidade da água consultados.

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 utilizados resultados de qualidade da água em três 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), a Tabela 1 apresenta os pontos de monitoramento.

Tabela 1 - Descrição dos pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Ponto	Descrição	Curso d'água	Coordenadas Geográficas
A	Reservatório, a Jusante do Braço do Rio Capivara	Rio Quebra Anzol	19°12'50,0" S 47°02'11,0" O
B	Reservatório, a Jusante do braço do Ribeirão Santo Antônio	Rio Quebra Anzol	19°07'26,0" S 47°20'00,0" O
C	Reservatório, entre o Barramento e o Braço do Rio Quebra Anzol	Rio Araguari	19°07' 45,9" S 47°41'31,4" O

A Figura 2, apresenta os três pontos de coleta do reservatório. Com relação aos dados, os mesmos foram observados no período de março de 2009 a julho de 2015, totalizando 24 campanhas de monitoramento. As campanhas foram realizadas em diferentes meses do ano, mas buscou-se abranger períodos secos (abril a setembro) e chuvosos (outubro a março).

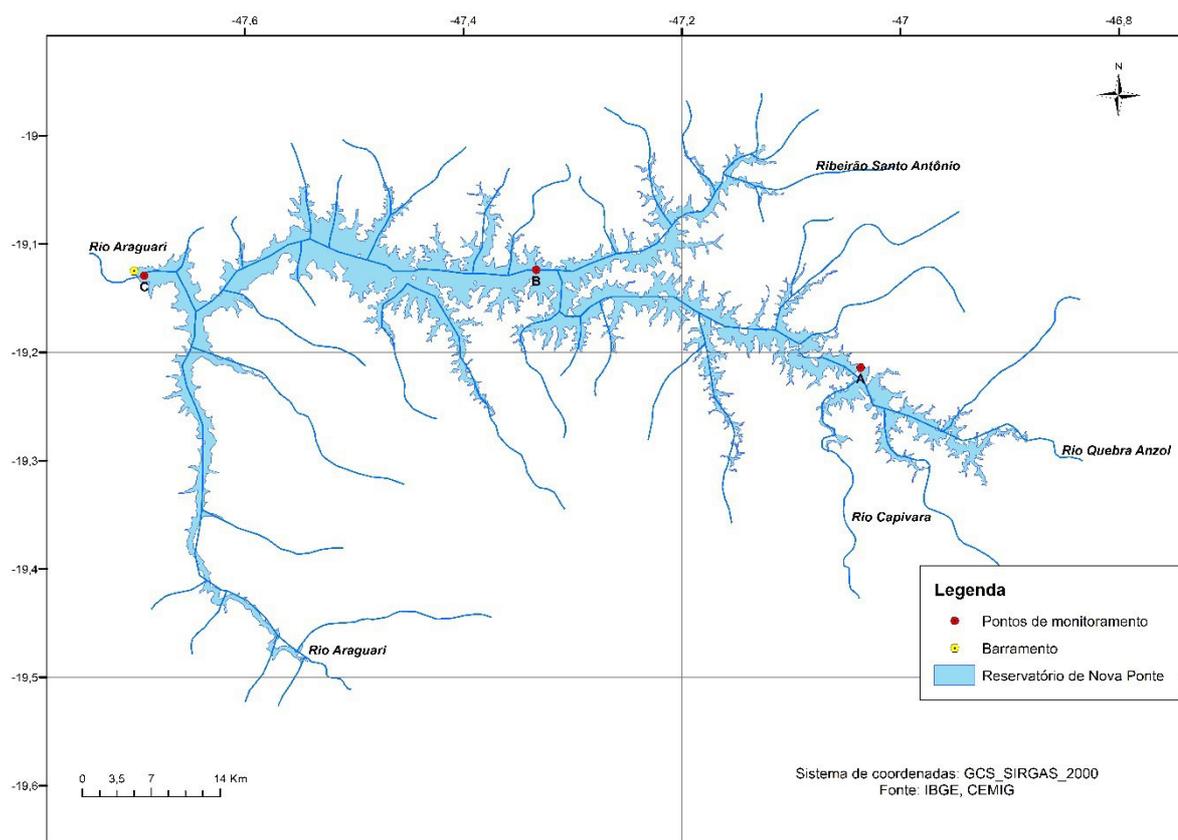


Figura 2 - Localização dos pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

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).

Foram utilizados os dados 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. Considerou-se que tal adaptação não traria interferências nas avaliações do presente estudo, conforme discutido nos estudos de qualidade de água de reservatórios reportados por Breda (2011) e Souza (2014).

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

Já os dados referentes ao volume útil do reservatório da UHE de Nova Ponte e à precipitação que incide sobre a região do reservatório, entre os anos de 2009 a 2015, foram fornecidos pela Gerência de Planejamento Energético da CEMIG (CEMIG, 2016). Volume útil é o volume efetivamente destinado a operação do reservatório. Os valores de volume útil foram obtidos através da tabela de cota reservatório. 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).

2.3. Análise estatística

Primeiramente foi realizada uma análise descritiva dos dados para cada parâmetro observado no estudo. Para a análise temporal, o período avaliado (2009-2015) foi dividido em 3 grupos: 2009-2010, 2011-2012, 2013-2014-2015. Antes da análise estatística, por meio dos

testes de hipóteses, a normalidade dos dados foi avaliada através do teste Kolmogorov Smirnov (SUPORTE AO MINITAB 17, 2016a) e a homogeneidade de variância foi avaliada pelo método de comparações múltiplas (MONTGOMERY; RUNGER, 2009; SUPORTE AO MINITAB 17, 2016b).

O teste paramétrico t-Student, ou simplesmente teste *t*, foi usado para avaliar o efeito dos períodos e dos locais de coleta sobre os parâmetros de qualidade da água nos casos em que houve homogeneidade de variâncias (MONTGOMERY; RUNGER, 2009; SUPORTE AO MINITAB 17, 2016c). Para os casos em que as variâncias não apresentaram-se homogêneas, utilizou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney (SIEGEL; CASTELLAN JÚNIOR, 2006; SUPORTE AO MINITAB 17, 2016d; SUPORTE AO MINITAB, 2016e).

O teste Qui-Quadrado de independência foi utilizado para analisar a influência da variação do volume de água do reservatório da UHE de Nova Ponte nos parâmetros de qualidade da água (MORETTIN; BUSSAB, 2010; CONTI, 2011).

Para se obter informações sobre o comportamento ambiental das variáveis de qualidade da água, foram determinados os graus de correlações entre os valores das diversas variáveis de qualidade de águas segundo o coeficiente de correlação de Spearman (FIELD, 2009).

Para os dados reportados abaixo do limite de detecção do método de análise dos parâmetros de qualidade da água empregou-se a metade de tais valores na análise estatística. Todos os testes estatísticos foram realizados com um nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$). Os testes de normalidade, igualdade de variância, teste *t*, teste de Mann-Whitney e de correlação de Spearman foram realizados no software Minitab 17 (Minitab versão 17.3 trial, State College, USA). O teste Qui-Quadrado foi realizado no software Statistica (Statistica versão 12.0 trial, Dell StatSoft South America, USA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como pode-se observar na Tabela 2, a precipitação média e o volume útil médio do reservatório da UHE de Nova Ponte seguiram a mesma tendência de redução ao longo dos períodos analisados.

Tabela 2 - 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

Fonte: CEMIG (2016)

A Figura 3 apresenta as precipitações médias registradas nos meses de realização das amostragens.

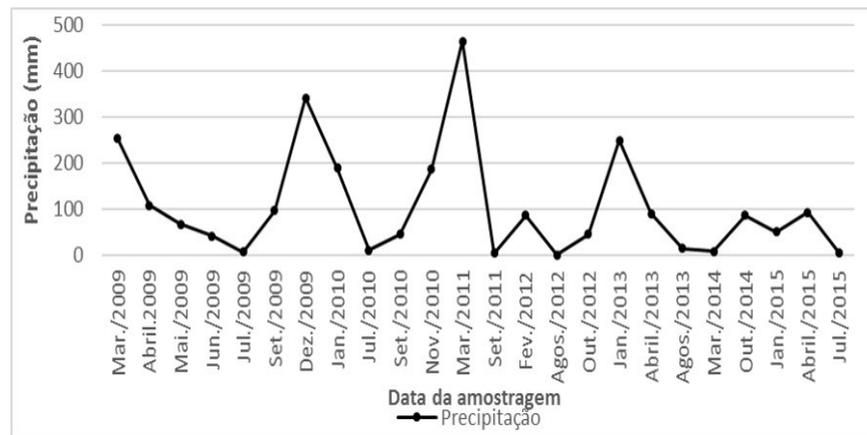


Figura 3 - Precipitação média mensal registrada na região do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte
Fonte: CEMIG (2016)

As Figuras 4 a 16 apresentam os gráficos das séries dos parâmetros de qualidade da água em cada um dos três pontos de amostragem no reservatório, ao longo de todas as campanhas de monitoramento (período de 2009 a 2015). Quando existentes, os padrões legais estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005 foram representados nos gráficos por meio de linha sólida.

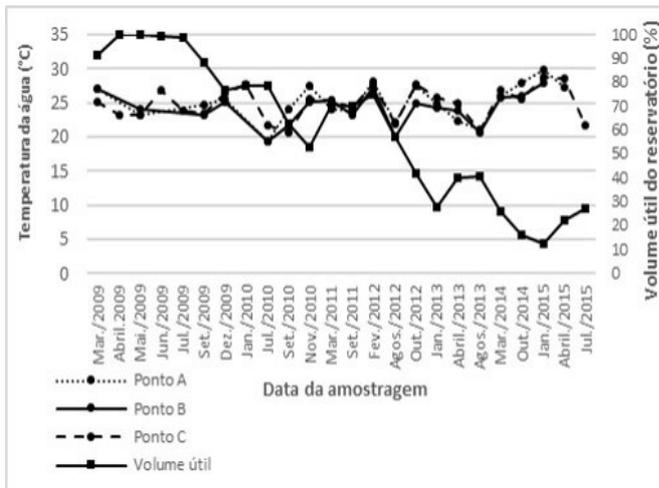


Figura 4- Evolução espaço-temporal da temperatura da água no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

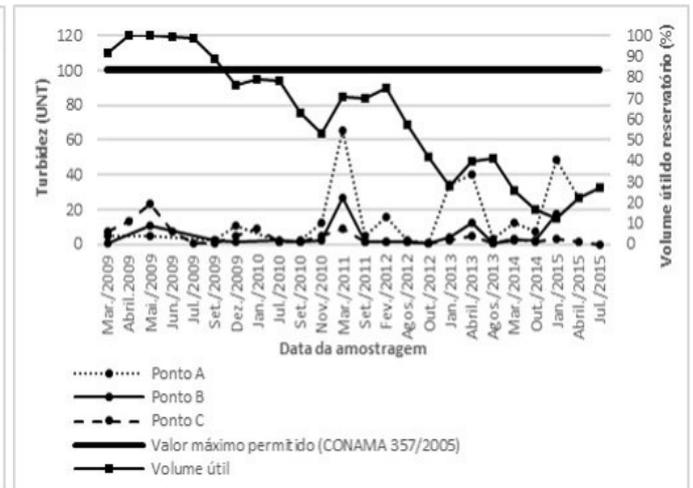


Figura 5 - Evolução espaço-temporal da turbidez no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

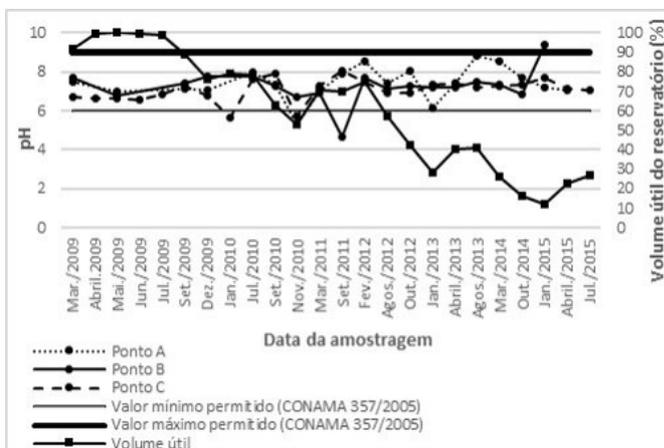


Figura 6 - Evolução espaço-temporal do pH da água no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

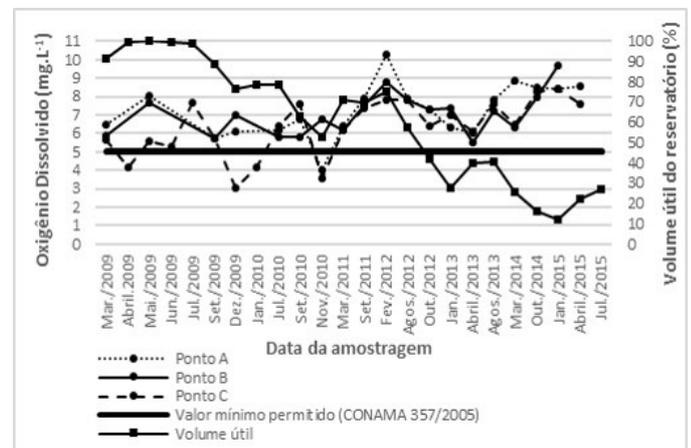


Figura 7- Evolução espaço-temporal do oxigênio dissolvido no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

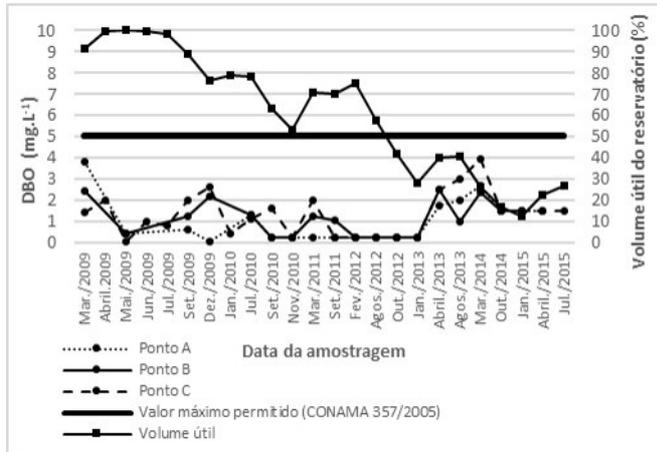


Figura 8 - Evolução espaço-temporal da DBO no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

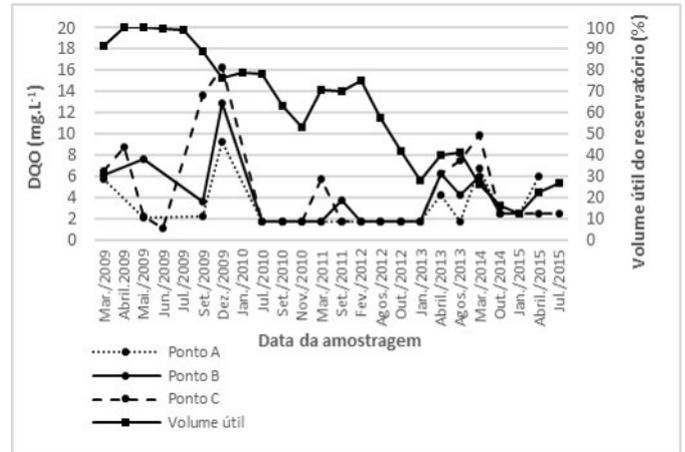


Figura 9 - Evolução espaço-temporal da DQO no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

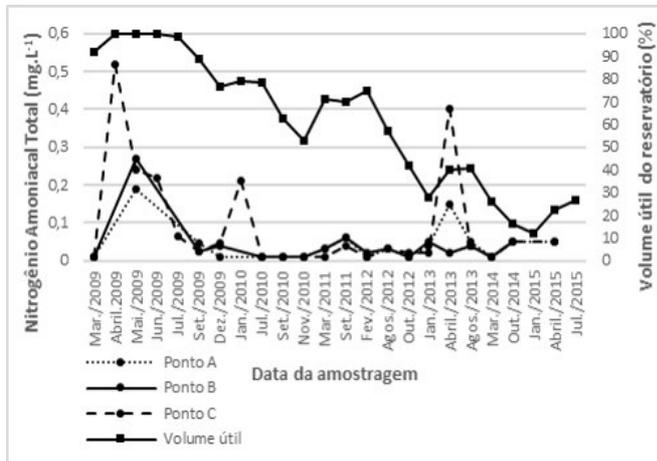


Figura 10 - Evolução espaço-temporal do nitrogênio amoniacal no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

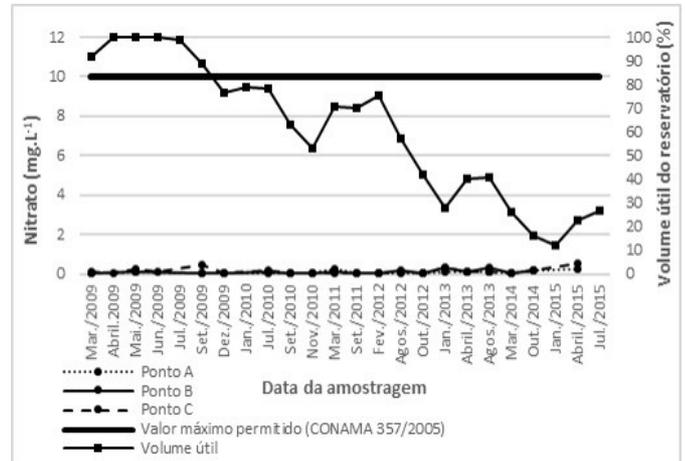


Figura 11 - Evolução espaço-temporal do nitrato no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

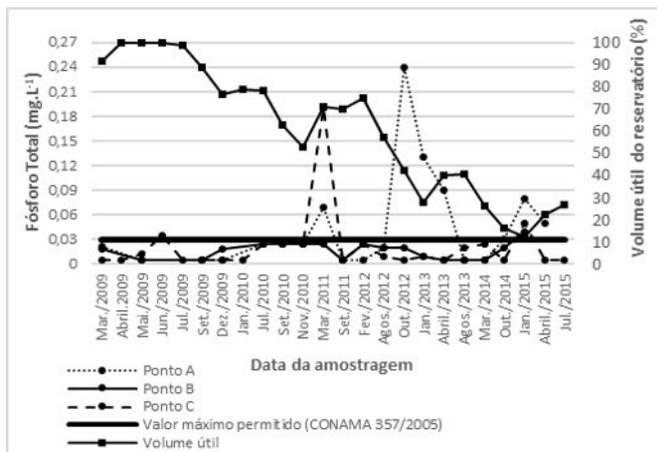


Figura 22 - Evolução espaço-temporal do fósforo total no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

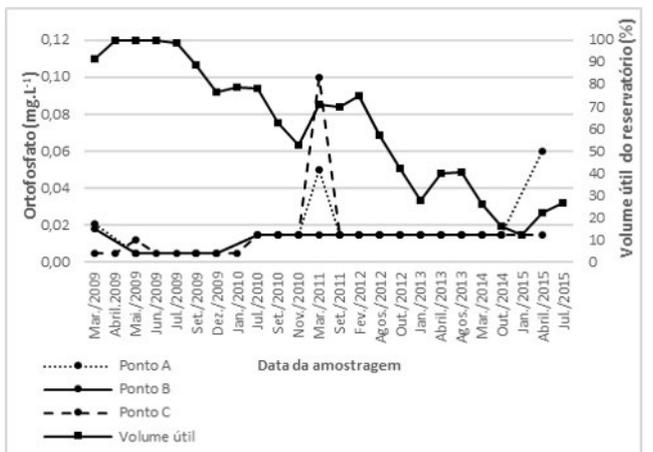


Figura 13 - Evolução espaço-temporal do ortofosfato no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

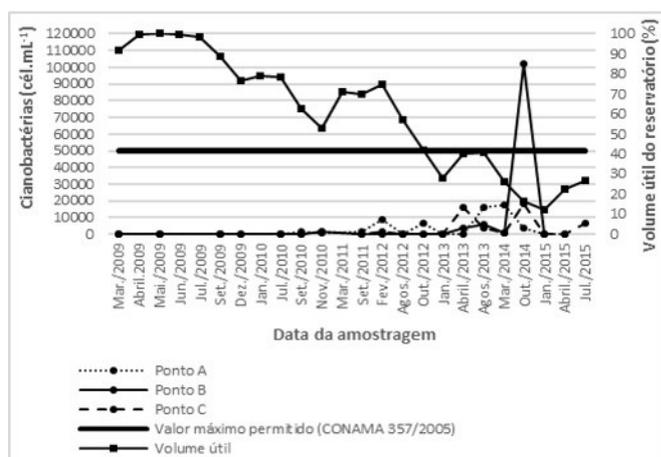


Figura 34 - Evolução espaço-temporal de cianobactérias no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

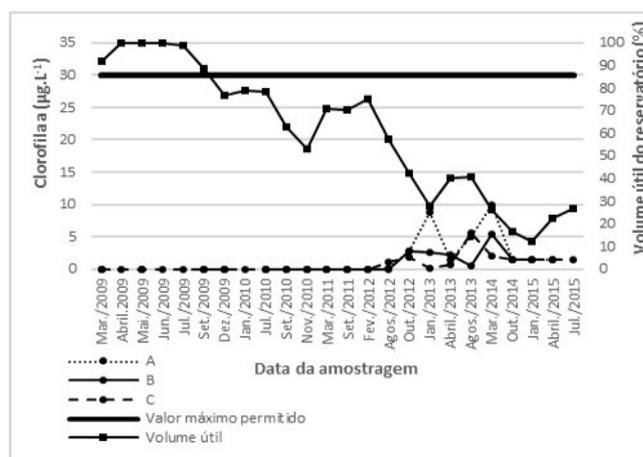


Figura 15 - Evolução espaço-temporal de clorofila a no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

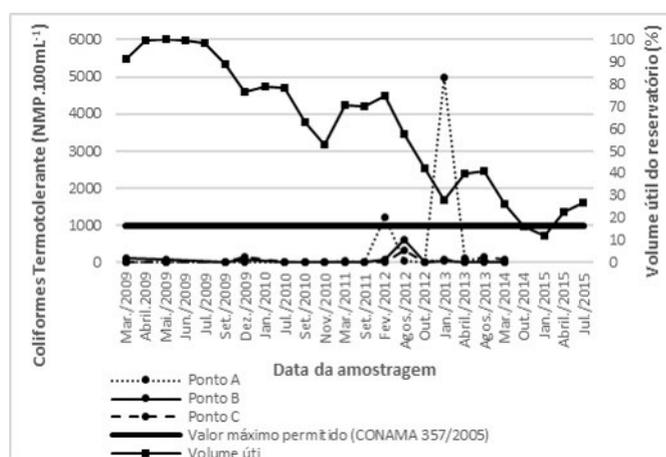


Figura 16 - Evolução espaço-temporal de coliformes termotolerantes no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Maiores valores de temperatura da água foram registrados nos meses mais quentes, entre outubro e março, enquanto os menores valores foram registrados nos meses mais frios, período de abril a setembro (Figura 4). Assim, a variabilidade entre as campanhas pode ser atribuída à influência do clima ao longo das estações, o que também foi constatado por Ruas (2006), Pedrazzi (2009) e Breda (2011) em estudos de qualidade de água de reservatórios.

O parâmetro temperatura da água não diferiu significativamente nos pontos de monitoramento (teste t, $p > 0,05$) e também não apresentou diferenças significativas entre os períodos analisados (teste t, $p > 0,05$). No entanto, a temperatura da água mostrou-se dependente da variação do volume útil do reservatório da UHE de Nova Ponte (teste Qui-Quadrado, $p < 0,05$). Quanto menor o volume do reservatório, maior tende a ser a temperatura da água, uma vez que a radiação solar pode atingir mais profundamente o corpo hídrico. Isto significa que uma maior proporção de volume é exposta à influência dos raios solares (von SPERLING, 1999). Tal fato foi observado por Lemos (2011) no reservatório Pereira de Miranda, localizado no semiárido brasileiro.

Valores mais elevados de turbidez foram registrados nas campanhas de março de 2011 nos três locais de monitoramento e de janeiro de 2013 no ponto A (Figura 5). Nestes períodos também foram registradas elevadas precipitações médias na região do reservatório (465 mm e 249 mm, respectivamente) (Figura 3). Esses níveis mais altos de turbidez provavelmente

ocorreram devido ao carreamento de partículas de solo para o reservatório pela ação da água das chuvas. Ruas (2006), Breda (2011) e Marques (2011) também encontraram valores mais altos de turbidez em reservatórios nas campanhas realizadas no período chuvoso.

Apesar do valor de turbidez em abril de 2013 e janeiro de 2015 no ponto A terem sido maiores que os registrados na maioria das outras campanhas, 40,0 UNT e 48,6 UNT, respectivamente (Figura 5), a precipitação nesses períodos foi baixa, 90 mm e 49 mm, respectivamente (Figura 3). De qualquer forma, todos os resultados de turbidez ficaram abaixo do limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces classe 2 (Figura 5).

Os valores de turbidez encontrados no ponto de monitoramento A foram maiores que os encontrados nos pontos de monitoramento B e C (teste Mann-Whitney, $p < 0,05$). Tal fato pode ser atribuído à localização dos pontos. O ponto A localiza-se mais distante do barramento que os pontos B e C. A medida que se aproxima do barramento, a turbidez diminui em função do aumento da capacidade de sedimentação dos sólidos existentes na coluna d'água, pois características mais lânticas favorecem a ocorrência de tal processo. O mesmo padrão foi encontrado nos estudos desenvolvidos em reservatórios de usinas hidrelétricas reportados por Ruas (2006) e Silva et al. (2009).

O parâmetro turbidez não apresentou diferenças significativas entre os períodos analisados (teste t, $p > 0,05$; teste Mann-Whitney, $p > 0,05$). Esperava-se que o volume do reservatório influenciasse o parâmetro turbidez em função do fator de diluição. Entretanto, a turbidez mostrou-se independente da variação do volume útil do reservatório (teste Qui-Quadrado, $p > 0,05$). Isso pode ser justificado pelo fato que, apesar de um menor volume de água contribuir para o aumento da concentração de sólidos responsáveis pela turbidez, um menor volume de água pode também estar relacionado a uma menor incidência de chuvas na bacia, o que acarretaria um menor carreamento das partículas do solo para o reservatório. Estes efeitos opostos podem ter contribuído para a não detecção da influência do volume do reservatório na turbidez.

De uma forma geral, os valores de pH no reservatório da UHE de Nova Ponte variaram pouco ao longo do tempo, apresentando-se, em média, dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (pH entre 6,0 e 9,0) (Figura 6). No entanto, alguns valores extrapolaram esses limites. Valores abaixo do limite foram observados no ponto A em novembro de 2010 (5,3), no ponto B em setembro de 2011 (4,7) e no ponto C em janeiro de 2010 (5,6) e novembro de 2010 (5,7). Apenas o ponto B em janeiro de 2015 (9,4) apresentou-se acima do limite legal (Figura 6).

Observou-se um comportamento semelhante de variações de pH ao longo da rede amostral (teste t, $p > 0,05$). A média de pH no período de 2009-2010 (7,0) foi menor que no período de 2013-2014-2015 (7,5) (teste t, $p < 0,05$). O pH pode ter apresentado valores mais elevados no último período de análise em função da maior presença de cianobactérias registrada no reservatório neste período (Figura 14), que ao realizarem fotossíntese sequestram o gás carbônico do meio. Tal fato também corrobora com os maiores valores de clorofila a encontrados no último período de análise (Figura 15), indicando o aumento da produtividade primária como um todo no reservatório. Esta constatação é reforçada pela correlação positiva significativa entre os resultados de pH e de ortofosfato ($r = 0,324$) e de ortofosfato e clorofila a ($r = 0,329$) (teste Correlação de Spearman, $p < 0,05$).

Além desses fatores, um menor volume de água no reservatório no último período de análise pode ter elevado a concentração de substâncias básicas no corpo d'água contribuindo também para essa elevação do pH. De fato, o pH da água mostrou-se dependente da variação do volume útil do reservatório da UHE de Nova Ponte (teste Qui-Quadrado, $p < 0,05$). Granado; Henry e Tucci (2009) também encontraram valores maiores de pH quando o nível de água da Lagoa do Camargo (SP) estava mais baixo.

De uma forma geral, o reservatório da UHE de Nova Ponte apresentou águas bem oxigenadas, atendendo ao limite mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (5 mg.L⁻¹) em 83% das campanhas de monitoramento (Figura 7). Elevadas concentrações de oxigênio dissolvido foram encontradas nas amostragens de fevereiro de 2012 (ponto A= 10,3 mg.L⁻¹; ponto B= 8,8 mg.L⁻¹ e ponto C= 7,8 mg.L⁻¹) e janeiro de 2015 (ponto A= 8,5 mg.L⁻¹; ponto B= 9,7 mg.L⁻¹ e ponto C= 8,4 mg.L⁻¹).

Já os menores valores foram encontrados em dezembro de 2009 no ponto C (3,1 mg.L⁻¹) e em novembro de 2010 nos pontos A (4,0 mg.L⁻¹) e C (3,6 mg.L⁻¹) (Figura 7). Percebe-se através da Figura 3 que as precipitações em fevereiro de 2012 (85 mm) e janeiro de 2015 (49 mm) foram bem menores que as precipitações em dezembro de 2009 (341 mm) e em novembro de 2010 (186 mm). Uma precipitação mais elevada pode resultar em um maior aporte de matéria orgânica para a água, proveniente do escoamento superficial na bacia de drenagem, contribuindo assim para a redução do OD no reservatório. Tal fato também foi constatado por Breda (2011) ao estudar a qualidade da água do reservatório da UHE de Funil.

O parâmetro OD não apresentou diferenças significativas entre os três pontos de monitoramento (teste t, $p > 0,05$). A concentração média de OD no período de 2009-2010 (5,9 mg.L⁻¹) foi significativamente menor que as concentrações médias registradas nos outros dois períodos (7,5 mg.L⁻¹) (teste t, $p < 0,05$). Tal fato pode ser explicado pela maior entrada de cargas poluidoras no reservatório devido à maior incidência de chuvas no período de 2009-2010 (Tabela 2), consumindo assim OD para degradação da matéria orgânica.

A concentração de OD mostrou-se dependente do volume do reservatório (teste Qui-Quadrado, $p < 0,05$). De uma forma geral, a redução do volume pode aumentar a concentração de matéria orgânica e nutrientes em função do menor fator de diluição, resultando em um maior consumo de OD. Baixos volumes também podem contribuir para que a temperatura da água se eleve, reduzindo a capacidade de dissolução de oxigênio na água (MEES, 2016).

No entanto, ao mesmo tempo, tais fatores podem conduzir a um aumento da produtividade primária e, conseqüentemente, maior oxigenação do meio (von SPERLING, 1999; RUAS, 2006). A dinâmica da concentração de OD envolve vários fatores sendo bastante complexa. No caso da UHE de Nova Ponte, o aumento da produtividade primária com a diminuição do volume do reservatório parece estar contribuindo fortemente para aumentar as concentrações de OD (Figura 14; Figura 15). Esta premissa é reforçada pelas correlações positivas significativas entre OD e ortofosfato ($r=0,305$) e entre OD e clorofila a ($r=0,435$) (teste Correlação de Spearman, $p < 0,05$).

Em nenhuma campanha de monitoramento foi registrada concentração de DBO acima do limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (5 mg.L⁻¹) no reservatório da UHE de Nova Ponte (Figura 8). Valores mais elevados de DBO em relação às outras campanhas foram encontrados nas amostragens referentes a períodos chuvosos, como março de 2009 nos pontos A (3,8 mg.L⁻¹) e B (2,4 mg.L⁻¹) e em dezembro de 2009 nos pontos B (2,2 mg.L⁻¹) e C (2,6 mg.L⁻¹) (Figura 8).

Estes resultados podem estar relacionadas à poluição orgânica advinda do escoamento superficial, considerando que as precipitações registradas em março de 2009 (253 mm) e dezembro 2009 (341 mm) foram mais elevadas comparadas à maioria das campanhas (Figura 3). Pode-se observar exceções, como a amostragem realizada em abril de 2013 no ponto C (2,5 mg.L⁻¹) e em março de 2014 nos pontos A (2,7 mg.L⁻¹), B (2,4 mg.L⁻¹) e C (3,9 mg.L⁻¹), onde ocorreram elevações na DBO embora a precipitação tenha sido baixa. Em abril de 2013 a precipitação registrada foi 90 mm e em março de 2014 a precipitação foi de apenas 7 mm (Figura 3). A elevação da DBO em períodos de estiagem pode estar relacionada ao menor efeito diluidor e aos processos de decomposição (BUZELLI; SANTINO, 2013). Breda (2011) também encontrou valores altos de DBO em períodos secos ao estudar a qualidade da água do reservatório da UHE de Funil.

O parâmetro DBO não apresentou diferenças significativas nos três pontos de monitoramento (teste t, $p>0,05$). As concentrações médias de DBO foram maiores no último período de monitoramento (2013-2014-2015: $1,7 \text{ mg.L}^{-1}$) comparadas aos períodos anteriores (2011-2012: $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$; 2009-2010: $1,1 \text{ mg.L}^{-1}$) (teste t, $p<0,05$). Isto provavelmente ocorreu devido à redução do volume do reservatório, que pode ter contribuído para aumentar a concentração de compostos orgânicos na água em função da menor diluição. De fato, o teste Qui-Quadrado indicou que o volume do reservatório influencia nas concentrações de DBO no reservatório da UHE de Nova Ponte (teste Qui-Quadrado, $p<0,05$).

Concentrações mais elevadas de DQO em relação à maioria das campanhas também foram encontradas nas campanhas realizadas em períodos chuvosos, como em março de 2009 nos pontos A ($5,7 \text{ mg.L}^{-1}$), B ($6,1 \text{ mg.L}^{-1}$) e C ($6,5 \text{ mg.L}^{-1}$) e dezembro de 2009 nos pontos A ($9,2 \text{ mg.L}^{-1}$), B ($12,9 \text{ mg.L}^{-1}$) e C ($16,2 \text{ mg.L}^{-1}$) (Figura 9). Assim como observado para a DBO, essas elevações podem estar relacionadas ao carreamento de matéria orgânica advinda do escoamento superficial na bacia hidrográfica do reservatório. Também pôde-se observar as mesmas exceções observadas para a DBO, como a amostragem realizada em abril de 2013 nos pontos C e B ($6,2 \text{ mg.L}^{-1}$) e em março de 2014 nos pontos A ($6,7 \text{ mg.L}^{-1}$), B ($5,9 \text{ mg.L}^{-1}$) e C ($9,9 \text{ mg.L}^{-1}$), onde ocorreram elevações na DQO embora a precipitação tenha sido baixa. A elevação da DQO em períodos de estiagem também pode estar relacionada ao menor efeito diluidor. Breda (2011) também encontrou valores altos de DQO em períodos secos ao estudar a qualidade da água do reservatório da UHE de Funil.

Apesar dos picos de elevações nas concentrações de DQO mostrados na Figura 9, os níveis de DQO no reservatório da UHE de Nova Ponte são considerados baixos. De uma forma geral, concentrações de DQO em superfícies de águas não poluídas são menores que 20 mg.L^{-1} (CHAPMAN; KIMSTACH, 1992).

Não houve diferenças significativas nas concentrações de DQO entre os pontos de monitoramento (teste t, $p>0,05$). As concentrações de DQO registradas foram mais baixas no segundo período de análise (2011-2012: $2,1 \text{ mg.L}^{-1}$) que nos demais períodos (2009-2010: $4,9 \text{ mg.L}^{-1}$; 2013-2014-2015: $4,0 \text{ mg.L}^{-1}$) (teste Mann-Whitney, $p<0,05$). Tal fato pode ser justificado pelos vários resultados de DQO abaixo do limite de detecção observados no período 2011-2012 (Figura 9). Tanto o primeiro período de análise (2009-2010) quanto o último (2013-2014-2015) apresentaram valores mais elevados, seja pela interferência de maiores precipitações, como no caso do primeiro período, ou pelo menor efeito diluidor, como no caso do último período. Estes fatores podem ter contribuído para não evidenciar, em todas as campanhas de amostragem, efeito do volume do reservatório nos níveis de DQO (teste Qui-Quadrado, $p>0,05$).

Observa-se na Figura 10 algumas variações nas concentrações de nitrogênio amoniacal ao longo das campanhas de monitoramento. Alguns valores mais elevados em relação às outras campanhas foram registrados no ponto C em abril de 2009 ($0,52 \text{ mg.L}^{-1}$), em maio de 2009 nos pontos A ($0,19 \text{ mg.L}^{-1}$), B ($0,27 \text{ mg.L}^{-1}$) e C ($0,24 \text{ mg.L}^{-1}$), em junho de 2009 no ponto C ($0,22 \text{ mg.L}^{-1}$), em janeiro de 2010 no ponto C ($0,21 \text{ mg.L}^{-1}$) e em abril de 2013 nos pontos A ($0,15 \text{ mg.L}^{-1}$) e C ($0,40 \text{ mg.L}^{-1}$). Mesmo com esses valores mais elevados, em nenhuma amostragem a concentração de nitrogênio amoniacal apresentou-se acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005. De uma forma geral, a concentração de nitrogênio amoniacal no reservatório da UHE de Nova Ponte apresentou-se baixa nos monitoramentos, sendo na maioria dos casos inferior a $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$, indicando condições de águas não poluídas (UNESCO/WHO/UNEP, 1996). Valores baixos de nitrogênio amoniacal total ($0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$) também foram encontrados por Flauzino (2014) ao analisar a qualidade da água no reservatório da UHE de Nova Ponte.

Não houve diferenças significativas entre as concentrações de nitrogênio amoniacal nos três pontos de monitoramento (teste t, $p>0,05$) nem entre os períodos analisados (teste Mann-

Whitney, $p > 0,05$; teste t, $p > 0,05$). Além disso, o nitrogênio amoniacal mostrou-se independente do volume de água do reservatório (teste Qui-Quadrado, $p > 0,05$).

As concentrações de nitrato mantiveram-se baixas em todas as campanhas de monitoramento, bem abaixo do limite máximo estabelecido na Resolução CONAMA nº 357/2005 (Figura 11). O valor máximo de nitrato observado no reservatório da UHE de Nova Ponte foi de $0,50 \text{ mg.L}^{-1}$. De uma forma geral, os nitratos aparecem em pequenas quantidades em águas superficiais. Valores superiores a 5 mg.L^{-1} demonstram condições sanitárias inadequadas do corpo hídrico (RUAS, 2006), o que não foi observado neste estudo. Valores baixos de nitrato ($0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ a $2,30 \text{ mg.L}^{-1}$) também foram encontrados em várias campanhas de monitoramento realizadas por Flauzino (2014) ao analisar a qualidade da água nos reservatórios das UHEs de Nova Ponte e Miranda.

As concentrações médias de nitrato observadas apresentaram-se semelhantes nos pontos monitorados (teste t, $p > 0,05$). A concentração média de nitrato no último período de análise (2013-2014-2015) ($0,16 \text{ mg.L}^{-1}$) apresentou-se significativamente maior que as concentrações nos demais períodos (2009-2010: $0,08 \text{ mg.L}^{-1}$; 2011-2012: $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$) (Teste t, $p < 0,05$). Este fato pode estar relacionado ao menor volume útil do reservatório registrado no último período de análise, resultando em concentrações mais elevadas devido ao menor fator de diluição. Granado; Henry e Tucci (2009), ao estudarem a Lagoa do Camargo (SP), também encontraram maiores valores de nitrato quando o volume de água da lagoa estava menor. Pelo teste Qui-Quadrado o nitrato mostrou-se dependente do volume de água do reservatório (teste Qui-Quadrado, $p < 0,05$), corroborando com o resultado explicado acima.

Concentrações de fósforo total no reservatório da UHE de Nova Ponte acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 ($0,03 \text{ mg.L}^{-1}$) foram encontradas nas seguintes campanhas e locais: março de 2011 nos pontos A ($0,07 \text{ mg.L}^{-1}$) e C ($0,19 \text{ mg.L}^{-1}$); no ponto A em outubro de 2012 ($0,24 \text{ mg.L}^{-1}$), em janeiro de 2013 ($0,13 \text{ mg.L}^{-1}$) e em abril de 2013 ($0,09 \text{ mg.L}^{-1}$); e em janeiro de 2015 nos pontos A ($0,08 \text{ mg.L}^{-1}$), B ($0,04 \text{ mg.L}^{-1}$) e C ($0,05 \text{ mg.L}^{-1}$) (Figura 12).

As concentrações elevadas de fósforo total em março de 2011 e em janeiro de 2013 podem estar relacionadas ao carreamento de fertilizantes provenientes da bacia hidrográfica do reservatório no período chuvoso, considerando que na área de estudo desenvolvem-se práticas agrícolas com o uso de insumos e defensivos (CARRIJO, 2003; BRANDT MEIO AMBIENTE, 2016).

Em março de 2011 foi registrada no local de estudo uma precipitação de 465 mm e em janeiro de 2013 uma precipitação de 249 mm, bem maiores que a média mensal de 105 mm observada para todo o período de monitoramento (Figura 3). Os valores mais elevados de fósforo total no ponto A nas campanhas de outubro de 2012, abril de 2013 e janeiro de 2015 (Figura 12) podem estar relacionados à poluição de origem sanitária proveniente do rio Capivara (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2015) (Figura 2), que pode ter sido concentrada em função da redução da precipitação nos meses monitorados (Figura 3).

Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de fósforo total nos três pontos de monitoramento (teste Mann-Whitney, $p > 0,05$; teste t, $p > 0,05$) nem entre os períodos de análises (teste Mann-Whitney, $p > 0,05$; teste t, $p > 0,05$).

Esperava-se que a redução do volume de água do reservatório da UHE de Nova Ponte influenciasse no aumento da concentração de fósforo total, em função do menor efeito de diluição e de uma possível disponibilização do fósforo presente nos sedimentos do reservatório. No estudo feito por Lemos (2011) no reservatório Pereira de Miranda, o fósforo total mostrou-se dependente do volume de água do reservatório. Embora o fósforo apresente um ciclo complexo que depende de outros fatores, este parâmetro mostrou-se independente da variação do volume útil do reservatório da UHE de Nova Ponte (teste Qui-Quadrado, $p > 0,05$).

De um modo geral, as concentrações de ortofosfato observadas no reservatório da UHE

de Nova Ponte foram baixas (Figura 13). Em ecossistemas aquáticos tropicais a concentração de ortofosfato geralmente é muito baixa, devido a rápida assimilação e incorporação à biomassa (ESTEVEZ, 2011). Apenas em março de 2011 (ponto A: $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ e ponto C: $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$) e em abril de 2015 (ponto A: $0,06 \text{ mg.L}^{-1}$) os valores de ortofosfato apresentaram-se mais altos. A elevação da concentração de ortofosfato em março de 2011, conforme observado para o parâmetro fósforo total, pode estar relacionada ao carreamento de fertilizantes utilizados em práticas agrícolas no período chuvoso (CARRIJO, 2003; BRANDT MEIO AMBIENTE, 2016) (Figura 3).

Já em abril de 2015, a maior concentração de ortofosfato, apesar de ter sido registrada somente em um ponto, pode estar relacionada ao menor fator de diluição do reservatório (Figura 13). Esse incremento de ortofosfato nesse período pode ter contribuído para o crescimento de macrófitas de diversas espécies no reservatório da UHE de Nova Ponte, tais como *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Limnobium laevigatum* (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2015).

Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de ortofosfato entre os três pontos de monitoramento (teste t, $p > 0,05$). A concentração média de ortofosfato observada no período de 2009-2010 ($0,01 \text{ mg.L}^{-1}$) foi menor que as médias observadas nos períodos entre 2011-2012 e 2013-2014-2015 (ambas $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$) (teste t, $p < 0,05$). Tal situação pode estar relacionada ao maior volume de água registrado no reservatório no primeiro período de análise, 81,1%, (Tabela 2), o que pode ter contribuído para uma maior diluição deste parâmetro. De fato, a concentração de ortofosfato depende do volume do reservatório da UHE de Nova Ponte (teste Qui-Quadrado, $p < 0,05$).

A densidade de cianobactérias no reservatório da UHE de Nova Ponte manteve-se baixa em quase todas as campanhas de monitoramento, apresentando apenas um valor acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 ($50.000 \text{ cel.mL}^{-1}$) (ponto B, em outubro de 2014: $102.453 \text{ cel.mL}^{-1}$) (Figura 14). Apesar desse resultado elevado, não houve diferenças significativas nas concentrações de cianobactérias entre os três pontos de monitoramento (teste t, $p > 0,05$). No entanto, foram observadas diferenças significativas nas concentrações de cianobactérias entre o primeiro período de análise (2009-2010: 341 cel.mL^{-1}) e o último período (2013-2014-2015: $9.354 \text{ cel.mL}^{-1}$) (teste Mann-Whitney, $p < 0,05$).

Provavelmente esta diferença foi influenciada pelo elevado valor registrado na amostragem de outubro de 2014 (Figura 14). Não foi observada relação de dependência da densidade de cianobactérias com o volume do reservatório da UHE de Nova Ponte (teste Qui-Quadrado, $p > 0,05$).

A concentração de clorofila a no reservatório da UHE de Nova Ponte manteve-se abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 ($30 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$) em todas as campanhas de monitoramento (Figura 15). Valores um pouco mais elevados em relação aos outros resultados foram observados no ponto A nas amostragens de janeiro de 2013 ($8,72 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$) e março de 2014 ($10,01 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$) (Figura 15). Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de clorofila a entre os pontos de monitoramento (teste t, $p > 0,05$).

Foram observadas concentrações maiores de clorofila a no último período de análise (2013-2014-2015: $2,75 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$) comparadas com o segundo período (2011-2012: $0,56 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$) (teste t, $p < 0,05$). Esta diferença pode estar relacionada ao menor volume útil de água registrado no reservatório no último período analisado (26,2%, Tabela 2). Esta observação é reforçada pelo teste Qui-Quadrado, que mostrou que o parâmetro clorofila a depende do volume de água do reservatório da UHE de Nova Ponte (teste Qui-Quadrado, $p < 0,05$). Com a redução do volume de água, a capacidade de diluição torna-se menor, com possibilidade de aumentar a concentração de nutrientes e a temperatura da água. Esses fatores podem implicar no aumento da produtividade primária do reservatório (von SPERLING, 1999; RUAS, 2006) e consequentemente aumentar sua concentração de clorofila a.

Os valores de coliformes termotolerantes mantiveram-se baixos no reservatório da UHE

de Nova Ponte em quase todas as campanhas de monitoramento, com exceção das amostragens realizadas no ponto A em fevereiro de 2012 ($1.200 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$) e em janeiro de 2013 ($5.000 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$), que ultrapassaram o limite máximo estabelecido na Resolução CONAMA n° 357/2005 (Figura 16). Este alto nível de coliformes termotolerantes registrado em janeiro de 2013 no ponto A pode estar relacionado com a precipitação elevada registrada nessa campanha (249 mm) (Figura 3), que pode ter aumentado o carreamento de excrementos fecais para dentro do reservatório, principalmente aqueles advindos do rio Capivara (Figura 2).

O ponto A sofre influência da vazão afluyente proveniente do Rio Capivara que recebe fontes de poluição de origem sanitária (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2015). Por esse fato, esperava-se que a concentração de coliformes termotolerantes fosse maior nesse ponto que nos demais. No entanto, não houve diferenças significativas nas concentrações de coliformes termotolerantes entre os pontos de monitoramento (teste Mann-Whitney, $p > 0,05$; teste t, $p > 0,05$). Em relação aos períodos, foram observadas concentrações médias de coliformes termotolerantes menores no primeiro período (2009-2010: $25 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$) em comparação com o último período de análise (2013-2014-2015: $459 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$) (teste Mann-Whitney, $p < 0,05$). Provavelmente essa diferença foi influenciada pelo pico apresentado no ponto A na campanha de janeiro de 2013 e pela ausência de coliformes termotolerantes, em várias campanhas durante os anos de 2009 e 2010 (Figura 16). Apesar do parâmetro coliformes termotolerantes ter apresentado diferenças entre o primeiro e o último período de análises, o teste Qui-Quadrado não mostrou relação de dependência com o volume do reservatório (teste Qui-Quadrado, $p > 0,05$).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

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 afluyente proveniente do Rio Capivara e que localiza-se mais distante do barramento, apresentou maiores valores de turbidez em relação aos outros pontos de monitoramento no reservatório.

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), 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 do reservatório em todas as campanhas realizadas.

A 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.

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 n° 357/2005 na maioria das campanhas de monitoramento. Algumas poucas exceções foram registradas para os parâmetros pH, oxigênio dissolvido, fósforo total, cianobactérias e coliformes termotolerantes. No geral, a qualidade da água do reservatório manteve-se em boas condições ao longo do período estudado, não representando maiores riscos aos usos múltiplos de suas águas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, E.C.; SILVA, C.F.; COSSICH, E.S.; TAVARES, C.R.G.; FILHO, E.E.S.; CARNIELA, A. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó – Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Acta Sci. Technol.** Maringá, v. 30, n. 1, p. 39-48, 2008.
- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22º ed. New York: American Public Health Association, 2012, 1360 p.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERZWA, J.C.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005, 318 p.
- BRANDT MEIO AMBIENTE. **Relatório do monitoramento da qualidade das águas da UHE Nova Ponte**. Campanha de referência: outubro de 2014, janeiro, abril e julho de 2015. Nova Lima: 2015.
- BRANDT MEIO AMBIENTE. **Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial UHE Nova Ponte**. Cemig Geração e Transmissão S.A. Volume IV. Nova Lima: 2016.
- 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. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459> >. Acessado em: 21 agosto. 2018.
- BREDA, L. S. **Avaliação Espaço - Temporal da Qualidade da Água do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Funil – Região Sul de Minas Gerais**. 2011. 294 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da UFMG. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013.
- CARRIJO, B. R. Cartografia geomorfológica com base em níveis de dissecação do relevo no médio curso do rio Araguari-MG. **Caminhos de Geografia**, v. 4, n. 10, p. 41-59, 2003.
- 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, 2006, 304 p.
- 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.
- CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **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.
- CHAPMAN, D.; KIMSTACH, V. **The selection of water quality variables**. In: CHAPMAN, D. (Org.). **Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring**. 1st ed. Cambridge, Great Britain: University Press, 1992.
- CONTI, F. **Biometria: Qui Quadrado**. UFPA, 2011. Disponível em: <<http://www.ufpa.br/dicas/biome/bioqui.htm>>. Acessado em: 20 abril.2016.
- CRUZ, I. F. da. **Efeitos da formação e operação de um reservatório de pequena regularização na alteração da qualidade da água e do regime hidrológico na planície de inundação do pantanal**. 2012. 85f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

- ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011, 826 p.
- FARIAS, M.S.S. **Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Cabelo**. 2006. 152p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2006.
- FIELD, A.P. **Discovering statistics using SPSS**. 30 ed. London: Sage, 2009, 821 p.
- FLAUZINO, F. S. **Qualidade da Água e dos Sedimentos nos Reservatórios das Usinas Hidrelétricas de Nova Ponte e Miranda – Minas Gerais**. 2014. 145f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geografia. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.
- FONTENELE, S.B.; ANDRADE, E. M.; SALGADO, E.V.; MEIRELES, A.C.M.; SABIÁ, R. J. Análise espaço-temporal da qualidade da água na parte alta da bacia do rio salgado, Ceará. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 102-109, 2011.
- GRANADO, D. C.; HENRY, R.; TUCCI, A. Influência da variação do nível hidrométrico na comunidade fitoplanctônica do Rio Paranapanema e de uma lagoa marginal na zona de desembocadura na Represa de Jurumirim (SP). **Hoehnea**, v. 36, n. 1, p. 113-129, 2009.
- IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Portal dos Comitês de Bacia – MG. PN2 – Enquadramento**, 2012. Disponível em: <<http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais/bacia-do-rio-paranaiba/pn2-cbh-do-rio-araguari/1542-pn2-enquadramento>>. Acessado em: 11 abril. 2016.
- LEMONS, W. E. D. **Monitoramento e Gestão da Qualidade da Água em Reservatórios Incorporando Processos Hidrodinâmicos e Climáticos de Regiões Tropicais Semiáridas**. 2011. 150p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.
- MARQUES, A. K. **Avaliação da qualidade da água da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande e da área de sua influência no reservatório da Usina Hidroelétrica Luis Eduardo Magalhães, TO**. 2011. 175p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- MEES, A. Projeto Água: conhecimento para gestão. Curso modalidade ensino a distância: **Qualidade de água em reservatórios**. Unidade 1: Reservatórios. 2016.
- MINAS GERAIS. Sistema Integrado de Informação Ambiental. Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. 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 do Executivo**, Minas Gerais, 13 mai. 2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acessado em: 21 agosto. 2018.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Secretaria de Energia Elétrica. Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro. Dezembro – 2016**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3308684/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+Dezembro-2016.pdf/f6b5284d-4105-4b79-a030-31755664721a>>. Acessado em: 26 março. 2016.
- MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Estatística aplicada a probabilidade para engenheiros**. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009, 493 p.
- MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística Básica**. 6 ed. São Paulo: Saraiva, 2010, 540 p.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. **Volume Útil dos Principais Reservatórios**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/historico/percentual_volume_util.aspx>. Acessado em: 26 mar. 2016.
- PEDRAZZI, F. J. M. **Avaliação da qualidade da água do reservatório de Itupararanga, bacia do Alto Sorocaba (SP)**. 2009. 87f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

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. 280p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SIEGEL, S.; CASTELLAN JÚNIOR, N. J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006, 448 p. (Série Métodos de Pesquisa).

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.

SISÁGUA - SISTEMA DE INFORMAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS DA CEMIG. **Companhia Energética de Minas Gerais**. 2015. Disponível em: <<http://www2.cemig.com.br/sag/>>. Acessado em: 27 setembro. 2015

SOUZA, G. A. **Avaliação espaço-temporal da qualidade da água da Usina Hidrelétrica de Irapé**. 2014. 69p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SUPORTE AO MINITAB 17. **Teste de normalidade**. 2016a. Disponível em: < <http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductory-concepts/normality/test-for-normality/> >. Acessado em: 20 abril.2016.

SUPORTE AO MINITAB 17. **Teste para variâncias iguais**. 2016b. Disponível em: <<http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/anova/basics/understanding-test-for-equal-variances/>>. Acessado em: 20 abril. 2016.

SUPORTE AO MINITAB 17. **Por que usar um teste t para duas amostras?** 2016c. Disponível em :<<http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/hypothesis-tests/tests-of-means/why-use-2-sample-t/>>. Acessado em: 20 abril. 2016.

SUPORTE AO MINITAB 17. **O que fazer com dados não normais**. 2016d. Disponível em: <<http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductory-concepts/normality/what-to-do-with-nonnormal-data/>>. Acessado em: 20 abril. 2016.

SUPORTE AO MINITAB 17. **Por que devo usar um teste Mann-Whitney?** 2016e. Disponível em: <<http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/hypothesis-tests/nonparametrics-tests/why-use-mann-whitney/>>. Acessado em: 03 maio. 2016.

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.

UNESCO/WHO/UNEP. **Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring**. 2 ed. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization and United Nations Environment Programme. London: F & FN Spon, 1996. 651p.

VIANA, D.T.; CRITOFARO, C.; LEÃO, M.M.D.; OLIVEIRA, S.M.A.C. Análise da qualidade da água no reservatório da UHE Nova Ponte utilizando ferramentas estatísticas multivariadas. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 20. 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

VIANA, D. T. **Análise do banco de dados de qualidade da água da UHE Nova Ponte/MG através da aplicação de ferramentas estatísticas**. 2014. 97p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da UFMG. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

VON SPERLING, E. **Morfologia de Lagos e Represas**. Belo Horizonte: UFMG, 1999, 137 p.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade da água e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014, 472 p.