

## Influência do volume útil de um reservatório tropical sobre as variáveis limnológicas e suas respectivas variabilidades

Influence of useful volume of a tropical reservoir on limnological variables and their respective variability

Influencia del volumen útil de un reservorio tropical en variables limnológicas y su respectiva variabilidad

Thainá Desiree Franco dos Reis<sup>1</sup>; Juliana da Silva Leal<sup>2</sup>; Odila Rigolin de Sá<sup>3</sup>

**Resumo:** Em ambientes lênticos as oscilações do nível da água podem alterar características físico-químicas do ecossistema. Sabe-se que o aporte hídrico das chuvas é um fator determinante para o volume útil e, portanto, alterações em seu regime o afeta diretamente. Os objetivos deste estudo foram: avaliar a influência do nível volume útil (VU) da Usina Hidroelétrica de Furnas sobre seus parâmetros limnológicos e, como alterações no VU podem afetar a variabilidade de suas variáveis, em anos com características climáticas típicas da região (TP) e atípicas (ATP). Foram utilizados dados limnológicos de dois pontos BG019 (p1) e BG051 (p2) entre os anos 2008 e 2015, obtidos em bases disponibilizadas por órgãos ambientais competentes. Foram realizadas correlações de Spearman, para cada ponto entre a porcentagem de VU e as seguintes variáveis: concentração de clorofila-a, coliformes totais e fecais, condutividade, cor da água, carbonato de cálcio, DQO, estreptococos fecais e as concentrações de fósforo total, nitrato, nitrito, nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido, potássio solúvel, sólidos dissolvidos totais, sólidos em suspensão totais, sólidos totais, pH, turbidez e temperatura. Também foi calculada a amplitude das variáveis correlacionadas com o VU e também suas variabilidades assim, classificando os anos de amostragem de acordo a ocorrência dos eventos climáticos (TP e ATP). Destaca-se o ano de 2014 onde a influência de ATP levou o VU do reservatório a 9,46% de sua capacidade (1.628,72 bilhões m<sup>3</sup>). Foi realizado o teste Mann-Whitney para verificar se houve diferenças entre as variabilidades das variáveis para cada período. Apesar de algumas diferenças, as variáveis associadas ao VU em ambos os pontos, foram: pH p1: (R=-0,89; P=0,004), p2: (R=-0,59; P=<0,000) e turbidez p1: (R=0,65; P=<0,000), p2: (R=0,67; P=<0,000). Verificou-se uma tendência de acidificação das águas conforme o aumento do VU do reservatório, enquanto a turbidez apresentou um aumento. Maiores porcentagens de VU foram associadas aos períodos chuvosos, onde a matéria orgânica terrestre é deslocada para o ambiente aquático, gerando tais modificações. Não foram detectadas diferenças significativas entre períodos de clima TP e ATP através das variabilidades dos parâmetros; pH p1: (U=2,0; P=0,11), p2: (U=6,0; P=0,66), turbidez p1: (U=7,0; P=0,88), p2: (U=3,0; P=0,20). Tal resultado sugere uma tendência do reservatório de Furnas em “tamponar” as variações ambientais, justificado por sua grande extensão e volume hídrico.

**Palavras-chave:** Variáveis limnológica. Flutuações no nível da água. Reservatório da UHE de Furnas.

**Abstract:** In lentic environments water level fluctuations can alter physicochemical characteristics of the ecosystem. Rain water supply is known to be a determining factor for useful volume and, therefore, changes in its regime directly affect it. The objectives of this study were to evaluate the influence of the Furnas Hydroelectric Power Plant useful volume level (VL) on its limnological parameters and to verify how changes in the VL can affect the variability of its variables, in years with typical climatic characteristics of the region (TP) and (ATP). Two-point limnological data BG019 (p1) and BG051 (p2) between 2008 and 2015 were obtained from databases provided by competent environmental agencies. Spearman correlations were performed for each point between the percentage of VL and the following variables: chlorophyll-a concentration, total and fecal coliforms, conductivity, water color, calcium carbonate, COD, fecal streptococci and total phosphorus concentrations, nitrate, nitrite, organic nitrogen, ammonia nitrogen, dissolved oxygen, soluble potassium, total dissolved solids, total suspended solids, total solids, pH, turbidity and temperature. We also calculated the amplitude of the variables correlated with the VL and also their variability, thus classifying the sampling years according to the occurrence of climatic events (TP and ATP). We highlight the year 2014 where the influence of ATP brought the reservoir VL to 9.46% of its capacity (1,628.72 billion m<sup>3</sup>). The Mann-Whitney test was performed to verify if there were differences between the variability of the variables for each period. Despite some differences, the variables associated with the VL at both points were: pH p1: (R = -0.89; P = 0.004), p2: (R = -0.59; P = <0.000) and turbidity p1: (R = 0.65; P = <0.000), p2: (R = 0.67; P = <0.000). There was a tendency to acidify the waters as the reservoir VU increased, while turbidity increased. Higher percentages of VU were associated with rainy periods, where terrestrial organic matter is displaced to the aquatic environment, generating such modifications. No significant differences were detected between TP and

<sup>1</sup>Graduada em Ciências Biológicas. Discente do Mestrado Profissional em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente da UEMG (Passos)

<sup>2</sup>Laboratório de Limnologia, Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ

<sup>3</sup>Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais (Unidade de Passos). E-mail: odila.sa@uemg.br

ATP climate periods through parameter variability; pH p1: (U = 2.0; P = 0.11), p2: (U = 6.0; P = 0.66), turbidity p1: (U = 7.0; P = 0.88), p2: (U = 3.0; P = 0.20). This result suggests a tendency of the Furnas reservoir to “buffer” environmental variations, justified by its large extent and water volume.

**Keywords:** Limnological variables. Fluctuations in water level. Furnas HPP Reservoir.

**Resumen:** En entornos lénticos, las fluctuaciones del nivel del agua pueden alterar las características fisicoquímicas del ecosistema. Se sabe que el suministro de agua de lluvia es un factor determinante para el volumen útil y, por lo tanto, los cambios en su régimen lo afectan directamente. Los objetivos de este estudio fueron evaluar la influencia del nivel de volumen útil (VU) de la central hidroeléctrica de Furnas en sus parámetros limnológicos y verificar cómo los cambios en la VU pueden afectar la variabilidad de sus variables, en años con características climáticas típicas de la región (TP) y (ATP). Los datos limnológicos de dos puntos BG019 (p1) y BG051 (p2) entre 2008 y 2015 se obtuvieron de bases de datos proporcionadas por agencias ambientales competentes. Se realizaron correlaciones de Spearman para cada punto entre el porcentaje de VU y las siguientes variables: concentración de clorofila-a, coliformes totales y fecales, conductividad, color del agua, carbonato de calcio, DQO, estreptococos fecales y concentraciones totales de fósforo, nitrato, nitrito, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, oxígeno disuelto, potasio soluble, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, pH, turbidez y temperatura. También calculamos la amplitud de las variables correlacionadas con el VU y también su variabilidad, clasificando así los años de muestreo según la ocurrencia de eventos climáticos (TP y ATP). Destacamos el año 2014, donde la influencia de ATP llevó el reservorio VU al 9.46% de su capacidad (1,628.72 billones de m<sup>3</sup>). La prueba de Mann-Whitney se realizó para verificar si había diferencias entre la variabilidad de las variables para cada período. A pesar de algunas diferencias, las variables asociadas con la VU en ambos puntos fueron: pH p1: (R = -0.89; P = 0.004), p2: (R = -0.59; P = <0.000) y turbidez p1: (R = 0.65; P = <0.000), p2: (R = 0.67; P = <0.000). Hubo una tendencia a acidificar las aguas a medida que el VU del yacimiento aumentó, mientras que la turbidez aumentó. Los porcentajes más altos de VU se asociaron con períodos lluviosos, donde la materia orgánica terrestre se desplaza hacia el ambiente acuático, generando tales modificaciones. No se detectaron diferencias significativas entre los períodos climáticos TP y ATP a través de la variabilidad de los parámetros; pH p1: (U = 2.0; P = 0.11), p2: (U = 6.0; P = 0.66), turbidez p1: (U = 7.0; P = 0.88), p2: (U = 3.0; P = 0.20). Este resultado sugiere una tendencia del embalse de Furnas a “amortiguar” las variaciones ambientales, justificadas por su gran extensión y volumen de agua.

**Palabras clave:** Variables limnológicas. Fluctuaciones en el nivel del agua. Depósito de HPP Furnas.

## INTRODUÇÃO

Mudanças na disponibilidade de água nos ambientes aquáticos afetam os processos e, conseqüentemente, o funcionamento dos ecossistemas (WELTZIN et al., 2003). Alterações representativas no nível da água de ambientes lénticos podem ser decisivas sobre a integridade desses ambientes, sejam por afetarem as comunidades residentes ou por atuarem diretamente sobre as características físico-químicas dos mesmos (LEIRA & CANTONATI, 2008; LEIRA et al., 2015). Flutuações no nível da água muitas vezes representam um dos maiores distúrbios sobre o ecossistema de reservatório. Apesar de se saber que flutuações do nível da água podem exercer uma influência sobre a qualidade da mesma, há poucos estudos voltados para a compreensão de mecanismos pelos quais esses padrões hidrológicos podem influenciar a dinâmica do reservatório (GERALDES & BOAVIDA, 2005).

Estudos começaram a reconhecer a importância da flutuação dos níveis da água em ecossistemas lénticos, voltando-se para as conseqüências desse distúrbio em reservatórios, porém, estes trabalhos são voltados em sua grande maioria para ambientes de regiões temperadas. Adicionalmente, existe uma necessidade urgente de pesquisas científicas que abordam os impactos das alterações nos níveis da água, tendo em vista o contexto de mudanças climáticas, no qual se faz necessário um

arcabouço teórico para a construção de possíveis planos de mitigação, sendo um campo crucial para a gestão dos recursos hídricos (WHITE et al., 2008; ZOHARY & OSTROVSKY, 2011). Em cenários de mudanças no clima, torna-se especialmente importante compreender a influência dos padrões hidrológicos sobre a variabilidade de parâmetros ambientais em ambientes aquáticos tropicais, considerando-se a susceptibilidade das regiões tropicais a extremos climáticos, como secas e inundações (IPCC, 2007).

Tendo isso em vista, este estudo objetiva avaliar a influência do nível volume útil da Usina Hidroelétrica de Furnas (UHE; Minas Gerais, Brasil) seus parâmetros limnológicos, bem como determinar como a oscilação do nível do volume de água pode afetar a variabilidade das condições deste ambiente. Para atingir o objetivo proposto, utilizou-se um banco de dados de sete anos, durante os quais foram realizadas amostragens trimestrais das variáveis físico-químicas do ambiente aquático. Esse intervalo de tempo abrangeu um período de mudanças abruptas no volume útil do reservatório de Furnas em função de alterações no clima da região.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho foram importados da base de dados laboratoriais históricos do Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM), disponíveis no portal

InfoHidro (<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br>). Os resultados puderam ser consultados através do direito de acesso dos cidadãos às informações públicas, sendo este regulamentado segundo A Lei de Acesso à Informação (12.527/2011), aplicável aos Três Poderes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, com vigência a partir do dia 16 de maio de 2012. Dentre os ambientes monitorados pelo IGAM, o reservatório de Furnas foi selecionado devido à sua importância sócio-econômica para o Sudeste mineiro. O Reservatório da Usina Hidroelétrica (UHE) de Furnas é o maior reservatório da região Sudeste, com uma área inundada de 1450 km<sup>2</sup>. A barragem está localizada no curso médio do rio Grande, entre os municípios de São José da Barra e São Batista do Glória (RULL DEL AGUILA, 2001; PINTO-COELHO et al., 2002). O reservatório de Furnas integra 52 cidades e 46 distritos e possui grande importância para a economia devido às atividades de piscicultura, pesca esportiva e turismo (ALAGO, 2006).

Apesar da base de informações viabilizar dados de 1997 a 2015, os dados utilizados neste estudo se restringiram ao período de janeiro de 2008 a dezembro de 2015. Este intervalo de tempo foi escolhido por compreender um período no qual se observaram anos com características climáticas típicas da região (anos de 2008, 2009, 2013 e 2015), bem como períodos de ocorrência de eventos climáticos atípicos (nos anos de 2010, 2011, 2012 e 2014), que culminaram com a redução do volume útil do reservatório de Furnas (WMO, 2013; IGAM, 2014; CPTEC/INPE, 2016). Tendo em vista que diferentes pontos em um mesmo reservatório podem responder de diferentes maneiras às alterações climáticas (HENRY, 1990), foram consideradas as variáveis limnológicas aferidas em dois pontos situados em extremos opostos do reservatório de Furnas, o ponto BG019 (zona de transição) e o BG051 (zona lacustre) (Figura 1; Quadro 1).

Quadro 1: Quadro de descrição dos pontos de amostragem do estudo no reservatório da UHE de Furnas

Ponto	Descrição
BG019	Rio Grande a montante do Reservatório de Furnas. Ponto localizado em zona de transição localizada entre estreito e zona lacustre do Reservatório de Furnas (próximo ao município de Guapé).
BG051	Rio Grande a jusante do Reservatório de Furnas. Ponto localizado em zona lacustre, próximo à barragem da UHE de Furnas (próximo ao município de Furnas).

As amostragens realizadas nesses pontos ocorreram trimestralmente, nos meses de fevereiro, maio, agosto e outubro de cada ano, totalizando 31 coletas no total em cada um dos pontos amostrais – com exceção do ano de 2015, no qual a coleta do mês de outubro não foi realizada. As variáveis limnológicas cujas concentrações foram extraídas da base de informações foram as seguintes: coliformes totais, coliformes fecais, condutividade, cor da água, oxigênio dissolvido, carbonato de cálcio, nitrato, nitrito, nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, sólidos dissolvidos totais, sólidos em suspensão totais, sólidos totais, potássio solúvel, fósforo total e clorofila-a. Também foram determinados os valores da densidade de estreptococos fecais, determinação de demanda química de oxigênio (DQO) e valores de pH, turbidez e temperatura da água (maiores detalhes sobre a metodologia empregada nas análises físico-químicas realizadas pelo IGAM podem ser acessadas em <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/gestao-das-aguas/monitoramento/agua-superficial>).

#### • Obtenção de dados

Os dados utilizados neste trabalho foram importados da base de dados laboratoriais históricos do Institu-



Figura 1: Área de represamento do Reservatório de Furnas, destacando-se a localização dos pontos monitorados neste estudo. Fonte: Google Imagens© 2016. Coordenadas dos pontos: BG019: 20°42'55"; 45°45'18", BG051: 20°39'15";46°15'31".

to Mineiro de Gestão de Águas (IGAM), disponíveis no portal InfoHidro (<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br>). Os resultados puderam ser consultados através do direito de acesso dos cidadãos às informações públicas, sendo este regulamentado segundo A Lei de Acesso à Informação (12.527/2011), aplicável aos Três Poderes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, com vigência a partir do dia 16 de maio de 2012. Dentre os ambientes monitorados pelo IGAM, o reservatório de Furnas foi selecionado devido à sua importância sócio-econômica para o Sudeste mineiro.

Apesar da base de informações viabilizar dados de 1997 a 2015, os dados utilizados neste estudo se restringiram ao período de janeiro de 2008 a dezembro de 2015. Este intervalo de tempo foi escolhido por compreender um período no qual se observaram anos com características climáticas típicas da região (anos de 2008, 2009, 2013 e 2015), bem como períodos de ocorrência de eventos climáticos atípicos (nos anos de 2010, 2011, 2012 e 2014), que culminaram com a redução do volume útil do reservatório de Furnas (WMO, 2013; IGAM, 2014; CPTEC/INPE, 2016).

Os dados de precipitação de 2008 a 2015, da região próxima ao reservatório de Furnas, foram obtidos através Sistema Integrado de Dados Ambientais (SINDA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), onde se encontra registrado sob o número 32526 (os dados estão disponibilizados em <http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/index.php>). A Plataforma de Coleta de Dados (PCD) está localizada no município de Machado, cerca de 90 km de distância da porção central do Reservatório da UHE de Furnas. Apesar da distância geográfica entre a área de estudo e a área tomada como referência para o regime de precipitação, ambas estão localizadas na Mesorregião Sul/Sudoeste de Minas e possuem clima tropical de altitude, segundo a classificação de Köppen-Geiger. A fim de conseguir valores de precipitação que pudessem ser relacionados com o período das amostragens limnológicas, foi utilizada a média mensal da precipitação em cada um dos meses de coleta.

A característica da dinâmica do reservatório utilizada como referência direta para a influência da precipitação sob o ecossistema aquático foi o volume útil. Os dados de volume útil do reservatório de Furnas durante o período de realização das amostragens limnológicas foram obtidos através do site do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), estando estes disponíveis em [http://www.ons.org.br/historico/percentual\\_volume\\_util.aspx](http://www.ons.org.br/historico/percentual_volume_util.aspx).

#### • Análise dos dados

Primeiramente, a fim de verificar a premissa de relação direta entre a precipitação mensal da região e o volume útil do reservatório, foi utilizada uma correlação de Spearman entre as médias mensais de ambas as

variáveis nos meses de coleta. Feito isso, a presença e a força de associação entre o volume útil do reservatório e as variáveis limnológicas mensuradas, em cada um dos pontos de coleta, ao longo de todo tempo amostral, foram detectadas através de correlações de Spearman. Para avaliar a variabilidade das variáveis correlacionadas com o volume útil do reservatório ao longo do tempo, em cada um dos pontos amostrais, foi calculada a amplitude dos valores das variáveis limnológicas previamente correlacionadas com o volume útil, em cada um dos anos. Para cada uma das variáveis ambientais, os anos foram categorizados, com base nas informações disponibilizadas pela “World Meteorological Organization” (2013), como aqueles em que não ocorreram eventos climáticos atípicos (TP) e anos em que ocorreram eventos climáticos (ATP). Posteriormente, foi realizado um teste de Mann-Whitney para verificar se houve diferenças entre a amplitude das variáveis em cada um desses períodos. Todas as análises estatísticas e gráficos foram realizadas pelo software GraphPad Prisma® 5.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### • Influência da precipitação média mensal sobre o volume útil do reservatório

Foi verificada uma correlação estatisticamente significativa entre a média da precipitação da região, nos meses em que as coletas foram realizadas, com a porcentagem do volume útil do reservatório ( $p=0,037$ ;  $R=0,371$ ;  $n=31$ ). Apesar da tendência detectada de aumento no nível do volume útil do reservatório com o aumento a precipitação média mensal da região, foram detectadas algumas peculiaridades, em função de eventos climáticos atípicos (Gráfico 1).

Nos anos de 2008 e 2009, a precipitação teve uma faixa de oscilação relativamente estreita, com picos nos valores do volume útil do reservatório durante os verões e ligeiros declínios nos invernos desses anos. Esse comportamento permite identificar uma sazonalidade no clima típico da região, com verões chuvosos e invernos seca já demonstrada em outros trabalhos (SILVA, 2011). Logo em seguida, em 2010, observa-se um período de chuvas intensas, principalmente, nos meses de maio e agosto, historicamente mais secos. Assim, identificou-se um evento climático atípico no regime de precipitação da região, no qual o período seco foi extremamente chuvoso. Dentre os meses do período seco de 2010, a média pluviométrica de maio foi 517% maior que o mesmo mês em 2008 e 582%, em 2009. Em agosto, por exemplo, choveu 627% acima da média do mesmo período em 2008 e, 283% em 2009. Já em outubro, a média da precipitação foi 644% superior a 2008 e 481%, a 2009. Essas mudanças na característica do período seco de 2010 da região do reservatório pode ser entendida pela influência do fenômeno El Niño, que influenciou o aumento das chuvas em cerca de 15% neste ano (IGAM, 2014). Apesar do grande volume

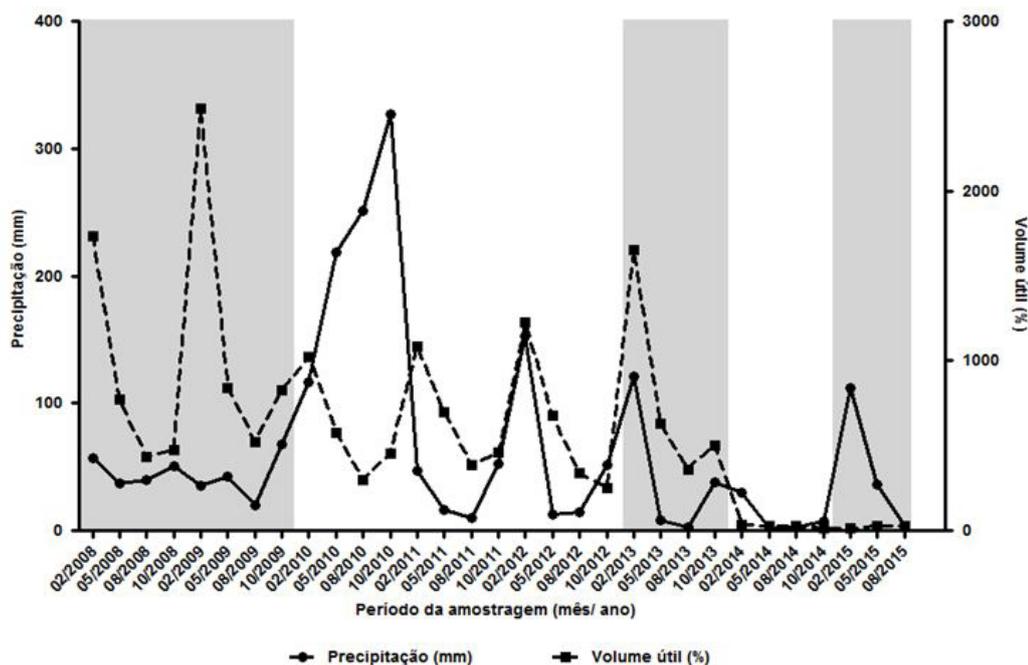


Gráfico 1: Série temporal da precipitação média mensal (linha cheia) e do volume útil do reservatório (linha traçada) de Furnas durante o período amostral. Nesta figura, observam-se destacados em cinza os anos cuja sazonalidade climática típica da região foi mantida, havendo a ocorrência de verões chuvosos e invernos secos. A área em branco indica a ocorrência de eventos climáticos atípicos, que mudaram a sazonalidade no clima da região.

de chuvas em 2010, o volume útil do reservatório de Furnas respondeu de maneira inversa, reduzindo a sua capacidade. Esse comportamento aparentemente discrepante do padrão geral de correlação diretamente proporcional entre o volume útil do reservatório e as chuvas da região, anteriormente mostrados neste trabalho, pode ser explicado por diversos eventos passíveis de ocorrência no reservatório de Furnas, como: i) aumento da evaporação da massa d’água do reservatório, não compensada pelo aporte hídrico das chuvas (BRUTSAERT, 1982; CURTARELLI et al., 2013; VERBURG & ANTENUCCI, 2010); ii) abertura das comportas do reservatório para o transporte da massa d’água para o reservatório subsequente (sistema cascata), resultando em um menor tempo de residência da água e, consequentemente, um menor volume útil; iii) agrupamento das chuvas em um curto espaço de tempo, fazendo com que a carga d’água não fosse direcionada para o reservatório através de fatores como a área, forma, permeabilidade, capacidade de infiltração e topografia da bacia (VILELA & MATOS, 1975). Acredita-se que esta última possibilidade seja a mais parcimoniosa para explicar os resultados observados, e, além disso, não foram avaliados parâmetros climáticos e/ou informações sobre o funcionamento do reservatório que sugeriram a ocorrência dos demais eventos. Segundo Tucci (1993), chuvas com grande volume e curta duração atingem o solo e infiltram rapidamente, aumentando a recarga subterrânea, que se encontrava escassa. Portanto, caso o volume do reservatório dependa, principalmente, do es-

coamento superficial, as chuvas de 2010 podem ter contribuído para a recarga subterrânea, mas podem não ter encharcado o solo a ponto de haver aporte hídrico para os cursos do reservatório. Considerando-se também a possibilidade dos níveis do reservatório serem majoritariamente influenciados pela recarga subterrânea, as modificações nos sistemas de drenagem, causadas pela urbanização, resultam em uma área impermeabilizada maior, onde a velocidade do escoamento superficial direto aumenta, assim deteriorando os cursos receptores da carga pluvial.

O mesmo fenômeno atmosférico que alterou o regime de precipitação de 2010, também afetou 2011, porém, de maneira oposta. Após um ano extremamente chuvoso, 2011 foi um ano seco, havendo uma redução na média da precipitação anual de aproximadamente 250% em relação ao ano anterior. Em 2012, ocorreu uma leve queda no volume útil do reservatório, causada pelos efeitos cumulativos dos eventos climáticos atípicos nos anos anteriores e, possivelmente, pelos meses subsequentes ao verão deste mesmo ano, os quais foram mais secos que a média dos anos anteriores (IGAM, 2014). O ano de 2013 não apresentou anomalias na precipitação, havendo inclusive a sazonalidade característica do clima da região. Além disso, 2013 foi um nítido exemplo da correlação positiva encontrada entre a precipitação da região e o volume útil do reservatório. Em 2014, o reservatório apresentou grande queda em seu volume útil, sendo acarretada pela sua falta de chuva no verão – que, historicamente, mostrou-se como

uma importante forma de recarga do ambiente aquático –, como também em todo o restante do ano (CPTEC/INPE, 2016). Em 2014 todas as regiões abrangidas pela bacia do rio São Francisco no Estado de Minas Gerais, onde a área deste estudo se encontra, foram verificadas médias pluviométricas do período chuvoso 39% menores do que aqueles referentes aos anos anteriores (IGAM, 2014). Mesmo sendo considerado um ano sem a ocorrência de eventos climáticos atípicos (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2013), as chuvas 2013 não foram suficientes para recuperar o nível do volume útil do reservatório, tendo em vista a seca sofrida 2012. Esses resultados obtidos corroboram os resultados encontrados por Getirana (2015) que, através de monitoramento via satélites espaciais, detectou um déficit hídrico no Brasil entre os anos de 2012 a 2014. Entre as principais causas desse fenômeno estão a restrita distribuição, intensidade e volume das chuvas, fatores geográficos associados à dinâmica da circulação atmosférica regional e os fenômenos (NASA, 2010).

De maneira geral, nota-se que os níveis mais atuais do volume útil do reservatório de Furnas são um produto direto não só da quantidade da precipitação regional, como também da influência de outros eventos climáticos. Portanto, para um entendimento claro sobre as razões que determinam o volume de um reservatório é necessária uma análise temporal dos fatores capazes de influenciá-lo.

- **Influência do nível do volume útil do reservatório sobre as variáveis limnológicas**

A influência das flutuações sazonais dos níveis d'água nas características limnológicas de reservatórios já foi verificada em trabalhos prévios, como, por exemplo, Naselli-Flores & Barone (2005). No reservatório de Furnas, dentre as variáveis mensuradas em cada um dos pontos amostrais, aquelas que se correlacionaram com o volume útil do reservatório no ponto BG019 foram a condutividade ( $p < 0,001$ ;  $R = -0,89$ ), a concentração de nitrato ( $p < 0,000$ ;  $R = -0,57$ ), pH ( $p = 0,004$ ;  $R = -0,89$ ), concentração de sólidos dissolvidos totais ( $p = 0,05$ ;  $R = 0,40$ ) e turbidez ( $p < 0,000$ ;  $R = 0,65$ ; Tabela 1). No ponto BG051 as variáveis correlacionadas foram a cor da água ( $p = 0,008$ ;  $R = 0,59$ ), concentração oxigênio dissolvido ( $p = 0,002$ ;  $R = -0,51$ ), pH ( $p < 0,000$ ;  $R = -0,59$ ), temperatura ( $P < 0,000$ ;  $R = 0,68$ ) e turbidez ( $p < 0,000$ ;  $R = 0,67$ ; Tabela 2).

A diferença entre a identidade das variáveis limnológicas correlacionadas com o volume útil do reservatório dos pontos estudados, certamente, foi influenciada pela porção do reservatório onde estes estão localizados. Estudos prévios já mostraram que, dentro de um mesmo reservatório, podem haver diferenças entre as características limnológicas de diferentes pontos, em virtude das zonas horizontais de repartição do ambiente (RIBEIRO-FILHO, 2006). Ressalta-se que o reserva-

tório de Furnas possui ampla área de drenagem e, por conseguinte, possui grandes possibilidades de haver peculiaridades entre as variáveis limnológicas entre suas zonas de compartimentalização. Apesar das características ambientais aos locais de amostragem, tanto o pH quanto a turbidez foram correlacionadas com o volume útil do reservatório em ambos os pontos de coleta (Gráfico 2). O pH se mostrou negativamente correlacionado com o volume útil, havendo uma tendência de acidificação conforme o aumento do volume útil (Gráfico 2.A e Gráfico 2.B). Já a turbidez, mostrou um certo aumento conforme o aumento no volume útil. Possivelmente, o pH e a turbidez respondem a uma mesma modificação ambiental gerada pelo aumento do volume útil: a entrada de matéria orgânica de origem terrestre no ambiente aquático. Como mostrado anteriormente, períodos de maiores níveis de volume útil tendem a estar associados aos períodos mais chuvosos. Uma das consequências das chuvas é o carreamento de matéria orgânica alóctone para os ambientes aquáticos que, com a entrada de matéria orgânica pode causar um aumento da turbidez das águas do reservatório e, além disso, viabiliza uma maior quantidade de substrato orgânico a ser decomposto no ecossistema aquático (CESTEB, 2009). Um dos produtos finais da decomposição da matéria orgânica é o dióxido de carbono que, em meio aquoso, reage e libera íons  $H^+$  o que, por sua vez, acidifica o ambiente aquático. A resposta semelhante no comportamento dessas variáveis pode ser uma inferência do comportamento das características ambientais do reservatório como um todo. Contudo, faz-se necessário um maior número de comparações com diferentes pontos de amostragens no reservatório de Furnas para confirmar a consistência desse padrão.

- **A variabilidade ambiental durante eventos climáticos atípicos**

O teste de Mann-Whitney não detectou diferenças significativas entre as amplitudes dos períodos de clima característico da região e aqueles em que ocorrerão eventos climáticos atípicos. Dessa forma, pode-se concluir que, mesmo que, em alguns anos as amplitudes de certas variáveis limnológicas sejam bem superiores às demais, estas ainda não representam o comportamento médio do período de clima atípico. Portanto, não foi possível detectar a influência do nível do volume útil sobre a variabilidade de certas variáveis ambientais, o que sugere uma forte tendência do reservatório de Furnas em “tamponar” as variações em certos parâmetros limnológicos. Tal capacidade de tamponamento pode ser justificada pela área do reservatório em questão. Reservatórios menores tendem a sofrer maior influência de fatores externos do que reservatórios de maior área, volume e profundidade. Isto é, em reservatórios menores, eventos externos, de reduzida magnitude, devem proporcionar maiores alterações nas características físicas, químicas

Tabela 1: Resultados das correlações significativas de Spearman entre as variáveis limnológicas mensuradas no ponto BG019 e o volume útil do reservatório de Furnas, onde este se situa.

Variáveis limnológicas	Coefficiente Spearman	p	Coefficiente de determinação	Observações (n)
Condutividade	-0,89	<b>0,000</b>	79,21%	31
Nitrato	-0,57	<b>0,000</b>	32,49%	31
pH	-0,49	<b>0,004</b>	24,01%	31
Sólidos	0,40	<b>0,05</b>	16%	24
Dissolvidos Totais				
Turbidez	0,65	<b>0,000</b>	42,2%	31

Tabela 2: Resultados das correlações significativas de Spearman entre as variáveis limnológicas mensuradas no ponto BG051 e o volume útil do reservatório de Furnas, onde este se situa.

Variáveis limnológicas	Coefficiente Spearman	p	Coefficiente de determinação	Observações (n)
Cor	0,59	<b>0,008</b>	34,81%	18
Oxigênio Dissolvido	-0,51	<b>0,002</b>	26,01%	31
pH	-0,59	<b>0,000</b>	34,81%	31
Temperatura	0,68	<b>0,000</b>	46,24%	31
Turbidez	0,67	<b>0,000</b>	44,89%	31

e biológicas da massa d'água do que esse mesmo evento atuando em reservatórios maiores (HENRY, 1990), como é o caso do reservatório de Furnas.

### CONCLUSÕES

O volume útil do reservatório de Furnas foi positivamente correlacionado com a média da precipitação da região, foram observadas algumas peculiaridades nesta relação durante períodos de eventos climáticos atípicos. Os dois pontos amostrados no reservatório tiveram diferenças entre as variáveis limnológicas influenciadas pelo nível do volume útil, contudo, duas delas, a

turbidez e o pH, estiveram positiva e negativamente, respectivamente, correlacionadas com volume útil em ambos os pontos. Acredita-se que, apesar dos poucos pontos amostrais, esse resultado foi encontrado devido à entrada de matéria orgânica de origem terrestre no ambiente aquático, que aumenta a turbidez na coluna d'água e aumenta a disponibilidade de matéria orgânica para decomposição, que reduz o pH do meio aquoso. Em relação à influência do nível do volume útil sobre a variabilidade das variáveis limnológicas, previamente verificadas como associadas a esta primeira variável, não foi encontrado nenhum resultado significativo en-

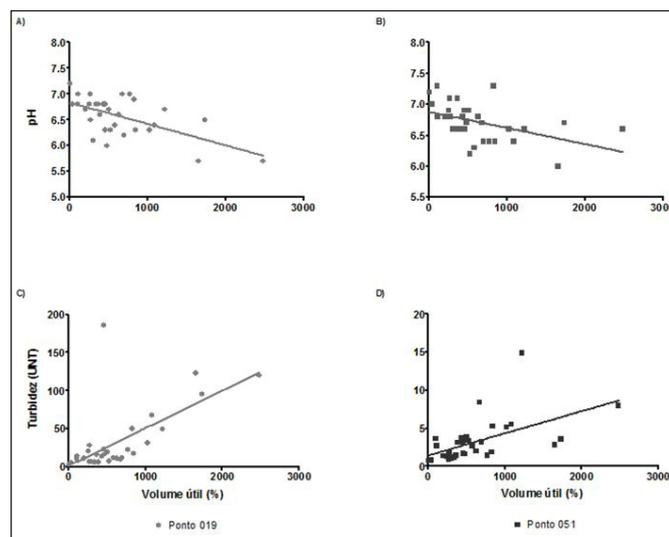


Gráfico 2: Variáveis correlacionadas com o volume útil do reservatório em ambos os pontos de amostragem.

tre os valores de amplitude referentes aos períodos de clima típico e atípico – o que sugere uma considerável capacidade de tamponamento do reservatório de Furnas em suas condições ambientais frente a eventos climáticos anômalos.

## REFERÊNCIAS

- ALAGO. Associação dos municípios do lago de Furnas. Disponível em: <<http://www.alago.org.br/?act=pagina&page=apresentacao>>. Acessado em: 01 de set. 2016
- BRASIL. Congresso Nacional. **Lei Nº 12.527, 18 de Novembro de 2011**. Regulamento Regula o acesso a informações previsto no inciso XXXIII do art. 5o, no inciso II do § 3o do art. 37 e no § 2o do art. 216 da Constituição Federal; altera a Lei no 8.112, de 11 de dezembro de 1990; revoga a Lei no 11.111, de 5 de maio de 2005, e dispositivos da Lei no 8.159, de 8 de janeiro de 1991; e dá outras providências.
- BRUTSAERT, W., *Evaporation Into the Atmosphere*, Kluwer Acad. Norwell, Mass., 1982.
- CETESB. 2009. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo de 2008**.
- CPTEC/INPE, 2016. Disponível em: <<http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/index.php>>. Acessado em: 29 de ago. 2016.
- CURTARELLI, M. P.; ARAUJO, C. A. S.; ALCÂNTARA, E. H.; STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. A. **Estimativa da taxa de evaporação em um reservatório tropical a partir de dados orbitais obtidos pelo sensor MODIS**. Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p. 5808-5815. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00066-9 (Internet), 978-85-17-00065-2 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPF-QRTRW34M/3E7GBPE>>. Acesso em: 18 ago. 2016.
- GERALDES A. M.; BOAVIDA, M. J. Seasonal water level fluctuations: Implications for reservoir limnology and management. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*. 2005; 10:59–69. DOI: 10.1111/j.1440-1770.2005.00257.x.
- GETIRANA, A. 2015: Extreme water deficit in Brazil detected from space. *J. Hydrometeor.* DOI:10.1175/JHM-D-15-0096.1, in press.
- HENRY, R. 1990. **Estrutura espacial e temporal do ambiente físico e químico e análise de alguns processos ecológicos na Represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP) e na sua bacia hidrográfica**. Botucatu: UNESP, 242p. (Tese de Livre-Docência)
- IGAM. 2014. Relatório hidrometeorológico período chuvoso 2014/2015. SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável.
- LEIRA, M. & CANTONATI, M. 2008. Effects of water-level fluctuations on lakes: an annotated bibliography. *Hydrobiologia*
- LEIRA, M.; FILIPPI, M. L.; CANTONATI, M. Diatom community response to extreme water-level fluctuations in two Alpine lakes: a core case study. *J Paleolimnol* (2015) 53:289–307
- NASELLI-FLORES, L. & BARONE, R. Water-Level Fluctuations in Mediterranean Reservoirs: Setting a Dewatering Threshold as a Management Tool to Improve Water Quality. *Hydrobiologia* (2005) 548: 85.
- IPCC, 2007, “Summary for policymakers”. In: SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K.B., TIGNOR, M., MILLER, H.L. (eds). **Climate change 2007: the physical science basis**. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the inter-governmental panel on climate change, pp. 1-18, Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press.
- NASA. 2010. Disponível em: <https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2010/>. Acessado em 15 de ago. 2016.
- ONS. **Operador Nacional do Sistema Elétrico**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/historico/>>. Acessado em 29 de ago. 2016.
- RIBEIRO-FILHO, R. A. Relações tróficas e limnológicas no reservatório de Itaipu: uma análise do impacto da biomassa pesqueira nas comunidades planctônicas. Thesis (Doctoral) - Escola de Engenharia de São Carlos, 2006.
- RULL DEL AGUILA, L. M. 2001. **Gradiente trófico no Rio Sapucaí (reservatório de Furnas- MG): relação com a distribuição do zooplâncton e os usos do solo**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 75 p. (Dissertação de Mestrado em Ecologia).
- SILVA, L. C. **Variação especial e temporal da diversidade e biomassa da comunidade zooplânctônica do reservatório da UHE de Furnas-MG, Brasil**. *Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – UFSCar – São Carlos, 2011*.
- PINTO-COELHO et al., 2002. **Fundamentos em ecologia**. 1ª reimpr. rev. Porto Alegre, Artmed, 525p.
- ZOHARY, T. & OSTROVSKY, I. Ecological impacts of excessive water level fluctuations in stratified freshwater lakes. **Plenary Lectur**, 2011.
- WELTZIN, J. F.; LOIK, M. E.; SCHWINNING, S.; WILLIAMS, D. G.; FAY, P. A.; HADDAD, B. M.; HARTE, J.; HUXMAN, T. E.; KNAPP, A. K.; LIN, G.; POCKMAN, W.T.; SHAW, R.; SMALL, E. E.; SMITH, M.D.; SMITH, S. D.; TISSUE, D. T. & ZAK, J. C., 2003, “Assessing the response of terrestrial ecosystems to potential changes in precipitation”, *BioScience*, v. 53, n. 10, pp. 941-952.
- TUCCI, C. E. M. 2000, *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, 1ª edição, ABRH.
- VILLELA, S. M. & MATTOS, A. 1975, *Hidrologia Aplicada*, Editora Mc Graw Hill, São Paulo 245p.
- VERBURG, P.; ANTENUCCI, J. P. Persistent unstable atmospheric boundary layer enhances sensible and latent heat loss in a tropical great lake: Lake Tanganyika. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, Washington, v. 115, p. 1-13, 2010
- WHITE, M. S.; XENOPOULOS, M. A.; HOGSDEN, K.; METCALFE, R. A.; DILLON, P. J. 2008. Natural lake level fluctuation and associated concordance with water quality and aquatic communities within small lakes of the Laurentian Great Lakes region. **Hydrobiologia**. 613:21-31.
- WMO. *World Meteorological Organization*. EL NIÑO/LA NIÑA UPDATE, 2013