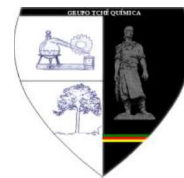




EVOLUÇÃO TEMPORAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS NA SUB-BACIA DA REPRESA DA PAMPULHA ENTRE 2006 E 2016



TEMPORAL EVOLUTION OF WATER QUALITY IN THE PAMPULHA'S DAM WATERSHED BETWEEN 2006 AND 2016

COSTA, Elizângela Pinheiro da^{1*}; MELO, Livia Duarte Ventura¹; SOARES, Ana Luiza Cunha¹; PINTO, Carolina Cristiane¹; BARROSO, Gabriela Rodrigues¹; SOUZA, Guilherme Abreu¹; OLIVEIRA, Josiani Cordova¹; CARVALHO, Deborah Martins de¹; OLIVEIRA, Sílvia Corrêa¹;

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, CEP 31270-010, Belo Horizonte – MG, Brasil
(fone: (31)3409-3645; fax: (31)3409-1879)

* Autor correspondente
e-mail: elizangelapc@gmail.com

Received 27 December 2017; received in revised form 1 February 2018; accepted 6 February 2018

RESUMO

A sub-bacia da represa da Pampulha insere-se na bacia do rio das Velhas, importante unidade da bacia do rio São Francisco. Essa sub-bacia vem sofrendo constante processo de degradação ambiental em virtude da urbanização e industrialização. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a evolução temporal da qualidade das águas da sub-bacia através de análises de séries temporais dos parâmetros considerados críticos, aqueles que apresentaram percentuais de violação da legislação acima de 50%. As análises incluíram testes de sazonalidade, autocorrelação e não-paramétricos de *Man-Kendall* e *Sazonal Mann-Kendall*. Foram utilizados dados entre 2006 e 2016, em 21 estações da rede de monitoramento do Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Foi possível observar uma predominância de ausência de alteração na qualidade da água das estações avaliadas para os oito parâmetros estudados. Esses resultados podem indicar um cenário de manutenção de concentrações que violam os valores estabelecidos na legislação estadual. Destaca-se a estação de monitoramento PV185 (Córrego Olhos D'água), que apresentou significativa tendência de elevação ($\alpha = 5\%$) para os parâmetros manganês total, nitrogênio amoniacal total e óleos e graxas, bem como significativa tendência de redução ($\alpha = 5\%$) para oxigênio dissolvido, que indicam uma acentuada e crescente degradação desse curso d'água.

Palavras-chave: *Água superficial, qualidade, monitoramento, Bacia da Pampulha, análises de tendências.*

ABSTRACT

The Pampulha's Dam watershed is located within the Velhas River basin, which is an important unity of the São Francisco River basin. This watershed has been suffering with constant degradation due to urbanization and industrialization. In this way, the goal of this study is to evaluate the time trend evolution of the water quality from this basin regarding critical parameters, which are those that presented violation percentages from local legislation over 50%. Analysis included seasonality tests, autocorrelation and non-parametric tests of Mann-Kendall and Seasonal Mann-Kendall. Data from 2006 up to 2016 was obtained from 21 monitoring stations with the local water management institute. It was possible to identify a predominance of absence of modification in the water quality considering eight critical parameters investigated. These results might indicate a scenario of maintenance of high concentrations of parameters that violate local legislation permitted values. The monitoring station PV185 (Olhos D'água stream) should be highlighted due to its significant elevation trends ($\alpha = 5\%$) for the parameters total manganese, total ammonium nitrogen and oils and greases, as well as its significant reduction trend ($\alpha = 5\%$) for the parameter dissolved oxygen, which all indicate a strong and crescent degradation in this water stream.

Keywords: *surface water, quality, monitoring, Pampulha's Dam, trend analysis*

INTRODUÇÃO

O monitoramento da qualidade das águas de longo prazo e os estudos realizados consistem em abordagens eficientes para um melhor conhecimento da hidrogeoquímica e da poluição dos cursos de água. As atividades de monitoramento geram uma grande quantidade de dados distribuídos ao longo do tempo, cujas análises devem se valer de técnicas específicas (Helsel e Hirsch, 2002; Shumway e Stoffer, 2006).

As análises de tendência temporal possibilitam a avaliação de longas séries de dados, sendo úteis para o acompanhamento e a predição da evolução da qualidade da água. Essas análises têm como objetivo subsidiar medidas preventivas, corretivas e emergenciais a serem tomadas para a manutenção do equilíbrio do ecossistema (Groppo, 2005; Christofaro e Leão, 2009; Viana, 2011). Nos últimos anos, vários estudos, em todo o mundo, têm sido realizados com a finalidade de detectar tendências e mudanças na qualidade das águas (Chang, 2008; Christofaro e Leão, 2009; Tabari *et al.*, 2011; Gocic e Trajkovic, 2013; Sun *et al.*, 2013; Trindade, 2013; Barbosa, 2015).

De forma geral, as análises de tendência temporais determinam se os valores medidos dos parâmetros de qualidade da água estão aumentando ou reduzindo em determinado período de tempo (Antonopoulos *et al.*, 2001). Segundo Helsel e Hirsch (2002), definir se o valor de uma variável apresentou tendência significativa de elevação ou redução, significa determinar se a distribuição de probabilidade ou alguma medida de tendência central dessa variável alterou-se ao longo do tempo.

Dessa forma, a avaliação de séries históricas de parâmetros de qualidade das águas permite observar a existência de possíveis alterações que os fatores presentes no meio causam aos corpos d'água e potenciais poluidores das regiões analisadas (Groppo, 2005; Christofaro e Leão, 2009; Tabari *et al.*, 2011; Sun *et al.*, 2013; Barbosa, 2015; Trindade *et al.*, 2017).

Levando isso em consideração, o presente trabalho objetiva apresentar uma evolução temporal da qualidade das águas na sub-bacia hidrográfica da represa da Pampulha entre os anos de 2006 e 2016.

MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A sub-bacia da represa da Pampulha possui aproximadamente 97 km² e insere-se na sub-bacia do ribeirão da Onça, que por sua vez encontra-se incorporada à bacia do rio das Velhas, importante unidade da bacia do rio São Francisco. Essa bacia vem sofrendo constante processo de degradação ambiental ocasionado pela forte influência da urbanização e presença de atividades industriais, uma vez que se localiza entre os municípios de Belo Horizonte e Contagem (Pinto-Coelho, 2012).

A Figura 1 apresenta a sub-bacia e os tributários de contribuição direta à represa da Pampulha que são: AABB, Baraúnas, Mergulhão, microbacias do córrego do Céu Azul, Tijuco, Água Funda, Ressaca e Sarandi. Estes três últimos cursos são os mais degradados em termos ambientais e respondem por 75 % da vazão total afluyente à represa.

De acordo com a Deliberação Normativa nº 020 do COPAM (Conselho Estadual de Política Ambiental) de 24 de junho de 1997 que dispõe sobre o enquadramento das águas da bacia do rio das Velhas, a represa da Pampulha e seus tributários foram enquadrados na Classe 2 (Minas Gerais, 1997). Assim, tem-se previstos os seguintes usos: abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; aquicultura e atividade de pesca (Minas Gerais, 2008).

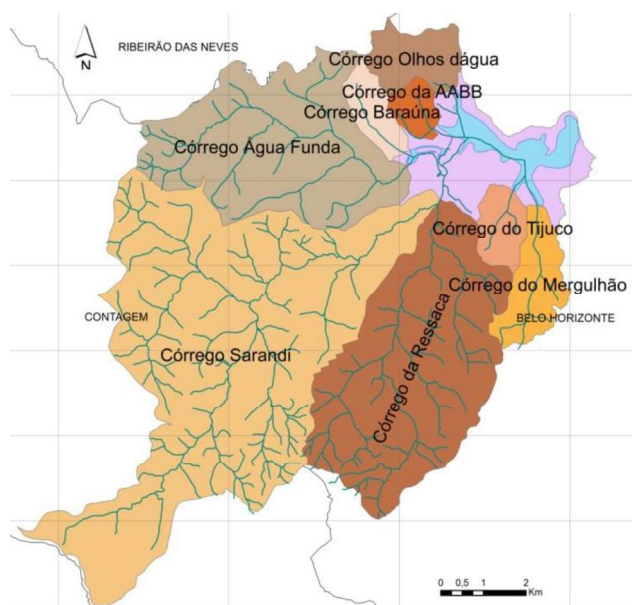


Figura 1. A sub-bacia da represa da Pampulha e seus principais tributários

Giani *et. al.* (1988) comprovou o estado de eutrofização adiantado em que se encontrava a represa da Pampulha, que já apresentava qualidade da água comprometida em todas as suas regiões, fator demonstrado pela distribuição horizontal das séries nitrogenadas e de fósforo total dos onze pontos de coleta. O estudo descreve o ciclo sazonal da qualidade de água do reservatório bem como a evolução da estratificação térmica na coluna de água e identifica valores críticos para a qualidade da água: condições de anaerobiose e valores extremos de nutrientes, principalmente no período de seca, oferecendo riscos às populações, em especial, os peixes.

O relatório de monitoramento da qualidade das águas superficiais da sub-bacia da represa da Pampulha mais recente apresentado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) (2017) corresponde à análise dos dados do 4º trimestre de 2016. Nesse relatório os parâmetros com o maior número de violações para o limite de corpos d'água Classe 2 foram *Escherichia coli* (88,2%), fósforo total (70,6%), demanda bioquímica de oxigênio (64,7%), manganês total (47,1%) e oxigênio dissolvido (41,2%). Em relação ao Índice de Qualidade das Águas (IQA), foi verificado que o indicador piorou ou manteve-se na pior condição de qualidade em relação aos resultados do ano anterior para as estações PV005, no córrego do bairro Cinco no município de Contagem e na estação PV175, no córrego Braúnas em Belo Horizonte. Foi possível verificar a ocorrência de IQA Ruim e Médio na sub-bacia, com 70,6% e 29,4% dos resultados,

respectivamente. Não houve a ocorrência de IQA Muito Ruim, Bom e Excelente no quarto trimestre de 2016.

Com relação aos pontos localizados dentro da represa, observa-se um aumento gradativo nos valores de IQA espacialmente, uma vez que na estação mais próxima da entrada dos córregos Ressaca e Sarandi (PV230) - tributários responsáveis por mais de 70% do volume que chega ao reservatório - a qualidade da água é pior (IQA Ruim) e melhora (IQA Médio) à medida que se aproxima da saída do reservatório (PV235 e PV240).

Em relação ao índice de CT (contaminação por tóxicos), foi observado que a contaminação Baixa apresentou o maior percentual na sub-bacia, onde 70,59% dos pontos apresentaram essa condição. A CT Alta foi verificada somente na estação de amostragem localizada no córrego Bom Jesus próximo a sua foz na represa da Pampulha (PV167) o que representou 5,88% dos resultados. A CT Média foi identificada em quatro estações de amostragem, quais sejam: córrego Sarandi antes da confluência com o córrego João Gomes (PV037), a jusante do córrego Cabral (PV070) e antes da confluência com o córrego Ressaca (PV110) e no córrego Cabral antes da confluência com o córrego Sarandi (PV065), representando 23,53% dos pontos. As demais estações apresentaram CT Baixa no quarto trimestre de 2016 (IGAM, 2017).

O parâmetro com maior contribuição para os resultados de alta CT foi o nitrogênio amoniacal, associado aos lançamentos de efluentes domésticos e industriais dos municípios de Contagem e Belo Horizonte. As ocorrências dos demais parâmetros responsáveis pelo referido índice relacionam-se às atividades industriais, principalmente em Contagem, que abriga indústrias têxteis, mecânicas, siderúrgicas, metalúrgicas, galvanoplastia, dentre outras. Os principais fatores de degradação ambiental apontados como contribuintes para os resultados observados de maneira geral são os lançamentos de esgotos domésticos e industriais nos corpos de água e o manejo inadequado do solo (IGAM, 2017).

Pinto-Coelho (2012) sugere que para a recuperação da represa da Pampulha e sua bacia são necessários processos e programas de recomposição da fauna nativa, reabilitação de habitats destruídos por obras de canalização

mal adequadas e pela promoção de intervenções ambientalmente sustentáveis. As medidas apresentadas demandam atuação conjunta entre Município, população e os demais setores envolvidos à medida que a melhoria e manutenção das condições do ambiente dependem da conscientização e colaboração dos mesmos.

2.2. Consolidação do banco de dados

Os dados trabalhados correspondem às estações de monitoramento da rede dirigida da sub-bacia da represa da Pampulha, disponibilizados pelo IGAM e fazem parte do programa de monitoramento da qualidade das águas realizado por meio do Projeto Águas de Minas, que iniciou suas atividades em 1997.

Os dados passaram por etapas de avaliação para a definição do banco de dados a ser utilizado, sendo elas: (i) Levantamento das campanhas realizadas por estação de monitoramento onde se optou por utilizar estações que contivessem o maior número de campanhas realizadas no horizonte temporal definido. Aplicando-se o critério estabelecido foram selecionadas 21 das 43 estações presentes na sub-bacia da represa da Pampulha. (ii) Levantamento da frequência de monitoramento dos parâmetros em que se optou por trabalhar apenas com os dados monitorados em frequência trimestral. A partir da definição desses parâmetros foi realizado o (iii) Levantamento do percentual de dados faltantes e censurados; onde se definiu que dados com 60% ou mais de falhas (Trindade, 2013) e a partir de 90% de dados censurados (Araújo, 2014; Trindade, 2013) deveriam ser excluídos. Os dados censurados mantidos foram substituídos pelo valor do limite de detecção do método analítico. Finalmente foi realizada a (iv) Análise da relevância dos parâmetros em relação ao diagnóstico e avaliação da qualidade das águas, onde o parâmetro temperatura do ar, que corresponde à medida da temperatura atmosférica no momento da amostragem, foi excluído, uma vez que não atribui características específicas ao corpo hídrico.

Sendo assim, neste estudo foi utilizada uma série histórica de dez anos, considerando os dados de monitoramento da qualidade das águas obtidos na rede dirigida de monitoramento do IGAM. As características deste banco de dados estão apresentadas na Tabela 1.

2.3. Análise da qualidade das águas da sub-bacia da represa da Pampulha

Com o banco de dados consolidado foram aplicadas as seguintes análises para determinação dos parâmetros representativos da qualidade das águas da sub-bacia da represa da Pampulha:

2.3.1 Cálculo do percentual de violação dos parâmetros selecionados em relação ao limite de classe estabelecido na legislação ambiental

Foi efetuada uma análise das violações percentuais dos parâmetros de qualidade de água monitorados na sub-bacia da represa da Pampulha em relação aos limites preconizados pela DN COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Os parâmetros que apresentaram percentuais de violação acima de 50% foram denominados “parâmetros críticos” e foram considerados, portanto, os que mais contribuem para a degradação da qualidade das águas superficiais da sub-bacia analisada.

2.3.2 Análise de tendência temporal

Para a análise de tendência temporal, cada uma das estações selecionadas foi analisada individualmente para os parâmetros denominados “parâmetros críticos” na etapa anterior. Os testes utilizados foram: *Spearman*, *Kruskal-Wallis* e *Mann-Kendall* ou Sazonal de *Mann-Kendall*. Esses foram realizados por meio da utilização do software XLSTAT (2014.1.01), ao nível de confiança de 95%. A análise das séries temporais incluiu os seguintes passos: verificação da autocorrelação da série temporal utilizando-se o teste de correlação de *Spearman*, teste de *Kruskal-Wallis* (KW), para verificação de diferenças significativas entre as estações do ano e testes de tendências temporais - Sazonal de *Mann-Kendall* (SMK) e *Mann-Kendall* (MK).

Inicialmente, para verificar diferenças significativas entre os dados medidos nas diferentes estações do ano (presença ou não de sazonalidade), os dados por trimestres do ano foram comparados entre si pelo teste de KW, seguido do teste de comparações múltiplas de *Dunn* (quando aplicável), com nível de significância (α) de 5%.

Assim, caso verificada diferença significativa entre os trimestres ($p < 0,05$), foi considerada a existência de influência da sazonalidade dos dados e o teste Sazonal de

Mann-Kendall (SMK) foi aplicado em seguida. Nos casos em que o p-valor do teste KW para sazonalidade não foi considerado significativo ($p > 0,05$), a tendência temporal dos parâmetros foi verificada pela aplicação do teste *Mann-Kendall* (MK). O valor da estatística S do teste indica se houve tendência positiva ou negativa para o parâmetro. Tanto para o teste de MK quanto para o teste SMK foram utilizados todos os dados da série histórica selecionada, uma vez que a frequência de amostragem é a mesma para todas as estações de monitoramento.

Em seguida, para ratificar os resultados encontrados nos testes de tendências temporais, foi aplicado o teste de correlação de *Spearman* com o objetivo de verificar a autocorrelação da série temporal. Dessa forma, os dados de monitoramento foram ordenados do mais antigo para o mais recente e, então, relacionados com o tempo. Correlações com p-valor menores que 0,05 (nível de confiança de 95%) foram consideradas significativas, ou seja, há uma tendência ao longo do tempo para o parâmetro analisado em determinada estação. Ressalta-se que o coeficiente de correlação de *Spearman* deve ser usado como uma ferramenta exploratória, em conjunto com outras informações, e as conclusões devem ser baseadas em todos os resultados (Gauthier, 2001).

Por fim, de acordo com as combinações possíveis de resultados indicadas na Tabela 2, os resultados dos dois testes foram analisados para determinar a tendência de cada parâmetro, para cada estação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

3.1. Cálculo do percentual de violação dos parâmetros selecionados em relação ao limite de classe estabelecido na legislação ambiental

A avaliação do percentual de violação dos parâmetros selecionados foi efetuada para cada dado individualmente de acordo com os limites definidos pela Deliberação Normativa conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/08 para corpos d'água classe 2. Os parâmetros condutividade elétrica in loco, coliformes totais, Demanda Química de Oxigênio (DQO), nitrogênio orgânico, sólidos sedimentáveis, sólidos totais e temperatura da água, não apresentam limites de classe.

Os parâmetros que apresentaram os

maiores números de violações ao longo do período avaliado foram: indicador microbiológico (89,4%), manganês total (76,8%), oxigênio dissolvido (68,9%), fósforo total (68,7%), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (64,1%), óleos e graxas (57,1%), nitrogênio amoniacal (54%) e ferro dissolvido (50,5%). A Figura 2 corresponde ao gráfico com os resultados do percentual de violação do limite de classe para os parâmetros relacionados no banco de dados consolidado que apresentam esse limite definido.

Os fatores de degradação ambiental possivelmente relacionados a esses resultados são a existência de lançamento de esgotos de origem doméstica indicados pela significativa presença das bactérias indicadoras de contaminação fecal, revelada pelo parâmetro indicador microbiológico, oxigênio dissolvido e nutrientes (nitrogênio e fósforo). A DBO, relacionada ao aporte de carga orgânica nos corpos d'água, também está ligada a presença de resíduos sólidos urbanos bem como ao lançamento de esgotos nos corpos d'água. O grande percentual de violação do parâmetro oxigênio dissolvido demonstra que há um elevado consumo do mesmo, ligado à decomposição de matéria orgânica presente nos cursos d'água – elevada DBO, o que causa comprometimento das condições de sobrevivência de organismos aquáticos de respiração aeróbia, como peixes entre outros. Em relação aos parâmetros ferro e manganês, esses podem ter origem tanto natural, devido à dissolução de componentes presentes no solo, como antropogênica provenientes de despejos industriais. Com relação aos nutrientes (nitrogênio e fósforo), é importante ressaltar que a grande disponibilidade dos mesmos devido ao lançamento de esgotos domésticos, torna o ambiente favorável à reprodução de cianobactérias e macrófitas, ocasionando o processo de eutrofização.

Os parâmetros que apresentaram percentual de violação superior a 50%, foram considerados mais críticos em relação à qualidade das águas, demandando maior aprofundamento do conhecimento a seu respeito e maior urgência no caso da implementação de ações para a recuperação do ambiente. Dessa maneira os parâmetros: indicador microbiológico, manganês total, oxigênio dissolvido, fósforo total, DBO, óleos e graxas, nitrogênio amoniacal total e ferro dissolvido foram estudados com uma maior riqueza de detalhes por meio da geração de

gráficos *box-plot* e da aplicação de testes estatísticos para a avaliação da existência de tendências temporais.

O parâmetro indicador microbiológico refere-se à presença de bactérias indicadoras de contaminação de origem fecal que pode estar relacionada com ocorrências de lançamento de esgotos domésticos ou efluentes provenientes da criação de animais, e está associada a doenças de veiculação hídrica, indicando que o contato com o corpo d'água confere risco de contaminação. Na Figura 3 encontram-se os resultados do parâmetro indicador microbiológico para as estações de monitoramento.

Esse é o parâmetro com maior percentual de violação do limite de corpos d'água Classe 2, apresentando 89% dos dados acima do valor limite de 1000 NMP/100 ml na sub-bacia da represa da Pampulha.

Das 21 estações avaliadas, 10 apresentaram baixa variabilidade das medições, com concentrações em torno de 160000 NMP/100 ml, valor 160 vezes maior que o limite estabelecido pela legislação. A estação córrego do Aterro Perobas antes da confluência com o córrego Sarandi (PV030) foi a única que apresentou mediana (350 NMP/100 ml) em conformidade com a legislação.

A presença de oxigênio é fundamental para que os organismos como peixes e outros que realizam respiração aeróbia sobrevivam, mantendo o equilíbrio da cadeia alimentar, onde todos os organismos presentes no ambiente mantêm uma relação de interdependência, sendo reflexo de um ambiente mais ou menos conservado.

A ausência de oxigênio dissolvido retrata um ambiente degradado com elevado consumo desse elemento, utilizado na degradação de matéria orgânica, portanto esse é um ambiente com forte intervenção humana referente ao lançamento de despejos e deterioradas condições de sobrevivência e manutenção da diversidade no ambiente. As ocorrências do parâmetro oxigênio dissolvido são apresentadas na Figura 4.

De acordo com a Figura 4, apenas cinco das estações apresentaram mediana em conformidade com a legislação estabelecida, o que ocorreu nas estações do córrego Cabral antes da confluência com o córrego Sarandi (PV065), córrego da Avenida Tancredo Neves

antes da confluência com o córrego Ressaca (PV105), córrego Mergulhão próximo a sua nascente (PV200), córrego Mergulhão na área da BHTec, a montante da UFMG (PV205) e ribeirão Pampulha a jusante da barragem (PV220). Isso pode ter acontecido por esses pontos estarem situados em regiões próximas à nascente onde há menos interferências antrópicas ou por se tratar de pontos de confluências onde pode ocorrer aeração devido à possíveis turbulências, assim como na estação a jusante da barragem.

Outro parâmetro com alta porcentagem de violação aos limites estabelecidos pela legislação é o manganês total, que assim como o ferro dissolvido, são elementos naturalmente presentes em vários tipos de solo, dessa forma sua origem nos corpos hídricos pode estar relacionada à dissolução desses componentes. Já no caso da origem antropogênica, os mesmos são encontrados em despejos industriais uma vez que se localizam na bacia indústrias do ramo metalúrgico, químico, entre outras. Em relação à qualidade das águas esses parâmetros ocasionam problemas ligados a alterações de cor, sabor e odor nas águas, sendo importantes na identificação da presença de lançamentos industriais. Os resultados para manganês total são apresentados na Figura 5.

A maior parte das concentrações de manganês apresentou-se acima do limite de classe, sendo que apenas as estações Córrego Bom Jesus a montante do córrego Banguelo (PV125) e ribeirão Pampulha a jusante da barragem (PV200) apresentaram mediana dentro do padrão estabelecido (Figura 5).

A estação (PV200) foi a única que não apresentou ocorrências acima do limite de classe, que é de 0,1 mg/L Mn. Já a estação Córrego do aterro do Perobas antes da confluência com o córrego Sarandi (PV030) apresentou, além da violação do limite de classe, valores muito mais elevados que as demais estações (Figura 5).

Entre os parâmetros que apresentaram maiores percentuais de violação do limite de classe, encontram-se grupos importantes, indicativos de diversas formas de poluição. A possível presença de organismos patogênicos, representada pelo indicador microbiológico, confere risco de contaminação caso haja contato com as águas; nutrientes, representados por fósforo e nitrogênio amoniacal, indicam a existência de condições eutróficas na sub-bacia; presença de matéria

orgânica e limitadas condições de sobrevivência da biota aquática, indicada pela alta concentração de DBO e baixa de oxigênio dissolvido, além de ferro e manganês, que podem indicar a existência de despejos industriais e falta de cobertura do solo.

3.2 Análise de tendência temporal

A avaliação da existência de tendências é um instrumento utilizado para a identificação do comportamento e das características de evolução temporal da qualidade das águas, sendo um recurso importante para o planejamento e tomada de decisões relativas a intervenções a serem realizadas para manutenção ou recuperação da mesma.

No presente trabalho definiu-se que deveria ser avaliada a possibilidade de existência de tendências dos parâmetros que apresentaram um percentual de violações do limite de classe superior a 50%.

Foram investigados oito parâmetros e 21 estações de monitoramento totalizando 168 resultados, todos obtidos mediante a aplicação dos testes de correlação de *Spearman*, *Kruskal-Wallis* e *Mann-Kendall*. Em relação aos resultados obtidos tem-se a Tabela 3, que corresponde ao quadro resumo dos mesmos. No quadro resumo está indicada a presença ou ausência de tendência e, no caso da existência, se a mesma é de redução ou elevação da concentração do parâmetro observado. Há também situações em que não há concordância entre os testes, de forma que um não indica a presença de tendência enquanto o outro sim. Para tais situações diz-se que o resultado é inconclusivo com possibilidades de elevação ou redução, de acordo com o teste que indicou a existência de tendência.

Em uma avaliação preliminar foi possível perceber que 53% dos resultados indicaram a não existência de tendência, 22% apresentaram tendência de elevação, outros 16% apresentaram tendência de redução e 9% dos resultados se mostraram inconclusivos.

Avaliando cada um dos resultados levando em consideração os parâmetros testados, aqueles que se destacaram apresentando maior incidência de tendências são óleos e graxas, manganês total, oxigênio dissolvido e indicador microbiológico, sendo que o parâmetro óleos e graxas apresenta uma tendência predominantemente de elevação e o manganês total de redução.

Em relação ao oxigênio dissolvido, a tendência de aumento da sua concentração no meio é favorável à melhoria das condições ambientais e de vida para as populações aquáticas que eventualmente compõe a sub-bacia. A tendência de aumento das concentrações de oxigênio dissolvido em alguns pontos pode representar a redução da quantidade de matéria orgânica ou a introdução/surgimento de pontos de aeração ao longo dos cursos d'água.

Outro parâmetro a ser destacado na análise de tendência é o indicador microbiológico, que apesar de apresentar ocorrências de tendência em poucas estações, apresenta uma situação crítica. A ausência de tendência significa que as altas concentrações continuam presentes e que nenhuma estação apresentou tendência de melhoria.

Sob o ponto de vista da qualidade das águas, as tendências apresentadas pelo indicador microbiológico indicam agravamento das condições da sub-bacia, pois as tendências existentes são de elevação, exceto na estação PV145. Esse fato demonstra que possivelmente não ocorreu redução dos lançamentos de esgotos na sub-bacia.

As observações mais marcantes da análise de tendência foram nas seguintes estações: córrego Flor d'água da Vila São José, antes da confluência com o córrego Ressaca (PV085) e córrego Mergulhão, próximo a sua nascente (PV200). Os parâmetros comuns entre essas estações que apresentaram tendências favoráveis à melhoria da qualidade das águas foram DBO, manganês total e oxigênio dissolvido. Além destes, seguindo a tendência favorável a melhoria da qualidade, também foi identificado o fósforo total, com tendência de redução na estação PV085, e o parâmetro ferro dissolvido, com tendência de redução na estação PV200. A estação PV200 foi a que apresentou o maior conjunto de condições favoráveis para a melhoria da qualidade das águas.

A identificação da existência de tendências, ainda que essas sejam pouco expressivas em relação à sub-bacia como um todo, demonstra que há indicativos pontuais de melhoria ou piora da qualidade das águas. É importante ressaltar que a ausência de tendência observada na maioria das estações da sub-bacia indica a manutenção da degradação existente. Isso pode estar relacionado ao despejo de efluentes

domésticos e industriais, além da presença dos resíduos sólidos urbanos, e mostra que várias ações devem continuar a ser implementadas até a completa recuperação da sub-bacia da represa da Pampulha.

CONCLUSÕES:

Os resultados obtidos com a avaliação de 10 anos de dados para a sub-bacia da represa da Pampulha confirmam que a mesma encontra-se em condições de elevada degradação ambiental, tanto em relação à qualidade das águas quanto do ponto de vista da manutenção e conservação da represa e dos seus cursos d'água. Foram identificados os parâmetros mais violados, bem como as estações de monitoramento e seus respectivos cursos d'água mais impactados na sub-bacia.

A intensa e desordenada ocupação na sub-bacia e o lançamento de efluentes, tanto domésticos como industriais sem tratamento ou com baixa eficiência de tratamento, são fatores que podem levar ao aporte de sólidos, responsáveis pelo intenso assoreamento da represa e contaminação das águas.

Dessa forma, é importante ressaltar que a qualidade das águas na sub-bacia da represa da Pampulha é reflexo do manejo das atividades existentes em toda a sub-bacia (indústrias, erosão, lançamento de efluentes, etc.) e, para que melhorias sejam percebidas na represa, a sub-bacia como um todo precisa da implementação de medidas de conservação. A adoção de medidas pontuais de saneamento e outras obras são importantes, mas deve-se promover a ação integrada de diversos setores e a conscientização e colaboração por parte dos usuários, moradores da região, indústrias e demais envolvidos.

REFERÊNCIAS:

1. Antonopoulos, V. Z.; Papamichail, D. M.; Mitsiou, K. A. HESS. 2001, 5, 679.
2. Araújo, E. N. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, 2014.
3. Barbosa, T. B. C. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, 2015.
4. Christofaro, C.; Leão, M.M.D. Rev. Ambient. Água. 2009, 4, 54.
5. Chang, H. Water Res. 2008, 42, 3285.
6. Gauthier, T. D. Environmental Forensic. 2001, 2, 359.
7. Giani, A.; Pinto-Coelho, R. M.; Oliveira, S. J. M.; Pelli, A. Ciência e Cultura. 1988, 40, 69.
8. Groppo, J.D. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Brasil, 2005.
9. Gocic, M.; Trajkovic, S. Architecture and Civil Engineering. 2013, 11, 199.
10. Helsel, D. R.; Hirsch, R. M. Statistical methods in water resources – Chapter A3: Techniques of Water-Resources Investigations. Book 4. United States Geological Survey, 2002.
11. Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM. Monitoramento da qualidade das águas superficiais na bacia da lagoa da Pampulha. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2017. 42 p. Relatório trimestral – 4º trimestre de 2016.
12. Minas Gerais. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Deliberação Normativa conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Publicado no Diário do Executivo do Estado em 13 de maio de 2008.
13. Minas Gerais. Dispõe sobre o enquadramento das águas da bacia do rio das Velhas. Deliberação Normativa nº 020 COPAM. Publicado no Diário do Executivo do Estado em 24 de junho de 1997.
14. Pinto-Coelho, R. M. Atlas da Qualidade da Água no Reservatório da Pampulha. Belo Horizonte: Recóleo, 2012, 56 p.
15. Shumway, R. H.; Stoffer, D. S. Time series analysis and its applications: with

R examples. 2° ed. New York: Springer.
2006

16. Sun, C. C.; Shen, Z. Y.; Xiong, M.; Ma, F. B.; Li, Y. Y.; Chen, L.; Liu, R. M. Environmental Pollution. 2013, 180, 13.
17. Tabari, H.; Marofi, S.; Ahmadi, M. Environmental Monitoring Assessment. 2011, 177, 273.
18. Trindade, A. L. C. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, 2013.
19. Trindade, A. L. C.; Almeida, K. C. B.; Barbosa, P. E.; Oliveira, S. M. A. C. Eng. Sanit. Ambient. 2017, 22, 13.
20. Viana, D.T. Monografia de Especialização, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, 2011.

Tabela 1. Banco de dados de monitoramento das águas superficiais da sub-bacia da represa da Pampulha selecionado para aplicação das estatísticas multivariadas

Período	3º trimestre de 2006 ao 2º trimestre de 2016
Total de coletas	820
Dados válidos	19.917
Estações de monitoramento	PV030, PV045, PV055, PV060, PV065, PV070, PV075, PV080, PV085, PV090, PV105, PV125, PV130, PV135, PV145, PV150, PV160, PV185, PV200, PV205 e PV220
Parâmetros	Chumbo total, cloreto total, clorofila <i>a</i> , condutividade elétrica <i>in loco</i> , indicador microbiológico (coliformes termotolerantes e <i>Escherichia coli</i>), coliformes totais, DBO, DQO, ferro dissolvido, fósforo total, manganês total, níquel total, nitrato, nitrogênio amoniacal total, nitrogênio orgânico, óleos e graxas, oxigênio dissolvido, pH <i>in loco</i> , sólidos dissolvidos totais, sólidos em suspensão totais, sólidos sedimentáveis, sólidos totais, temperatura da água, turbidez e zinco total

Tabela 2. Combinações possíveis dos resultados de tendência a partir dos resultados dos testes de Correlação de Spearman e Teste de Mann-Kendall

MK ou SMK Spearman	p-valor < 0,05		p-valor > 0,05
	S' > 0	S < 0	
p-valor < 0,05	Tendência significativa de elevação (↑)	Tendência significativa de redução (↓)	Inconclusivo com possibilidade de elevação ou de redução, conforme o valor de S ¹
p-valor > 0,05	Inconclusivo com possibilidade de elevação	Inconclusivo com possibilidade de redução	Sem tendência (-)

¹ Estatística S do Teste de Mann-Kendall/Sazonal de Mann-Kendall

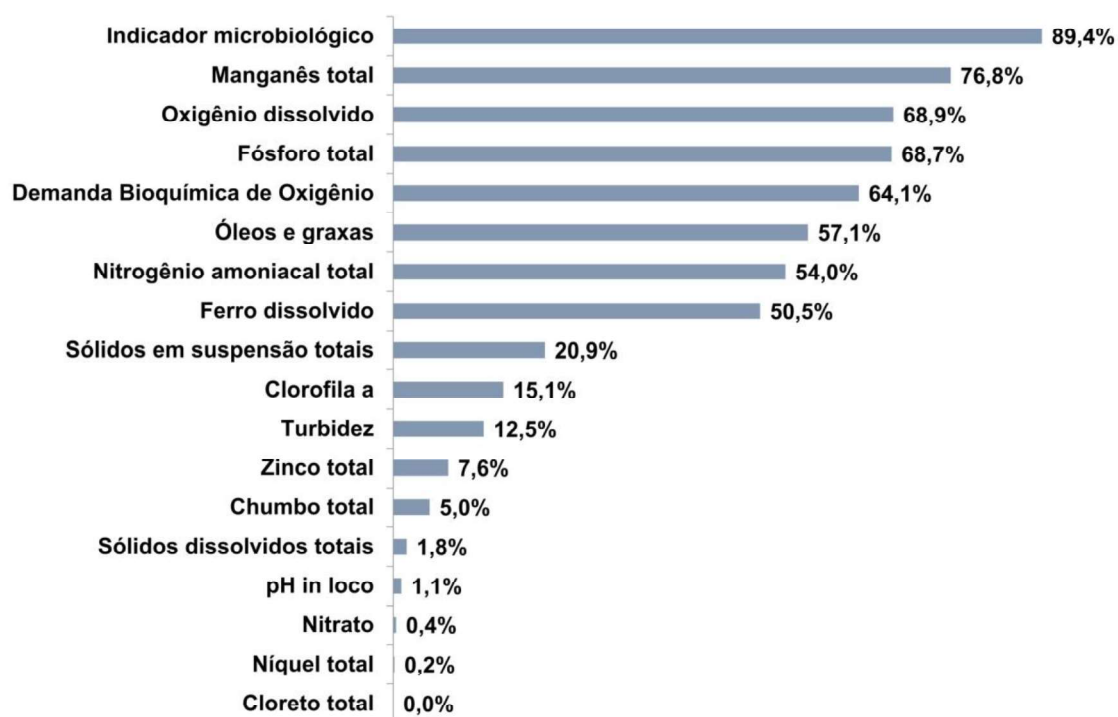


Figura 2. Percentual de violação do limite de classe para corpos d'água Classe 2 dos parâmetros contidos no banco de dados para o período do 3º trimestre de 2006 ao 2º trimestre de 2016

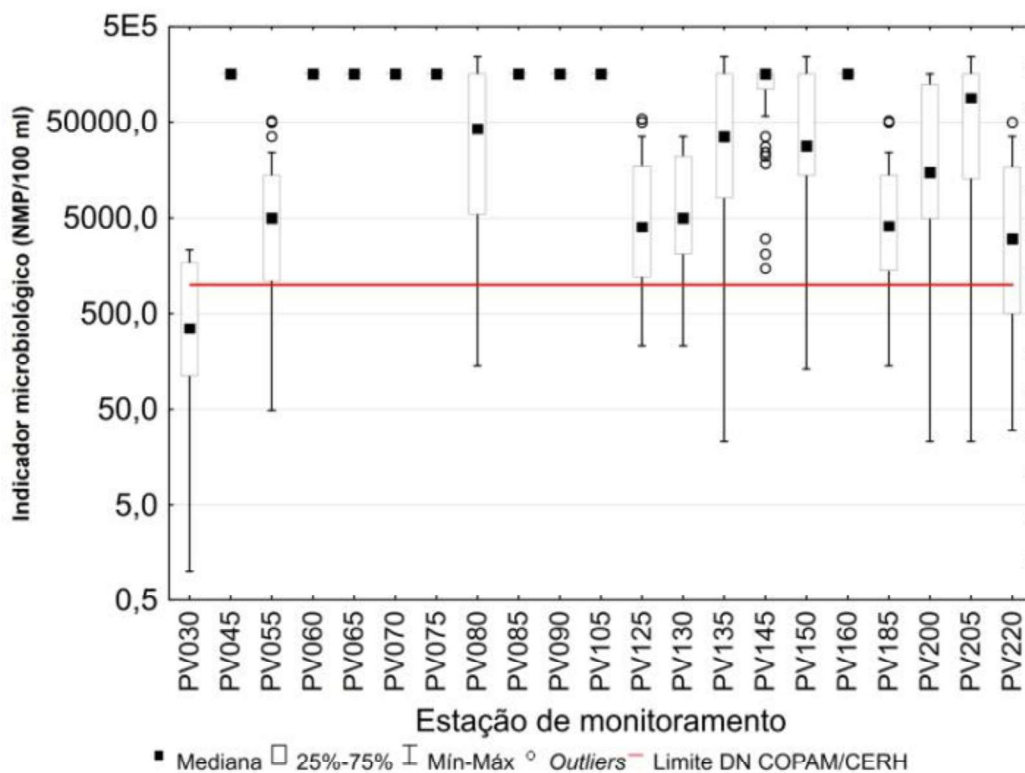


Figura 3. Box-plot dos valores de indicador microbiológico nos corpos d'água monitorados na sub-bacia da represa da Pampulha no período do 3º trimestre de 2006 ao 2º trimestre de 2016

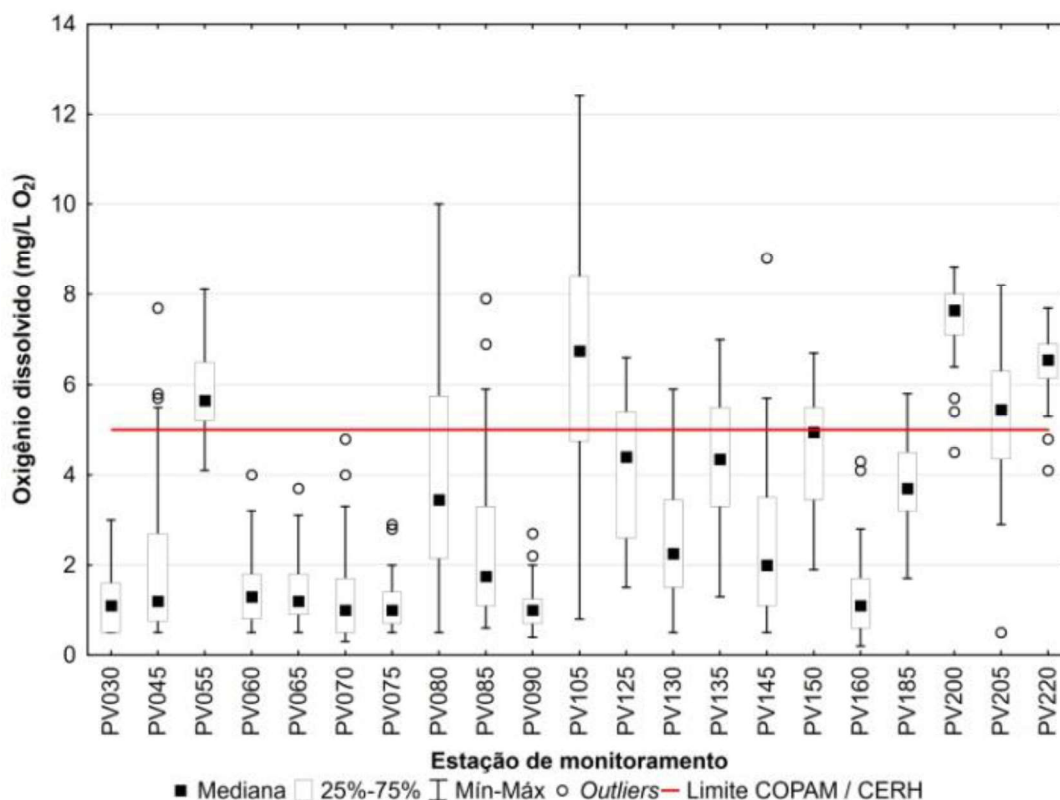


Figura 4. Box-plot dos valores de oxigênio dissolvido nos corpos d'água monitorados na sub-bacia da represa da Pampulha no período do 3º trimestre de 2006 ao 2º trimestre de 2016

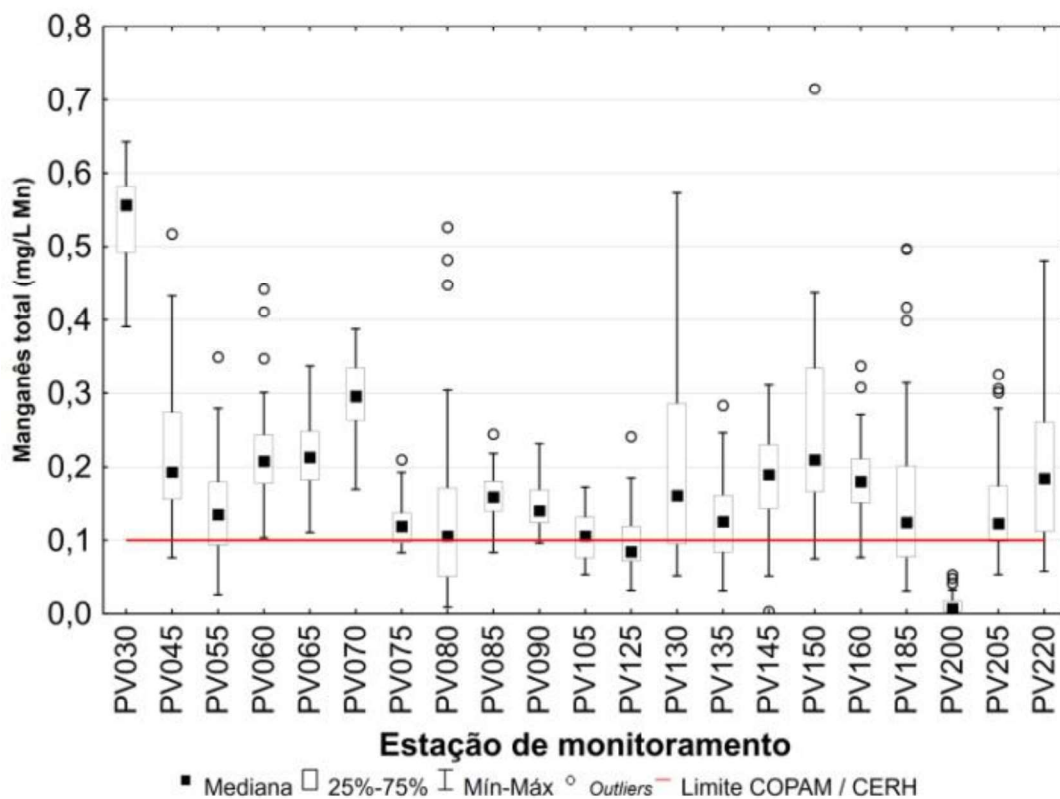


Figura 5. Box-plot dos valores de manganês total nos corpos d'água monitorados na sub-bacia da represa da Pampulha no período do 3º trimestre de 2006 ao 2º trimestre de 2016

Tabela 3. Quadro resumo dos resultados da aplicação dos testes para identificação de tendências temporais

Estações	Parâmetros							
	Indicador microbiológico	DBO	Ferro dissolvido	Fósforo total	Manganês total	Nitrogênio amoniacal total	Óleos e Graxas	Oxigênio dissolvido
PV030					↑	↓	↑	↑
PV045		↓	↓	↓	↓	↓		↑
PV055			↓				↑	↑
PV060	↑						? ↑	
PV065	↑	↑			↑		↑	
PV070	↑	? ↑					? ↓	
PV075	↑		? ↓		↓	↓	? ↓	
PV080					↓		↑	
PV085	↑	↓		? ↓	↓	↓	↑	↑
PV090	↑		↓		↓		↑	↑
PV105							↑	
PV125					? ↑		↑	↓
PV130				↓		? ↓	? ↓	
PV135	? ↑	↑		↑			? ↑	
PV145	↓		↓				↑	
PV150							↑	↑
PV160	↑		↓			? ↑	↑	
PV185	? ↑				↑	↑	↑	↓
PV200		↓	? ↓	↓	↓		↑	↑
PV205					↓		↑	
PV220			↓	? ↑	↓		↑	↑
	↑ Tendência significativa de elevação				↑ Tendência inconclusiva com possibilidade de elevação			
	↓ Tendência significativa de redução				↓ Tendência inconclusiva com possibilidade de redução			