

## IV-001 - AVALIAÇÃO DAS INTERFERÊNCIAS DOS EFLUENTES DA REGIÃO DE JUIZ DE FORA (MG) NA QUALIDADE DA ÁGUA DE TRÊS PCHS EM CASCATA DO RIO PARAIBUNA

**Ana Júlia Duarte de Andrade<sup>(1)</sup>**

Engenheira Química pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e especialista em Meio Ambiente e Saneamento Ambiental pela FUMEC.

**Déborah Tavares Viana**

Bióloga pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC) e mestre em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais.

**Ludmila Alves de Brito**

Bióloga pela Universidade Federal de Minas Gerais, mestre em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais e doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Araguari, 1730, apartamento 901 – Santo Agostinho – Belo Horizonte – Minas Gerais - CEP: 30190111 - Brasil - Tel: +55 (38) 991360306 - e-mail: [anaduartedeandrade@yahoo.com.br](mailto:anaduartedeandrade@yahoo.com.br)

### RESUMO

O Brasil apresenta elevada disponibilidade hídrica, sendo sua principal matriz energética o setor hidrelétrico. Diante dos inúmeros empreendimentos de geração de energia no Brasil, é importante que o monitoramento ambiental considere esses ambientes modificados pelo homem, que são os reservatórios artificiais. Nos grandes rios brasileiros é comum a construção de uma série de reservatórios, que são denominados reservatórios em “cascata”. Embora a interrupção do trajeto de um curso de água, com implicações na estrutura e no funcionamento das comunidades nos reservatórios, os reservatórios ao longo de uma sequência longitudinal apresentam interconectividade significativa entre si. O presente estudo teve como objetivo geral analisar a qualidade da água dos reservatórios das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) Marmelos, Joasal e Paciência, construídos em cascata. Os resultados de qualidade da água das Pequenas Centrais Hidrelétricas Marmelos, Joasal e Paciência indicaram que as águas do rio Paraibuna são impactadas por atividades antrópicas realizadas na região, principalmente, pelo lançamento de efluentes industriais e sanitários advindos de Juiz de Fora e Matias Barbosa. Além disso, os efeitos dos reservatórios em cascata foram observados em pequena escala.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reservatórios em cascata, qualidade da água, efluentes, pequenas centrais hidrelétricas, impactos.

### INTRODUÇÃO E OBJETIVO

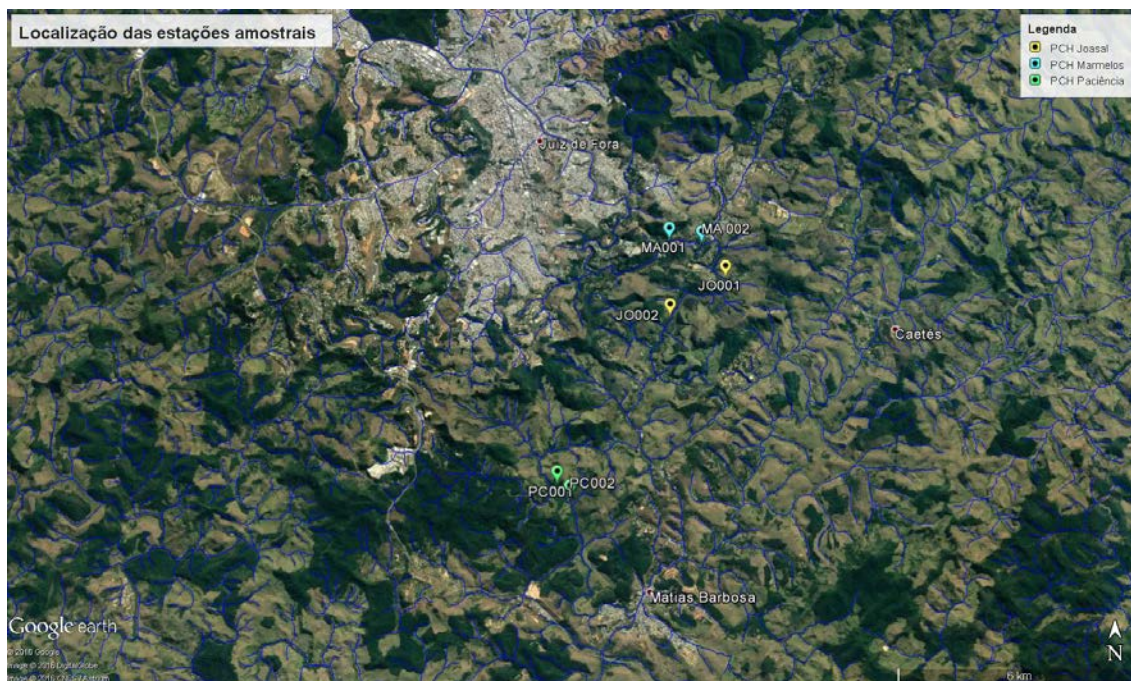
Segundo Tundisi (1986), a qualidade da água é uma integral espacial e temporal que depende das propriedades físicas, químicas e biológicas de um corpo hídrico. A qualidade da água em reservatórios depende ainda de inúmeros outros fatores, relacionados com as características morfométricas do sistema, os mecanismos de circulação, estratificação e desestratificação térmica e química, além das relações da profundidade e interrelações do sedimento/água (Tundisi, 1986).

Nos grandes rios brasileiros é comum a construção de uma série de reservatórios (RODGHER *et al.*, 2005), conhecidos como reservatórios em cascata. De acordo com Barbosa *et al.* (1999), a construção de reservatórios em “cascata” em ordem sucessiva em um mesmo rio motivou a formação de um novo conceito ecológico, o “Conceito do contínuo em cascata de reservatórios”.

Straskraba (1990) faz considerações teóricas sobre os efeitos dos reservatórios em cascata, como por exemplo: o aumento da temperatura da superfície e do fundo à medida que desce a cascata, diminuição de turbidez, carga orgânica e cor, entre outros efeitos. Contudo, características como hidrológicas, geológicas e atividades antrópicas em geral, além de área, volume, profundidade e tempo de detenção do reservatório podem interferir no processo longitudinal do sistema e na sua capacidade depuradora, não apresentando de forma plena, os efeitos de reservatórios em cascata. O presente estudo tem como objetivo geral analisar a qualidade da água dos reservatórios das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) Marmelos, Joasal e Paciência, construídos em cascata.

## METODOLOGIA

As PCH's Marmelos, Joasal e Paciência estão instaladas no rio Paraibuna, próximo aos municípios de Juiz de Fora e Matias Barbosa, na Zona da Mata de Minas Gerais (Figura 1). O rio Paraibuna, no qual se localizam as PCHs supracitadas, nasce na serra da Mantiqueira e pertence a Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH) do Rio Preto e Paraibuna (PS1).



**Figura 1: Localização das PCHs Marmelos Joasal e Paciência e estações amostrais de qualidade da água avaliadas**

Para a avaliação da qualidade da água dos reservatórios construídos em cascatas, PCH's Marmelos, Joasal e Paciência, foram utilizados os dados da Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG das estações amostrais monitoradas de março de 2010 a janeiro de 2016, os quais estão disponíveis no Sistema de Informações de Qualidade da Água dos Reservatórios da Cemig - SISÁGUA. Foram utilizadas seis estações amostrais monitoradas nas três pequenas centrais hidrelétricas.

**Tabela 1: Estações amostrais CEMIG**

Usinas	Estação amostral	Localização da estação	Curso d'água	Bacia pertencente	Município
Marmelos	MA001	Imediatamente à montante do barramento	Rio Paraibuna	Paraíba do Sul (PS1)	Juiz de Fora/MG
Marmelos	MA002	Imediatamente à jusante da casa de força	Rio Paraibuna	Paraíba do Sul (PS1)	Juiz de Fora/MG
Joasal	JO 01	Imediatamente a montante do barramento.	Rio Paraibuna	Paraíba do Sul (PS1)	Juiz de Fora MG
Joasal	JO 02	Imediatamente a jusante da casa de força.	Rio Paraibuna	Paraíba do Sul (PS1)	Juiz de Fora MG
Paciência	PC001	Imediatamente a montante do barramento.	Rio Paraibuna	Paraíba do Sul (PS1)	Matias Barbosa
Paciência	PC002	Imediatamente a jusante da casa de força.	Rio Paraibuna	Paraíba do Sul (PS1)	Matias Barbosa

O Instrumento de Gestão “Enquadramento dos Corpos de Água, segundo os Usos Preponderantes” ainda não foi implementado na PS1, dessa forma foi considerado que os cursos d’água monitorados pertencem a Classe 2, de acordo com a Resolução CONAMA 357 de 2005, a qual estabelece que enquanto as classes não são definidas, as águas doces serão consideradas Classe 2.

Os resultados extraídos foram comparados com as seguintes legislações aplicáveis para águas classe 2, nos âmbitos federal e estadual: Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N° 01 de 05 de maio de 2008. Para efeito de avaliação dos cursos hídricos, caso haja dois limites normativos diferentes, será utilizado o mais restritivo.

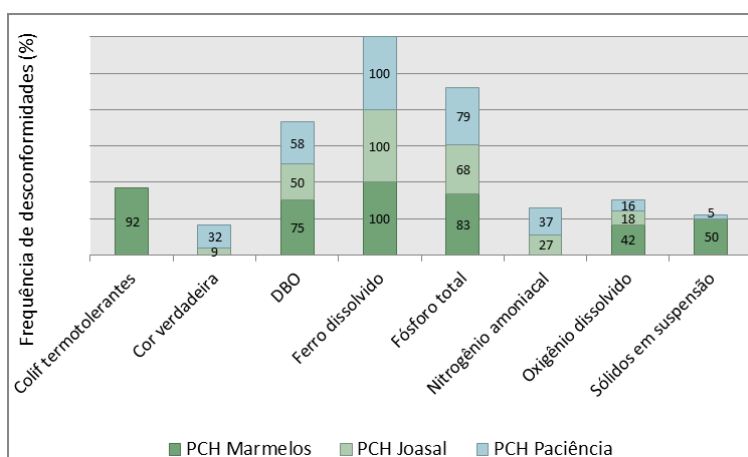
Com o intuito de avaliar a diferença entre a qualidade da água entre os reservatórios em estudo, aplicou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney, com nível de significância de 5% e os dados foram apresentados em gráficos boxplot.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos monitoramentos realizados nas estações localizadas nas pequenas centrais hidrelétricas, Marmelos, Joasal e Paciência da CEMIG, foram identificados numerosos resultados dos parâmetros analisados desconformes com as legislações aplicáveis (Tabela 1 e Figura 2).

**Tabela 1: Frequência de ocorrência de parâmetros fora dos limites estabelecidos pelas legislações estadual e federal nas PCHs Marmelos, Joasal e Paciência de 2010 a 2016**

Parâmetros	Porcentagem de resultados desconformes		
	PCH Marmelos	PCH Joasal	PCH Paciência
Coliformes termotolerantes	92%	Não monitorado	Não monitorado
Cor verdadeira	Não monitorado	9%	32%
DBO	75%	50%	58%
Ferro dissolvido	100%	100%	100%
Fósforo total	83%	68%	79%
Nitrogênio amoniacal	Não monitorado	27%	37%
Oxigênio dissolvido	42%	18%	16%
Sólidos em suspensão	50%	0%	5%



**Figura 2: Frequência de ocorrência de parâmetros fora dos limites estabelecidos pelas legislações estadual e federal nas PCHs Marmelos, Joasal e Paciência de 2010 a 2016**

O maior número de resultados que não atenderam aos limites permitidos está relacionado aos parâmetros demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, nitrogênio amoniacal (Joasal e Paciência), fósforo total,

ferro dissolvido e coliformes termotolerantes (Marmelos). Cabe ressaltar, que no plano de monitoramento há parâmetros que não são limitados pelas legislações aplicáveis, entretanto, com base na literatura e associação com outros parâmetros é possível avaliar os resultados encontrados as possíveis fontes de alteração.

As atividades antrópicas presentes nas margens do rio Paraibuna, como as construções sem planejamento, o lançamento de efluentes, atividade agropecuária, dentre outros, indicaram, através dos dados das séries históricas, impactos negativos na qualidade da água. O lançamento de efluentes foi identificado como principal atividade impactante na qualidade da água do rio Paraibuna, como já estudado por AGEPAV (2006) e por Machado (2011).

## **ALTERAÇÕES DECORRENTES DO LANÇAMENTO DE EFLUENTE**

A maioria dos parâmetros que apresentaram resultados desconformes com recorrência nos pontos de monitoramento das PCH's, provavelmente, está associada ao lançamento de efluentes sanitários e industriais no rio Paraibuna, com contaminação de origem fecal e enriquecimento orgânico (P, DBO,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_3$  Total).

A cidade de Juiz de Fora, localizada às margens da PCH Marmelos e próxima às duas outras PCH's lança 90% de seus efluentes nos corpos d'água próximos sem prévio tratamento (CESAMA, 2016), além do efluente lançado pelo município de Matias Barbosa, como será discutido abaixo.

O município de Juiz de Fora tem população estimada de 555.284 habitantes (IBGE, 2016). Segundo a Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora (Cesama) (2016), o índice de atendimento urbano em coleta de esgoto é de 98,02%, entretanto, apenas 10% do esgoto coletado na cidade é tratado, sendo a companhia a única atuante no local. Cabe destacar que nos distritos de Juiz de Fora não há sistema de tratamento dos esgotos.

A média de efluente gerado per capita para cidade de grande porte, segundo Von Sperling (2005), é de 150 a 300 L/habitantes.dia. Estima-se, portanto, que diariamente são lançados nos corpos d'água aproximadamente 112 milhões de litros de efluentes (utilizando a média aritmética de 225 L/habitantes.dia). Estima-se que, diariamente, são lançados nos corpos d'água próximos ao município, que inclui o rio Paraibuna, aproximadamente 112 milhões de litros de efluentes.

Nos últimos anos, a Cesama tem investido intensamente na ampliação do sistema de coleta e tratamento dos efluentes na região norte de Juiz de Fora, que é atendida pelas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) de Barbosa Lage e Barreira do Triunfo (CESAMA, 2016), no entanto, a contaminação do rio Paraibuna ainda é intensa como identificado nos monitoramentos.

O município de Matias Barbosa, próximo a PCH Paciência, apresenta rede coletora em aproximadamente 30% do município. Grande parte do efluente sanitário gerado também é lançada nos corpos hídricos, sendo os principais receptores os rios Paraibuna, Monte Alegre e Bertoldo.

Além dos efluentes domésticos, de acordo com IGAM (2015) os valores de IQA, indicaram, de forma geral, uma deterioração na condição de qualidade das águas, refletindo além da carência de saneamento básico, possíveis interferências de efluentes industriais como de curtumes, indústrias de laticínios e de abate, o que pode ser uma das causas das alterações identificadas.

Machado (2011), através do monitoramento da qualidade da água, confirmou que a contaminação do rio Paraibuna na área urbana de Juiz de Fora por efluentes domésticos e industriais é grande, sendo muitos resultados acima dos limites permitidos pelas legislações aplicáveis, como também identificado no presente estudo.

Nesse cenário, de elevado aporte de poluentes no rio Paraibuna, a contaminação das águas é fator esperado. Os resultados da série histórica da qualidade das águas superficiais refletem todos esses aspectos, com muitas alterações nas campanhas realizadas.

## **INFLUÊNCIA DOS RESERVATÓRIOS EM CASCATA SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA**

De acordo com os estudos de Ward e Stanford (1983), Barbosa e colaboradores (1999) e Straskraba (1996) os reservatórios construídos em cascata podem auxiliar na diminuição dos poluentes ao longo de sua sequência espacial, uma vez que eles retêm parte dos poluentes e nutrientes, reduzindo a quantidade de sedimento nos corpos d'água. No entanto, características hidrológicas, geológicas e, no caso do presente estudo, principalmente atividades antrópicas, interferem no processo longitudinal do sistema e na sua capacidade depuradora.

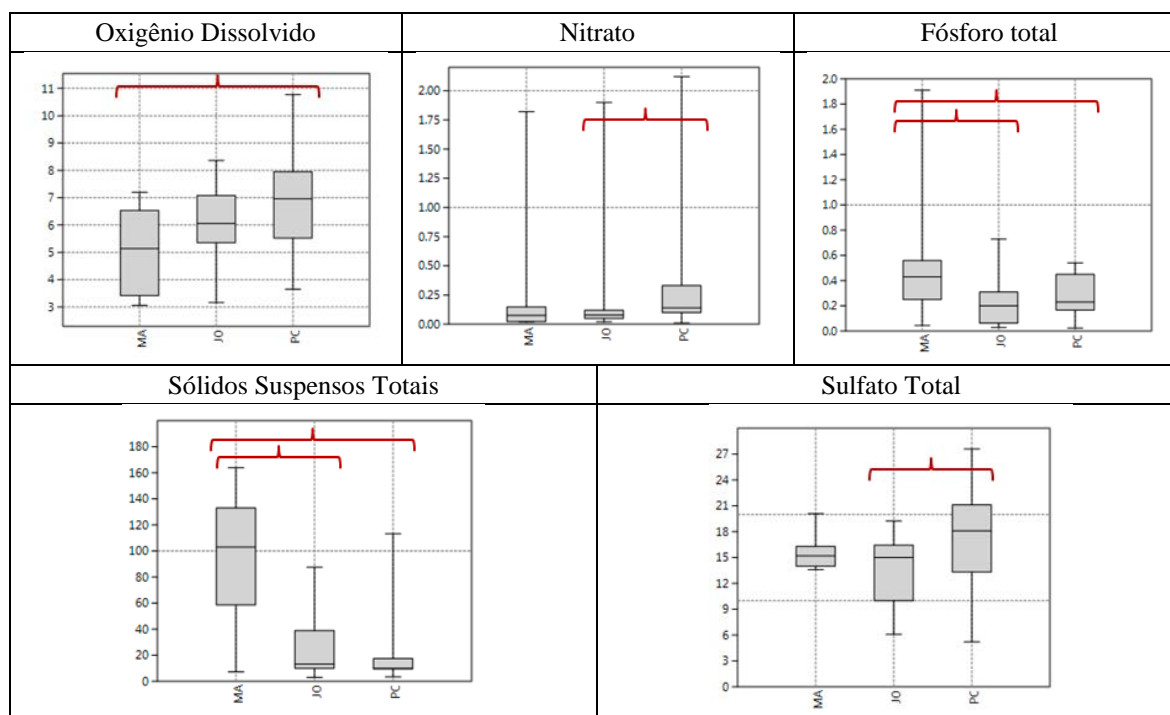
No sistema em cascata em estudo, PCH's Marmelos, Joasal e Paciência, os efeitos acima citados foram visualizados em alguns dos parâmetros indicativos de alterações advindas de efluentes sanitários. As diferenças significativas identificadas através do teste de Mann-Whitney refletem variações em alguns parâmetros que representam os efeitos dos reservatórios em cascata na qualidade da água. As diferenças significativas foram verificadas nos parâmetros nitrato, sulfato total, fósforo total, oxigênio dissolvido e sólidos suspensos totais (Figura 3).

O oxigênio dissolvido apresentou diferença entre as PCHs Marmelos e Paciência, possivelmente devido à distância entre os dois reservatórios, suficiente para a água depurar parte da matéria orgânica derivada dos efluentes lançados em Juiz de Fora. E ainda, os reservatórios em cascata, mesmo que com reduzida área alagada e pequeno tempo de detenção, apresentam função de retenção de parte dos poluentes lançados no rio Paraibuna.

A diferença significativa do nitrato foi entre as PCHs Joasal e Paciência, devido possivelmente a PCH Paciência receber influência tanto dos efluentes de Juiz de Fora, quanto de Matias Barbosa. Na PCH Paciência o nitrato presente, possivelmente, advém tanto de montante, lançamento de efluente em Juiz de Fora, sendo o nitrogênio amoniacal oxidado e convertido em nitrito e nitrato, indicando que a contaminação é distante e, também do lançamento de efluente de Matias Barbosa, com aporte de efluentes e contaminação da série nitrogenada.

O teste revelou também diferenças significativas entre os resultados de fósforo total da PCH Marmelos com a PCH Joasal e também com a PCH Paciência, o que foi possivelmente devido ao maior teor de fósforo na PCH Marmelos, influenciada pela proximidade com o município de Juiz de Fora. A diferença entre as PCHs Joasal e Paciência para o parâmetro sulfato pode estar também ligada a maior entrada de efluentes na PCH Paciência devido à proximidade com Matias Barbosa.

Já para o parâmetro sólidos suspensos verifica-se a interferência dos reservatórios em cascata no rio Paraibuna, sendo o reservatório de Marmelos o que apresentou a maior concentração e Paciência a menor concentração para esse parâmetro. Esse resultado possivelmente identifica a retenção de sólidos nos barramentos, o que torna a qualidade da água a jusante melhor em relação ao teor de sólidos.



**Figura 3: Boxplot dos parâmetros que apresentaram diferenças significativas para o teste de Mann-Whitney - Obs.: Os colchetes indicam onde houve diferenças significativas ( $p < 0,05$ )**

Apesar de se verificar diferença entre as concentrações das PCHs, a depuração dos componentes orgânicos não foi suficientemente eficaz para restaurar a qualidade da água do rio Paraibuna. Pelo fato do lançamento de efluentes de Juiz de Fora ser elevado e contínuo, superior a 100 milhões de litros diários, há grande interferência externa na qualidade da água. Há também o lançamento de efluente no município de Matias Barbosa, que está localizado a montante da PCH Paciência, contribuindo para as alterações na qualidade da água do rio Paraibuna no trecho mais baixo.

Outro ponto a ser considerado é o tamanho dos reservatórios, que possuem pequena área alagada, baixo tempo de detenção e baixa profundidade. Dessa forma, não há grande redução na velocidade da água e tempo de detenção suficiente para ocorrer, em grande escala, os processos de sedimentação, adsorção, complexação, dentre outros.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados de qualidade da água das Pequenas Centrais Hidrelétricas Marmelos, Joasal e Paciência indicaram que as águas do rio Paraibuna são impactadas por atividades antrópicas realizadas na região, principalmente, pelo lançamento de efluentes industriais e sanitários advindos de Juiz de Fora e Matias Barbosa. Esses resultados corroboram os dados de tratamento de esgoto de Juiz de Fora, os quais mostram que mais de cem milhões de litros são lançados diariamente no curso d'água (CESAMA, 2016).

Os efeitos de reservatórios construídos em cascata estudados por Ward e Stanford (1983), Barbosa et al. (1999) e Straskraba (1996) foram observados em pequena escala no presente trabalho. Isso provavelmente ocorreu pelo fato das usinas apresentarem pequena área alagada, baixo tempo de detenção, baixa profundidade, por serem usinas a fio d'água, além do aporte contínuo de efluentes advindos de Juiz de Fora e Matias Barbosa.

Para a manutenção da qualidade das águas para os seus usos múltiplos é de extrema importância que os efluentes sanitários e industriais sejam tratados antes de serem lançados nos corpos d'água. Deve-se considerar também a manutenção e preservação das matas ripárias para auxiliar na manutenção do ecossistema aquático e sua capacidade de auto-depuração.

Visando possibilitar a implantação de sistemas de tratamento de efluentes eficientes, é necessário que os efluentes sejam transportados separadamente das águas pluviais (sistemas separadores), impedindo a chegada de água da chuva nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), uma vez que essas são incorporadas ao esgoto aumentando a vazão a ser tratada sazonalmente e refletindo de forma negativa à operação das unidades de tratamento.

Com posse dos dados de qualidade das águas da CEMIG e IGAM, além de dados de saneamento básico, sugere-se que haja um plano de comunicação com a sociedade da região, a fim de conscientizá-los acerca da atual situação da qualidade da água do rio Paraibuna. Se não cientes, o uso da água pela sociedade pode acarretar efeitos adversos à saúde humana.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- BARBOSA, F. A. R. et al. The cascading reservoir continuum concept (CRCC) and its application to the river Tietê-basin, São Paulo State, Brazil. 1999.
- 2- CALAZANS, G. M. Avaliação e proposta de adequação da rede de monitoramento da qualidade das águas superficiais das sub-bacias do Rio das Velhas e do Rio Paraopeba utilizando técnicas estatísticas multivariadas. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2015.
- 3- CESAMA, Companhia de saneamento municipal de Juiz de Fora. A importância do esgoto tratado. Acessado em 27 de julho de 2016, disponível em <http://www.cesama.com.br/?pagina=material-institucional>.
- 4- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em < <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=313670>>. Acesso em 09 de setembro de 2016.
- 5- INMET. NOTA TÉCNICA No. 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET. Rede de estações meteorológicas automáticas do INMET. Disponível em: < [http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo\\_iframe/pdf/Nota\\_Tecnica-Rede\\_estacoes\\_INMET.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo_iframe/pdf/Nota_Tecnica-Rede_estacoes_INMET.pdf)>. Acesso em 08 de setembro de 2016.
- 6- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. Monitoramento da qualidade das águas superficiais no estado de Minas Gerais. Relatório trimestral – 4º trimestre de 2014. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 194p. 2015.
- 7- MACHADO, P. J. O. Qualidade das águas urbanas em Juiz de Fora. Revista Geografia\_PP GEO, vol 1 n ° 1, 2011.
- 8- RODGHER, S.; ESPÍNDOLA, E.L.G.; ROCHA, O.; FRACÁCIO, R.; PEREIRA, R.H.G.; RODRIGUES, M.H.S. Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoirs in the Tietê river (São Paulo, Brazil). Brazilian Journal of Biology, v.65, p. 69-710, 2005.
- 9- STRASKRABA, M & TUNDISI, J. G. Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos. Volume 9. Gerenciamento da qualidade da água de represa. IIE/ ILEC 300pp. 2008.
- 10- STRAŠKRABA, Milan. Ecotechnological methods for managing non-point source pollution in watersheds, lakes and reservoirs. Water Science and Technology, v. 33, n. 4, p. 73-80, 1996.
- 11- VON SPERLING, M.. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ª edição, volume I. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. 2005.
- 12- WARD, J.V. and STANFORD, J.A. The serial discontinuity concept in lotic ecosystems. In FONTAINE, TD. and BARTHEL, SM. (eds.). Dynamic of lotic ecosystems. Michigan: Ann. Arbor. Scien, p. 347-356. 1983.