

## IV-149 - ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS AFLUENTES PAULISTAS E FLUMINENSES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL

**Deborah Martins de Carvalho<sup>(1)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

**Aline Ribeiro Alkmim**

Engenheira Química pela Universidade Federal de Minas Gerais. Especialista em Controle Ambiental na Indústria, Mestre e Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelo Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais Escola (SMARH/UFMG).

**Silvia Maria Alves Correia Oliveira**

Engenheira eletricista, Mestre e Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG. Professora Adjunta do Depto. Eng. Sanitária e Ambiental (DESA) e diretora de fomento à pesquisa.

**Lívia Duarte Ventura Melo**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre e Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelo Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais Escola (SMARH/UFMG).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Antônio Carlos, 6627, Escola de Engenharia, Bloco 2, sala 4616 - Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP: 31270-901 - Brasil - Tel: +55 (31) 3409-1038 - e-mail: [deborah\\_martins08@hotmail.com](mailto:deborah_martins08@hotmail.com)

### RESUMO

A análise da qualidade da água é uma importante característica que assegura o devido uso da mesma. Através dos parâmetros de qualidade da água pré-estabelecidos pelos órgãos ambientais é possível realizar esta análise e assim, tomar decisões a fim de mantê-la ou melhorá-la. O presente trabalho avaliou a qualidade da água dos afluentes paulistas e fluminenses da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul quanto aos parâmetros: oxigênio dissolvido (OD), coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total, fosfato total, turbidez e sólidos totais. Foram feitos testes estatísticos não paramétricos para comparar as estações paulistas e fluminenses e para comparar entre as estações de cada estado. Os resultados mostraram diferença significativa entre as estações paulistas e fluminenses na maioria dos parâmetros. O mesmo ocorreu entre as estações de cada estado, sendo cada parâmetro avaliado individualmente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade da água, Bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, análise estatística de dados ambientais

### INTRODUÇÃO

O rio Paraíba do Sul nasce na Serra da Bocaina no estado de São Paulo e sua bacia possui cerca de 62.074 km<sup>2</sup>. Ela abrange 184 municípios, sendo 39 no estado de São Paulo, 88 em Minas Gerais e 57 no Rio de Janeiro, estado cuja maior parte de sua área (63%) encontra-se nesta bacia (CEIVAP, 2016 a). De acordo com o Censo Demográfico realizado em 2010 (IBGE), a maior parte da população residente na área da bacia é urbana. A Bacia possui grande importância no abastecimento hídrico, no fornecimento de energia e na atividade pesqueira. Também percebe-se grande presença de esgotos nas águas, contribuindo, desta forma, para a degradação dos rios, tendo em vista que 95% dos esgotos produzidos na região não possuem tratamento e são lançados nos cursos d'água diariamente (AGEVAP, 2006). Os principais afluentes são os rios Jaguari, Paraíba (MG/RJ), Pirapetinga, Pomba, Muriaé, Una, Bananal, Pirai, Piabonha e Dois Rios, sendo os mais penalizados pela poluição (CEIVAP, 2016 b).

Por estar localizada em uma das regiões mais desenvolvidas do Brasil, abriga grandes polos industriais e populacionais. Destaca-se a bacia do rio Muriaé com as atividades de mineração de areia, rocha ornamental e extração de calcário. Na região da rodovia BR 116, que liga o Rio de Janeiro à São Paulo estão presentes

grandes montadoras de automóveis, indústrias siderúrgicas e químicas. As atividades pecuárias são mais intensas na região do Baixo Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro.

Em consequências das atividades de uso do solo realizadas na bacia é possível observar diversas interferências que ocasionam impactos na qualidade das águas. Entre elas estão: sobrecargas de esgotos e efluentes industriais lançados, cargas difusas, processos erosivos e assoreamento, remoção de recursos minerais para a construção civil sem a devida recuperação ambiental, ocupação desordenada do solo, entre outros (IGAM, 2016). Tais impactos acarretam, além de altas concentrações de matéria orgânica e turbidez, um baixo teor de oxigênio dissolvido, configurando os corpos d'água como poluídos.

As características físicas, químicas e biológicas são representadas através de parâmetros que traduzem o nível de qualidade da água (VON SPERLING, 2007). Como citado anteriormente, a concentração de oxigênio dissolvido e o nível de turbidez são exemplos de parâmetros que, conforme as suas quantificações, caracterizam a qualidade da água. As tentativas de representar em um único valor o significado de um conjunto de dados deram origem a diversos indicadores de qualidade da água (LIBÂNIO, 2010). Como exemplo têm-se os índices de diversidade desenvolvidos por Shannon e Wiener em 1949, o de saprobidade elaborado por Pantle e Buck em 1955, além do de qualidade da água desenvolvido pela *U. S. National Sanitation Foundation* (NSF) em 1970.

Esse último citado, também conhecido como IQA (Índice de Qualidade das Águas), é utilizado no Brasil para avaliar a qualidade de água bruta visando a sua adequação para o abastecimento público, após tratamento. É composto por nove parâmetros, sendo eles oxigênio dissolvido (OD), coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total, fosfato total, temperatura da água, turbidez e sólidos totais. O fato de alguns parâmetros importantes para abastecimento público, tais como substâncias tóxicas, microrganismos patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água não fazerem parte do cálculo faz com que a avaliação tenha algumas limitações. Entretanto, esses fatores não impedem a sua ampla utilização no território brasileiro. Cada parâmetro possui seu respectivo peso, que foram fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água (ANA, 2016).

Desta maneira, o presente trabalho tem como objetivo avaliar estatisticamente os afluentes paulistas e fluminenses da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, levando em consideração alguns parâmetros do Índice de Qualidade das Águas (IQA), excluindo-se dessa análise a temperatura da água tendo em vista que este parâmetro não estava contido no conjunto de dados utilizados. Para isso realizar-se-á uma análise descritiva e comparativa dos afluentes citados através de testes de hipóteses.

## METODOLOGIA

O monitoramento da qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul é realizado em cada estado pertencente à área pelo respectivo órgão estadual relacionado à gestão das águas. São, no total, 17 estações de amostragem nos afluentes paulistas e fluminenses, sendo sete no estado de São Paulo e dez no estado do Rio de Janeiro (AGEVAP, 2014).

Inicialmente foi feito o tratamento dos dados visando manter a consistência das análises. Desta forma um período de amostragem foi definido, sendo este de agosto de 2005 a outubro de 2013, para que fosse igual a todas as estações e que o maior número de dados fosse analisado. Devido a essa condição, o número de estações foi reduzido para 9, sendo descartadas as estações que não possuíam monitoramento no período definido, restando quatro estações paulistas e cinco fluminenses. A localização de cada uma pode ser observada no mapa da Figura 1.

Os valores dos parâmetros de qualidade de água das estações paulistas foram comparados com os valores das estações fluminenses utilizando testes estatísticos não paramétricos de *Mann-Whitney* ao nível de significância de 5%, de forma a comprovar se os dois grupos independentes possuíam ou não diferenças significativas. Já as estações de cada estado foram comparadas entre si utilizando testes estatísticos não paramétricos de *Kruskal-Wallis* seguidos de testes de comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, com a finalidade de constatar se a qualidade de água de cada estação era estatisticamente diferente uma da outra. As análises estatísticas foram realizadas no software *Statistica 8.0*.

De posse dos resultados estatísticos, buscou-se identificar os fatores decorrentes do uso e ocupação do solo que interferem mais na região, poluindo aos corpos d'água. Além disto, todos os parâmetros foram avaliados de modo a se saber quais medidas tomar, tendo em vista o uso que o corpo d'água terá.

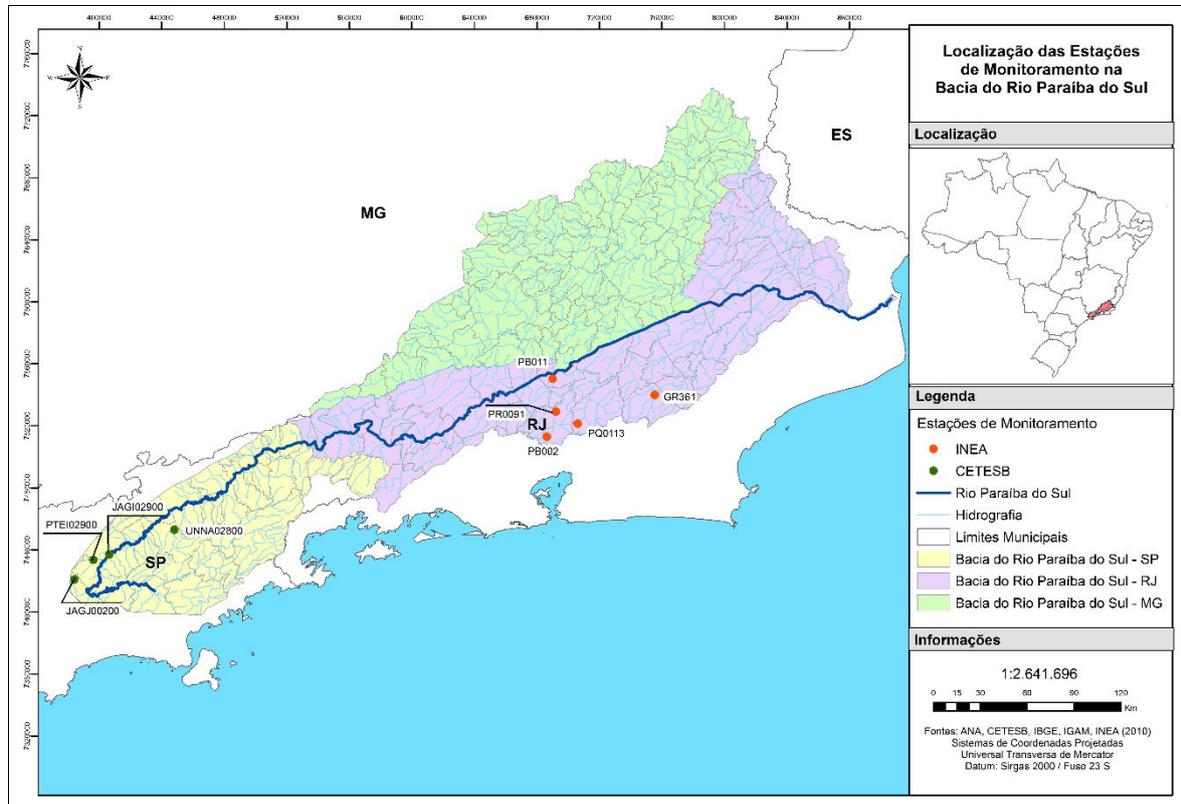


Figura 1: Mapa de localização das estações de monitoramento analisadas – Bacia do rio Paraíba do Sul.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Comparação entre as estações paulistas e fluminenses em relação aos parâmetros físicos, químicos e biológicos

Para essa análise, comparou-se as concentrações dos parâmetros para as estações presentes nos afluentes paulistas e fluminenses, sendo esses: coliformes termotolerantes, fósforo total, DBO, nitrogênio total, OD, turbidez e pH, utilizando o teste não paramétrico de *Mann-Whitney*.

Os resultados do teste aplicado para os valores de pH e de turbidez apontaram que não existem diferenças entre as concentrações encontradas para os afluentes da bacia, com medianas que mostraram condição similar de qualidade das águas para os dois estados em relação a estes parâmetros. Para os demais parâmetros o teste não paramétrico de *Man-Whitney* apresentou diferenças significativas ao nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Os gráficos *box plot* dos parâmetros citados podem ser observados na Figura 2.

A diferença pode estar relacionada aos efluentes sanitários que são despejados nos rios sem tratamento. De acordo com Gonçalves (2016), na região de cabeceira da bacia (localidade das estações paulistas), o comprometimento da qualidade das águas é menos acentuado. A quantidade de pontos de lançamento de esgotos é relativamente inferior em comparação com os pontos de lançamento localizados nas áreas relativas às estações fluminenses. Isto explica os valores da mediana maiores dos parâmetros DBO, fósforo total, nitrogênio total e coliformes termotolerantes e valores e menores para OD nas estações localizadas no estado do Rio de Janeiro.

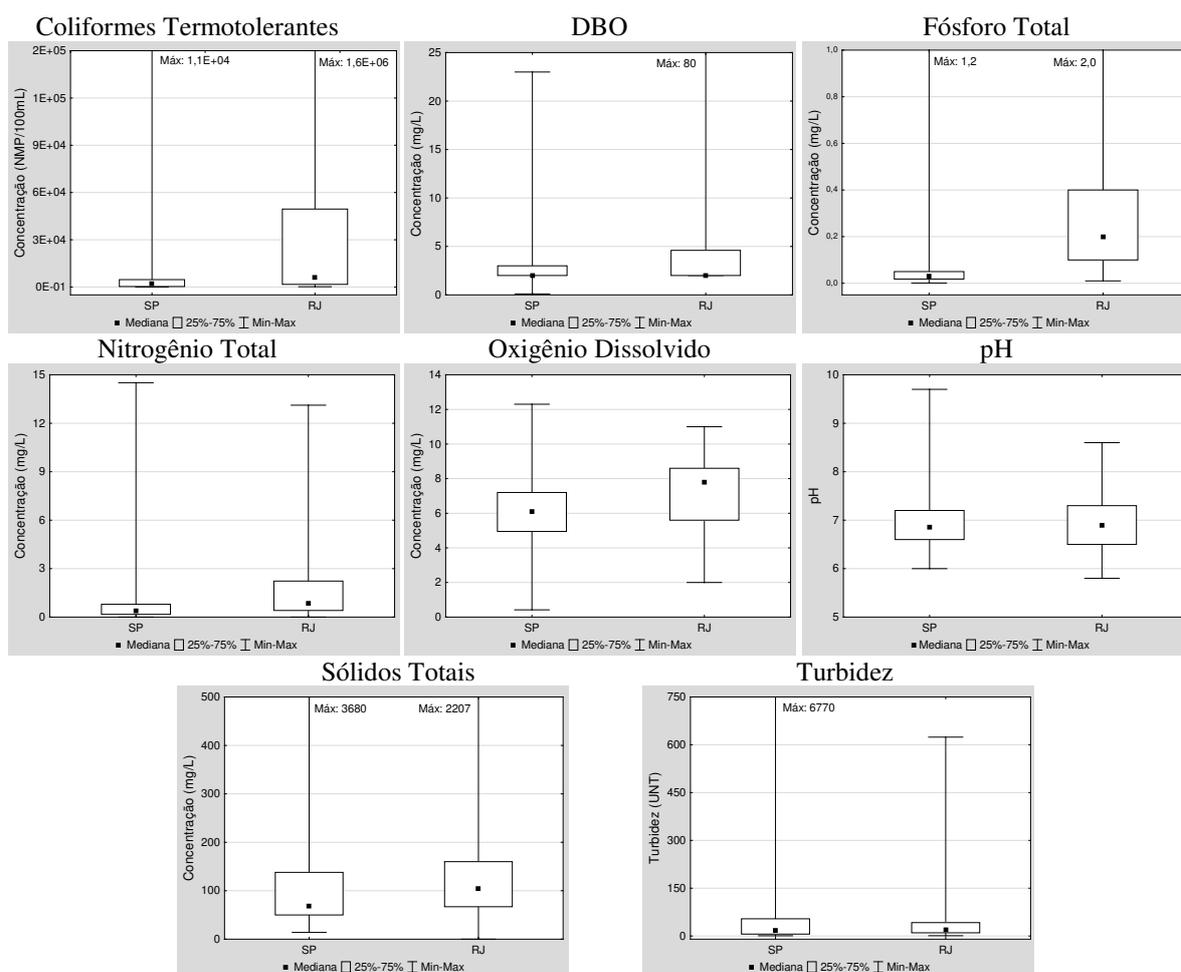


Figura 2: *Box plot* dos valores das concentrações dos parâmetros coliformes termotolerantes, DBO, fósforo total, nitrogênio total, OD, pH, sólidos totais e turbidez nas estações paulistas

#### Comparação entre as estações dos afluentes paulistas

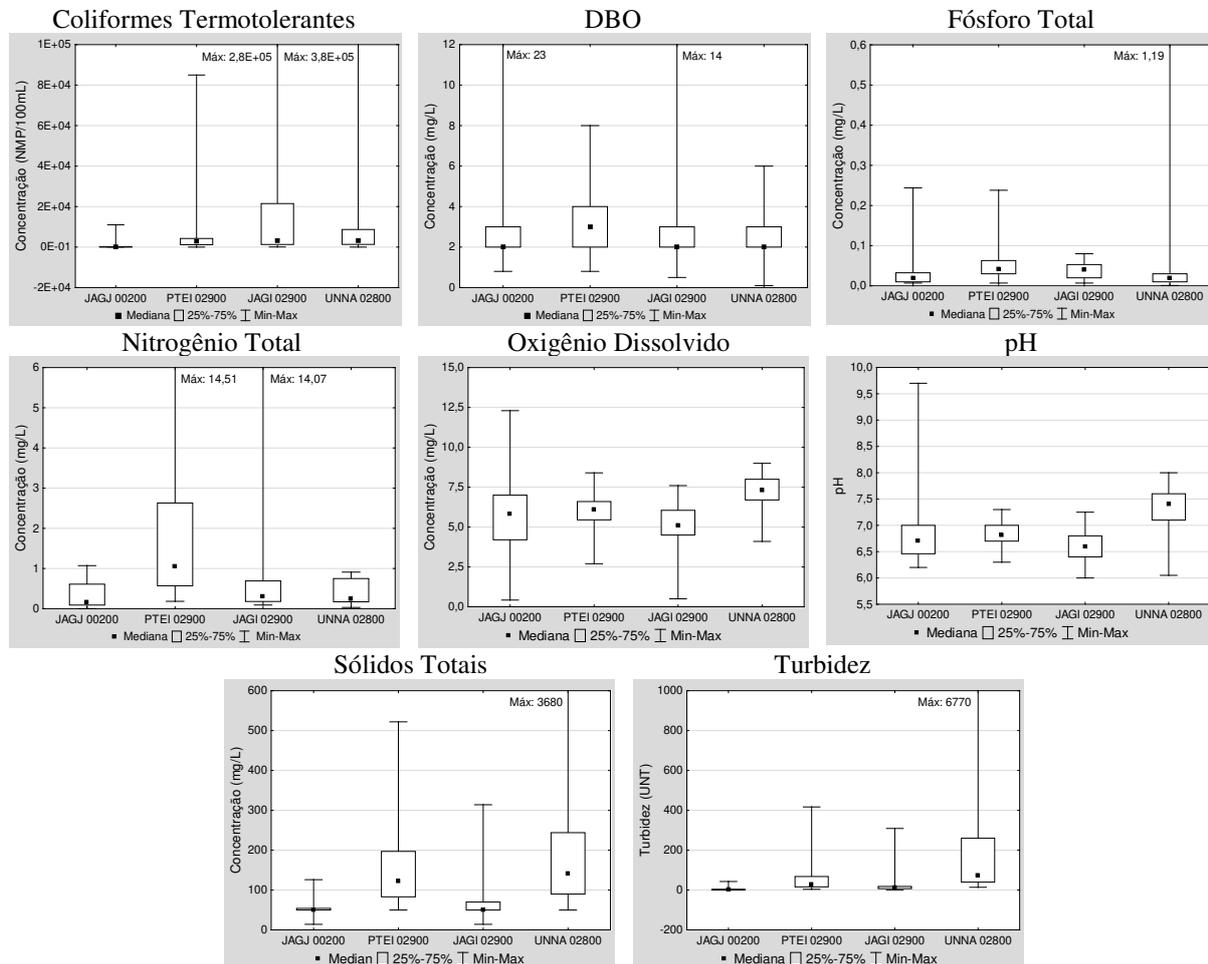
Foram analisadas quatro estações nos afluentes paulistas - JAGJ 00200, PTEI 02900, JAGI 02900, UNNA 02800 – considerando os sete parâmetros escolhidos. Todos os parâmetros, quando submetidos ao teste de *Kruskal Wallis*, apresentaram diferença significativa dos dados entre as estações ao apresentarem um p-valor menor que 0,05. Portanto, foram realizados os testes de comparações múltiplas para todos os parâmetros. Foi possível verificar através dos testes e dos gráficos *box plot* (Figura 3) confeccionados, que os parâmetros que demonstraram maior diferença entre as estações foram coliformes termotolerantes e DBO.

Os dados da estação JAGJ 00200 se diferenciaram significativamente das outras estações, com relação aos coliformes termotolerantes. A concentração deste parâmetro foi menor em relação às outras estações e, por isso, ela apresentou-se significativamente diferente. Essa diferença pode estar relacionada à localização das estações, próxima ou não de uma área urbana, onde há constante lançamento de efluentes domésticos. Através da análise do uso do solo da região (CEIVAP, 2006) observou-se que a estação está inserida em uma região mais afastadas de centros urbanos o que assegura a afirmação anterior.

A estação PTEI 02900 foi a única a se diferenciar significativamente das outras estações com relação aos dados de DBO e nitrogênio total. A concentração desses parâmetros apresentou-se maior nesta estação, o que indica uma possível contaminação por efluente doméstico no corpo d'água onde ela está localizada. Quanto ao fósforo total, nenhuma das estações apresentaram diferença significativa, o que indica que o aporte deste nutriente para os corpos d'água analisados é relativamente parecido.

Em relação ao oxigênio dissolvido e ao pH, a principal observação através do teste foi de que a estação UNNA 02800 é a que se diferencia significativamente de todas as outras estações, além das estações PTEI 02900 e

JAGI 02900 que se diferenciam entre si. Os dados sólidos totais e de turbidez se diferenciam em todas as estações, exceto nas estações PTEI 02900 e UNNA 02800 que não apresentaram diferença significativa. Nesse caso, as duas últimas estações citadas apresentaram maior concentração de sólidos totais, o que condiz com o maior valor de turbidez.



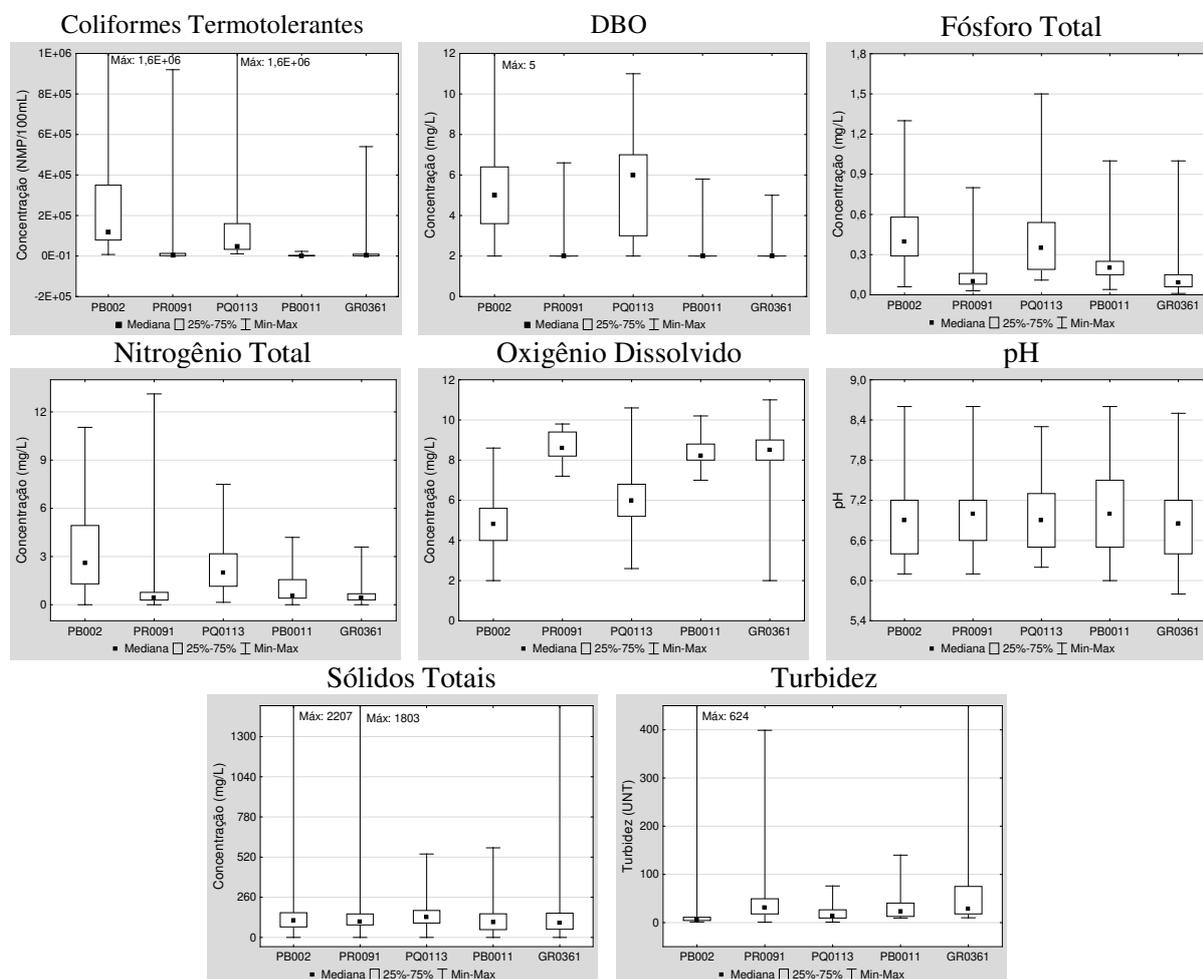
**Figura 3: Box plot dos valores das concentrações dos parâmetros coliformes termotolerantes, DBO, fósforo total, nitrogênio total, OD, pH, sólidos totais e turbidez nas estações paulistas**

### Comparação entre as estações dos afluentes fluminenses

Foram analisadas cinco estações nos afluentes fluminenses – PB002, PR0091, PQ0113, PB0011 e GR0361 – considerando os sete parâmetros escolhidos. Os resultados do teste de *Kruskal Wallis* para todos os parâmetros, exceto o pH, apresentaram diferença significativa na distribuição de dados devido a apresentarem um p-valor menor que 0,05. Portanto, foram realizados os testes de comparações múltiplas para os parâmetros que apresentaram diferença significativa. Através dos testes e do gráfico *Box plot* de cada parâmetro (Figura 4) foi possível observar que os parâmetros que mais apresentaram variações entre as estações foram, novamente, coliformes termotolerante, DBO e, neste caso, fósforo total e OD.

As estações que apresentaram maior diferenciação com relação às outras foram PB002 e a PQ0113. As concentrações elevadas de coliformes termotolerantes, DBO, nitrogênio total e fósforo total somado as baixas concentrações de OD em relações as demais estações indicam que a montante da área de monitoramento há lançamentos de esgoto doméstico bruto. Ambas as estações estão situadas na sub-bacia do Rio Piabanha sendo a primeira localizada no próprio rio, na região central da cidade de Petrópolis, e a segunda em um de seus afluentes, o rio Paquequer. Esta região possui grande adensamento populacional e com ocupação desordenada nas margens dos corpos d'água. A proximidade com a cidade do Rio de Janeiro induziu a um crescimento urbano acentuado e inadequado para as condições ambientais da bacia, acarretando a degradação do rio

(Comitê Piabanha, 2013). Com relação ao pH, sólidos totais e turbidez, nenhuma das estações apresentaram diferença significativa quanto as concentrações estes parâmetros.



**Figura 4: Box plot dos valores das concentrações dos parâmetros coliformes termotolerantes, DBO, fósforo total, nitrogênio total, OD, pH, sólidos totais e turbidez nas estações fluminenses**

## CONCLUSÃO

A partir da análise dos testes de hipóteses realizados pode-se observar que as concentrações de todos os parâmetros relacionados ao Índice de Qualidade das Águas, exceto pH e turbidez, são significativamente diferentes comparando os afluentes dos dois estados. Os valores das concentrações dos parâmetros avaliados dos afluentes fluminenses são geralmente mais elevados que os valores dos afluentes paulistas. Desta maneira, é necessário um maior acompanhamento e melhor tratamento dos efluentes que são lançados nos rios.

Além disso, foi possível observar variações significativas entre as estações de monitoramento de um mesmo estado, com exceção dos dados do parâmetro pH que foram coletados na porção fluminense. Essas variações se devem à localização das estações e as características de cada região como o uso e ocupação do solo, além das ações antrópicas que interferem no ecossistema, como o lançamento de efluentes domésticos e industriais.

As análises estatísticas realizadas neste trabalho são de efetiva importância na avaliação da qualidade da água, pois assim é possível saber sobre as principais características dos rios. Deste modo consegue-se saber quais medidas tomar, tendo em vista o uso que o corpo d'água terá, em relação a tratamento e melhoria da qualidade visando a saúde da população e a conservação do ambiente aquático

## AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais), ao Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SMARH-UFMG) pelo apoio no desenvolvimento deste estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. *Índice de Qualidade das Águas (IQA)*. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 27 nov. 2016.
2. ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL – AGEVAP. *Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Paraíba do Sul – Resumo – Plano de Recursos Hídricos Consolidado Resumo*, 2006, 132p.
3. ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL – AGEVAP. *Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e Planos de Ação de Recursos Hídricos das Bacias Afluentes - Relatório de Diagnóstico*, 2014, 299p.
4. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Boletim Anual da Qualidade das Águas na Bacia Hidrográfica dos Rios Pomba e Muriaé*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 7p. 2016.
5. COMITÊ DE INTEGRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL – CEIVAP a. *Uso da água*. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br/geoambientais.php>> Acesso em: 24 nov. 2016.
6. COMITÊ DE INTEGRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL – CEIVAP b. *Dados geoambientais*. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br/geoambientais.php>> Acesso em: 24 nov. 2016.
7. COMITÊ PIABANHA, 2013. *Monitoramento Rio Piabanha - Maio/2012 a Abril/2013*. Disponível em: <[http://comitepiabanha.org.br/downloads/monitoramento\\_piabanha\\_relatorio\\_final.pdf](http://comitepiabanha.org.br/downloads/monitoramento_piabanha_relatorio_final.pdf)>. Acesso em: 27 dez. 2016.
8. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
9. GONÇALVES, F. M. *Bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul: avaliação integrada da qualidade das águas dos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo*. 2016. 155f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2016).
10. LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 3. ed. Campinas: Editora Átomo, 2010. 494p.
11. VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto*. 3. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005. 452 p.