

IV-082 - IDENTIFICAÇÃO DOS CORPOS D'ÁGUA MAIS IMPACTADOS DA SUB-BACIA DO RIO PARAÓPEBA, INSERIDA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

Josiani Cordova de Oliveira⁽¹⁾

Engenheira Agrônoma e Mestre em Engenharia Florestal pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Ana Luiza Cunha Soares⁽²⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade FUMEC. Mestre e doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Gabriela Rodrigues Barroso⁽³⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Marina Salim Dantas⁽⁴⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira⁽⁵⁾

Engenheira Eletricista, Mestre e Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professora Associada do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA-UFMG).

Endereço⁽¹⁾: Escola de Engenharia - UFMG, Avenida Antônio Carlos - 6627- Bloco 1 – Sala 4617 - Pampulha - Belo Horizonte - Minas Gerais - CEP: 31270901 - Brasil - Tel: (31) 991959733 - e-mail: analulucunha@gmail.com

RESUMO

Esta pesquisa utilizou técnicas estatísticas não paramétricas e multivariadas para a avaliação da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Paraopeba. A Análise de Cluster (AC) associada a testes não paramétricos possibilitou a identificação dos corpos d'água mais degradados na área de estudo. O ribeirão das Areias ou riacho das Pedras, localizado no município Betim foi considerado o mais impactado na bacia do rio Paraopeba. Outros municípios que também impactam a qualidade dos corpos d'água da bacia são Ibirité, Conselheiro Lafaiete, Mateus Leme e Congonhas. Além de concentrarem uma população de aproximadamente 730 mil habitantes, possuem uma alta concentração de indústrias, o que, juntamente com a parcela de esgotos não tratados, potencializa os efeitos negativos na qualidade dos recursos hídricos. Os resultados encontrados apontam a necessidade de investimentos em saneamento básico, melhoria na eficiência do tratamento dos efluentes industriais, manejo adequado do solo, preservação da vegetação marginal e ações de educação ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade das águas, Análise de Cluster, *Kruskal-Wallis*, Bacia do rio Paraopeba.

INTRODUÇÃO

A qualidade das águas superficiais pode ser alterada por diversos fatores, seja pela intervenção antrópica ou pelos processos naturais de variação da precipitação, intemperismo das rochas e erosão. Essas modificações alteram a qualidade das águas, podendo torná-las inadequadas para os seus usos múltiplos como consumo humano, industrial, dessedentação animal, recreação e irrigação. Dessa forma, o monitoramento da qualidade das águas superficiais é de extrema importância para a gestão eficiente dos recursos hídricos, pois seus resultados possibilitam um melhor conhecimento da situação da qualidade das águas e das principais alterações ocorridas ao longo do tempo, permitindo detectar tendências espaciais e temporais.

Em geral, os programas de monitoramento incluem resultados de diversos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, mensurados em várias estações de amostragem durante longos períodos de tempo. Por consequência, é gerado um banco de dados complexo e extenso, o que dificulta a extração de informações úteis. Assim, a aplicação de diferentes técnicas estatísticas facilita a interpretação de dados, permitindo compreender melhor as variações temporais e espaciais da qualidade da água, identificar possíveis fatores que influenciam nas condições dos corpos d'água, oferecer uma ferramenta valiosa para a gestão dos recursos hídricos (MOHAMED *et al.*, 2015; JUNG *et al.*, 2016) e, ainda, identificar se a distribuição espacial dos parâmetros investigados é condizente com as atividades existentes (OMO-IRABOR *et al.*, 2008).

Dentro deste contexto, este trabalho apresenta uma avaliação estatística dos dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do rio Paraopeba, em Minas Gerais, visando identificar os locais mais impactados e os principais fatores de pressão associados a esta condição.

OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade da água das estações de monitoramento da bacia do rio Paraopeba, e determinar os cursos d'água mais impactados, por meio de análises multivariadas e testes não paramétricos.

METODOLOGIA

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Paraopeba, definida como Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) SF3, situa-se na região central do estado de Minas Gerais, na bacia do rio São Francisco, ocupando uma área de 12.054 km². Abrange 48 municípios com uma população aproximada de 2.350.000 habitantes (IGAM, 2013). Os diversos usos dos recursos hídricos da Bacia são caracterizados, principalmente, por abastecimento doméstico e industrial, irrigação, mineração, dessedentação de animais, pesca e piscicultura, sendo de grande relevância para a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), pois abastece 53% da população desta região. No Alto Paraopeba destacam-se as atividades relacionadas com mineração e siderurgia. Na região do Médio Paraopeba, há uma rica diversidade industrial, com destaque para grandes indústrias dos ramos automobilístico, petroquímico e alimentício. A mineração de ferro também está presente nessa região, sobretudo nas serras de Itatiaiuçu, Serra Azul e Farofas, que ainda pertencem ao Quadrilátero Ferrífero (IGAM, 2013). Na região do Baixo Paraopeba, a ocupação é menor e as atividades econômicas se relacionam com a extração de ardósia e produção de eucalipto para siderúrgicas da região (CIBAPAR, 2016).

Organização do banco de dados

Foram utilizados os dados de monitoramento disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), da rede de monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Paraopeba, sub-bacia da bacia hidrográfica do rio São Francisco. O banco de dados para a aplicação das análises multivariadas foi definido em três etapas: seleção das estações de monitoramento, definição do período de estudo e a seleção dos parâmetros de qualidade da água.

A porcentagem de dados faltantes e de dados censurados de cada parâmetro de qualidade da água foi calculada considerando-se os dados de todas as estações. Após análise detalhada do banco de dados, optou-se por eliminar aqueles parâmetros que obtiveram mais de 10% de dados faltantes e mais de 90% de dados censurados, critérios já utilizados em outros trabalhos (OLSEN, *et al.*, 2012). Os demais dados censurados considerados nas análises assumiram o valor do limite de detecção.

Avaliação espacial da qualidade da água

A avaliação da qualidade das águas superficiais, utilizando técnicas estatísticas não paramétricas e multivariadas, foi realizada para a bacia do rio Paraopeba visando identificar os cursos de água mais impactados na bacia.

Testes estatísticos não paramétricos de *Kruskal-Wallis*, seguido do teste de comparações múltiplas (quando aplicável), foram utilizados para identificar diferenças significativas entre as concentrações dos parâmetros de qualidade da água entre as estações de monitoramento, ao nível de significância (α) de 5%. Dessa forma, foi possível identificar quais estações se apresentam mais impactadas dentro da bacia.

As observações do banco de dados foram padronizadas em escala z (média 0 e desvio padrão 1: $Z=(X - \mu)/\sigma$), para eliminar a influência de diferentes unidades de medida dos parâmetros de qualidade da água. A análise estatística multivariada foi realizada através da Análise de Cluster (AC), usando o *software* Statistica 10.0. Foram testados três métodos de aglomeração hierárquica, sendo que o método de Ward apresentou menor encadeamento. A altura da linha de corte foi calculada utilizando os valores das distâncias de ligação entre as variáveis e resultou em 38,3.

Quando aplicada aos dados de monitoramento de qualidade das águas, a Análise de Cluster permite agrupar as estações de monitoramento por similaridade da qualidade da água (WU *et al.*, 2016), verificar o efeito da sazonalidade sobre a qualidade das águas estudadas (ZHOU *et al.*, 2007), além de permitir o agrupamento dos parâmetros de qualidade da água, onde cada grupo formado é associado a uma fonte de poluição (BU *et al.*, 2010). Na AC foi utilizado o método de Ward, que se dá pela maximização da homogeneidade dentro dos grupos (MINGOTI, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Organização do banco de dados

Foram utilizados os dados de 30 estações de monitoramento da bacia do rio Paraopeba (Figura 1). O período de monitoramento selecionado para este trabalho é de 2008 a 2015, sendo contínuo e comum entre as estações de monitoramento ativas, com frequência trimestral. O banco de dados selecionado para aplicação das análises é apresentado na Tabela 1.

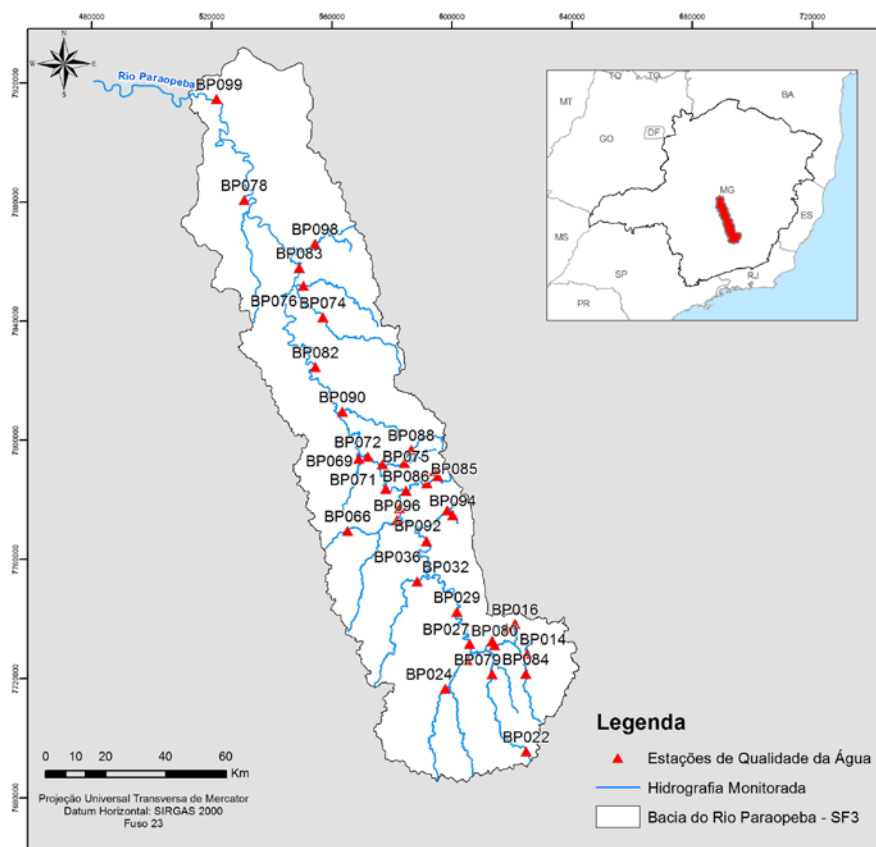


Figura 1: Localização geográfica das estações de monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Paraopeba, selecionadas para estudo.

Tabela 1: Banco de dados de monitoramento das águas superficiais da bacia do rio Paraopeba selecionado para aplicação das estatísticas

Período	1º trimestre de 2008 ao 4º trimestre de 2015
Total de coletas	957
Dados válidos	18.100
Estações de monitoramento	BP022, BP024, BP026, BP027, BP029, BP032, BP036, BP066, BP068, BP069, BP070, BP071, BP072, BP073, BP074, BP076, BP078, BP079, BP080, BP082, BP083, BP084, BP086, BP088, BP090, BP092, BP094, BP096, BP098, BP099
Parâmetros	Cloreto total (Cl _T), clorofila <i>a</i> (Cl- <i>a</i>), condutividade elétrica <i>in loco</i> (CE), cor verdadeira (Cor), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), ferro dissolvido, fósforo total (PT), indicador microbiológico (Ind. biol.), manganês total, nitrato, nitrogênio amoniacal total (N-NH ₄ ⁺), nitrogênio orgânico (N), oxigênio dissolvido (OD), pH <i>in loco</i> , sólidos em suspensão totais (SST), sólidos totais (ST), temperatura da água, turbidez

Avaliação espacial da qualidade da água

Na avaliação da qualidade das águas superficiais utilizando o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis* foram identificadas diferenças significativas para as concentrações de todos os parâmetros de qualidade da água analisados entre as estações da bacia do rio Paraopeba.

A Figura 2 apresenta o *box-plot* das concentrações do parâmetro indicador microbiológico, composto pelos parâmetros coliformes termotolerantes (CTerm) e *Escherichia coli*, que passou a ser avaliado em substituição aos CTerm, a partir da primeira campanha de 2013. Verifica-se que valores de mediana acima de 50 mil NMP/100mL foram observados nas estações localizadas no riacho das Pedras ou ribeirão das Areias, a montante de sua foz no rio Betim (BP073), no rio Betim próximo de sua foz no Rio Paraopeba, em Betim (BP071), no ribeirão Sarzedo próximo de sua foz no rio Paraopeba em Mário Campos (BP086), no ribeirão Macacos na cidade de Cachoeira da Prata a montante de sua foz no rio Paraopeba (BP074) e no rio Manso próximo de sua confluência com o rio Paraopeba em Brumadinho (BP096).

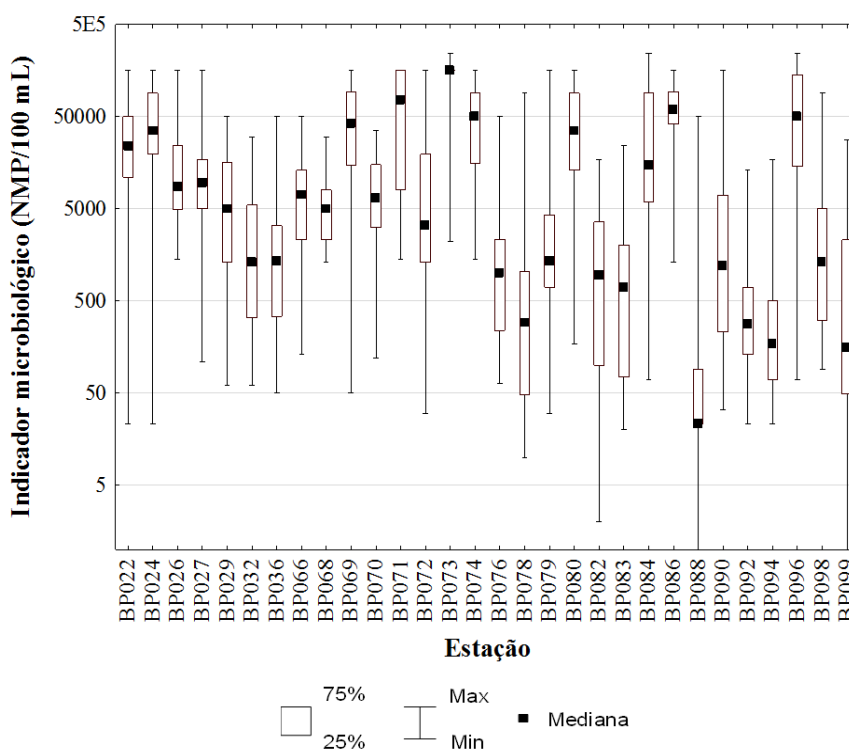


Figura 2: Box-plot das concentrações do parâmetro indicador microbiológico considerando as estações da bacia do rio Paraopeba.

O município de Betim é aquele que contribui mais expressivamente no lançamento de esgotos sanitários na estação localizada no riacho das Pedras ou ribeirão das Areias em Betim, a montante de sua foz no rio Betim (BP073).

A estação localizada no ribeirão Macacos na cidade de Cachoeira da Prata a montante de sua foz no rio Paraopeba (BP074) recebe influência dos lançamentos sanitários dos municípios de Cachoeira da Prata e Fortunas de Minas.

A Figura 3 apresenta os resultados para o parâmetro DBO e indica que as estações que apresentaram os piores resultados foram riacho das Pedras ou ribeirão das Areias, a montante de sua foz no rio Betim (BP073) e rio Betim próximo de sua foz no rio Paraopeba, em Betim (BP071), principalmente em função dos despejos de origem predominantemente orgânica já citados anteriormente. O valor da mediana na estação BP073 está muito superior ao limite da legislação para cursos d'água enquadrados na Classe 2, que é de até 5 mg/L. A alta concentração de matéria orgânica no curso d'água pode ainda acarretar na diminuição do oxigênio dissolvido na água, podendo provocar o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática.

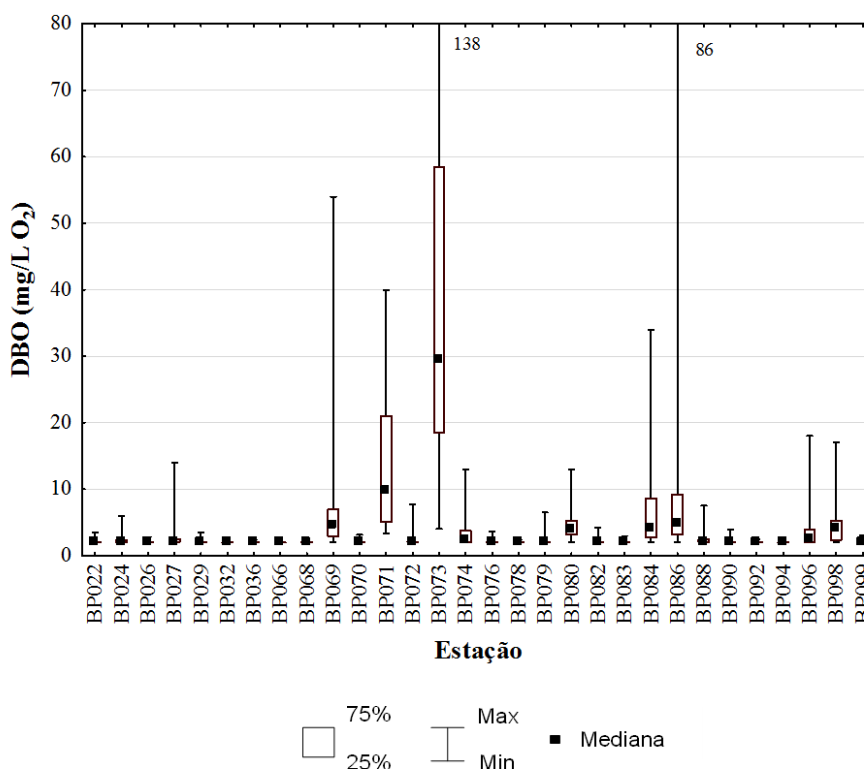


Figura 3: Box-plot das concentrações do parâmetro DBO considerando as estações da bacia do rio Paraopeba.

A Figura 4 apresenta o box-plot das concentrações do parâmetro OD e também se verifica que as estações BP073 e BP071 apresentam medianas significativamente inferiores às demais estações, refletindo as péssimas condições de qualidade dos cursos d'água.

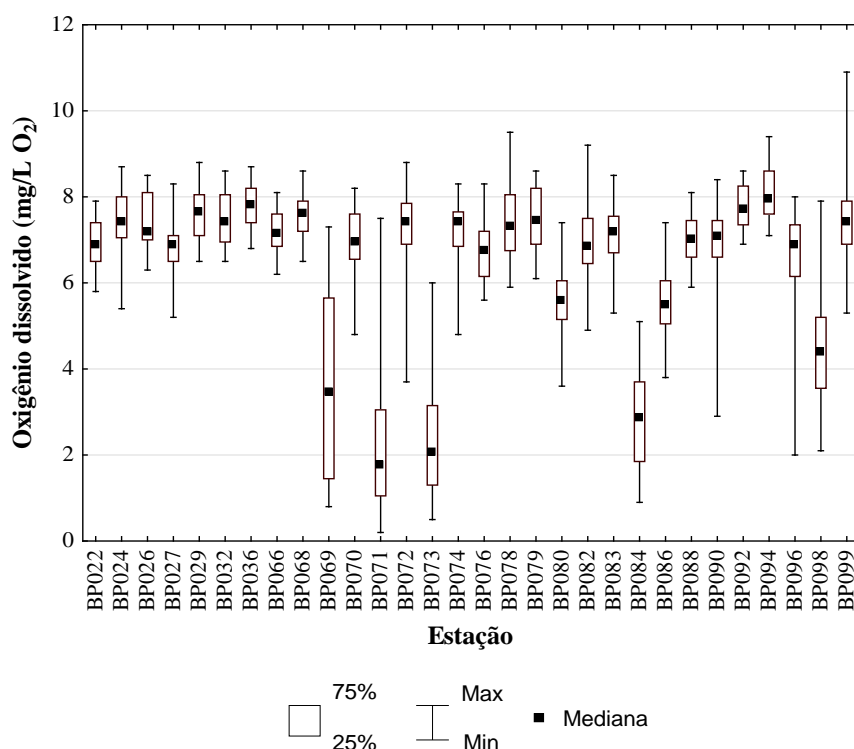


Figura 4: Box-plot das concentrações do parâmetro oxigênio dissolvido considerando as estações da bacia do rio Paraopeba.

As estações BP073 e BP071 também apresentaram medianas significativamente superiores para os outros parâmetros analisados, como cloreto total, clorofila *a*, condutividade elétrica, cor, DQO, fósforo total, nitrogênio amoniacal total, nitrogênio orgânico, pH, sólidos em suspensão totais e sólidos totais, evidenciando a má qualidade da água destes corpos d'água.

Na Análise de Cluster foram formados seis agrupamentos, que são apresentados na Figura 5. Analisando-se o dendrograma, observa-se que, dentre as trinta estações de monitoramento avaliadas, três estações (BP073, BP071 e BP098) se diferenciaram das demais, permanecendo isoladas. Estas podem ser consideradas as mais relevantes na bacia do rio Paraopeba, uma vez que também estão entre as mais impactadas da bacia.

Os demais agrupamentos formados são: (grupo 4) estações BP084, BP080, BP086 e BP069, (grupo 5) estações BP088, BP090, BP076, BP074, BP099, BP078, BP083, BP082 e BP072 e (grupo 6) estações BP070, BP068, BP036, BP029, BP027, BP066, BP032, BP079, BP026, BP094, BP092, BP024, BP096 e BP022. A menor distância Euclidiana ocorreu entre as estações BP094 e BP092, sendo, portanto, as estações com maior similaridade.

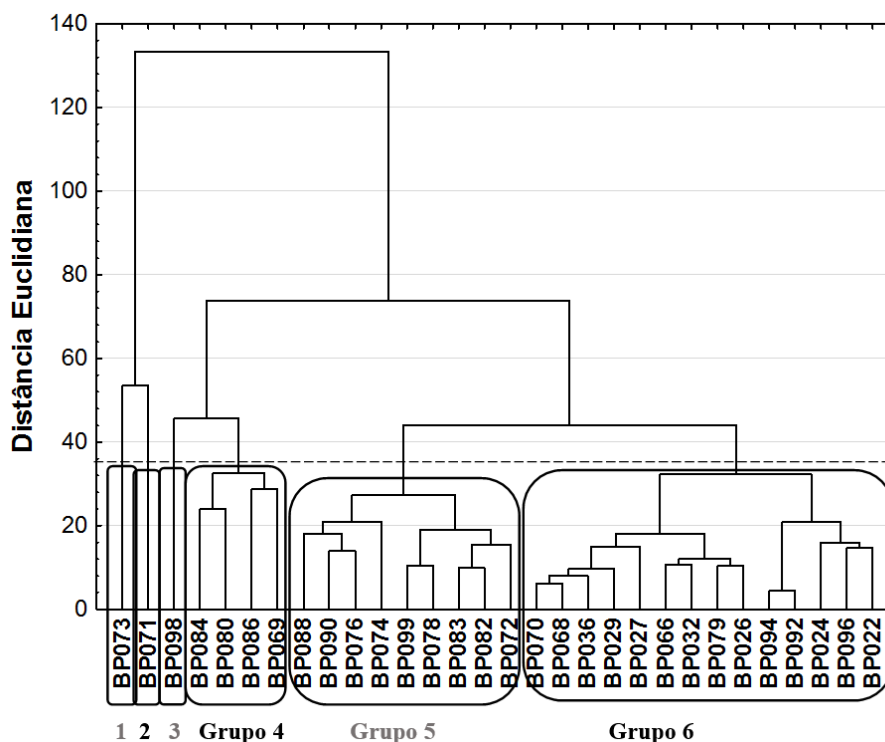


Figura 5: Dendrograma da Análise de Cluster para o banco de dados da bacia do rio Paraopeba, referente ao período de 2008 a 2015, para 19 parâmetros e 30 estações de monitoramento.

Nota-se que as estações que se isolaram no dendrograma estão localizadas em regiões próximas aos municípios de Betim, Juatuba, Caetanópolis e Paraopeba, em afluentes do rio Paraopeba. A estação BP073 está localizada no ribeirão das Areias ou riacho das Pedras e recebe lançamento de esgoto doméstico e efluentes industriais do município de Betim (IGAM, 2014). A estação BP071 se localiza no rio Betim, a jusante da confluência com o ribeirão Areias, e por isso também é afetada por toda a poluição proveniente da região da estação BP073. Já a estação BP098 está localizada na foz do ribeirão do Cedro, no rio Paraopeba, em Caetanópolis. Os principais fatores de pressão no ribeirão do Cedro são: o lançamento de esgoto sanitário, poluição difusa das atividades agropecuárias e das atividades minerárias (IGAM, 2013).

CONCLUSÕES

Os municípios que mais impactam a qualidade dos corpos d'água da bacia do rio Paraopeba são Betim, Ibirité, Conselheiro Lafaiete, Mateus Leme e Congonhas. Além de concentrarem uma população de aproximadamente 730 mil habitantes, possuem uma alta concentração de indústrias, o que, juntamente com a parcela de esgotos não tratados, potencializa os efeitos negativos na qualidade dos recursos hídricos. O ribeirão das Areias ou riacho das Pedras em Betim pode ser classificado como o curso d'água mais impactado da bacia do rio Paraopeba por se destacar com concentrações significativamente maiores de Cl^- ; Cl^-a ; Ind. biol.; CE; Cor; DBO; DQO; PT; $N-NH_4^+$; N; OD; pH; SST; ST. Para que ocorra uma melhoria na qualidade das águas da região em estudo são necessários investimento em saneamento básico, melhoria na eficiência do tratamento dos efluentes industriais, manejo adequado do solo, preservação da vegetação marginal e ações de educação ambiental.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) por terem disponibilizados os dados e viabilizado essa pesquisa, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio permanente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BU, H.; TAN, X.; LI, S.; ZHANG, Q. Temporal and spatial variations of water quality in the Jinshui River of the South Qinling Mts., China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, n. 73, p. 907-913, 2010.
2. CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÓPEBA – CIBAPAR. *A Bacia*. Disponível em: <www.cibapar.org.br>. Acesso em 02/05/2016.
3. IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. 2º Relatório de Gestão e Situação dos Recursos Hídricos em Minas Gerais. Belo Horizonte, 2014. 259 p.
4. IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Identificação de municípios com condição crítica para a qualidade da água na bacia do rio Paraopeba. Belo Horizonte: IGAM, 2013. 41p.
5. JUNG, K. Y., LEE K., IMA, T. H. Evaluation of water quality for the Nakdong River watershed using multivariate analysis. *Environmental Technology & Innovation*. V. 5 (2016) p. 67–82
6. MINGOTI, S. A.; *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*, Editora UFMG, 2005.
7. MOHAMED, I. OTHMAN F. , IBRAHIM A. I. N., ALAA-ELDIN, M. E., YUNUS, R. M. Assessment of water quality parameters using multivariate analysis for Klang River basin, Malaysia. *Environ Monit Assess* (2015) p. 187:4182
8. OLSEN, R. L.; CHAPPELL, R. W.; LOFTIS, J. C. Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis – literature review and Illinois River watershed case study. *Water Research*, v. 46, p. 3110-3122. 2012.
9. OMO-IRABOR, O. O.; OLOBANIYI, S. B.; ODUYEMI, K.; AKUNNA, J. Surface and groundwater water quality assessment using multivariate analytical methods: A case study of the Western Niger Delta, Nigeria. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 33, p. 666-673, 2008.
10. WU, Mei-Lin ; WANG, You-Shao ; WANG, Yu-Tu ; SUN, Fu-Lin ; SUN, Cui-Ci ; CHENG, Hao ; DONG, Jun-De. Seasonal and spatial variations of water quality and trophic status in Daya Bay, South China Sea, *Marine Pollution Bulletin* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.07.042>
11. ZHOU, F.; LIU, Y.; GUO, H. Application of Multivariate Statistical Methods to Water Quality Assessment of the Watercourses in Northwestern New Territories, Hong Kong. *Environ Monit Assess*, n. 132, p. 1-13, 2007.