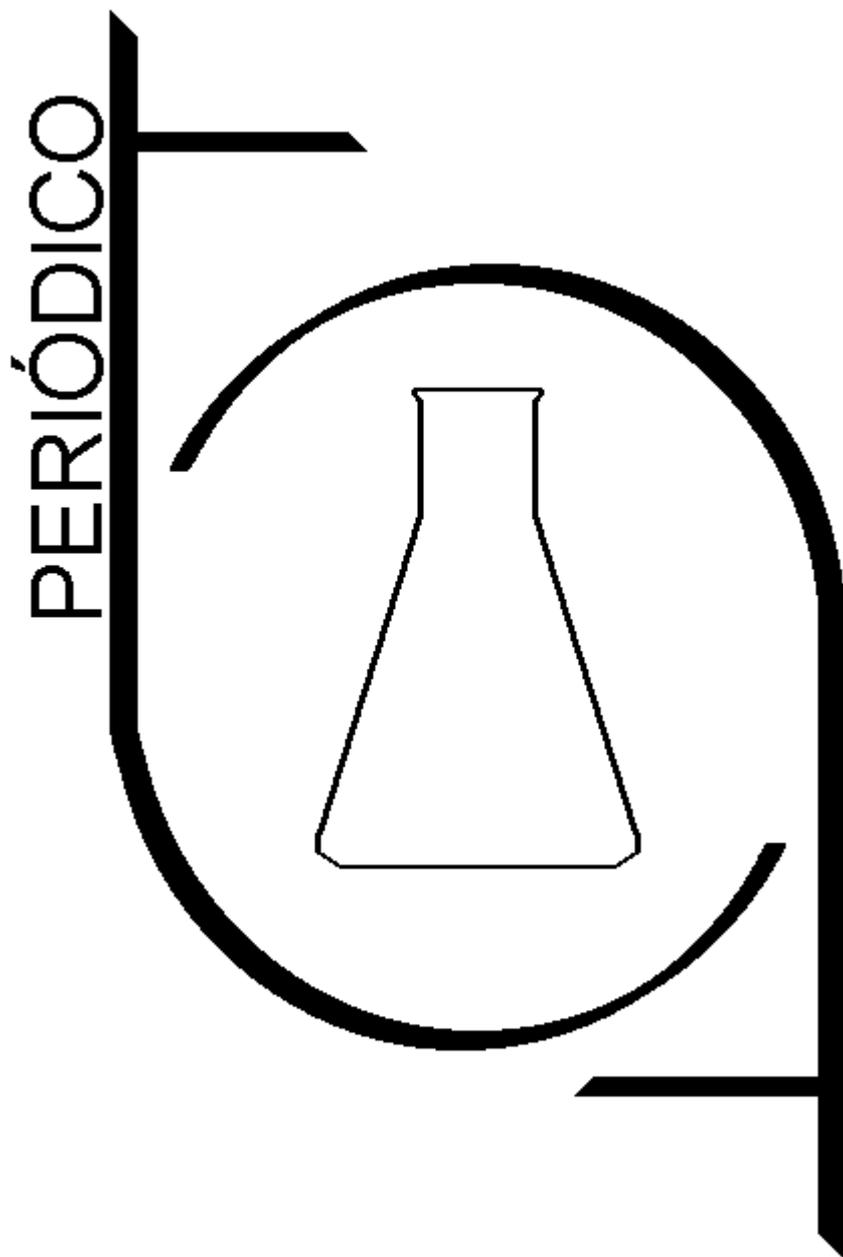


PERIÓDICO TCHÊ QUÍMICA

SOUTHERN BRAZILIAN JOURNAL OF CHEMISTRY



Volume 15

-

Número 30

-

2018 ISSN 2179-0302

Órgão de divulgação científica e informativa

www.periodico.tchequimica.com

PERIÓDICO TCHÊ QUÍMICA

SOUTHERN BRAZILIAN JOURNAL OF CHEMISTRY

ISSN - 1806-0374 (Impresso) - ISSN - 1806-9827 (CD-ROM) - ISSN - 2179-0302 (Online)

Volume 15

Número 30 – 2018

ISSN 2179 - 0302

Órgão de divulgação científica e informativa.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Periódico Tchê Química: órgão de divulgação científica e informativa [recurso eletrônico] / Grupo Tchê Química – Vol. 1, n. 1 (Jan. 2004)- . – Porto Alegre: Grupo Tchê Química, 2005 - Semestral.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web:

<<http://www.tchequimica.com>>

Descrição baseada em: Vol. 14, n. 28 (ago. 2017).

ISSN 1806-0374

ISSN 1806-9827 (CD-ROM)

1. Química. I. Grupo Tchê Química.

CDD 540

Bibliotecário Responsável

Ednei de Freitas Silveira

CRB 10/1262





AVALIAÇÃO ESPACIAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA CALHA DO RIO DAS VELHAS, ESTADO DE MINAS GERAIS



SPATIAL EVALUATION OF THE WATER QUALITY FROM THE VELHAS RIVER CHANNEL, IN THE STATE OF MINAS GERAIS

PINTO, Carolina Cristiane^{1*}; ALMEIDA, Katiane de Brito²; OLIVEIRA, Sílvia Corrêa³;

^{1,3} Universidade 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: +55 31 3409 3645; fax: +55 31 3409 1879)

² Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Gerência de Monitoramento de Qualidade das Águas, Rodovia João Paulo II, 4143, Bairro Serra Verde, CEP 31630-900, Belo Horizonte – MG, Brasil
(fone: +55 31 3915 1156)

* Autor correspondente
e-mail: ccristiane15@hotmail.com

Received 27 December 2017; received in revised form 25 January 2018; accepted 30 January 2018

RESUMO

Os rios são um dos principais recursos de água doce disponível para consumo humano, sendo a qualidade de suas águas de grande preocupação ambiental. Dessa forma, o objetivo deste estudo é apresentar uma avaliação da variabilidade da qualidade da água de 19 estações de monitoramento localizadas na calha do rio das Velhas, utilizando técnicas estatísticas multivariadas - Análise de Cluster (AC) e Análise de Componentes Principais/Análise Fatorial (ACP/AF). Foram avaliados 16 parâmetros físico-químicos, entre 2009 e 2016. A AC agrupou as estações de monitoramento em três grupos com base nos níveis de poluição. A ACP/AF resultou em seis fatores latentes para o Grupo 1, quatro para o Grupo 2 e cinco para o Grupo 3, explicando 71,44%, 65,32% e 61,69% da variância total na respectiva qualidade da água. Os fatores indicaram que os parâmetros responsáveis pelas variações da qualidade da água estão relacionados, principalmente, aos lançamentos de esgotos sanitários e efluentes industriais e às atividades de agricultura e pecuária. Os resultados refletem diferentes condições da qualidade da água do rio das Velhas em sua extensão, mas verifica-se uma maior variabilidade desta na Região Metropolitana de Belo Horizonte e a sua jusante, justificada pelas diferentes cargas de poluentes recebidos nesta região.

Palavras-chave: Monitoramento, água superficial, análise estatística multivariada

ABSTRACT

This study presents an evaluation of the water quality variability of 19 monitoring stations located in the channel of the Velhas river, using multivariate statistical techniques - Cluster Analysis (CA) and Principal Component Analysis/Factor Analysis (PCA/FA). Sixteen physical-chemical parameters were evaluated between January 2009 and June 2016, totalizing 27,232 valid observations. The CA grouped the nineteen monitoring stations into three groups based on the pollution levels. The PCA/FA resulted in six latent factors for group 1, four for group 2 and five for group 3, accounting for 71.44%, 65.32% and 61.69% of the total variance in the respective water quality. The factors indicated that the parameters responsible for the variations in water quality are mainly related to the release of sanitary sewage and industrial effluents and also to agriculture and livestock activities. These results reflect different water quality conditions of the Velhas River in its extension but, in fact, it is verified a greater variability of the water in the Metropolitan Region of Belo Horizonte and its downstream, justified by the different loads of pollutants received in this region, mainly the releases of domestic sewage and industrial effluents.

Keywords: Monitoring, surface water, multivariate statistical analysis

1. INTRODUÇÃO

Os rios constituem os principais recursos hídricos para fins industriais, de abastecimento e irrigação, sendo indispensável para a prevenção e controle da poluição informações sobre a qualidade das águas ((Singh *et al.*, 2004).

Tendo em vista as variações espaciais e temporais na hidroquímica dos rios, os programas de monitoramento regulares são necessários para análises confiáveis da qualidade da água (Simeonov *et al.*, 2003; Singh *et al.*, 2004). Assim, a existência de um monitoramento constante e sistemático, que forneça uma estimativa representativa da qualidade das águas, é um grande aliado para a manutenção das condições adequadas da água frente aos diferentes usos ao longo do tempo (Vega *et al.*, 1998; Amaro, 2009).

Apesar da grande importância do monitoramento para a gestão da qualidade das águas, grandes e complexos conjuntos de dados são gerados, pois abrange resultados de diversos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, mensurados em várias estações de amostragem durante longos períodos de tempo. Dessa maneira, caso não se efetue uma adequada avaliação e tratamento desses conjuntos de dados, informações importantes podem ser omitidas (Sanders *et al.*, 2003).

Os métodos estatísticos multivariados têm se mostrado eficientes para avaliação e interpretação desses conjuntos de dados com vista a obter melhores informações sobre a qualidade da água. Esses métodos têm sido amplamente aplicados a matrizes de dados de monitoramento da qualidade da água, para alcançar diferentes objetivos, tais como: caracterizar e avaliar a qualidade das águas dos rios; evidenciar variações e tendências temporais e espaciais causadas por processos naturais e/ou antropogênicos e reconhecer os parâmetros responsáveis por essas variações; extrair informações sobre as similaridades e as diferenças entre períodos, parâmetros e pontos de monitoramento; identificar as possíveis fontes de poluição de diferentes pontos de um corpo d'água e identificar e analisar as relações entre química da água, uso e ocupação do solo e geologia, dentre outros (Vega *et al.*, 1998; Simeonov *et al.*, 2003; Singh *et al.*, 2004; Mendiguchía *et al.*, 2004; Shrestha e Kazama, 2007; Zhang *et al.*, 2011; Varol *et al.*, 2012; Bhat

et al., 2014).

O objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade da qualidade da água entre as estações de monitoramento da calha do rio das Velhas, utilizando técnicas estatísticas multivariadas - Análise de Cluster (AC) e Análise de Componentes Principais/Análise Fatorial (ACP/AF) - entre os anos de 2009 e 2016.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio das Velhas está inteiramente localizada dentro do estado de Minas Gerais, entre as latitudes 17°15'S e 20°25'S e longitudes 43°25'W e 44°50'W, ocupando uma área de drenagem de 29.173 km² e correspondendo à Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) SF5.

O rio principal, o rio das Velhas, é o maior afluente em extensão da bacia do rio São Francisco e percorre uma distância de 806,84 km. Nasce no município de Ouro Preto, em uma altitude de aproximadamente 1.500 m, dentro do Parque Municipal das Andorinhas, e deságua no rio São Francisco no distrito de Barra do Guaicuí, distrito de Várzea da Palma, numa altitude de 478 m (CBH Velhas, 2016; CBH Velhas, 2015).

A área de drenagem da sub-bacia do rio das Velhas é segmentada em três regiões (Alto, Médio e Baixo rio das Velhas), em função das características do uso e ocupação do solo (Figura 1).

A região do Alto rio das Velhas compreende toda a área denominada Quadrilátero Ferrífero, tendo o município de Ouro Preto como limite sul dessa região e os municípios de Belo Horizonte, Contagem e Sabará como limite norte. Esse trecho corresponde a 9,8% da área de drenagem da bacia e é muito importante economicamente para Minas Gerais e para o país, por possuir importantes reservas minerais, sendo bastante explorada por atividades minerárias. Apresenta o maior contingente populacional da bacia (cerca de 70% da população), com expressiva atividade econômica concentrada na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), onde estão presentes os maiores focos de poluição hídrica da bacia.

O trecho Médio do rio das Velhas apresenta menor concentração populacional que

o Alto rio das Velhas, com o predomínio das atividades agrícolas e pecuárias. No Médio rio das Velhas, que se inicia após a foz do Ribeirão da Mata, seguindo até a foz do rio Paraúna, é verificada ainda a exploração de calcário, como matéria-prima para a indústria de cimento.

Os trechos Médio e Baixo do rio das Velhas correspondem, nesta ordem, a 45 e 45,2% da área de drenagem da bacia, com características diferenciadas, incluindo menor concentração populacional (25% da população da bacia no trecho médio e 5% no trecho baixo) e predomínio das atividades agrícolas e pecuárias.

O Baixo rio das Velhas começa após a confluência com o rio Paraúna e vai até sua foz, no rio São Francisco. O aspecto diferenciado desta região é que nenhum dos municípios tem 100% do território inserido na bacia e apresenta baixa concentração populacional com predomínio das atividades agrícolas e pecuárias (Camargos, 2005; CBH Velhas, 2015).

2.2. Banco de Dados

Foi realizada a avaliação do banco de dados com o cálculo dos percentuais de dados faltantes e censurados, além da identificação da presença de *outliers*, por meio do método da amplitude interquartil.

O banco de dados com frequência de monitoramento mensal da calha do rio das Velhas, selecionado para aplicação das análises multivariadas, é composto por 19 estações pertencentes à rede básica de monitoramento do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam) e 16 parâmetros, monitorados em 1.710 coletas, entre janeiro de 2009 e junho de 2016, totalizando 27.232 observações válidas. As características do banco de dados consolidado da calha do rio das Velhas estão apresentadas no Quadro 1.

A Figura 1 apresenta a distribuição geográfica das estações de monitoramento na calha do rio das Velhas.

2.3. Análise da qualidade das águas da sub-bacia do rio das Velhas

Com o banco de dados consolidado foram aplicadas as análises multivariadas para a avaliação espacial da qualidade da água na calha do rio das Velhas, utilizando o software Statística 10.0.

2.3.1 Avaliação Espacial da Qualidade das Águas

Para efetuar a comparação espacial entre as estações de monitoramento presentes na calha do rio das Velhas, foi empregada a análise exploratória dos dados, por meio da aplicação das técnicas multivariadas. As observações do banco de dados selecionado foram padronizadas, com transformação para escala-Z (média 0 e desvio-padrão 1: $Z=(X - \mu)/\sigma$), com o objetivo de se evitar interferências nos resultados devido às diferentes unidades de medida dos parâmetros de qualidade das águas.

A Análise de Cluster (AC) foi empregada com o objetivo de avaliar a similaridade das estações de monitoramento (variabilidade espacial) em função das concentrações dos parâmetros de qualidade das águas mensurados. Dessa forma, a AC aglomerativa hierárquica foi realizada no conjunto de dados padronizados por meio do método de Ward, usando distância Euclidiana como medida de similaridade. Para identificar áreas cuja qualidade das águas é similar na bacia hidrográfica, analisou-se a localização geográfica dos grupos formados. Essa análise foi realizada para verificar as variações espaciais na calha do rio das Velhas, em função da qualidade da água das diferentes estações de monitoramento.

Para complementar a AC e justificar os agrupamentos encontrados, foi executada a Análise de Componentes Principais/Análise Fatorial (ACP/AF), com o objetivo de identificar os parâmetros mais importantes para a caracterização da qualidade das águas da bacia, ou seja, os parâmetros responsáveis por explicar a maior variabilidade da qualidade da água e as diferentes fontes de poluição atuantes em cada grupo formado pela AC. A ACP das variáveis padronizadas (conjunto de dados da qualidade da água) foi realizada para extrair as Componentes Principais (CPs) significativas e reduzir ainda mais a contribuição das variáveis com menor significado; estas CPs foram submetidas à rotação varimax (bruta) gerando Fatores (Wunderlin et al., 2001; Simeonov et al., 2003; Singh et al., 2004).

Ressalta-se que na escolha do número de fatores adequados ao estudo foi utilizado o critério em que os fatores com autovalores menores que um são excluídos (Liu et al., 2003; Kowalkowski et al., 2006). Enquanto que para a seleção das cargas significativas foi adotada a

definição de Liu et al. (2003) que consideram cargas maiores que 0,75 fortes, entre 0,75-0,50 moderadas e entre 0,50-0,30 fracas. Como as cargas moderadas e fortes são consideradas as mais importantes para a variância encontrada nos dados, somente elas foram utilizadas neste estudo. Parâmetros que apresentam cargas moderadas ou fortes nos primeiros fatores podem indicar o tipo de poluição que mais afeta a qualidade da água monitorada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

2.1. Análise da qualidade das águas da sub-bacia do rio das Velhas

Utilizando-se os 16 parâmetros selecionados, a Análise de Cluster classificou os 19 pontos de amostragem em três clusters distintos, considerando a distância de ligação igual a 80 (Figura 2). Os grupos formados pela AC foram identificados por diferentes cores na Figura 3 para uma análise de localização geográfica destes, por meio do software arcGIS.

O grupo 1, formado pelas estações BV156, BV138, BV137, BV153, BV105, BV083, corresponde às estações localizadas no limite entre o Alto e Médio rio das Velhas. Essa área corresponde à Região Metropolitana de Belo Horizonte, sendo a região mais crítica. Essas estações de monitoramento são identificadas como altamente degradadas por matéria orgânica proveniente de esgoto doméstico e atividades industriais (Calazans, 2015; ANA, 2015). Esta situação é condizente com os resultados encontrados na Análise Fatorial (Tabela 1).

O Fator 1 deste grupo está correlacionado positivamente com parâmetros de matéria orgânica proveniente de esgoto doméstico (DBO, DQO, fósforo total, cloreto total e condutividade elétrica) e correlacionado negativamente com oxigênio dissolvido. Esse grupo tem aproximadamente 24% da sua variabilidade da qualidade da água explicada pelo Fator 1.

Resultados análogos também foram obtidos por Trindade et al. (2017) na avaliação das estações de monitoramento da sub-bacia do rio das Velhas, que verificou que as estações pertencentes a este grupo apresentaram valores medianos de IQA na faixa de qualidade Ruim. Os resultados também estão de acordo com as características desse trecho (limite entre o Alto e

Médio rio das Velhas), o qual apresenta alta densidade demográfica (mais de 70% da população total da bacia), urbanização e atividades industriais.

O grupo 2 é formado por estações do Médio (trecho baixo) e do Baixo rio das Velhas (BV149, BV151, BV148, BV150, BV152, BV146, BV142 e BV141). Esse grupo tem 65,32% da variabilidade da qualidade da água explicada por quatro fatores. O Fator 1 possui correlações fortes e moderadas com os parâmetros cloreto total, condutividade elétrica, DBO, nitrato e fósforo total, podendo estar relacionado à poluição difusa por agricultura.

O grupo 3 é formado por estações pertencentes ao Alto rio das Velhas (BV013, BV037, BV139, BV067 e BV063). Os resultados da AF (Tabela 3) para esse grupo conseguiram explicar 61,69% da variabilidade total da qualidade das águas retendo 5 fatores. O Fator 1 explica 21% da variabilidade da qualidade da água e é altamente correlacionado com os parâmetros sólidos totais e turbidez. Esses resultados podem estar associados às atividades minerárias desenvolvidas na região. Os resultados encontrados são corroborados pelos estudos de Calazans (2015) e Costa (2014).

Esses resultados são pertinentes, pois é no trecho do Alto Velhas onde se localiza o Quadrilátero Ferrífero, região caracterizada por possuir importantes reservas minerais de ferro, manganês, cobre, antimônio, arsênio, ouro, alumínio e urânio, sendo bastante explorada por atividades minerárias (Camargos, 2005; CBH Velhas, 2016).

CONCLUSÕES:

A utilização das técnicas multivariadas é de grande importância para analisar as variações espaciais da qualidade da água em uma bacia, sendo, portanto, eficientes para a identificação das estações de monitoramento e parâmetros de qualidade da água mais relevantes.

A Análise de Cluster permitiu a identificação das estações de monitoramento similares quanto à qualidade da água, enquanto que a Análise Fatorial permitiu a determinação das principais fontes de poluição responsáveis pela degradação da qualidade da água em cada agrupamento formado pela AC.

Neste estudo a AC agrupou as estações

em três grandes grupos. O Grupo 1 apresentou um nível de alta poluição, uma vez que as estações pertencentes ao grupo estão localizadas na área correspondente à RMBH, sendo a região mais crítica e degradada por matéria orgânica proveniente de esgoto doméstico e atividades industriais. O Grupo 2, formado por estações do Médio (trecho baixo) e do Baixo rio das Velhas teve a variabilidade da qualidade da água explicada por parâmetros geralmente relacionados à poluição difusa por agricultura e pecuária. Por fim, o Grupo 3, formado por estações pertencentes ao Alto rio das Velhas apresentou resultados que podem estar associados às atividades minerárias desenvolvidas na região.

Verificou-se uma maior variabilidade da qualidade da água do rio das Velhas na Região Metropolitana de Belo Horizonte e a jusante, justificada pelas diferentes cargas de poluentes recebidos nesta região.

REFERÊNCIAS:

1. Agência Nacional de Águas - ANA. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras. Edição Especial, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, Brasília, 2015. 164 p.
2. Amaro, C. A. Proposta de um índice para Avaliação de Conformidade da Qualidade dos Corpos Hídricos ao Enquadramento. 2009. 224 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
3. Bhat, S. A.; Meraj, G.; Yaseen, S.; Pandit, A. K. Statistical assessment of water quality parameters for pollution source identification in Suknag stream: An inflow stream of lake Wular (Ramsar Site), Kashmir Himalaya. *Journal of Ecosystems*, 2014, 1-18.
4. Camargos, L. M. M. (coord.). Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas: resumo executivo. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, 2005. 228p.
5. 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. 2015. 196 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
6. Comitê da Bacia Hidrográfica do rio das Velhas - CBH Velhas. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. Volume 1, Diagnóstico, Belo Horizonte, 2015.
7. Comitê da Bacia Hidrográfica do rio das Velhas – CBH Velhas. A Bacia. Disponível em < <http://cbhvelhas.org.br/a-bacia-hidrografica-do-rio-das-velhas/>>. Acesso em: 10 jun. 2016.
8. Costa, E. P. Avaliação da violação de parâmetros de qualidade das águas superficiais aos limites da legislação mineira em sub-bacias hidrográficas do rio São Francisco. 2014. 163 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2014.
9. Kowlkowski, T.; Zbytniewski, R.; Szpejna, J.; Buszewski, B. Application of chemometrics in water classification. *Water Research*, 2006, 40(4), 744-752.
10. Liu, Cheng-Wuing; Lin, Kao-Hung; Kuo, Yi-Ming. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. *The Science of Total Environment*, 2003, 313, 77-89.
11. Mendiguchía, C.; Moreno, C.; Galindo-Riano, M.D.; García-Vargas, M. Using chemometric tools to assess antropogenic effects in river water a case study: Guadalquivir River (Spain). *Analytica Chimica Acta*, 2004, 515, 143-9.
12. Sanders, T. G.; Ward, R. C.; Loftis, J. C.; Steele, T. D.; Adrian, D. D.; Yevjevich, V. Design of Networks for Monitoring Water Quality. 5 ed. Colorado: *Water Resources Publications*, 2003. 328 p.
13. Shrestha, S.; Kazama, F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of the Fuji River, Japan. *Environmental Modeling & Software*, 2007, 22(4), 464-475.
14. Simeonova, P.; Simeonov, V.; Andreev, G. Water quality study of the Struma River

- basin, Bulgaria (1989-1998). *Central European Journal of Chemistry*, 2003, 121-136.
15. Singh, K. P.; Malik, A.; Mohan, D.; Sinha, S. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) – a case study. *Water Research*, 2004, 38(18), 3980-3992.
 16. Trindade, A. L. C.; Almeida, K. C. B. A.; Barbosa, P. E.; Oliveira, S. M. A. C. Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2017, 22(1), 13-24.
 17. Varol, M.; Gökot, B.; Bekleyen, A.; ŞEN, B. Spatial and temporal variations in surface water quality of the dam reservoirs in the Tigris River basin, Turkey. *Catena*, 2012, 92, 11-21.
 18. Vega, M.; Pardo, R.; Barrado, E.; Debán, L. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Research*, 1998, 32(12), 3581-3592.
 19. Wunderlin, D. A.; Díaz, M. Del P.; Amé, M. V.; Pesce, S. F.; Hued, A. C.; Bistoni, M. de Los A. Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suquía River Basin (Córdoba-Argentina). *Water Research*, 2001, 3(12), 2881-2894.
 20. Zhang, X.; Wang, Q.; Liu, Y.; Wu, J.; Yu, M. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in the southwest new territories and Kowloon, Hong Kong. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, 173, 17-27.

Quadro 1. Características do banco de dados de monitoramento selecionado da calha do rio das Velhas.

Período	Janeiro de 2009 a julho de 2016
Estações de monitoramento da qualidade da água	BV013, BV037, BV063, BV067, BV083, BV105, BV137, BV138, BV139, BV141, BV142, BV146, BV148, BV149, BV150, BV151, BV152, BV153 e BV156
Parâmetros	Arsênio total (As_T), cloreto total (Cl^-_T), clorofila- <i>a</i> (clor.- <i>a</i>), coliformes termotolerantes (colif. term.), condutividade elétrica <i>in loco</i> (CE), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), densidade de cianobactérias (dens. cian.), feoftina- <i>a</i> (feof.- <i>a</i>), fósforo total (P_T), nitrato ($N-NO_3^-$), oxigênio dissolvido (OD), pH <i>in loco</i> (pH), sólidos totais (ST), temperatura da água (temp.), turbidez (turb.)
Total de coletas	1.710
Dados válidos	27.232

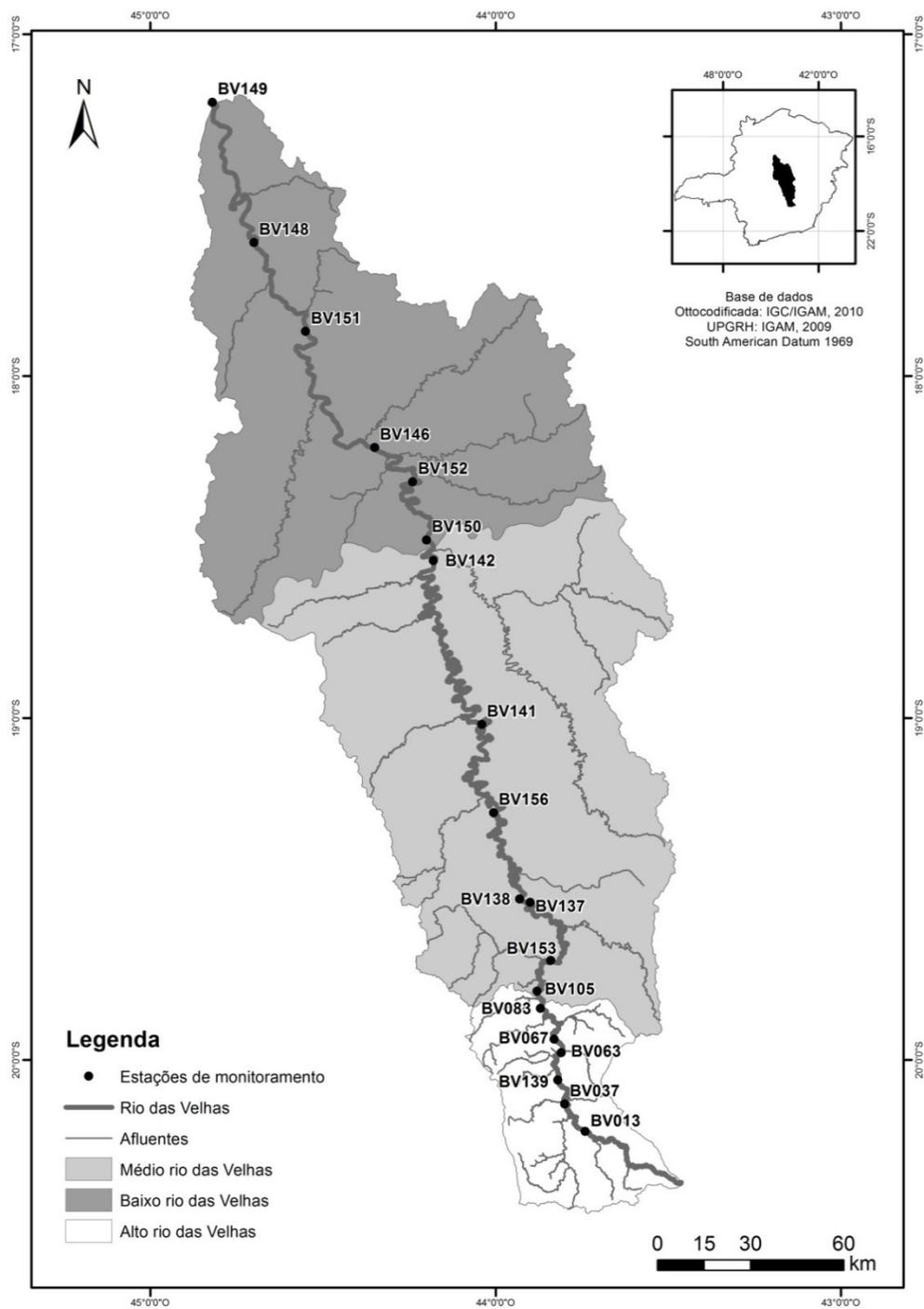


Figura 1. Localização geográfica da sub-bacia do rio das Velhas e das estações de monitoramento.

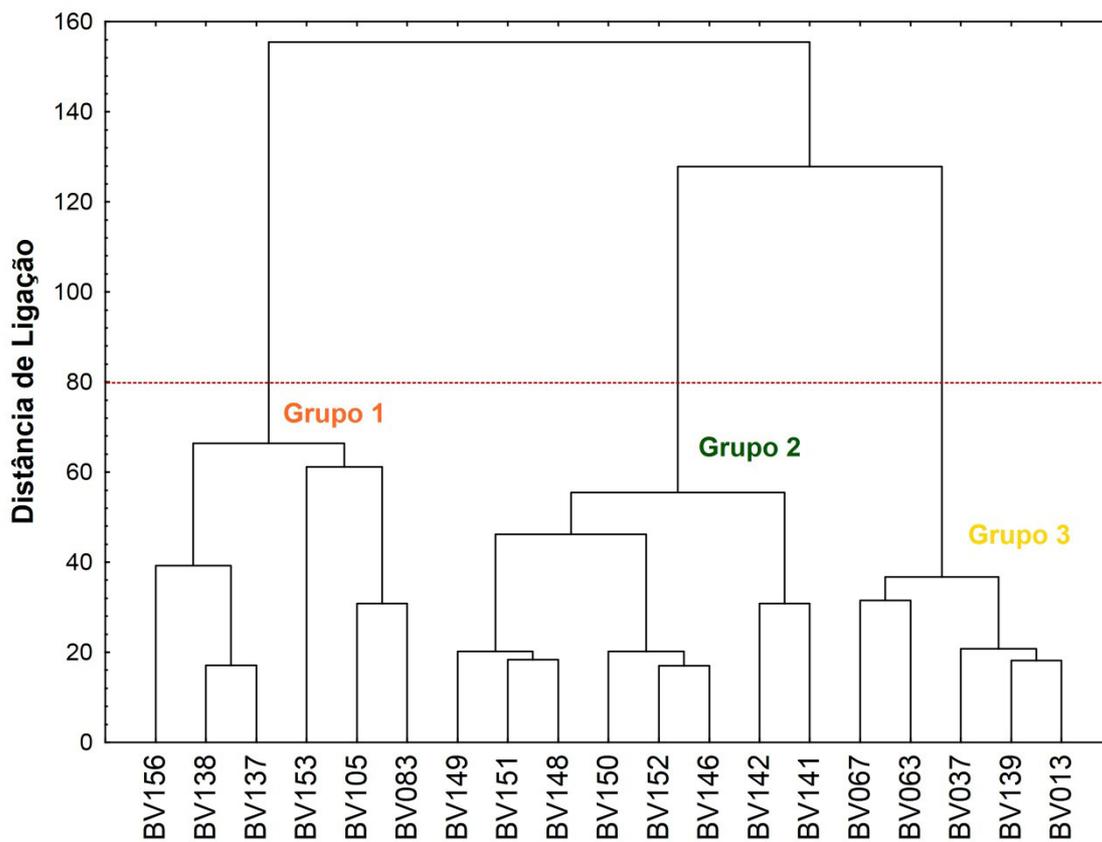


Figura 2. Dendrograma mostrando os agrupamentos das estações de amostragem

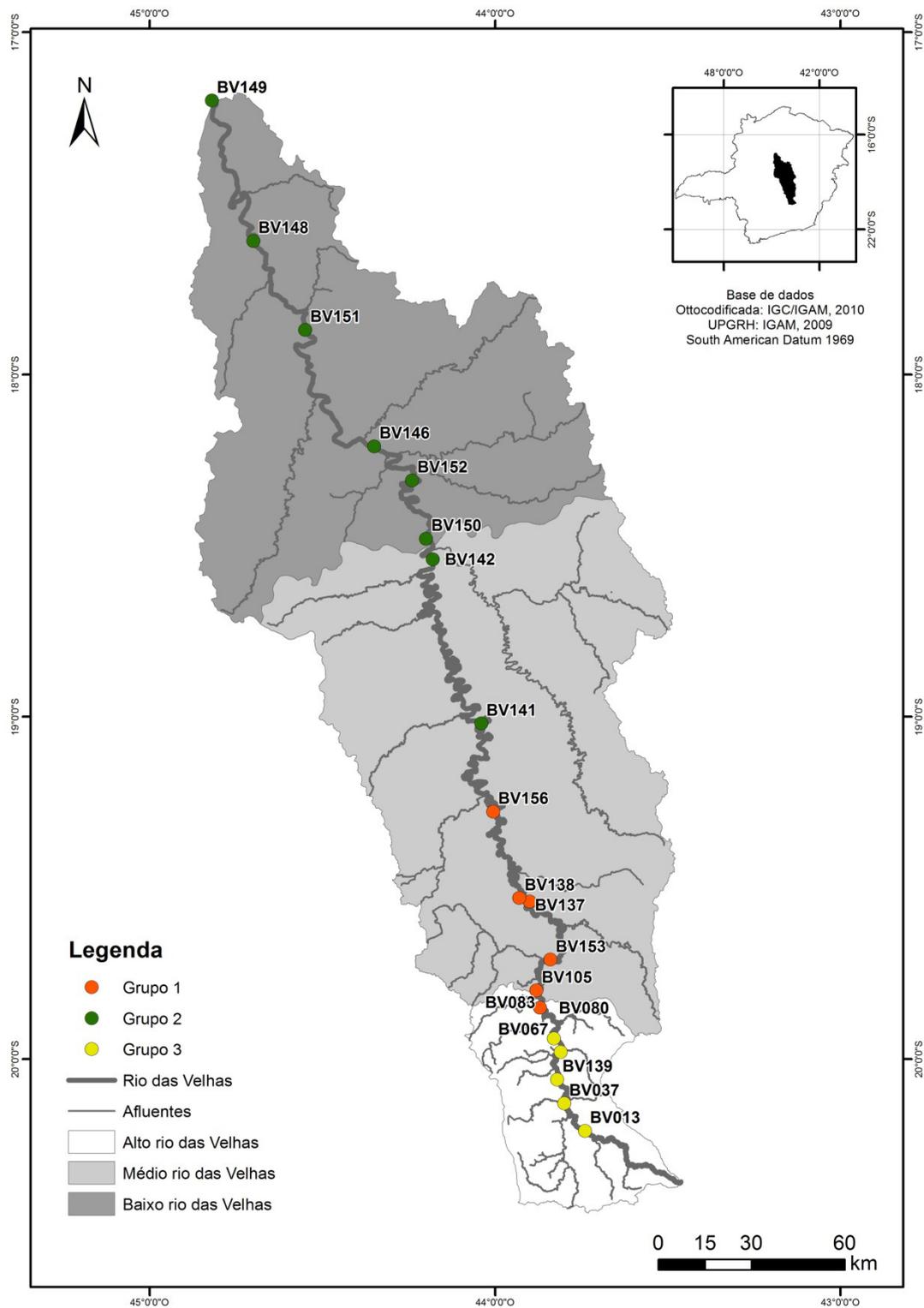


Figura 3. Identificação dos agrupamentos das estações de monitoramento da calha do rio das Velhas, formados pela Análise de Cluster

Tabela 1. Cargas fatoriais dos parâmetros de qualidade da água para cada fator após rotação varimax das Componentes Principais, para o grupo 1 formado pela AC.

Parâmetros	Grupo 1					
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6
As _T	0,076	-0,386	0,706	0,111	-0,024	0,094
Cl _T	0,820	0,004	-0,328	0,074	0,011	0,043
Clor.-a	0,000	0,024	0,002	-0,021	-0,042	0,959
Colif. term.	-0,031	0,813	0,139	-0,104	0,020	0,072
CE	0,876	-0,026	-0,260	0,133	0,018	0,023
DBO	0,550	0,561	0,029	0,054	-0,077	-0,079
DQO	0,520	0,533	0,456	-0,153	0,041	0,016
Dens. cian.	0,237	-0,319	-0,003	0,302	0,340	0,324
Feof.-a	-0,010	0,028	0,003	-0,019	0,952	-0,044
P _T	0,673	0,248	-0,177	-0,047	-0,050	-0,057
N-NO ₃ ⁻	0,068	-0,300	0,004	0,678	-0,065	-0,074
OD	-0,556	0,011	-0,144	0,632	-0,053	-0,006
pH	0,342	0,082	-0,087	0,716	0,057	0,024
ST	-0,249	0,110	0,875	-0,069	0,001	-0,030
Temp.	-0,120	-0,602	0,328	-0,091	-0,071	0,043
Turb.	-0,288	0,108	0,864	-0,095	0,014	-0,011
Variabilidade (%)	23,928	16,185	10,776	7,649	6,620	6,285
% acumulada	23,928	40,112	50,889	58,537	65,157	71,442

Negrito – Correlações moderadas (valor absoluto entre 0,5 e 0,75)

Negrito e sublinhado – Correlações fortes (valor absoluto maior que 0,75)

Tabela 2. Cargas fatoriais dos parâmetros de qualidade da água para cada fator após rotação varimax das Componentes Principais, para o grupo 2 formado pela AC.

Parâmetros	Grupo 2			
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
As _T	0,387	0,666	0,054	0,014
Cl _T	0,880	-0,066	0,200	0,056
Clor.- a	-0,016	-0,166	0,509	0,113
Colif. term.	0,057	-0,021	-0,083	0,851
CE	0,919	-0,072	0,188	0,047
DBO	0,501	0,162	0,552	0,245
DQO	0,217	0,590	0,461	0,144
Dens. cian.	0,151	0,067	0,662	-0,040
Feoftina a	0,223	0,082	0,717	-0,004
P _T	0,594	0,505	-0,092	0,054
N-NO ₃ ⁻	0,749	-0,140	0,068	-0,278
OD	0,070	-0,367	0,767	-0,144
pH	0,185	-0,211	0,826	-0,085
ST	-0,092	0,889	-0,182	-0,023
Temp.	-0,290	0,183	-0,046	0,474
Turb.	-0,337	0,829	-0,173	0,019
Variabilidade (%)	28,474	18,615	11,374	6,859
% acumulada	28,474	47,089	58,462	65,322

Negrito – Correlações moderadas (valor absoluto entre 0,5 e 0,75)

Negrito e sublinhado – Correlações fortes (valor absoluto maior que 0,75)

Tabela 3. Cargas fatoriais dos parâmetros de qualidade da água para cada fator após rotação varimax das Componentes Principais, para o grupo 3 formado pela AC.

Parâmetros	Grupo 3				
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5
As _T	0,256	0,199	0,086	0,670	-0,215
Cl _T	-0,003	0,923	0,045	0,064	0,037
Clor.-a	0,043	0,085	-0,183	0,003	0,575
Colif. term.	0,254	-0,154	0,190	0,626	0,000
CE	-0,088	0,918	0,050	0,044	0,004
DBO	0,141	0,404	-0,051	0,054	0,518
DQO	0,533	0,065	0,084	0,259	0,313
Dens. de cian.	0,028	0,199	-0,253	0,105	-0,565
Feof.-a	0,689	-0,141	0,076	-0,144	-0,171
P _T	0,350	0,068	0,078	0,647	0,209
N-NO ₃ ⁻	-0,204	0,766	-0,101	-0,041	-0,015
OD	-0,112	-0,208	-0,849	-0,041	0,039
pH	-0,356	0,188	-0,268	0,464	0,022
ST	0,798	-0,067	0,053	0,237	0,064
Temp.	0,070	-0,141	0,848	0,082	0,042
Turb.	0,880	-0,109	0,099	0,190	0,041
Variabilidade (%)	21,455	17,277	9,333	7,305	6,321
% acumulada	21,455	38,732	48,065	55,370	61,691

Negrito – Correlações moderadas (valor absoluto entre 0,5 e 0,75)

Negrito e sublinhado – Correlações fortes (valor absoluto maior que 0,75)