

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

ANÁLISE DOS DADOS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DE ÁGUA DE UMA BACIA HIDROGRAFICA NA PROPOSTA DE UM ÍNDICE QUALIDADE DE ÁGUA URBANO (IQA_U)

Gabriel Coimbra Rabelo ¹
José Biscaíno Neto ¹
* Rosane Freire ¹

ANALYSIS OF WATER QUALITY MONITORING DATA FROM AN HIDROGRAFIC BASIN IN THE PROPOSAL OF AN URBAN WATER QUALITY INDEX (IQA_U)

Recibido el 2 de febrero de 2019; Aceptado el 6 de diciembre de 2019

Abstract

The monitoring of water quality parameters from a hydrografic basin (BH) consumes time and financial resources. In addition, it generates a voluminous and often difficult to interpret database. In order to make water quality monitoring more advantageous and less costly for a specific purpose, this study grouped the information obtained in the monitoring of the waters of streams, located in a BH with 93.7km², urban influence (in 36.3% area), regarding of the physical-chemical and biological characteristics, using, for this, the Principal Component Analysis (PCA). Surface water samples were collected during January 2015 to May 2016 at five sample points. The qualitative parameters analyzed were those that compose the Water Quality Index - CETESB (IQA). The PCA allowed the selection of three PCs explaining 69.17% of the total variance. The final analysis allowed a reduction in 45% of the parameters measured in urban waters: Thermotolerant Coliforms; Biochemical oxygen demand; Turbidity; pH; and, Dissolved Oxygen. Thus, the water quality of the studied basin can be inferred and measured, with similarity in determining the quality categories in 71% of the cases when compared to the IQA, being possible to form a new index: Urban Water Quality Index (uWQI).

Keywords: multivariate statistics, water quality, water quality indicators.

¹ Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil.

* *Autor Correspondente:* Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Depto. de Química e Bioquímica, Rua Roberto Simonsen, 305 – Centro Universitário, Presidente Prudente- SP, CEP 19060-900, Brasil.
Email: rosane.freire@unesp.br

Resumo

O monitoramento dos parâmetros de qualidade de água de uma bacia hidrográfica (BH) consome tempo e recursos financeiros de forma significativa. Além disso, gera um banco de dados volumoso e, muitas vezes, de difícil interpretação. Para tornar o monitoramento de qualidade de água mais vantajoso e menos custoso para determinada finalidade, este estudo agrupou as informações obtidas no monitoramento das águas de córregos localizados em uma BH (93.7km²) com influência urbana (36.3% em área) quanto à similaridade das características físico-químicas e biológicas, utilizando, para isso, a Análise de Componentes Principais (ACP). Coletaram-se amostras de águas superficiais durante janeiro/2015 a maio/2016, em cinco pontos de monitoramento. Os parâmetros qualitativos analisados foram aqueles que compõe o Índice de Qualidade de Água – CETESB (IQA). A ACP possibilitou a seleção de três CPs indicadoras de qualidade de água, explicando 69,17% da variância total. A análise final possibilitou uma redução dos parâmetros a serem medidos nas águas urbanas em 45%, passando de nove para cinco: Coliformes Termotolerantes; Demanda Bioquímica de Oxigênio; Turbidez; pH; e, Oxigênio Dissolvido. Assim, a qualidade da água da bacia estudada pode ser inferida e mensurada, com semelhança na determinação das categorias de qualidade em 71% dos casos quando comparado ao IQA, sendo possível formar um novo índice: o Índice de Qualidade de Água Urbano (IQAu).

Palavras chave: estatística multivariada, indicadores de qualidade da água, qualidade de água.

Introdução

A abordagem sobre a disponibilidade em termos qualitativos e quantitativos da água é o terceiro dos seis temas que estruturam a oitava fase do Programa Hidrológico Internacional da UNESCO (UNESCO-IHP-VIII, 2014–2021), que se concentra na “Segurança da Água: Respostas aos Desafios Locais, Regionais e Globais”. Além da UNESCO, as Nações Unidas estabeleceram a gestão sustentável da água e saneamento para todos até 2030 como uma meta (ODS 6) para o desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, o monitoramento das variáveis de qualidade de água nas bacias hidrográficas de pequeno e médio porte torna-se um instrumento de grande importância.

No entanto, o monitoramento dos aspectos de qualidade dos corpos d’água por longos períodos e em vários pontos amostrais gera um banco de dados extenso e complexo. Essa complexidade dificulta a análise, a interpretação dos dados e a extração de informações úteis para a gestão adequada da água, causando, segundo Trindade *et al.* (2017), a subutilização das informações. Além disso, o monitoramento consome recursos financeiros de forma considerável, seja para a coleta de amostras, seja para a execução das análises laboratoriais. Em termos de soluções práticas para essa problemática, o índice de qualidade de água (IQA) é mundialmente difundido para a síntese de dados, funcionalizando tempo e despesas.

O IQA é utilizado para integrar, interpretar e comunicar as informações obtidas no monitoramento aos grupos interessados (Andrietti *et al.*, 2016) de forma fácil e até mesmo intuitiva (por meio de categorias). O IQA – CETESB, rotineiramente empregado no Brasil, trata-se de uma seleção de nove parâmetros de qualidade de água, no qual é atribuído um peso relativo

de acordo com o estado ou condição de cada parâmetro, que se combinam em um produtório resultando em um valor numérico sobre o estado de qualidade da água, passível de ser categorizado como “ótimo”, “bom”, “regular”, “ruim” e “péssimo”.

A ampliação do uso do IQA, de forma global ou por meio da avaliação dos parâmetros individuais, e a interpretação do seu resultado como uma ferramenta de monitoramento sobre o estado qualidade de água ao longo do tempo também gera um banco de dados que, se bem trabalhado, pode ser direcionado para finalidades específicas, por exemplo: análise da influência sazonalidade (Souza *et al.*, 2015); delineamento de pontos amostrais (Andrietti *et al.*, 2016); abastecimento público (CETESB, 2017; Mukate *et al.*, 2019); agropecuária (Toledo e Nicoella, 2002); irrigação (Muniz, 2014), entre outros, podendo ter o número de parâmetros ampliado ou reduzido, originando, assim, outros índices qualitativos customizados (Tripathi e Singal, 2019).

Nesse aspecto, os métodos estatísticos multivariados podem auxiliar nos processos de decisão quanto aos fatores de logística (diminuindo pontos monitorados ou os parâmetros analisados, por exemplo), redução de perdas de informações úteis e relevantes, análise custo-benefício entre outros aspectos (Araujo *et al.*, 2014). Entre os métodos estatísticos, a Análise de Componentes Principais (ACP) é aplicada com sucesso às matrizes de dados de monitoramento de qualidade da água em todo o mundo: Brasil (Araujo *et al.*, 2014), Costa do Marfim (Parinet *et al.*, 2004), Estados Unidos (Ouyang, 2005), Índia (Sahoo *et al.*, 2015; Tripathi e Singal, 2019), China (Zhao *et al.*, 2012), Malásia (Azhar *et al.*, 2015), Finlândia (Juntunen *et al.*, 2013) e Arábia Saudita (Hussain *et al.*, 2008).

A ACP permite conhecer o comportamento dos dados no ambiente de estudo (Nasir e Zahran, 2016; Ferreira *et al.*, 2015) e selecionar os parâmetros mais representativos, definindo os mais sensíveis (ou determinantes) para o aspecto de qualidade de água, seja para a adoção de um programa de monitoramento, seja para avaliação das alterações ocorridas nos recursos hídricos (Toledo e Nicoella, 2002).

No presente estudo, a ACP foi aplicada para analisar o banco de dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais da porção urbanizada da bacia hidrográfica do Córrego do Limoeiro (BHCL). Trata-se de uma BH com 93.7 km² de área, no qual mais de 36% é ocupada por residências, comércios e indústrias (Rabelo *et al.*, 2015). Em termos de domínio de ocupação na BH (Figura 1), observa o intenso uso urbano nas vertentes de margem esquerda. Em especial, boa parte da área residencial se aloca sobre o córrego Colônia Mineira; a área comercial e industrial sobre as margens do tributário córrego do Veado. Esse último deságua no córrego do Limoeiro cujo o uso das águas se contrapõe entre recreação de contato primário e diluição de efluentes em trechos de montante e jusante, respectivamente (São Paulo, 1977). Em termos de área, há superioridade do uso rural (sítios e chácaras) na porção de margem direita e jusante da BHCL, mas com franca e recente abertura de loteamentos e condomínios residenciais nessa direção.

Do exposto, o objetivo principal foi analisar o comportamento do estado de qualidade das águas urbanas presente em um banco de dados de uma porção da BHCL ao ponto de ser possível reduzir o número de variáveis monitoradas e propor de um novo índice de qualidade de água, aplicável em BH com padrão de ocupação semelhante, auxiliando nas atividades de gestão e tomada de decisão por prefeituras e comitês de bacia.

Metodologia

Monitoramento da qualidade da água

Foram escolhidos 4 pontos amostrais estratégicos, envolvendo, principalmente, a área urbanizada da bacia hidrográfica do córrego do Limoeiro (BHCL), conforme apresentado na Figura 1. Esses pontos foram selecionados considerando as potenciais fontes de poluição, tais como áreas residenciais (P1 e P2), comerciais (P3), industriais (P4), bem como o aspecto de acessibilidade. Foi alocado também um ponto de monitoramento a jusante da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) (P5), visto o potencial de contribuição de material orgânico oriundo das atividades urbanas. Essa ETE trata 470 litros de esgoto sanitário por segundo (SABESP, 2015).

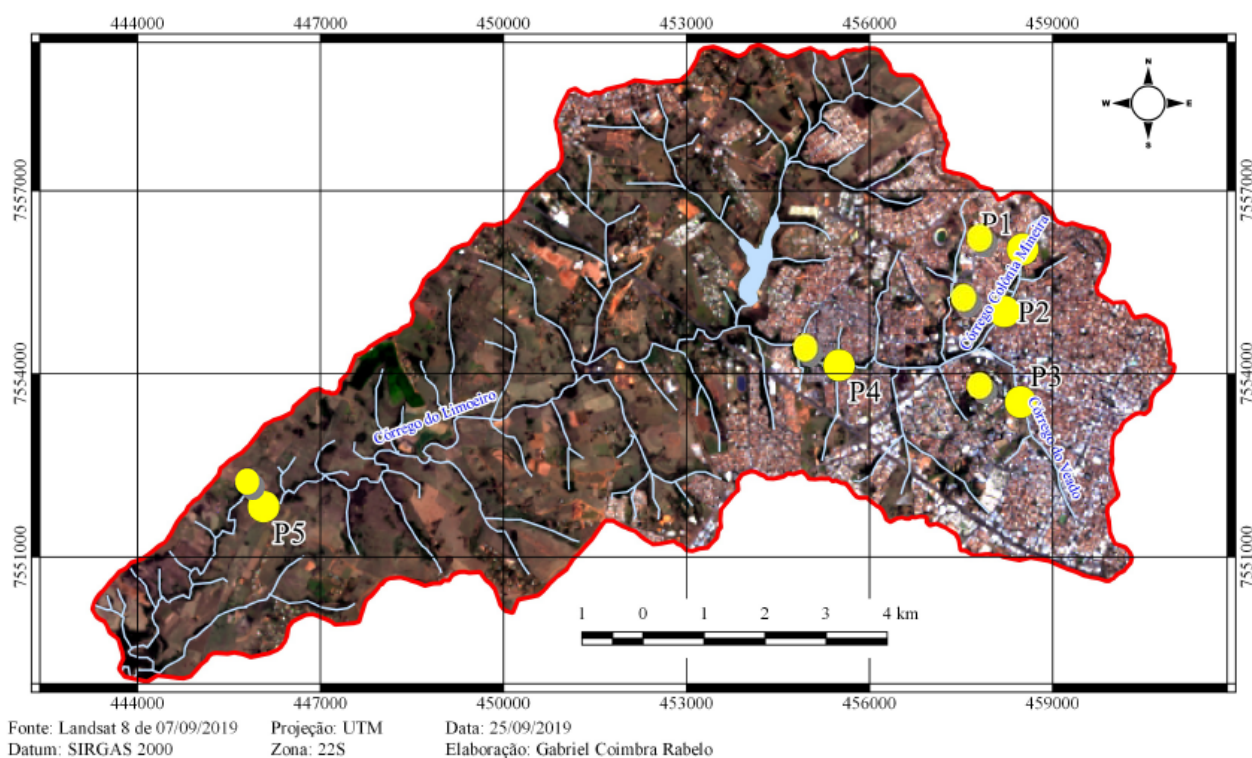


Figura 1. BHCL: ocupação da terra e distribuição dos pontos amostrais.

As amostras de água foram coletadas no período da manhã (maio/2015, julho/2015, setembro/2015, janeiro/2016, março/2016 e maio/2016) e da tarde (janeiro/2015, março/2015 e novembro/2015). Nos pontos P2, P3 e P4 a coleta de água foi feita utilizando um balde e uma corda. Já nos pontos P1 e P5, devido facilidade de acesso, as amostras foram coletadas diretamente no canal. Em todos os casos, utilizou-se o método de amostragem simples, no leito vazante e na seção central do curso d'água.

As amostras foram armazenadas em garrafas de Politereftalato de Etileno (PET), com capacidade de 2 L, e em recipiente de vidro âmbar, de 100 mL. Todos foram previamente limpos, conforme recomendação da APHA (1998), e acondicionados em uma caixa de isopor com gelo para transporte. Os parâmetros qualitativos analisados foram: Oxigênio Dissolvido (OD), Temperatura (T), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), Nitrogênio Total (N), Fósforo Total (P), Resíduo Total (RT), Coliformes Fecais (CF), Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição dos métodos e referências utilizadas na determinação dos parâmetros qualitativos.

Parâmetro	Método	Unidade	Marca e Modelo/ Referência
OD	Direto, Eletrométrico	mg/L	HANNA HI 9146
T	Direto, Termometria	° C	Termômetro de mercúrio
DBO ₅	Diluição sem semente	mg/L	APHA (1998)
N	Destilação - Titulação	mg/L	APHA (1998)
P	Digestão com persulfato de potássio	mg/L	Silva e Oliveira (2001)
RT	Gravimétrico	mg/L	APHA (1998)
CF	Plaqueamento	NMP/100mL	<i>Petriefilm EC</i> TM (3M.)
pH	Direto, Potenciométrico	-	GEHAKA PG 2000
Turbidez	Direto, Nefelométrico	NTU	TB 1000

O estado de qualidade da água foi determinado por meio do cálculo do IQA-CETESB, tendo o valor obtido categorizado em péssimo (IQA ≤ 19), ruim (19 < IQA ≤ 36), regular (36 < IQA ≤ 51), bom (51 < IQA ≤ 79) ou ótima qualidade (79 < IQA ≤ 100) (CETESB, 2017).

Os dados de precipitação pluviométrica foram fornecidos pela Estação Meteorológica da FCT – UNESP, localizada na BHCL. Com esses dados foi possível analisar o comportamento da chuva durante o período de monitoramento, bem como analisar um banco de dados de 30 anos em relação ao volume mensal precipitado. Assim, os meses no qual houve amostragem de água foram definidos como habitual, chuvoso e seco, seguindo o que foi proposto por Braido (2010).

Análise de Componentes Principais (ACP)

A matriz de dados foi composta inicialmente por 405 valores (9 parâmetros monitorados em 5 pontos amostrais, coletados bimestralmente de janeiro de 2015 a maio de 2016). Para o processamento de dados foi utilizado o software Statistica®, versão 13.1.

Seguindo as etapas descritas em Tripathi e Singal (2019), primeiramente, eliminou-se o efeito de escala e unidades padronizando os dados (média igual a zero e desvio-padrão igual a 1). Em seguida, foi elaborado a matriz de correlação (r) e determinados os autovetores e seus respectivos autovalores. O número de Componentes Principais (CPs) foi definido pelo critério dos autovalores, proposto por Kaiser (1960), no qual define que se deve utilizar apenas as CPs que possuem autovalores maiores que 1. Por fim, foi desenvolvida a matriz de carga das CPs, sem rotação dos eixos, conforme sugerido por Toledo e Nicoella (2002). Foi escolhido apenas os parâmetros que possuem carga maiores que 0.6, seguindo recomendação de Field (2005).

Proposta do Índice de Qualidade de Água Urbano - IQAu

Na proposta do IQAu foram utilizadas apenas as variáveis de qualidade de água apontadas pela ACP como estatisticamente determinante. A ponderação de pesos de cada parâmetro de qualidade selecionado foi um fator decisivo: para fins práticos, teve como base os pesos (W_i) já definidos para o IQA. Assim, os W_i do IQAu foram calculados utilizando a Equação 1, tendo a somatória dos pesos igual a 1.

$$W_i^{IQAu} = W_i^{IQA} / \sum_{i=1}^n W_i^{IQA}$$

Equação (1)

em que:

W_i^{IQAu} : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro no IQAu, um número entre 0 e 1;

W_i^{IQA} : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro no IQA, um número entre 0 e 1;

N : número de parâmetros que fazem parte IQAu.

Por fim, o índice proposto foi estimado por meio de produtório dos parâmetros ponderados, sendo o valor numérico obtido categorizado de maneira semelhante ao IQA CETESB.

Resultados e discussão

Precipitação Pluviométrica

Em relação a precipitação pluviométrica, quando se compara os valores de precipitação da média histórica com os valores do período de coleta verificou-se que os meses de janeiro/2015, março/2016, abril/ 2016 e maio/2016 podem ser classificadas como valores habituais. Já o mês de junho/2015 pode ser classificado como sendo seco, enquanto que os demais podem ser classificados como sendo chuvosos. Logo, durante o período de monitoramento houve a incidência de um volume de chuva precipitada maior do que a média histórica.

A precipitação incidente de forma constante pode influenciar na interpretação dos resultados, pois deve-se considerar a contribuição do carreamento de material depositado nas superfícies pelo escoamento superficial, ou seja, para identificação de fontes difusas de poluição. Isso pode ser interessante quanto se avalia a relação entre as tipografias de ocupação urbana (residências, comércios e indústrias) e o estado de qualidade do corpo hídrico. De modo complementar, em períodos chuvosos, o leito vazante dos cursos d'água ficam mais volumosos, diluindo as contribuições de fontes contínuas (pontuais) de poluição hídrica. Efeito da sazonalidade sobre os dados de qualidade de água foi observado nos trabalhos de Andrietti *et al.*, (2016), Freire *et al.*, (2012); Bortoletto *et al.* (2015).

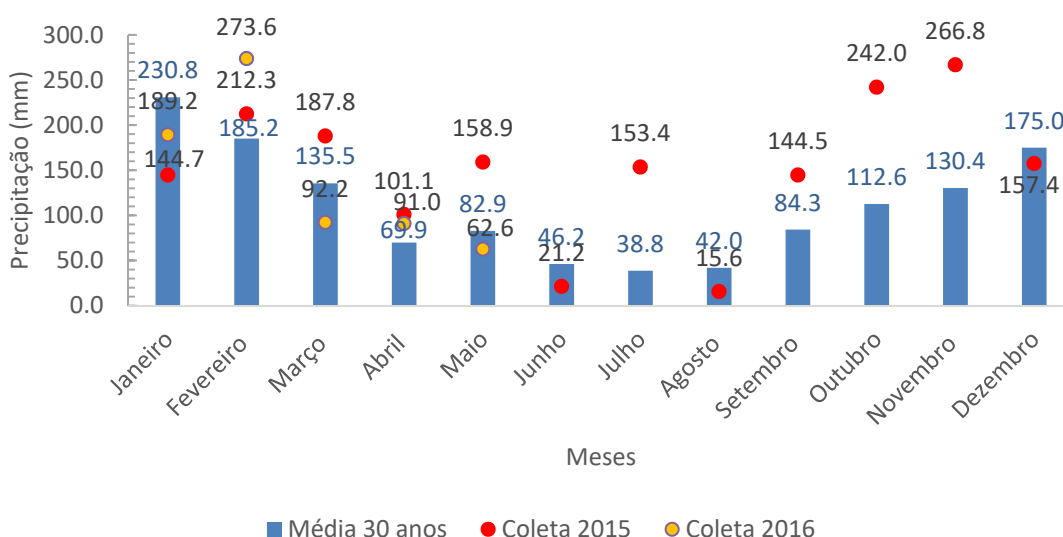


Figura 2. Volume mensal de chuva precipitado (mm) na BHCL. Fonte: FCT UNESP.

IQA

O IQA (Tabela 2) mostrou que em janeiro/2015 a qualidade da água da BHCL estava em pior estado. Acredita-se que isso foi ocasionado por conta dos eventos de precipitação que ocorreram com maior intensidade e frequência nessa época do ano, fazendo com que o escoamento superficial urbano fosse determinante na redução da qualidade. Em contraste, as coletas de julho/2015 e setembro/2015, considerado um período seco por Mendonça (2011), apresentaram valores bem superiores de qualidade da água quando comparado aos demais meses

Em relação aos pontos amostrais, as melhores condições de qualidade de água foram obtidas para os pontos P1 e P2. Acredita-se que isso ocorreu pelo fato desses pontos estarem próximos à nascente e em área predominante residencial. Enquanto que, os piores estados de qualidade

de água foram obtidos para os pontos P3 e P4. Acredita-se que isso se deve ao lançamento de efluentes comerciais e industriais (frigoríficos e curtume), respectivamente, incrementado pelo efeito de lavagem superficial.

Tabela 2. Resultados IQA.

mês -- ponto	jan/15	mar/15	mai/15	jul/15	set/15	nov/15	jan/16	mar/16	mai/16
P1	59.42	64.04	63.05	54.08	62.83	58.42	57.85	48.29	45.59
P2	46.78	73.17	66.50	69.63	66.48	59.55	55.37	61.22	45.96
P3	33.68	39.81	45.78	52.55	48.39	55.03	41.22	39.04	55.52
P4	21.65	51.85	56.84	49.92	60.00	34.97	35.07	46.50	49.81
P5	30.92	53.02	62.04	60.41	67.94	34.68	50.34	34.83	38.33

Nota: $19 < IQA \leq 36$, ruim (vermelho); $36 < IQA \leq 51$, regular (amarelo); $51 < IQA \leq 79$, bom (verde).

Por último, tem-se que o ponto P5 foi influenciado pelos efluentes oriundos da área urbanizada da bacia e, além disso, foi verificado o efeito das atividades agropecuárias, sobretudo, no que condiz ao possível carreamento até o curso d'água de agroquímicos, tais como os à base de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK). O efeito da área de influência e do uso e ocupação da terra na qualidade da água da bacia hidrográfica também foi observado por Schneider *et al.* (2011), Cornelli *et al.* (2016), Menezes *et al.* (2016), entre outros.

Análise de Componentes Principais

A matriz de correlação (r), utilizando os parâmetros padronizados para determinação da ACP, está apresentada na Tabela 3. A matriz de dados final foi composta por 360 valores (8 parâmetros monitorados em 5 pontos amostrais em 9 amostragens).

Tabela 3. Matriz de correlação dos parâmetros de qualidade de água.

Parâmetro	Coliformes	pH	DBO ₅	N	P	Turbidez	RT	OD
Coliformes	1.00							
pH	-0.01	1.00						
DBO ₅	0.65	0.13	1.00					
N	0.18	-0.13	0.15	1.00				
P	0.21	0.18	0.51	0.01	1.00			
Turbidez	-0.03	-0.09	-0.01	-0.08	0.05	1.00		
RT	-0.05	-0.16	-0.03	0.01	0.05	0.82	1.00	
OD	-0.05	0.55	0.26	-0.12	0.14	-0.05	-0.06	1.00

Destaca-se que o parâmetro temperatura não foi utilizado na ACP. A temperatura média dos cursos d'água nos pontos amostrais ao longo do período de monitoramento foi de $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, não sendo um incremento forte suficiente para alteração do valor de qualidade, "qi". Esse comportamento, concorda com os trabalhos de Albuquerque *et al.* (2014) e Silva (2016), visto que o indicador temperatura é avaliado em termos do "afastamento da temperatura de equilíbrio". Nesse caso, considera-se que o valor de qualidade "qi" para as condições brasileiras é constante ($q_i = 94$). Não incluir a variável (sem amplitude de variação em termos de "qi") na ACP não alteraria a qualidade dos resultados obtidos pela própria característica da análise (Hongyu *et al.*, 2016), confirmado em ensaio preliminar.

Os valores de correlação que chamaram mais atenção foram: Coliformes – DBO₅ ($r = 0.65$); e, Turbidez – RT ($r = 0.82$), sendo interpretados, respectivamente, como correlação moderada e forte (Callegari-Jacques, 2003). Os demais parâmetros não obtiveram correlações significativas, isso ocorreu devido ao dinamismo do ambiente natural.

A correlação entre Coliformes e DBO₅ condiz com a literatura, uma vez que, o esgoto sanitário é o maior causador de poluição orgânica e bacteriológica, sobretudo de coliformes (Archela *et al.*, 2003). A turbidez representa uma propriedade ótica que mede como a água dispersa à luz devido a presença de materiais em suspensão. Logo, a turbidez aumenta com a concentração de RT (Teixeira e Senhorelo, 2000). Essa forte correlação já foi evidenciada em diversos estudos, como apresentado por Peixoto e Galvarro (2015).

A Tabela 4 apresenta os autovalores que correspondem às variâncias das 8 CPs. Foi considerado apenas aquelas CPs que possuem autovalores maiores que 1 (destaque em negrito). Dessa forma, selecionou-se as três primeiras CPs apresentando uma variância acumulada de 69.1703%. A carga das CPs de cada variável está apresentada na Tabela 5.

Tabela 4. Autovalores e variâncias (em negrito destacam-se as CPs empregadas).

CP	Autovalor	% total de variância	Autovalor acumulado	% acumulada
1	2.124060	26.55075	2.124060	26.5508
2	1.845471	23.06839	3.969532	49.6191
3	1.564091	19.55114	5.533622	69.1703
4	0.875777	10.94721	6.409399	80.1175
5	0.729903	9.12379	7.139302	89.2413
6	0.481054	6.01317	7.620356	95.2544
7	0.212362	2.65452	7.832718	97.9090
8	0.167282	2.09103	8.000000	100.0000

Tabela 5. Carga das componentes principais (em negrito valores superiores a 0.6).

Parâmetro	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Coliformes	0.607768	0.314668	-0.473431
pH	0.486738	-0.204585	0.648365
DBO ₅	0.827058	0.361785	-0.186765
N	0.125667	0.110418	-0.531001
P	0.598138	0.338234	0.061380
Turbidez	-0.313138	0.843918	0.300585
RT	-0.343748	0.851229	0.237013
OD	0.493923	-0.101634	0.672636

A primeira CP representa 26.5% da variância explicada. Destacaram-se os parâmetros Coliformes e DBO₅, sendo essa componente correspondente aos aspectos da poluição orgânica. Já a segunda CP, que representa cerca de 23.07% da variância explicada, destacam-se os parâmetros Turbidez e RT (sólidos em suspensão). Por último, na terceira CP, que representa cerca de 19.55% da variância, destacaram-se os parâmetros OD e pH. Essa componente expressa aspectos da poluição orgânica e industrial. Todos os pares de parâmetros selecionados apresentaram valor de carga maior que 0.6, confirmando o que já havia sido observado por meio da matriz de correlação (Tabela 3): esses pares são diretamente proporcionais.

A matriz de correlação (Tabela 3) mostra que Turbidez e RT possuem uma forte correlação ($r = 0,82$) (Callegari-Jacques, 2003). Pautado nos trabalhos de Tomazoni *et al.* (2005), Lewer *et al.*, (2006) e Wu *et al.* (2014), considera-se válido determinar RT por meio da medição da Turbidez, por ser uma análise muito rápida de ser feita.

Com o exposto, é possível representar os aspectos de qualidade das águas urbanas da BHCL com apenas 5 variáveis de qualidade. Isso representa uma redução de aproximadamente 45% dos parâmetros a serem monitorados. No estudo de Muniz (2014), a ACP proporcionou selecionar 4 parâmetros estatisticamente determinantes no aspecto de qualidade de água, reduzindo mais de 80% os parâmetros monitorados, proporcionando maximização de tempo e recursos investidos nessa atividade.

Proposta do IQAu

A ponderação dos pesos (W_i) dos parâmetros selecionados pela ACP e que compõem o IQAu está apresentada na Tabela 6.

Tabela 6. Definição dos pesos do IQAu.

Parâmetros	Wi – IQA	Transformação matemática	Wi – IQAu
Coliformes	0.15	0.15/0.7	0.214
pH	0.12	0.12/0.7	0.171
DBO ₅	0.10	0.10/0.7	0.143
Turbidez*	0.16	0.16/0.7	0.229
OD	0.17	0.17/0.7	0.243
Σ	0.70	-	1.000

*RT é reflexo da turbidez, logo foi somado ao Wi da turbidez o Wi do RT.

Os resultados do IQAu, bem como sua classificação, estão apresentados na Tabela 7. Verificou-se que ocorreu uma semelhança na determinação das categorias, pelo IQA e IQAu, em 71% dos casos, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 7. Resultados IQAu.

Mês -- ponto	jan/15	mar/15	mai/15	jul/15	set/15	nov/15	jan/16	mar/16	mai/16
P1	52.52	58.10	56.54	51.10	59.21	51.87	51.63	44.97	47.34
P2	40.14	66.93	60.59	61.03	60.65	47.91	46.43	58.66	42.94
P3	25.50	53.75	47.03	47.71	44.07	45.40	30.60	43.98	47.09
P4	21.88	58.34	52.17	52.14	52.74	33.23	25.40	50.79	42.10
P5	36.39	59.60	61.70	70.04	59.96	38.73	51.50	44.52	24.88

* $19 < IQA \leq 36$, ruim (vermelho); $36 < IQA \leq 51$, regular (amarelo); $51 < IQA \leq 79$, bom (verde).

Tabela 8. Correspondência IQAu com o IQA.

Mês -- ponto	jan/15	mar/15	mai/15	jul/15	set/15	nov/15	jan/16	mar/16	mai/16	corp*
P1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	100%
P2	1	1	1	1	1	0	0	1	1	78%
P3	1	0	1	0	1	0	0	1	0	44%
P4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	89%
P5	0	1	1	1	1	0	0	0	0	44%
corp*	80%	80%	100%	60%	100%	40%	40%	80%	60%	71%

Nota: 1 e 0 indica, respectivamente, com e sem correspondência / *corp = correspondência.

A Tabela 8 mostra que o ponto que se obteve maior correspondência foi o ponto P1 (residencial), seguido do ponto P4 (industrial). Acredita-se que esses pontos obtiveram essa correspondência pelo fato dos parâmetros de qualidade de água selecionados pela ACP serem aqueles que apresentavam maior variabilidade. Em contrapartida, os pontos que obtiveram menor correspondência foram os pontos P3 e P5.

No P3, área comercial, a contribuição das ligações irregulares de esgoto pode explicar o resultado encontrado, visto que os efluentes lançados por essas atividades possuem características e periodicidade variadas. Já o ponto P5 obteve pouca correspondência, provavelmente porque o índice desenvolvido é voltado para áreas urbanas, e, apesar de estar localizado a jusante de uma ETE (470 L/s), esse ponto encontra-se localizado sobre domínio rural, tendo assim fatores não urbanos que influenciaram a qualidade da água nesse ponto, tais como, o aporte de fertilizantes pelo escoamento superficial em períodos chuvosos.

Percebe-se que o valor do IQAu foi numericamente menor do IQA em 69% dos casos, ou seja, trata-se de um índice mais restritivo em termos de interpretação do estado de qualidade da água. Possivelmente, essa situação ocorreu pela exclusão de 2 parâmetros (Fósforo Total e Nitrogênio) que, de maneira geral, levavam valores de qi altos na área de estudo.

Em termos de aplicação, o IQA e o IQAu permitiram definir os pontos de amostragem, bem como os meses, que apresentaram pior e melhor qualidade de água. Quanto à categorização por ordenação da qualidade da água, os índices deixaram bem evidente a degradação da qualidade da água ao longo do trecho urbanizado, ficando os maiores valores de qualidade para dois os primeiros pontos (residencial) e os menores valores nos dois últimos pontos (comercial e industrial) que estão contidos na malha urbana.

Tripathi e Singal (2019) enfatizam a importância do desenvolvimento de índices customizados para qualquer hidrográfica usando seus dados históricos e colocando a ênfase nos parâmetros mais importantes naquela região. Neste contexto, acredita-se que o IQAu desenvolvido nesse trabalho pode ser utilizado em programas de monitoramento em bacias hidrográficas com ocupação da terra similares à desse estudo. Contudo, a redução do número de parâmetros a serem analisados deve levar em consideração tendência de concentração dos parâmetros, o próprio histórico de monitoramento daquela bacia, e principalmente, o conhecimento técnico e específico do órgão gestor, cabendo a ele as tomadas de decisão de exclusão ou não de parâmetros.

Conclusão

O uso de técnicas estatísticas ajudou na redução da subjetividade do índice proposto e o tornou mais objetivo em sua natureza e, portanto, revelou-se uma ferramenta útil para avaliar os dados de qualidade da água da BHCL. A ACP promoveu a redução do número de parâmetros do IQA de maneira muito satisfatória. Três CPs agruparam cinco variáveis de qualidade de água, que explicaram 69.17% da variância contida nos dados primários.

O IQAu não apresentou grandes divergências quando comparado ao IQA, uma vez que, em 71% dos casos era obtida a mesma categoria de classificação de qualidade em ambos índices. Haja vista a temporalidade amostral do banco de dados monitorado, sugere-se que o IQAu seja aplicável apenas em cursos d' água de BH com padrão de ocupação semelhante.

Em sua singularidade, destaca-se, portanto, um instrumento que permite a manutenção do monitoramento de qualidade das águas urbanas, ao minorar custos na aquisição de dados e tempo de avaliação nas informações, auxiliando nas atividades de gestão e tomada de decisão por prefeituras e comitês de bacia.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio (bolsa) concedido.

Referências bibliográficas

- Albuquerque, T. N., Oliveira, W. M. M., Castro, B. S., Albuquerque, B. F. (2014) Caracterização da qualidade da água de um trecho do Rio Salgado no Ceará através das análises de IQA e IET, *V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, Belo Horizonte, Brasil.
- Andrietti, G., Freire, R., Amaral, A. G. Almeida, F. T., Bongiovani, M. C., Schneider, R. M. (2016) Índices de qualidade de água e de estado trófico do rio Caiabi, MT, *Revista Ambiente e Água*, **11**(1), 162-175. doi: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1769>
- APHA, American Public Health Association. (1998) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, D.C, 1600 pp.
- Araujo, E. N., Calazans, G. M., Nunes, J. C. S., Barbosa, T. B. C., Oliveira, S. M. A. C. (2014) Avaliação da qualidade das águas superficiais da bacia do Rio Paraopeba utilizando métodos estatísticos multivariados. *XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Natal, Brasil.
- Archela, E., Carraro, A., Fernandes, F., Barros, O. N. F., Archela, R. S. (2003) Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos. *Geografia (Londrina)*, **12**(1), 517-525. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/6711>
- Azhar, S. C., Aris, A. Z., Yusoff, M. K., Ramli, M. F., Juahir, H. (2015) Classification of river water quality using multivariate analysis. *Procedia Environmental Sciences*, **30**, 79-84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.10.014>

- Bortoletto, A. C., Silva, H. A., Bonifácio, C. M., Tavares, C. R. G. (2015) Water quality monitoring of the Pirapó River watershed, Paraná, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, **75**(4), supl 2, 148-157. doi: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.00313suppl>
- Braido, L. M. H. (2010) *Caracterização edafoclimática e proposta para a determinação do risco de redução da safra na região do Pontal do Paranapanema – SP*, Dissertação (Mestrado em Geografia), Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 125 pp.
- Callegari-Jacques, S. M. (2003) *Bioestatística: princípios e aplicações*. Porto Alegre: Artemed. 255 pp.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2017) Águas interiores. *Apêndice D Índice de Qualidade das Águas*. 2017. Acesso em: 31 de janeiro de 2019, disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf>
- Conerlli, R., Schneider, V. E., Bortolin, T. A., Cemin, G., Santos, G. M. (2016) Análise da influência do uso e ocupação do solo na qualidade das águas de duas sub-bacias hidrográficas do município de Caxias do Sul, *Scientia cum Industria*, **4**(1), 1-4. doi: <http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v4iss1p1>
- Ferreira, K. C. D., Lopes, F. B., Andrade, E. M., Meireles, A. C. M., Silva, G. S. (2015) Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro. *Revista Ciência Agrônômica*, **46**(2), 277-286.
- Field, A. (2005) *Factor Analysis Using SPSS*. Acesso em 20 de novembro de 2016, disponível em: <http://www.statisticshell.com/docs/factor.pdf>
- Freire, R., Schneider, R. M., Freitas, F. H., Bonifácio, C. M., Tavares, C. R. G. (2012) Monitoring of toxic chemical in the basin of Maringá stream. *Acta Scientiarum. Technology*, **34**, 295-302. doi: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v34i3.10302>
- Hongyu, K., Sandanielo, V. L. M., Oliveira Junior, G. J. O. (2016) Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. *E&S - Engineering and Science*, **5**, 83-90. doi: <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/viewFile/3398/2744>
- Hussain, M., Ahmed, S. M., Abderrahman, W. (2008) Cluster analysis and quality assessment of logged water at an irrigation project, eastern Saudi Arabia. *Journal of Environmental Management*, **86**, 297-307. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.007>
- Juntunen, P., Liukkonen, M., Lehtola, M., Hiltunen, Y. (2013) Cluster analysis by self-organizing maps: An application to the modelling of water quality in a treatment process. *Applied Soft Computing*, **13**, 3191-3196. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2013.01.027>
- Kaiser, H. F. (1960) The application of electronic computers to factor analysis *Educational and Psychological Measurement*, **20**, 141-151. doi: <https://doi.org/10.1177/2F001316446002000116>
- Lawler, D. M., Petts, G. E., Foster, I. D. L., Harper, S. (2006) Turbidity dynamics during storm events in an urban headwater river system: the Upper Tame, West Midlands, UK. *Science of the Total Environment*, **360**(1-3), 109-126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.08.032>
- Mendonça, V. M. *Impactos pluviais na cidade de Presidente Prudente – SP*. Dissertação (Graduação em Geografia), Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 128 pp.
- Menezes, J. P., Bittencourt, R. P., Farias, M. S., Bello, I. P., Fia, R., Oliveira, L. F. C. (2016) Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **21** (30), 519-534. doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016145405>
- Mukate, S., Wagh, V., Panaskar, D., Jacobs, J. A., Sawant, A. (2019) Development of new integrated water quality index (IWQI) model to evaluate the drinking suitability of water. *Ecological Indicator*, **101**, 348-358. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.034>
- Muniz, D. H. F. (2014) *Proposição de um índice de qualidade de água para irrigação (IQAI) com base no monitoramento e caracterização de águas superficiais em ambientes rurais do Cerrado*, Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural), Universidade de Brasília, Brasília, 87 pp.

- Nasir, M. F. M., Samsudin, M. S., Mohamad, I., Awaluddin, M. R. A., Mansor, M. A., Juahir, H., Ramli, N. (2011) River Water Quality Modeling Using Combined Principle Component Analysis (PCA) and Multiple Linear Regressions (MLR): A Case Study at Klang River, Malaysia. *World Applied Sciences Journal*, **14**, 73-82.
- Ouyang, Y. (2005) Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. *Water Research*, **39**, 2621-2635. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.04.024>
- Parinet, B., Lhote, A., Legube, B. (2004) Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management – application to a tropical lake system. *Ecological Modelling*, **178**, 295-311.
- Peixoto, I. M. D. B., Galvarro, S. F. S. (2015) Comparação de valores de sólidos totais e turbidez a jusante a montante do córrego São Bartolomeu da cidade de Viçosa/MG. *Revista Científica Univiçosa*, **7**(1), 492-496.
- Rabelo, G. C., Freire, R. (2016) Índice de estado trófico para fósforo total das águas urbanas na porção urbana da bacia do Córrego do Limoeiro, *XXVIII Congresso de Iniciação Científica da UNESP - 1ª Fase, Presidente Prudente - SP*. São Paulo, Brasil.
- SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. (2015) *Captação do Rio do Peixe e estação do Limoeiro garantem mais saneamento à Presidente Prudente*. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaold=65&id=6700#:~:text=Trata%2Dse%20da%20Capta%C3%A7%C3%A3o%20de,19%20de%20setembro%20de%201998.&text=Hoje%2C%2017%20anos%20ap%C3%B3s%20a,garantidos%20pelo%20Rio%20Santo%20Anast%C3%A1cio>
- Sahoo, M. M., Patra, K. C., Khatua, K. K. (2015) Inference of Water Quality Index using ANFIA and PCA. *Aquatic Procedia*, **4**, 1099-1106. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.139>
- São Paulo, Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo (1977) Decreto Estadual nº 10.755 - Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976 e dá providências correlatas, Publicação Diário Oficial - Executivo, p.1, 23 de novembro de 1977. Acesso em 23 de janeiro de 2019, disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/norma/153028>
- Schneider, R. M., Freire, R., Cossich, E. S., Soares, P. F., Freitas, F. H., Tavares, C. R. G. (2011) Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da bacia hidrográfica do Rio Pirapó. *Acta Scientiarum. Technology*, **33**, 295-303. doi: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v33i3.8385>
- Silva, J. A. (2016) *Aplicação de indicadores ambientais para o cálculo do IQA (Índice de Qualidade da Água) em zona urbana de Manaus*, Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 65p.
- Silva, S. A., Oliveira, R. (2001) Manual de Análises Físico-Químicas de Águas de Abastecimento e Residuárias, DEC/CCT/UFGP, Campina Grande, 266 pp.
- Souza, A., Bertossi, A. P. A., Lastoria, G. (2015) Diagnóstico temporal e espacial de qualidade das águas superficiais do Córrego Bandeira, Campo Grande, MS. *Revista Agro@mbiente On-line*, **9**(3), 227-234. Disponível em: <https://revista.ufr.br/index.php/agroambiente/article/view/2312>
- Teixeira, E. C., Senhorelo, A. P. (2000) Avaliação de correlação entre turbidez e concentração de sólidos suspensos em bacias hidrográficas com uso e ocupação diferenciada, *XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Porto Alegre, Brasil.
- Toledo, L. G., De Nicolella, G. (2002) Índice de qualidade água em microbacia sob uso agrícola e urbano. *Scientia Agricola*, **59**(1), 181-186. doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000100026>
- Tomazoni, J. C., Mantovani, L. E., Bittencourt, A. V. L., Rosa Filho, E. F. R. (2005) Utilização de medidas de turbidez na quantificação de sólidos por veiculação hídrica nas bacias dos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau – Sudoeste do Estado do Paraná *Boletim Paranaense de Geociências*, **57**, 49-56. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/geo.v57i0.6044>
- Tripathi, M., Singal, S. K. (2019) Use of Principal Component Analysis for parameter selection for development of a novel Water Quality Index: a case study of river Ganga India. *Ecological Indicators*, **96**(part 1), 430-436. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.09.025>

- Trindade, A. L. C., Almeida, K. C. B., Barbosa, P. E., Oliveira, S. M. A. C. (2017) Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **22**(1), 13-24. doi: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016131457>
- UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. International Initiative on Water Quality (IIWQ). Water Quality in IHP – VIII (2014 – 2021). Water Security: Responses to local, regional and global challenges. Disponível em: <https://en.unesco.org/waterquality-IIWQ/activities-projects/IHP-VIII-water-quality>
- ONU, Organização das Nações Unidas (s/f) *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: 17 objetivos para transformar nosso mundo. ODS 6 Água potável e Saneamento*. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>
- Wu, J. L., Ho, C. R., Huang, C. C., Srivastav, A. L., Tzeng, J. H., Lin, Y. T. (2014) Hyperspectral sensing for turbid water quality monitoring in freshwater rivers: empirical relationship between reflectance and turbidity and total solids. *Sensors*, **14**, 22670-22688. doi: <https://doi.org/10.3390/s141222670>
- Zhao, Y., Xia, X. H., Yang, Z. F., Wang, F. (2012) Assesment of water quality in Baiyangdian Lake using multivariate statistical techniques. *Procedia Environmental Scicences*, **13**, 1213-1226. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.115>