

I-153 – ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA: APLICAÇÃO DO MODELO DO CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT

Ana Carolina Chaves Fortes ⁽¹⁾

Tecnóloga em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal do Piauí. Mestre em Saúde Pública pela Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca (ENSP/Fiocruz). Docente do curso de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal do Piauí (IFPI).

Paulo Rubens Guimarães Barrocas ⁽²⁾

Graduado em Oceanografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Doutor em Oceanografia pela Universidade do Estado da Flórida. Pesquisador titular do Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca (ENSP/Fiocruz).

Débora Cynamon Kligerman ⁽³⁾

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Doutora em Planejamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Pesquisadora titular do Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca (ENSP/Fiocruz).

Bruna de Freitas Iwata ⁽⁴⁾

Tecnóloga em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal do Piauí. Doutora em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Ceará (UFCE). Docente do curso de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal do Piauí (IFPI).

Endereço⁽¹⁾: Praça da Liberdade, 1597 – Centro Sul- Teresina – PI- CEP: 64.000-040 - Brasil - Tel: (86) 3131-9421 - e-mail: carolina.chaves@ifpi.edu.br

RESUMO

A qualidade da água é tradicionalmente caracterizada com base em parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, o que em alguma medida, torna a comunicação destas informações de difícil entendimento à população consumidora. Os índices podem ser vistos como ferramenta capazes de superar essa lacuna, transformando uma gama de dados em um único número, facilmente convertido em elemento qualitativo, integralizando a comunicação. O índice do *Canadian Council of Ministers of the Environment*, o IQA-CCME, é apontado como flexível e de fácil aplicação. A presente objetivou demonstrar a aplicação deste e identificar particularidades do mesmo. Para demonstração do índice foram utilizados dados referentes às análises de amostras de água da rede de distribuição do município do Rio de Janeiro, alimentados no Siságua entre os anos de 2014 a 2017. Foram utilizados grupos distintos de parâmetros e observou-se que os parâmetros mais críticos para a qualidade da água foram cloro residual e turbidez uma vez que ambos foram os mais violados. Os cálculos indicaram que o fator escopo (F1), correspondente ao número de parâmetros do universo que são violados, juntamente com a frequência (F2) possivelmente tem maior influência sobre escore final do índice. Em função da flexibilidade e mensurabilidade o IQA-CCME atende às condições técnicas e operacionais da vigilância de qualidade da água. Entretanto, devem ser realizados mais estudos com vistas a mitigar suas limitações e estratégias de seleção de parâmetros de entrada.

PALAVRAS-CHAVE: Comunicação de resultado, qualidade da água, índice.

INTRODUÇÃO

Por ser considerada um atributo dinâmico no tempo e no espaço, variando em função de diversos aspectos, a qualidade da água, e sua quantificação se encontra atrelada e definida, por parâmetros diversos como: físicos, químicos e biológicos (BOYACIOGLU, 2010; PARPAROV et al., 2006). Tradicionalmente, a avaliação da qualidade do recurso consiste na comparação dos níveis individuais destes diversos parâmetros com seus valores padrão.

Entretanto, este tipo de ajuizamento exige uma compreensão acerca do significado da extrapolação ou adequação de cada parâmetro avaliado. Assim, individualmente, a avaliação dos parâmetros de qualidade da água pode não fornecer uma compreensão adequada aos indivíduos com *background* científico distintos, de

forma que, o desenvolvimento de ferramentas de comunicação da qualidade da água para gestores e a sociedade é uma tarefa relevante e imperativa (ABTAHI et al., 2015; BOYACIOGLU, 2010; HURLEY; SADIQ; MAZUMDER, 2012).

Sob esta perspectiva foram desenvolvidos os Índices de Qualidade de Água (IQA). A elaboração destes, é considerada uma das estratégias mais eficientes para sintetizar informações contidas em um grande número de indicadores que isoladamente poderiam ser de difícil interpretação (ABTAHI et al., 2015; BOYACIOGLU, 2010; DASCALESCU et al., 2017; HURLEY; SADIQ; MAZUMDER, 2012; MOHEBBI et al., 2013). A praticidade em seu uso reside na oferta de um único valor para a qualidade da água, que pode ser expresso qualitativamente através de escalas previamente definidas (AKTER et al., 2016). O interesse na elaboração e aplicação desta ferramenta é crescente em diversas áreas de atuação devido à facilidade de comunicação por ele proporcionada.

Muitos países desenvolveram índices de qualidade da água para descrever o estado de suas águas domésticas, os Estados Unidos por meio das pesquisas de Cude, 2001; Taiwan por meio de Liouetal, 2004; Argentina com os trabalhos de Pesce e Wunderlin, 2000; Canadá, com as pesquisas de Khan et al., 2003, Lumb et al. 2006, CCME2001 e Nova Zelândia, com Smith 1989, 1990 e Nagels et al., 2001 (RICKWOOD; CARR, 2009). O primeiro índice nos moldes modernos foi proposto por Horton, em 1965; posteriormente revisado pela *National Sanitation Foundation* (NSF); ao longo dos anos os modelos já existentes tem sido aprimorados para aplicação aos usos múltiplos da água (ABTAHI et al., 2015; AKTER et al., 2016; SCHEILI; RODRIGUEZ; SADIQ, 2015).

Ainda que muitos índices tenham sido desenvolvidos e aprimorados, Hurley *et al.* (2012) afirmam que essas ferramentas não têm sido devidamente exploradas, há uma carência de estudos que explorem os resultados e a efetividade do uso dos índices. Ademais, a eficiência e a precisão de todos os índices são dependentes do monitoramento, dos métodos de avaliação físico-química dentre outros fatores, assim, muitos ainda são os desafios que envolvem seu uso. Esforços devem ser direcionados no sentido de amenizar as limitações dos modelos existentes (LUMB; SHARMA; BIBEAL, 2011).

Sob esta perspectiva, a aplicação de índices e avaliação de suas potencialidades de uso, especialmente em um contexto de fragilidades no monitoramento e comunicação de resultados é salutar para fortalecimento do seu uso enquanto ferramenta de gestão e comunicação.

O Conselho Ministerial de Meio Ambiente do Canadá, em 2001, apresentou o Índice de Qualidade de Água do *Canadian Council of Ministers of the Environment* – IQA-CCME. Este, baseou-se no conceito do Índice *British Columbia* (CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT, 1999; SARKAR; ABBASI, 2006). Esta pesquisa, objetiva demonstrar por meio de aplicação a consistência do Índice de Qualidade da Água do *Canadian Council of Ministers of the Environment*, apontando suas possíveis potencialidades e limitações para representar a qualidade de água para consumo humano.

MATERIAIS E MÉTODOS

A aplicação do índice foi realizada em conformidade com o protocolo estabelecido no *Canadian Environmental Quality Guidelines* e no trabalho de Lumb e colaboradores (CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT, 1999a,b; LUMB; HALLIWELL; SHARMA, 2006).

O índice é composto por três variáveis que oscilam em função da não conformidade dos parâmetros. O escopo (F_1), faz referência ao percentual de parâmetros cujo os objetivos não foram atendidos; ou seja, avalia a extensão de não conformidade da diretriz de qualidade da água no período avaliado.

A frequência (F_2), representa as ocasiões em que as análises apresentam resultados fora dos limites permitidos, ou, a frequência pela qual os objetivos não são atendidos nas análises, o que representa o percentual de testes individuais testes falhos.

A amplitude (F_3), corresponde a magnitude pela qual os objetivos não são cumpridos, e varia em função da extensão (excursão) pela qual cada análise não atende ao objetivo (padrão). É calculada por meio de uma

função assintótica que permite normalizar a soma das distâncias das análises do objetivo pretendido (*nse*) para produzir em um valor entre 0 e 100 (BOYACIOGLU, 2010; LUMB; HALLIWELL; SHARMA, 2006). Onde, *nse* (*normalized sum of excursions*) é a soma normalizada das excursões, e representa a magnitude ou valor coletivo pelo qual os testes individuais estão fora da conformidade.

Por fim, os três fatores, escopo, frequência e amplitude, são agrupados na fórmula de estrutura não linear de agregação (Equação. 1).

$$IQACCME = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad \text{equação (1)}$$

Considerando que cada fator (F_1 , F_2 e F_3) pode alcançar até 100, o comprimento máximo do vetor de extrapolação seria 173,2, assim o divisor 1,732, alinha o comprimento máximo, normaliza os valores entre 0-100 (Tabela 1), faixa em que encontram-se inseridas 5 categorias de qualidade da água (CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT, 1999; DAMO; ICKA, 2013; LUMB; HALLIWELL; SHARMA, 2006).

Tabela 1- Categorias de classificação da qualidade da água, IQA-CCME.

CATEGORIAS	VALOR DO ÍNDICE	INTERPRETAÇÃO
Excelente	95,0-100	A qualidade da água satisfaz os critérios para consumo.
Boa	80,0-94,9	As medidas raramente violam os critérios estabelecidos para consumo.
Regular	65,0-79,9	As medidas às vezes se afastam dos critérios estabelecidos, porém, permitindo ampla margem para consumo.
Ruim	45,0-64,9	As medidas geralmente se afastam dos critérios estabelecidos, porém, permitindo uma pequena margem de consumo.
Péssima	0-44,9	A qualidade da água não atende aos critérios para consumo.

Fonte: Adaptado de Hurley, Sadiq e Mazumder; 2012.

A aplicação do índice canadense implicou na escolha de um padrão normativo balizador: a Portaria MS 2.914/2011, revogada pela Portaria de Consolidação nº 5/2017, que define no escopo do Anexo XX os valores máximos e mínimos para os parâmetros disponibilizados e utilizados na aplicação, ou seja, os objetivos a serem atendidos.

Para verificar se os parâmetros disponíveis no banco de dados do Siságua são suficientes para representar a qualidade da água e a sua relevância individual frente ao resultado, realizou-se a aplicação do índice com grupo de cinco parâmetros e grupos de quatro parâmetros, retirando um parâmetro por vez (Tabela 2).

Tabela 2 – Conjuntos de parâmetros utilizados na composição/aplicação do IQA- CCME.

GRUPOS	PARÂMETROS
G ₁	pH, fluoretos, cloro residual livre, turbidez e bactérias heterotróficas
G ₂	pH, fluoretos, cloro residual livre e turbidez
G ₃	pH, fluoretos, cloro residual livre e bactérias heterotróficas
G ₄	Fluoretos, cloro residual livre, turbidez e bactérias heterotróficas
G ₅	pH, cloro residual livre, turbidez e bactérias heterotróficas
G ₆	pH, fluoretos, turbidez e bactérias heterotróficas

Os dados utilizados foram gerados a partir de operações de rotina, coletados ao longo da rede de distribuição, seguindo o plano amostral da Vigilância em Saúde Ambiental da cidade do Rio de Janeiro, no período compreendido entre 2014 e 2017. Foram disponibilizados pela Coordenação Geral de Vigilância e Ambiente, vinculada ao Ministério da Saúde, extraídos do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (*Siságua*), instrumento de informação do Vigíágua, vinculado ao Ministério da Saúde.

A presente pesquisa foi submetida a apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa- CEP da ENSP/Fiocruz, tendo sido aprovado sob o nº **CAAE 69843417.6.0000.5240**, parecer de nº **2.157.687**. Destaca-se que desde novembro de 2018, os dados utilizados na presente passaram a ser paulatinamente disponibilizados na base de dados abertos do Ministério da Saúde, não mais sendo necessária a solicitação de uso de dados.

RESULTADOS

A escolha dos parâmetros a serem utilizados deve considerar que estes sejam representativos da qualidade da água para a finalidade a que se destina (BODRUD-DOZA et al., 2016; DARVISHI et al., 2016). Quando se pensa em avaliar a qualidade de água oriunda de sistemas de tratamento, deve-se lembrar que cada local tem uma rotina de monitoramento, contextos ambientais e tecnológicos, portanto, devem apresentar um conjunto de parâmetros relevantes. Essa diversidade torna a padronização de um conjunto de parâmetros que se adeque a cada realidade uma tarefa difícil. Assim, preconiza-se que a entrada destes nos índices deva ser flexível.

Ao contrário dos índices tradicionais, o IQA-CCME não determina os parâmetros básicos, tampouco atribui pesos aos parâmetros. Ao tempo em que a flexibilidade é apontada pelos pesquisadores como a principal qualidade do índice canadense, essa também pode ser apontada como sua principal fraqueza: como não há determinação de parâmetros, nem ponderação, a seleção que considera apenas disponibilidade de dados pode não ser representativa da qualidade da água, ademais, todos os parâmetros de entrada terão mesma relevância na composição final do índice (AKTER, 2016; BOYACYOGLU, 2010).

Observando o escopo do índice (F_1), nos anos avaliados a violação variou entre 50 e 100. O escopo corresponde ao percentual de parâmetros violados dentro do grupo selecionado. De forma que, um escopo de 50, equivale a dizer que metade dos parâmetros foram violados. Enquanto que 100, indica que todos os parâmetros do grupo tiveram alguma violação em algum momento. No ano de 2016, para todos os grupos de parâmetros o escopo foi de 100, ou seja, todos tiveram alguma violação, e é para este grupo de dados que se observou a pior qualidade global (Figura 1).

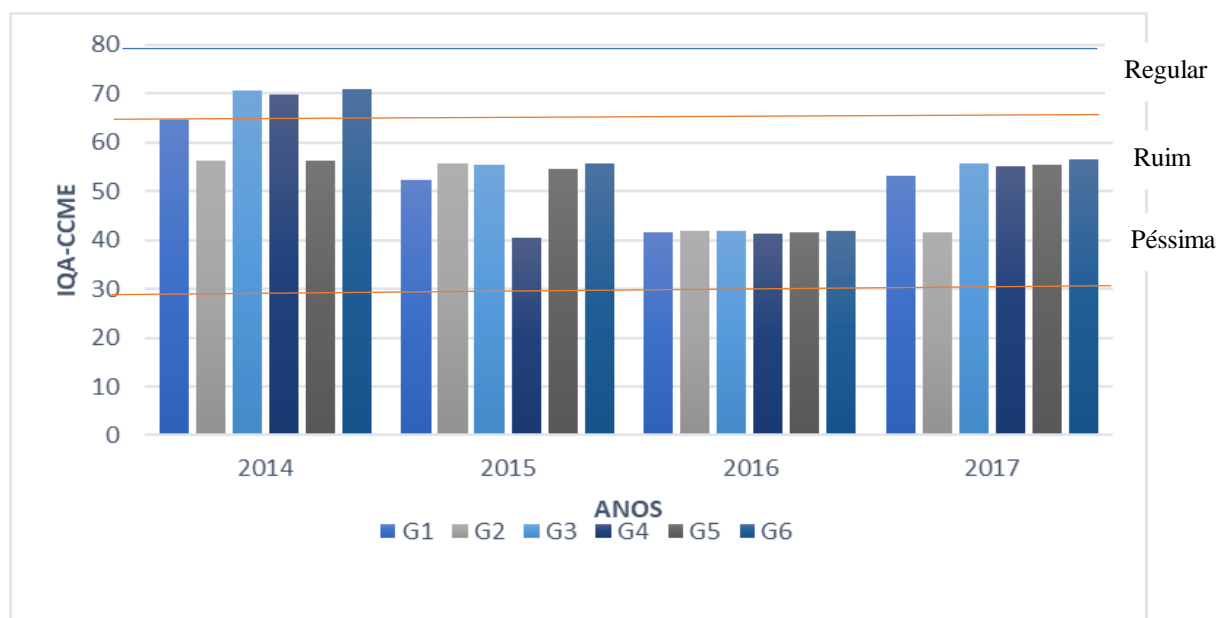


Figura 1- Influência da remoção individual de parâmetros sobre o índice, nos anos de 2014,2015,2016 e 2017

A frequência de violações, dada por F_2 , corresponde ao percentual de análises que foram violadas dentro do universo amostral. Ela foi maior no G4 em todos os anos avaliados (Figura 2). Este grupo é composto pelos parâmetros básicos, com exceção do pH, parâmetro menos violado dentre todos os utilizados, logo, a sua retirada evidencia a violação dos demais. A violação de parâmetros como o pH e fluoreto é mínima, menor que 1% das análises de cada parâmetro (Tabela 3). Embora estes parâmetros sejam relevantes, destaca-se que o uso

de variáveis que habitualmente não são violadas pode levar a uma superestimação do índice, e a sua exclusão em detrimento dos mais violados pode levar a queda da qualidade global. Apesar disso, para este conjunto de dados (G4), a exclusão do pH implicou em uma qualidade global inferior apenas no ano de 2015 (Figura 1), denotando que outros componentes além de F2 influenciam a qualidade.

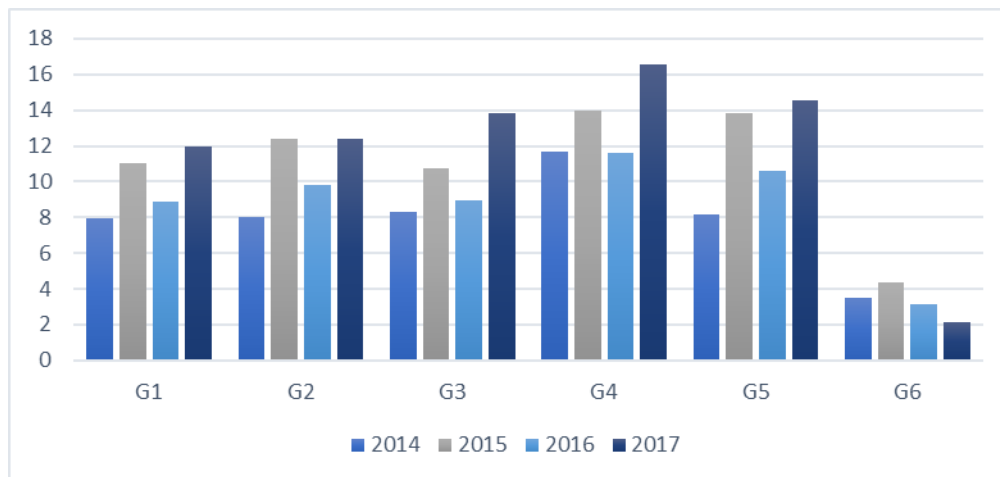


Figura 2- Frequência (F₂) obtidas para os diferentes grupos de parâmetros nos anos de 2014,2015,2016 e 2017

Tabela 3- Percentual de violações e somas normalizadas (Nse) das excursões dos parâmetros analisados nos anos de 2014-2017.

Parâmetros	% de violação					Nse				
	2014	2015	2016	2017	\bar{x}	2014	2015	2016	2017	\bar{x}
pH	0,24	0	0,2	0,05	0,1	0,004	0	0,006	0,001	0,00275
Fluoretos	0	0,09	0,2	0,23	0,1	0	0,002	0,027	0,005	0,0085
Coro residual	18,05	41	29,9	40,8	32,4	0,131	0,244	0,172	0,28	0,20
Turbidez	7,18	12,1	8,6	6,25	8,5	0,087	0,237	0,178	0,069	0,142
Bactérias heterotróficas	0	5	2,6	0	1,9	0	0,522	0,217	0	0,184
Geral*	7,92	11,03	8,85	11,95	9,9	0,0701	0,19	0,115	0,089	0,116

Em contrapartida, o parâmetro com maior percentual de violações foi o cloro residual livre (Tabela 3), por conseguinte, as menores frequências (F₂) observadas foram obtidas no G6 (Figura 2), em que o parâmetro foi excluído. Sendo este o grupo, em todos os anos que apresentou escore mais elevado para a qualidade da água, conforme demonstra a Figura 1.

O segundo parâmetro mais violado foi a turbidez, esta, quando elevada pode resultar em baixa efetividade do processo de desinfecção, e contribuindo para o aumento da demanda de cloro no processo. Assim pode-se deduzir que a violação de um parâmetro esteja relacionada com a violação do outro, especialmente em água para consumo. Abtahi e colaboradores (2015), ao avaliar a qualidade de água para consumo em áreas rurais no Irã, também encontraram um elevado percentual de violação da turbidez. Hurley *et al* (2012) observaram que a turbidez foi o parâmetro com maior influência sobre a qualidade da água, dentre seis parâmetros (pH, turbidez, carbono orgânico total, *E. coli*, nitrato e temperatura) analisados para avaliar a qualidade da água por meio do IQA-CCME.

Assim como as variáveis que dificilmente sofrem alterações negativas podem contribuir para a superestimação do índice, variáveis que tendem a ser violadas com frequência tem um elevado impacto na qualidade da água, reduzindo a expressão de sua qualidade. Portanto, a retirada destas variáveis deve ser vista com cuidado, uma vez que não há ponderação na entrada dos parâmetros.

No que diz respeito aos valores das somas normalizadas das excursões (*nse*) e a amplitude (F3) também tem influência sobre o valor final do índice. Estes valores correspondem a magnitude das violações, ou seja, o quão distantes do objetivo as análises violadas estão. Embora o cloro residual tenha tido o maior percentual de violações (Tabela 3), no que corresponde a magnitude individual de violação, o parâmetro bactérias heterotróficas foi o que obteve um *nse* mais elevado, até mesmo por características do parâmetro, mensurado em unidades formadoras de colônias.

Entretanto, conjuntamente, as maiores amplitudes (F3) para todos os anos foram observadas no G4 (sem uso do pH) e não mediante a retirada do parâmetro bactérias com maior soma normalizada, isto porque, *nse* é apenas um componente da amplitude, e deve ser considerado em seu cálculo o total de análises violadas, e muito embora *nse* para o grupo de bactérias seja elevado, durante dois anos não houveram violações para o parâmetro (Tabela 3). Deve ser lembrado que o G4 elimina um dos parâmetros menos violado, o pH, evidenciado as demais violações. Podemos deduzir que o quantitativo de violações é importante para composição de F3. E, muito embora a excursão e violação do parâmetro bactérias seja elevada, a sua frequência de violação não é significativa quando comparada os demais. Assim, supõe-se que a frequência de violação possa se sobrepor a magnitude da violação, sendo um componente preponderante para a manifestação da qualidade da água.

A remoção do cloro é a que tem efeito mais positivo sobre o cálculo do índice de qualidade da água. Provavelmente em função do maior número de violações deste parâmetro. A remoção dos demais parâmetros tem pouco efeito no valor final do índice, o que tem relação com o maior número de conformidade destes e uma violação de menor extensão. Essa relação, inversamente proporcional, também foi constatada por Abtahi e colaboradores (2015).

A remoção dos parâmetros cloro (G6) e turbidez (G3) dos cálculos, torna o IQA-CCME mais elevado e melhora a qualidade da água em todos os anos, exceto em 2016, ano em que F1 foi máxima para todos os grupos, denotando maior relevância para expressão da qualidade do que F2. Nesse sentido, cabe destacar que embora essa relação entre F₂ (frequência de violação) e o escore final seja perceptível, o componente do índice que mais aparenta influenciar o resultado é o escopo, F₁. O teste T demonstra significância para os diferentes grupos categorizados (G1 a G6), com diferença significativa em todos os grupos de dados, ainda que classificados equivalentemente pelas categorias. Ressalta-se, principalmente nas avaliações com a remoção do cloro, uma alteração significativa no comportamento dos dados sob o aspecto quantitativo: ainda com redução de F₂ e F₃, não houve do ponto de vista qualitativo melhora no índice geral que continuava a oscilar dentro da mesma expressão qualitativa. Ou seja, a mudança de escore não é suficiente para melhorar a qualidade geral da água, o que guarda relação com valores elevados de F₁.

A modelagem não linear de agregação não ponderada utilizada do IQA-CCME contribui para reduzir os efeitos indesejáveis da chamada eclipsação, que ocorre quando os parâmetros isoladamente apresentam valores críticos, mas estes ficam mascarados em um escore final aceitável. Pela facilidade de aplicação e flexibilidade, frente aos índices comumente utilizados, acredita-se que este possa ser aplicado em contextos diversos, inclusive no âmbito da vigilância da qualidade da água para consumo no país. O índice permite ampla aplicação em recortes espaciais, temporais e em função de sua modelagem, permite, além da avaliação global, análise individual de componentes (F₁, F₂, F₃ e *nse*) diversos.

CONCLUSÕES

O índice canadense, em função de sua flexibilidade e modelagem matemática transparente tem potencial para uso em contextos de fragilidade no monitoramento, permitindo uso dos parâmetros disponíveis.

Os dados utilizados para aplicação do índice podem não refletir a qualidade geral da água no município do Rio de Janeiro por diversas razões: pode haver variação da qualidade em função do sistema de abastecimento, localização, pode haver variação temporal, etc. O banco de dados é muito extenso e carece de uma estratificação temporal e espacial que permita uma avaliação mais concisa. Assim, seria interessante agrupar os dados analíticos de diferentes recortes tais como: por sistema de captação, por bairros e utilizando menores unidades de tempo (ex: mês, trimestre, semestre).

A aplicação de dados de qualidade oriundos do Vigiágua permitiu exercício demonstrativo do índice, a partir do qual pode-se observar que dentre as variáveis alimentadas com maior robustez no sistema, o cloro residual livre e a turbidez são as variáveis mais críticas para definição da qualidade geral da água, ao tempo em que, pH e fluoretos são as menos críticas. O que tem relação direta como um dos componentes do índice: a frequência de violação. Os parâmetros tidos como mais críticos são os mais violados.

Dentro da modelagem do índice, F1 e F2 se mostram mais relevantes para a mudança da qualidade global da água que a amplitude destas violações. O índice não valora parâmetros específicos e sim o comportamento da conformidade no grupo de dados avaliados. Recomenda-se que o índice possa ser utilizado pela vigilância, uma vez que a modelagem deste demonstrou coerência em todos os cenários testados. Atenção especial deve ser dada a escolha dos parâmetros de entrada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABTAHI, M. et al. *A modified drinking water quality index (DWQI) for assessing drinking source water quality in rural communities of Khuzestan Province, Iran. Ecological Indicators*, v. 53, p. 283–291, jun. 2015.
2. AKTER, T. et al. *Water Quality Index for measuring drinking water quality in rural Bangladesh: a cross-sectional study. Journal of Health Population and Nutrition*, v. 35, p. 4, 9 fev. 2016.
3. BODRUD-DOZA, M. et al. *Characterization of groundwater quality using water evaluation indices, multivariate statistics and geostatistics in central Bangladesh. Water Science*, v. 30, n. 1, p. 19–40, abr. 2016.
4. BOYACIOGLU, H. *Utilization of the water quality index method as a classification tool. Environmental Monitoring and Assessment*, v. 167, n. 1–4, p. 115–124, ago. 2010.
5. CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (ED.). *Canadian environmental quality guidelines*. Hull, QC: CCME, 1999.
6. CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (ED.). *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0 users manual*. Hull, QC: CCME, 2001.
7. DARVISHI, G. et al. *Comparative Investigation of River Water Quality by OWQI, NSFQI and Wilcox Indexes (Case study: the Talar River - IRAN). Archives of Environmental Protection*, v. 42, n. 1, p. 41–48, mar. 2016.
8. DASCALESCU, I. G. et al. *Development Of A Versatile Water Quality Index For Water Supply Applications. Environmental Engineering and Management Journal*, v. 16, n. 3, p. 525–534, mar. 2017.
9. GIBRILLA, A. et al. *Seasonal Evaluation of Raw, Treated and Distributed Water Quality from the Barekese Dam (River Offin) in the Ashanti Region of Ghana. Water Quality Exposure and Health*, v. 3, n. 3–4, p. 157–174, dez. 2011.
10. HURLEY, T.; SADIQ, R.; MAZUMDER, A. *Adaptation and evaluation of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for use as an effective tool to characterize drinking source water quality. Water Research*, v. 46, n. 11, p. 3544–3552, jul. 2012.
11. LUMB, A.; HALLIWELL, D.; SHARMA, T. *Application of CCME Water Quality Index to monitor water quality: a case study of the Mackenzie River Basin, Canada. Environ Monit Assess*, v. 113, n. 1–3, p. 411–29, abr. 2006.
12. PARPAROV, A. et al. *Water Quality Quantification: Basics and Implementation. Hydrobiologia*, v. 560, n. 1, p. 227–237, maio 2006.
13. RICKWOOD, C. J.; CARR, G. M. *Development and sensitivity analysis of a global drinking water quality index. Environmental Monitoring and Assessment*, v. 156, n. 1–4, p. 73–90, set. 2009.
14. SARKAR, C.; ABBASI, S. A. *QUALIDEX - A new software for generating water quality indice. Environmental Monitoring and Assessment*, v. 119, n. 1–3, p. 201–231, ago. 2006.
15. SCHEILL, A.; RODRIGUEZ, M. J.; SADIQ, R. *Development, application, and sensitivity analysis of a water quality index for drinking water management in small systems. Environ Monit Assess*, v. 187, n. 11, p. 685–685, out. 2015.
16. MOHEBBI, M. R. et al. *Assessment of water quality in groundwater resources of Iran using a modified drinking water quality index (DWQI). Ecological Indicators*, v. 30, p. 28–34, jul. 2013.