



I-277 - ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA (IQAB) COMO BALIZADOR DA TRATABILIDADE DE MANANCIAIS SUPERFICIAIS

Maria Eugênia Tavares de Souza

Engenheira Civil e Mestra em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

Marcelo Libânio⁽¹⁾

Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Sanitária (UFMG), Doutor em Hidráulica e Saneamento (USP), Pós-doutorado pela Universidade de Alberta (Canadá), pesquisador do CNPq e da Fapemig, e Professor Associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Av. Contorno, 842/8º andar - Centro - Belo Horizonte - MG – 30.110-060 - Brasil - Telefone: (31) 3409.1004 - E-mail: mllibanio@ehr.ufmg.br

RESUMO

O trabalho visa a propor um Índice de Qualidade de Água Bruta (IQAB) que permita avaliar a tratabilidade das águas superficiais por meio da tecnologia convencional de potabilização. O IQAB foi desenvolvido por meio da metodologia Delphi empregando painel composto por 24 especialistas. A composição final do IQAB abarcou oito parâmetros comumente monitorados na maioria das estações de tratamento brasileiras, viabilizando-se no futuro como importante ferramenta de avaliação da tratabilidade da água, e da performance e da acuidade da operação.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade de Água, Tratabilidade das Águas Naturais, Tratamento de Água.

INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

As concessionárias de abastecimento de água do País, e em especial as companhias estaduais de saneamento, não dispõem de uma metodologia de avaliação da performance das estações de tratamento que transcenda o atendimento às premissas estabelecidas pela Portaria 518¹. Aliada à acuidade da operação – no que concerne a definição das condições ótimas de coagulação, da duração das carreiras dos filtros, entre outros fatores – e ao índice de sobrecarga², as características da água bruta adquirem significativa relevância na produção de água de qualidade compatível ao consumo humano.

Com o intuito de fornecer à comunidade científica um indicador da *qualidade ambiental* dos corpos d'água, foi desenvolvido no início da década de 1970 o Índice de Qualidade de Água (IQA). Para tal, utilizou-se a metodologia Delphi³ e um painel inicialmente integrado por 142 especialistas que definiram os nove parâmetros integrantes do IQA⁴. Posteriormente, o conjunto de painelistas elaborou as curvas que segundo seu julgamento representassem a variação da qualidade da água produzida pelas várias possíveis medidas do parâmetro. As nove curvas resultantes utilizadas para o cálculo do IQA constituíram-se das curvas médias obtidas das respostas de todos os painelistas. Por fim, definiram-se intervalos para os quais a qualidade do corpo d'água é classificada de *Excelente* (IQA > 90) a *Muito Ruim* (IQA < 25).

A primeira formulação do IQA foi definida como o somatório do produto das notas pelos respectivos pesos de cada um dos nove parâmetros. Em 1974 propôs-se uma forma multiplicativa⁵ para o IQA devido

¹ MINISTÉRIO DA SAÚDE – Portaria 518: Normas e padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano, Brasília, março 2004.

² Neste contexto, o índice de sobrecarga traduz a razão entre as características físicas da estação de tratamento e a magnitude da vazão afluente.

³ A metodologia Delphi presta-se à deliberação acerca de questões polêmicas por meio de um processo sistemático e sequencial de fornecimento de questionários acompanhados de *feedback* a um grupo pré-determinado de painelistas.

⁴ O IQA compôs-se dos seguintes parâmetros de qualidade e respectivos pesos: oxigênio dissolvido (17), coliformes termotolerantes (15), pH (12), demanda bioquímica de oxigênio (10), nitratos (10), fosfatos (10), temperatura (10), sólidos totais (8) e turbidez (8).

⁵ LANDWEHR, J. M. & DEININGER, R. A. - *A comparison of several water quality indexes*, *Journal of Water Pollution Control Federation*, v.48, n.5, p.954-958, May 1976.



fundamentalmente à possibilidade de eventual valor muito baixo de um dos parâmetros de qualidade de água tornar-se menos evidente pela formulação anterior. Na forma multiplicativa, os pesos tornam-se potências dos pontos obtidos para cada parâmetro de qualidade de água.

Mesmo com duas nítidas sobreposições entre dois pares de parâmetros de qualidade de água - *OD* e *DBO*, e *Sólidos totais* e *turbidez* -, o IQA tem sido empregado por diversos órgãos ambientais nos cinco continentes. Todavia, a inaplicabilidade do IQA para fins de tratabilidade das águas superficiais não reside nesta sobreposição. Uma vez que a maioria dos mananciais de abastecimento apresenta baixa *DBO*, significativa concentração de *OD* à saturação – parâmetros que respondem por 27 % do índice -, um índice que abrangesse outras características das águas naturais teria maior aplicabilidade. No mesmo contexto, parâmetros como a cor verdadeira e contagem de algas e/ou cianobactérias – ainda que subliminarmente contemplados no IQA – representam papel relevante no tratamento e seriam importantes balizadores para distinção da tratabilidade das águas naturais. Desta forma, o IQA, salvo alguns mananciais mais comprometidos, apresentaria resultados de mesma magnitude e pouco interferiria como instrumento de comparação das águas naturais em termos da maior ou menor dificuldade na potabilização.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é definir uma hierarquia das características das águas superficiais para fins de tratabilidade pela tecnologia convencional de potabilização, por meio de um Índice de Qualidade de Água Bruta (IQAB).

METODOLOGIA

A metodologia Delphi utilizada para o desenvolvimento do IQA foi também empregada para elaboração do IQAB. Este índice direcionou-se para avaliação da tratabilidade de águas superficiais afluentes às estações convencionais de tratamento, contemplando águas Classe 3⁶, inodoras, sem gosto e com agrotóxicos e metais pesados virtualmente ausentes.

Pesquisa de Opinião

O painel compôs-se por 24 especialistas em qualidade e tratamento de água com formação em nível superior em Engenharia Civil (20) e Ciências Biológicas (4) – a maioria detentora do título de doutor (17) -, responsáveis por pesquisas, projetos e operação de estações de tratamento de água, abrangendo universidades, companhias estaduais de saneamento e empresas de engenharia das regiões Sul e Sudeste. A definição final do tamanho do grupo balizou-se em pesquisas similares nas quais se verificou elevada abstenção e longa duração quando do emprego de grupos maiores. Adicionalmente, antes do envio do 1º questionário, os painelistas foram indagados a respeito do interesse em participar da pesquisa, procedimento que resultou em menor abstenção.

A pesquisa foi desenvolvida em duas fases distintas, consoantes com a metodologia Delphi. Inicialmente, elaborou-se uma lista com 21 parâmetros de caracterização das águas naturais, apresentada na Tabela 1, incluída no 1º questionário enviado aos painelistas. Ambos questionários foram enviados por meio de mensagem eletrônica devido à clara preferência manifestada pelos respondentes em pesquisa anterior.

TABELA 1: Lista das características das águas naturais incluídas no 1º questionário enviado aos painelistas

Turbidez	Cor Verdadeira	<i>E. coli</i>	Dureza	Coliformes Termotolerantes
Algas	Cianobacterias	Alcalinidade	pH	Coliformes Totais
Sólidos Totais	Amônia	Sólidos Dissolvidos	Temperatura	Cloretos
Carbono Orgânico Total	Nitratos	Fosfatos	Ferro	Manganês
Condutividade Elétrica				

⁶ Conselho Nacional do Meio Ambiente – Resolução 357 de 25 de março de 2005.



Vale mencionar que, à exceção do *Carbono Orgânico Total*, a quase totalidade destes parâmetros é usualmente monitorada em parcela significativa das estações de médio e grande porte do País. Tal assertiva justifica a ausência de alguns relevantes parâmetros de qualidade e tratabilidade de água, tais como contagem de partículas, carbono orgânico dissolvido, absorção UV-254, entre outros. Ambos questionários foram enviados por meio de mensagem eletrônica devido à clara preferência manifestada pelos respondentes em pesquisa anterior.

No 1º questionário apresentou-se uma introdução explicitando todas as etapas da pesquisa, evidenciando o papel de cada painalista, e uma 2ª parte contendo as instruções para o seu correto preenchimento. Finalmente, a 3ª parte constituía-se da mencionada lista das características das águas naturais apresentada na Tabela 2 para as quais o respondente deveria assinalar uma entre as três alternativas: *Incluir*, *Não Incluir* e *Indeciso*. Após esta avaliação, caberia ao respondente atribuir uma nota até 100 – somente para as características anteriormente assinaladas como *Incluir* –, de acordo com sua influência na tratabilidade da água. Por fim, considerou-se a soma de todos os pontos atribuídos pelo respondente igual a 100, visando a facilitar a padronização da distribuição dos pesos.

Ao final desta 1ª fase, elaborou-se o 2º questionário no qual se inseriu um relatório contemplando o sumário das respostas dos painelistas. Este relatório continha as médias e as medianas dos pesos conferidos pelo grupo às 21 características das águas naturais, a resposta do painalista e um resumo das observações e comentários dos respondentes. Neste 2º questionário o respondente era instado a reavaliar suas respostas à luz da opinião dos demais integrantes do painel e, seguindo premissa similar à adotada para elaboração do IQA, a sugerir os oito parâmetros integrantes do IQAB. Finalmente, havia uma clara recomendação para que cada painalista priorizasse as características das águas superficiais mais comumente monitoradas na maioria das estações de tratamento brasileiras de médio e grande porte, objetivando conferir maior aplicabilidade ao Índice.

Definição dos critérios de pontuação

Após a definição dos principais parâmetros e dos respectivos pesos, com receio que a pesquisa estendesse em demasia, estabeleceram-se sem a participação dos painelistas os critérios de pontuação fiados na influência de cada parâmetro na tratabilidade por meio da tecnologia convencional de potabilização. O desenvolvimento dos critérios de pontuação fundamentou-se na literatura técnica, no padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria 518 e nas características usualmente verificados nas águas naturais afluentes às estações de tratamento brasileiras.

Formulação do IQAB

Após a definição dos parâmetros, dos respectivos pesos e dos critérios de pontuação, partiu-se para a formulação do índice, objetivando agregar os parâmetros na combinação e simplificação para o cálculo final do IQAB. Com este intuito, utilizaram-se inicialmente o produtório (IQABp) e o somatório (IQABs) conforme denota as equações 1 e 2:

$$\text{IQABs} = \sum_{i=1}^n w_i q_i \quad (1) \quad \text{IQABp} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (2)$$

Nas quais:

w_i = peso atribuído a cada característica definido na pesquisa de opinião cujo somatório é igual a 100;

q_i = pontuação atribuída a cada característica a partir dos critérios de pontuação;

i = característica da água natural incluída no índice;

n = número de características das águas superficiais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pesquisa de opinião

O 1º questionário foi enviado aos 24 especialistas, sendo que 21 deles responderam a tempo de receberem o 2º questionário. Deste grupo, 18 mantiveram-se até o final da pesquisa, culminando com abstenção total de 25 %. Para ambas etapas, definiu-se o tempo máximo de 3 meses para envio das respostas pelos painelistas.

No 1º questionário facultou-se aos painelistas a possibilidade de sugerir a inserção de parâmetro(s) não incluído(s) na Tabela 2. Foram sugeridos como parâmetros microbiológicos a contagem de esporos e de

colifagos - para controle de protozoários e de Enterovírus, respectivamente -, para estações cujos mananciais apresentassem concentração *E. coli* superior a 1000 NMP/100 mL. Propôs-se também, a inserção de outros metais, especialmente para cursos d'água receptores de despejos industriais, mesmo tratados. Nesta vertente, os metais deveriam ser quantificados em amostras de água digeridas e não digeridas, para se ter uma idéia da necessidade ou não da pré-oxidação, pois em muitos casos determinaram-se concentrações de metais 5 a 10 vezes maiores na amostra digerida em relação àquelas obtidas em amostra não digerida. Contudo, nenhum parâmetro foi sugerido por mais de dois painelistas e a lista inicial permaneceu inalterada.

Em relação propriamente aos resultados algumas considerações tornam-se relevantes. Apenas 4 participantes manifestaram indecisão quanto a alguns parâmetros. Os números máximo e mínimo de parâmetros incluídos foram 21 e 4, ambos definidos por apenas um participante, com o número médio variando entre 8 e 13 parâmetros. No 1º questionário *Turbidez*, *Cor Verdadeira*, *E. coli* e *Cianobactérias* apresentaram maiores valores para a mediana, emergindo como os parâmetros de maior relevância para a formulação do IQAB.

Após o recebimento do 2º questionário as respostas foram analisadas para a determinação dos pesos finais. Alguns pesos sofreram alterações, também ocorreram mudanças quanto às inclusões de alguns parâmetros por parte dos participantes. Na Figura 2 apresenta-se o percentual de inclusão de cada parâmetro de acordo com as respostas dos dois questionários.

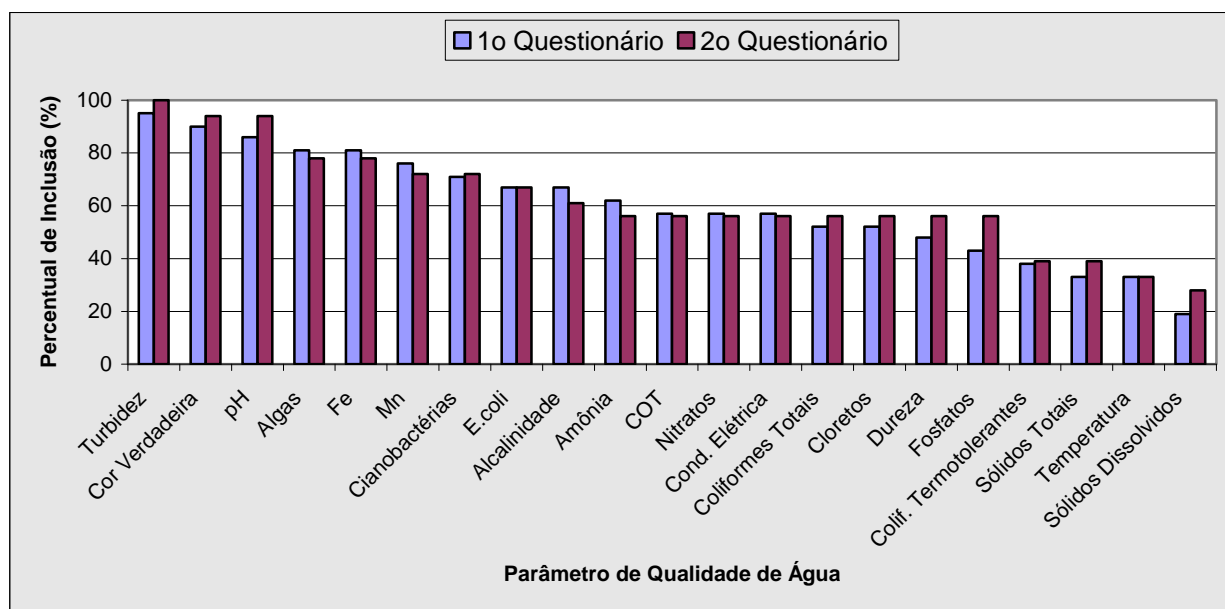


FIGURA 1: Percentual de inclusão dos 21 parâmetros de qualidade de acordo com o painel

Algumas constatações afloram a partir da análise dos percentuais de inclusão de cada parâmetro de qualidade de água apontados pelos painelistas e, nesta vertente, evidencia-se a mencionada inaplicabilidade do IQA como indicador da tratabilidade das águas superficiais. Dos nove parâmetros que o integram, apenas *pH* (este coincidentemente com o mesmo peso) e *Turbidez* apresentaram percentual de inclusão superior a 60 % de acordo com a opinião dos painelistas. Vale igualmente mencionar que, à semelhança do IQA, a inserção do 9º parâmetro – *Alcalinidade* com percentual de inclusão de 39 % - pouco acrescentaria ao IQAB, por fornecer informação similar à do *pH*, como parâmetro crucial na realização da coagulação, principalmente quando realizada por varredura usual nas estações convencionais de tratamento.

Finalmente, as respostas do 2º questionário permitiram estabelecer os pesos de cada um dos oito parâmetros integrantes do IQAB. Devido à dispersão dos pesos conferidos, decidiu-se empregar a mediana como medida de tendência central. Desta forma, os pesos finais dos parâmetros que compõem o IQAB – apresentados na Figura 2 - foram assim definidos:

- os pesos de cada parâmetro foram multiplicados pelo percentual de inclusão, mantendo-se os pesos dos parâmetros com percentual de 100 % e reduzindo-se os demais;
- dividiu-se cada peso pelo total de pesos atribuído pelo painelistas, para que o somatório fosse 100.

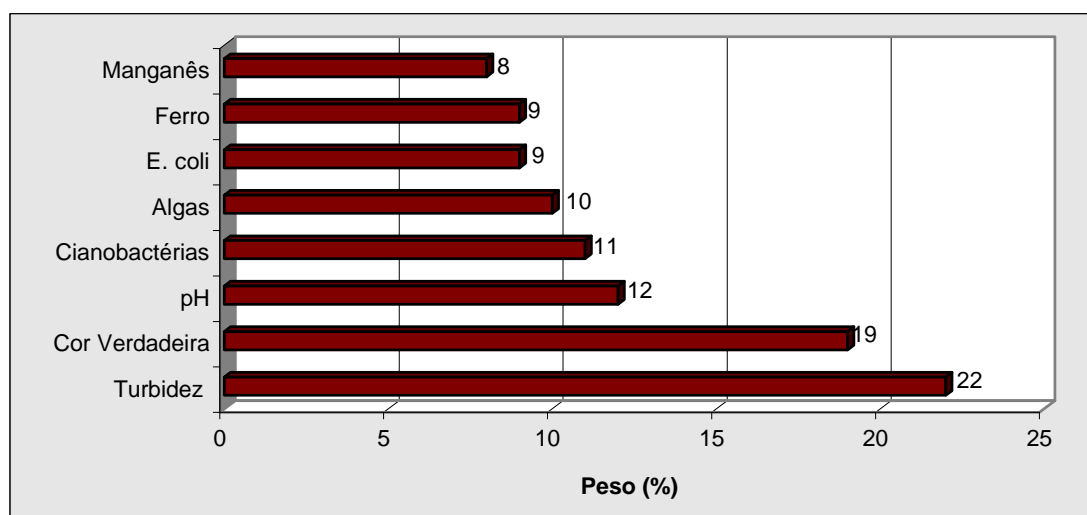


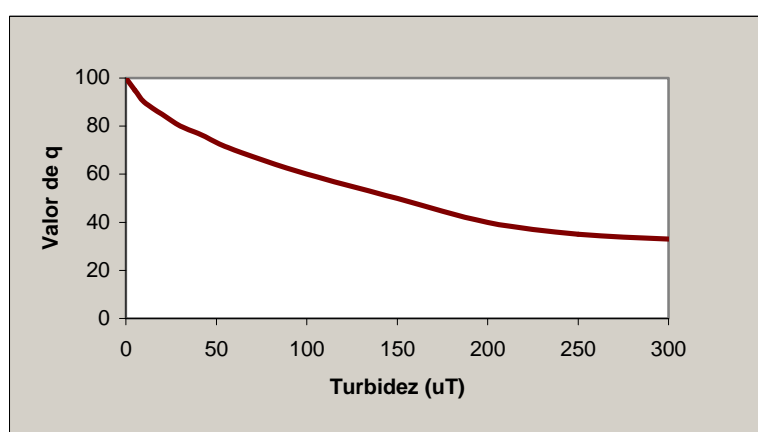
FIGURA 2: Mediana dos pesos finais dos integrantes do IQAB

Definição dos critérios de pontuação

Na elaboração do IQA, no 3º questionário os painelistas foram instados a traçar curvas para cada parâmetro de qualidade. Para o desenvolvimento do IQAB, a perspectiva de que a pesquisa se prolongasse em demasia culminou com a elaboração das curvas sem a participação dos painelistas. Desta forma, elaboraram-se as oito curvas norteadoras dos critérios de pontuação de cada parâmetro.

Observa-se que a pontuação dos parâmetros traduz o valor de q na formulação do IQAB (equações 1 e 2) e o seu valor não pode ser nulo para nenhum parâmetro, pois anularia o índice na forma do produtório, inviabilizando-o como indicador da tratabilidade da água natural. Diferentemente das curvas utilizadas para o IQA, a elaboração das oito curvas aplicáveis ao IQAB contemplou o valor máximo (100) para todos os parâmetros.

Exemplificando, para o parâmetro *Turbidez*, estabeleceu-se valor máximo de 300 uT, tornando o valor de q assintótico para valores mais elevados, conforme mostra a Figura 3. Tal se deveu à recorrente eficiência na remoção da turbidez quando a coagulação se realiza pelo mecanismo da varredura, mesmo para águas excessivamente turvas com turbidez superior a 1000 uT.

FIGURA 3: Critério de pontuação para o parâmetro *Turbidez*

Aplicação do IQAB

Para exemplificar sua aplicação, após a definição dos pesos e dos critérios de pontuação para os oito parâmetros, determinaram-se os valores do IQAB, nas formas de produtório e somatório, à água bruta afluyente a uma estação de tratamento de médio porte. Objetivando avaliar o impacto da sazonalidade, determinaram-se separadamente os valores do IQAB no período chuvoso – janeiro a março – e de estiagem – junho a agosto. A



Tabela 1 exemplifica o cálculo do IQAB para ambas formulações.

TABELA 3: Exemplo de cálculo do IQAB para o período chuvoso

Parâmetro (unidade)	Mediana	W (peso)	q (pontuação)	Somatório	Produtório
Turbidez (uT)	14,2	0,22	80	17,6	2,62
Cor Verdadeira (uH)	105	0,19	10	1,9	1,55
pH	6,63	0,12	90	10,8	1,72
Cianobactérias (células/mL)	ND*	0,11	100	11	1,66
Algas (células/mL)	ND*	0,10	100	10	1,58
<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	705	0,09	65	5,85	1,46
Ferro (mg/L)	2,85	0,09	11	0,99	1,24
Manganês (mg/L)	0,38	0,08	15	1,2	1,24
IQAB				59,34	41,12

*Não houve análises nos dois períodos amostrados

Como seria de esperar, no período de estiagem os valores de IQABp e IQABs elevaram-se para 69,4 e 73,7, respectivamente. O cálculo do IQABp torna-se mais susceptível a valores mais baixos de algum parâmetro, mesmo de menor peso, quando comparado ao somatório, recomendando seu emprego como norteador da tratabilidade das águas superficiais.

Esta assertiva evidencia-se ainda mais claramente no período de estiagem, quando a usual melhora na tratabilidade das águas naturais é espelhada pela elevação mais significativa do IQAB na forma do produtório – da ordem de 70 %. Neste período a distinção entre as duas formulações torna-se menos evidente, confirmando a tendência dos valores do IQAB aproximarem-se e tornando a comparação entre distintas águas naturais menos acurada.