



**VI-106 - ADEQUAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA DA
“NATIONAL SANITATION FOUNDATION” (NSF), DOS ESTADOS UNIDOS, À
REALIDADE BRASILEIRA**

Eudimar Nascimento de Carvalho⁽¹⁾

Biólogo – Universidade Federal de Goiás; Mestre em Ecologia – Centro de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Luiz Fernando Cybis⁽²⁾

Professor, orientador, pesquisador e consultor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Doutor em Engenharia Sanitária e Ambiental pela The University of Leeds, Inglaterra.

Endereço⁽¹⁾: Instituto de Pesquisas Hidráulicas; Av. Bento Gonçalves, 9500 – Campus do Vale/UFRGS – Porto Alegre RS – Caixa Postal 15029 – CEP 91501-970 - Brasil - Tel: (51) 3316-6564 - e-mail: eudimar@ppgiph.ufrgs.br

Endereço⁽²⁾: Instituto de Pesquisas Hidráulicas; Av. Bento Gonçalves, 9500 – Campus do Vale/UFRGS – Porto Alegre RS – Caixa Postal 15029 – CEP 91501-970 - Brasil - Tel: (51) 3316-6567 - e-mail: lfcybis@iph.ufrgs.br

RESUMO

No mundo atual existe um emprego considerável de índices, pois eles têm sido ferramentas imprescindíveis em áreas como administração, economia, saúde, engenharia e meio ambiente, por exemplo. Em relação à qualidade da água os índices podem ser utilizados para indicar a qualidade para abastecimento humano, preservação da vida aquática ou ainda procurar abranger as duas questões. Os objetivos do presente trabalho são, através da adequação do índice de qualidade da água da *National Sanitation Foundation* (NSF), obter um índice de qualidade da água a ser aplicado em estudos de avaliação de impactos e caracterização, bem como, em atividades de gerenciamento que levem a preservação e recuperação de mananciais utilizados para abastecimento humano. Para tal, foram estudados sete casos, em que a água apresentava diferentes qualidades. Pode-se observar que este índice expressou bem a qualidade da água quando esta encontrava-se em um bom nível, principalmente com baixas concentrações de coliformes fecais e alto percentual de saturação de OD. Porém, nos demais casos, o índice superestimou a qualidade da água. Neste trabalho procedeu-se a adequação do referido IQA, ou seja, a elaboração do IQA NSF Coli 25, onde foi elaborada uma nova curva de sub-índices de fósforo total, criada e incorporada uma curva de sub-índices de clorofila-a e adotados novos pesos para cada variável, na obtenção do IQA revisado. Dentro desta distribuição de pesos foram concedidos os maiores pesos para os coliformes e para a clorofila-a, devido as suas atuais importâncias na determinação da qualidade da água nos mananciais de água brasileiros.

PALAVRAS-CHAVE: IQA, Clorofila, Monitoramento da Água, IQA NSF Coli 25, Recursos Hídricos.

INTRODUÇÃO

Em sentido amplo um índice ambiental é um número ou uma classificação descritiva de uma grande quantidade de dados ou informações ambientais cujo propósito principal é simplificar a informação para que possa ser útil a diretores de entidades e ao público em geral. Também, pode-se utilizar índices em estudos de impactos.

Quanto aos estudos de impactos, os índices ambientais cumprem um ou mais dos seguintes objetivos: (a) resumir os dados ambientais existentes; (b) comunicar informações sobre a qualidade do meio afetado; (c) avaliar a vulnerabilidade ou susceptibilidade a contaminação de uma determinada categoria ambiental; (d) centrar-se seletivamente nos fatores ambientais chaves; (e) servir como base para a expressão de impacto ao prever as diferenças entre o valor de índice com projeto e o valor do mesmo índice sem projeto.

Em relação à elaboração de índices, podemos dizer que partindo-se dos objetivos para os quais eles serão empregados, o primeiro passo é a seleção das variáveis que os compõem e que se prestarão ao cálculo dos sub-índices. Isso ocorre porque o valor de um índice é uma representação de uma determinada qualidade,



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

obtida pelo agrupamento de sub-índices, que por sua vez tiveram sua origem na observação de determinadas variáveis (parâmetros).

A proposta de utilização/criação de um índice é simplificar e passa por um processo de parcimônia e apresentação de um número de informações possíveis de uma forma conveniente e com significado necessário. A manipulação matemática procura reduzir duas ou mais variáveis para um simples número.

Neste trabalho procedeu-se a adequação do IQA NSF, chamado aqui NSF Coli 25, onde foi elaborada uma nova curva de sub-índices de fósforo total, criada e incorporada uma curva de sub-índices de clorofila-a e adotados novos pesos para cada variável, na obtenção do IQA revisado. Dentro desta distribuição de pesos foram concedidos os maiores pesos para os coliformes e para a clorofila-a, devido as suas atuais importâncias na determinação da qualidade da água nos mananciais de água brasileiros.

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os índices, segundo OTT (1978), apresentam duas etapas básicas na obtenção de seu valor final, assim resumidas: (a) cálculo dos sub-índices de cada uma das variáveis utilizadas no índice; (b) agregação dos sub-índices para obtenção do índice.

Para o cálculo dos sub-índices são utilizadas diferentes funções matemáticas específicas a cada um deles, procurando representar o resultado referente a uma determinada variável ambiental, genericamente assim definido (Equação 1):

Equação 1

$$I_i = f_i(X_i)$$

Sendo: X_i = valor observado no i -ésimo parâmetro;
 I_i = sub-índice calculado usando a função $f_i(X_i)$.

Depois de calculados os sub-índices, os mesmos serão agregados por uma segunda função matemática para gerar o Índice (Equação 2):

Equação 2

$$I = g(I_1, I_2, \dots, I_n)$$

Sendo: I = índice que se deseja obter;
 I_i = sub-índice calculado usando a função $f_i(X_i)$;
 n = número de parâmetros avaliados.

a) Forma Aditiva de agregação de sub-índices.

É a forma mais simples de agregação podemos simplesmente somar os sub-índices (Equação 3).

Equação 3

$$I = \sum_{i=1}^n I_i$$

Onde:
 I_i = sub-índice referente ao variável i ;
 n = número de variáveis.

A utilização desta forma poderá gerar uma região ambígua onde ocorrerão falhas, sendo que, quanto mais variáveis forem incluídas no índice maior a ambigüidade. Isto poderá ser diminuído com a utilização de um



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

coeficiente multiplicador para cada sub-índice, denominado peso. Neste caso os valores exagerados irão desaparecer e a região onde ocorre a ambigüidade diminuirá.

Usualmente os pesos são distribuídos para cada sub-índice de forma que sua soma seja 1. Portanto, com a forma aditiva utilizando pesos temos (Equação 4):

Equação 4

$$I = \sum_{i=1}^n w_i * I_i$$

onde:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

sendo:

w_i é o peso correspondente ao sub-índice i .

No caso de duas variáveis temos a seguinte relação (Equação 5):

Equação 5

$$I = I_1 * w_1 + I_2 * w_2$$

$$\text{sendo } w_1 + w_2 = 1$$

A região ambígua pode ainda ser reduzida ao se estabelecer a mesma faixa de valores para o sub-índice e para o índice, tal como o estabelecimento de uma faixa de variação entre 0 e 100.

A forma aditiva ponderada, apesar de conseguir reduzir o problema da ambigüidade, pode não ser adequada para evitar um problema também bastante sério que é o eclipsamento de resultados, o que resulta na subestimação (um sub-índice muito ruim que não altera o resultado final do índice) ou superestimação (um sub-índice muito bom que eclipsa os resultados ruins de outros) de sub-índices. Podem ainda ocorrer outras situações onde o índice não representa de forma coerente o que vem ocorrendo de uma maneira geral com todos os sub-índices ou, pelo menos, com os mais significativos (OTT, 1978).

Apesar destas limitações, a forma aditiva ponderada é a mais utilizada na agregação de sub-índices, pelo fato de poder atribuir pesos de acordo com a importância da variável.

b) Forma multiplicativa

A forma multiplicativa é usada em índices de escalas decrescentes e tornou-se a forma mais utilizada em índices. Uma de suas características é evitar o eclipsamento pois se um sub-índice é ruim ele afetará o índice significativamente, assim como se um sub-índice apresentar valor 0 (zero) o índice também será zerado (Equação 6).

Temos a equação básica:

Equação 6

$$I = \prod_{i=1}^n I_i^{w_i}$$

$$\text{onde : } \sum_{i=1}^n w_i = 1.$$



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

• Considerações Sobre a Utilização de Índices de Qualidade da Água

Atualmente existe um emprego considerável de índices, em todo o mundo. Com relação à qualidade da água, estes podem ser empregados para indicar a qualidade para abastecimento doméstico, preservação da comunidade aquática e ainda procurando abranger as duas questões, COUILLAR e LEFEBVRE (1985).

O índice de qualidade da água (IQA) da *National Sanitation Foundation* (NSF) é um dos índices de qualidade da água mais utilizados no Brasil. Em alguns casos com a sua metodologia original, em outros casos, com adaptações regionais, como é procedido pelo Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (COMITESINOS) e pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) do Estado de São Paulo.

• Índice de Qualidade da Água do COMITESINOS

Em 1990 uma comissão formada por técnicos de diversas entidades ligadas ao Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (COMITESINOS), estabelece um Índice de Qualidade da Água (IQA) para o Rio dos Sinos (RS), com base em diversos trabalhos até então existentes e a partir de critérios discutidos e adotados em alguns estados brasileiros e outros países.

A necessidade de adotar uma sistemática de informação ao público do Vale do Rio dos Sinos, surgiu em decorrência da implantação do COMITESINOS, onde os órgãos envolvidos com monitoramento foram solicitados pelas demais entidades representativas da comunidade e integrantes do Conselho Diretor, no sentido de fornecer periodicamente informações sobre a qualidade da água do rio.

A possibilidade da inclusão de cada variável, adotada no IQA NSF, foi discutida para cálculo do IQA a ser utilizado no Rio dos Sinos, ficando mantidas todas as variáveis, exceto o desvio da temperatura de equilíbrio. A metodologia completa para a aplicação do IQA encontra-se em COMITESINOS (1990).

• Índice de Qualidade da Água da CETESB

Originalmente para o IQA NSF foram adotadas nove variáveis (parâmetros) e cinco classes de qualidade, para o enquadramento dos valores finais obtidas através do cálculo deste IQA, conforme pode ser visto nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Pesos relativos adotados para o IQA/NSF. Fonte: (BROWN *et al.*, 1970).

Variáveis (parâmetros)	Pesos relativos
Oxigênio dissolvido (% saturação)	0,17
Coliformes fecais	0,15
pH	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio	0,10
Temperatura	0,10
Fosfato	0,10
Nitrato	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos totais	0,08

Tabela 2: Classificação da qualidade, valor numérico e cor. De acordo com as cinco classes determinadas para valores do IQA/NSF. Fonte: CANTER (1998).

Classificação da qualidade	Valor numérico do IQA	Cor
Muito ruim	0-25	Vermelho
ruim	26-50	Laranja
Regular	51-70	Amarelo
Bom	71-90	Verde
Excelente	91-100	Azul



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) do Estado de São Paulo, a partir de estudos, realizou algumas adaptações ao IQA da NSF, e desde então vem utilizando-o para avaliar a qualidade das águas neste estado. O índice adaptado pela CETESB, incorpora também nove variáveis ambientais. Tendo como ponto principal de diferença, em relação ao IQA NSF, a substituição das variáveis fosfato e nitrato, por nitrogênio e fósforo totais (CETESB, 2001). A substituição destas variáveis parece pertinente, pois neste caso, as concentrações totais de nutrientes, tanto de nitrogênio quanto de fósforo trazem uma medida mais significativa do potencial destes no ambiente. Porém, é importante ressaltar que as concentrações de nitrato na água podem indicar risco à saúde humana. A Figura 1, mostra as variáveis, pesos e curvas utilizados pela CETESB.

É notório que o fósforo é o mais importante limitador do crescimento fitoplanctônico nos ecossistemas aquáticos continentais. Seus teores na água determinam o potencial gerador de biomassa de algas e cianobactérias que o corpo hídrico pode ter. Partindo-se deste princípio e das bases já abordadas, foi determinada a curva para o cálculo de sub-índices de fósforo total.

As principais referências bibliográficas utilizadas para a elaboração da curva de sub-índices foram as que trazem relações entre fósforo total e estado trófico, como as classificações adotadas por VOLLENWEIDER (1968), por TOLEDO (1990) e por WETZEL (1993), além das relações entre fósforo total e clorofila-*a*, descritas por CARLSON (1977).

A inclusão da clorofila-*a* foi realizada mediante a elaboração de uma curva de sub-índices por concentração, na qual teve-se por base a nova curva de sub-índices de fósforo total e a relações fósforo total-clorofila-*a*, descritas por CARLSON (1977).

Para o ajustamento dos pesos das variáveis, em primeiro lugar procurou-se classificar as variáveis pertencentes ao IQA em nível de importância, no que se refere à realidade atual brasileira, resultou em primeiro nível de importância os coliformes fecais; em segundo nível a clorofila-*a* e o percentual de Oxigênio dissolvido (%OD); em terceiro nível o fósforo total, em quarto nível a DBO; em quinto o nitrogênio total e os sólidos totais; em sexto nível de importância a turbidez, o pH e a temperatura da água.

RESULTADOS

• Aplicação do IQA NSF-CETESB

Para analisar as diferentes respostas do IQA NSF-CETESB em função dos valores encontrados para cada uma das nove variáveis adotadas por este índice, foram utilizados dados de distintos corpos d'água do Rio Grande do Sul e do Estado de São Paulo. A seguir são colocados sete casos em que a água aparece em diferentes condições de qualidade.

No primeiro caso a amostra selecionada para análise foi do reservatório Divisa (RS) na qual tem-se um IQA com classificação boa (IQA = 89), a avaliação da qualidade da água neste caso foi satisfatória pois todas as variáveis estiveram em um bom estado, tanto no que diz respeito ao abastecimento humano (objetivo de aplicação deste IQA), quanto para a preservação da vida aquática. Porém por apresentar a concentração de coliformes fecais igual a 1 NMP/100ml esta amostra seria classificada pela Resolução CONAMA 357/05 como de classe 1, embora estando no limite para classe especial (Quadro 1).

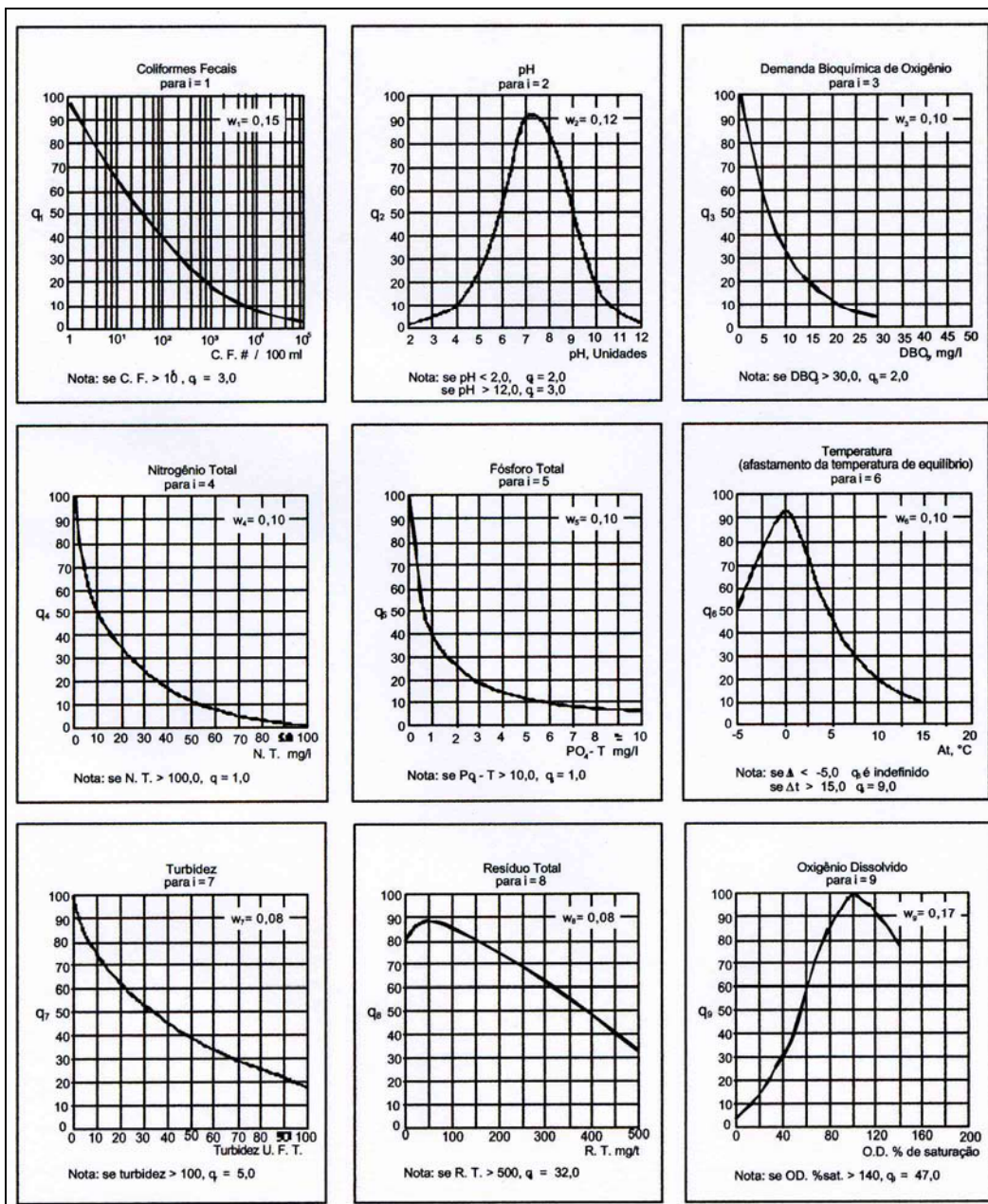


Figura 1: Curvas médias de variação de qualidade das águas. Fonte: CETESB (2000).

No segundo caso uma amostra do rio dos Sinos, no Município de Taquara (RS), onde obteve-se um classificação boa (IQA = 76) que, também, se considera uma avaliação aceitável pelo IQA, pois neste caso a água apresenta boas características em relação as variáveis físicas e químicas, sendo que os coliformes fecais estão em uma concentração mais elevada que no primeiro caso, o que fez cair o valor do índice mas ainda permitiu uma classificação dentro do intervalo de boa, assim como dentro da classe 1 da CONAMA 357/05 (Quadro 2).

O terceiro caso apresenta uma amostra do Rio Paranhana no Município de Três Coroas (RS) tendo-se a classificação regular (IQA = 56), revelando baixa sensibilidade para expressão da característica real da qualidade da água, pois a concentração de coliformes fecais é altíssima (57.940 NMP/100ml) com o sub-índice desta variável dando 4,9 e a referida amostra pertencendo a classe 4 da CONAMA 357/05 (Quadro 3).



Quadro 1: Características da água, padrões da CONAMA 357/05 e valores de sub-índice referentes ao IQA NSF-CETESB aplicado para amostra do Reservatório Divisa (RS), (IQA = 89).

Variável	Valor encontrado	Padrão CONAMA 357	Sub-índice
Temperatura (°C)	22,1	-	92
Turbidez (FTU)	10	40 (para classe 1)	72
Sólidos totais (mg/L)	55	-	84
pH	7,5	6 a 9	92
%OD	87	-	92
DBO (mg/L)	1	3 (para classe 1)	89
P-Total (µg/L)	1,2	20 (para Classe 1)	91
N-Total (mg/L)	0,3	-	97
Colif. Fecais (NMP/100mL)	1	200 (para classe 1)	99

Quadro 2: Características da água, padrões da CONAMA 357/05 e valores de sub-índice referentes ao IQA NSF-CETESB aplicado para amostra do Rio dos Sinos, no Município de Taquara (RS), (IQA = 76).

Variável	Valor encontrado	Padrão CONAMA 357	Sub-índice
Temperatura (°C)	23,8	-	92
Turbidez (FTU)	11,8	40 (para classe 1)	76
Sólidos totais (mg/L)	60,5	-	84
pH	6,9	6 a 9	87
%OD	80,5	-	87
DBO (mg/L)	1,6	3 (para classe 1)	83
P-Total (µg/L)	2,5	25 (para classe 1)	90
N-Total (mg/L)	0,2	-	98
Colif. Fecais (NMP/100mL)	145	200 (para classe 1)	36

Quadro 3: Características da água, padrões da CONAMA 357/05 e valores de sub-índice referentes ao IQA NSF-CETESB aplicado para amostra do Rio Paranhana, no Município de Três Coroas (RS), (IQA = 56).

Variável	Valor encontrado	Padrão CONAMA 357	Sub-índice
Temperatura (°C)	19,8	-	92
Turbidez (FTU)	19	40 (para classe 1)	67
Sólidos totais (mg/L)	91	-	84
pH	7,1	6 a 9	90
%OD	97,9	-	95
DBO (mg/L)	1,6	3 (para classe 1)	84
P-Total (µg/L)	2,9	100 (para classe 1)	95
N-Total (mg/L)	1,4	-	85
Colif. Fecais (NMP/100mL)	57940	4000 (para classe 3)	5

No quarto caso tem-se amostra do Reservatório Guarapiranga (SP), onde a água foi classificada como de qualidade ruim (IQA = 45) quando de fato deveria estar classificada como muito ruim, devido às alta concentração de coliformes fecais e de fósforo total e do baixo percentual de saturação de oxigênio dissolvido. A título de exemplo a referida água pertencente a classe 4 da CONAMA 357/05, (Quadro 4).

No quinto caso temos uma amostra do Lago Guaíba - Estação 36 do DMAE (RS) – onde também foi observada uma concentração de coliformes fecais de 50000 NMP/100ml e a concentração de fósforo total praticamente dobrada ($300 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$), em relação a amostra anterior, e o percentual de saturação de OD baixo. A classificação da água, neste caso, foi dada regular e não muito ruim, como era de se esperar, apesar da concentração de fósforo total ter praticamente dobrado (Quadro 5).



Quadro 4: Características da água, padrões da CONAMA 357/05 e valores de sub-índice referentes ao IQA NSF-CETESB aplicado para amostra do Reservatório Guarapiranga (SP), (IQA = 45).

Variável	Valor encontrado	Padrão CONAMA 357	Sub-índice
Temperatura (°C)	21	-	92
Turbidez (FTU)	15,3	40 (para classe 1)	72
Sólidos totais (mg/L)	111	-	82
pH	7,2	6 a 9	90
%OD	40,1	-	30
DBO (mg/L)	5	5 (para classe 2)	58
P-Total (µg/L)	170	50 (para classe 3)	87
N-Total (mg/L)	0,5	-	90
Colif. Fecais (NMP/100mL)	50000	4000 (para classe 3)	5

Quadro 5: Características da água, padrões da CONAMA 357/05 e valores de sub-índice referentes ao IQA NSF-CETESB aplicado para amostra do Lago Guaíba (RS), (IQA = 70).

Variável	Valor encontrado	Padrão CONAMA 357	Sub-índice
Temperatura (°C)	23	-	92
Turbidez (FTU)	49	100 (para classe 2)	39
Sólidos totais (mg/L)	130	-	83
pH	7,1	6 a 9	89
%OD	44,3	-	34
DBO (mg/L)	2,8	3 (para classe 1)	74
P-Total (µg/L)	300	50 (para classe 3)	85
N-Total (mg/L)	2,09	-	80
Colif. Fecais (NMP/100mL)	50000	4000 (para classe 3)	5

Para o sexto caso foi selecionada uma amostra do Rio Piracicaba, na captação da cidade (Quadro 6), onde o percentual de saturação de OD foi baixo, a DBO elevada e as concentrações de nitrogênio e fósforo totais, assim como a de coliformes fecais foram elevadas, chegando a 30000 NMP/100ml. Contudo o IQA classificou a água como de qualidade ruim (IQA = 28) e não como muito ruim, como seria de esperar.

Quadro 6: Características da água, padrões da CONAMA 357/05 e valores de sub-índice referentes ao IQA NSF-CETESB aplicado para amostra do Rio Piracicaba (SP), (IQA = 28).

Variável	Valor encontrado	Padrão CONAMA 357	Sub-índice
Temperatura (°C)	24	-	92
Turbidez (FTU)	160	100 (para classe 2)	5
Sólidos totais (mg/L)	467	-	35
pH	6,3	6 a 9	65
%OD	29,8	-	21
DBO (mg/L)	10	10 (para classe 3)	34
P-Total (µg/L)	504	150 (para classe 3)	55
N-Total (mg/L)	1,7	-	86
Colif. Fecais (NMP/100mL)	30000	4000 (para classe 3)	6

No Quadro 7 tem-se outra amostra do rio Piracicaba, esta com classificação ruim (IQA = 40). Neste caso o percentual de saturação de OD foi mais baixo ainda (25%) e as concentrações de N-total e P-total, assim como a de coliformes foram elevadas. Apesar de se ter uma classificação de ruim para a água, conforme mencionado, esta amostra também seria classificada como de classe 4 pela CONAMA 357/05, o que poderia equivaler a muito ruim no IQA.



Quadro 7: Características da água, padrões da CONAMA 357/05 e valores de sub-índice referentes ao IQA NSF-CETESB aplicado para amostra do Rio Piracicaba (SP), (IQA = 40).

Variável	Valor encontrado	Padrão CONAMA 357	Sub-índice
Temperatura (°C)	24	-	92
Turbidez (FTU)	6	40 (para classe 1)	85
Sólidos totais (mg/L)	185	-	72
PH	7,0	6 a 9	91
%OD	25,0	-	18
DBO (mg/L)	3	3 (para classe 1)	72
P-Total (µg/L)	1780	150 (para classe 3)	28
N-Total (mg/L)	2,4	-	90
Colif. Fecais (NMP/100mL)	17000	4000 (para classe 3)	7

Ao analisar os sete casos citados pode-se dizer que o IQA NSF-CETESB expressou bem a qualidade da água quando esta encontrava-se em um bom nível, principalmente com baixas concentrações de coliformes fecais e alto percentual de saturação de OD. Porém, nos demais casos quando se teve concentrações de coliformes acima de 4000 NMP/100ml, o índice superestimou a qualidade da água. O mesmo foi observado também com as concentrações de fósforo total.

Em relação aos pesos dados às variáveis quando da agregação para a obtenção do índice, ficou evidente que devido ao relativamente baixo peso dado aos coliformes fecais, o IQA NSF-CETESB superestimou a qualidade da água, principalmente nos casos onde esta classificação foi regular e ruim.

• Alterações

De acordo com o observado a curva de fósforo total oferece baixa restritividade, não dando importância às concentrações que de fato provocam o surgimento de florações fitoplanctônicas. A curva não mostra os gradientes de concentração do estado oligotrófico ao hipereutrófico, e sim, registra valores extremamente altos.

Para que se tenha uma idéia da importância do fósforo no crescimento fitoplanctônico, LUND (1965) realizou estudos que mostraram que $1,0 \text{ mg.P.l}^{-1}$ é capaz de produzir 15 milhões de algas *Asterionella*. O aumento da concentração de fósforo não implica somente no aumento da produção do fitoplâncton, mas também em mudanças qualitativas nesta comunidade. Isto significa dizer que a eutrofização artificial, de maneira geral, leva inicialmente a um aumento no número de espécies e no número de indivíduos. Porém, o surgimento de algumas espécies ocorre geralmente em detrimento do desaparecimento de outras (ESTEVEZ, 1998)

A fim de ilustrar melhor a baixa restritividade, ou sensibilidade, da curva de sub-índices de fósforo total no IQA NSF-CETESB mostra-se a Tabela 3, onde aparecem as relações entre concentrações e valores do sub-índice para este nutriente.

O trabalho de CARLSON (1977) realizado em lagos com baixa turbidez, traz relações entre fósforo total e teores de clorofila-*a* na água de superfície (Tabela 4), ficando clara a necessidade de alteração da curva de sub-índices do fósforo no IQA NSF-CETESB.

Portanto, foi elaborada uma nova curva de sub-índices de fósforo total, que teve como referência as relações entre fósforo total e estado trófico dadas por VOLLENWEIDER (1968), por TOLEDO (1990) e por WETZEL (1993) e também as relações fósforo total-clorofila-*a*, descritas por CARLSON (1977). A nova curva encontra-se na Figura 2.



Tabela 3: Concentrações de fósforo total (em $\mu\text{g.l}^{-1}$) e valores equivalentes do sub-índice no IQA NSF-CETESB.

Fósforo total	Sub-índice
250	90
500	60
1000	40
1500	30
2000	25
3000	18
4000	14
8000	8
10000	7

Tabela 4: Relação entre diferentes concentrações de fósforo total e teores de clorofila-a. Concentrações em $\mu\text{g.l}^{-1}$.

Fósforo total	Clorofila-a
0,75	0,04
1,5	0,12
3	0,12
6	0,94
12	2,6
24	6,4
48	20
96	56
192	154
384	427
768	1183

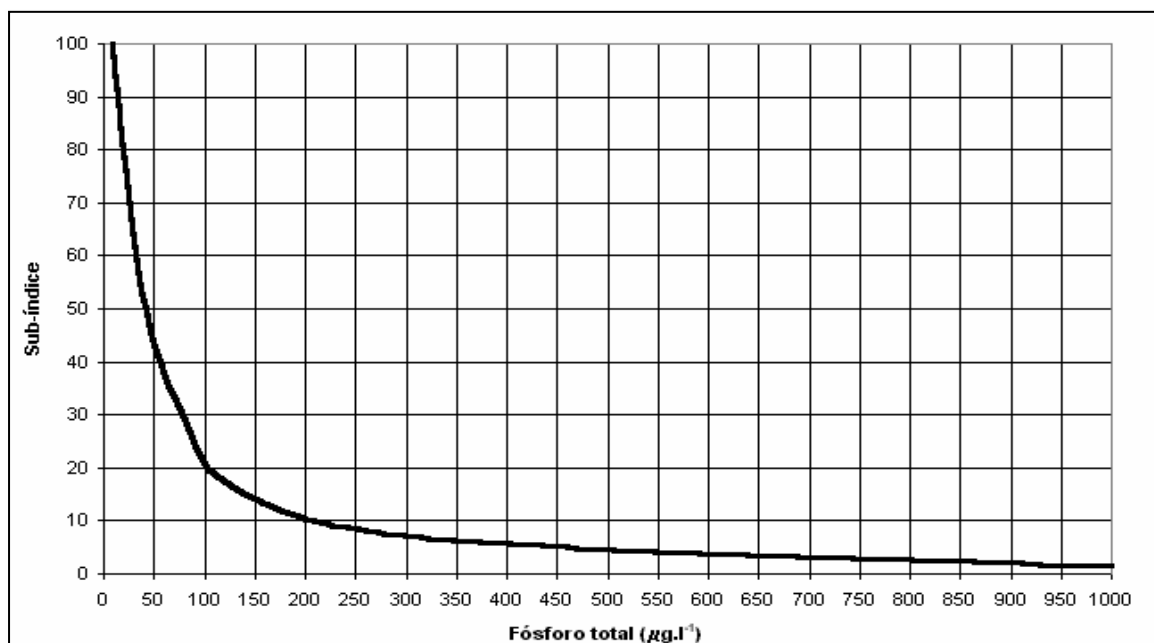


Figura 2: Curva de sub-índice de fósforo total obtida para o IQA NSF Coli 25.

Apesar do fósforo total ser uma variável que vem sendo utilizada para a classificação da qualidade da água em níveis tróficos, suas concentrações nem sempre representam o comprometimento desta qualidade, devido a presença de florações de algas e Cianobactérias. É por este motivo que a clorofila-a tem sido utilizada como variável importante na classificação da água, através dela, de fato, tem-se a biomassa de tais organismos



fitoplanctônicos. Este é o motivo da adição dos teores de clorofila-*a* para a geração de um IQA para abastecimento público de água. A curva de sub-índices de clorofila gerada para o cálculo do IQA, foi baseada na classificação de estado trófico em função da concentração deste pigmento, dada por WETZEL (1993) e pela relação entre fósforo total e clorofila-*a* descrita por CARLSON (1977), ver Figura 3.

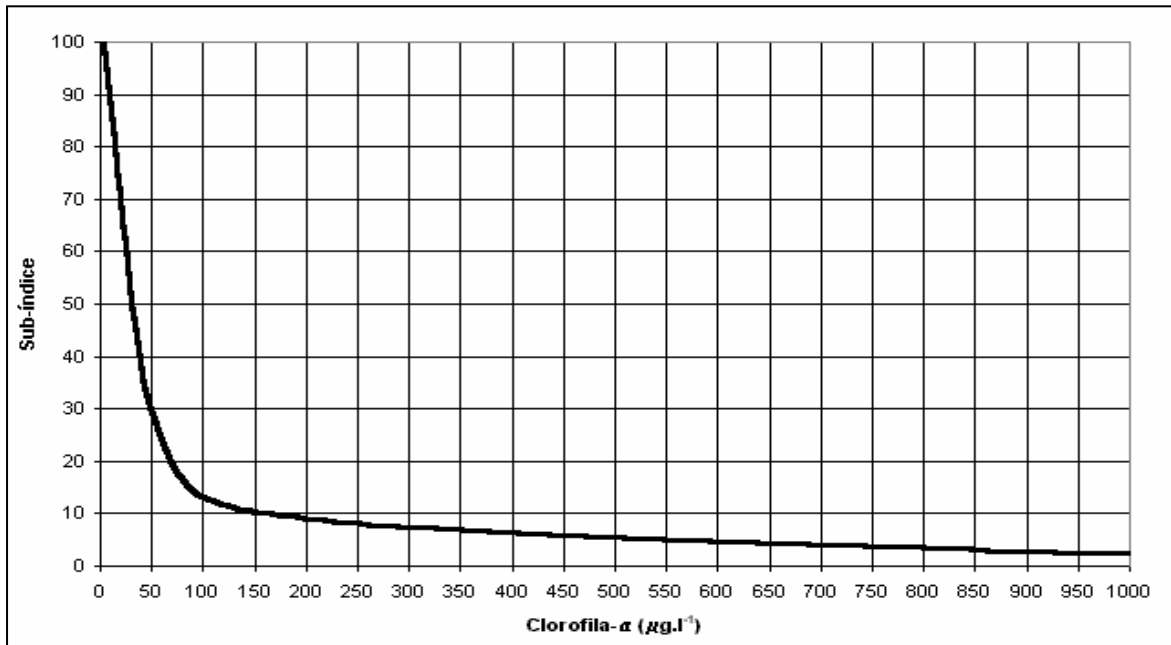


Figura 3: Curva de clorofila-a obtida para o IQA NSF Coli 25.

A aplicação do IQA NSF-CETESB, nos sete casos estudados, revelou também que as variáveis que de fato tem maior interesse, quando da obtenção do IQA, nos corpos d'água brasileiro não apresentaram pesos significativos. Evidenciando aqui outro fator causador de valores de índices superestimados. A partir desta constatação, realizou-se uma revisão dos pesos adotados na agregação de sub-índices.

Para resolver tal situação foi realizada uma classificação em nível de importância, observando-se o comportamento das variáveis nos ambientes da área de estudo, chegando-se a adoção dos seguintes pesos, para a agregação final dos sub-índices no IQA NSF coli 25: 0,25 para os coliformes fecais; 0,13 para a clorofila-*a*; 0,12 para o oxigênio dissolvido; 0,09 para a DBO e o fósforo total; 0,07 para os sólidos totais e o nitrogênio total; 0,06 para a temperatura da água, a turbidez e o pH.

A adequação do IQA NSF-CETESB trouxe uma maior confiabilidade na utilização do índice de qualidade da água, pois propiciou, a partir da agregação de informações necessárias, resultados mais precisos. A este índice com as novas características denominamos IQA NSF Coli 25, em função do peso 0,25 para os coliformes fecais.

• Comparação entre o IQA NSF Coli 25 e o IQA NSF-CETESB

Retornando ao uso dos sete casos citados no item 4.4.1, a fim de realizar-se comparações entre os dois IQAs em questão, constata-se que o IQA NSF-CETESB classificou a água em três classes diferentes, enquanto que as mesmas amostras foram classificadas pelo IQA NSF Coli 25 em cinco classes distintas, conforme pode ser visto no Quadro 8.



Quadro 8: Valores e Classificação da qualidade da água dados pelos IQAs NSF-CETESB E NSF Coli 25.

CASOS	IQA NSF-CETESB		IQA NSF Coli 25	
	Valor	Classificação (NSF original)	Valor	Classificação (NSF original)
Reservatório Divisa (RS)	89	Boa	91	Excelente
Rio dos Sinos (RS)	76	Boa	72	Boa
Rio Paranhana (RS)	56	Regular	42	Ruim
Reservatório Guarapiranga (SP)	45	Ruim	29	Ruim
Lago Guaíba (RS)	70	Regular	61	Regular
Rio Piracicaba (SP)	28	Ruim	21	Muito ruim
Rio Piracicaba (SP)	40	Ruim	26	Ruim

A classificação “excelente”, pelo IQA NSF Coli 25, na amostra do reservatório Divisa ocorreu principalmente em função da quase ausência de coliformes fecais (1 NMP/100mL), que foi valorizada por este índice. Já a classificação “muito ruim” para a amostra do rio Piracicaba, ocorreu sobre tudo pela altíssima concentração destes organismos (30000 NMP/100mL), considerada no cálculo do IQA. É importante se ressaltar que águas apresentando estas altas concentrações de coliformes fecais podem ser classificadas pela Resolução CONAMA 357/05 como pertencentes à classe 4 e portanto, seu uso deve restringir-se apenas à navegação e à harmonização paisagística.

CONCLUSÕES

O IQA NSF-CETESB expressa bem a qualidade da água quando esta encontra-se em um nível intermediário, quando as concentrações de coliformes fecais são baixas e o percentual de saturação de oxigênio dissolvido é alto, porém, nos demais casos, principalmente quando se tem concentrações de coliformes fecais acima de 4000 NMP/100 mL o índice superestima a qualidade da água. As concentrações de fósforo total praticamente não influenciaram no resultado do IQA, ou seja, o referido índice apresenta uma sensibilidade muito baixa às concentrações de fósforo total.

A adequação do IQA da *National Sanitation Foundation* trouxe uma melhora significativa, pois eleva os coliformes fecais e a clorofila-*a* à variáveis (parâmetros) de grande importância na classificação dos mananciais brasileiros, aproximando-se dos padrões de qualidade da água atuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BROWN, R.M.; McCLELLAND, N.I.; DEININGER, R.A.; TOZER, R.G. Water quality index do we dare? *Wat. Sewage Works*, 10 October, p. 330-343, 1970.
2. CANTER, L.W. Manual de evaluación de impacto ambiental – Técnicas para la elaboración de estudios de impacto. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. 1998. 841p.
3. CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. *Limnol Oceanogr.* 22:361-369, 1977.
4. CETESB, São Paulo. Relatório de qualidade das água interiores do estado de São Paulo/CETESB – São Paulo: CETESB, 2001.
5. COMITESINOS. Utilização de um índice de qualidade da água no Rio dos Sinos. Porto Alegre: COMITESINOS, 1990.
6. CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 1992. **Resoluções CONAMA: 1984 A 1991**. Brasília. 4ªed. 245 p.
7. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n. 357, de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 de março, 2005. Seção 1, p. 58.
8. COUILLARD D.Ç LEFEBVRE, Y. Analysis of water quality indices. *Journal of Environmental management.*, v. 21, p. 161-179, 1985.
9. ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2 Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. v. 3, 602 p.
10. LUND, J. W. B. The ecology of freshwater phytoplankton. *Biol. Rev.*, 40:231-293, 1965.
11. OTT, W.R. **Environmental indeces: Theory and practice**. Ann Arbor (Mich.): Ann Arbor Science Publishers, 1978.
12. TOLEDO, JR. A. P. Informe preliminar sobre estudos para obtenção de um índice para avaliação do estado trófico de reservatórios de regiões quentes – Outubro, 1990.



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

13. VOLLENWEIDER, R. A. **Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication.** Paris Rep. Organization for Economic cooperation and Development 192 p.(DAS/CSI/68.27), 1968.
14. WETZEL, R. G. **Limnologia.** Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 1993.