

Juliana Magalhães Menezes
Rachel Bardy Prado
Gerson Cardoso da Silva Júnior
Rodrigo Tavares dos Santos

Introdução

Os recursos hídricos vêm sendo deteriorados, de forma drástica devido ao uso e ocupação inadequados da terra e emissão de poluentes nos corpos d'água. A poluição ocorre gradativamente e, sendo assim, é preciso fazer uso de instrumentos como o monitoramento da qualidade da água, pois este se presta a identificar o nível da degradação do corpo hídrico ao longo do tempo, por meio da análise de parâmetros que podem ser de natureza física, química ou biológica. O monitoramento da qualidade da água é fundamental nos programas de pagamento por serviços ambientais, pois auxilia na identificação dos impactos positivos gerados aos recursos hídricos, em função das práticas conservacionistas adotadas na bacia hidrográfica, mostrando o quão efetivas estão sendo as intervenções.

No entanto, muitos são os parâmetros analisados cujos resultados são de difícil interpretação por pessoas não especialistas no tema. Devido a este fato, os Índices de Qualidade de Água (IQA) vêm sendo desenvolvidos e aplicados no monitoramento da qualidade das águas, nas últimas décadas em diferentes partes do mundo. O índice é uma ferramenta matemática empregada para transformar vários parâmetros em uma única grandeza, que represente o nível de qualidade de água. O uso de um IQA é prático e é uma diretriz de condução, pois qualquer programa de acompanhamento de qualidade da água gera um grande número de dados analíticos que precisam ser apresentados em um formato sintético, para que descrevam e representem de forma compreensível e significativa o estado atual e as

tendências da qualidade da água (SÁNCHEZ et al, 2007; CCME, 2001b; FERREIRA; IDE, 2001).

O IQA é um instrumento acessório na interpretação de dados, auxiliando na avaliação dos resultados. Dessa forma, torna-se útil no monitoramento e gerenciamento ambiental, servindo como ferramenta na tomada de decisões relativas aos recursos hídricos. Permite comunicação explícita entre profissionais e o público, onde a informação é transmitida em termos compreensíveis da qualidade e localização da poluição (MOLOZZI et al, 2005; AURELIANO et al, 2005; PINHEIRO, 2004).

Existem diversos tipos de índices, específicos para ambientes lênticos (água parada como os reservatórios, lagos e lagoas), lóticos (águas continentais moventes como rios e córregos), estuários, estritamente biológicos ou para águas subterrâneas, dentre outros. Ainda, existem índices derivados de outros índices, como o utilizado pela CETESB, o Índice de Qualidade de Água Bruta para fins de Abastecimento Público (IAP) (CETESB, 2007). Os índices estão atrelados ao uso que se deseja fazer da água em um determinado corpo d'água e, geralmente, são elaborados a partir de opiniões de especialistas e/ou métodos estatísticos.

Como o desenvolvimento destes índices requer um conhecimento específico sobre o assunto e os métodos utilizados são baseados em diferentes pressupostos matemáticos, o presente capítulo tem como propósito apresentar as metodologias mais difundidas de IQA de forma compilada e resumida, desenvolvidas em diversos países e por diferentes instituições, uma vez que é difícil encontrar publicações que apresentem e discutam estes índices, pois eles se encontram dispersos na literatura. Deve-se ressaltar também que na literatura predominam Índices de Qualidade de Água Superficial em relação à Subterrânea, mas ambos serão descritos no presente capítulo. Também será apresentada a aplicabilidade destes índices de forma sumarizada, destacando suas facilidades e limitações. Espera-se assim fornecer subsídios para a seleção de índices a serem utilizados no monitoramento da qualidade da água em bacias hidrográficas. Para que o resultado de um IQA se aproxime, o máximo possível, da qualidade real de um dado corpo hídrico, é necessário especificar os objetivos da aplicação do IQA, principalmente no que tange à composição do índice,

à normalização dos dados, à escolha da equação e dos pesos. Os índices podem ser globais ou locais, podem ser abertos ou fechados, e estas propriedades devem ser traçadas também de acordo com objetivo do IQA. Porém, descrever as etapas de elaboração de um IQA não é escopo do presente capítulo, mas podem ser encontradas em Menezes (2009).

Metodologias de Índice de Qualidade de Água Superficial (IQA)

QA_H - Horton

É atribuído ao R. Horton, pesquisador alemão, a elaboração do primeiro IQA. Foi em 1965 que Horton realizou, para a ORSANCO (*Ohio River Valley Water Sanitation Commission*), uma apresentação formal do IQA_H. Foi a partir do IQA_H que os índices passaram a ser vistos como ferramenta para a avaliação dos programas de redução da poluição e para informação pública (DERÍSIO, 1992 apud CPRH, 2003).

O IQA_H é composto por 8 parâmetros (Oxigênio Dissolvido [OD], pH, Coliformes Fecais, Alcalinidade, Cloreto, Condutividade Elétrica [CE], Tratamento de Esgoto [% da população atendida], Carbono Extraído por Clorofórmio [CCE]) e baseia-se, como exposto na equação 1, em um somatório ponderado de subíndices, divididos pelo somatório dos pesos, multiplicado por dois coeficientes que consideram a temperatura e a poluição evidente de um curso d'água (HORTON, 1965).

$$IQA_H = \left(\frac{C_1 w_1 + C_2 w_2 + \dots + C_n w_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \right) M_1 M_2 \quad (1)$$

Onde:

IQA_H: Índice de Qualidade de Água, um número de 0 a 100;

C_i: Pontos de avaliação para a variável "i", um número de 0 a 100;

w_i: Peso correspondente ao i-ésimo parâmetro;

M₁: Coeficiente para ajustar o IQA_H em relação à temperatura, *M₁*= 1 se *T* < 34°C e *M₁*= 0,5 se *T* > 34°C e

M₂: Coeficiente para ajustar o IQA em relação às condições de poluição, *M₂* é o coeficiente que reflete a poluição aparente. *M₂*= 1 se sólidos sedimentáveis < 0,1 ml/L e *M₂*= 0,5 se sólidos

sedimentáveis > 0,1 ml/L.

Os pesos (w_i) ficaram distribuídos da seguinte forma: OD= 4, pH= 4, Tratamento de Esgoto= 4, Coliformes Fecais= 2, Alcalinidade= 1, Cloreto= 1, CE= 1, CCE= 1. A escala de classificação varia de 0 (péssima qualidade) a 100 (ótima qualidade).

National Sanitation Foundation (IQA_{NSF})

O índice proposto por Horton serviu de subsídio para a elaboração de outros índices. Sendo assim Brown et al. (1970) construíram um IQA para a National Sanitation Foundation (NSF). O IQA_{NSFA} é obtido pela soma dos subíndices ponderados como observado na equação 2.

$$IQA_{NSFA} = \sum_{i=1}^n w_i q_i \quad (2)$$

Onde:

IQA_{NSFA} : Índice de Qualidade de Água Aditivo da NSF;

w_i : Peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, aplicado em função da sua relevância para a conformação total de qualidade;

q_i : Subíndice ou qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade", em função de sua concentração e

n : Número de parâmetros que entram no cálculo do IQA_{NSFA}.

De acordo com Brown et al., (1970), a composição do IQA_{NSFA} baseou-se numa pesquisa de opinião pelo método *Delphi* realizado com 142 especialistas em qualidade de águas superficiais. Este método consiste na aplicação de questionários a especialistas de determinado assunto. Os especialistas não devem conhecer a composição do grupo nem tão pouco devem trocar informações entre si, dessa forma tenta-se

evitar tendenciosidades e influências (WRIGHT; GIOVINAZZO, 2000). Os entrevistados sugeriram os parâmetros que deveriam ser analisados, o peso que cada um deveria receber e o valor de cada parâmetro, de acordo com sua condição ou estado, numa curva média de variação de qualidade. Foram selecionados 9 parâmetros indicadores de qualidade de água. Estas curvas de variação foram sintetizadas em um conjunto de curvas médias para cada parâmetro, bem como seu peso relativo correspondente (CETESB, 2007).

Landwehr e Deininger (1976), também para a *NSF*, propuseram uma modificação no índice anterior. Ao invés de o IQA ser obtido pela forma aditiva (IQA_{NSFA}), que pode acarretar o abrandamento de situações extremas, seria obtido pela forma multiplicativa (IQA_{NSF}), como exemplificado na equação 3 e 4. Assim sendo, alguns resultados muito baixos não seriam mais mascarados.

$$IQA_{NSF} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (3)$$

Onde:

IQA_{NSF} : Índice de Qualidade de Água Multiplicativo da *NSF*, um número entre 0 e 100;

q_i : Subíndice ou qualidade do *i*-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade" e

w_i : Peso correspondente ao *i*-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (4)$$

Onde:

n: Número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

Após o cálculo, um valor de 0 a 100 é obtido, onde 0 representa péssima qualidade e 100 ótima qualidade, sendo possível classificar a amostra na escala de categorias de qualidade de água.

No Brasil, o IQA_{NSF} foi adaptado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e é o mais difundido e aplicado (SENA et al., 2005; MOLINA et al., 2006; ZUFFO; GENOVEZ, 2006; OLIVEIRA et al., 2007; SOUSA et al., 2007) fato que promove a comparação de diferentes áreas por meio dos estudos já realizados. Os parâmetros selecionados foram: temperatura, pH, OD, demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20} = 5$ dias, $20^{\circ}C$), coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez.

Os índices elaborados pela NSF não contemplam parâmetros tóxicos e para preencher esta lacuna Brown et al. (1970) sugeriram o emprego do Índice de Toxidez (IT), que é complementar ao IQA da NSF. O IT pode ser 0 ou 1, ou seja, quando substâncias tóxicas (cádmio, chumbo, cobre, mercúrio, cromo total, níquel e zinco) são encontradas acima do Valor Máximo Permitido (VMP) o IT é 0 e, dessa forma, o valor do IQA é anulado. Quando substâncias tóxicas não são encontradas acima do VMP o IT é 1, confirmando assim o seu valor.

A CETESB através do IAP (Índice de qualidade de água bruta para fins de abastecimento público) tem incorporado não só substâncias tóxicas, mas também substâncias organolépticas. O IAP é o produto da ponderação dos resultados do IQA_{NSF} e do ISTO (Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas), que é composto pelo grupo de substâncias que afetam a qualidade organoléptica da água, bem como de substâncias tóxicas. Assim, o IAP é composto por três grupos principais de variáveis (CETESB, 2007):

a) IQA – Grupo de variáveis básicas (Temperatura da Água, pH, OD, DBO, Coliformes Termotolerantes, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Resíduo Total e Turbidez);

b) ISTO - Índice de Substâncias Tóxicas (ST) e Organolépticas(SO);

i) ST = Variáveis que indicam a presença de substâncias tóxicas (Teste de Ames - Genotoxicidade, Potencial de Formação de Trihalometanos - PFTHM, Número de Células de Cianobactérias - NCC, Cádmio, Chumbo, Cromo Total, Mercúrio e Níquel);

ii) SO = Grupo de variáveis que afetam a qualidade organoléptica (Ferro, Manganês, Alumínio, Cobre e Zinco).

O IAP é calculado segundo a equação 5.

$$IAP = IQA \times ISTO \quad (5)$$

O ISTO é resultado do produto dos grupos de substâncias tóxicas (i) e de substâncias que modificam a qualidade organoléptica da água (ii), dado pela equação 6:

$$ISTO = ST \times SO \quad (6)$$

Onde:

ST: Substâncias tóxicas e

SO: Substâncias que alteram a qualidade organoléptica.

O *ST* é obtido por meio da multiplicação dos dois valores mínimos mais críticos do grupo dessas variáveis sendo uma adaptação do Índice de Smith (IS), conforme apresentado na equação 7.

$$ST = \text{Mín1} (qTA; qPFTHM; qCd; qCr; qPb; qNi; qHg; qNCC) \times \text{Mín2} (qTA; qPFTHM; qCd; qCr; qPb; qNi; qHg; qNCC) \quad (7)$$

Onde:

Mín1 e *Mín2* são os menores valores das variáveis do grupo de *ST* e

q: número variando entre 0 e 1, obtido através das curvas de qualidade.

O *SO* é obtido pela média aritmética das qualidades padronizadas das variáveis pertencentes a este grupo, conforme equação 8.

$$SO = \text{Média Aritmética} (qAl; qCu; qZn; qFe; qMn) \quad (8)$$

q_i: Número variando entre 0 e 1, obtido através das curvas de qualidade.

Índice de Qualidade de Água de Prati (IQA_{Prati})

O Índice Implícito de Poluição de Prati (IQA_{Prati}) é um índice para águas superficiais e engloba 13 parâmetros: OD, Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, DBO, Nitrato, Cloreto, Carbono Orgânico Total, Permanganato, Sólidos Suspensos, Ferro, Surfactantes, Manganês, Amônia (PRATI et al., 1971).

Semelhante aos índices expostos anteriormente, um subíndice foi determinado para cada parâmetro e estes subíndices foram fundamentados em critérios pessoais relacionados ao rigor dos efeitos da poluição. O índice é calculado como a média aritmética dos 13 subíndices (equação 9) e a escala de classificação varia de 0 a 14. Quanto maior for o seu valor mais poluído encontra-se o corpo d'água (CPRH, 2003).

$$IQA_{Prati} = \frac{1}{13} \sum_{i=1}^{13} qi \quad (9)$$

Onde:

IQA_{Prati} = Índice Implícito de Poluição de Prati e

q_i : Subíndice ou qualidade do i -ésimo parâmetro.

Índice de Qualidade de Água de Bascarán (IQA_B)

O Índice de Qualidade de Águas Superficiais de Bascarán (IQA_B), aplicado na Espanha, é semelhante ao índice desenvolvido por Horton e trabalha com valores individuais de uma série de parâmetros e possibilita um valor global de qualidade de água (BASCARÁN, 1979 apud RIZZI, 2001). É expresso pela equação 10:

$$IQA_B = k \frac{\sum_{i=1}^n C_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (10)$$

Onde:

C_i : Valor percentual correspondente ao parâmetro i ,

P_i : Peso correspondente a cada parâmetro e

k : Constante de ajuste, em função do aspecto visual das águas.

Para as águas claras, sem aparente contaminação, é atribuído para k o valor 1,00; para águas com ligeira cor, espuma, turbidez aparente ou natural é atribuído valor 0,75; para águas com aparência de estarem contaminadas e com forte odor é atribuído valor 0,50 e para águas negras que apresentam fermentação e odores é atribuído valor

0,25. A escala do IQA_B varia de 0 a 100 (de péssimo a excelente).

Embora pouco aplicado no Brasil, o IQA_B já foi adaptado por Rizzi (2001), de forma a contemplar os parâmetros existentes nos Boletins Quinzenais da Estação de Tratamento de Água Iguaçú - Curitiba e por Cristo et al., (2009), para avaliar a qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio São Domingos, no município de São José de Ubá, Noroeste do Rio de Janeiro.

Os subíndices são obtidos de formas diferentes no IQA_{NSF} e no IQA_B . No IQA_{NSF} para cada valor analítico de parâmetro existe um q (subíndice) correspondente e no IQA_B o valor percentual correlato ao parâmetro (C) é distribuído por categorias, de forma que vários valores analíticos possam estar correlacionados com o mesmo valor percentual. Essa diferença faz com o uso do IQA_B seja mais simplificado e que os resultados do IQA_{NSF} apresentem mais detalhes.

Índice de Qualidade de Água de Smith (IS)

Smith (1987) propôs um índice que aborda quatro tipos de uso da água superficial: geral, banhos públicos, abastecimento de água e desova de peixes.

O método *Delphi* foi empregado para a seleção dos parâmetros e para a elaboração de subíndices. O índice foi construído de forma não ponderada, pois considera igualdade de importância entre os parâmetros que entram no cálculo do IQA. A forma de agregação dos parâmetros deste índice difere em relação ao do Horton ou da NSF, por exemplo, o IS utiliza o método do operador mínimo e não os métodos de produtório ou somatório. O cálculo do IS é exposto na equação 11:

$$IS = \min (I_1, I_2, \dots, I_i) \quad (11)$$

Onde:

IS = Valor do índice e

I_i = Valor dos subíndices, cuja escala de valores varia de 0 a 100.

O método proposto por Smith faz com que o valor do IQA seja equivalente ao menor valor dos subíndices já que, segundo o autor, são

os parâmetros que apresentam maior inconformidade e não o conjunto deles que conferem à água o grau de adequação para determinado uso requerido.

Canadian Water Quality Index (IQA_c)

O método *Canadian Water Quality Index* foi desenvolvido por uma comissão de especialistas em qualidade de água do *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME) em 1997. A proposta dessa comissão foi a de avaliar diferentes índices que eram aplicados por diversas instituições e jurisdições do Canadá e formular um IQA que poderia ser usado para simplificar os relatórios de qualidade e pudesse ser acessível aos não especialistas. O IQA_c tem sido aplicado no programa de monitoramento de qualidade da água do Canadá, desde 2001, sempre com muito êxito (KHAN et al., 2010; LUMB et al., 2010).

De acordo com o CCME (2001a), o IQA_c é composto por três fatores (F_1 , F_2 , F_3). O primeiro a ser calculado é o F_1 , que é chamado de Alcance, pois representa a porcentagem de parâmetros que estão em inconformidade com os valores de referência ou critérios de qualidade, ou seja, foram superiores (ou inferiores, quando o objetivo é o mínimo) ao limite estabelecido para dado fim. O segundo fator a ser calculado, o F_2 , representa a Frequência com que cada parâmetro analisado, em cada amostra coletada, não atende aos valores de referência. Essa comparação, entre os resultados dos parâmetros com os valores de referência, é denominada "teste". O F_3 é o terceiro fator a ser calculado e representa a Amplitude das falhas dos testes, ou seja, refere-se à distância com que cada parâmetro está em relação ao limite de referência. A obtenção do F_3 ocorre em três momentos: do cálculo das variações, da soma normalizada das variações (nse) e da padronização dessa soma. Designa-se por "variação" o número de vezes em que a concentração de um indivíduo é superior (ou inferior, quando o objetivo é o mínimo) ao limite estabelecido.

Depois que os fatores são obtidos, o IQA_c pode ser calculado pela soma dos três fatores. A soma dos quadrados de cada

elemento é, portanto, igual ao quadrado do índice (equação 12). Esta metodologia trata o índice como sendo um vetor no espaço tridimensional, definido por cada um dos fatores.

$$IQA_{CCME} = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad (12)$$

O divisor 1,732 varia em um intervalo entre 0 e 100, onde 0 representa a "pior" qualidade da água e 100 representa a "melhor" qualidade da água.

Método com o emprego da Lógica Fuzzy

Deshpande e Raje (2003) avaliaram a qualidade da água para banho do rio Ganga na Índia por meio da lógica *fuzzy*, que difere da lógica booleana, onde a proposição lógica só pode ser 0 ou 1. Na lógica *fuzzy* não existem somente dois extremos, "totalmente verdadeiro" ou "totalmente falso", sendo possível variar o grau de verdade em intervalos menores entre 0 a 1, ou seja, pode ser "parcialmente falso" ou "parcialmente verdadeiro".

Para o desenvolvimento do método, quinze especialistas em qualidade de água foram consultados para a escolha dos parâmetros a serem analisados (Coliformes Fecais, OD, DBO, pH e Turbidez). Foram criadas duas escalas de avaliação de qualidade, a primeira serve para avaliar os parâmetros individualmente (muito boa, boa, regular, ruim) e a segunda para classificar a amostra integralmente (totalmente aceitável, aceitável, parcialmente aceitável, não aceitável).

Seria possível mencionar ainda outras metodologias de cálculo de Índice de Qualidade de Água utilizadas no Brasil, como: a da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) que gerou o Índice Geral de Qualidade de Água Distribuída (IGQA) (FACINCANI *et al.*, 1999) e a da Companhia de Água e Esgotos de Brasília (Caesb) que elaborou o IQAD - Índice da Qualidade da Água Distribuída à População do Distrito Federal (BERNARDES *et al.*, 1999).

Todos esses trabalhos foram desenvolvidos para águas superficiais, entretanto, nota-se muita semelhança na forma de

elaboração desses índices, sendo um somatório de subíndices ponderados ou produtório de subíndices potencializados.

Metodologias de Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQAS)

Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS)

No Brasil, um grupo de estudos do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Bahia desenvolveu curvas de qualidade para as águas subterrâneas da Bahia. O índice calculado é referente à Qualidade Natural da Água Subterrânea (IQNAS), para poços dos quatro domínios hidrogeológicos (sedimentar, metassedimentar, cárstico e cristalino) do Estado da Bahia. Os parâmetros físico-químicos selecionados foram: pH, Cloreto, Resíduos Totais, Dureza, Nitrato e Flúor.

De acordo com Oliveira et al. (2007), o IQNAS foi construído à semelhança do Índice de Qualidade de Água da *National Sanitation Foundation* (adaptado pela CETESB). Foram utilizados os dados consistidos das análises químicas de 1899 poços cadastrados no Banco de Dados da Companhia de Engenharia Rural da Bahia (Cerb), e de 5 amostras de águas minerais da Bacia Sedimentar do Recôncavo, tomadas como padrão. As equações matemáticas para os seis parâmetros utilizados foram modeladas utilizando o *software* estatístico *SYSTAT* e as curvas de qualidade foram geradas especificamente para os principais Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia, com isso a adequabilidade para o local é maior.

Système d'évaluation de la Qualité des Eaux Souterraines (SEQ)

O sistema de avaliação de qualidade de água subterrânea (SEQ) foi desenvolvido na França, pela Agência da Água e pelo Ministério da Ecologia e do Desenvolvimento Sustentável, com o objetivo de refletir as especificidades das águas subterrâneas. Este sistema determina a capacidade da água satisfazer os diferentes tipos de uso (CADILHAC; ALBINET, 2003) e avalia a qualidade da água medindo os vários tipos de poluição, que são caracterizados por meio de grupos formados por parâmetros da mesma natureza ou que provoquem os mesmos efeitos.

O SEQ avalia os grupos de alteração de acordo com o uso e finalidade da água, variando de 0 a 100 as categorias. Ou seja, cada parâmetro é avaliado individualmente e posteriormente é avaliado o grupo que ele pertence. Dessa forma, são atribuídos valores para esses grupos (0 a 100) e definidas quatro classes de adequação que possuem as cores azul, verde, amarelo e vermelho. A categoria final do ponto analisado é dada de acordo com a classificação mais baixa obtida pelos grupos de alteração (CADILHAC; ALBINET, 2003), a semelhança de como é feito no Índice de Smith pelo método do operador mínimo.

Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS)

De acordo com Almeida e Oliveira (2008) a formulação do Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS) foi baseada na revisão de índices já existentes para a avaliação da qualidade da água subterrânea, tal como o IQNAS e o SEQ - Sistema de avaliação da qualidade da água desenvolvido na França, sendo modificado para a inclusão de outros parâmetros químicos e bacteriológicos. A escolha dos parâmetros e de seus pesos foi realizada por meio da Metodologia *Delphi*.

As curvas de qualidade foram elaboradas com base nos teores preconizados na minuta da resolução CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) para águas subterrâneas, precursora da Resolução CONAMA nº396/08 (BRASIL, 2008); além da Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04 (BRASIL, 2004) e da Diretriz para a Qualidade da Água para Consumo Humano (WHO, 2006).

Este índice é calculado a partir do cálculo de subíndices que por sua vez são compostos por grupos de parâmetros. Os subíndices são relacionados aos grupos de alteração e cada parâmetro recebe um peso na composição do subíndice. Os subíndices e seus parâmetros são: BIO (ferro e manganês), MS (cloreto, dureza, fluoreto, pH e sulfatos), PS (turbidez), NIT (nitrato), AMO (amônia), MIN (mercúrio total) e ORG (benzeno). O cálculo final do IQUAS é dado pela equação 13.

(13)

$$IQUAS = Q_{BIO}^{0,19} \times Q_{FEMN}^{0,06} \times Q_{MS}^{0,19} \times Q_{PS}^{0,06} \times Q_{NIT}^{0,19} \times Q_{AMO}^{0,06} \times Q_{MIN}^{0,06} \times Q_{ORG}^{0,19}$$

Da aplicação da equação final do IQUAS resulta um número adimensional na faixa de 0 a 100, que descreve as cinco classes de qualidade das águas subterrâneas. O IQUAS também foi construído à semelhança do IQA_{NSP} , e por isso mantém o mesmo intervalo de notas nas categorias de qualidade da água (ALMEIDA; OLIVEIRA, 2008).

Análise Fatorial de Correspondência (AFC)

Para a determinação e interpretação dos dados de qualidade ambiental podem ser utilizadas diversas aplicações estatísticas, como por exemplo: Análise da Matriz de Correlação, Análise de Componentes Principais, Análise Fatorial (CPRH, 2003).

Stigter et al. (2006), em Portugal, objetivando acompanhar o impacto da agricultura na qualidade da potabilidade da água subterrânea, aplicaram o método chamado de Análise Fatorial de Correspondência (AFC), desenvolvido por Benzécri no início dos anos 60 do século passado, cujo objetivo era formar grupos a partir de características comuns. A construção do IQA_{AFC} se dividiu em três partes:

- a) Seleção dos dados e parâmetros;
- b) Padronização dos dados (lógica booleana) e;
- c) Classificação das amostras.

Na primeira etapa, foram selecionados os parâmetros: nitrato, sulfato, cloreto e cálcio.

O segundo momento pode ser resumido na equação 14:

$$F_i = \frac{1}{p\sqrt{\lambda}} \sum_{j=1}^m \delta_j L_j \quad (14)$$

Onde:

F_i = valor do fator i amostra;

P = número de parâmetros envolvidos na construção do índice;

λ = fator de ponderação (para manter a amostra entre 0 e 1);

δ_j = código lógico ($\delta_j = 1$, para amostras dentro das classes e $\delta_j = 0$, para amostras fora das classes);

L_j = fator de carregamento do fator j (peso de j em relação a lógica), e;

m = número de classes.

A padronização para cada um dos poços em cada parâmetro pode ser feita, por exemplo, por meio de um pacote estatístico como o *X-STAT* 2006, por meio da função de lógica sendo: 0 para a não ocorrência e 1 para a ocorrência.

As amostras, por parâmetro, foram distribuídas em uma faixa de três níveis de concentração:

b_1) <VG (menor que o valor guia);

b_2) VG-VMP (entre o valor guia e o valor máximo permitido) e

b_3) >VMP (acima do valor máximo permitido).

Por fim, obtêm-se várias combinações de ocorrência e, de acordo com valores preestabelecidos, qualificam-se as amostras de acordo com os possíveis resultados das variáveis. Passado este momento, adquire-se um índice que varia de -1 a 1, sendo 1 para baixa qualidade e -1 para alta qualidade. O zero é atribuído para água dentro dos padrões.

Índice Relativo de Qualidade (IRQ)

É o método para caracterização e hierarquização do potencial qualitativo das águas subterrâneas e que foi desenvolvido por Fernandes e Loureiro (2006), na Universidade Federal de Minas Gerais. Neste procedimento são considerados alguns parâmetros hidroquímicos sensíveis às interferências antrópicas, sendo eles: nitrato, cloreto e sólidos totais dissolvidos. Entretanto, nada impede que a referida metodologia seja aplicada para caracterizar as variações de outros parâmetros de natureza antropogênica, como também para caracterizar alterações naturais da qualidade, desde que sejam previamente reconhecidos os valores de referência (*background*) para o sistema hidrogeológico avaliado. Este índice, como o próprio nome diz é relativo, não sendo tão preciso e também é pouco difundido.

A seguir serão apresentadas as equações 15, 16, 17 e 18 utilizadas para a determinação do *IRQ*, por período de monitoramento. Após a aplicação do *IRQ* são definidas 5 categorias de qualidade da água variando de 0 a 1.2, sendo elas: excelente, boa, razoável, ruim e péssima.

$$IRQ_{imáx.} = \frac{V_{imáx.}}{VMP_i} \quad (15)$$

$$IRQ_{iméd.} = \frac{V_{iméd.}}{VMP_i} \quad (16)$$

$$IRQ_{imáx.} = \frac{IRQ_{i1imáx.} + IRQ_{i2imáx.} + IRQ_{i3imáx.}}{3} \quad (17)$$

$$IRQ_{iméd.} = \frac{IRQ_{i1iméd.} + IRQ_{i2iméd.} + IRQ_{i3iméd.}}{3} \quad (18)$$

Onde:

i: Número de parâmetros;

Vi máx.: Máximo;

Vi méd.: Média dos valores médios;

Vi: Valores identificados;

VMPi: Valores Máximos Permitidos (conforme estabelecido pelo padrão de potabilidade das águas [Portaria N°518, do Ministério da Saúde, de 25/03/04]) e

IRQ_i: Índice Relativo de Qualidade de Água.

Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano (IQAS_{CH})

Menezes (2009) desenvolveu um Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano (IQAS_{CH}) para ser aplicado em áreas de aquíferos cristalinos sob uso agrícola. O objetivo desse índice foi reunir parâmetros representativos, tanto da avaliação da qualidade da água subterrânea proveniente do cristalino como das atividades agrícolas. O índice local/específico permite avaliar melhor a região estudada.

O índice é calculado em duas fases complementares, sendo avaliados na primeira fase parâmetros que não oferecem riscos a saúde humana, sendo considerados como não tóxicos (Condutividade Elétrica, Dureza, pH, Turbidez, Nitrato, Coliformes Termotolerantes, Ferro e Manganês).

Na segunda fase são considerados os parâmetros tóxicos (Arsênio, Bário, Fluoreto, Pesticidas e Soma dos Pesticidas), cuja presença pode comprometer a saúde humana. O $IQAS_{CH}$ foi construído de acordo com as seguintes etapas: 1) seleção de parâmetros para compor o $IQAS_{CH}$; 2) normalização dos dados pela lógica booleana; 3) estabelecimento de classes de ocorrência de amostras.

A normalização ocorre a partir da distribuição dos parâmetros em uma das três faixas de níveis de concentração, a saber: $\leq VG$ (menor ou igual ao valor guia); $VG-VMP$ (valores maiores que o valor guia e menores ou iguais que o valor máximo permitido) e $> VMP$ (acima do valor máximo permitido).

A partir da soma de ocorrência em cada faixa, os poços foram distribuídos em quatro categorias de qualidade de água, que variam de 0 a 100: Ótima e Boa, que são as classes que apresentam amostras totalmente adequadas ao consumo humano; e classe Precisa de Tratamento, que é a classe que agrupa as amostras com algum parâmetro em inconformidade em relação aos padrões de potabilidade adotados.

Depois de calculado o índice na primeira fase, a segunda, que avaliará a presença de substâncias tóxicas na água acima do VMP, é calculada também. Para tanto, é necessário apenas verificar em qual das duas classes $<VMP$ ou $>VMP$ o valor do parâmetro para a amostra se encontra. A amostra que não possuir nenhum parâmetro acima do VMP continua com o mesmo valor obtido na primeira etapa do cálculo. No entanto, a amostra que apresentar algum parâmetro acima do VMP é classificada como Imprópria ($IQAS_{CH} = 0$) para o consumo humano.

Pelo fato da informação da primeira fase se perder quando as amostras possuem algum parâmetro tóxico ($IQAS_{CH} = 0$) outra forma de agregação foi elaborada. Sendo designada como a 2ª abordagem do $IQAS_{CH}$.

Na 2ª abordagem, a agregação ocorre da mesma forma da 1ª abordagem, ou seja, a partir da soma de ocorrência em cada faixa de concentração. A diferença reside nas categorias que possuem valores fechados. As categorias Ótima ($IQAS_{CH} = 100$), Boa ($IQAS_{CH} = 75$) e Precisa de Tratamento ($IQAS_{CH} = 50$ ou 25) foram mantidas e foi acrescentada uma quarta, que é a classe Inadequada ($IQAS_{CH} = 0$), que agrupa amostras em que todos os parâmetros apresentam-se em

inconformidade para os padrões de potabilidade adotados.

As amostras são classificadas inicialmente entre 0 e 100, que foi a classificação referente a primeira etapa. O segundo momento só é realizado com as amostras que possuem alguma substância da segunda etapa (Parâmetros Tóxicos), quando o valor do índice (Primeira Etapa) é subtraído por 75 e multiplicado por -1 , para as amostras de Ótima qualidade e, subtraído por 100, para as outras classes, e dessa forma, são classificadas na segunda fase do $IQAS_{CH}$ (-25 a -100).

A decisão de definir a escala de 100 a -100 foi motivada pela necessidade do índice não perder as informações da classificação da primeira etapa. Já a divisão das classes foi realizada de acordo com a necessidade dos objetivos propostos para o $IQAS_{CH}$ em questão.

Aplicabilidade: facilidades e limitações

É preciso aplicar aquele índice que melhor se ajuste às necessidades e objetivos do caso estudado. Portanto, é indispensável que os pontos fortes e fracos do índice a ser aplicado sejam conhecidos, o que poderá ajudar na avaliação dos resultados gerados pelo IQA. No sentido de facilitar a compreensão das semelhanças e diferenças dos índices de qualidade da água apresentados, a Tabela 1 sumariza algumas facilidades e limitações dos mesmos. Um outro ponto que merece destaque na aplicabilidade dos IQAs é que é preciso estar atento às metodologias de análise dos parâmetros que vão compor os índices, pois caso não sejam as mesmas utilizadas pelo método selecionado, podem implicar em sérias interferências, que comprometerão os resultados da aplicação do índice.

Tabela 1. Facilidades e Limitações dos Índices de Qualidade de Água apresentados.

IQA	Facilidades	Limitações
IQA_H	A partir do IQA _H os índices passaram a ser vistos como ferramenta para a avaliação dos programas de redução da poluição e para informação pública (Derísio, 1992 apud CPRH, 2003).	Índice voltado para as águas superficiais e possibilita a formação de “eclipse” ou “ocultamento”, que costumam ocorrer quando o impacto negativo de algum dos parâmetros agregados em um único número é atenuado.
IQA_{NSF}	Método bastante difundido, facilita, portanto, a comparação de diferentes áreas através de estudos já realizados. A função de agregação elimina resultados com efeitos de “eclipse” ou “ocultamento”.	Ausência de algum dos parâmetros dificulta ou até mesmo inviabiliza sua aplicação, já que, a inclusão de novos parâmetros não é simples. Quando os pesos são pequenos, pode vir a ser demasiadamente não-linear.
IQA_{Prati}	As curvas de qualidade foram construídas de forma a que as novas unidades fossem proporcionais ao efeito poluente. Ou seja, mesmo que um poluente esteja presente em concentrações menores do que os outros poluentes, ela ainda irá exercer um grande impacto na pontuação do índice.	Índice voltado para as águas superficiais e possibilita a formação de “eclipse” ou “ocultamento”.
IQA_B	Os valores nas curvas ou funções de qualidade dos parâmetros são distribuídos de forma absoluta, tal fato permite inserção de novos parâmetros.	A constante de ajuste, em função do aspecto visual das águas (k), além de ser um critério subjetivo, não é apropriado para as águas subterrâneas.
IS	Método do operador mínimo elimina o “eclipse” ou “ocultamento”. Repercute com clareza ocorrências extremas.	Índice voltado para as águas superficiais. Não exprime as nuances da qualidade da água
IQA_c	O índice é aberto, sendo possível incluir parâmetros, valores de referência e os objetivos específicos (classes de enquadramento) desejados. Índice desenvolvido objetivando avaliar o monitoramento do corpo hídrico.	Método pouco difundido e empregado com composições diversas, portanto, comparação entre áreas já analisadas nem sempre é viável.
Lógica Fuzzy	É possível trabalhar as interseções existentes entre os parâmetros do mesmo grupo de alteração.	Índice fechado. Para ser aplicado com outros parâmetros é necessário construir outro IQA.
IQANAS	As curvas de qualidade foram geradas especificamente para os principais Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia, com isso a adequabilidade para o local é maior. A função de agregação elimina resultados com efeitos de “eclipse” ou “ocultamento”.	A inclusão de Cloreto e Resíduos Totais pode gerar casos de redundância ou multicolinearidade em alguns pontos. Ausência de algum dos parâmetros dificulta ou até mesmo inviabiliza sua aplicação, já que, a inclusão de novos parâmetros não é simples.

SEQ	Apresenta ampla discussão sobre as concentrações dos parâmetros para os mais diversos usos e não somente o VMP como é apresentado na legislação brasileira. Trabalha com grupos de alteração, diminuindo assim, casos de redundância ou multicolinearidade.	Os parâmetros ou agrupamentos são avaliados individualmente e em grande número.
IQUAS	A função de agregação elimina resultados com efeitos de “eclipse” ou “ocultamento”. Trabalha com grupos de alteração, diminuindo assim, casos de redundância ou multicolinearidade.	Índice Geral podendo não refletir a realidade de um dado local. A ausência de algum dos parâmetros dificulta ou até mesmo inviabiliza sua aplicação, já que, a inclusão de novos parâmetros não é simples.
AFC	De acordo com várias combinações de ocorrência e valores preestabelecidos as amostras são qualificadas, de forma simplificada, segundo os possíveis resultados das variáveis.	Índice fechado. Para ser aplicado com outros parâmetros é necessário construir outro IQA.
IRQ	Índice de fácil aplicação.	Índice Relativo, por isso não tão preciso. É também pouco difundido.
IQAS_{CH} 1ª abordagem	É simples e trabalha com dois grupos de parâmetros, considerando a presença de substâncias tóxicas, podendo avaliar a qualidade da água subterrânea para o consumo humano.	A informação da primeira etapa se perde quando as amostras possuem algum parâmetro tóxico.
IQAS_{CH} 2ª abordagem	É simples e trabalha com dois grupos de parâmetros sendo que a informação da primeira etapa (não tóxicos) não é perdida quando as amostras possuem algum parâmetro tóxico.	Na primeira etapa (parâmetros não tóxicos) a forma de agregação é menos progressiva ou gradual que o no IQAS _{CH} 1ª abordagem.

A escala de categorias também é um tema peculiar, principalmente, na comparação de índices. Existem índices que não adotam a escala de 0 a 100, como por exemplo o IRQ, o IQA_{Prati} e o IS. Os que adotam uma variação de 0 a 100 são apresentados na Tabela 2, onde é possível observar que o IQAS_{CH} é o mais restritivo seguido do IAQ_C. Já o IQA_B é o que possui o maior número de classes e o IQA_{NSF} (e suas adaptações) o que aceita amostras com menor valor na classe boa ($51 < IQA \leq 79$).

A 2ª abordagem do IQAS_{CH} não foi contemplada na Tabela 2, pois sua escala varia de 100 a -100: Ótima (100), Boa (75) e Precisa de Tratamento (50 ou 25) e Inadequada (0).

A parte negativa da escala é destinada à presença de parâmetros tóxicos, sendo que toda ela é pertencente a categoria Imprópria. No entanto, a classe é subdividida de forma a refletir a classificação da primeira etapa (parâmetros não tóxicos): -25, classe que agrupa amostras em que todos os parâmetros não tóxicos estão abaixo ou iguais ao VMP e há presença de algum parâmetro tóxico acima do VMP; -50; agrupa amostras em que de 1 a 3 parâmetros não tóxicos estão acima do VMP e há presença de algum parâmetro tóxico acima do VMP; -75; agrupa amostras em que de 4 a 7 parâmetros não tóxicos estão acima do VMP e há presença de algum parâmetro tóxico acima do VMP e -100, que reúne amostras em que todos os parâmetros não tóxicos estão acima do VMP e há presença de parâmetro(s) tóxico(s).

Apesar das informações da primeira etapa (avaliação dos parâmetros não tóxicos) não serem perdidas, a 2ª abordagem do IQAS_{CH} apresenta limitações, pois a quantidade de parâmetros tóxicos não é avaliada, ou seja, é verificado somente se a amostra possui ou não algum parâmetro tóxico acima do VMP, não sendo refletida na escala do índice o número de parâmetros acima. Esta é uma limitação comum a vários índices, não só do IQAS_{CH}, pois muitos deles, conforme apresentado neste capítulo não consideram parâmetros tóxicos na sua composição. No entanto, quando o uso é restritivo, como o Consumo Humano, é fundamental o uso de parâmetros que podem oferecer riscos a saúde humana.

Tabela 2: Escala dos IQAs, variação de 0 a 100 (%).

Ponderação	IQAH	IQANSF IQANAS IQUAS	IQAB	IAQC	SEQ	IQASCH 1ª abordagem
100	Ótima	Ótima	Excelente	Ótima	Muito boa	Ótima
95	Ótima	Ótima	Muito Bom	Ótima	Muito boa	Boa
90	Boa	Ótima	Muito Bom	Boa	Muito boa	Boa
85	Boa	Ótima	Bom	Boa	Muito boa	Boa
80	Boa	Ótima	Bom	Boa	Muito boa	Precisa de Tratamento
75	Boa	Boa	Agradável	Regular	Boa	Precisa de Tratamento
70	Regular	Boa	Agradável	Regular	Boa	Precisa de Tratamento
65	Regular	Boa	Aceitável	Regular	Boa	Precisa de Tratamento
60	Regular	Boa	Aceitável	Ruim	Boa	Precisa de Tratamento
55	Regular	Boa	Normal	Ruim	Regular	Precisa de Tratamento
50	Ruim	Regular	Normal	Ruim	Regular	Precisa de Tratamento
45	Ruim	Regular	Impróprio	Ruim	Regular	Precisa de Tratamento
40	Ruim	Regular	Impróprio	Muito Ruim	Regular	Precisa de Tratamento
35	Ruim	Ruim	Desagradável	Muito Ruim	Ruim	Precisa de Tratamento
30	Ruim	Ruim	Desagradável	Muito Ruim	Ruim	Precisa de Tratamento
25	Péssima	Ruim	Ruim	Muito Ruim	Ruim	Precisa de Tratamento
20	Péssima	Ruim	Ruim	Muito Ruim	Ruim	Precisa de Tratamento
15	Péssima	Péssima	Muito Ruim	Muito Ruim	Péssima	Precisa de Tratamento
10	Péssima	Péssima	Muito Ruim	Muito Ruim	Péssima	Precisa de Tratamento
5	Péssima	Péssima	Péssima	Muito Ruim	Péssima	Precisa de Tratamento
0	Péssima	Péssima	Péssima	Muito Ruim	Péssima	Imprópria

Considerações finais

- Os índices de qualidade de água são interessantes ferramentas para subsidiar o monitoramento da qualidade da água em bacias hidrográficas, facilitando a interpretação dos resultados e a tomada de decisão. Portanto, se aplicam aos programas de pagamento por serviços ambientais.
- Os índices de qualidade de água, sejam eles para avaliar a qualidade da água superficial ou subterrânea, precisam ser selecionados de acordo com o uso que se pretende fazer da água em monitoramento, de acordo com o enquadramento dos corpos hídricos e respeitando os limites estabelecidos pela legislação.
- Os Índices de Qualidade da Água as têm geralmente em comum a seleção dos parâmetros a serem considerados, a normalização dos dados, a agregação dos parâmetros e a categorização dos resultados da aplicação do índice, fazendo a classificação da qualidade da água em níveis. Os níveis por sua vez possuem denominação diferenciada, de acordo com o tipo de índice, por exemplo: normal, aceitável, excelente, muito boa, ótima, boa, regular, desagradável, ruim, muito ruim, péssima e imprópria, sendo associados muitas vezes à cores, para facilitar a interpretação por públicos leigos no assunto.
- Na literatura são mais comuns os índices desenvolvidos para avaliar a água superficial (IQA), em relação aos aplicados à água subterrânea (IQAS), mas é importante que os últimos sejam aperfeiçoados e utilizados, pois os recursos hídricos subterrâneos são uma alternativa e reserva para utilização humana, onde há escassez de água superficial.
- Para elaboração, aplicação e compreensão de um IQA é importante que se conheça os fatores que irão interferir nos resultados. Também é preciso identificar as facilidades e limitações dos IQAs disponíveis, para que se possa fazer uma seleção apropriada, capaz de refletir do melhor modo a realidade dos recursos hídricos de uma determinada bacia hidrográfica.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, R. A. S.; OLIVEIRA, I. B. Aplicação do Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS) Destinado ao Uso para Consumo Humano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, Natal. [Anais...] Natal: ABAS, 2008. 1 CD-ROM.

AURELIANO, J.; FERRAZ, A. C.; CLEMENTE, A.; FALCÃO, D. Monitoramento da Qualidade da Água com Base em Zonas Homogêneas na Bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. [Anais...] João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD-ROM.

BASCARAN, G. M. Establecimiento de una metodología para conocer la calidad del agua. **Boletín Informativo del Medio Ambiente**, Madrid, p. 30-49, 1979..

BERNARDES, R. S.; ABREU, L. M.; DORNAS, M. O índice da qualidade da água distribuída à população do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. [Anais...] Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em: <<http://www.bvs.br/php/index.php>>. Acesso em: 28 nov. 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n. 518**, de 25 de Março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/>>. Acesso em: 1 jun. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 396**, de 3 de Abril 2008. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: 1 maio 2008.

BROWN, R. M.; McLELLAND, N. I.; DEININGER, R. A.; TOZER, R. G. A. Water quality index – Do we dare? **Water & Sewage Works**, Chicago, p. 339-343, 1970.

CADILHAC, L.; ALBINET, M. (Coord.). **SEQ - Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines: rapport de présentation.** [s.l.] : Agences de l'Eau. 2003. 75 p. Disponível em: <http://siecorse.eaurmc.fr/eaux_souterraines/fichiers-telechargeables/SEQSOUT0803.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2006.

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment. **Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME water quality index 1.0, user's manual.** In: CANADIAN Environmental Quality Guidelines, 1999, Winnipeg. [s.l.]: Environment Canada, 2001a.

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment. **Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0, technical report.** In: CANADIAN Environmental Quality Guidelines, 1999, Winnipeg. . [s.l.]: Environment Canada, 2001b.

CETESB. **Índice de qualidade da água.** Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iap_iqa.asp>. Acesso em: 10 maio 2007.

CPRH. Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Índice e indicadores de qualidade da água.** Pernambuco, 2003. v.1, 114 p. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br>>. Acesso em 17 de nov. de 2006.

CRISTO, V.; MENEZES, J. M.; SILVA JUNIOR, G. C. Comparação entre índices de qualidade de água. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 11., 2009. **[Anais...]** São Pedro: SBGEO/SP, 2009. 1 CD – ROM.

DESHPANDE, A. W.; RAJE, D. V. Fuzzy logic applications to environment management systems: case studies. In: INDUSTRIAL INFORMATICS, 2003. INDIN 2003. **Proceedings.** IEEE International Conference on. p. 364 - 368. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/topAccessedArticles.jsp?punumber=9109>>. Acesso em: 8 set. 2007.

FANCICANI, V. R.; MORAES, I. P. S.; NARIYOSHI, M. A. C.; ONOFRE, R. M. S.; ORSATTI, W. A. Índice geral de qualidade de água distribuída pela Sabesp – IGQA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. [Anais...] Rio de Janeiro: ABES, 1999.

FERNANDES, R. A.; LOUREIRO, C. O. Índice relativo de qualidade (*IRQ*): um método para caracterização e hierarquização do potencial qualitativo das águas subterrâneas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, 14., 2006, Curitiba. [Anais...] Curitiba: ABAS, 2006. 1 CD-ROM.

FERREIRA, L. M.; IDE, C. N. Avaliação comparativa da sensibilidade do IQA-NSF, IQA-Smith e IQA-Horton, aplicados ao Rio Miranda, MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. [Anais...] João Pessoa: ABES, 2001. Disponível em: <<http://www.bvs.br/php/index.php>>. Acesso em: 28 nov. 2008.

HORTON R. K. An index number system for rating water quality. **Journal WPCF** 37, p. 300-305, 1965.

KHAN, A. A., PATERSON, R.; KHAN, H. Modification and application of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for the communication of drinking water quality data in Newfoundland and Labrador. **Canadian Water Quality Research Journal**, v. 39, n. 3, p. 285-293, 2004. Disponível em: <<http://www.cawq.ca/journal/temp/article/30.pdf>>. Acesso em: 19 de maio. 2010.

LANDWEHR, J. M.; DEININGER, R. A. A Comparison of several water quality indices. **Journal of Water Pollution of Control Federation**, v. 48, n. 5, p. 954 – 958. 1976.

LUMB, A.; HALLIWELL, D.; SHARMA, T. Application of CCME Water Quality Index to Monitor Water Quality: a case study of the mackenzie river basin, Canadá. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 113, n. 1-3, feb., 2006. Disponível em:

<<http://www.springerlink.com/content/k545361v22347718/>>.
Acesso em: 19 maio 2010.

MENEZES, J. M. **Índice de qualidade de água subterrânea aplicado em área de aquíferos cristalinos com uso agrícola: bacia do rio São Domingos – RJ**. 2009. 189 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.

MOLOZZI, J.; DIAS, A. S.; PINHEIRO, A.; SILVA, M. R. Qualidade da água utilizada na atividade de rizicultura: caso do Município de Gaspar/SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **[Anais...]** João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD-ROM.

MOLINA, P. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; VANZELA, L. S. Índice de qualidade de água na microbacia degradada do córrego água da bomba – Município de Regente Feijó – SP. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16., 2006, Goiânia. **[Anais...]** Goiânia: ABID, 2006. Disponível em:
<http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2006_iqa_agua_da_bomba.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2008.

OLIVEIRA, I. B.; NEGRÃO, F. I.; SILVA, A. G. L. S. Mapeamento dos aquíferos do Estado da Bahia utilizando o índice de qualidade natural das águas subterrâneas – IQNAS. **Revista Águas Subterrâneas**, 2007. no prelo.

PINHEIRO, A. Monitoramento e avaliação da qualidade das águas In: ROMEIRO, A. R. **Avaliação e contabilização de impactos ambientais**. Campinas: Editora da Unicamp, 2004. p. 55-73.

PRATI, L.; PAVANELLO, R.; PESARIN, F. Assessment of surface water quality by a single index of pollution. **Water Research**, New York, v.5, p. 741-751. 1971.

RIZZI, N. E. Índices de qualidade de água. **Sanare. Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v.15, n.15. p.11-20, jan./jun. 2001.

SÁNCHEZ, E.; COLMENAREJO, M. F.; VICENTE, J., RUBIO, A.; GARCÍA, M. G., TRAVIESO, L.; BORJA, R. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. **Ecological Indicators**, v. 7, n. 2, p. 315-328. 2007.

SENA, M. C.; ROCHA, S. R. A. G.; MARTINS, M. A. L.; CALLADO, N. H.; HARRY, N. M. M. M. Monitoramento da qualidade da água no riacho das Águas do Ferro em Maceió/ AL. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **[Anais...]** João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD-ROM.

SOUSA, I. V. A.; SOUZA, R. O.; PAULINO, W. D. Cálculo do índice de qualidade de água em reservatórios tropicais com estudo de caso no Acarape do Meio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007. **[Anais...]** São Paulo: ABRH, 2007. 1 CD-ROM.

SMITH, D. G. A new form of water quality index for rivers and streams. **Water Science Technology**, New Zealand, v.21, n. 2, p. 123-127. 1987.

STIGTER, T. Y.; RIBEIRO, L.; CARVALHO DILL, .A. M. M. **Application of a groundwater quality index as an assessment and communication tool in agro-environmental policies – two portuguese case studies.** **Journal of Hydrology**, Amsterdam, n. 327, p. 578– 591, 2006.

WHO. World Health Organization. **Guidelines for drinking - water quality**. 3. ed. Geneva, 2006. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health>. Acesso em: 12 jan. 2007.

WRIGHT, J. T. C.; GIOVINAZZO, R. A. Delphi: uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Cadernos de Pesquisa em Administração**, São Paulo, v. 1, n. 12, p. 54-65, 2000. Disponível em: <<http://www.regeusp.com.br>>. Acesso em: 20 fev. 2007.

ZUFFO, A. C.; GENOVEZ, A. M. Método multicriterial utilizado como indicador da qualidade de água. In: CONGRESO LATINOAMERICANO

DE HIDRÁULICA, 22., 2006, Ciudad de Guavana. [**Anais...**] Ciudad de Guavana, 2006. Disponível em: <http://www.artigocientifico.com.br/uploads/artc_1172606439_41.pdf>. Acesso em 19 jul. 2008.