



ÍNDICE DE QUALIDADE DE USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA  
(E-IQUAS): APLICAÇÃO PARA COMUNICAR O ESTADO DA ÁGUA EM  
DOIS ESTUDOS DE CASO - CAMAÇARI (BA) E VERDELÂNDIA (MG)

*GROUNDWATER QUALITY INDEX (E-IQUAS): APPLICATION TO  
COMMUNICATE THE WATER STATUS IN TWO CASE STUDIES -  
CAMAÇARI (BA) E VERDELÂNDIA (MG)*

Rosa Alencar Santana de Almeida<sup>1</sup>; Iara Brandão de Oliveira<sup>2</sup>

Artigo recebido em: 10/11/2015 e aceito para publicação em: 03/01/2017.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v31i1.28522>

**Resumo:** O Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (e-IQUAS) tem as seguintes características: é flexível na seleção de parâmetros; pode ser aplicado para múltiplos usos da água; utiliza padrões de qualidade recomendados mundialmente; pode ser programado para cálculo em qualquer linguagem de programação e em qualquer plataforma computacional; sendo destinado para uso em portal de software público onde pode ser livremente utilizado pela comunidade. O e-IQUAS foi formulado agregando-se os parâmetros de qualidade das águas subterrâneas que produzem efeitos similares, por “Grupo de Alteração” (ou seja, por tipo de intemperismo associado à presença do parâmetro). O método de operador mínimo é usado para calcular a nota de cada grupo de alteração, gerando um subíndice; enquanto o índice final (e-IQUAS) é definido como a menor nota entre todos os subíndices. Os testes foram realizados em amostras de água de poços tubulares profundos perfurados no sistema aquífero São Sebastião, aquífero multicamadas, da Bacia Sedimentar do Recôncavo, utilizados para o abastecimento público da região metropolitana de Salvador (RMS), especificamente a área urbana do município de Camaçari, estado da Bahia, e poços de monitoramento de qualidade de água localizados no município de Verdelândia, ao norte do estado de Minas Gerais, na região da bacia do Médio São Francisco, pertencente ao contexto geológico do Grupo Bambuí. Os resultados obtidos para o índice, comparados com a qualidade da água, apontam para um método adequado para qualificação das águas subterrâneas, fácil de aplicar, isento de complexidade técnica e, totalmente flexível à inclusão de qualquer variável.

**Palavras-chave:** Índice de Qualidade de Água. e-IQUAS. Software Público. Água Subterrânea.

**Abstract:** The Groundwater Quality Index (GQI/e-IQUAS) has the following characteristics: it is flexible for parameters selection; applicable for multiples water uses; carry water quality standards recommended worldwide; accepts any programming language for any computational platform; being available for free and limitless use by the community through a public software portal. The index aggregates the parameters occurring in groundwater that produce the same effects, gathering them in "Alteration Group". The minimum operator method gives the score for each alteration group, creating a subindex; and, the final index (e-IQUAS) corresponds to the smaller score among all the subindexes. The tests were performed on water well samples from potable supply systems drilled in the aquifer system São Sebastião, multilayer aquifer of Sedimentary Recôncavo Basin in the metropolitan area of Salvador, specifically the urban area of Camaçari, Bahia, and monitoring network in Verdelândia, north of Minas Gerais State, in the region of the Middle São Francisco basin, belonging to the geological context of the Bambuí Group. The results obtained for the index, compared with the water quality information, demonstrated that the index is suitable for groundwater evaluation, easy to apply, free of technical complexity and flexible for the inclusion of additional variable.

**Keywords:** Water Quality Index. Groundwater. Public Software.

## 1 INTRODUÇÃO

A qualidade da água de um compartimento hídrico está relacionada a

todos os ambientes com os quais a água esteve em contato, em todo o ciclo hidrológico. Como revisado por Zaporozec (1972), existem vários métodos tradicionais para

<sup>1</sup> Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). E-mail: [rosaalencar@ufrb.edu.br](mailto:rosaalencar@ufrb.edu.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal da Bahia (UFBA). E-mail: [oliveira@ufba.br](mailto:oliveira@ufba.br)

interpretação da qualidade geoquímica da água que reúnem combinações de cátions e ânions presentes na água e apresenta o resultado na forma gráfica. Entre estes, são citados por Zaporozec (1972) os índices de Collins (desenvolvido em 1923), o índice de Frey & Schoeller (proposto em 1935), o índice de Hill (apresentado em 1940), como também o método de Piper (proposto em 1942, e modificado em 1953). Entretanto, a deterioração do ambiente, a multiplicidade das condições às quais estão submetidos os compartimentos hídricos faz a qualidade da água variar ao longo do tempo, inclusive com a introdução de elementos químicos antrópicos, e, assim, novas ferramentas são necessárias para comunicar a qualidade da água de modo acessível e direto, principalmente ao público não técnico.

Um modo de descrever a qualidade da água é listando individualmente as concentrações de todas as substâncias contidas em uma amostra. Entretanto, esta relação pode conter desde alguns poucos parâmetros até centenas de parâmetros, dificultando o entendimento da qualidade da água até mesmo pelos técnicos mais experientes no assunto. Uma maneira, amplamente utilizada para comunicar a qualidade da água são os índices de qualidade. Conforme a revisão de Almeida (2012), os índices são expressões matemáticas que sintetizam os diversos parâmetros indicadores da qualidade da água, através de um único número, permitindo uma leitura fácil ao público não técnico. Os índices são utilizados para exprimir a qualidade da água dos mananciais superficiais, como rios, lagos, e água estuarina (ABBASI & ABBASI, 2012; CCME, 2001), bem como da água subterrânea (CADILHAC & ALBINET, 2003; OLIVEIRA et al. 2007).

A revisão de Almeida (2012) comprovou que os índices de qualidade de água desenvolvidos até o final do século XX pouco consideravam a deterioração ambiental, por não incorporarem a presença de substâncias químicas antrópicas. São estes, os índices de Horton (1965), Brown et al. (1970); Deininger e Landwehr (1971), Dinius

(1987). Entretanto, na primeira década do século XXI, surgiram iniciativas para complementação dos índices, levando em conta os impactos das atividades humanas. São estes, os índices apresentados em CCME (2001), Cadilhac & Albinet, (2003), Almeida (2007), Cetesb (2010, 2015).

Este trabalho aplica ao compartimento subterrâneo um novo índice de qualidade da água (e-IQUAS). O novo índice é flexível (por não impor um determinado parâmetro químico a ser analisado), é abrangente (por aceitar a inclusão da totalidade dos parâmetros analisados), não apresenta problemas na agregação dos parâmetros (não são realizados somas ou produtos), tem a possibilidade de inclusão de novas substâncias de acordo com os objetivos de uso preponderante da água e é útil tanto para o compartimento superficial quanto o subterrâneo, podendo ser adaptado às águas meteóricas, desde que sejam definidos os usos e estabelecidas as concentrações e as categorias dos parâmetros. Além disso, seu cálculo pode ser disponibilizado em uma plataforma computacional livre, de uso irrestrito a toda sociedade, amigável e de fácil utilização, que serve como veículo de comunicação direta ao público não técnico, auxiliando tanto na disseminação da informação como na tomada de decisões.

O e-IQUAS é uma ferramenta complementar para avaliação integrada da água subterrânea e deve ser usado associado a outras ferramentas, de modo a avaliar com consistência a qualidade da água. Observe-se que o método foi aplicado a dois grupos de amostras de água subterrânea coletadas em áreas com características hidrogeológicas diferentes, captadas para atender objetivos distintos, ou seja, foram utilizados dados heterogêneos para demonstrar a adequação do e-IQUAS aos objetivos propostos. Em Verdelândia (MG), município com baixa disponibilidade de água superficial, predominam as áreas cársticas, nas quais os aquíferos apresentam comportamento hidrodinâmico mais complexo e são mais susceptíveis à contaminação (IGAM, 2010). Aqui o objetivo da coleta de amostras foi o

monitoramento da qualidade da água subterrânea da região. Em Camaçari (BA), os poços do Espaço Alfa estão localizados na região do sistema aquífero multicamadas São Sebastião, pertencente à Bacia Sedimentar do Recôncavo, cujas águas são de qualidade predominantemente ótima a boa nas regiões de alta pluviosidade (OLIVEIRA et al., 2007). Aqui, se coletou amostras para avaliar a qualidade da água para abastecimento público.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Formulação do e-IQUAS

A proposta do Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (e-IQUAS) segue quatro etapas: (a) seleção dos parâmetros e sua agregação em grupos de alteração; (b) associação do teor da substância encontrado na amostra de água a uma categoria de concentração que define a nota a ser atribuída ao parâmetro; (c) atribuição da nota do “Grupo de Alteração” (ou subíndice); (d) definição do valor do Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (e-IQUAS), número adimensional que exprime a qualidade da água.

### 2.2 Seleção dos parâmetros e grupos de alterações

A lista de grupos de alterações e seus respectivos parâmetros seguiu a proposta apresentada em Cadilhac & Albinet (2003) para o índice de qualidade da água elaborado pelo Ministério de Meio Ambiente da França, o SEQ – Eaux Subterraine. O agrupamento de parâmetros de mesma natureza ou de mesmo efeito servem para caracterizar a qualidade da água e pode ser vista no Quadro 1, elaborado para um uso preponderante para consumo humano.

São propostos, inicialmente, oito grupos de alterações: Agrotóxicos e Pesticidas, Elementos Filtráveis e Partículas, Matéria

Orgânica e Nutriente, Micro-organismos, Micropoluentes Minerais, Micropoluentes Orgânicos, Mineralização e Salinidade e PCB (Bifenil Policlorados). Outros usos e outros parâmetros podem ser incluídos à medida que forem definidas concentrações adequadas para cada um deles.

### 2.3 Categoria de concentração e nota do parâmetro

A cada parâmetro, de acordo com o teor da substância na amostra, é associada uma “Categoria de Concentração” que define a nota a ser atribuída ao parâmetro, permitindo que seja calculada a nota do grupo de alterações ao qual o parâmetro está associado. O método que consiste em atribuir classes aos parâmetros de acordo com as concentrações de cada substância, foi baseada na experiência do Global Water Quality Index - GDWI, (STIGTER et al., 2006).

Foram definidas três classes: a primeira para concentrações abaixo do nível de referência para a qualidade da água, que está sendo utilizado para os cálculos do e-IQUAS; a segunda classe para concentrações entre os dois valores de referência; e a terceira classe para concentrações acima da concentração máxima admissível para cada parâmetro. Os valores “padrão de qualidade” utilizados como referência foram, preferencialmente, os valores recomendados na quarta edição das Diretrizes para a Qualidade da Água para Consumo Humano (*Guidelines for Drinking-water Quality – GDWQ*) (WHO, 2011) e, na falta destes, os valores máximos permitidos (VMP) na legislação brasileira para classificação e enquadramento de águas subterrâneas, qual seja a Resolução CONAMA N° 396/2008 (BRASIL, 2008), especificamente os valores para o uso preponderante no consumo humano. A partir desta proposta foram construídas as categorias de qualidade dos parâmetros, conforme mostrado no Quadro 2.

**Quadro 1** - Agregação de parâmetros de qualidade em grupos das alterações (Consumo humano)

**Chart 1** - Aggregation of quality parameters in alterations groups (Human consumption)

Agrotóxico & Pesticida	Filtrável & Particulado	Nutrientes	Micro-organismo	Poluentes Minerais	Poluentes Orgânicos	Mineralização & Salinidade	PCB
Aldrin + Dieldrin	Ferro	Nitrato	E. coli	Alumínio	Benzeno	Chumbo total	PCBs (soma de 7)
Atrazina	Manganês	Nitrito	Coliformes Termotolerantes	Arsênio total	Benzo(a)antraceno	Cloreto	
Bentazona	Turbidez			Boro total	Benzo(a)pireno	Sódio	
2,4-D				Cádmio total	Benzo(b)fluoranteno	Sulfato total	
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)				Cianeto livre	Benzo(k)fluoranteno	Fluoreto total	
Endossulfan (a + b + sulfato)				Cobre dissolvido	Cloreto de vinila	Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	
Endrin				Cromo total - (Cr III + Cr VI)	Clorofórmio	pH	
Glifosato + Ampa				Zinco	Criseno		
Lindano (g-HCH)				Antimônio	Dibenzo antraceno		
Metolacoloro				Mercúrio total	Diclorometano		
Metoxicloro				Níquel total	Hexacloro benzeno		
Pentacloro fenol				Prata total	Xileno Total (o+m+p)		
1,2 Diclorobenzeno				Bário total	Estireno		
1,4 Diclorobenzeno				Berílio total	Etilbenzeno		
1,2-Dicloroetano				Molibdênio	Tolueno		
1,1-Dicloroetano				Selênio total	Tetracloroetano		
1,2-Dicloroetano (cis+trans)				Urânio total	Acrilamida		
Tricloro benzeno (1,2,3-TCB + 1,2,4-TCB)				Vanádio total	Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)		
1,1,2 Tricloroetano					Indeno (1,2,3) pireno		
Alacloro					Tetracloroeto de carbono		
Clordano (cis + trans)							
Malation							
Molinato							
Pendi metalina							
Permetrina							
Propanil							
Simazina							
Trifluralina							
Aldicarb+ald. Sulfona +ald. Sulfóxido							
Carbuforan							
Clorotalonil							
Clorpirifós							
Heptacloro epóxido + Heptacloro							

Fonte: Almeida (2012)

**Quadro 2** - Categorias de qualidade do parâmetro**Chart 2** - Parameter Quality Categories

Categoria	Concentrações (n)	Nota	Qualificação	Semáforo
1	Concentração abaixo de um valor de referência (C1)	80	Ótima	
2	Concentração entre os valores de relevância ( C1 e C2)	60	Boa	
3	Concentração entre os valores de relevância (C2 e C3 = valor máximo admissível)	40	Regular	
4	Concentração acima do valor máximo admissível (C3)	20	Ruim	

Fonte: Almeida (2012)

## 2.4 Nota do grupo de alterações

Nas discussões sobre a forma de agregação a ser utilizada pelo e-IQUAS, foram lembradas as zonas de ambiguidade e de eclipse presentes nas formas aditivas e multiplicativas (SILVA E JARDIM; FLORES, 2006, 2002). As zonas de ambiguidade ocorrem quando todos os subíndices indicam a qualidade da água aceitável, mas o índice agregado mostra que não. Já as zonas de eclipse são aquelas onde a contagem do índice “esconde” o teor inaceitável de um ou mais parâmetros do índice.

De acordo com Flores (2002), há muitas maneiras de evitar a “eclipse”, e uma forma muito simples é usar o operador mínimo como índice final. Adotando este método, será utilizada a variável mais degradada para obtenção do valor final do índice, não ocorrendo ambiguidade ou eclipse nos resultados.

Outra observação é sobre os pesos usados para ponderar as variáveis nos índices tradicionais. Nestes índices os pesos são adotados como expoentes aos quais as variáveis são elevadas. Silva e Jardim (2006) lembram que a expressão de operador mínimo dispensa o uso de ponderações, no entanto, permite que novas variáveis sejam incorporadas ao índice ou que alguma variável seja substituída.

Flores (2002) também evidencia duas características dos índices de operador mínimo. Para o pesquisador a não restrição quanto ao número de parâmetros empregados e a facilidade de introdução de novos parâmetros ou eliminação de parâmetros existentes, sem afetar o cálculo do índice, são as vantagens deste método. Ainda segundo

Flores (2002), o operador mínimo é muito simples e não é ambíguo, pois não exagera a gravidade do problema da poluição, sendo por isso bastante apropriado para medir a qualidade da água em referência a padrões estabelecidos.

Assim, na avaliação das vantagens e das restrições das estruturas de agregação, o método do valor mínimo foi considerado o mais adequado aos propósitos do e-IQUAS. Esta estrutura mostra-se apropriada especialmente quanto a não restrição ao número de parâmetros, característica que é imprescindível ao e-IQUAS, como também quanto à simplicidade dos cálculos.

Desse modo, uma vez definidas as notas de cada parâmetro, atribui-se a nota do grupo de alteração como a menor nota obtida entre os parâmetros que fazem parte de um grupo. Em linguagem matemática, tem-se:

$$NG_j = \min \{ P_{[1]}, P_{[2]}, P_{[3]} \dots P_{[n]} \} \quad (1)$$

Sendo:

P(i) = i-ésimo parâmetro, com  $i = 1, 2, 3 \dots n$ ;

n = número total de parâmetros;

G<sub>j</sub> = j-ésimo grupo de alterações, com  $j = 1, 2, 3 \dots m$ ;

NG<sub>j</sub> = nota do grupo de alterações j;

## 2.5 Cálculo do e-IQUAS

Depois de estabelecidas as notas dos grupos de alteração, encontra-se o valor do Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (e-IQUAS), também pelo método do “Operador Mínimo”. Ao índice final e-IQUAS é atribuída a menor nota entre todas as notas dos grupos de alterações que fazem parte do índice. Em linguagem matemática, tem-se:

Índice de qualidade de uso da água subterrânea (E-IQUAS): aplicação para comunicar o estado da água em dois estudos de caso - Camaçari (BA) e Verdelândia (MG)

$$e - IQUAS = \min \{NG_{[1]}, NG_{[2]}, NG_{[3]} \dots NG_{[j]}\} \quad (2)$$

Sendo:

NG(j) = nota dos G<sub>j</sub> grupos de alterações;

e-IQUAS = Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea.

Da aplicação da expressão 2, do e-IQUAS, resulta um número adimensional na faixa de 0 a 100 que descreve as quatro classes de qualidade das águas subterrâneas, com mostrado no Quadro 3.

**Quadro 3** - Semáforo de qualidade da água subterrânea  
**Chart 3** - Semaphore of groundwater quality

e-IQUAS	Qualificação	Semáforo
80	Ótima	
60	Boa	
40	Regular	
20	Ruim	

Fonte: Almeida (2012)

## 2.6 Aplicação do Índice e-IQUAS

Para o teste da adequação do índice foram utilizados dados de amostras de água subterrânea coletadas nos poços de produção de sistemas de abastecimento de água da Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A (EMBASA), utilizados para abastecimento de localidades do município de Camaçari (BA), na Região Metropolitana de Salvador. Também se utilizou dados de amostras de água subterrânea coletadas pelo IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas, por meio do Projeto “Águas de Minas”, que desde 2005 monitora as águas subterrâneas do Estado de Minas Gerais.

Além do cálculo do e-IQUAS, para todas as amostras foi realizada uma comparação interíndices, envolvendo o cálculo do índice de qualidade de água por três diferentes métodos de avaliação de qualidade de água através de índices, de modo a demonstrar objetivamente o desempenho do índice de qualidade de uso da água

subterrânea (e-IQUAS) proposto neste trabalho. Para este experimento foram selecionados os índices: NSF-WQI (NSF, 2004), IQASB (ALMEIDA, 2007) e o índice e-IQUAS.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Aplicação do e-IQUAS às amostras de água da Embasa, Bahia

Foram utilizados dados secundários fornecidos pelo Laboratório Central da Embasa coletados no período de Agosto de 2003 a Agosto de 2011. Foram selecionadas oito amostras, coletadas em diferentes anos (2005, 2006, 2008, 2009, 2010 e 2011), nos poços de produção do Loteamento Espaço Alfa, município de Camaçari (BA), utilizadas para consumo humano. A Tabela 1 reproduz os resultados dos teores de cada um dos parâmetros das oito amostras e a Tabela 2 mostra a nota de cada parâmetro, atribuída em função da categoria de qualidade.

**Tabela 1** - Teores dos parâmetros para e-IQUAS – Embasa  
**Table 1** - Parameters concentrations for e-IQUAS – Embasa

Parâmetro Meta	Amostra	Cloreto mg L <sup>-1</sup>	Fe mg L <sup>-1</sup>	Fluoreto mg L <sup>-1</sup>	Hg mg L <sup>-1</sup>	Mn mg L <sup>-1</sup>	NO3 mg L <sup>-1</sup>	SO4 mg L <sup>-1</sup>	pH	Turbidez UT
<b>Meta do Parâmetro = Limite Resolução CONAMA Nº396/2008</b>		<b>250</b>	<b>0,3</b>	<b>1,5</b>	<b>0,001</b>	<b>0,10</b>	<b>10</b>	<b>250</b>	<b>6</b>	<b>5</b>
<b>LDM</b>			<b>0,01</b>	<b>0,1</b>	<b>0,05</b>	<b>0,004</b>	<b>0,001</b>	<b>5</b>		
Espaço Alfa - Poço IV	33522/05	11,30	<b>0,425</b>	0,200	0,025	0,00748	0,0022	2,50	<b>5,38</b>	1,5
Espaço Alfa - Poço IV	35435/06	12,20	0,18200	0,050	0,120	0,00200	0,0016	2,50	<b>5,82</b>	1
Espaço Alfa - Poço IV	32566/08	12,80	0,01100	0,050	0,140	0,00478	0,0050	2,90	<b>5,4</b>	0,6
Espaço Alfa - Poço IV	9784/09	11,30	0,00500	0,050	0,090	0,00200	0,1500	1,28	<b>5,56</b>	1,3
Espaço Alfa - Poço IV	24546/09	9,33	0,04060	0,050	0,110	0,00611	0,0400	4,32	<b>5,88</b>	0,5
Espaço Alfa - Poço IV	13193/10	11,60	0,04940	0,100	0,025	0,00475	0,0400	4,00	<b>5,58</b>	0,2
Espaço Alfa - Poço IV	29238/10	13,60	0,05350	0,050	0,025	0,00200	0,1300	4,35	<b>5,58</b>	0,8
Espaço Alfa - Poço IV	322/11	11,30	0,00500	0,050	0,060	0,00200	0,1000	0,50	<b>5,25</b>	0,7

**Tabela 2** - Nota dos parâmetros para e-IQUAS - Embasa  
**Table 2** - Parameters scores for e-IQUAS - Embasa

Procedência da Amostra - Espaço Alfa - Poço IV											
Amostra	C.TE. UFC/100mL	Fe mg L <sup>-1</sup>	Mn mg L <sup>-1</sup>	Turbidez UT	Hg mg L <sup>-1</sup>	NO3 mg L <sup>-1</sup>	Cloreto mg L <sup>-1</sup>	Fluoreto mg L <sup>-1</sup>	SO4 mg L <sup>-1</sup>	pH	Benzeno ug L <sup>-1</sup>
33522/05	80	<b>60</b>	80	80	80	80	80	80	80	<b>60</b>	80
35435/06	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
32566/08	80	80	80	80	80	80	80	80	80	<b>60</b>	80
9784/09	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
24546/09	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
13193/10	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
29238/10	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
322/11	80	80	80	80	80	80	80	80	80	<b>60</b>	80

Fonte: Almeida (2012)

Foram estabelecidas as categorias e notas de qualidade dos parâmetros. Aos parâmetros coliformes termotolerantes e benzeno, cujos teores em todas as amostras estavam abaixo do limite de detecção do método (LDM) convencionaram-se a categoria mais elevada (1) cuja nota é 80. Aos demais parâmetros (ferro, fluoreto, manganês,

mercúrio, nitrato e sulfato), as notas foram atribuídas de acordo com a concentração encontrada. Ressalte-se que uma das amostras apresentou teor do parâmetro Ferro (ug Fe/L) não conforme ao padrão de qualidade de água utilizado com referência e três outras amostras apresentaram valores do parâmetro pH inferiores a 5,5, situações que permitiram que

fossem atribuídas categorias de qualidade inferiores para esses parâmetros. Alteração”.

A seguir, a menor nota dentre os parâmetros foi atribuída a cada “Grupo de Alteração” ao qual o parâmetro pertence. A Tabela 3 mostra as notas de cada “Grupo de

Finalmente, o valor do Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (e-IQUAS), é a menor dentre as notas dos grupos de alterações que fazem parte do índice.

**Tabela 3** - Nota por grupo de alterações para e-IQUAS - EMBASA

**Table 3** - Alterations group scores for e-IQUAS - Embasa

Amostra	Micro-organismos	Procedência da Amostra - Espaço Alfa - Poço IV				
		Elementos Filtráveis e Partículas	Micropoluentes Minerais	Matéria Orgânica e Nutrientes	Mineralização e Salinidade	Micropoluentes Orgânicos
33522/05	80	60	80	80	60	80
35435/06	80	80	80	80	80	80
32566/08	80	80	80	80	60	80
9784/09	80	80	80	80	80	80
24546/09	80	80	80	80	80	80
13193/10	80	80	80	80	80	80
29238/10	80	80	80	80	80	80
322/11	80	80	80	80	60	80

Fonte: Almeida (2012)

### 3.2 Comparação Interíndices das Amostras da Embasa

O cálculo interíndices foi realizado para oito amostras do Espaço Alfa – Poço IV, usando-se três métodos diferentes: com base

no NSF-WQI (CETESB, 2007); o método IQASB (Almeida, 2007), e o método e-IQUAS proposto neste trabalho. O Quadro 4 apresenta os resultados obtidos com os três métodos.

**Quadro 4** - Comparativo Interíndices - Embasa

**Chart 4** - Interindices Comparison – Embasa

Amostra	Procedência da Amostra - Espaço Alfa - Poço IV								
	e-IQUAS			WQINSF			IQASB		
33522/05	60,0	Boa		87,47	Boa		89,6	Ótima	
35435/06	80,0	Ótima		91,09	Excelente		87,8	Ótima	
32566/08	60,0	Boa		87,91	Boa		89,4	Ótima	
9784/09	80,0	Ótima		88,92	Boa		89,0	Ótima	
24546/09	80,0	Ótima		91,71	Excelente		90,5	Ótima	
13193/10	80,0	Ótima		89,40	Boa		94,7	Ótima	
29238/10	80,0	Ótima		89,24	Boa		92,0	Ótima	
322/11	60,0	Boa		86,63	Boa		89,5	Ótima	

Fonte: Almeida (2012)

Os números mostram que os três métodos produziram resultados semelhantes, apresentando convergência nos valores dos índices encontrados. No entanto, como as faixas de valores para classificação da qualidade são diferentes para cada índice, verifica-se que águas classificadas como “ótimas” pelo IQASB (nota ótima > 80) alcançaram apenas a classificação “boa” nos métodos WQI NSF (nota excelente > 90) e do e-IQUAS (nota ótima = 80).

Verificou-se também que o e-IQUAS foi mais restritivo em três amostras, realizadas em anos diferentes, ou 37,5% deste conjunto de testes, resultado da forma de agregação das notas pelo método do “Operador Mínimo”. A nota final do e-IQUAS, e também do WQI NSF, sugerem ao usuário que algum parâmetro está fora do padrão recomendado; enquanto no IQASB esta condição não fica claramente indicada.

### **3.3 Aplicação do e-IQUAS às amostras de água do IGAM, Minas Gerais**

Foram utilizados dados secundários produzidos pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) para caracterizar a qualidade natural das águas subterrâneas e identificar áreas com alteração de qualidade. Os dados resultaram de campanhas semestrais de monitoramento de poços e cisternas do estado de Minas Gerais, cujos poços possuem profundidade que variam de 50,0 m a 100,0 m, no período compreendido entre os anos de 2007 e 2009, constantes no relatório de Monitoramento das Águas Subterrâneas de Minas Gerais - 2009 (IGAM, 2010). A Tabela 4 reproduz os resultados dos teores de cada um dos parâmetros.

Os resultados da categorização e nota de qualidade dos parâmetros são mostrados na Tabela 5. A Tabela 6 exhibe as notas por “Grupo de Alteração”

**Tabela 4 - Teores dos parâmetros para e-IQUAS - IGAM**  
**Table 4 - Parameters concentrations for e-IQUAS – IGAM**

EST	Nº Registro	Data da Coleta	pH in loco	STD mg L <sup>-1</sup>	Alumínio total mg L <sup>-1</sup>	Bário total mg L <sup>-1</sup>	Cloretos mg L <sup>-1</sup>	Cobre total mg L <sup>-1</sup>	C.TE. NMP/100 ml	Ferro total mg L <sup>-1</sup>	Fluoreto mg L <sup>-1</sup>	Manganês total mg L <sup>-1</sup>	Nitrato mg L <sup>-1</sup>	Nitrito mg L <sup>-1</sup>	Sódio total mg L <sup>-1</sup>	Sulfatos mg L <sup>-1</sup>	Turbidez UT	Zinco total mg L <sup>-1</sup>	
VD001	56278/2465	28.10.2007	6,79	458,4	0,050	0,029	22,99	0,002	0	0,015	0,480	0,002	0,150	0,002	11,30	10,0	0,35	0,130	
VD003	56278/2743	25.11.2007	6,44	1805	0,050	0,108	600,00	0,013	0	0,040	0,220	0,082	0,005	0,001	87,09	7,3	0,31	0,220	
VD004	56278/2179	30.09.2007	7,15	2106	0,140	0,044	656,00	0,002	0	0,240	0,280	0,094	0,500	0,007	213,70	9,4	0,65	0,190	
VD005	56278/2178	30.09.2007	6,91	518,0	0,160	0,041	22,95	0,002	0	0,770	0,420	0,0015	0,660	0,002	11,96	18,1	1,64	0,130	
VD009	56278/2177	30.09.2007	6,98	419,9	0,140	0,082	23,71	0,005	0	0,070	0,170	0,197	1,180	0,002	14,01	14,7	0,13	0,190	
VD010	56278/2245	04.10.2007	7,17	700,0	0,150	0,121	107,00	0,002	0	0,090	0,140	0,005	1,650	0,001	24,81	8,0	1,47	0,180	
VD011	56278/2182	01.10.2007	7,07	418,3	0,050	0,030	84,72	0,002	0	0,040	0,400	0,002	0,510	0,001	8,94	13,3	1,45	0,100	
VD012	56278/2176	30.09.2007	7,07	436,0	0,050	0,033	23,55	0,004	0	0,080	0,440	0,002	0,550	0,002	8,50	37,7	0,56	0,280	
VD001	56829/860	24-04-2008	6,75	470,5	0,100	0,034	20,30	0,004	0	0,050	0,430	0,0015	0,240	0,001	10,60	10,20	0,83	0,110	
VD003	56829/843	23-04-2008	6,33	2156,0	0,050	0,091	582,00	0,002	70	0,015	0,200	0,0330	0,150	0,003	110,20	259,00	0,57	0,050	
VD004	56829/870	25-04-2008	6,60	1974,0	0,120	0,086	749,00	0,002	0	4,370	0,260	0,3620	0,010	0,012	213,40	9,70	7,07	0,070	
VD005	56829/826	22-04-2008	6,68	534,8	0,050	0,045	47,30	0,002	0	0,170	0,360	0,0015	0,730	0,001	13,50	17,90	2,27	0,030	
VD009	56829/891	29-04-2008	6,85	472,0	0,050	0,061	32,30	0,002	0	0,100	0,170	0,1470	4,070	0,045	18,30	14,50	0,77	0,060	
VD010	56829/741	14-04-2008	7,03	665,8	0,150	0,123	83,20	0,002	0	0,090	0,120	0,0015	11,900	0,001	31,90	11,70	1,09	0,030	
VD011	56829/740	14-04-2008	6,97	428,5	0,050	0,036	19,90	0,002	30	0,040	0,370	0,0015	0,580	0,001	9,63	12,70	0,60	0,100	
VD012	56829/858	24-04-2008	7,33	441,8	0,050	0,105	19,90	0,002	0	0,140	0,350	0,0070	0,190	0,001	9,43	13,80	0,37	0,040	
VD001	57162/1822	11-09-2008	6,80	472,8	0,050	0,100	23,0	0,002	0	0,015	0,440	0,0015	0,480	0,001	15,80	10,20	0,34	0,140	
VD003	57162/1824	22-08-2008	6,70	2116,0	0,120	0,088	801,00	0,010	30	0,410	0,200	0,0470	0,290	0,029	117,30	252,10	3,26	0,110	
VD004	57162/1963	03-09-2008	6,70	1814,0	0,130	0,069	659,00	0,002	0	0,160	0,250	0,1200	0,140	0,001	191,50	9,80	0,72	0,340	
VD005	57162/1976	04-09-2008	6,90	532,5	0,050	0,070	48,50	0,002	0	0,320	0,370	0,0040	0,070	0,001	13,10	17,30	0,59	0,190	
VD009	57162/1916	01-09-2008	6,90	467,3	0,050	0,062	31,00	0,002	110	0,100	0,160	0,2080	0,300	0,063	17,50	14,40	2,18	0,090	
VD010	57162/1964	03-09-2008	7,00	631,9	0,050	0,116	81,20	0,002	0	0,130	0,140	0,0030	0,100	0,028	26,50	10,90	1,78	0,090	
VD011	57162/1977	04-09-2008	7,00	426,4	0,150	0,035	22,50	0,002	0	0,180	0,350	0,0015	0,060	0,001	10,70	12,20	0,42	0,090	
VD012	57162/2013	09-09-2008	7,00	445,8	0,050	0,037	26,10	0,002	0	0,060	0,360	0,0015	0,570	0,002	8,87	14,60	0,47	0,200	
VD001	57612/637	11-03-2009	6,78	474,7	0,185	0,029	23,00	0,002	0	0,039	0,480	0,0030	0,820	0,001	10,85	9,70	1,30	0,126	
VD003	57612/665	13-03-2009	6,43	1982,0	0,356	0,084	518,00	0,007	500	0,154	0,210	0,0541	0,330	0,004	111,50	233,00	1,00	0,213	
VD004	57612/588	08-03-2009	6,72	1455,0	0,366	0,092	405,00	0,004	0	0,519	0,250	0,1590	0,240	0,065	125,80	6,60	3,50	0,567	
VD005	57612/832	24-03-2009	6,65	537,5	0,287	0,048	45,40	0,002	23	0,181	0,370	0,0034	1,240	0,001	14,38	16,00	0,90	0,275	
VD009	57612/1226	10-05-2009	6,44	477,5	4,942	0,059	31,50	0,006	4	5,450	0,150	0,1820	3,700	0,090	16,02	15,50	77,30	0,119	
VD010	57612/589	08-03-2009	7,08	672,2	0,259	0,141	107,00	0,002	70	0,147	0,130	0,0092	2,140	0,001	30,63	8,20	1,30	0,139	
VD011	57612/654	12-03-2009	6,87	436,4	0,362	0,101	20,50	0,005	50	0,381	0,380	0,0064	0,590	0,001	30,65	12,50	0,80	0,142	
VD012	57612/616	10-03-2009	6,85	444,6	0,517	0,046	21,30	0,002	0	0,278	0,410	0,0030	1,140	0,001	14,52	13,60	1,10	0,278	
<b>Total de Amostras</b>		<b>32</b>																	

**Tabela 5** - Nota dos parâmetros para e-IQUAS - IGAM**Table 5** - Parameters scores for e-IQUAS – IGAM

EST	Nº Registro	Micro organismos	Elementos Filtráveis e Partículas			Micropoluentes Minerais				Matéria Orgânica e Nutrientes			Mineralização e Salinidade				Micropoluentes Orgânicos
		C.TE. NMP/100 ml	Fe total mg L <sup>-1</sup>	Mn total mg L <sup>-1</sup>	Turbidez UT	Al total mg L <sup>-1</sup>	Ba total mg L <sup>-1</sup>	Cu total mg L <sup>-1</sup>	Zn total mg L <sup>-1</sup>	Nitrato mg L <sup>-1</sup>	Nitrito mg L <sup>-1</sup>	Cloreto mg L <sup>-1</sup>	Fluoreto mg L <sup>-1</sup>	Sódio total mg L <sup>-1</sup>	STD mg L <sup>-1</sup>	Sulfato mg L <sup>-1</sup>	
VD001	56278/2465	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD003	56278/2743	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	20	80	80	20	80	80
VD004	56278/2179	80	80	80	80	60	80	80	80	80	80	20	80	20	20	80	80
VD005	56278/2178	80	60	80	80	40	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD009	56278/2177	80	80	60	80	60	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD010	56278/2245	80	80	80	80	60	80	80	80	80	80	60	80	80	60	80	80
VD011	56278/2182	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	60	80	80	80	80	80
VD012	56278/2176	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD001	56829/860	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD003	56829/843	20	80	80	80	80	80	80	80	80	80	20	80	80	20	60	80
VD004	56829/870	80	20	40	40	80	80	80	80	80	80	20	80	20	20	80	80
VD005	56829/826	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD009	56829/891	80	80	60	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD010	56829/741	80	80	80	80	60	80	80	80	80	20	60	80	80	60	80	80
VD011	56829/740	20	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD012	56829/858	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD001	57162/1822	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD003	57162/1824	20	60	80	80	80	80	80	80	80	80	20	80	80	20	60	80
VD004	57162/1963	80	80	60	80	80	80	80	80	80	80	20	80	60	20	80	80
VD005	57162/1976	80	60	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD009	57162/1916	20	80	40	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD010	57162/1964	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	60	80	80	60	80	80
VD011	57162/1977	80	80	80	80	60	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD012	57162/2013	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD001	57612/637	80	80	80	80	40	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD003	57612/665	20	80	80	80	20	80	80	80	80	80	20	80	80	20	60	80
VD004	57612/588	80	60	60	80	40	80	80	80	80	80	20	80	80	20	80	80
VD005	57612/832	20	80	80	80	20	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD009	57612/1226	20	20	60	20	20	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD010	57612/589	20	80	80	80	20	80	80	80	80	80	60	80	80	60	80	80
VD011	57612/654	20	60	80	80	20	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
VD012	57612/616	80	80	80	80	20	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80

Resultados não disponíveis

Fonte: Almeida (2012)

**Tabela 6 - Nota por grupo de alterações para e-IQUAS - IGAM**

**Table 6 - Alterations group scores for e-IQUAS - IGAM**

Procedência da Amostra	Amostra	Micro organismos	Elementos Filtráveis e Partículas	Micropoluentes Minerais	Matéria Orgânica e Nutrientes	Mineralização e Salinidade
VD001	56278/2465	80	80	80	80	80
VD003	56278/2743	80	80	80	80	20
VD004	56278/2179	80	80	40	80	20
VD005	56278/2178	80	60	40	80	80
VD009	56278/2177	80	60	40	80	80
VD010	56278/2245	80	80	40	80	60
VD011	56278/2182	80	80	80	80	60
VD012	56278/2176	80	80	80	80	80
VD001	56829/860	80	80	80	80	80
VD003	56829/843	20	80	80	80	20
VD004	56829/870	80	20	60	80	20
VD005	56829/826	80	80	80	80	80
VD009	56829/891	80	60	80	80	80
VD010	56829/741	80	80	40	20	60
VD011	56829/740	20	80	80	80	80
VD012	56829/858	80	80	80	80	80
VD001	57162/1822	80	80	80	80	80
VD003	57162/1824	20	60	60	80	20
VD004	57162/1963	80	60	60	80	20
VD005	57162/1976	80	60	80	80	80
VD009	57162/1916	20	40	80	80	80
VD010	57162/1964	80	80	80	80	60
VD011	57162/1977	80	80	40	80	80
VD012	57162/2013	80	80	80	80	80
VD001	57612/637	80	80	40	80	80
VD003	57612/665	20	80	40	80	20
VD004	57612/588	80	60	20	80	20
VD005	57612/832	20	80	20	80	80
VD009	57612/1226	20	20	20	80	80
VD010	57612/589	20	80	20	80	60
VD011	57612/654	20	60	20	80	80
VD012	57612/616	80	80	20	80	80

Fonte: Almeida (2012)

### 3.4 Comparação Interíndices das Amostras do IGAM

A comparação interíndices foi realizada para trinta e duas amostras coletadas em oito pontos de coleta, durante quatro campanhas no município de Verdelândia (MG), utilizando-se os três métodos: NSF-WQI (CETESB, 2007); IQASB (Almeida, 2007), e e-IQUAS proposto neste trabalho. Os resultados estão apresentados no Quadro 5.

Para este conjunto de amostras, o índice e-IQUAS apresentou resultados mais restritivos. A convergência do e-IQUAS com os resultados do NSF WQI e do IQASB ocorreu em 50% das amostras do IGAM, enquanto o índice NSF WQI produziu resultados semelhantes ao IQASB em 94% das avaliações (divergiram em apenas duas amostras).

Uma explicação para os valores mais restritivos do e-IQUAS está associada ao parâmetro cloreto. As águas do município de Verdelândia, localizado em região semiárida, apresentam altas concentrações de cloreto. Assim, é importante destacar que o e-IQUAS, ao utilizar o método do “operador mínimo” é sensível para apontar a forte presença deste elemento químico nos pontos estudados. Com relação ao cloreto, embora a “World Health Organization” / Organização Mundial de Saúde (WHO vs. OMS) não recomende valores de referência (WHO, 2011), estudos de Schmoll et al. (2006) indicam que, teores elevados podem deixar a água desagradável, com dificuldade de atender até mesmo às necessidades domésticas mais básicas e podem vir a causar impactos na saúde humana.

**Quadro 5** - Comparativo interíndices - IGAM**Chart 6** - Interindices Comparison - IGAM

Estação	Procedência da Amostra	Registro	Data Coleta	e-IQUAS		WQINSF		IQASB	
VD001	COMUNIDADE SEBO	56278/2465	28.10.2007	80	Ótima	97,47	Excelente	97,27	Ótima
VD001	COMUNIDADE SEBO	56829/860	24-04-2008	80	Ótima	97,02	Excelente	95,93	Ótima
VD001	COMUNIDADE SEBO	57162/1822	11-09-2008	80	Ótima	97,37	Excelente	97,21	Ótima
VD001	COMUNIDADE SEBO	57612/637	11-03-2009	40	Regular	96,77	Excelente	95,49	Ótima
VD003	FAZENDA SAPÉ	56278/2743	25.11.2007	20	Ruim	93,78	Excelente	88,75	Ótima
VD003	FAZENDA SAPÉ	56829/843	23-04-2008	20	Ruim	0,00	Ruim	0,00	Péssima
VD003	FAZENDA SAPÉ	57162/1824	22-08-2008	20	Ruim	0,00	Ruim	0,00	Péssima
VD003	FAZENDA SAPÉ	57612/665	13-03-2009	20	Ruim	0,00	Ruim	0,00	Péssima
VD004	CAETITÉ/ODON	56278/2179	30.09.2007	20	Ruim	98,95	Excelente	87,13	Ótima
VD004	CAETITÉ,ODON	56829/870	25-04-2008	20	Ruim	94,31	Excelente	79,25	Boa
VD004	CAETITÉ,ODON	57162/1963	03-09-2008	20	Ruim	96,31	Excelente	86,77	Ótima
VD004	CAETITÉ,ODON	57612/588	08-03-2009	20	Ruim	95,98	Excelente	84,40	Ótima
VD005	LAGOA DE PEDRA	56278/2178	30.09.2007	40	Regular	97,58	Excelente	92,47	Ótima
VD005	LAGOA DE PEDRA	56829/826	22-04-2008	80	Ótima	95,84	Excelente	93,48	Ótima
VD005	LAGOA DE PEDRA	57162/1976	04-09-2008	60	Boa	98,17	Excelente	94,70	Ótima
VD005	LAGOA DE PEDRA	57612/832	24-03-2009	20	Ruim	0,00	Ruim	0,00	Péssima
VD009	AMARGOSO, FAZENDA VOLTA GRANDE	56278/2177	30.09.2007	60	Boa	98,18	Excelente	95,08	Ótima
VD009	AMARGOSO, FAZENDA VOLTA GRANDE	56829/891	29-04-2008	60	Boa	95,57	Excelente	87,20	Ótima
VD009	AMARGOSO, FAZENDA VOLTA GRANDE	57162/1916	01-09-2008	20	Ruim	0,00	Ruim	0,00	Péssima
VD009	AMARGOSO, FAZENDA VOLTA GRANDE	57612/1226	10-05-2009	20	Ruim	0,00	Ruim	0,00	Péssima
VD010	FAZENDA SÃO JOSÉ	56278/2245	04.10.2007	60	Boa	98,06	Excelente	91,90	Ótima
VD010	FAZENDA SÃO JOSÉ	56829/741	14-04-2008	20	Ruim	90,08	Boa	81,78	Ótima
VD010	FAZENDA SÃO JOSÉ	57162/1964	03-09-2008	60	Boa	98,40	Excelente	92,05	Ótima
VD010	FAZENDA SÃO JOSÉ	57612/589	08-03-2009	20	Ruim	0,00	Ruim	0,00	Péssima
VD011	ASSENTAMENTO BOA ESPERANÇA, LT 24	56278/2182	01.10.2007	60	Boa	98,67	Excelente	94,06	Ótima
VD011	ASSENTAMENTO BOA ESPERANÇA, LT 24	56829/740	14-04-2008	20	Ruim	0,00	Ruim	0,00	Péssima
VD011	ASSENTAMENTO BOA ESPERANÇA, LT 24	57162/1977	04-09-2008	60	Boa	98,88	Excelente	95,86	Ótima
VD011	ASSENTAMENTO BOA ESPERANÇA, LT 24	57612/654	12-03-2009	20	Ruim	0,00	Ruim	0,00	Péssima
VD012	ASSENTAMENTO ARAPUÁ	56278/2176	30.09.2007	80	Ótima	98,96	Excelente	95,64	Ótima
VD012	ASSENTAMENTO ARAPUÁ	56829/858	24-04-2008	80	Ótima	99,20	Excelente	96,56	Ótima
VD012	ASSENTAMENTO ARAPUÁ	57162/2013	09-09-2008	80	Ótima	98,60	Excelente	96,66	Ótima
VD012	ASSENTAMENTO ARAPUÁ	57612/616	10-03-2009	20	Ruim	97,12	Excelente	94,14	Ótima

Fonte: Almeida (2012)

Outros que contribuíram para as diferentes avaliações entre os índices foram os parâmetros ferro (07 amostras), manganês (07 amostras), alumínio (06 amostras), e o nitrato (01 amostra). Estas substâncias apresentaram teores acima dos limites recomendados para águas de boa qualidade para o consumo humano, pela Organização Mundial de Saúde e pela legislação vigente, ou seja, pela Resolução CONAMA N° 396/2008 (BRASIL,

2008).

Verificou-se com este exercício de comparação, que o “Operador Mínimo” do e-IQUAS funcionou como um indicador de atenção quanto a qualidade da água, enquanto que os outros índices só conseguiram refletir esta tendência quando houve o efeito de um somatório de parâmetros apontando na mesma direção.

## 4 CONCLUSÕES

### ✓ Quanto aos aspectos da construção do e-IQUAS

O Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (e-IQUAS) é flexível na inclusão de parâmetros e no estabelecimento das categorias de qualidade, tendo aplicação prática imediata. O resultado divulgado de forma descritiva ou associando-se a faixa do valor índice às cores de qualidade pode ser muito útil ao público não técnico.

O e-IQUAS utiliza o método do “Operador Mínimo”; atendendo aos requisitos de: acomodar facilmente novas variáveis, evitar “eclipse” (zonas onde a contagem do índice “esconde” o teor inaceitável de um ou mais parâmetros) e ter sensibilidade a pequenas alterações na qualidade da água.

O e-IQUAS é adequado para avaliação da qualidade da água subterrânea pois mostrou-se fácil de aplicar, equilibrado do ponto de vista de complexidade técnica e totalmente flexível à inclusão de qualquer variável.

### ✓ Quanto aos limites e possibilidades do índice

O e-IQUAS não tem prazo de validade, pois novas substâncias ou novas informações sobre substâncias prejudiciais podem ser inseridas e atualizadas, tanto na lista de novos parâmetros quanto nos limites das categorias.

Enquanto a formulação do e-IQUAS permite flexibilidade no uso de parâmetros, liberdade no estabelecimento das categorias de qualidade, e abrangência quanto ao uso da água, a intervenção por parte do usuário está intrinsecamente relacionada com seu grau de responsabilidade na geração da informação e a confiabilidade dos dados de qualidade obtidos.

Um índice funciona complementando o sistema de indicadores, assim, não pode e não deve ser a única fonte para a tomada de decisões sobre o corpo hídrico.

### ✓ Quanto aos resultados da aplicação do e-IQUAS

A aplicação do e-IQUAS comprovou que se mostra apropriado para comunicar ao

público em geral a qualidade da água de mananciais subterrâneos, podendo ser incorporado ao conjunto de indicadores ambientais, ampliando assim a sua utilização. Para as amostras obtidas em poços de produção do sistema de abastecimento de água que abastece localidades do município de Camaçari, na Região Metropolitana de Salvador (RMS), fornecidas pela Embasa – Bahia, os resultados do e-IQUAS se situaram entre 60 (boa) e 80 (ótima); enquanto para os índices NSF-WQI e IQASB todos os resultados indicaram qualidade “Ótima” ou “Excelente” (na nomenclatura NSF-WQI). Os resultados revelaram que o e-IQUAS apresenta indicação de qualidade mais restritiva.

Para as amostras obtidas no município de Verdelândia, estado de Minas Gerais, fornecidos pelo IGAM, a comparação interíndices mostrou que a convergência do e-IQUAS com os resultados do NSF WQI e do IQASB ocorreu em 50% das amostras do IGAM, enquanto o índice NSF WQI produziu resultados semelhantes ao IQASB em 94% das avaliações (divergiram em apenas duas amostras).

Na comparação, o e-IQUAS mostrou-se sensível a todos os parâmetros físico-químicos. Por exemplo, os altos teores de parâmetros como: cloreto, ferro, manganês, alumínio e nitrato, incorporados na avaliação do e-IQUAS, nem sempre são percebidos nos outros índices. Assim sendo, fica evidente a fragilidade dos índices NSF WQI e do IQASB, que são inflexíveis em acomodar novas variáveis.

## REFERÊNCIAS

ABBASI, T.; ABBASI, S. A. **Water quality indices**. Great Britain: Elsevier B.V., 2012. 362 p. ISBN: 978-0-444-54304-2.

ALMEIDA, R.A.S. **Índice de qualidade de águas subterrâneas destinadas ao uso na produção de água potável**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica. Salvador, BA, 2007.

ALMEIDA, R.A.S. **Índice de qualidade de uso**

**da água subterrânea (e-IQUAS):** Uma metodologia de modelagem numérica flexível, Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica. Salvador, BA, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução Nº 396, de 3 de Abril de 2008.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

BROWN, R.M., McCLELLAND, N. I., DEININGER, R. A., TOZER, R.G. A Water quality index: do we dare? **Water and Sewage Works**, v.117, n.10, p. 339-343, 1970.

CADILHAC, L. , ALBINET, M. (Coord). Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines - Rapport de présentation, Version 0, **Agences de l'eau et le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable**, France, 2003. Disponível em [http://rdb.eaurmc.fr/eaux\\_souterraines/fichiers-telechargeables/SEQSOUT0803.pdf](http://rdb.eaurmc.fr/eaux_souterraines/fichiers-telechargeables/SEQSOUT0803.pdf). Acesso em: 26 de julho de 2005.

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian water quality guidelines for the protection of Water Quality Index 1.0, User's Manual. In: **Canadian environmental quality guidelines**, 1999, Canadian Council of aquatic life: CCME Ministers of the Environment, Winnipeg, 2001. Disponível em [http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi\\_usermanualfc tsht\\_e.pdf](http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_usermanualfc tsht_e.pdf) Acesso em 10. Jan.2011

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo : 2007-2009** [recurso eletrônico] / Equipe técnica Rosângela Pacini Modesto... [et al.]. São Paulo: CETESB, 2010. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/publicacoes.asp> Acesso em 12 de janeiro de 2011

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, São Paulo. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/infoaguas/> Acesso em: 12 de agosto de 2015.

DEININGER, R.A., LANDWEHR, J.M. **A Water Quality Index for Public Water Supplier.**

Unpublished report. School of Public Health, University Of Michigan, Ann Arbor, 1971.

DINIUS, S. H. Design of an Index of Water Quality. **Water Resources Bulletin WARBAQ**, v. 23, n. 5, p 833-843, October 1987. Department of the Interior Project A-054-ALA – Disponível em: <http://mdl.csa.com/partners/viewrecord.php?requester=gs&collection=ENV&recid=8804284&q=&uid=789169512&setcookie=yes> Acesso em: 02 de dezembro de 2006.

FLORES, J. C. Comments the use of water quality indices to verify the impact of Córdoba City (Argentina) on Suquia river. **Water Research**, v. 36, n. 18, November 2002, p. 4666-4666.

HORTON, R. K. A index number system for rating water quality. **Journal Water Pollution Control Federation**, 37, 300-305, 1965.

IGAM. **Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Monitoramento das Águas Subterrâneas de Minas Gerais.** Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Volume II. 2010.

NSF – NATIONAL SANITATION FOUNDATION. Disponível em <http://www.nsf.org> Acesso em: 28 de agosto de 2004.

OLIVEIRA, I. B.; NEGRAO, F. I. ; SILVA, A. G. L. S. . Mapeamento dos Aquíferos do Estado da Bahia Utilizando o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas - IQNAS. **Águas Subterrâneas** (São Paulo), v. 21, p. 123-137, 2007.

SCHMOLL, O., HOWARD, G., CHILTON, J., CHORUS, I., **Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking-water Sources** World Health Organization. IWA Publishing, London. ISBN:1843390795, 2006.

SIEVERS, E. **Nutrient minerals in drinking water:** Implications for the nutrition of infants and young children. World Health Organization, 2004. Disponível em [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/nutinfants/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/nutinfants/en/) Acesso em: 12 de janeiro de 2012.

SILVA G. S. da, JARDIM W. F., Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida

aquática aplicado ao Rio Atibaia, região de Campinas / Paulínia – SP. **Revista Química Nova**, v. 29, n. 4, 2006, p.689-694.

STIGTER, T.Y.,RIBEIRO,L.,CARVALHO D.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**, v. 327, n. 3-4, 578-591, 20 August 2006. Disponível em <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=17994223> Acesso em 13 de março de 2011.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO - **Guidelines for drinking-water quality** - 4th ed. ISBN 9789241548151 Disponível em <[http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf)> Acesso em 25 de agosto de 2011.

ZAPOROZEC, A. Graphical Interpretation of Water-Quality Data. **Ground Water**, 1972, v. 10, n. 2, 32-43. doi: 10.1111/j.1745-6584.1972.tb02912.x