

ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Juliana Magalhães Menezes¹; Rachel Bardy Prado²; Gerson Cardoso da Silva Jr.³ e Rodrigo Tavares dos Santos⁴

¹ Departamento de Geografia da Universidade Federal Fluminense – Pólo dos Campos dos Goytacazes R. José do Patrocínio, 71, Centro, Campos dos Goytacazes-RJ. CEP: 28010385; juliana_menezes@id.uff.br

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Solos – Rua Jardim Botânico, 1024, Jardim Botânico, Rio de Janeiro, CEP: 22460-000; rachel@cnpq.embrapa.br

³ Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro; gerson@acd.ufrj.br

⁴ Departamento de Análise da BBDTVM; rodrigo.tavares@bb.com.br

ABSTRACT

GROUNDWATER QUALITY INDEX

Nowadays, the groundwater sources are very important to supply population water uses, considering the water scarcity resulted from surface water pollution and others human impacts. Then, the present study develops a Groundwater Quality Index for human consumption (GWQI_{HC}) for use in areas of crystalline aquifers with agricultural use, taking as case study the São Domingos River Basin in the Northwest of Rio de Janeiro State, Brazil. For this, shallow and deep well were sampled from São Domingos River Basin in 2004. Many parameters were analyzed to each sample. The results were compared to groundwater quality limits established by environmental laws. After they were applied to the GWQI_{HC} and this Index was compared to others. The main steps to build the index were: 1) selection of parameters to specify the index; 2) normalization of data by boolean logic; 3) establishment of water type classes. From the sum of each equivalent class, wells were distributed in water quality categories: Excellent, Good and Requires treatment, (grouping samples with some inconformity related to potability standards) and Not suitable for drinking (grouping samples with some toxic parameter). The GWQI_{HC} grouped most samples in Requires treatment category, about 80%. Few samples were classified as Not suitable for drinking for human consumption, only 15%. No samples, however, was classified as Excellent, and this absence of a direct effect of this class definition, which is rigorous. That is, in all sampling points at least one parameter had values above the guide level. Only 2,5% were classified as Good. The GWQI_{HC} proved to be restrictive and coherent with previous results, since various parameters were found to be in unconformity with the adopted legal standards.

Key words: agriculture, crystalline aquifer, water quality index.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, com a escassez de água, a importância dos recursos hídricos subterrâneos é crescente, pois funcionam como reservatório do qual se pode extrair água de boa qualidade para o abastecimento de água potável e para utilização na indústria e na agricultura (CCE, 2003). Falkenmark (2005) estimou que um terço da população do mundo seja dependente das águas subterrâneas.

Segundo as Nações Unidas, ao se considerar as tendências atuais, mais de 45% da população mundial não poderá contar com a quantidade mínima de água para o consumo diário em 2050. Seja em termos quantitativos ou qualitativos, a escassez de água já é realidade em muitas regiões do planeta atualmente. Sendo assim, estima-se que cerca de 1,1 bilhão de pessoas não tenham acesso a água potável, por exemplo. Nos países em desenvolvimento, esse problema aparece relacionado a 80% das mortes e enfermidades (FAO, 2007).

A degradação dos recursos hídricos e as perspectivas de escassez trazem à tona a necessidade de uma interpretação eficaz da qualidade das águas. É portanto necessário avaliar e monitorar, de forma objetiva e adequada, a qualidade das águas com o uso de poucos e significativos parâmetros para diferentes áreas e diversos fins. Tal necessidade é um desafio que tem sido enfrentado, na maior parte das vezes, com a otimização do monitoramento e utilização de Índices de Qualidade de Água (IQA), que consiste no emprego de variáveis que se correlacionam com as alterações ocorridas numa determinada bacia, sejam estas de origem antrópica ou natural (Toledo & Nicoletta, 2002).

Os IQAs têm sido mais comumente aplicados para águas superficiais e pouco se tem discutido sobre um IQA específico para águas subterrâneas (IQAS). Além disso, a maior parte dos índices existentes foi desenvolvida e testada em países de clima temperado e não tropical, como o Brasil.

Desta forma, a principal questão investigada neste estudo refere-se aos IQAS, mais especificamente sobre o algoritmo que deve ser a base para a elaboração de um índice. Alguns trabalhos (Rizzi, 2001; Almeida, 2007) aplicaram índices com algoritmos distintos, mas parâmetros iguais, e apresentaram resultados semelhantes e/ou proporcionais. Em outras pesquisas constatou-se que os resultados não

refletiam a degradação existente nos recursos hídricos subterrâneos (Prado & Di Lullo, 2007; Cristo *et al.*, 2008, Menezes *et al.*, 2008b; Souza *et al.*, 2008), ora pelo uso do algoritmo selecionado, ora pela escolha dos parâmetros.

Sendo assim, o **objetivo geral** do trabalho é apresentar um IQAS desenvolvido para avaliar a qualidade da água para consumo humano (potabilidade) que possa ser aplicado em áreas de aquíferos cristalinos sob uso agrícola, tomando como área piloto a Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD).

Os aquíferos cristalinos possuem enorme importância, nem tanto pela quantidade de água que podem oferecer, mas pela localização, uma vez que núcleos populacionais importantes estão assentados sobre esse tipo de terreno (Taylor Howard, 1999; Tröger *et al.*, 2003; Neves & Albuquerque, 2004; Bocanegra & Silva Jr., 2007).

O índice de qualidade de água é uma ferramenta matemática empregada para transformar vários parâmetros em uma única grandeza, que represente o nível de qualidade da água. O uso de um IQA é prático e é uma diretriz de condução, pois qualquer programa de acompanhamento de qualidade da água, ao longo do tempo e do espaço, 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).

Índice é a agregação de dois ou mais parâmetros. De acordo com Farias *et al.* (2004), índice ou número índice é um quociente que expressa a variação relativa entre os valores de qualquer medida. O IQA muitas vezes é utilizado como um subindicador, como por exemplo, para cálculos de Índice de Qualidade de Bacia Hidrográfica (Germano *et al.*, 2005) ou Indicador de Salubridade Ambiental, que é um índice utilizado para análise intraurbana, por bairro, como uma contribuição para a gestão urbana (Menezes, 2007). Em ambos os casos citados o emprego do IQA tem se mostrado muito importante.

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, uso específico, 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 (Superficial) para fins de Abastecimento Público (IAP) (CETESB, 2007). Em Menezes *et al.* (2010) é possível encontrar uma revisão sobre diversos índices de qualidade de água.

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área piloto está localizada no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, é a Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos, com aproximadamente 280 km², contemplando integralmente o município de São José de Ubá e pequena parte (10%) de Itaperuna (Figura 1). O rio São Domingos é afluente do Rio Muriaé, fazendo parte do Complexo Hidrográfico do Rio Paraíba do Sul (federal).

A BHRSD tem sofrido com a escassez e alteração da qualidade natural dos seus recursos hídricos. A insuficiência de água ocorre devido à distribuição irregular das chuvas ao longo do ano, ao pequeno percentual de cobertura vegetal, à erosão dos solos e ao assoreamento dos corpos d'água, dentre outros possíveis fatores. Estes são majoritariamente consequência da ocupação não planejada das terras e dos sistemas agrícolas não-preservacionistas que têm vigorado até o momento na região (Freitas *et al.*, 2001).

As águas superficiais não são mais suficientes para atender à demanda dos produtores rurais e, para o seu aproveitamento, os produtores não se furtam em interferir no fluxo natural dos corpos d'água. Para isso constroem pequenas barragens ao longo dos córregos e as áreas alagadas incrementam as perdas por evaporação, diminuindo o potencial hídrico dos mananciais (Prado *et al.*, 2005). A alternativa para as práticas agropecuárias e para o abastecimento doméstico é então a água subterrânea. Porém, o ciclo hidrológico encontra-se alterado e a recarga dos aquíferos encontra-se também prejudicada (Menezes *et al.*, 2007). Cerca de 60% do abastecimento de água ocorre por meio de poços (públicos ou particulares) ou nascentes na propriedade (IBGE, 2000), utilizados de um modo geral sem nenhum controle efetivo por parte do poder público.

O **clima** da Região Noroeste Fluminense, baseado na classificação de Köppen, é o Aw, tropical quente e úmido com estações seca (inverno) e chuvosa (verão) bem marcadas (Gonçalves *et al.*, 2006). Em relação aos tipos de **solos**, nas baixadas (várzeas) localizam-se os Gleissolos e nas posições ligeiramente mais elevadas os Planossolos e Cambissolos. Nas áreas de morros e montanhas, estão os Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos que gradativamente dão lugar a Cambissolos e a Neossolos Litólicos à medida que o relevo fica mais acentuado (Lumbreras *et al.*, 2006). Quanto ao uso e cobertura da terra da BHRSD a classe Pastagem é a predominante, ocupando 88,30% de sua área (Fidalgo & Abreu, 2005). Do ponto de vista geológico, ocorrem dois grandes Domínios, o Juiz de Fora e o Cambuci. No Domínio Juiz de Fora, predominam rochas ortoderivadas granulíticas; no Domínio Cambuci, sobressai um leucocharnockito e estão presentes, subordinadamente, anfíbolitos, mármore e gnaiss migmatítico. De forma geral, a mineralogia básica encontrada na BHRSD é composta por plagioclásio, quartzo, ortoclásio, hiperstênio, hornblenda e biotita. Ocorrem, também, granada e microclina. Raras lentes de calcissilicáticas podem

aparecer (Mansur *et al.*, 2006). Dois tipos de aquíferos foram identificados por Ferreira *et al.* (2006), em uma sub-bacia da área de estudo (Barro Branco): o sedimentar (espessuras de 2 a 12) e o fissural (profundidade superior a 30).

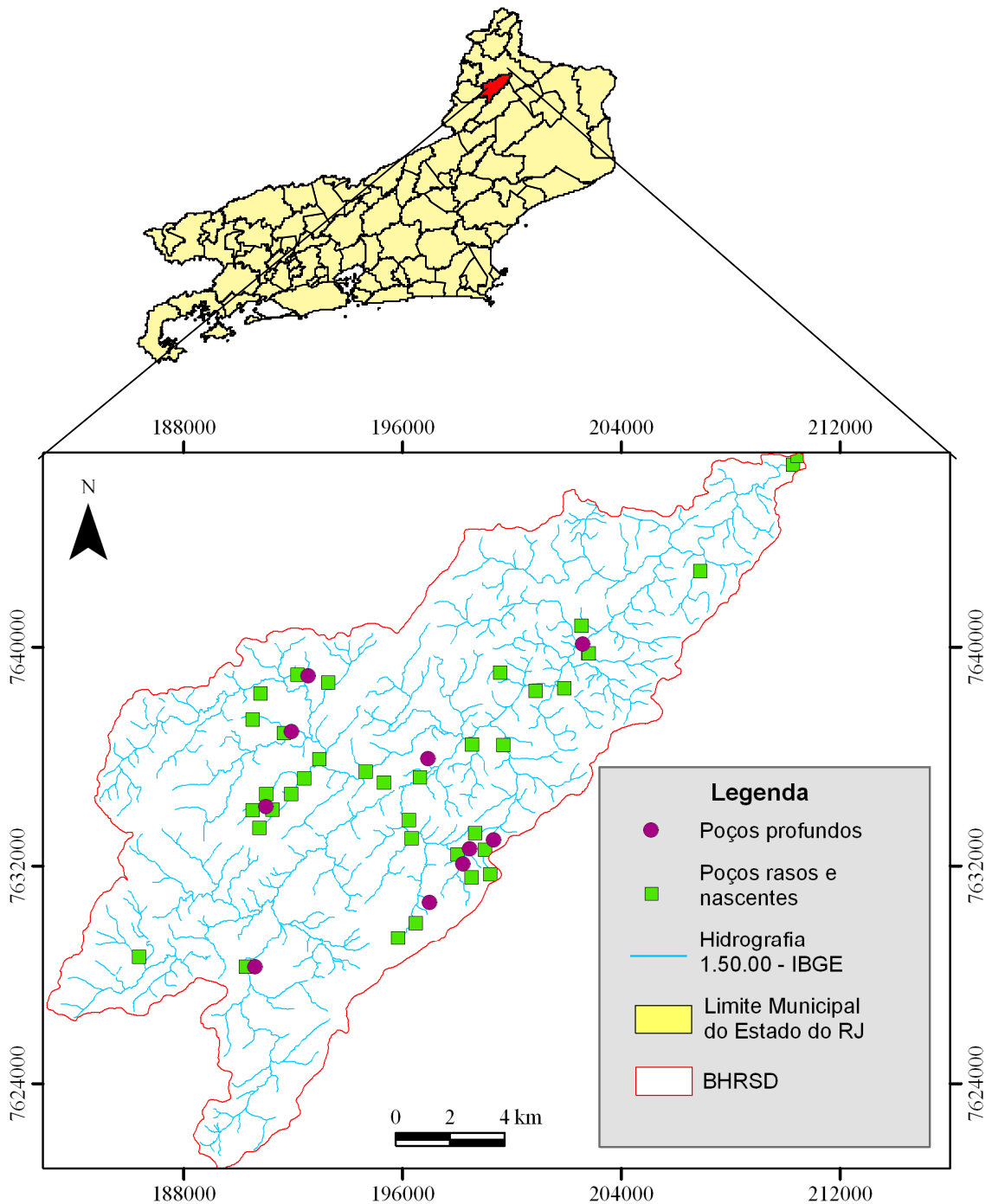


Figura 1: Mapa com a divisão municipal do Estado do Rio de Janeiro (IBGE) destacando a BHRSD, assim como a localização dos pontos de amostragem de água na bacia.

A coleta de água ocorreu em outubro de 2004 e contemplou 37 pontos de águas de circulação rasa (nascentes e poços escavados) e 10 poços tubulares, o que permitiu a obtenção *in situ* de valores de temperatura, pH, Condutividade Elétrica-CE e alcalinidade total (método volumétrico com ampolas Titrets® da Chemetrics). Em laboratório foram analisados cátions, ânions, materiais sólidos na água, coliformes termotolerantes, DBO, OD, organoclorados e organofosforados. Todas as análises seguiram metodologia da APHA (1998). Maiores detalhes podem ser obtidos em Menezes *et al.* (2009).

De acordo com os resultados obtidos por Menezes *et al.* (2009) as águas da BHRSD apresentam certo grau de comprometimento em relação a sua qualidade, já que diversas amostras se apresentaram em desacordo com os limites estabelecidos pela legislação brasileira, Resolução CONAMA 357/05 (classe 2), para as águas superficiais, e CONAMA 396/08 (limites para consumo humano), para as águas subterrâneas. As causas podem ser tanto naturais como antrópicas. Os parâmetros Al e Fe podem estar relacionados à geologia da área, no entanto o Fe também pode estar relacionado à ocorrência de ferrobactérias ou mesmo à corrosão do revestimento ou filtro do poço; já os valores dos parâmetros OD, DBO, nitrato e coliformes termotolerantes, aparentemente, são reflexos do uso e da ocupação do solo na BHRSD, dos intensos processos de eutrofização que as águas da bacia vêm sofrendo, não só com lançamentos dos resíduos agrícolas, mas também com esgotos e criação de animais. O excesso de boro, manganês, Lindano e α -Endossulfan está provavelmente relacionado diretamente com as atividades agrícolas.

Os tipos hidroquímicos predominantes na BHRSD são, respectivamente, o bicarbonatado-sódico e o bicarbonatado-misto para as águas dos poços escavados e tubulares. Para esse último tipo de captação, as águas bicarbonatadas-cálcicas também são importantes (Menezes *et al.*, 2007).

2.2 CONSTRUÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA CONSUMO HUMANO (IQAS_{CH})

2.2.1 ESCOLHA DOS PARÂMETROS

O objetivo deste índice é avaliar a qualidade das águas subterrâneas de terrenos cristalinos sob uso agrícola, para isso foi necessário pesquisar parâmetros que, frequentemente, podem se apresentar acima do VMP (valor máximo permitido), com a presença dessas duas características, ou seja, que podem ter sua origem relacionada aos materiais geológicos percolados ou às atividades agrícolas praticadas na área de estudo. Para isso os estudos se concentraram em dados da literatura, de trabalhos que tratam de contaminação das águas subterrâneas, dos Padrões de Potabilidade de diversos países, incluindo o Brasil, e dos resultados obtidos na própria BHRSD, procurando incluir no índice, parâmetros que se apresentaram em inconformidade com maior frequência na bacia. Buscou-se também evitar inserir no IQAS_{CH} duas ou mais variáveis independentes fortemente relacionadas, com relações lineares quase exatas, para que não ocorressem efeitos de multicolinearidade. Nas Tabelas 1 e 2 são identificados os parâmetros que foram selecionados, juntamente com as respectivas justificativas.

O cálculo do Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano (IQAS_{CH}) ocorreu em duas etapas independentes, mas complementares. Na primeira, foram considerados apenas parâmetros que nas concentrações que naturalmente são observadas, não oferecem riscos a saúde humana e aos animais domésticos, sendo considerados como não-tóxicos (Condutividade Elétrica-CE, Dureza, pH, Turbidez, NO₃⁻, Coliformes Termotolerantes, Ferro e Manganês). Na segunda etapa do índice são considerados parâmetros tóxicos (Arsênio, Bário, Fluoreto, Pesticidas e Σ Pesticidas), cuja presença pode comprometer a saúde humana e aos animais domésticos. Os parâmetros tóxicos foram selecionados com base nos resultados obtidos na BHRSD, pois a proposta deste IQAS_{CH} é que sejam analisados os parâmetros que são prováveis de aparecer na área analisada, caso a caso, principalmente em relação aos pesticidas. Optou-se por trabalhar tanto com os pesticidas individualmente quanto com o somatório de pesticidas, já que nem todos os compostos possuem VMP, assim como é feito no SEQ-Eaux Souterraines.

Nem todos os pesticidas que tratam da potabilidade da água são mencionados nas legislações, mas algumas normas (Norma 80/778/CEE, Norma 98/83/CE) e o índice SEQ-Eaux Souterraines limitam o total de pesticidas na água. Como o índice desenvolvido nesse trabalho propõe-se a ser de aplicação local, o recomendado é que seja realizada uma pesquisa identificando os principais pesticidas e princípios ativos utilizados na área de interesse, visando subsidiar a seleção dos compostos que devem ser analisados e monitorados e, conseqüentemente, quais devem entrar na composição do IQAS_{CH}, desde que os limites estejam estabelecidos por lei, ou que sua presença em qualquer dose possa comprometer a saúde humana ou de animais domésticos. Tal pesquisa foi realizada pela Embrapa Solos na BHRSD, porém, não foi possível analisar todos os compostos desejados por motivos de ordem financeira, pois estas análises possuem custo elevado. Por isso no IQAS_{CH} proposto foram considerados individualmente, os pesticidas identificados na BHRSD (que são elencados da Tabela 4) e a soma total destes pesticidas.

Entende-se por pesticidas: acaricidas (controle de ácaros), bactericidas (controle de bactérias), fungicidas (controle de fungos), herbicidas (controle de ervas daninhas), inseticidas (controle de insetos), nematocidas (controle de nematóides -vermes), algicidas orgânicos (controle de algas), rodenticidas orgânicos (controle de ratos e roedores em geral), controladores orgânicos de secreções viscosas, produtos afins nomeadamente, reguladores do crescimento e seus metabólitos, produtos de degradação e de reação importantes (Norma 98/83/CE). Os pesticidas de forma geral podem gerar tumores benignos e malignos; alterações neurológicas; dermatoses; disfunções gastrointestinais, pulmonares e hepáticas e problemas cardiorrespiratórios.

Tabela 1: Parâmetros selecionados para a **Primeira parte** do IQAS_{CH}.

Parâmetros	Unidade	Grupo de Alteração ¹	Justificativa ^{2 ou 3}
Condutividade Elétrica	µS/cm à 25 °C	Mineralização e Salinidade	- Pode afetar a aceitabilidade da água - A Condutividade (CE, µS/cm) pode ser obtida em campo e apresenta relação com a concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (STD, mg/l), sendo possível estimar um parâmetro em função do outro (STD ≈ 0,640xCE ou C ≈ 1,5625xSTD) - Indicado pelo CONAMA 396/08 para monitoramento
Dureza	MG/L CaCO ₃	Mineralização e Salinidade	- Pode afetar a aceitabilidade da água para diversos usos incluindo o consumo humano - Capacidade da água em neutralizar o sabão, principalmente pelo efeito do Cálcio e Magnésio
pH		Mineralização e Salinidade	- Sem preocupação para a saúde nos níveis comumente encontrados, mas é um importante parâmetro operacional da qualidade da água - Indicado pelo CONAMA 396/08 para monitoramento
Turbidez	UT	Partículas em Suspensão	- Maiores níveis de turbidez são muitas vezes associados a níveis mais elevados de microorganismos causadores de doenças, como vírus, parasitas e algumas bactérias - Proveniente do escoamento da água no solo - Indicado pelo CONAMA 396/08 para monitoramento - Pode ser obtida em campo
Nitrato	mg/L	Nitrato	- Pode gerar a metahemoglobinemia, que pode ser fatal em crianças - Originário de fertilizantes; lixiviação de fossas sépticas, esgotos, erosão dos depósitos naturais - Indicado pelo CONAMA 396/08 para monitoramento
Coliformes Termotolerantes	Nº/100mL	Microorganismos	- Não é uma ameaça em si, é utilizado para indicar se outras bactérias potencialmente prejudiciais podem estar presentes - São provenientes de fezes humanas e de animais - Indicado pelo CONAMA 396/08 para monitoramento
Ferro	mg/L	Ferro e Manganês	- Abundante nas rochas cristalinas - Pode ser indicativo de ocorrência de ferrobactérias ou mesmo corrosão do revestimento do filtro ou do poço - Não causa problemas à saúde nos níveis comumente encontrados, porém o sabor e a aparência da água são afetados
Manganês	mg/L	Ferro e Manganês	- Pode ocorrer naturalmente nas águas subterrâneas - Faz parte da composição de alguns pesticidas - Afeta a aparência, sabor ou odor da água - A intoxicação crônica por manganês pode acarretar cefaléia, lassidão, sonolência, dores articulares e musculares

¹SEQ-Eaux Souterraines (Cadilhac & Albinet, 2003); ²USEPA - National Primary Drinking Water Standards (2009); ³WHO - Guidelines for Drinking-water Quality (2006).

Tabela 2: Parâmetros selecionados para a Segunda etapa do IQAS_{CH}.

Parâmetros	Unidade	Grupo de Alteração ¹	Justificativa ^{2 ou 3}
Arsênio	mg/L	Elemento Poluente	- Detectado acima do VMP para consumo humano em São José de Ubá (área de estudo) - Lesões de pele, distúrbios circulatórios, alto risco de câncer - Origem associada: erosão de depósitos naturais, pesticidas, mineração, fundição (ouro, chumbo, cobre e níquel), produção de ferro e aço, combustão de carvão, fabricação eletrônica
Bário	mg/L	Elemento Poluente	- O íon bário é um estimulante muscular e é muito tóxico para o coração, podendo causar fibrilação ventricular. Os sintomas de envenenamento com bário são salivação excessiva, tremores e convulsões, ritmo cardíaco acelerado, hipertensão, paralisia dos braços e das pernas, hemorragias internas e eventualmente a morte - Origem associada: Pesticidas, resíduos de perfuração, efluentes de metais de refinarias, erosão de depósitos naturais
Fluoreto	mg/L	Mineralização e Salinidade	- O excesso pode gerar doença nos ossos (dor e fragilidade óssea). As crianças podem sofrer de dentes manchados - Proveniente de resíduos de fertilizantes, ou mesmo da água aditivada para dentes fortes, ou erosão de depósitos naturais
Pesticidas (Individual e Somatório⁴)	µl	Pesticidas	- Detectado em São José de Ubá (área de estudo) - Organoclorados podem gerar tumores hepáticos e de tireóide, benignos e malignos, alterações neurológicas, dermatoses, rinites alérgicas, disfunções gastrointestinais, pulmonares e hepáticas - Organofosforados podem gerar paralisias, neoplasia, problemas cardiorrespiratórios - Pesticidas são utilizados em São José de Ubá

¹SEQ-Eaux Souterraines (Cadilhac & Albinet, 2003); ²USEPA - National Primary Drinking Water Standards (2009); ³WHO - Guidelines for Drinking-water Quality (2006); ⁴Pesticidas (Total): a soma de todos os pesticidas detectados e quantificados no processo de controle.

2.2.2 NORMALIZAÇÃO DOS DADOS

A normalização dos dados foi realizada com a utilização da lógica booleana, pois o índice foi construído de forma não ponderada, considerando igualdade de importância entre os parâmetros que entram no cálculo, já que o objetivo foi avaliar a qualidade para consumo humano, uso este restritivo. Para tal aplicação, foi necessário:

- a) Construir a tabela de dados, elaborada a partir dos resultados das análises químicas;
- b) IQAS_{CH} Primeira Etapa: Construir a tabela de contingência disjuntiva, exemplificada na Figura 2, com os resultados dos parâmetros escolhidos para compor o IQAS_{CH};
 - b_i) A padronização para cada um dos poços em cada parâmetro foi realizada por meio da função de lógica, sendo: 0 para a não ocorrência e 1 para a ocorrência;
 - b_{ii}) As amostras, por parâmetro, foram distribuídas em uma faixa de três níveis de concentração:
 - ≤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).
- c) IQAS_{CH} Segunda Etapa: realizar os mesmos procedimentos detalhados em b e b_i, mencionados anteriormente, e distribuir as amostras, por parâmetro, em uma faixa de dois níveis de concentração:
 - <VMP (valor máximo permitido) e
 - >VMP (acima do valor máximo permitido).

A Tabela 3 apresenta um exemplo referente ao manganês, onde o valor guia é VG= 0,02 mg/L Mn⁺² e o valor máximo permitido é VMP= 0,1 mg/L Mn⁺². O valor guia, que é o nível desejável, foi retirado da Norma Européia de 1980 (80/778/CEE - Comunidade Econômica Européia) e o VMP foi extraído da Resolução CONAMA 396/08. Dessa mesma forma, todos os parâmetros utilizados na metodologia passaram por esse procedimento de padronização.

Na tabela disjuntiva completa, o número de informações existentes passou de 9 (parâmetros do 1º da Primeira Etapa do IQAS_{CH}) para 27 (considerando os parâmetros selecionados para a Segunda Etapa), aumentando assim, o nível de detalhamento da análise.

p

Indivíduos (I)	Variáveis (J)							Total
	Variável A			Variável B			(...)	
	Modalidades			Modalidades				
	J _K		
1	2	3	1	2	3	...		
1	0	1	0	1	0	0	...	J
2	1	0	0	0	0	1	...	J
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
i	1	0	0	0	1	0	..	J
Total	I _{A1}	I _{A2}	I _{A3}	I _{B1}	I _{B2}	I _{B3}	(...)	IJ

Figura 2: Representação de uma Tabela Disjuntiva Completa/TDC (modificado de Crivisqui & Villamonte, 1997).

De acordo com Flores (1975) a tabela de contingência nada mais é do que o cruzamento de várias categorias, definindo assim um conjunto de tipos ou celas, onde se conta o número de indivíduos em cada cela. De uma maneira mais formal, uma tabela de contingência a duas dimensões a $|I|$ linhas e $|J|$ colunas é simplesmente o resultado da amostragem de um vetor aleatório bidimensional (X_1, X_2) . Tal vetor deve ser discreto (=categórico) ou ter sido previamente discretizado (=categorizado) em um número finito de ocorrências possíveis através de uma classificação. Ao conjunto de valores de X_1 , convencionou-se chamar conjunto de linhas e o denotaremos sempre por I , quanto ao de X_2 , será o conjunto de J de colunas. Chama-se a isto quando o conjunto J (das propriedades) pode ser particionado em subconjuntos disjuntos J_K , de tal maneira que cada indivíduo i , possua uma e somente uma propriedade em cada J_K . Sendo p colunas a soma das modalidades de todas as variáveis.

Tabela 3: Padronização produzida para o manganês.

Poço n°	Mn ⁺² (MG/L)		
	≤VG (0,02)	VG-VMP (0,02-0,1)	>VMP (0,1)
1	0	1	0
2	0	0	1
3	1	0	0

VG: Valor Guia; VMP: Valor Máximo Permitido.

2.2.2.1 PADRÕES DE QUALIDADE ADOTADOS

De acordo com a Resolução CONAMA 396/08 padrão de qualidade é o valor limite adotado como requisito normativo de um parâmetro de qualidade de água, estabelecido com base nos valores de referência de qualidade e nos valores máximos permitidos (ou mínimos exigidos) para cada um dos usos preponderantes e parâmetro de qualidade da água é a substância ou outro indicador representativo da qualidade da água.

Os valores máximos permitidos, bem como os mínimos exigidos foram levantados nas mais diversas legislações de variados países. No Brasil pode-se citar: Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04; Resolução do CONAMA 396/08 (águas subterrâneas), CONAMA 357/05 (águas superficiais, mas também apresenta limites para consumo humano); nos Estados Unidos: National Primary Drinking Water Regulations (USEPA, 2009); na Austrália: Australian Drinking Water Guidelines 6 (NHMRC/NRMMC, 2003); na Europa: Normas 80/778/CEE e 98/83/CE e ainda o Guia da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006).

De igual modo os valores normalmente encontrados nas águas subterrâneas foram consultados em textos clássicos como os de Davis & De Wiest (1966), Custodio e Llamas (1983), Hem (1985) e Schoeller (1962), assim como os valores de Ingestão Diária Recomendada (IDR) de Proteína, Vitaminas e Minerais, em textos de farmacologia Goodman & Gilman (1967) e na Resolução nº 269/05 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária que versa sobre IDR de nutrientes.

Estas consultas foram importantes principalmente para verificar se os valores máximos permitidos não ficavam muito aquém da realidade encontrada, embora o objetivo do VMP seja de orientar/limitar a ingestão humana de dado parâmetro e não acompanhar os valores comumente encontrados. Identificou-se

que os padrões não sofrem grandes variações de uma norma para outra, muitas vezes são parecidos, sendo até mesmo replicados, principalmente, das normas americanas. Constatou-se também que em muitos parâmetros os VMPs estão relacionados a alterações na aparência, sabor ou odor da água, como por exemplo ferro, manganês e dureza. O problema é que essas informações não são fornecidas junto das normas brasileiras. Por isso que separar as substâncias tóxicas para compor parte de IQA é importante, assim não se corre o risco de classificar uma amostra de água como não potável pelo fato de o pH, para citar um exemplo, estar abaixo ou acima do intervalo estabelecido pela legislação.

Os padrões de potabilidade adotados podem ser visualizados na Tabela 4. Os VMPs foram retirados prioritariamente da legislação brasileira, específica para águas subterrâneas, CONAMA 396/08 (Consumo Humano). Quando estes padrões não eram indicados optou-se por retirá-los da Portaria 518/04 da ANVISA. No caso da Condutividade Elétrica, o VMP foi obtido a partir da correlação existente com o parâmetro STD, que tem como padrão de potabilidade 1000 mg/L.

Considerou-se o valor da Portaria 518/04 como limite para o caso da dureza muito elevado (500 mg/L), já que em entrevista com a população local, poços com valores menores receberam críticas quanto a esta característica da água, por isso preferiu-se adotar os limites do índice SEQ-Eaux Souterraines, que são menores.

Os padrões para os pesticidas também seguiram essa hierarquia, sendo que alguns valores foram retirados do Guia Australiano, por ser o único a apresentar os VMPs. Na realidade o número de parâmetros tóxicos não é fixo e o ideal é que também não seja muito extenso, já que um dos objetivos do índice é ser prático e com um número menor de parâmetros chegar próximo da realidade. Porém, no caso da BHRSD, esses contaminantes já foram encontrados em amostras de água subterrânea, então não há motivos para não incluí-los no índice. Entretanto, as análises mostraram que os mesmos não ultrapassaram o VMP em nenhuma das amostras em que foram identificados, ficando apenas na Tabela 4, como exemplo de aplicação. Portanto foi considerado apenas o total de pesticidas por amostra.

Os Valores Guia foram obtidos a partir da Norma Européia 80/778/CEE, com exceção do nitrato, cujo Valor Guia foi extraído da Norma da EPA, pelo fato da unidade de medida ser a mesma adotada no Brasil e da turbidez e da dureza que tiveram seus valores obtidos no índice SEQ-Eaux Souterraines, que apresenta valores quanto a dureza mais conservadores.

2.2.3 AGREGAÇÃO

O momento de agregação é muito significativo para que o índice represente as diferenças entre os pontos amostrados.

2.2.3.1 PRIMEIRA ETAPA DO IQAS_{CH} – PARÂMETROS NÃO TÓXICOS

A agregação ocorreu a partir da contagem do número de ocorrência em cada conjunto J (das propriedades), mais especificamente em cada subconjunto disjuntivo JK , ou seja, em cada modalidade. Foi averiguado e somado o número de ocorrências em cada poço em cada uma das classes: $\leq VG$ (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). Isso é possível porque apesar de existirem 8 conjuntos diferentes de parâmetros, os subconjuntos, que são as classes, são análogos.

A partir da soma de ocorrência em cada modalidade equivalente, os poços foram distribuídos em suas respectivas categorias de qualidade de água, que variam de 0 a 100, a saber: *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.

2.2.3.2 SEGUNDA ETAPA DO IQAS_{CH} – PARÂMETROS TÓXICOS

Depois de calculado o índice na primeira etapa, a segunda, que avaliará a presença de substâncias tóxicas na água acima do VMP, foi calculada também. Para tanto, foi 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.

A definição e descrição das categorias são apresentadas nas Figuras 3 e 4, a classe *Precisa de Tratamento* foi subdividida, de forma que as nuances existentes entre as amostras, com pelo menos 1 parâmetro em inconformidade, não se perdesse.

A classe *Imprópria* para consumo humano também precisa de tratamento, mas o nome *Precisa de Tratamento* é dado a uma classe da primeira etapa do IQAS_{CH}, ou seja, dos parâmetros não tóxicos, por conseguinte, são parâmetros que apresentam menor risco a saúde humana, mesmo quando ultrapassam os padrões de potabilidade.

As ponderações das categorias do IQAS_{CH} são proporcionais aos números de ocorrência, ou seja, é possível que ocorram 46 combinações e por isso existem 46 subclasses, todas as possibilidades são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 4: Parâmetros que compõem o IQAS_{CH} para a BHRSD e seus respectivos VG e VMP.

Parâmetros	Consumo Humano		Fontes Bibliográficas	
	VG	VMP ou VME	VG	VMP
Parâmetros da Primeira Etapa – Não Tóxicos				
Coliformes Termotolerantes (N/100 ml)	0	0	Norma 80/778/CCE	Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Condutividade Elétrica (µS/cm à 20°C)	400	1470	Norma 80/778/CCE	Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Dureza (mg/L CaCO ₃)	80 e 400	<80 ou >400	SEQ-Eaux Souterraines (2003)	SEQ-Eaux Souterraines (2003)
Ferro (MG/L)	0,05	0,3	Norma 80/778/CCE	Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Manganês (mg/L)	0,02	0,1	Norma 80/778/CCE	Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Nitrato (mg/L)	5 ¹	10	SEQ-Eaux Souterraines (2003)	Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Ph	6,5 e 8,5	<6 ou >9,5	Norma 80/778/CCE	Portaria da ANVISA n° 518/04
Turbidez (NTU)	1	5	Regulamento de Água Potável da USEPA (2009)	Portaria da ANVISA n° 518/04
Sólidos em Suspensão ² (mg/L)	2	5	SEQ-Eaux Souterraines (2003)	SEQ-Eaux Souterraines (2003)
Parâmetros da Segunda Etapa – Tóxicos				
Arsênio (mg/L)		0,01		Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Bário (mg/L)		0,7		Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Fluoreto (mg/L)		1,5		Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Pesticidas (µ/l)				
Aldrin		0,03		Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Clorpirifós		30		Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Diazinon		3		Australian Drinking Water Guidelines 6 (NHMRC/NRMMC, 2003)
Diclorvós		1		Australian Drinking Water Guidelines 6 (NHMRC/NRMMC, 2003)
Endossulfan (α e β)		≤20		Portaria da ANVISA n° 518/04
Fenitrotion		≤10		Australian Drinking Water Guidelines 6 (NHMRC/NRMMC, 2003)
Fentoato ³				
Lindano		2		Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Malation		190		Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Metilparation		100		Australian Drinking Water Guidelines 6 (NHMRC/NRMMC, 2003)
Metolcloro		10		Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Pesticidas		0,1		Norma 98/83/CE
Σ Pesticidas		0,5		Norma 98/83/CE

VG: Valor Guia; VMP: Valor Máximo Permitido; VME: Valor Mínimo Exigido, ¹Valor equivalente, ²Este parâmetro foi incluído para ser usado em lugar da turbidez, quando esta não for analisada, ³Não foi encontrado VMP para este parâmetro, logo ele é analisado como "Pesticida", que possui VMP de 0,1 µ/l.

Tabela 5: Categorização do índice. Possibilidades de ocorrência nas categorias do IQAS_{CH}.

>VMP	NG_VMP	<NG	IQAS _{CH}	IQAS _{CH}	Categorias	
Nº de Parâmetros por classe			Valores arredondados			
0	0	8	100,0	100	<i>Ótima</i>	
0	1	7	97,8	98	<i>Boa</i>	
0	2	6	95,6	96		
0	3	5	93,4	93		
0	4	4	91,1	91		
0	5	3	88,9	89		
0	6	2	86,7	87		
0	7	1	84,5	84		
0	8	0	82,3	82		
1	0	7	80,0	80		<i>Precisa de Tratamento Nível I</i>
1	1	6	77,8	78		
1	2	5	75,6	76		
1	3	4	73,4	73		
1	4	3	71,2	71		
1	5	2	68,9	69		
1	6	1	66,7	67		
1	7	0	64,5	64		
2	0	6	62,3	62		
2	1	5	60,1	60		
2	2	4	57,8	58		
2	3	3	55,6	56		
2	4	2	53,4	53		
2	5	1	51,2	51		
2	6	0	49,0	49		
3	0	5	46,7	47	<i>Precisa de Tratamento Nível II</i>	
3	1	4	44,5	45		
3	2	3	42,3	42		
3	3	2	40,1	40		
3	4	1	37,9	38		
3	5	0	35,6	36		
4	0	4	33,4	33		
4	1	3	31,2	31		
4	2	2	29,0	29		
4	3	1	26,8	27		
4	4	0	24,5	25	<i>Imprópria Presença de Parâmetros Tóxicos</i>	
5	0	3	22,3	22		
5	1	2	20,1	20		
5	2	1	17,9	18		
5	3	0	15,7	16		
6	0	2	13,4	13		
6	1	1	11,2	11		
6	2	0	9,0	9		
7	0	1	6,8	7		
7	1	0	4,6	5		
8	0	0	2,3	2		
No mínimo 1			0,1	0		





Grupo	Cores	IQAS _{CH}	Definição da Categoria
1°		100	Água de Ótima qualidade para o consumo humano
		82	Água de Boa qualidade para consumo humano
		2	Água que Precisa de Tratamento para que possa ocorrer consumo humano
2°		0	Água Imprópria para o consumo humano, presença de parâmetros tóxicos

Figura 3: Definição das categorias do IQAS_{CH} consumo humano.

Esta forma de agregação é interessante porque é simples e trabalha com os dois grupos de parâmetros. O ponto negativo é que a informação da primeira etapa se perde quando as amostras possuem algum parâmetro tóxico. Na confecção dos mapas, por exemplo, com a espacialização do IQAS_{CH}, não é possível saber como foi o comportamento da amostra na primeira parte do IQAS_{CH}. Um outro aspecto é que para áreas que foram acompanhadas através de monitoramento, a melhora ou piora, em relação aos parâmetros da primeira etapa do IQAS_{CH}, não é evidenciada. Por isso uma outra forma de agregação foi elaborada para ser testada e será relatada a seguir.





Descrição das Categorias			
	Todos os parâmetros \leq VG		
	Todos os parâmetros \leq VMP		
	Um ou mais parâmetros $>$ VMP		
	Parâmetros tóxicos $>$ VMP		
		IQAS	Precisa de Tratamento
		49-80	1-2 parâmetros $>$ VMP
		25-47	3-4 parâmetros $>$ VMP
		9-22	5-6 parâmetros $>$ VMP
		2-7	7-8 parâmetros $>$ VMP

Figura 4: Descrição das categorias do IQAS_{CH} consumo humano.

2.3 APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO: Comparação entre o Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano (IQAS_{CH}) elaborado para a BHRSD e outros Índices Preexistentes

Com o objetivo de comparar o índice elaborado (IQAS_{CH}) com outros IQAs já existentes, foram aplicados o *Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines* (SEQ) e o IQA_{CCMEKM} (CCME, 2001a) para os dados de qualidade de água obtidos na BHRSD. Esses índices foram escolhidos, principalmente, porque seus respectivos algoritmos não são coincidentes entre si e também pelo fato que o SEQ - Eaux Souterraines, como o próprio nome já diz, ter sido desenvolvido especificamente para águas subterrâneas, além desses índices, ainda que não sejam muito difundidos, permitirem maior mobilidade quanto a composição dos índices e aos padrões de potabilidade.

Pensou-se em aplicar um índice multiplicativo adaptado para as águas subterrâneas, à semelhança do IQA_{CETESB} para as águas superficiais ou IQUAS (Índice de Qualidade de Água Subterrânea), mas a análise de alguns pontos fez com que essa aplicação não ocorresse. Isto se deveu ao fato de não ser possível a inserção de parâmetros tóxicos, já que a elaboração de suas curvas de qualidade é tarefa complexa, devido ao grau de toxicidade dos parâmetros não ser minuciosamente conhecido. O outro ponto é a questão do uso dos pesos, que não parece ser o mais adequado em se tratando de um uso tão restrito, tanto que no trabalho de elaboração do IQUAS é mencionado, de forma muito pertinente, que:

“Nessa simulação foi possível observar que teores elevados de Nitrato podem provocar redução significativa no valor do IQUAS, não obstante a água permanecer classificada como Ótima. Um exemplo se refere à

amostra realizada no Poço Artesiano localizado no Largo da Sete Portas, cujo teor de Nitrato é de 18,0 mg/L” (Almeida, R, 2007, p.158).

Os índices foram aplicados somente para os resultados da primeira campanha de campo (Tabela 6), que é a que possui o maior número poços e também para que o trabalho fosse objetivo. Os parâmetros utilizados foram CE, Dureza, pH, Turbidez, NO_3^- , Coliformes Termotolerantes, Fe e Mn^{+2} (Primeira etapa do IQAS_{CH} desenvolvido) e As, Ba, F e Σ Pesticidas relativos à Segunda etapa do IQAS_{CH}, pois preferiu-se utilizar somente a Σ Pesticidas porque as análises revelaram que individualmente nenhum composto ultrapassou os VMPs. Os resultados foram espacializados através do *Spatial Analyst* do *ArcGis@* (9.1).

Tabela 6: Índices aplicados.

IQA	Área aplicada	Parâmetros utilizados	Padrões de Potabilidade
SEQ - Eaux Souterraines	BHRSD (47 amostras de 2004)	CE, Dureza, pH, Turbidez, NO_3^- , Colif. Termot., Fe, Mn^{+2} , As, Ba, F e Σ Pesticidas	Normas 80/778/CCE e 98/83/CE entre outras
IQA _{CCME}	BHRSD (47 amostras de 2004)	CE, Dureza, pH, Turbidez, NO_3^- , Colif. Termot., Fe, Mn^{+2} , As, Ba, F e Σ Pesticidas	CONAMA 396/08 e Portaria 518/04 entre outras

2.3.1 CANADIAN WATER QUALITY INDEX (IQA_{CCME})

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_{CCME} tem sido aplicado no programa de monitoramento de qualidade da água do Canadá desde 2001, sempre com muito êxito.

De acordo com o CCME (2001a), o IQA_{CCME} é composto por três fatores (F_1 , F_2 , F_3). O primeiro a ser calculado, como pode ser observado na equação 1, 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.

$$F_1 = \left(\frac{\text{Número de parâmetros inconformes}}{\text{Número total de parâmetros}} \right) \times 100 \quad (1)$$

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”. A Frequência (F_2) é calculado através da equação 2:

$$F_2 = \left(\frac{\text{Número de testes em inconformidade}}{\text{Número total de testes}} \right) \times 100 \quad (2)$$

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.

F_3 é calculado a partir da padronização da *nse*, em relação aos critérios estabelecidos, em uma escala entre 0 e 100, conforme apresentado na equação 6:

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0,01nse + 0,01} \right) \quad (3)$$

Depois que os fatores são obtidos, o IQA_{CCME} pode ser calculado pela soma dos três fatores. A soma dos quadrados de cada elemento é, portanto, igual ao quadrado do índice (equação 4). Esta metodologia trata o índice como sendo um vetor no espaço tridimensional, definido por cada um dos fatores.

$$IQA_{CCME} = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad (4)$$

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. A constante 1,732 é inserida porque cada um dos três fatores individualmente, pode alcançar no máximo 100 (equação 5):

$$\sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2} = \sqrt{30000} = 173,2 \quad (5)$$

Uma vez que o valor do IQA_{CCME} é determinado e um valor entre 0 e 100 é obtido, a qualidade da água pode ser classificada em uma das categorias do índice (Excelente: 95-100; Boa: 80-94; Regular: 65-79; Ruim: 45-64 e Péssima: 0-44).

O índice foi desenvolvido especialmente para avaliar o corpo hídrico ao longo do monitoramento. Ele é aberto e por isso é possível incluir ou excluir parâmetros, valores de referência e os objetivos específicos (classes de enquadramento) desejados. Contudo, o método é pouco difundido e empregado com composições diversas, nem sempre possibilitando a comparação entre áreas já analisadas.

2.3.2 SYSTEME D'EVALUATION DE LA QUALITE 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. O SEQ determina a capacidade da água satisfazer os diferentes tipos de uso (Cadilhac & Albinet, 2003).

O SEQ avalia a qualidade da água medindo os vários tipos de poluição, que são caracterizados através de grupos formados por parâmetros da mesma natureza ou que provoquem os mesmos efeitos. A Tabela 7 apresenta os grupos que provocam alterações na água e os parâmetros relacionados.

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 e definidas as classes de adequação. Essas classes ou categorias (Tabela 7) possuem uma clássica representação em 4 cores (azul, verde, amarelo e vermelho). A definição de cada classe encontra-se também nesta tabela. 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.

Este índice apresenta ampla discussão sobre as concentrações dos parâmetros para os mais diversos usos e não somente o Valor máximo permitido (VMP) como é apresentado na legislação brasileira, o que pode ser considerado um grande avanço nessa área. Trabalha com grupos de alteração, diminuindo assim, casos de redundância ou multicolinearidade.

Tabela 7: Grupos de Alterações de Qualidade e os Parâmetros relacionados ao método SEQ.

Grupos de Alterações	Parâmetros relacionados
Sabor e Odor	Sabor e Odor
Material Orgânico e Oxidável	Carbono Orgânico Dissolvido
Partículas em Suspensão	Turbidez e Material em Suspensão
Ferro e Manganês	Ferro Total, Manganês Total
Coloração	Cor
Microorganismos	<i>Escherichia coli</i> , Enterococos ou Streptococos Fecais, Coliformes Totais
Mineralização e Salinidade	Condutividade Elétrica, Resíduo Seco, pH, Cloreto, Sulfato, Dureza, TAC (Alcalinidade Total), Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Fluoreto, Índice de Saturação, RAS (Razão de Adsorção de Sódio)
Nitrato	Nitrato
Nitrogenados (exceto Nitrato)	Amônia, Nitrito
Micropoluentes Minerais	Alumínio, Antimônio, Arsênio, Bário, Boro, Cádmio, Chumbo, Cianeto, Cobre, Cromo Total, Mercúrio, Níquel, Prata, Selênio, Zinco
Pesticidas	Aldrin, Atrazina, Desetilatrazina, Dieldrin, Diuron, Desetilsimazina, Heptacloro, Heptacloro epóxido, Isoproturão, Lindano, Terbutilazina, Simazina, Σ Paration metil+Paration etil, Σ Pesticidas, Outros Pesticidas
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAP)	Benzo[a]pireno, H.A.P
Policlorobifenil (PCB)	PCB
Micropoluentes Orgânicos (outros)	Benzeno, Clorofórmio, Detergentes aniônicos, Dicloroetano-1,2, Hidrocarbonetos Dissolvidos, Hexaclorobenzeno, Índice Fenol, Tetracloreto de carbono, Tricloroetileno, Tricloroetano-1,1,1, Tricloroetileno e Tetracloreto de carbono Totais, Trihalometanos (THM's)
Corrosão	CO ₂ dissolvido, O ₂ dissolvido, Salinidade, Condutividade, pH, Cloreto, Sulfato, Ferro Bactérias, Sulfito, Eh (potencial redox)
Formação de Depósitos	pH, Eh, O ₂ dissolvido, Ferro Bactérias, Índice de Saturação
Temperatura	Temperatura

Fonte: Cadilhac & Albinet, 2003.

2.4 DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DO IQAS_{CH} COM USUÁRIO

Concomitantemente a elaboração do IQAS_{CH}, foi desenvolvido um programa interativo para calcular o índice, concebido no Visual Basic, para plataforma de Microsoft Excel. O objetivo desta etapa foi facilitar os cálculos da aplicação do mesmo índice e divulgar o IQAS_{CH}, podendo subsidiar o monitoramento das águas subterrâneas na BHRSD e a avaliação da qualidade das águas subterrâneas em áreas similares, por comitês de bacias hidrográficas, prefeituras e órgãos ambientais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa iremos apresentar a comparação entre os resultados da aplicação de índices de qualidade de água preexistentes (SEQ e IQA_{CCME}) e o IQAS_{CH}, o índice desenvolvido.

Na Figura 5 são apresentados mapas de superfície para os resultados da aplicação dos índices para os poços rasos para toda a BHRSD. Nota-se que, as classificações dos índices aplicados foram divergentes e alguns aspectos podem ser observados, como:

a) O IQA_{CCME} classificou cerca de 60% das amostras como *Ótima* ou *Boa*, mesmo que cerca 60% delas tenham apresentado 1, 2 ou 3 parâmetros em inconformidade;

b) De acordo com os resultados do índice *SEQ Eaux Souterraines*, todas as amostras foram enquadradas na classe *Não Potável* e

c) Percebe-se no IQAS_{CH} que nenhuma amostra foi classificada como *Ótima*, e que apenas uma pequena parcela de 3% foi classificada como *Boa*.

Na Figura 5 pode-se observar a predominância da classe *Boa* no IQA_{CCME}, a única classificação no *SEQ*. Por outro lado, esta figura mostra que os resultados da aplicação do índice elaborado (IQAS_{CH}), compreendem um número maior de classes, sendo possível diferenciar áreas para receberem por exemplo, ações de remediação.

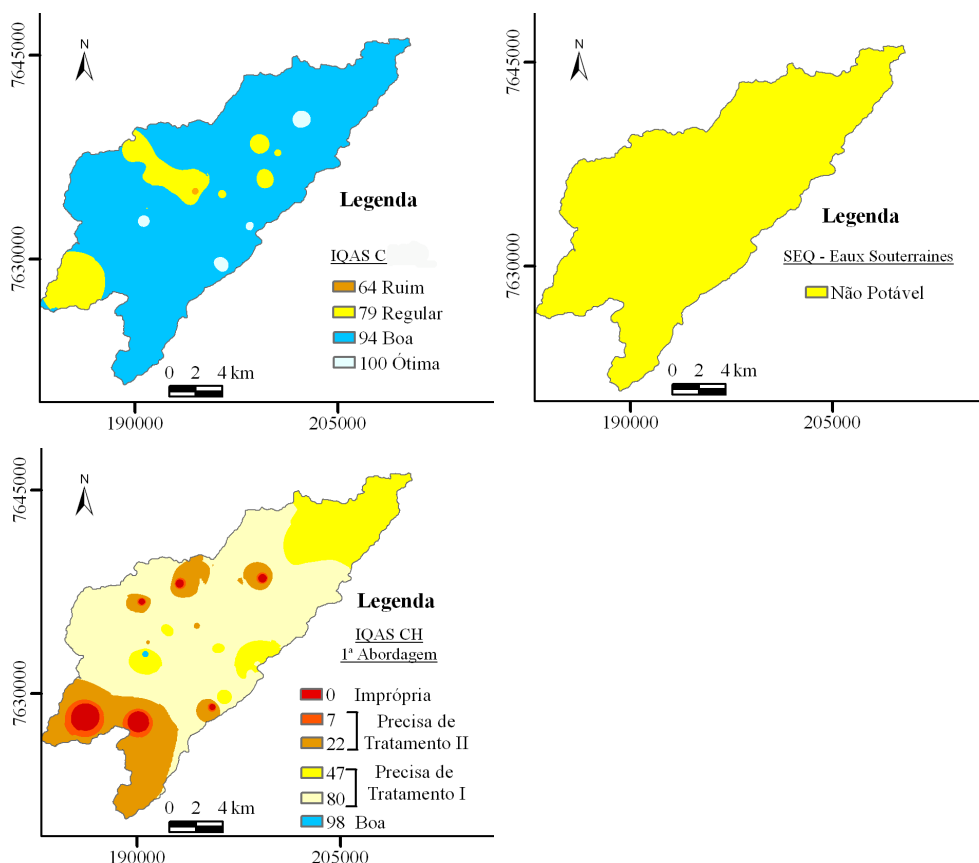


Figura 5: Mapa de superfície para os resultados da aplicação dos IQAs para os poços escavados em relação à campanha de outubro de 2004 para toda a BHRSD.

O oposto acontece com o IQA_{CCME}, no sentido de nem sempre refletir adequadamente pontos críticos. Isso mostra que considerar em uma área apenas os parâmetros que não atendem a legislação pode não ser suficiente, é preciso ainda “qualificá-los” quanto ao grau de toxicidade e tratá-los separadamente, como

feito no índice construído nesse trabalho, onde a classificação da amostra se dá em duas etapas: a primeira em relação aos parâmetros não tóxicos e a segunda com os tóxicos.

Em relação ao aquífero profundo, exposto na Figura 6, é possível observar que:

- O IQA_{CCME} classificou metade das amostras como *Boa* ou *Ótima* e a outra metade como *Aceitável* ou *Ruim*, e nenhuma amostra foi classificada como *Muito Ruim*;
- O índice SEQ *Eaux Souterraines* enquadrou todas as amostras de água na classe *Não Potável*;
- No $IQAS_{CH}$ nota-se a predominância das classes *Precisa de Tratamento* do IQA_{CH} e *Não Potável* no índice SEQ;
- O IQA_{CCME} é o que possui a maior área em azul claro e azul mais escuro, ou seja, *Ótima* e *Boa* qualidade, respectivamente;
- A classe *Ótima* não aparece nos demais índices e
- O centro da bacia que é a área com menos parâmetros em inconformidade (Menezes et al., 2009), e com exceção do SEQ a área sinalizada em todos os outros índices. De forma similar ocorre com a área mais ao sul da bacia, que possui mais parâmetros em inconformidade (Menezes et al., 2009) e também foi indicada na cor laranja, que significa *Ruim* para o IQA_{CCME} e *Precisa de Tratamento* para o $IQAS_{CH}$.

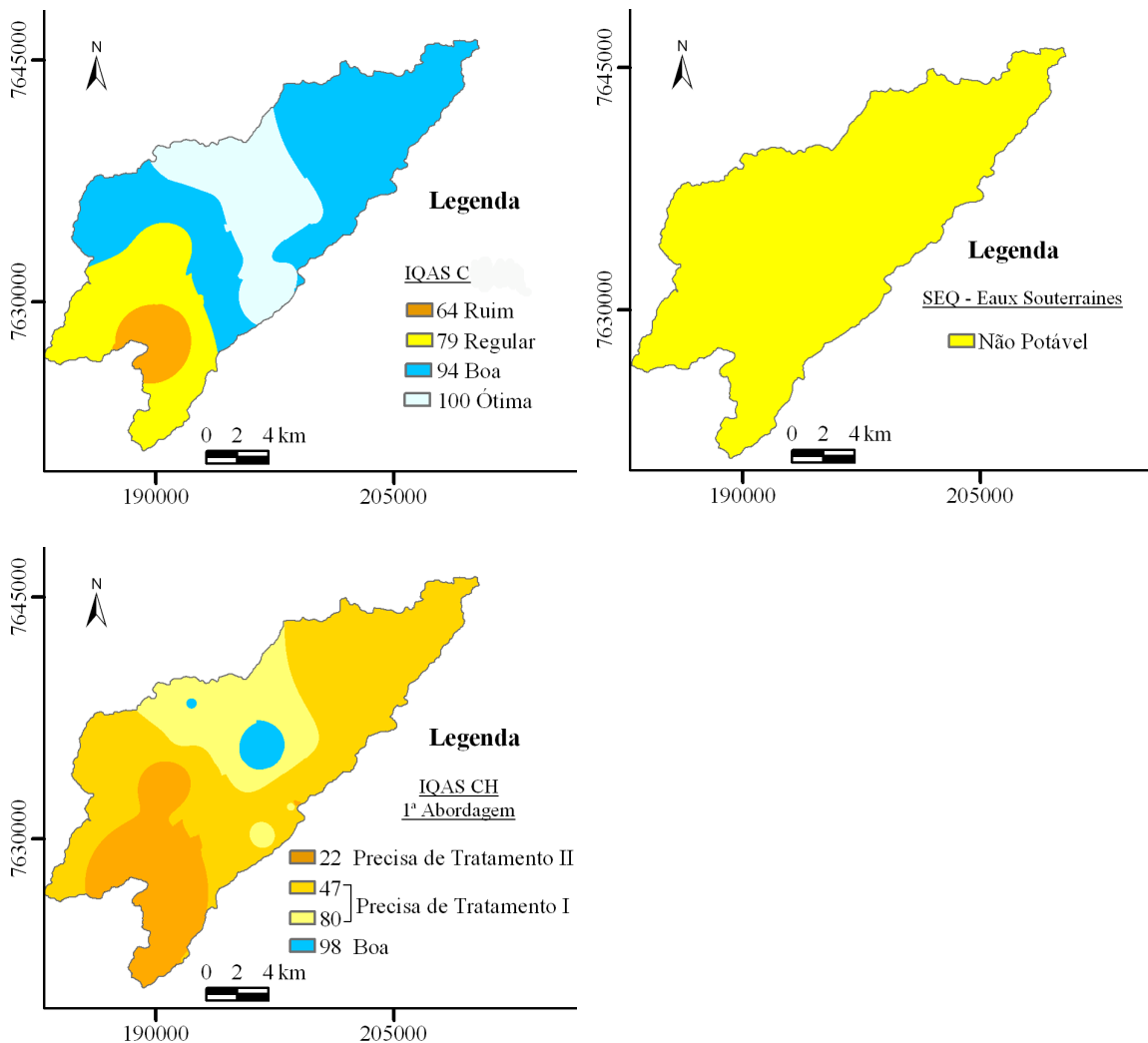


Figura 6: Mapa de superfície para os resultados da aplicação dos IQAs para os poços profundos em relação à campanha de outubro de 2004 para toda a BHRSD.

Verifica-se que o IQA_{CCME} é o índice mais permissivo, e para isso a amostra 20P será tomada como exemplo, mesmo com a presença de 50mg/L de coliformes termotolerantes, foi classificada como *Ótima*.

O índice SEQ mostrou um comportamento mais restritivo, já que a categoria final do ponto analisado é dada de acordo com a classificação mais baixa obtida pelos parâmetros (ou grupos de alteração) avaliados, por isso todas as amostras foram consideradas como *Não Potáveis*. Entretanto, agrupar todos os poços em uma única categoria, mesmo que restritiva, cumpre apenas parte da função de um índice de qualidade de água, já que a possibilidade de identificar áreas mais ou menos críticas se perde. Nesta

perspectiva o IQAS_{CH} elaborado parece mais adequado, já que subdivide a categoria *Precisa de Tratamento* de acordo com o número de parâmetros que não atendem aos padrões estabelecidos pela legislação específica.

Os resultados da aplicação dos índices IQA_{CCME} e do IQAS_{CH} individuais das amostras consideradas na aplicação dos índices encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8: Resultados dos índices calculados para toda a BHRSD.

ID	IQA _{CCME}	Categoria	SEQ	Índice	IQAS _{CH}
11R	85	Boa	Água Não Potável	45	Precisa de Tratamento I
12R	85	Boa	Água Não Potável	0	Imprópria
13R	79	Aceitável	Água Não Potável	33	Precisa de Tratamento I
14R	100	Ótima	Água Não Potável	76	Precisa de Tratamento I
15R	100	Ótima	Água Não Potável	96	Boa
16R	86	Boa	Água Não Potável	56	Precisa de Tratamento I
18R	77	Aceitável	Água Não Potável	29	Precisa de Tratamento I
19R	86	Boa	Água Não Potável	47	Precisa de Tratamento I
20R	71	Aceitável	Água Não Potável	0	Imprópria
21R	86	Boa	Água Não Potável	45	Precisa de Tratamento I
23R	78	Aceitável	Água Não Potável	60	Precisa de Tratamento I
24R	75	Aceitável	Água Não Potável	27	Precisa de Tratamento I
25N	81	Boa	Água Não Potável	45	Precisa de Tratamento I
25R	63	Ruim	Água Não Potável	20	Precisa de Tratamento
26R	72	Aceitável	Água Não Potável	31	Precisa de Tratamento I
27R	84	Boa	Água Não Potável	45	Precisa de Tratamento I
28R	71	Aceitável	Água Não Potável	45	Precisa de Tratamento I
29R	85	Boa	Água Não Potável	38	Precisa de Tratamento I
2N	86	Boa	Água Não Potável	0	Imprópria
31R	68	Aceitável	Água Não Potável	31	Precisa de Tratamento I
33N	78	Aceitável	Água Não Potável	0	Imprópria
34N	69	Aceitável	Água Não Potável	47	Precisa de Tratamento I
35N	75	Aceitável	Água Não Potável	42	Precisa de Tratamento I
36R	86	Boa	Água Não Potável	40	Precisa de Tratamento I
38N	86	Boa	Água Não Potável	0	Imprópria
39R	83	Boa	Água Não Potável	42	Precisa de Tratamento I
40N	69	Aceitável	Água Não Potável	0	Imprópria
41N	73	Aceitável	Água Não Potável	0	Imprópria
43N	86	Boa	Água Não Potável	0	Imprópria
43R	92	Boa	Água Não Potável	78	Precisa de Tratamento I
44R	93	Boa	Água Não Potável	76	Precisa de Tratamento I
48R	80	Boa	Água Não Potável	60	Precisa de Tratamento I
52N	88	Boa	Água Não Potável	58	Precisa de Tratamento I
52R	85	Boa	Água Não Potável	58	Precisa de Tratamento I
53R	79	Aceitável	Água Não Potável	31	Precisa de Tratamento I
7N	86	Boa	Água Não Potável	0	Imprópria
8R	93	Boa	Água Não Potável	60	Precisa de Tratamento I
2P	47	Ruim	Água Não Potável	22	Precisa de Tratamento II
4P	92	Boa	Água Não Potável	60	Precisa de Tratamento I
6P	79	Aceitável	Água Não Potável	42	Precisa de Tratamento I
7P	100	Ótima	Água Não Potável	76	Precisa de Tratamento I
8P	75	Aceitável	Água Não Potável	22	Precisa de Tratamento II
12P	66	Aceitável	Água Não Potável	22	Precisa de Tratamento II
17P	100	Ótima	Água Não Potável	93	Boa
19P	80	Boa	Água Não Potável	60	Precisa de Tratamento I
20P	100	Ótima	Água Não Potável	76	Precisa de Tratamento I
21P	79	Aceitável	Água Não Potável	40	Precisa de Tratamento I

R: poço raso (escavado); N: nascente e P: poço profundo (tubular).

Os índices aplicados, com exceção do SEQ, de forma geral, representam bem as situações extremas da BHRSD, ou seja, pontos com poucos parâmetros em inconformidade são agrupados em categorias que representam águas de qualidade boa ou regular. Já os pontos com 5, 6, ou 7 parâmetros em inconformidade são agrupados nas categorias que representam águas de qualidade ruim. Embora pontos (poços rasos) com apenas 1 parâmetro em inconformidade tenham sido classificados na categoria *Imprópria*, pois o parâmetro presente era tóxico.

Os resultados do IQA_{CCME} demonstraram também que pontos com muitos parâmetros em inconformidade foram categorizados como de *Boa* ou *Ótima* qualidade. A diferença entre os resultados obtidos pelo Índice

Canadense e os demais reside no fato dele calcular também quanto os valores dos parâmetros analisados estão fora dos padrões de potabilidade, desse modo amostras que ultrapassam pouco o VMP de dado parâmetro pode ser classificada como de *Boa* ou *Ótima* qualidade.

4 CONCLUSÕES

O *Canadian Water Quality Index* (IQA_{CCME}) não é adequado para usos restritivos, já que não considera apenas o fato da amostra apresentar algum parâmetro em inconformidade com a legislação específica, mas também o quão acima determinado parâmetro está do valor-padrão. Entretanto, essa posição relativa da concentração permitida versus concentração real é difícil de se comparar entre parâmetros, principalmente em se tratando de parâmetro tóxico, pois a variação no teor de dureza não tem necessariamente o mesmo peso de contribuição para a toxicidade de uma água que a mesma variação no teor de arsênio, por exemplo.

O *SEQ Eaux Souterraines* é um índice adequado para caracterizar uma amostra e para guiar os usuários e os órgãos ambientais ao uso em si, mas é inadequado para distinção de áreas e análises temporais, já que a inexistência de classes intermediárias promove naturalmente a concentração das amostras, dificultando a identificação destas.

Tanto o IQA_{CCME} como *SEQ* são índices flexíveis e abertos, permitindo a incorporação de novos parâmetros e padrões de potabilidade, sendo este um ponto positivo que merece ser salientado. Embora o IQAS_{CH} também seja aberto, o programa ainda não permite ainda tais modificações. Contudo este programa em desenvolvimento foi bastante útil na aplicação do índice, agilizando e facilitando o processo.

Os resultados do monitoramento mostraram, fundamentalmente, que o IQAS_{CH} é bastante restritivo, funcionando de forma similar ao método do operador mínimo, com a vantagem de obter gradações inter-classe, proporcionando uma avaliação dos pontos mais detalhada.

A partir dos resultados obtidos pode-se inferir que a BHRSD trata-se de uma área que precisa receber investimentos em saneamento básico, tratamento de água e em educação ambiental, de forma que as fontes de poluição pontuais como os esgotos e as difusas, provindas principalmente da agricultura (fertilizantes e defensivos agrícolas) possam ser reduzidas, evitando um agravamento da contaminação das águas subterrâneas, principalmente, as do aquífero raso, evitando assim, o comprometimento da saúde humana.

5 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A.A. **Estudo Comparativo entre os Métodos IQA_{NSF} e IQA_{CCME} na Análise da Qualidade da Água do Rio Cuiabá**. 2007. 94f. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, 2007.

ALMEIDA, R.A.S. Índice de Qualidade de Água Subterrânea destinadas ao uso na produção de água potável (IQUAS). 2007. 221f. Dissertação. Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana. Universidade Federal da Bahia. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa>>. Acesso em 10 ago. 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n° 357**, de 23 de Janeiro 2005. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama>. 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.

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. Ministério da Saúde. **Resolução n° 269**, de 22 de Setembro de 2005. Trata dos valores de Ingestão Diária Recomendada (IDR) de Proteína, Vitaminas e Minerais para indivíduos e diferentes grupos populacionais, e dá outras providências. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/>>. Acesso em: 1° ago. 2009.

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

BOCANEGRA, E.; SILVA JR., G.C. Groundwater exploitation of fractured rocks in South America. Eds.: Krásný J.; Sharp J. **IAH Selected Papers**, 9. 2007. p:20-32.

- CCE - Comissão das Comunidades Europeias. **Norma 98/83/CE**. Disponível em <<http://eur-lex.europa.eu/pt/index.htm>>. Acesso em: 20 fev. 2006.
- CCE - Comissão das Comunidades Europeias. 2003. **Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho Relativa à Protecção das Águas Subterrâneas Contra a Poluição**. 2003, Bruxelas. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2003:0550:FIN:PT:DOC>> Acesso em: 29 abr. 2005.
- CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001a, **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.
- CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001b, **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.
- CEE - Comunidade Econômica Europeia. **Norma 80/778/CEE**. 1980. Disponível em <<http://eur-lex.europa.eu/pt/index.htm>>. Acesso em: 20 fev. 2006.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. **Índice de Qualidade da Água**. 2007. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iap_iqa.asp>. Acesso em: 10 maio 2007.
- CRISTO, V.; MENEZES, J.M.; SILVA JR., G.C. Índice de Abastecimento Público na Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – RJ. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 46., 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBG, 2008. 1 CD – ROM.
- CRIVISQUI, E.; VILLAMONTE, G. Presentación de los métodos de Análisis Factorial de Correspondencias Simples y Múltiples, Programme de Recherche et D'Enseignement en Statistique Appliquée (PRESTA), Cuba-Belgica-Union Europea. 1997.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrología Subterránea**. Barcelona: Omega, 2° ed., vol.1, 1983. 2350p.
- DAVIS, S. N.; DE WIEST, R. J. M. **Hidrogeology**. New York: Jonh Willey & Sons, 1966, 463p.
- FALKENMARK, M. Water usability degradation – economist wisdom or societal madness? **Water International**, v. 30, n. 2, 136-146. 2005. Disponível em: <<http://196.36.166.88/iwra/Journal/>>. Acesso em: 10 jan. 2008.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Dia Mundial da Água**. 2007. Disponível em: <https://www.fao.org.br/vernoticias.asp?id_noticia=45>. Acesso em: 25 abr. 2007.
- FARIAS, A.M.L.; LAURENCEL, L.C.; SILVA, A.P.S.; MACEDO, R.W.; SILVEIRA, M.M. **Números Índices**. 2004. Niterói: UFF – Instituto de Matemática.
- FERREIRA, C.R.C.; LA TERRA, E.F.; MENEZES, P.T.L. Modelagem Geofísica para Água Subterrânea em Aquíferos Fissurais em São José de Ubá (RJ). *In*: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQUÍFEROS, 2006. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.
- FERREIRA, L.M.; IDE, C.N. 2001. 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.
- FIDALGO, E.C.C; ABREU, B.M. Uso de imagens Aster para o mapeamento do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio São Domingos, RJ. *In*: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 2005. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 3747-3753.
- FLORES, R.G. Análise de Correspondências: Uma Introdução. *Revista Brasileira de Estatística*. v. 36, n. 142, abr/jun. 1975.
- FREITAS, P.L.DE; MANZATO, C.V.; COUTINHO, H.L. DA C. A Crise de Energia e a Degradação dos Recursos Naturais – Solo, ar, água e biodiversidade. **Boletim Informativo**, Soc. Bras. Ci. Solo. Viçosa, 26 4:7-9, 2001.
- GERMANO, P.C.C.; NEVES, J.M.M.; WARTH, M.F.N.; RICARDO, L..M.M.; TONIOLLI, D.M. Proposição de um Índice de Qualidade de uma Sub Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba, como Instrumento de Gestão de Recursos Hídricos. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD-ROM.

GONÇALVES, A.O.; FIDALDO, E.C.C.; BASTOS, C.L.; ABREU, M.B. Caracterização climática da Bacia do Rio São Domingos. In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQUÍFEROS, 2006. **Anais....** Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.

GOODMAN, L.S.; GILMAN, A. **As Bases Farmacológicas da Terapêutica**. Ed. Guanabara Koogan. 3ª ed. 1596p. 1967.

HEM, J. D. **Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water**. 3ªed. 1985. 263p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2000**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/censo/>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

LUMBRERAS, J.F.; NAIME, U.J.; MOTTA, P.E.F.; PALMIERI, F.; CARVALHO FILHO, A.DE.; BARUQUI, A.M.; CALDERANO, S.B.; FIDALGO, E.C.C.; MOREIRA, D.M.DE. Solos da Bacia Hidrográfica do rio São Domingos, RJ. In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQUÍFEROS, 2006. **Anais....** Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.

MENEZES, J.M.; PRADO, R.B.; SILVA JR., G.C. DA., SANTOS, R.T. Índice de Qualidade de Água: métodos e aplicabilidade. In: PRADO, R.B.; TURETTA, A.P.D.; ANDRADE, A.G. (Org.). Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto de Mudanças Ambientais. Rio de Janeiro: Embrapa, 2010. 486p. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/pdfs/livro_2010_manejo_cons_solo_agua.pdf>. Acesso em: 25 maio 2010.

MENEZES J.M. 2009. Índice de Qualidade de Água Subterrânea Aplicado em Área de Aquíferos Cristalinos com Uso Agrícola: Bacia do Rio São Domingos – RJ. 189f. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2009.

MENEZES, J.M.; SILVA JR., G.C., SANTOS, R.T. Hidrogeoquímica de aquíferos fraturados: estudo de caso na bacia hidrográfica do rio São Domingos, Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Águas Subterrâneas**. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, jan./jun., v. 21, nº. 1, 2007.

MENEZES, J.M.; SOUZA, M.; CRISTO, V.N.; SILVA JR., G.C.; PRADO, R.B. Aplicação do IQA_{ccme} em Aquíferos do Estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 2., 2008. **Anais...** Rio de Janeiro: ABRH, 2008. 1 CD-ROM.

MANSUR, K. L., MEDEIROS, F., VIEIRA H., MARTINS, A.M., PRADO, R.B., MENEZES, J.M., SILVA, G.C.J Avaliação preliminar: geologia e alguns parâmetros da qualidade da água subterrânea nas microbacias de Sta. Maria/Cambiocó e Barro Branco. 2006. In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQUÍFEROS, 2006. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.

NHMRC/NRMMC - National Health and Medical Research Council, Natural Resource Management Ministerial Council. **Australian Drinking Water Guidelines 6**. National Water Quality Management Strategy. 2003.

NEVES, B.B.B, ALBUQUERQUE, J.P.T. Tectônica e Água Subterrânea em Rochas Pré-Cambrianas do Nordeste do Brasil - A Diversidade do Sistema Aquífero. Série Científica **Revista do Instituto de Geociências** – USP. São Paulo, 4(2):71-90, 2004.

PRADO, R.B.; LULLO, L.B. Aplicação e Mapeamento de Índice de Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2007.

PRADO, R.B.; MENEZES, J.M.; MANSUR, K.L.; MARTINS, A.M.; FREITAS, P.L. DE; SILVA JUNIOR, G.C.; CARVALHO, L.G.; PIMENTA, T.S.; LIMA, L.A. Parâmetros de Qualidade da Água e sua Relação Espacial com as Fontes de Contaminação Antrópicas e Naturais: Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – São José de Ubá, RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD-ROM.

RIBEIRO, M.L.; DEUS, A.B.S.; LUCA, S.J. Bacia Hidrográfica do Rio Cai/ RS: Índices Podem Mascarar Avaliação da Qualidade da Água. 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.

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.

SCHOELLER, H. **Les eaux souterraines**. França: Ed. Masson & Cie. 1962. 642p.

SOUZA, M.; FARIA, D.L.P.; MENEZES, J.M.; SILVA JR., G.C. Avaliação da Qualidade da Água de Aqüíferos do Estado do Rio de Janeiro pelo Método IQA_{CCME}. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 46., 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBG, 2008. 1 CD – ROM.

TAYLOR, R.G; HOWARD K.W.F. The influence of Tectonic Setting on the Hydrological Characteristics of Deeply Weathered Terrains: Evidence from Uganda. **Journal of Hydrology**, 218, p. 44-71, 1999.

TOLEDO, L.G.; NICOLELLA, G. Water Quality Index For Agricultural And Urban Watershed Use. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)**, Jan./Mar. 2002, v.59, n.1, p.181-186. ISSN 0103-9016.

TRÖGER, U, CAMPOS, J.E.G., PETERSEN, F., VÖCKLER, H. Groundwater Occurrence in Fractured Metamorphic Rocks – Quality and Quantity, an example from North East Brazil. In: **Proc. Intern. Conf. on Groundwater in Fractured Rocks**, Prague, Czech Rep. (1): 21-23, 2003.

USEPA – U.S. Environmental Protection Agency. National Primary Drinking Water Standards. 2009. Disponível em: <www.epa.gov/safewater>. Acesso em: 29 jul. 2009.

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