

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE NATURAL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA (IQNAS) PARA OS DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS DO ESTADO DA BAHIA.

¹ Iara Brandão de Oliveira; Francisco Inácio Negrão; Alessandra Gomes Lopes Sampaio
Silva.

Este trabalho verificou a aplicabilidade do Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS), para os domínios aquíferos do Estado da Bahia. O IQNAS foi construído à semelhança do Índice de Qualidade da Água IQA-CETESB para classificar a qualidade das águas superficiais. O cálculo do IQNAS foi elaborado com base em pesos e gráficos de intensidade da variável, versus qualidade da água, ou nota, definido pelos autores, com critério semelhante ao estabelecido para o índice IQA-CETESB, ou seja: de 80-100, ótima; de 52-79, boa; de 37-51, aceitável; e de 0-36, imprópria. Os parâmetros utilizados para o cálculo do IQNAS foram: cloreto, pH, resíduo total, dureza, nitrato e flúor, obtidos das análises químicas de 8.725 poços do Estado da Bahia, cadastrados no Banco de Dados da CERB, e de 05 amostras de águas minerais do Recôncavo, tomadas como padrão. Essas informações foram consolidadas em banco de dados com 1.899 poços nos seguintes Domínios Aquíferos: Sedimentar, Metassedimentar, Cárstico e Cristalino. O objetivo do IQNAS é facilitar a visualização espacial da qualidade das águas. Os valores do IQNAS encontrados para os quatro Domínios Hidrogeológicos do Estado, quantificaram adequadamente a qualidade das águas subterrâneas das regiões estudadas, confirmando positivamente a metodologia adotada.

This work investigated the applicability of the Groundwater Natural Quality Index (GNQI) to the State of Bahia Aquifer Domains. The GNQI was developed similarly to the Water Quality Index WQI-CETESB, to classify the surface water quality. The calculation of the GNQI values were based on weighs and graphs of the variable intensity versus water

¹ Departamento de Engenharia Ambiental, UFBA, Rua Aristides Novis, 2, Federação, 40210-630, (71) 3203-9795; oliveira@ufba.br; fnegrao@ufba.br; aglss@hotmail.com

quality, or grade, defined by the authors of this work, with the same criteria utilized for the WQI-CETESB, which are: 80-100, exceptional quality; 52-79, good; 37-51, acceptable; and 0-36, improper. The parameters utilized for the calculations of GNQI were: pH, chlorite, total residue, hardness, nitrate e fluorite, obtained from chemical analysis of 8.725 wells, from the State of Bahia, Brazil, from the CERB Data Bank, and 05 samples of mineral water of the Recôncavo Region, taken as water standard. These informations were consolidated on a data bank with 1899 wells, from the following Aquifer Domains: Sedimentary, Metasedimentary, Karst and Crystalline. The objective of GNQI is to facilitate the visualization of the water quality distribution. The GNQI values generated in this work adequately quantified the groundwater quality of the studied regions, attesting the adopted methodology.

Índices de Qualidade, Água Subterrânea, Estado da Bahia.

1 - Introdução

O ponto de partida para a construção do Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS), foi compactar, em um único número representativo, as informações sobre a qualidade química da água subterrânea do Estado da Bahia. O IQNAS teve como base a metodologia utilizada para obtenção do índice IQA, construído para as águas superficiais, que é bastante útil para transmitir informações sobre a água, ao público em geral, permitindo: tanto a avaliação sazonal da qualidade de um mesmo manancial, quanto a comparação da qualidade entre diferentes cursos d'água, além de servir para classificar os corpos d'água e seus possíveis usos. O Índice de Qualidade da Água (IQA) foi desenvolvido originalmente pela *U.S. National Sanitation Foundation* e adaptado pela Companhia Estadual de Saneamento - CETESB (PORTO 1991), para avaliação da qualidade das águas superficiais. O IQA varia normalmente entre zero e 100, sendo que, quanto maior for o valor do IQA, melhor será a qualidade da água.

O IQNAS, desenvolvido neste trabalho, preenche os critérios gerais normalmente adotados para a construção de índices de qualidade, ou seja: (1) o número de variáveis incorporadas ao índice é limitado, a fim de garantir a praticidade; (2) as variáveis utilizadas (pH, cloreto,

resíduos totais, dureza, flúor, e nitrato) são parâmetros químicos mais significativos para se avaliar a qualidade das águas subterrâneas dos vários tipos de Domínios Hidrogeológicos (sedimentar, metassedimentar, cárstico e cristalino); (3) as variáveis escolhidas são aquelas, dentro da disponibilidade de dados, que refletem as determinações mais frequentemente realizadas em análises químicas das águas subterrâneas.

A base de dados deste trabalho foi disponibilizada pela CERB – Companhia de Engenharia Rural da Bahia, que tem um cadastro de cerca de 14.000 poços profundos perfurados em todo o Estado da Bahia, desde a década de 60 até a presente data. A CERB vem explotando esses poços para suprir a necessidade de populações, indústrias e projetos de irrigação. A água extraída tem sido analisada quanto a sua qualidade química, para os elementos maiores e menores e vem subsidiando estudos hidrogeológicos em todo o Estado da Bahia, tais como: (Guerra 1986; Guerra e Negrão 1996; Negrão 1987, 2000; Oliveira et al. 2001; Silva e Oliveira 1999, 2000), entre outros.

2 - Referencial Teórico

A determinação de índices para caracterizar a qualidade dos mananciais, tanto superficiais quanto subterrâneos, para os diversos usos (consumo humano e indústria alimentícia, indústria em geral, irrigação, dessedentação de animais, recreação) tem como função preponderante, facilitar a comunicação com o público. Também permite a avaliação geral da tendência de evolução da qualidade da água ao longo do tempo, bem como fazer comparações entre diferentes mananciais (PORTO, 1991). Um índice de qualidade, desenvolvido com base em indicadores de qualidade da água subterrânea, representado por um único número, e associado a uma cor, permite objetividade na avaliação da condição de qualidade do recurso hídrico, ao ser espacializado em mapas do tipo: isolinhas (linhas de igual valor de qualidade), ou semafórico (regiões de cores diferentes associadas aos diferentes valores dos índices).

Quanto às águas superficiais, existem índices aplicáveis aos diversos ambientes (rios, lagos, água estuarina, água distribuída). Dentre esses o referencial mais utilizado é o *WQI - Water Quality Index* proposto pela (NSF - National Sanitation Foundation, 2004), publicado em 1970, e adaptado pela Companhia Estadual de Saneamento - Cetesb para uso no Brasil (PORTO, 1991). A Cetesb renomeou-o de IQA - Índice de Qualidade de Água e utilizou-o

no período de 1975 a 2001. O IQA foi desenvolvido para avaliação da qualidade das águas brutas superficiais e leva em conta os parâmetros: DBO, OD, pH, coliforme fecal, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez e resíduos totais, compactando estas informações em um único número representativo da qualidade da água. O IQA varia entre zero e 100, sendo que, quando maior for o valor do IQA, melhor é a qualidade da água.

Tendo em vista a limitação do IQA, frente à ocorrência de outros elementos tóxicos na água não contemplados no índice, a Cetesb desenvolveu novos índices para os principais usos dos recursos hídricos: águas destinadas para fins de abastecimento (IAP), sendo que o IAP incorpora em sua formulação o índice IQA; águas destinadas à proteção da vida aquática (IVA) e águas destinadas ao banho (classificação praia).

Como a água bruta passa por processo de tratamento para posterior distribuição, índices de qualidade têm sido desenvolvidos e aplicados pelas empresas de saneamento estaduais para qualificar as águas distribuídas, a exemplo do Índice de Qualidade da Água Distribuída (IQAD), em uso nas seguintes Companhias de Saneamento: do Paraná (Sanepar), de Minas Gerais (Copasa) e do Distrito Federal (Caesb), e do Índice Geral de Qualidade de Água (IGQA) utilizado pela Companhia de Saneamento de São Paulo (Sabesp), conforme se infere em consultas às páginas eletrônicas institucionais destas concessionárias. Estes índices, embora incorporem parâmetros que indicam a qualidade da água, são voltados para exprimir a eficiência dos sistemas de tratamento operados pelas concessionárias.

No âmbito internacional, são vários os exemplos de instituições de referência sobre o assunto de índices e indicadores, construídos para diversos fins: ambientais, saúde, econômicos; entre eles, a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2006), a Organização das Nações Unidas (PNUD, 2005), e no Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004). Entretanto, enquanto sejam muitos, os índices para exprimir a qualidade das águas superficiais, são poucas as referências encontradas na literatura no que se refere aos índices de qualidade para as águas subterrâneas.

Publicado recentemente na literatura especializada, o SEQ- Eaux Souterraines (Sistema de Avaliação das Águas Subterrâneas, foi desenvolvido na França e propõe um índice baseado em duas noções: alteração da qualidade e uso do recurso. O SEQ foi desenvolvido pelas agências de água em parceria como Ministério do Desenvolvimento Regional e Ambiente francês, para avaliar de maneira rigorosa o conceito de qualidade de uma água subterrânea.

Justificando o desenvolvimento do SEQ, Fournier (2001) diz que uma das dificuldades para qualificar as águas subterrâneas reside na relatividade da noção de que a sua qualidade depende dos usos para os quais se destina. Para a autora, não existe uma qualidade “a priori”, mas qualidades que podem satisfazer tal e qual uso. Assim a ferramenta SEQ adota que: a qualidade da água está definida em relação a um certo número de usos selecionados (produção de água potável e indústrias agro-alimentares, outras indústrias, energia – aquecimento e climatização, irrigação e dessedentação de animais); os parâmetros estão reagrupados em “alterações” e para melhor explicitar a avaliação da qualidade da água concebe o Índice Geral de Qualidade. Este varia entre 0 e 100, sendo o valor 0 (água de pior qualidade) e o valor 100 (água da melhor qualidade).

Por outro lado, tradicionalmente, a classificação da qualidade química das águas subterrâneas é feita através de diagramas. Os vários tipos de diagramas descrevem a concentração relativa dos elementos maiores, (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^{+2} , HCO_3^- , SO_4^{-2} , Cl^-) e menores (Fe, SiO_2 , B, NO_3 , entre outros), e servem para indicar a qualidade da água e identificar os processos envolvidos na sua evolução hidroquímica, no meio aquífero.

Dentre os vários diagramas de qualidade da água subterrânea propostos na literatura, destacam-se os colunares, radiais e triangulares. A representação colunar, tipo Collins, (Collins, 1923), apresentada na Figura 1, é um diagrama de barras que evidencia as proporções relativas dos íons principais em meq/L. O diagrama triangular mais utilizado em classificação de águas subterrâneas é o diagrama de Piper, (Piper, 1944); (Figura 2). Este diagrama é utilizado para classificar o tipo hidroquímico de acordo com o íon ou grupo de íons predominantes, bem como definir a sua evolução no aquífero. No diagrama de Piper, cada análise é representada por um ponto no triângulo dos cátions e ânions respectivamente. Os pontos são plotados em cada triângulo, a partir das porcentagens de cada elemento em relação ao somatório dos cátions e ânions, expressos em meq/L. No losângulo central, plota-se um ponto que representa a composição da água, em relação aos seus elementos constituintes maiores, a partir da intersecção de duas retas que passam pelos pontos marcados nos triângulos da base. O diagrama radial de Stiff, (Stiff, 1951) apresentado na Figura 3, é composto de quatro eixos horizontais paralelos estendidos para ambos os lados de um eixo vertical zero. As concentrações dos quatro cátions e dos quatro ânions maiores, em meq/L, são plotadas em cada eixo, à esquerda e à direita,

respectivamente, e os pontos resultantes são conectados formando um polígono. Os gráficos do tipo Stiff são mais utilizados para separação de águas associadas a diferentes tipos de rocha. O diagrama linear de Shoeller, (Shoeller, 1955); (Figura 4), é composto de dois eixos ortogonais. As concentrações dos quatro cátions e dos quatro ânions maiores, em meq/L, são plotadas no eixo vertical contra os dois conjuntos de cátions e ânions na horizontal. Os pontos resultantes são conectados formando uma linha quebrada. Os gráficos do tipo Shoeller, são atualmente mais utilizados para classificação da potabilidade das águas subterrâneas. Entretanto, a classificação hidroquímica também fica evidente quando separadamente se compara o conjunto de cátions e ânions apresentados no gráfico.

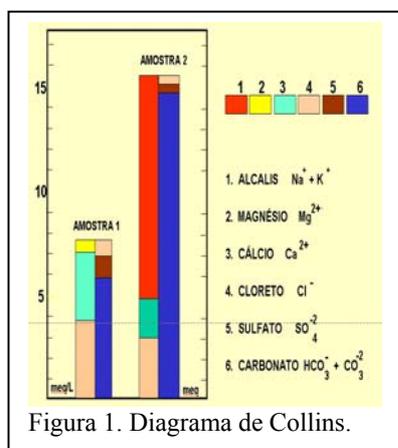


Figura 1. Diagrama de Collins.

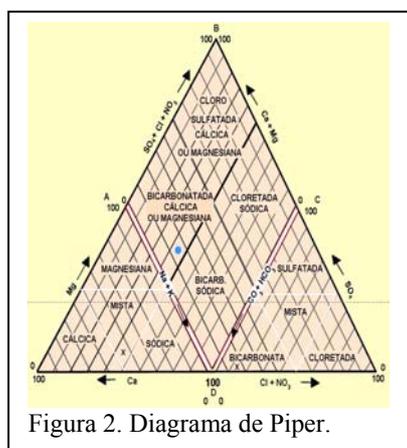


Figura 2. Diagrama de Piper.

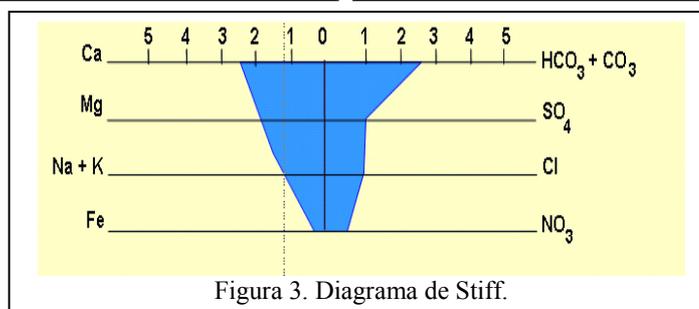


Figura 3. Diagrama de Stiff.

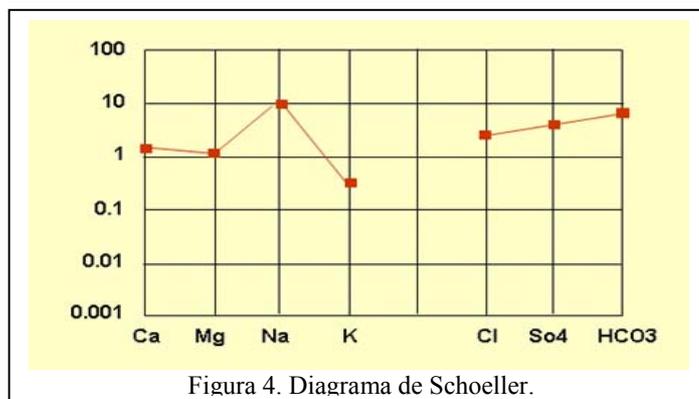


Figura 4. Diagrama de Schoeller.

Como é possível constatar esses diagramas apresentam forte limitação para a visualização em mapas temáticos, por serem representações pontuais de cada poço, ou de um conjunto de poços. Conseqüentemente, a construção de um Índice de Qualidade Natural da Água Subterrânea (IQNAS) representa uma grande possibilidade de sintetizar as informações, facilitando desta forma, a visualização em mapas da qualidade da água, como também a compreensão dessa informação para o público em geral.

3 - Metodologia

Para a aplicação do IQNAS aos Domínios Hidrogeológicos do Estado, obteve-se os dados hidroquímicos das águas subterrâneas junto à CERB – Companhia de Engenharia Rural da Bahia, que forneceu o seu banco de dados, em formato Excel. O banco tem as seguintes informações: código e número do poço, município, localidade, coordenadas, profundidade, níveis estático e dinâmico, vazão de teste, tipo de rocha, data da análise e os parâmetros analisados.

Para a elaboração da consistência do banco de dados da CERB, foi aplicada a seguinte seqüência metodológica: (1) Utilizando o banco de dados fornecido com um total de 8.725, formatou-se outro banco de dados, contendo todas as informações indispensáveis à determinação do índice e à sua espacialização. Para isso, foram excluídos os poços sem os dados das coordenadas geográficas, resultando num banco com 7.192 cadastros. (2) A partir de cinco catálogos de fichas manuscritas da própria CERB, procedeu-se a complementação dos dados, pela introdução das análises hidroquímicas anteriores a 1985 ao banco de dados da CERB. Adicionalmente, as análises feitas pelo Laboratório de Análises Físico-químicas e Microbiológicas do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Bahia (LABDEA) foram incluídas no banco. (3) Em seguida selecionaram-se as análises completas, ou seja, as que possuem todos os dados necessários à determinação do IQNAS: pH, cloreto, nitrato, flúor, dureza e resíduos totais, tendo sido feita a análises de consistência dos dados.

Para a elaboração da consistência das análises do banco de dados da CERB, foi aplicada a seguinte seqüência metodológica: Segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1998), a consistência depende dos parâmetros analisados: a) Balanço de cátions e ânions. Critério pouco utilizado, pois em muitos resultados não foram

analisados sódio e potássio; b) Condutividade medida e a soma dos íons - o somatório de cátions ou ânions, em miliequivalente, é igual a 1/100 do valor da condutividade elétrica medida. Se a soma dos ânions não fosse encontrada de acordo com este critério, a análise era suspeita. Os casos de inconsistência foram descartados.

Para a elaboração final da consistência do banco de dados da CERB, para fins do cálculo do índice de qualidade foi aplicado o seguinte critério: Tendo em vista que o trabalho pretende a validação do índice como instrumento informativo da qualidade natural da água subterrânea, descartaram-se as análises de água oriundas de poços perfurados fora da zona de domínios geológicos específicos (sedimentar, metassedimentar, cárstico e cristalino); bem como as que abrangem mais de um domínio, a exemplo das coberturas detríticas, que foram separadas das demais, pois suas águas sofrem influência de tipos de rocha distintos, conferindo-lhes características de mistura de águas, que não devem ser generalizados.

Dessa forma, após a análise de consistência, o novo banco de dados, localizado no LABDEA-UFBA, consiste em 1.899 poços selecionados. Como padrão de controle da qualidade ótima das águas subterrâneas do Estado da Bahia, utilizou-se amostras de água mineral do aquífero São Sebastião, envasadas por três engarrafadoras da região (Fresca, Indaiá e Schincariol). Estas são águas minerais de aquíferos da Bacia Sedimentar do Recôncavo, saturados por água potável de excelente qualidade. A Tabela 01 apresenta um conjunto das análises químicas constantes no Banco de Dados.

Uma vez consolidado o banco, foi calculado o Índice de Qualidade Natural da Água Subterrânea (IQNAS) para os poços dos quatro domínios hidrogeológicos (sedimentar, metassedimentar, cárstico e cristalino). Para isto, foram selecionados os principais parâmetros físico-químicos que influenciam a qualidade da água, tendo como referencial a potabilidade dessas águas, escolhendo-se os seguintes: pH, cloreto, resíduos totais, dureza, nitrato e flúor. Escolhidos os parâmetros, foi estabelecido um sistema de pesos para ponderar a influência de cada parâmetro, permitindo assim gerar uma nota global para o índice IQNAS, representativo da qualidade da água identificada naquela amostra.

Tabela 01. Dados de Análises Químicas e Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS) do Domínio da Bacia Sedimentar do Recôncavo e do Cárste de Irecê, Estado da Bahia.

Municípios	Nº CERB	Cloreto mg/L	pH	Res. Total mg/L	Dureza mg/L	Flúor mg/L	Nitrato mg/L	Notas ou Qualidade das Variáveis*						Valores IQNAS	Tipo de Aquífero
								q1	q2	q3	q4	q5	q6		
Dias D'Avila e Alagoinhas (Águas Minerais)	Fresca	8,97	6,90	40,00	11,10	0,17	0,22	87,9	82,6	82,5	98,9	83,6	97,8	86	Sedimentar
	Indaiá	8,97	5,07	44,70	8,07	0,11	0,22	87,9	44,6	82,3	99,5	82,3	97,8	85	Sedimentar
	Indaiá	7,97	4,87	36,00	4,03	0,13	0,23	90,2	41,2	82,6	100,3	82,7	97,7	86	Sedimentar
	Indaiá	8,97	5,20	38,50	4,00	0,10	0,24	87,9	46,9	82,5	100,3	82,1	97,6	85	Sedimentar
	Schincariol	11,00	7,10	75,00	13,00	0,28	0,10	84,2	87,5	81,0	98,5	85,9	99,0	84	Sedimentar
	Schincariol	11,00	6,87	86,00	12,10	0,35	0,0	84,2	81,9	80,4	98,7	87,3	100,0	83	Sedimentar
Camaçari	1-1258	10,5	8,20	72,0	52,0	0,06	0,0	85,0	68,2	81,1	91,1	81,3	100,0	83	Sedimentar
	1-230	9,50	6,90	74,8	6,50	0,0	0,0	86,8	82,6	81,0	99,8	80,0	100,0	85	Sedimentar
	1-314	11,5	6,05	36,2	13,0	0,0	0,0	83,4	63,5	82,6	98,5	80,0	100,0	83	Sedimentar
	1-3013	13,6	6,80	72,0	26	0,0	0,0	80,4	80,2	81,1	95,9	80,0	100,0	82	Sedimentar
	1-1287	6,5	7,00	34	5,0	0,06	0,0	94,1	85,0	82,7	100,1	81,3	100,0	89	Sedimentar
São Sebastião do Passé	1-4104	33,3	7,36	112	80,3	0,80	0,0	65,6	94,6	79,0	86,0	96,7	100,0	74	Sedimentar
	1-4098	101,85	7,20	280,0	160	0,48	0,0	49,3	90,0	69,3	73,2	90,1	100,0	61	Sedimentar
	1-378	20,0	6,50	160,0	26,0	0,02	0,0	73,8	73,3	76,3	96,0	80,4	100,0	76	Sedimentar
	1-1359	356,3	7,00	774	183	0,12	0,0	32,2	85,0	44,8	70,0	82,5	100,0	41	Sedimentar
	1-2462	49,3	8,60	240	96,0	0,49	0,0	59,7	58,6	71,6	83,4	90,3	100,0	67	Sedimentar
Iraquara	1 6490	374	7,11	1910	889	1,18	57,7	31,538	87,73	32	35	97,93	1,00	31	Calcário
	3 3128	56,6	7,62	2728	2111	2,65	0,03	57,624	85,35	32	35	0,00	99,75	0,0	Calcário
	1 3404	17,6	7,80	494	315	0,57	0,0	75,975	79,55	57,498	53,666	91,97	100,00	67	Calcário
	2 1147	28,7	8,18	404	254	0,20	0,01	67,942	68,72	62,261	60,6895	84,20	99,87	66	Calcário
	2 697	44,8	6,60	86,0	18,3	0,14	0	61,072	75,59	80,429	97,4449	82,94	100,00	72	Calcário
Souto Soares	1 6770	806	7,95	2940	1442	2,69	0,00	20,898	75,06	32	35	0,00	100,00	0,0	Calcário
	3 3663	185	8,14	730	479	0,50	1,85	41,036	69,78	46,551	38,6282	90,50	83,23	45	Calcário
	1 5642	83,0	8,45	752	401	0,86	3,38	52,118	62,04	45,651	45,1459	97,89	71,50	50	Calcário
	1 4917	269	8,20	1796	987	1,26	1,70	36,029	68,20	32	35	91,77	84,45	36	Calcário
	1 5530	32,6	5,85	94,0	18,9	0,00	0,05	65,929	59,39	80,011	97,3313	80,00	99,50	74	Quartzito

A seguir, foram estabelecidas relações entre a intensidade de cada parâmetro de qualidade (por exemplo, o teor de cloreto na água) e a qualidade da água, representada por uma nota de 0 a 100. Utilizou-se como base, a mesma escala de notas resultante do cálculo do IQA, constante em PORTO (1991), ou seja: qualidade ótima (nota de 80 a 100), boa (de 52 a 79), aceitável (de 37 a 51), imprópria (de 0 a 36). As notas foram fixadas com base nos limites de potabilidade estabelecidos na Portaria 518/04 do Ministério da Saúde. A seguir, foram construídos gráficos de qualidade versus a intensidade de cada variável, e os gráficos foram ajustados não linearmente através do pacote estatístico SYSTAT, para gerar as funções matemáticas adequadas para cada parâmetro de qualidade. Os seis gráficos assim construídos estão apresentados na Figura 5 seguinte.

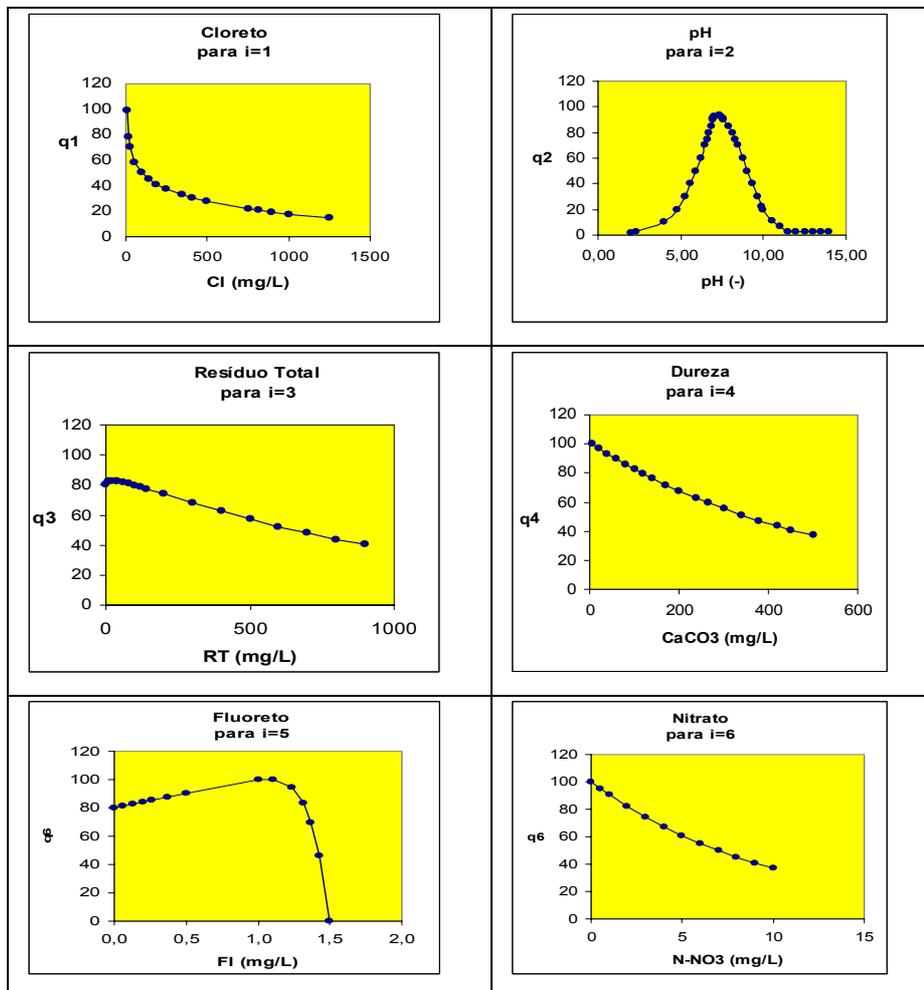


Figura 5. Curvas de Qualidade versus Intensidade do Parâmetro Físico-Químico.

A formulação matemática do IQNAS é a mesma proposta para o IQA, ou seja, um produto dos valores de qualidade (q_i), para cada variável, elevado ao peso atribuído a cada variável (w_i). Onde:

$$\text{IQNAS} = \text{Produto} (q_i^{w_i}) = q_1^{w_1} \times q_2^{w_2} \times q_3^{w_3} \times \dots \times q_n^{w_n};$$

Como teste de validação qualitativa do método, os resultados obtidos para o IQNAS nos Domínios Aquíferos do Estado da Bahia, apresentados na Figura 6, com a visualização dos domínios e subdomínios estudados, foram apresentados aos hidrogeólogos da CERB, em dois eventos internos da empresa, tendo sido avaliados como bastante coerentes, com o conhecimento empírico da qualidade da água do Estado.

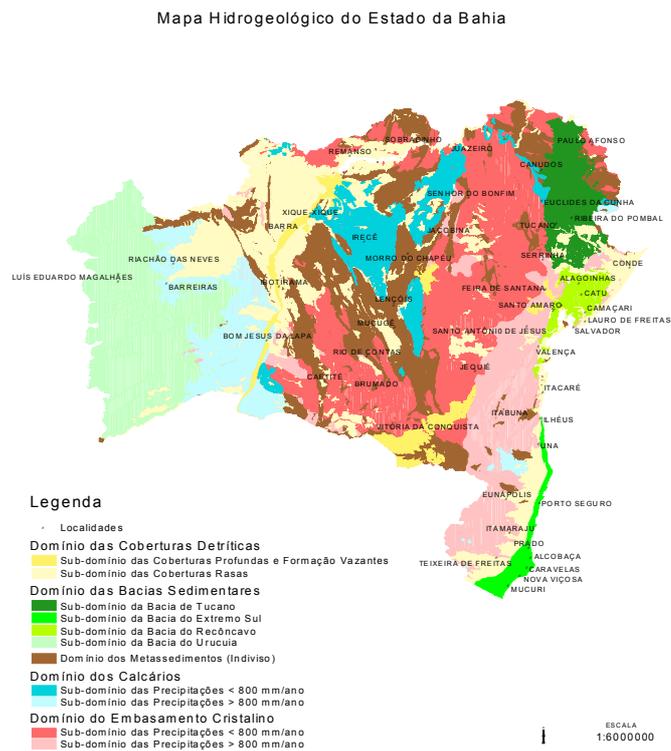


Figura 6. Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia.

4 - Resultados e Discussão

A Tabela 02 apresenta, de forma compacta, informações de qualidade das águas subterrâneas para os principais Domínios Hidrogeológicos do Estado, obtidas com o cálculo IQNAS.

Tabela 02: Percentual de poços em cada classe de IQNAS, por Domínio Hidrogeológico.

Domínio Hidrogeológico	Nº de Poços	Percentual de Poços por Classe de IQNAS			
		Ótima	Boa	Aceitável	Imprópria
Sedimentar	476	34%	59%	4%	3%
Metassedimentar	247	37%	42%	17%	4%
Cárstico	335	5%	40%	20%	35%
Cristalino	798	6%	19%	42%	33%

Os valores do IQNAS encontrados para os 1.899 poços dos diversos domínios hidrogeológicos mostraram-se bastante satisfatórios, retratando com fidelidade a qualidade dessas águas. Conforme mostra a Tabela 02, ocorreu o esperado: o domínio sedimentar obteve as melhores notas, seguido pelo metassedimentar, pelo cárstico e, por fim, pelo cristalino. Este resultado também pode ser visto no Gráfico da Figura 7, seguinte.

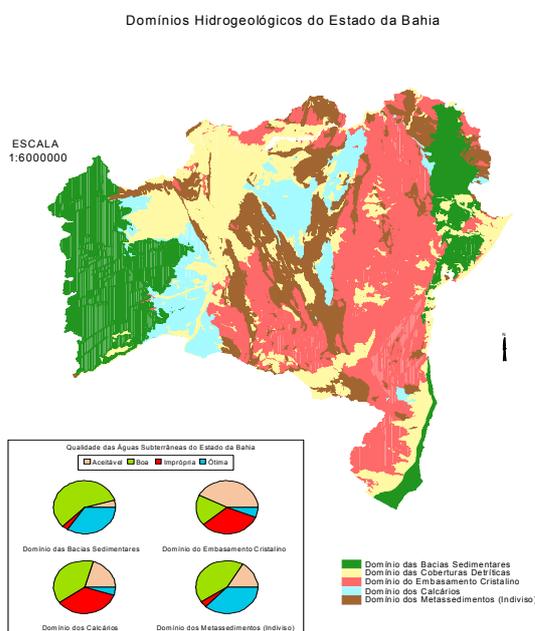


Figura 7. Índices de Qualidade das Águas Subterrâneas para os Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia.

A interpretação dos resultados apresentados no mapa da Figura 7, com valores do IQNAS para os vários Domínios Hidrogeológicos do Estado, está intimamente associada ao tipo de rocha predominante em cada um desses domínios.

Os Domínios Sedimentares do Estado da Bahia predominantemente arenosos ocorrentes em regiões de alta pluviosidade, acumulam grande quantidade de água. Essas características tornam os aquíferos do domínio sedimentar os maiores em termos de volume armazenado e os melhores quanto à qualidade de suas águas, predominantemente de qualidade boa à ótima.

O Domínio Metassedimentar possui características semelhantes às rochas do Domínio Cristalino (fissural), porém, no Estado da Bahia, devido à sua composição mineralógica predominantemente quartzítica, e posição geográfica em zonas de maior pluviosidade, (Chapada Diamantina) apresentam qualidade semelhante ao Domínio Sedimentar, ainda com predominância de águas de qualidade boa à ótima.

O Domínio Cárstico reserva água em cavernas subterrâneas e fraturas, formadas pela dissolução dos seus sais componentes. Sendo esses sais altamente solúveis produzem águas carregadas de carbonato de cálcio e magnésio. Tendo-se como resultado um IQNAS com menos de 50% de notas na qualidade boa à ótima.

O Domínio do Embasamento Cristalino acumula água nas fendas ou fissuras resultantes do fraturamento, e, devido a fatores ligados ao clima e variedade de composição das rochas constituintes, são os que possuem as notas mais baixas de IQNAS. Em regiões semi-áridas, as características litológicas, típicas dos aquíferos cristalinos; as baixas recargas desses aquíferos, aliadas as altas taxas de evaporação, vão concentrando sais nas suas águas subterrâneas. Por estas razões somente 25% de suas águas apresentam notas na qualidade boa à ótima.

Entretanto este comportamento pode ter menor influência quando os aquíferos ocorrem em regiões de maior índice pluviométrico, onde a recarga mais freqüente se encarrega de renovar, com rapidez, a água presente nas fendas, melhorando sua qualidade. A interferência da pluviosidade nos valores do IQNAS e, conseqüentemente, na qualidade das águas analisadas foi constatada neste trabalho. Para exemplificar essa interferência, foram divididas duas regiões do Domínio do Embasamento Cristalino com comportamentos distintos: uma com precipitações acima de 800 milímetros ao ano e outra com precipitações abaixo deste valor. Os poços localizados nas regiões de índice pluviométrico mais elevado possuem águas de melhor qualidade do que aqueles localizados em áreas de menor pluviosidade. A visualização dos dados no mapa do Estado da Bahia também mostrou outro fato relevante: os poços com águas classificadas como de qualidade “imprópria” pelo IQNAS concentram-se nos domínios hidrogeológicos de calcário e cristalino e nas regiões de pluviosidade menor do que 800 milímetros ao ano, como pode ser observado na Tabela 03, seguinte.

Tabela 03: Influência das Precipitações na Qualidade das Águas dos Domínios Indicados.

Domínio Hidrogeológico	Precipitação (mm/ano)	Nº de Poços	Percentual de Poços por Classe de IQNAS			
			Ótima	Boa	Aceitável	Imprópria
Calcário	> 800	99	16	68	5	11
	< 800	246	1	34	28	37
Cristalino	> 800	158	18	45	21	16
	< 800	660	3	12	48	37

Conclui-se, pois, que a baixa taxa de recarga dos aquíferos implica diretamente na maior concentração de sais e de outras substâncias dissolvidas na água. Isso contribui para a má qualidade da mesma, tornando-a muitas vezes extremamente salinizada. A discussão acima pode ser visualizada na Figura 8 seguinte.

Influência das Precipitações na Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia

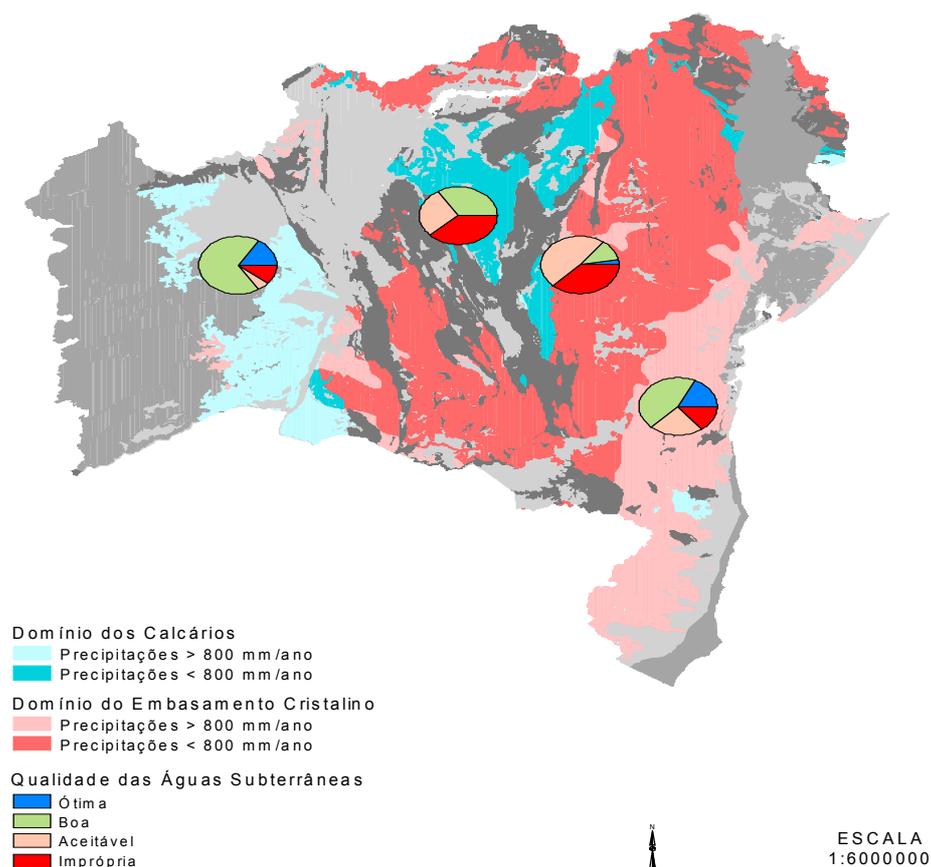


Figura 8. Influência da Precipitação na Qualidade das Águas Subterrâneas.

5 - Conclusões

Os valores do IQNAS encontrados quantificaram adequadamente a qualidade das águas subterrâneas dos principais Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia, confirmando positivamente a metodologia adotada.

A praticidade do método, juntamente com a facilidade de compreensão dos resultados fornecidos pelo mesmo, habilita o índice criado a ser adotado por outros pesquisadores, no sentido de desenvolverem possíveis melhorias ao índice e agregarem mais conhecimentos acerca do assunto para uma gestão sustentada dos recursos hídricos.

6 - Agradecimentos

À Companhia de Engenharia Rural da Bahia (CERB) pela sessão dos dados de poços tubulares; à Fundação de Auxílio à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pelo apoio ao hidrogeólogo e pesquisador deste projeto, e à bolsista de Iniciação Científica.

7 - Referências Bibliográficas

COLLINS, W. D. Graphic Representation of Analyses. Indus. and Eng. Chemistry, V. 15, p394, 1923.

FOURNIER, I. L. SEQ-Eaux Souterraines - Système d'évaluation de la qualité Revue de L'Agence de l'eau, n.81, p.19, Fever.2001, disponível em http://sandre.eaufrance.fr/IMG/pdf/SEQ_Esout.pdf Acesso 10/05/2006.

GUERRA, A. M. Processos de Carstificação e Hidrogeologia do Grupo Bambuí na Região de Irecê – Bahia. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 1986.

GUERRA, A. M. e NEGRÃO F. I. Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia. IX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Salvador, Bahia. 1996.

IBGE - Indicadores de Desenvolvimento Sustentável - Brasil 2004 - Brasil tem melhora na qualidade do ar, mas continuam intensos o desflorestamento e o uso de fertilizantes e agrotóxicos. Disponível em http://www1.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=247&id_pagina=1 Acesso em: 07/11/2004.

NEGRÃO F. I. Caracterização Hidrogeoquímica e Vulnerabilidade do Sistema Hidrogeológico Cárstico da Região de Irecê-Ba. Tese de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – USP, 1987.

- NEGRÃO F. I. et al. Monitoramento em Rede de Poços Equipados com Dessalinizadores no Semi-árido do Estado da Bahia. Iº Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas. Fortaleza CE. 2000.
- OLIVEIRA, I. B., SILVA S. C. e CRUZ, F. S. Avaliação Temporal da Qualidade da Água Superficial e Subterrânea do Recôncavo Baiano: Período 1985 – 1998. Anais da 53ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, (CD), 13 – 18 de julho, Salvador, Bahia, 2001.
- OMS Organización Mundial de la Salud – Índices de Calidad de Água e Salud. Disponível em <http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/2000globs6.pdf> Acesso em: 18/08/2003.
- PIPER, A. M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Am. Geophys. Union Trans., V 25, 914 – 923. 1944.
- PORTO, R. L. L. Estabelecimento de Parâmetros de Controle da Poluição. In: PORTO, R. L. L., BRANDO, S. M., CLEARY, R. W. et al., Hidrologia Ambiental. São Paulo, Associação brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, 1991.
- SCHOELLER, H., Geochemic des eaux souterraines: Revue de Línstitute Fançais due Petrole, V 10, 230-244. 1955.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - Washington, DC: American Public Health Association, 20th Edition, 1998.
- STIFF, H. A., Jr., The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. Journal Petroleum Technology, V. 3, No. 10, 15 – 17. 1951.
- SILVA, S. C. S. e OLIVEIRA, I. B. Qualidade da Água Subterrânea dos Aquíferos do Recôncavo Baiano: Dados Históricos. Anais do XVIII Seminário Estudantil de Pesquisa, Vol. 01, pg. 240-241, Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, UFBA, Salvador, Bahia, 5 – 7/10/1999.
- SILVA, S. C. S., E OLIVEIRA, I. B. Qualidade da Água Superficial e Subterrânea do Recôncavo Baiano. Anais do XIX Seminário Estudantil de Pesquisa, Vol. 01, pg. 103, Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, UFBA, Salvador, Bahia, 29/11 a 01/12 de 2000.