



Estudo da variabilidade espacial da qualidade das águas subterrâneas no município de Ocara – Ceará

Dayana Cristina Macedo de Melo^{1*}, Sonia Maria Silva Vasconcelos², Diolande Ferreira Gomes²,
 Cynthia Romariz Duarte², Idembergue Barroso Macedo de Moura³

Recebido 19 de fevereiro de 2014/ Aceito em 03 de junho de 2014

¹Programa de Pós-Graduação em Geologia – Universidade Federal do Ceará – dayanacrys@yahoo.com.br; ²Departamento de Geologia – Universidade Federal do Ceará – smaria@ufc.br, dfreire68@gmail.com, cynthia.duarte@ufc.br; ³Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Geologia – Universidade Federal do Ceará – idembergue@hotmail.com.

Resumo

O Município de Ocara abrange uma área de 765km² situada na porção Nordeste do Estado do Ceará, onde a água subterrânea se constitui como fonte estratégica diante do fenômeno da seca que assola a região. Este trabalho apresenta a variação espacial das características qualitativas das águas subterrâneas na perspectiva de buscar correlações destas características em relação ao contexto hidrogeológico. As características estudadas foram obtidas de relatórios de poços tubulares, de banco de dados existente e de cadastro de levantamentos anteriores. O principal sistema de captação de água subterrânea é formado por rochas Pré-Cambrianas, embora a cartografia litológica registre a presença de coberturas sedimentares do Paleógeno, designadas de Grupo Barreiras e aluviões do Quaternário. As águas subterrâneas de Ocara são predominantemente salobras e apresentaram concentrações médias dos íons cloreto, sódio, nitrato nitrogenado, bário, alumínio e chumbo acima do limite permitido para o consumo humano. O mapa de contorno das concentrações do íon nitrato nitrogenado evidenciou valores elevados dispersos espacialmente na área do município. Os mapas de isolinhas gerados não apresentaram nenhuma correlação significativa com as características hidrogeológicas.

Palavras chaves: Hidrogeologia, Hidroquímica, Geoestatística, Ocara-Ceará.

Abstract

The Municipal District of Ocara includes an area of 765 km² located in the Northeast portion of the Ceará State. The studied characteristics were obtained of reports of wells, of database and of field registers. The main groundwater system is formed by Pré-Cambrian rocks, although the geological cartography registers the presence of sedimentary coverings of Paleogene designated by Barreiras Group, and alluvium from Quaternary. The main objective of this study is to generate information about the space variability of the characteristics of the groundwater in the municipal district using

Melo et al. Estudo da variabilidade espacial da qualidade das água subterrâneas... geostatistics procedures. The results of the analysis indicate brackish waters and contaminated by chloride, sodium, nitrate-nitrogen, barium, aluminum, and, rarely, sulfate and lead at levels over brazilian legislation, inappropriate to drink and to irrigate. The nitrate map showed high values all over the area. It wasn't found any correlation with the hydrogeologic characteristics.

Keywords: Groundwater, Hydrochemistry, Geostatistics, Ocara-Ceará.

INTRODUÇÃO

No Município de Ocara a água subterrânea constitui uma fonte estratégica para o abastecimento humano com forte alcance social para sobrevivência e fixação do homem no campo, especialmente diante do fenômeno das secas que frequentemente assola o interior do Estado do Ceará.

A área deste município já foi objeto de estudo anterior onde o balanço hídrico indicou que a recarga subterrânea direta da precipitação é deficitária e análises químicas revelaram uma predominância de águas salobras do tipo cloretadas sódicas com registros de contaminação por nitratos (Lopes et. al, 2008).

O objetivo principal deste trabalho é apresentar informações sobre a variação espacial das características químicas das águas subterrâneas presentes no município, utilizando procedimentos de interpolação para o traçado de isolinhas destas características buscando estabelecer correlações com o contexto hidrogeológico.

Dos vários constituintes químicos encontrados em águas subterrâneas apenas um número relativamente pequeno está presente em grandes concentrações. Estes são geralmente chamados íons maiores e consistem de cátions de cálcio, magnésio, sódio e potássio e ânions de bicarbonato, sulfato, cloreto e nitrato.

Estudos que buscam estabelecer relações entre a composição química das águas subterrâneas e litologia do aquífero deverão incluir, além dos íons maiores, elementos

menores, como por exemplo o Bário que já foi detectado em diferentes litologias, sendo considerado um elemento comum nas águas subterrâneas do Estado do Ceará (Frizzo, 2005; Gomes *et al*, 2010; Moura, 2013).

Desta forma, além das concentrações de íons maiores, também foram investigadas as concentrações de elementos menores na análise de correlação com a litologia.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O município de Ocara situa-se na porção Nordeste do Estado do Ceará, no qual compreende uma área de 765,37 km² (IPECE, 2010), limitando-se ao Norte com os municípios de Barreira, Chorozinho e Cascavel, ao Sul com Ibaretama e Morada Nova, a Oeste com Aracoiaba e a Leste com Beberibe (Figura 1).

Do ponto de vista geológico, a região estudada está localizada na porção setentrional da Província Borborema (Almeida *et al.*, 1977), mais especificamente na região Nordeste do Estado do Ceará conhecida como Domínio Ceará Central (Arthaud *et al.*, 1998).

Esta é uma área composta por rochas cristalinas dos terrenos acrescionários do Paleoproterozóico da unidade Canindé do Complexo Ceará, representados principalmente por paragnaisses em níveis distintos de metamorfismo, tais como: migmatitos, ortognaisses, anfíbolitos com ou sem granada, metagabros, metapiroxenitos, granitos, lentes de quartzitos e dioritos associados à fácies gabróicas (Cavalcante *et al.*, 2003). Essas são as rochas

que caracterizam o aquífero fissural predominante na área.

O Grupo Barreiras Indiviso também está presente na área estudada (Cavalcante *et al op. cit.*), sendo composto litologicamente por arenitos argilosos de tonalidade variada (amarelada, avermelhada e esverdeada), granulação fina a média, com leitos conglomeráticos e nódulos lateríticos na base, apresentando matriz argilo-caulínica, com cimento argiloso, ferruginoso e, às vezes, silicoso.

Depósitos aluviais correspondem a uma estreita faixa no contorno Oeste do município, sendo representados por sedimentos areno-argilosos (argilas, areias argilosas, quartzosas e quartzo feldspáticas), que ocorrem margeando a calha do rio Pirangi.

A área de estudo apresenta um clima tropical quente semi-árido (IPECE, 2010), o qual é marcado pela existência de dois períodos bem definidos: um seco e de longo período, e outro úmido, mas de período curto e irregular.

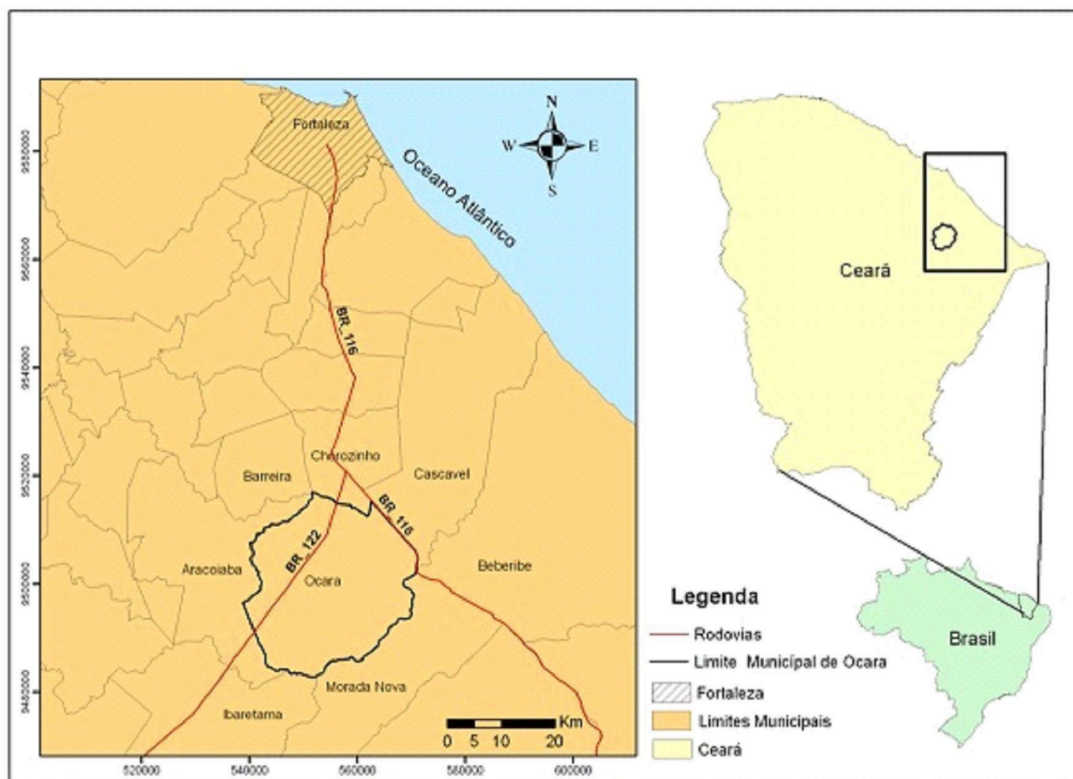


Fig. 1 – Localização do Município de Ocara no Estado do Ceará.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente foi realizada uma pesquisa de pontos d'água cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS (CPRM/REFO) e relatórios de poços tubulares construídos pela Superintendência de Obras Hidráulicas – SOHIDRA, e também foram reunidos dados de levantamentos pretéritos de campo realizados no município de Ocara. Esses

dados propiciaram a formação de um arquivo de dados, com informações de condutividade elétrica, vazão e resultados de análises físicas e químicas, com localização definida em coordenadas geográficas, permitindo a geração de um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

A partir dos resultados de análises físico-químicas da água subterrânea de poços em Ocara, foram selecionados os valores de concentrações

dos íons: Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), Cloreto (Cl^-), Sódio (Na^+), Potássio (K^+), Bicarbonato (HCO_3^-), Carbonato (CO_3^{2-}), Sulfato (SO_4^{2-}) e Nitrato nitrogenado (N-NO_3^-). Com esses valores foi realizado o balanço iônico para avaliar o erro das análises químicas realizadas em laboratório, sendo este calculado a partir da comparação da soma de equivalentes devido a cátions com a soma de equivalentes devido a ânions, usando a fórmula de Logan (1965), que define o coeficiente individual de erro das análises, admitindo-se um valor máximo de 11 % para análises aproveitáveis.

Esse trabalho apresenta os primeiros dados sobre o teor dos elementos menores (Al, Mn, Ni, Cr, Cd, Pb, Ba, Zn, Co, Sb, B, Li e Se) nas águas subterrâneas do município de Ocara. Para determinação desses elementos, as amostras foram acidificadas, ainda em campo, com ácido nítrico até pH inferior a 2 e em laboratório a técnica empregada para a determinação foi a espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP OES), empregando um espectrômetro de marca Perkin Elmer e modelo Optima 4300.

Os resultados de concentração dos íons maiores nas águas foram usados para classificá-las, com base em cátions e ânions dominantes, através do Diagrama de *Piper*. Para esta classificação empregou-se o software QUALIGRAF (Möbus, 2003).

Com intuito de proceder à análise da distribuição espacial dos parâmetros vazão (Q), condutividade elétrica (CE) e concentrações dos íons maiores foram utilizados procedimentos geoestatísticos que permitem a representação do comportamento destas variáveis no que se refere à sua forma de variação em relação ao espaço. A representação de superfícies tridimensionais no plano bidimensional, por meio de linhas de contorno, tem amplo uso em vários campos

das ciências naturais. Os mapas produzidos têm valor representativo e quantitativo. O objetivo do contorno é traçar linhas de valor constante para uma variável dependente z, projetada em um plano de duas variáveis independentes (x, y). Para a geração das linhas de contorno é necessário a utilização de métodos de interpolação e/ou estimação. Neste trabalho foi aplicado o método de krigagem, que é um estimador de mínima variância baseado no conhecimento do variograma, ou seja, é um procedimento para estimação de valores de variáveis distribuídas no espaço, a partir de valores adjacentes. Os mapas de isolinhas para os parâmetros de Q, CE e concentrações dos íons foram elaborados com auxílio do software SURFER versão 8.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após uma análise de consistência dos dados disponíveis no cadastro de poços, foi gerado um arquivo de dados com 156 poços, dentre os quais 45 apresentaram resultados de análises químicas de íons maiores, 96 apresentavam medidas de condutividade elétrica e 136 apresentavam valores de vazão.

O cálculo do balanço iônico para os dados de análise química da água dos 45 poços de Ocara evidenciou 7 análises com erro superior ao considerado aceitável e por isso foram eliminadas.

Com valores das concentrações dos íons maiores presentes nas águas de 38 poços distribuídos em Ocara (Tabela 1), foi feita a classificação no diagrama de *Piper* (Figura 2), a qual evidenciou a predominância dos tipos Cloretadas Mistas (73,7%) e Cloretadas Sódicas (26,3%). Esta é uma característica comum das águas subterrâneas no meio cristalino do Ceará, que resulta de um processo de salinização que tem como um dos principais fatores a recarga insignificante dos aquíferos, devido a semi-aridez da região.

Tabela 1 - Concentrações iônicas (mg/L) das águas subterrâneas do município de Ocara-CE.

Poço	UTM-S	UTM-E	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Cl	Na ⁺	K ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻	Balancolônico Erro(%)
1	9496597	555634	601	875	11134	4182	23	0.5	61	174	5,6
5	9499238	548699	160	202	1974	788	24	70	182	150	3,03
11	9508725	552538	1020	307	4655	1685	56	30	134	110	5,05
14	9506734	549967	112	278	1748	390	8	28	66	215	9,01
17	9500861	559041	412	298	2539	686	46.7	12	13	250	0,06
18	9500332	560534	272	202	1151	89	8	45	71	78	2,4
20	9501241	562352	288	173	1176	293	26	41	4	217	5,71
21	9501584	563486	97	181	858	277	18.3	0.7	27	106	9,74
23	9503479	563975	113	52	360	96	3.1	8	8	253	1,53
24	9507015	551544	160	48	568	158	18	27	28	153	0,73
27	9503101	570319	31	28	270	115	9.6	0	0	104	1,22
31	9510044	554726	272	230	2406	610	7	38	113	102	10,09
32	9506726	549935	176	106	1151	280	8	32	90	78	9,46
41	9508538	561242	192	221	1542	331	9	26	6	176	5,07
45	9495531	565325	158	289	2677	1106	43.5	0.8	17	198	1,08
46	9490552	560570	220	276	2474	715	61	13	9	57	3,47
50	9494082	556230	235	416	3124	729	45	26	17	202	7,83
51	9492570	552966	192	221	1542	331	9	26	6	176	5,07
53	9490962	549783	104	197	2199	951	53	50	94	123	2,11
59	9490161	544571	301	784	4539	1264	109.8	11	152.5	54	1,94
60	9493414	542472	285	409	3324	1201	55	7.5	185	139	0,96
61	9496480	544805	120	91	1125	469	21	14	119	104	2,42
62	9497164	544171	302	317	2297	1012	38	61	113	62	10,93
70	9495784	562980	752	86	1499	158	19	11	26	321	3,7
81	9487544	549806	512	826	3749	774	28	10	562	217	2,63
82	9502676	549524	224	206	2024	679	33	17	122	133	3,16
83	9500820	568905	26	100	324	50	7	0.6	7	187	2,01
84	9492481	561039	680	1320	6737	1834	59.7	7.5	92	180	6,88
86	9507306	552969	529	710	3870	949	35.1	2	375	244	2,41
88	9490220	554948	110	169	1045	291	25.16	25	90	74	0,41
89	9486531	545205	488	681	4142	885	55	5	28	152	0,12
90	9500884	548030	200	264	1393	379	50.2	1.6	175	122	4,75
91	9495809	562962	624	38	1575	573	93	18	94	192	10,55
96	9501546	563441	97	181	858	277	18.3	0.7	27	129	9,03
101	9500077	543008	224	230	2099	666	26	66	6	84	1,71
122	9500368	560523	344	168	1265	122	7	16	13	191	3,81
131	9501266	562877	156	262	1585	462	26	33	12	239	0,67
132	9495813	562925	316	154	1555	664	75.6	50	32	154	10,61

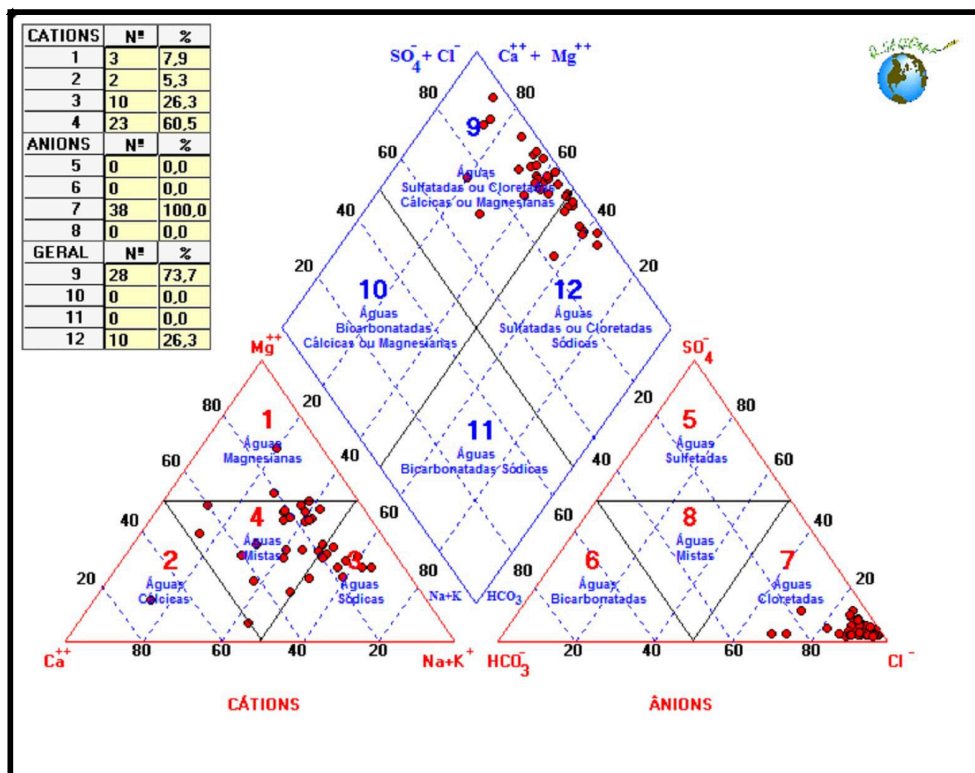


Fig. 2: Classificação das águas subterrâneas do Município de Ocara-CE.

A classificação das águas foi colocada sobre a base litológica na tentativa de visualizar possíveis correlações (Figura 3). A Figura 3 mostra que a maioria dos poços (23 amostras) está localizada na unidade litológica do Complexo Ceará e que as águas são predominantemente do tipo Clorretadas Mistas (15 amostras), seguida pelas Clorretadas Sódicas (5 amostras). Esses mesmos tipos foram observados no Grupo Barreiras e na mesma ordem de abundância. Portanto, quanto à classificação pelos íons maiores, as águas dos dois domínios são iguais, o que sugere que a litologia não é o fator preponderante no processo de salinização.

Para determinação dos elementos menores, na maioria metais pesados, foram analisadas as águas de 14 poços, a maioria destes localizada no domínio litológico de maior expressão, ou seja, o Complexo Ceará (Figura 3 e Tabela 2).

Foi detectado Bário em nove poços com concentrações entre 0,2 a 3,8 mg/L, e entre os elementos menores foi o que se apresentou com maior concentração nas águas dos três domínios hidrogeológicos, enquanto os elementos Ni, Cr, Cd, Co, Sb e B, não foram detectados, ou seja, estão abaixo do limite de detecção do método, respectivamente, 0,05, 0,02, 0,05, 0,05, 0,045 e 0,05 mg/L. Em trabalho realizado por Gomes *et al* (2010) sobre a qualidade de água do aquífero aluvionar do Rio Jaguaribe, esses elementos também não foram detectados. Também pôde-se observar que esses dois tipos de aquífero, o fissural (de Ocara) e o poroso (aluvião do Jaguaribe) apresentaram os mesmos elementos, porém há uma maior incidência e concentração no fissural, assim como para íons maiores.

A relação de abundância de metais traço, com base na concentração média (mg/L), para as

Melo et al. Estudo da variabilidade espacial da qualidade das água subterrâneas...

águas do Grupo Barreira foi: Ba (0,986) > Al (0,535) > Pb (0,205) > Li (0,038) > Mn (0,032) > Zn (0,013) e para as armazenadas no Complexo Ceará a relação foi a mesma, porém, com exceção

do chumbo, as concentrações foram levemente maiores. Também neste Grupo foi detectada a presença de selênio (0,112 a 0,216).

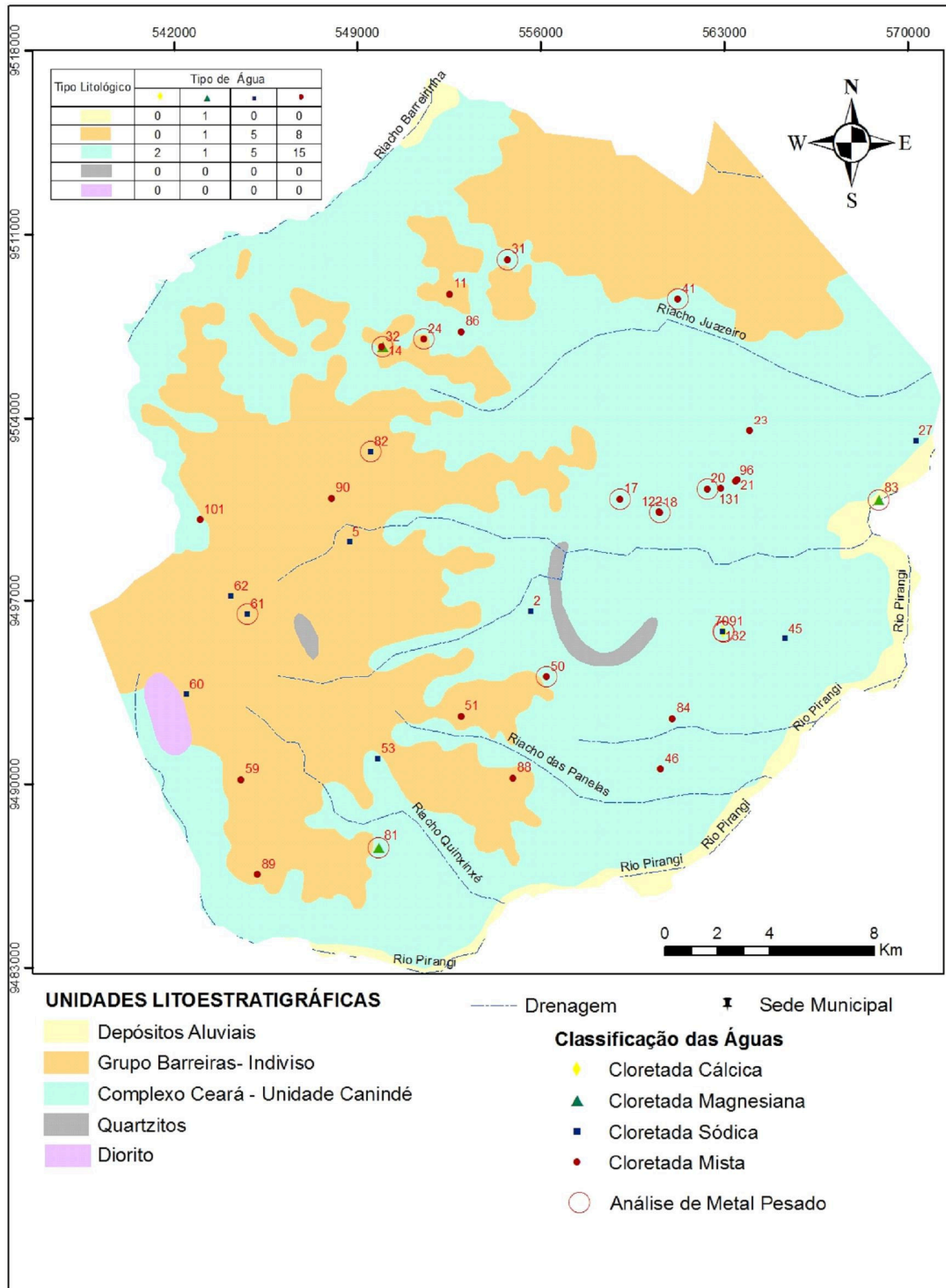


Fig. 3 - Base litológica com a classificação das águas subterrâneas do Município de Ocara-CE.

Tabela 2 - Concentrações (mg/L) dos elementos menores nas águas subterrâneas do município de Ocara-CE.

Unidade Litológica	Poço	Al	Mn	Pb	Ba	Zn	Li	Se
Depósito Aluvionar	83	<0,05	0,019	<0,05	2,400	0,208	0,069	<0,05
	14	<0,05	0,073	<0,05	0,191	<0,025	0,037	<0,05
Grupo Barreiras	24	0,987	0,018	0,200	3,540	0,053	0,046	<0,05
	61	0,682	0,038	0,334	<0,05	<0,025	0,057	<0,05
	82	0,472	<0,004	0,284	0,215	0,215	0,011	<0,05
Complexo Ceará	31	0,463	0,006	<0,05	<0,05	<0,025	0,014	<0,05
	41	0,082	<0,004	<0,05	<0,05	<0,025	<0,002	0,152
	17	<0,05	<0,004	<0,05	2,740	<0,025	0,058	<0,05
	18	0,800	<0,004	0,400	0,729	0,042	<0,002	<0,05
	20	1,309	0,010	0,242	3,850	0,045	0,122	<0,05
	50	1,035	0,094	<0,05	1,300	0,039	0,082	0,216
	70	0,716	0,008	<0,05	<0,05	0,031	0,009	<0,05
	81	0,292	0,041	0,097	<0,05	0,035	0,154	0,112
	91	1,227	0,210	<0,05	1,270	0,033	0,175	<0,05

Foram elaborados mapas de isóteores dos íons maiores e de nitrato nitrogenado visando revelar a forma de variação espacial destes íons. Dentre estes mapas destacam-se os mapas dos íons cloreto (Figura 4), sódio (Figura 5), sulfato (Figura 6) e o de nitrato nitrogenado (Figura 7). Os íons cloreto, sódio, cálcio e magnésio são os íons predominantes que refletem a alta salinidade registrada nas águas dos poços explorados, e os íons sulfato e nitrato nitrogenado onde se tem registros de valores acima dos limites máximos padronizados, limites de 250 mg/L para Cl, 200 mg/L para Na, 250 mg/L para SO_4 e de 10 mg/L para $N-NO_3$ pelas normas do Ministério da Saúde (Portaria N° 2914 de 12 de dezembro de 2011) para adequação ao consumo humano.

Os mapas de contorno dos íons Cl e Na^+ , obviamente, apresentaram-se semelhantes, exibindo anomalia centralizada, estimada com base em apenas um valor.

O íon sulfato (SO_4^{-2}) representa sais moderadamente solúveis a muito solúveis.

No mapa de contorno para o íon SO_4^{-2} (Figura 4) destacam-se duas zonas, uma a norte e

outra a sul do município de Ocara, onde o traçado das isolinhas foi claramente determinado pelos dois valores que estão acima do limite (250 mg/L) permitido pela Portaria N° 2914/2011.

Os íons cloreto (Cl) e sódio (Na^+) tendem a se precipitar como cloreto de sódio (NaCl), são os íons mais comuns e de maiores concentrações nas águas subterrâneas do meio cristalino. Todos os valores de concentração do íon cloreto são considerados pela Portaria N° 2914 inadequados para o consumo humano e para o íon sódio apenas sete dos trinta e oito valores estariam dentro do limite aceitável.

O nitrato nitrogenado $N-NO_3^-$ representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica proveniente de resíduos da atividade humana (esgotos sanitários e fossas sépticas). Os valores obtidos para o íon nitrato nitrogenado evidenciaram que a concentração média é de 21 mg/L, portanto, duas vezes superior ao padrão para consumo humano. O mapa de contorno para o íon NO_3^- (Figura 7) mostrou a individualização de várias regiões de altas concentrações dispersas por toda a área.

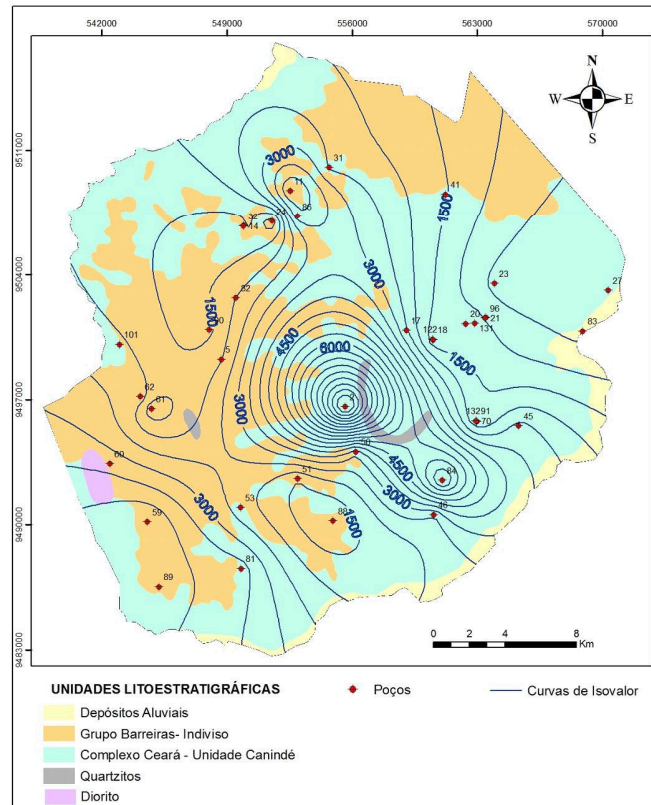


Fig. 4 - Mapa de Contorno do íon cloreto (Cl^-), em mg/L nas águas subterrâneas do Município de Ocara-CE .

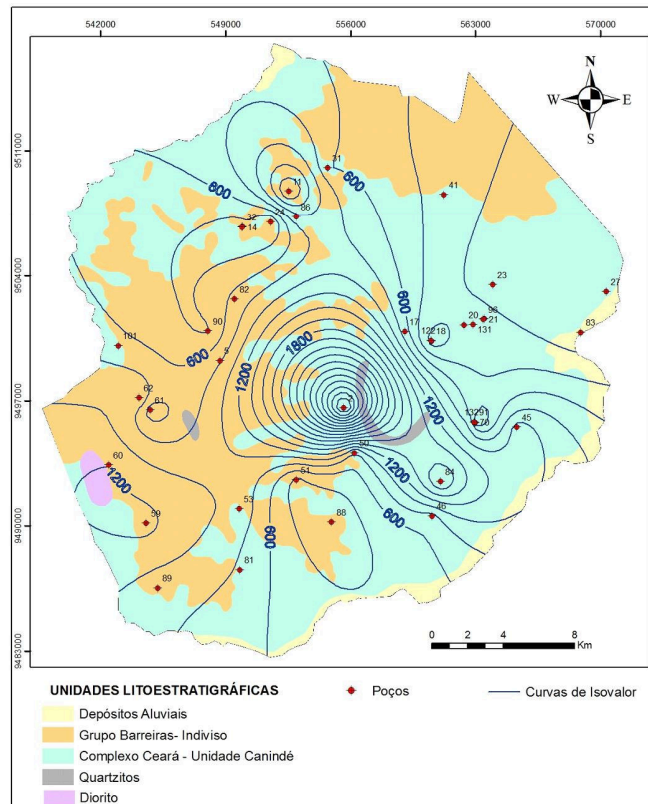
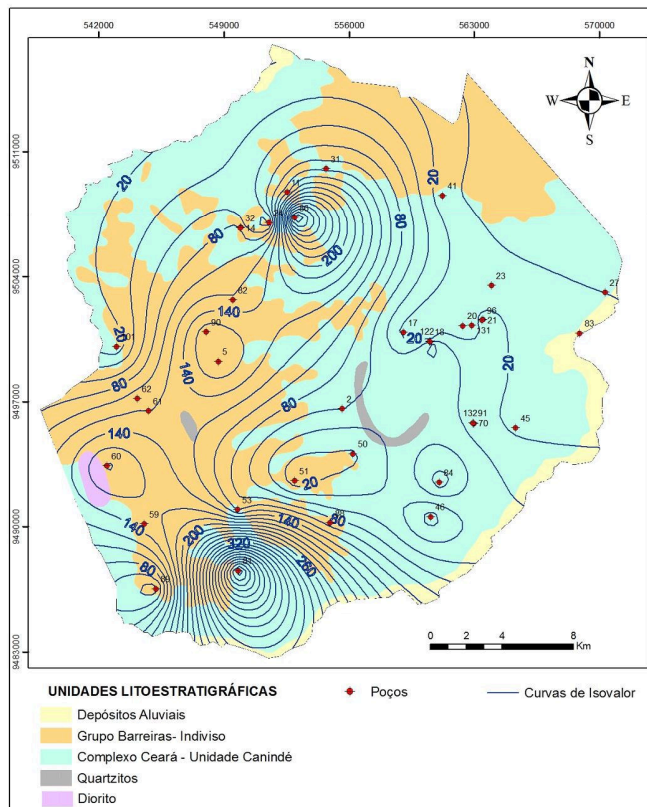
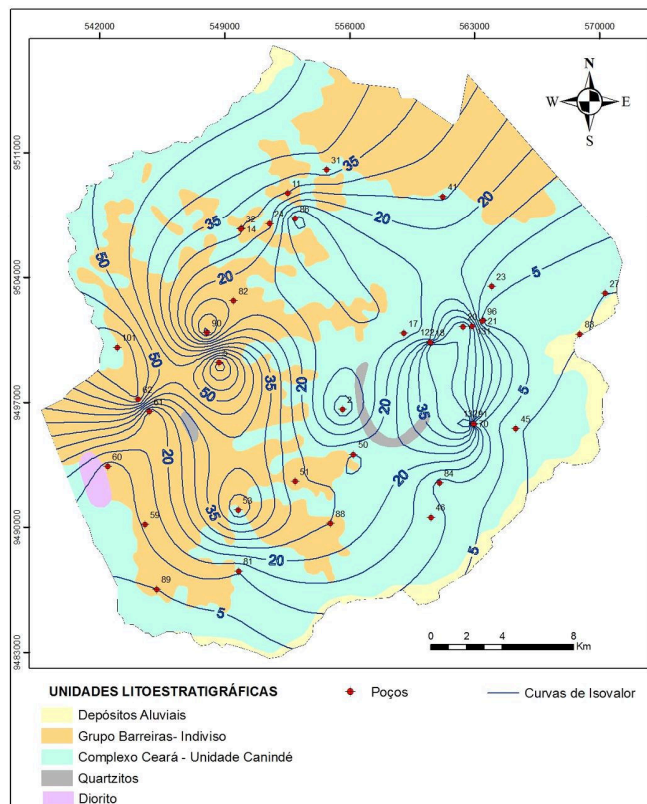


Fig. 5 - Mapa de Contorno do íon sódio (Na^+), em mg/L nas águas subterrâneas do Município de Ocara-CE.

Fig. 6 - Mapa de Contorno do íon sulfato (SO_4^{2-}), em mg/L nas águas subterrâneas do Município de Ocara-CE.Fig. 7 - Mapa de Contorno do íon nitrato nitrogenado ($N-NO_3^-$), em mg/L nas águas subterrâneas do Município de Ocara-CE .

Os mapas de contorno da vazão e de condutividade podem ser observados nas Figuras 8 e 9, respectivamente. O valor máximo calculado para a vazão foi da ordem de 13.000 L/h e as isolinhas de valores máximos estão concentradas nas porções Norte e Sudeste do Município. O valor máximo de condutividade foi da ordem de 30000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

e as concentrações das isolinhas de altos valores situaram-se na porção Sudeste do Município. No entanto, esta aparente correlação de posicionamentos de isolinhas de altos valores não foi confirmada no diagrama de dispersão que apresentou coeficiente de determinação nulo para o ajuste linear (Figura 10).

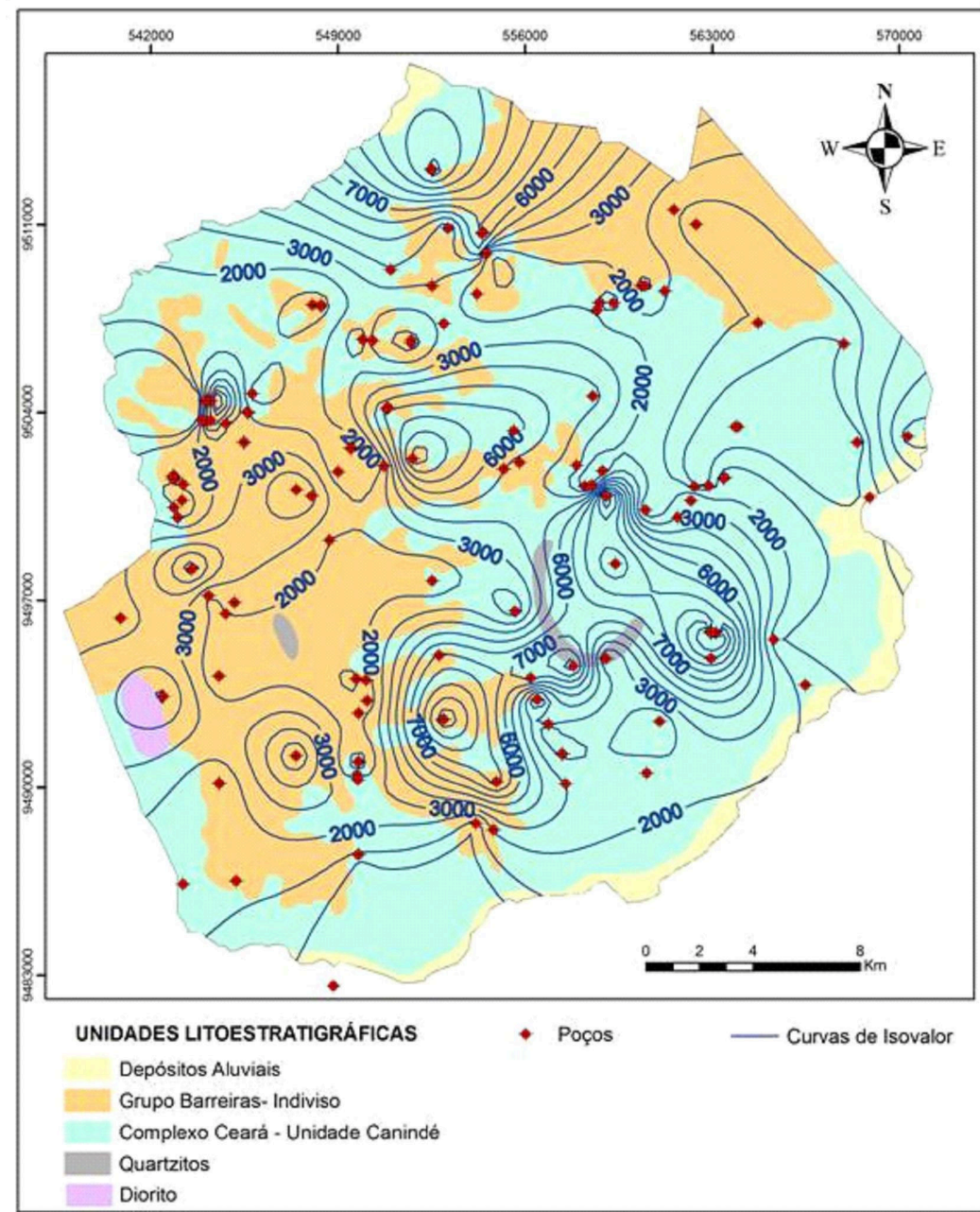


Fig. 8 - Mapa de contorno da vazão (L/h) dos poços do município de Ocara-CE.

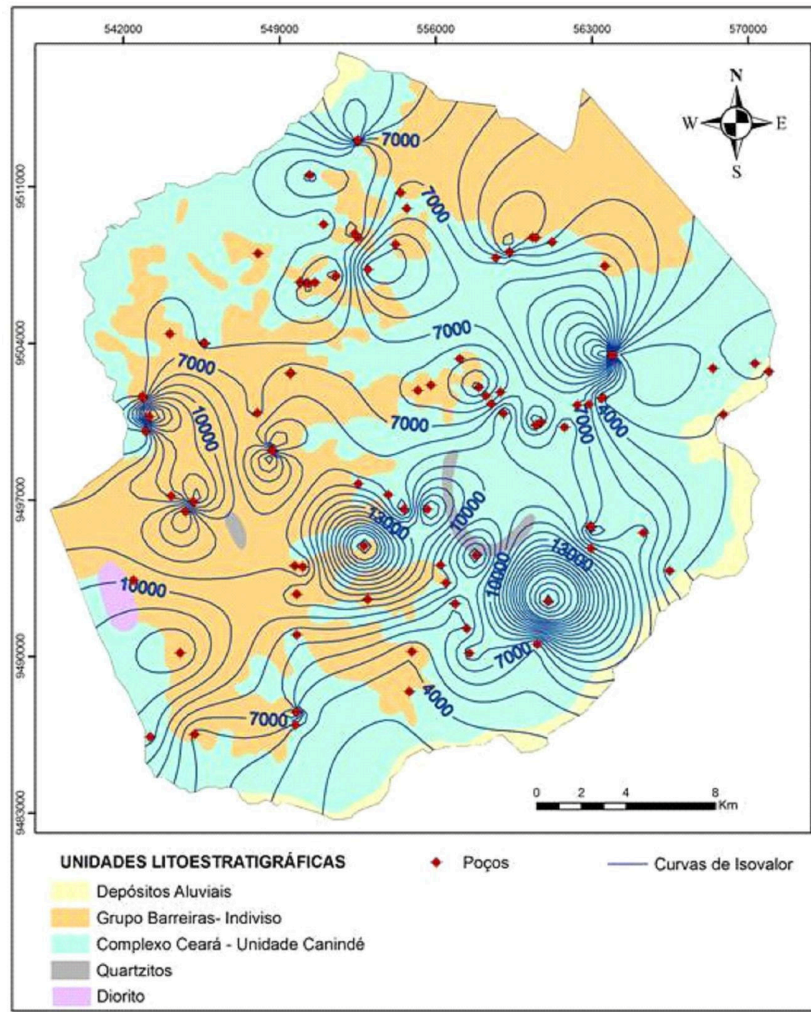


Fig. 9 - Mapa de contorno da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) das águas do município de Ocara-CE.

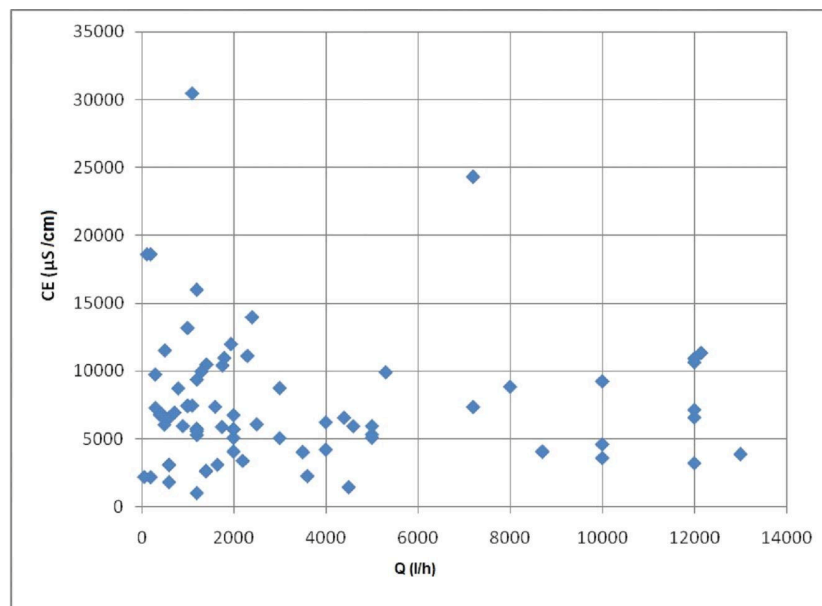


Fig. 10 - Diagrama de dispersão para as variáveis vazão e condutividade elétrica das águas dos poços do Município de Ocara-CE.

CONCLUSÕES

As águas do município de Ocara foram classificadas predominantemente (73,7%) em Cloretadas Mistas (Magnesianas ou Cálcidas), as águas com esta classificação estão disseminadas em toda a área, impossibilitando a individualização de agrupamento espacial, o que descarta a possibilidade de correlação entre o tipo litológico e a classificação das águas.

As águas dos dois domínios hidrogeológicos, Complexo Ceará e Grupo Barreiras, são muito semelhantes quanto a composição química, por apresentarem o mesmo tipo predominante de água (Cloretadas Mistas) e a mesma relação de abundância dos elementos menores (Ba>Al>Pb>Li>Mn>Zn), diferindo apenas quanto as concentrações, que de modo geral, são maiores nas águas do Complexo Ceará, as quais são as mais salobras e estão no aquífero fissural.

As águas são impróprias para consumo humano por terem concentrações de íons que excedem os valores permitidos para águas potáveis (cloreto, sódio, nitrato nitrogenado, bário, alumínio e, raramente, sulfato e chumbo).

O íon sulfato apresentou concentração média dentro do limite estabelecido pela Portaria N° 2914/2011, porém através do mapa de contorno foi possível identificar pontos localizados na Porção Norte e Sul do Município que geraram concentrações elevadas, acima do limite estabelecido pela mesma Portaria.

No caso do íon nitrato nitrogenado, o mapa de contorno evidenciou que as concentrações elevadas estão dispersas espacialmente pelo município, o que é preocupante, pois estas concentrações elevadas são ocasionadas por resíduos da atividade humana, fato que seria solucionável com medidas de saneamento básico.

Os mapas de isolinhas de vazão e condutividade elétrica, apesar de apresentarem

algumas semelhanças no posicionamento de valores altos não apresentaram correlação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. *et al.* **Províncias Estruturais Brasileiras**. In: VIII Simp. Geol. Nordeste, Atas, p. 363-391. Campina Grande, 1977.
- ARTHAUD, M. H. *et al.* **Main structural features of precambrian domains from Ceará (NE Brasil)**. In: DEGEO/UFOP-IBTA, International Conference on Basement Tectonics, 14th, Ouro Preto, Abstracts, 84:85 p. 1998
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n° 2914 de 12 de dezembro de 2011.
- CAVALCANTE J.C *et al.* **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Ed. CPRM. Fortaleza-CE, 2003.
- CPRM-SIAGAS: **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas**. Disponível em: www.cprm.gov.br. Acesso em: 16 outubro de 2011.
- FRIZZO, S. J. **Elementos Químicos em Águas de Abastecimento Público no Estado do Ceará**. In: SILVA, C. R.; FIGUEIREDO, B. R.; CAPITANI, E. M. *et al.* (editores). *Geologia Médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana e meio ambiente*. Workshop Internacional de Geologia Médica, Rio de Janeiro, p.183 a 191, 2005.
- GOMES D. F. *et al.* **Estudo Hidroquímico e Isotópico (¹⁸O) do Aquífero Aluvial do rio Banabuiú – Trecho Morada Nova – Ceará**. Revista de geologia, vol. 23, N°1, P32-48.2010.
- IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Básico Municipal Ocara**. Fortaleza-CE, 2010.
- LOGAN, John. – **The Interpretation of Chemical**

Melo et al. Estudo da variabilidade espacial da qualidade das água subterrâneas...

Analyses of Water. Recife, U.S.Agency for International Development. 1965.

LOPES, M.F. DE O. *et al.* **Avaliação da qualidade das águas subterrâneas no município de Ocara – Ceará** - Revista de Geologia, Vol. 21, nº 1, 35-48, 2008.

MOBUS, G.2003. **Qualigraf: software para interpretação de análise físico-químicas, versão Beta.** Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos-FUNCEME.Fortaleza. Disponível em:WWW.fuceme.br.Acesso em 08 de março de 2013.

MOURA, I.B.M. **Estudo Das águas da bacia hidrográfica do rio Banabuiú no trecho entre Quixeramobim e Banabuiú- Ceará, Brasil.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará.2013.