

DOI: 10.7127/rbai.v1501198

ESPACIALIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DESTINADA A IRRIGAÇÃO NA COMUNIDADE AGRÍCOLA DE BARREIROS, ARATUBA-CE**SPATIALIZATION OF GROUND WATER QUALITY FOR IRRIGATION IN THE AGRICULTURAL COMMUNITY OF BARREIROS, ARATUBA-CE****Luana Martins Alexandre¹, Antonio Patrick Meneses de Brito^{2*}, Ítalo Magno de Melo Santos³, Fred Denilson Barbosa da Silva⁴, Geocleber Gomes de Sousa⁵, Rafaella da Silva Nogueira⁶**

¹ Eng. Agrônoma, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, CE, Brasil.

² Graduando em Agronomia, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, CE, Brasil.

³ Graduando em Engenharia de Energias, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, CE, Brasil.

⁴ Prof. Doutor em Fitotecnia, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, CE, Brasil.

⁵ Prof. Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, CE, Brasil.

⁶ Profa. Doutora em Informação Espacial, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, CE, Brasil.

RESUMO: A água subterrânea está igualmente sujeita à contaminação e ao esgotamento e deve ser explorada de maneira sustentável e ter a potabilidade avaliada de modo a não oferecer risco à saúde da população. O objetivo do trabalho foi analisar a distribuição espacial de parâmetros de qualidade da água subterrânea na comunidade de Barreiros, Aratuba-CE. Os parâmetros temperatura, condutividade elétrica (CE), turbidez, potencial hidrogeniônico (pH), sólidos dissolvidos (STD), cloreto e a dureza foram avaliados em 16 poços. A variabilidade espacial foi determinada por meio de análise geoestatística utilizando o Software Gama Designer Software (GS+), versão 10. A interpolação foi aplicada por meio da técnica de krigagem para construção de mapas de programa Sufer 8.0. Os resultados obtidos nas análises foram comparados aos valores máximos permitidos pela legislação vigente. A análise variográfica indicou que a CE e STD se ajustaram melhor ao modelo esférico; os cloretos e turbidez ao modelo linear; e dureza, pH e temperatura ao modelo gaussiano. A qualidade da água subterrânea na comunidade de Barreiros apresentou inadequações nos parâmetros CE e pH. Os demais parâmetros se mantiveram dentro do permitido.

Palavras-chave: Variabilidade espacial, geoestatística, krigagem, potabilidade

ABSTRACT: Groundwater is also subject to contamination and depletion, must be exploited in a sustainable manner and be potable in a way that does not pose a risk to the health of the population. The objective of this work was to analyze the spatial distribution of groundwater quality parameters in the community of Barreiros, Aratuba-CE. The evaluated parameters were temperature, electrical conductivity (CE), turbidity, hydrogen ionic potential (pH), dissolved solids (STD), chloride and hardness. Sixteen wells were evaluated. Spatial variability was evaluated using geostatistical analysis using the Software Designer Gama Software (GS +), version 10. The interpolation was applied using the kriging technique to construct Sufer 8.0 program maps. The results obtained in the analyzes were compared to the maximum values allowed by the current legislation. The variographic analysis indicated that EC and STD fit better to the spherical model; chlorides and turbidity to the linear model; and hardness, pH and temperature to the Gaussian model. The quality of groundwater in the community of Barreiros presented inadequacies in the CE and pH parameters. The other parameters were kept within the allowed limits.

Key words: Spatial variability, geostatistics, kriging, potability

INTRODUÇÃO

No Brasil as águas subterrâneas têm sido utilizadas como fontes de abastecimento público e privado a fim de suprir as mais variadas necessidades sociais, como a irrigação, a indústria e o consumo humano (HIRATA et al., 2010). As águas subterrâneas possuem potencial para reduzir a restrição hídrica mediante as adversidades climáticas, a sua utilização e gestão refletem as mesmas falhas que levaram a degradação das águas superficiais (VILLAR, 2016).

Embora seja subterrânea, este tipo de água está igualmente sujeita à contaminação e ao esgotamento, tal e qual as demais fontes de água, portanto deve ser explorada de maneira sustentável e ter a potabilidade comumente avaliada (MOTTA et al., 2014).

A perfuração inadequada dos poços, o destino final de esgotos domésticos e industriais (geralmente despejados em fossas e tanques sépticos) e o inadequado descarte de resíduos sólidos são potenciais fontes de contaminação das águas subterrâneas (SILVA et al., 2014).

A utilização do recurso hídrico subterrâneo pressupõe a realização de estudos visando avaliar a qualidade da água, objetivando conhecer os fatores ambientais (naturais ou antrópicos) que de forma direta ou indireta afetam a qualidade da água e, com base em tais resultados, direcionar os investimentos necessários, seja para elevar os níveis de potabilidade da água ou direcioná-los para as regiões onde a água é mais potável (BRAGA et al., 2018).

Segundo Becker (2010), a qualidade da água é o que assegura um determinado uso ou conjunto de usos dessa água e é representada por características intrínsecas de natureza física, química, radioativa e biológica, geralmente mensuráveis. Para Eloi et al. (2014), a qualidade da água é um dos fatores mais importantes para a irrigação, pois

pequenas quantidades de soluto podem a longo prazo transformar uma área fértil em um solo salino de baixa produtividade.

Mediante a necessidade de determinar a qualidade da água, trabalhos tem utilizado como ferramenta o geoprocessamento a fim de avaliar distribuição espacial dos atributos indicativos da potabilidade. Cruz et al. (2010), afirmam que através dos SIGs é possível a manipulação de dados georreferenciados de forma rápida, e a produção de mapas, gráficos e planilhas que possibilitem a análise do comportamento espacial de variáveis indicadoras da qualidade da água ao longo de uma determinada região de interesse. Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi analisar a distribuição espacial da qualidade da água subterrânea destinada a irrigação e consumo humano na comunidade rural de Barreiros, em Aratuba-CE.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O presente trabalho foi realizado na comunidade de Barreiros que está localizada no município de Aratuba, e está situado entre as coordenadas 4° 25' 06"S e 39° 02' 42"W, na região serrana do Maciço de Baturité a 126 km da capital Fortaleza-CE (Figura 1). O município apresenta clima Tropical Sub-quento Úmido, temperatura média entre 24° a 26° C, pluviosidade de 1.753,1 mm e altitude de 830 m (IPECE, 2017).

A comunidade de Barreiros abrange cerca de 110 famílias e tem como principal atividade econômica a agricultura, se destacando na produção de hortaliças.

A principal fonte de água utilizada para consumo e outras atividades é proveniente de poços profundos, razão pela qual se faz necessário avaliar a qualidade da água na referida comunidade.

Espacialização da qualidade da água subterrânea destinada a irrigação na comunidade agrícola de barreiros, Aratuba-CE

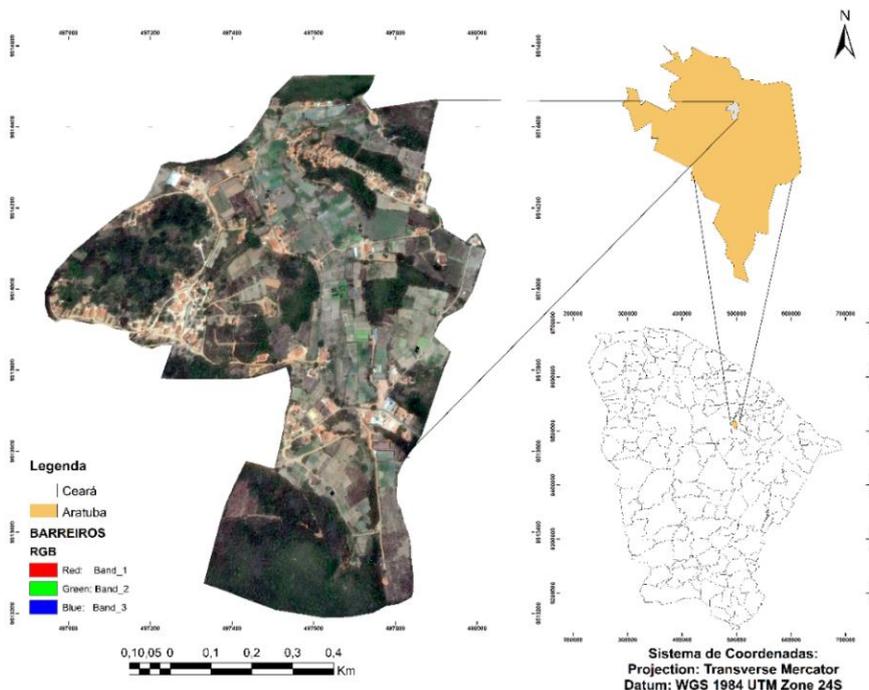


Figura 1. Mapa de localização da comunidade de Barreiros, Aratuba-CE.

Coleta e análise de dados

Inicialmente foram realizadas visitas de campo com o intuito de delinear por meio de questionário semiestruturado informações sobre em quais atividades a água era utilizada, a vazão dos poços, tamanho da área de produção, dentre outros. Posteriormente foi realizado o georreferenciamento dos poços com o auxílio do GPS (Sistema de Posicionamento Global) modelo Garmin 76scx para determinar as coordenadas geográficas. Para a elaboração do mapa de distribuição espacial dos poços, foi utilizada uma imagem obtida através do *Google Earth Pro* de 12 de janeiro de 2019 e georreferenciada no programa ArcGis 10.1.

As coletas de água foram realizadas em recipientes previamente esterilizados com ácido clorídrico (HCl) e devidamente identificados. Foram avaliados 16 poços. Os parâmetros avaliados foram temperatura, condutividade elétrica (CE), turbidez, potencial hidrogeniônico (pH), sólidos dissolvidos totais (STD), cloreto e dureza.

No ato da coleta foram aferidos a temperatura e o pH. A temperatura foi mensurada com o auxílio de um termômetro de mercúrio com graduação de 0 a 150 °C, o pH foi determinado com o auxílio de um

Phmetro portátil Modelo Akrom Kr21. Os sólidos totais dissolvidos (TDS) e a condutividade elétrica foram aferidos por meio de um aparelho multiparâmetro de bancada AZ- modelo 86505 e a turbidez foi determinada por turbidímetro AP- modelo 2000.

As demais análises foram realizadas no Laboratório de Química Geral I e II, do Campus das Auroras da UNILAB. Os cloretos e a dureza foram determinados com base no Manual do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). O cloreto foi determinado pelo método de titulação com nitrato de prata (AgNO_3). Onde ajustou-se o pH entre 7 e 10 com hidróxido de sódio (NaOH), adicionou-se 4 gotas da solução indicadora de Cromato de Potássio (K_2Cr_4) $0,1 \text{ Mol L}^{-1}$ e titulou-se amostra de 50 ml com a solução padrão de nitrato de prata (0,1 M). Um branco foi realizado utilizando 100 mL de água de destilada com um pouco de carbonato de cálcio CaCO_3 e titulado com AgNO_3 . Posteriormente realizou-se os cálculos (Equação 1).

$$\text{Mg/L de Cl} = (A - B) * N * 35,45/\text{ml da am.} \quad (1)$$

Onde: A - ml do titulante gasto na amostra; B - ml do titulante gasto no branco; N - Normalidade do titulante; AM - amostra.

A Dureza Total (DT) foi determinada por meio da titulação com *Ethylenediamine tetraacetic Acid* (EDTA). Utilizou-se 20 ml da amostra, adicionou-se com o auxílio de uma pipeta 3 ml da solução tampão amoniacal pH = 0 (NH₄Cl/NH₃) e uma pitada do titulante negro Eriocromo T. Titulou-se a amostra com EDTA 0,01 M/L até a viragem da cor rosa para azul. Em seguida foram realizados os cálculos (Equação 2).

$$DT = ml \text{ de EDTA} * 1000 * FC / ml \text{ da am.} \quad (2)$$

Onde: MI de EDTA - Volume de EDTA gasto na titulação; FC - Fator de correção; AM - amostra.

A padronização foi realizada utilizando-se 5 ml da solução de carbonato de cálcio 0,01 (CaCO₃) em 20 ml de água destilada. Ajustou-se o pH entre 12 e 13 com hidróxido de sódio (NaOH) 6,0 Mol/L, adicionou-se o indicador Eriocromo T. e titulou-se com a solução de EDTA até a viragem de cor e calculou-se (Equação 3).

$$FC = \frac{V}{VP} \quad (3)$$

Onde: FC - Fator de correção; v - volume; vp - volume de EDTA gasto na titulação.

A qualidade da água foi comparada conforme os padrões de potabilidade da Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 (turbidez, pH e CE), da Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 (Cloretos, Dureza e STD) e Ministério da Saúde, (2006), (temperatura).

A variabilidade espacial foi avaliada por meio de análise geoestatística ajustando modelos teóricos aos semivariogramas experimentais utilizando o Software Gama Designer Software (GS+), versão 10. A escolha dos modelos teóricos (esférico, exponencial, gaussiano, linear) seguiu critérios adotados pelo software GS+®, que utiliza a menor soma dos quadrados do resíduo e o maior coeficiente de determinação. A interpolação foi aplicada por meio da técnica de krigagem para construção de mapas de isolinhas no programa Sufer 8.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Identificação e caracterização dos poços

A comunidade apresenta 16 poços, sendo dois deles comunitários (P7 e P14), responsáveis pela distribuição de água para toda a população (Tabela 1). Os outros 14 se localizam em propriedades rurais distintas e foram escavados pelos próprios proprietários, sendo seu uso limitado aos proprietários e familiares.

A atividade agrícola é preponderante na comunidade ocupando quase que por completo sua extensão territorial, observa-se manchas de vegetação nativa mais nas extremidades norte e sul.

A vazão dos poços variou de 1.500 a 7.200 L/h e o tamanho da área de produção dos agricultores variou de 0,5 a 16 ha. Quanto ao tipo de uso da água, em 37,5% dos poços, a água é utilizada nos 3 tipos de uso: consumo humano, irrigação e atividades domésticas. Apenas um poço é utilizado somente para irrigação (Tabela 1)

Espacialização da qualidade da água subterrânea destinada a irrigação na comunidade agrícola de barreiros, Aratuba-CE

Tabela 1. Localização, vazão, área de produção e tipo de uso da água subterrânea.

Poços Amostrados	Coordenadas		Vazão (L/h)	Área de produção (ha)	Tipo de Uso
	X	Y			
P1	497519	9514307	2.000	2 ha	1, 2 e 3
P2	497459	9514352	6.000	2 ha	2 e 3
P3	497644	9514228	4.000	1 ha	1, 2 e 3
P4	497470	9514187	1.500	2 ha	1, 2 e 3
P5	497442	9514093	1.800	2 ha	2 e 3
P6	497621	9514052	2.000	0,5 ha	1, 2 e 3
P7	497681	9514074	5.000	-	1 e 3 *
P8	497624	9514237	4.000	3 ha	1, 2 e 3
P9	497714	9514095	2.000	16 ha	1, 2 e 3
P10	497862	9514109	2.000	0,5 ha	2 e 3
P11	497660	9513999	1.800	1,5 ha	2 e 3
P12	497430	9513809	7.200	0,5 ha	2
P13	497685	9513944	2.500	2 ha	2 e 3
P14	497340	9513979	5.000	-	1 e 3 *
P15	497450	9514216	2.000	2,1 ha	2 e 3
P16	497714	9513699	1.500	2,5 ha	2 e 3

P: Poço; 1: Consumo Humano; 2: Irrigação; 3: Atividades Domésticas; *Poço Comunitário.

Esses dados demonstram a relevância da água subterrânea na comunidade, suprimindo as necessidades humanas no que tange ao consumo humano e seus múltiplos usos.

O que torna indispensável o monitoramento da qualidade da água que está sendo distribuída.

Análise físico-química da água

De acordo com os dados sumarizados na tabela 2, identificou-se desconformidade nos parâmetros de Condutividade elétrica (100% das amostras) e pH (50% das amostras), já os demais atributos apresentaram comportamento satisfatório.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos da água subterrânea e Valor Máximo Permitido.

Amostras	Parâmetros						
	Físicos			Químicos			
	CE (dS m ⁻¹)	Turbidez (NTU)	Temperatura (°C)	STD (mg L ⁻¹)	pH	Dureza (mg L ⁻¹)	Cloretos (mg L ⁻¹)
P1	0,715	3,03	24	326	6,0	233,33	97,27
P2	0,580	2,93	23	292	5,9	99,99	116,12
P3	0,358	3,46	23	180	5,7	61,90	62,53
P4	0,635	2,91	23	318	6,0	161,89	104,22
P5	0,410	2,9	23	205	6,0	99,99	62,53
P6	0,725	2,96	24	364	6,3	280,93	138,91
P7	0,451	2,84	23	228	5,8	123,80	69,48
P8	0,476	2,97	23	243	5,7	109,51	104,22
P9	0,435	2,96	24	221	5,7	123,80	97,27
P10	0,349	2,88	23	177	5,9	109,51	48,64
P11	0,515	3,09	22	259	5,7	99,99	104,22
P12	0,390	4,14	22	189	6,2	223,80	55,59
P13	0,527	2,96	24	256	6,0	123,80	97,27
P14	0,441	3,02	24	216	6,2	128,56	76,43
P15	0,758	3,65	23	372	6,0	199,98	111,17
P16	0,715	3,11	23	129	5,6	52,37	40,33
VMP*	0,340	40	20 a 30	1000	6-9	500	250

P – Poço; VMP – Valor Máximo Permitido; NTU- Unidade Nefelométrica de Turbidez.

Para o parâmetro CE observou-se que, 100% das amostras apresentaram valores acima do permitido pela legislação ($0,340 \text{ dS m}^{-1}$), sendo os maiores valores encontrados nos poços P1, P6, P15 e P16 que ficaram acima dos $0,700 \text{ dS m}^{-1}$ (Tabela 2). Tendo em vista que a CE está fortemente relacionada a presença de íons, partículas carregadas eletricamente por sólidos dissolvidos, acredita-se que as altas taxas de condutividade elétrica atribui-se ao fato da presença dessas partículas dissolvidas na água, partículas essas, provenientes do esgoto doméstico (muito comum nas proximidades dos pontos de captação). Outro fator relevante é a caracterização do potencial hidrogeniônico da água, em 50% dos poços a água classificou-se em ácida. De acordo com Filho (2018) soluções ácidas são relativamente boas condutoras elétricas. O fator da acidez pode estar relacionado a grande quantidade de aplicação química nas áreas agrícolas da comunidade, uma vez que os resíduos podem chegar facilmente à zona saturada do aquífero deixando-o com tendência ácida, como corrobora Soares e Rosa (2017).

É importante destacar que a condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica, indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes, em geral, níveis superiores a $0,100 \text{ dS m}^{-1}$ indicam ambientes impactados (CETESB, 2009).

Os parâmetros turbidez e temperatura se encontraram dentro do permitido, com valores variando de 2,9 (P5) a 4,14 NTU (P12) e entre 22 a 24 °C, respectivamente. O parâmetro STD também se manteve dentro da normalidade, sendo o maior valor encontrado no P15 (372 mg L^{-1}) e menor no P16 (129 mg L^{-1}) (Tabela 2).

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral etc (CETESB, 2009). O P12

se localiza em região recentemente desmatada e queimada para implantação de área agrícola, o que pode ter acarretado esse valor de turbidez mais elevado em relação aos demais poços.

O potencial hidrogeniônico (pH) é um parâmetro que indica o grau de acidez ou alcalinidade do meio. O pH apresentou valores abaixo do permitido pela legislação em 50% dos poços analisados, 31,25% obteve valor 6,0 ficando no limite do mínimo permitido e somente 18,75% obteve valores acima de 6,0 (Tabela 2). Para a irrigação esse parâmetro é bastante importante, pois a aplicação de uma água muito ácida pode aumentar a concentração de acidez do solo e acarretar prejuízos para as plantas. Muitos poços estão localizados dentro de áreas agrícolas de cultivo ou muito próximas a estas, o uso de tais produtos no manejo da produção ocorre com bastante frequência, e podem ter influenciado a redução do pH. Outro fator que pode estar associado a diminuição do pH é a dissolução de rochas presentes no embasamento cristalino em que os poços estão localizados (influência litológica local). Para Szikszay (1993) as águas provenientes de embasamento cristalino, tanto graníticas como gnáissicas, enquadram-se na categoria de águas bicarbonatadas calco-magnesianas, que, juntamente com certas influências locais de calcários e dolomitos, são águas frias com média a alta condutividade elétrica e pH baixo.

A dureza ficou dentro do permitido em todos os poços avaliados variando de $52,37 \text{ mg L}^{-1}$ no P16 a 280 mg L^{-1} no P6 (Tabela 2). A dureza da água é expressa em mg L^{-1} de carbonato de cálcio (CaCO_3) e pode ser classificada em: mole ou branda (< que 50 mg L^{-1} de CaCO_3); dureza moderada (entre 50 e 150 mg L^{-1}); dura (entre 150 e 300 mg L^{-1}); e muito dura (> que 300 mg L^{-1}) (BRASIL, 2006).

Segundo essa classificação, 68,7% dos poços avaliados apresenta água com dureza moderada e os outros 31,3% água dura. Para Sousa e Ribeiro Júnior (2013), do ponto de vista da potabilização são admitidos valores máximos relativamente altos, típicos de águas duras ou muito duras e atribui-se um efeito

laxativo e sabor desagradável a água de elevada dureza.

Somente os parâmetros CE e pH estiveram em desconformidade com a legislação vigente para o consumo humano e podem estar diretamente relacionados à atividade agrícola praticada na região. Mesmo essas variáveis terem apresentado desconformidade em alguns poços, no geral, o uso da água para irrigação é recomendado, uma vez que as águas apresentam baixa e média salinidade, além dos outros parâmetros que se comportaram em conformidade.

Recomenda-se que mais estudos sejam realizados na comunidade a fim de determinar outros parâmetros primordiais na qualidade da água, como nitrato, ferro, sulfatos e análise microbiológica. Tendo em vista que a agricultura é atividade preponderante na região e esta é suprida pela água subterrânea, é de suma importância que a qualidade para irrigação também seja avaliada (Tabela 3).

De acordo com os resultados expressados na tabela 3, identificou-se que em todos os pontos de avaliação da água subterrânea, o pH se manteve em valores fora da amplitude normal para uso na irrigação. Porém, observou-se que 100% dos pontos os resultados foram bem próximos dos valores

recomendados. Para Ayers e Westcot, (1987), um desvio de aproximadamente 10% dos valores de referência tem pouca importância, pois outros fatores podem afetar o rendimento das culturas.

Em relação a condutividade elétrica, identificou que 93,7% dos poços apresentaram água com média salinidade, com variação de 0,349 a 0,725 dS m⁻¹. Apenas o poço 15 apresentou água com alta salinidade (0,758 dS m⁻¹). Para Richards (1993), as águas com média salinidade devem ser usadas para irrigação sempre que o solo apresentar um grau moderado de lixiviação, e plantas com moderada tolerância a sais devem ser cultivadas, sem necessidade de correções futuras. A água que apresentou alta salinidade não deve ser usada em solos que a drenagem seja deficiente, e deve ocorrer seleção de espécies tolerantes a sais para o cultivo.

Os resultados indicaram que os Sólidos Totais Dissolvidos na água subterrânea da comunidade, não apresentam nenhuma restrição de uso para a irrigação. Desse modo, a CE junto com os STD fornece de modo quantitativo o total de sais dissolvidos na água, sendo esses sais constituídos substancialmente por íons de sódio, magnésio, cloreto, cálcio, carbonatos e bicarbonatos.

Tabela 3. Restrições de uso da água para irrigação na comunidade de estudo.

Parâmetro	Valor de referência para uso na irrigação	Classificação	Referência usada
pH (Potencial Hidrogeniônico)	6,5 - 8,4	Amplitude normal de uso	Ayers e Westcot, (1987)
CE (Condutividade elétrica)	0 - 0,25 dS m ⁻¹	Água de baixa salinidade	Richards, (1954)
	0,25 - 0,75 dS m ⁻¹	Água de média salinidade	
	0,75 - 2,25 dS m ⁻¹	Água de alta salinidade	
	2,25 - 5,00 dS m ⁻¹	Água de muito alta salinidade	
STD (Sólidos Totais Dissolvidos)	< 450 Mg L ⁻¹	Nenhum grau de restrição de uso	Ayers e Westcot, (1987)
	450 - 2000 Mg L ⁻¹	Ligeiro a moderado grau de restrição de uso	
	> 2000 Mg L ⁻¹	Severo grau de restrição de uso	

A média obtida para a CE em toda a comunidade foi de 0,5 dS m⁻¹, pela legislação o resultado é cinco vezes maior que o máximo permitido para o consumo humano, quanto ao uso para irrigação apresenta-se tolerável e sem muitas restrições. O pH obteve média de 5,91,

valor abaixo do recomendado para consumo pela legislação que indica valores de 6,0 a 9,0, portanto água ácida e fora da amplitude de uso para irrigação. Os demais parâmetros apresentaram médias dentro do permitido (Tabela 4).

Tabela 4. Estatística descritiva e distribuição de frequências dos parâmetros analisados.

	CE	Cloretos	Dureza	STD	pH	Temp.	Turbidez
Média	0,5	86,63	139,57	248,43	5,91	23,18	3,11
Desvio padrão	0,14	27,78	63,78	69,88	0,20	0,65	0,34
Variância	0,02	772,21	4068,43	4884,52	0,04	0,42	0,12
C.V. (%)	28	31,49	45,69	28,13	3,38	2,8	10,93
Mínimo	0,3	40,33	52,37	129	5,6	22,00	2,84
Máximo	0,7	138,91	280,93	372	6,3	24,00	4,14
Assimetria	0,38	-0,05	0,82	0,32	0,21	-0,18	1,97
Curtose	-0,83	-0,94	-0,23	-0,78	-0,94	-0,62	2,92

C.V.: Coeficiente de Variação; Temp: Temperatura.

A classificação dos coeficientes de variação, foi avaliado conforme Pimentel-Gomes (1985), cujos intervalos se classificam em baixo ($CV \leq 10\%$); médio ($10\% < CV \leq 20\%$); alto ($20\% < CV \leq 30\%$); e muito alto ($CV > 30\%$). Assim o baixo valor de CV dos dados de pH e temperatura representam uma pequena variabilidade desse parâmetro. As variáveis cloreto e dureza foram classificadas com variabilidade muito alta, enquanto que a CE e o STD tiveram variabilidade alta. A turbidez apresentou média variabilidade espacial (Tabela 4).

Essa variabilidade no CV possivelmente foi influenciada pela diluição natural da água na época da amostragem (início do período chuvoso). Segundo Chaves et al. (2015), com o aumento da precipitação pluviométrica há

uma recarga na quantidade de água nos poços, assim os sais presentes nas águas são diluídos com o aumento do volume da água no poço.

Variabilidade espacial da qualidade da água e semivariogramas

O semivariogramas é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de *krigagem*, pois o modelo de semivariogramas utilizado é a representação da estrutura de dados espaciais que serão utilizados na interpolação (CAMARGOS; FELGUEIRAS, 2006). A análise variográfica indicou que a CE e STD se ajustaram melhor ao modelo esférico; os cloretos e turbidez ao modelo linear; e dureza, pH e temperatura ao modelo gaussiano (Tabela 5).

Tabela 5. Parâmetros e modelos de semivariogramas ajustados das variáveis avaliadas.

Parâmetros	CE	Cloretos	Dureza	STD	pH	Temp.	Turbidez
Modelo	Esférico	Linear	Gaussiano	Esférico	Gaussiano	Gaussiano	Linear
r^2	0,459	0,008	0,207	0,340	0,152	0,144	0,064
Proporção	0,907	0,13	0,998	0,829	0,997	0,998	0,52
Efeito Pepita	1870,00	590,26	10,00	770,00	0,0001	0,001	0,057
Patamar	20180,00	678,46	4785,00	4496,00	0,0382	0,548	0,12
Alcance	175,90	334,71	67,37	186,70	64,26	58,54	334,72

Efeito pepita (C0); patamar (C0 + C); alcance (a); proporção (C/C0+C); r^2 : coeficiente de correlação; Temp.: Temperatura.

O alcance a (*range*) é a distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente (REICHARDT; TIMM, 2012). A temperatura apresentou menor valor de alcance (58,54 m) seguida do pH (64,26) e da dureza (67,37 m). Turbidez e cloretos apresentaram valores bem semelhantes de alcance (aproximadamente 335 m), e CE e STD valores intermediários, 175,9 m e 186,7 m, respectivamente. No método geoestatístico, a área de influência das

amostras na interpolação é indicada pelo alcance dos semivariogramas.

Botega et al. (2013) avaliando a variabilidade espacial de atributos do solo encontraram valores de alcance variando de 116 m para Ca^{2+} a 910 m para a variável argila, segundo esses autores isso demonstra que este atributo, dentre os atributos que compõem a textura do solo, foi o que apresentou menor variabilidade e maior continuidade espacial, garantindo melhor

Espacialização da qualidade da água subterrânea destinada a irrigação na comunidade agrícola de barreiros, Aratuba-CE

precisão nas estimativas em locais não amostrados.

A distribuição espacial de CE, cloretos, dureza, TDS e apresentaram distribuição espacial com predomínio de dois picos de maiores intensidades na direção noroeste em direção à região central, caracterizados por valores superiores a 0,700 (dS m⁻¹)

para CE, 310 ppm para TDS, 110 para cloretos e 190 mg L⁻¹ para dureza, sendo que esta variável também apresentou pico na região sudoeste.

Os menores valores desses 4 parâmetros estão localizados na região Sudeste e Leste (Figura 2B, 2C, 2D e 2F).

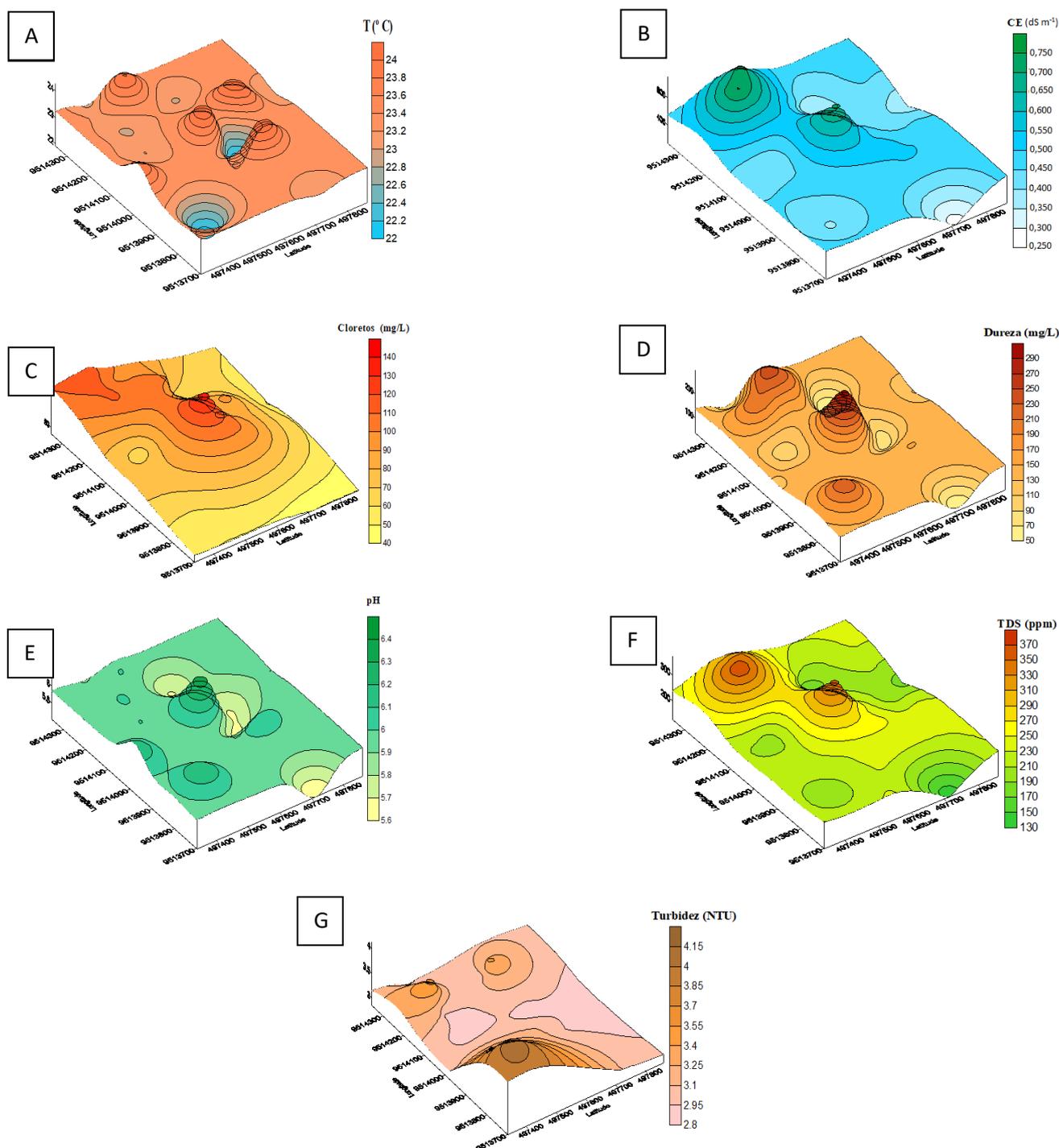


Figura 2. Mapas de espacialização dos parâmetros indicativos da qualidade da água pelo método da krigagem, Temperatura (A), Condutividade Elétrica (B), Cloretos (C), Dureza (D), pH (E), TDS (F) e Turbidez (G).

Os STD estão relacionados diretamente com a condutividade elétrica (ARAÚJO; OLIVEIRA, 2013), quanto maior a dissociação de sólidos na água, maior será a condução elétrica por esses sólidos, o que justifica tais parâmetros terem tido o mesmo comportamento na distribuição espacial.

O pH apresentou um pico na região central e outro mais moderado a sudoeste do mapa, valores baixos de pH são encontrados na posição sul-sudoeste e também na região mais central do mapa (Figura 2E).

O mapa de temperatura apresentou picos distribuídos na região central e noroeste com temperaturas variando entre 22 e 24 °C, sendo as mais baixas na região central e a sudoeste do mapa (Figura 2A).

O mapa de turbidez apresentou um

padrão espacial diferente dos demais, apresentando um pico na região sudoeste e valores mais moderados a noroeste e nordeste da área avaliada, essa alteração pode ter sido decorrente da área ter sido desmatada e queimada recentemente para implantação de área agrícola.

Os resultados indicaram uma maior restrição de uso da água para irrigação, na região central e a noroeste da comunidade (Figura 3). Esse resultado indica que os parâmetros de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e potencial hidrogeniônico apresentaram maiores variações nas respectivas áreas. Portanto, o uso da água desses poços deve apresentar maiores cuidados. Nas demais áreas, os resultados indicam menor restrição de uso da água.

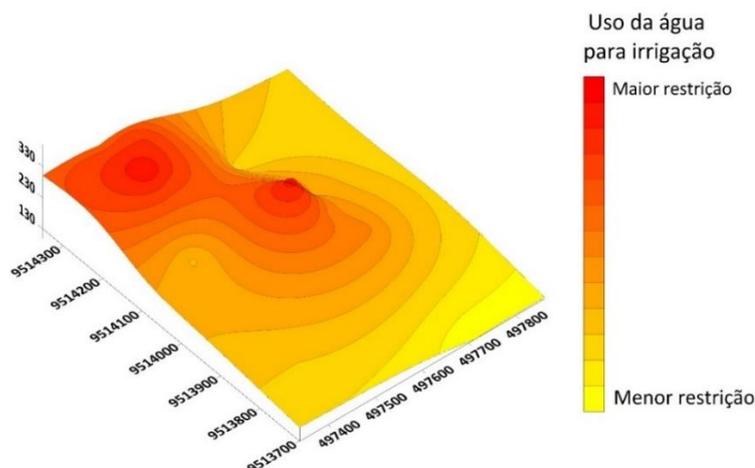


Figura 3. Distribuição espacial da restrição da água para uso na irrigação.

Para os valores de assimetria e curtose, Reichardt e Timm (2012) afirmam que o coeficiente de assimetria (a_3) informa se a maioria dos valores estão à esquerda, a direita ou tem distribuição normal em torno da média aritmética. Se $(a_3) < 0$, a distribuição é assimétrica negativa; se $(a_3) = 0$, a distribuição é simétrica; e se $(a_3) > 0$, a distribuição é assimétrica positiva.

A curtose indica o grau de achatamento de uma distribuição, se $(a_4) < 0$ tem maior achatamento (platicúrtica); se $(a_4) = 0$ tem achatamento médio (mesocúrtica), e se $(a_4) > 0$ tem menor grau de achatamento (leptocúrtica).

Logo a distribuição dos valores de CE, dureza, STD e pH são classificadas como assimétricas positivas e platicúrticas, significando que a maioria dos valores se localizam à esquerda da média aritmética e com maior grau de achatamento. Os cloretos e temperatura demonstraram distribuição assimétrica negativa e platicúrtica, indicando que a maioria dos valores se localizam à direita da média aritmética e também com maior grau de achatamento.

Por fim, a turbidez revelou distribuição assimétrica positiva e leptocúrtica, o que denota que a maioria dos valores se localizam à esquerda da média aritmética, porém com menor grau de achatamento (Tabela 4).

CONCLUSÕES

O uso da geoestatística, a partir da krigagem, permitiu identificar a distribuição espacial dos parâmetros indicativos da qualidade da água avaliados, podendo subsidiar tomadas de decisões quanto ao manejo e gestão do recurso hídrico subterrâneo.

A qualidade da água subterrânea nos poços avaliados apresentou inadequações nos parâmetros CE e pH. Os demais parâmetros se mantiveram dentro do permitido pela legislação. Observou-se que os poços que apresentaram valores acima do permitido, se concentraram em área bem próximas as instalações agrícolas, podendo ser essa prática uma possível fonte poluidora.

A avaliação da água para uso na irrigação, indicou que a grande maioria dos poços apresenta água de boa qualidade, entretanto outros apresentaram altas concentrações na CE (P1, 4, 6 e 13) e STD (P1, 4, 6 e 15) o que requer um pouco mais de restrição em seu uso. A avaliação espacial indicou que as áreas com maior restrição de uso, situa-se na região central e a noroeste da comunidade.

A água subterrânea da comunidade avaliada apresentou parâmetros em conformidade com a legislação, podendo assim ser utilizada pelos produtores locais, tanto para consumo humano como para irrigação. Aos poços em desconformidade, faz-se necessária outras avaliações para uma caracterização mais específica, principalmente ao que se diz respeito ao consumo.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. C. de; OLIVEIRA, M. B M. de. Monitoramento da qualidade das águas de um riacho da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 3, p. 247-257, 2013.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. La calidad del agua para agricultura. Roma: FAO. 1987.
- BECKER, H. **Controle analítico de águas**. Versão 4. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2010. 84 p.
- BOTTEGA, E. L. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.
- BRAGA, E. S; FREITAS, C. B; MENDES, L. S. A.S; AQUINO, M. D de Avaliação da qualidade de águas subterrâneas localizadas no litoral, serra e sertão do Estado do Ceará destinadas ao consumo humano. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 1, p. 17-24, 2018.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente -CONAMA. **Resolução CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005**. Brasília-DF: 2005. 23p. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Brasília-DF: 2011. 34p. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- BRASIL. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p.
- CAMARGOS, E. C. G.; FELGUERAS, C. A. Curso de Fundamentos de Geoestatística. INPE. São José dos Campos, 2006.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2009). **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Série Relatórios**. Apêndice A - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos

Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem, 19-20.

CHAVES, A. D. C. G; ALMEIDA, R. R. P. de; CRISPIM, D. L; QUEIROZ, M. M. F. de; MARACAJÁ, P. B. Condutividade elétrica, pH e a relação adsorção de sódio nas águas de poços do município de Pombal-PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 10, n. 1, p. 06-12, 2015.

CRUZ, M. A. S.; RESENDE, R. S., AMORIM, J. R. A. Análise da Distribuição Espacial de Parâmetros de Qualidade das Águas Subterrâneas para Irrigação no Semi-árido do Estado de Sergipe. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15 n. 2, p. 105-113, 2010.

ELOI, W. M; SALES, M. A. de L; LIRA, J. V. de; SALES, M. L. M; NASCIMENTO, N. V. do; SOUZA, J. V. R. S. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação em açudes da bacia do rio Acaraú, Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 247-255, 5maio2014.

FILHO, V. J. F. Qualidade das águas subterrâneas rasas do aquífero Barreiras: estudo de caso em Benevides – PA. 2018. 113 p. **Dissertação (Especialização)**- Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal do Pará, 2018.

HIRATA, R; ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. de. **Água subterrânea: reserva estratégica ou emergencial**. In: BICUDO, Carlos E. de M.; TUNDISI, José Galizia; SCHEUENSTUHL, Marcos C. Barnsley (Org.). **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. Cap. 9. p. 149-161.

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE. **Perfil Municipal - Aratuba**. Fortaleza, CE: Governo do estado do Ceará, 2017.

MOTTA, J. G; BECKHAUSER, A; FREITAG, G; PELISSE, M. R. Qualidade da

Água Subterrânea na Região do Médio Vale do Itajaí – SC. **UNOPAR Cient Ciênc Biol Saúde**, v. 16, n. 4, p. 283-291, 2014.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. 12. ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1985. 467p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. 2. ed. Barueri: Manole, 2012. 500 p.

RICHARDS, L. A. Diagnóstico y recuperación de suelos salinos y sódicos. Personal de Laboratorio de Salinidad de EE.UU. 6. Ed. México: Editorial LIMUSA, 1993. 176p.

SOARES, D. F.; FARIA, A. M.; ROSA, A. H. Análise de risco de contaminação de águas subterrâneas por resíduos de agrotóxicos no município de Campo Novo do Parecis (MT), Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 277-284, 27 out. 2017. FapUNIFESP (SciELO).

SOUSA, I. F.; RIBEIRO JUNIOR, P. J. **Variabilidade espacial de parâmetros físico-químicos de condutividade elétrica e dureza total em cálcio e magnésio da água de poços subterrâneos do semi-árido piauiense**. ESALQ/USP. Disciplina Geoestatística. p. 1-7, 2013

SILVA, D. D. da; MIGLIORINI, R. B; SILVA, E. C, LIMA, Z. M. de; MOURA, I. B. de. Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT). **Engenharia Sanitária e Ambiente** v. 19, n. 1, p. 43-52, 2014.

SZIKSZAY M. 1993. **Geoquímica das Águas**. São Paulo, Boletim IGUSP, Série didática no 5, IG-USP, 166p.

VILLAR, P. C. As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise. **Ambiente e Sociedade**, v. 19, p.83-102, 2016.