ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgf

Modelagem espacial da qualidade da água nas comunidades rurais da Chapada do Apodi – RN

Alana Ticiane Alves do Rêgo¹, Joel Medeiros Bezerra², Jorge Luis de Oliveira Pinto Filho³

¹ Mestranda em Ciências Naturais, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Departamento de Ciências Exatas e Naturais. Avenida Prof. Antônio Campos, s/n, 59610-210, Mossoró, RN, Brasil. alana_ticiane10@hotmail.com (autor correspondente)

² Dr. em Engenharia Agrícola, Professor Adjunto C, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Departamento de Engenharias e Tecnologia. BR 226, s/n, 59900-000, Pau dos Ferros, RN, Brasil. joel.medeiros@ufersa.edu.br;

³ Dr. em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Professor Adjunto, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Departamento de Engenharias e Tecnologia. BR 226, s/n, 59900-000, Pau dos Ferros, RN, Brasil. jorge.filho@ufersa.edu.br.

Artigo recebido em 15/04/2020 e aceito em 12/06/2020

RESUMO

A diminuição da disponibilidade hídrica vivenciada em regiões semiáridas associada à degradação da qualidade da água justifica a necessidade de ações gerenciais que visem a conservação dos recursos hídricos. Nesse sentido, o presente estudo visa realizar a modelagem espacial da qualidade da água nas comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN. Para a avaliação desse utilizou-se análise estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos e biológicos conforme legislação vigente, mediante análise dos padrões de qualidade da água por meio da captação de poços subterrâneos ou reservatórios das residências destinados para consumo humano. Em seguida utilizou-se da correlação linear de Pearson para fins de verificação de dependência entre as variáveis em estudo, e interpolação por krigagem ordinária acompanhada da determinação dos semivariogramas experimentais. Constatou-se que os parâmetros pH, turbidez, OD, STD, C. totais e do tipo *E. coli*, apresentaram resultados desconformes se comparados com a legislação vigente. Por meio da correlação linear de Pearson evidenciou uma moderada correlação entre os STD e temperatura, STD e pH, salinidade e pH, além de OD e turbidez. Além disso, o semivariograma experimental para a temperatura que melhor se ajustou foi o modelo Gaussiano, o pH ajustou-se ao modelo exponencial e as variáveis turbidez, OD e *E. coli* apresentaram modelo esférico. Já os demais parâmetros, apresentaram efeito pepita puro. Por fim, por meio das cartas temáticas através da interpolação por krigagem ordinária, constatou-se que as maiores concentrações dos parâmetros analisados no estudo tenderam a ocorrer em localidades com maiores aglomerações das comunidades rurais, e comprovar um cenário de alerta na saúde pública e necessidade de monitoramento da qualidade da água.

Palavras-chave: Geoestatística. Água subterrânea. Krigagem ordinária. Conservação dos recursos hídricos.

Spatial modeling of water quality in rural communities of Chapada do Apodi – RN

ABSTRACT

The decrease in water availability experienced in semiarid regions associated with water quality degradation justifies the need for management actions aimed at conserving water resources. In this sense, the present study aims to perform spatial modeling of water quality in rural communities of Chapada do Apodi/RN. For the evaluation of this, descriptive statistical analysis of the physicochemical and biological parameters was used, through the analysis of water quality standards according to current legislation. Next, Pearson's linear correlation was used for the purpose of verifying dependence between the variables under study, and interpolation by ordinary kriging accompanied by the determination of experimental semivariograms. It was found that the parameters pH, turbidity, OD, STD, C. total and type *E. coli*, presented results that were inconsistent when compared to the current legislation. Pearson's linear correlation showed a moderate correlation between TDS and temperature, STD and pH, salinity and pH, in addition to OD and turbidity. In addition, the experimental semivariogram for the temperature that best adjusted was the Gaussian model, the pH adjusted to the exponential model and the variables turbidity, OD and *E. coli* presented spherical model. The other parameters showed a pure nugget effect. Finally, through thematic letters through interpolation by ordinary kriging, it was found that the highest concentrations tended to occur in localities with higher concentrations of rural communities, and to prove a scenario of alert in public health and need to monitor water quality.

Keywords: Geostatistics. Groundwater. Ordinary Kriging. Conservation of water resources.

Introdução

Nas últimas décadas a preocupação do ser humano com os recursos hídricos cresceu, principalmente em função das ações indevidas e do uso irracional da água (Delfes et al., 2015). Esse recurso natural torna-se relevante, principalmente, em países em desenvolvimento de regiões áridas e semiáridas, onde os prognósticos de mudanças climáticas se apresentam alarmantes diante da sua escassez, altas taxas de evaporação e competição pelos recursos hídricos (Araújo, 2015).

Inserida nesse contexto, a microrregião da Chapada do Apodi, localizada na mesorregião Oeste Potiguar do Rio Grande do Norte, na divisa com o estado do Ceará, apresenta uma paisagem típica da caatinga semiárida, com características naturais de grande importância socioeconômica para as atividades rurais das comunidades em seu entorno (Pinto Filho et al., 2019).

No entanto, a diminuição da disponibilidade hídrica proveniente do consumo desordenado, combinado aos períodos prolongados de estiagem no semiárido, associada à degradação da qualidade da água, em decorrência da expansão da urbanização e presença de atividades econômicas com processos industriais e agrícolas na região da Chapada do Apodi/RN, têm desencadeado possíveis impactos ambientais adversos, sendo fatores determinantes para contribuir com a necessidade de processos de gerenciamento integrado dos recursos hídricos.

Recentemente, tem-se adotado a integração de dados pontuais com informações de natureza espacial por meio de métodos geoestatísticos de forma a visualizar uma melhor espacialização das variáveis, solucionar cenários problemáticos reais e identificar áreas de maiores riscos de concentração de contaminantes associadas aos recursos hídricos (Oliveira Júnior, 2016). Sendo assim, diversos estudos têm demonstrado a aplicação da geoestatística em pesquisas ambientais: Vicente et al. (2018), Moraes e Araújo (2015) e Kayode et al. (2018). A sua aplicação tem tido grande êxito em razão da solução de diferentes problemas práticos, auxílio de tomadas de decisões, bem como da valorização e planejamento de recursos naturais.

Partindo dessa premissa, verifica-se a relevância de analisar a variabilidade espacial dos parâmetros relacionados a qualidade da água do abastecimento hídrico para consumo humano nas comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN, por meio da modelagem geoestatística, através das quais é possível identificar, em caráter preliminar, os fatores que comprometem a qualidade da água

na área de estudo, tendo em vista que a análise espacial que emprega o uso de ferramentas de geoestatística possibilita mensurar variáveis e padrões espaciais que se correlacionam, como também fornecer subsídios para elaboração de ações gerenciais que visem o controle e conservação dos recursos hídricos.

Ressalta-se o interesse de investigação da área em apreço, uma vez que os moradores locais se utilizam dos recursos hídricos para seu abastecimento, e por ser uma zona rural no semiárido brasileiro, sofre pressão de cenários de intervenção antrópica. Este fator pode resultar em deficiências nas condições de saneamento ambiental, diminuição na qualidade da água e degradação dos mananciais.

Dessa forma, o presente estudo visa realizar a modelagem espacial da qualidade da água nas comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN, a fim de avaliar a utilização de ferramentas de modelagem ambiental, bem como caracterizar a distribuição espacial dos parâmetros de qualidade de água e identificar fontes potencialmente poluidoras das águas subterrâneas na área em apreço. Para isso, determina-se como objetivos específicos: caracterizar a qualidade da água das comunidades rurais por meio do emprego de parâmetros físico-químicos e biológicos; avaliar a qualidade da água com base na legislação vigente; elaborar cartas temáticas com a regionalização dos parâmetros de qualidade das águas na área de estudo e; verificar a dependência espacial dos parâmetros de qualidade da água.

Material e métodos

Área de estudo

O presente trabalho se restringe a microrregião da Chapada do Apodi/RN (Figura 1), especificamente as comunidades rurais do município de Apodi/RN, tendo em vista que nessa área há um conflito socioambiental representado pelos modelos de produção agrícola do agronegócio e da agricultura familiar pelos recursos naturais.

A região onde estão inseridas as comunidades rurais apresenta classificação climática de Köppen-Geiger, do tipo BSw'h', isto é, muito quente e semiárido (Alvares et al., 2013), com variações de temperatura entre 23,0 °C e 25,5 °C e umidade relativa entre 79% e 89% (Empam, 2017) e uma precipitação média anual de 920 mm, marcado por distribuições irregulares (Araujo et al., 2018).

Com relação aos solos, constata-se as classes de solos de maiores expressões como sendo

Cambissolo, Neossolo e Chernossolo (Ibge, 2019a).

Seu relevo apresenta menos de 100 metros de altitude (Galindo et al., 2017), destacando-se pelas formas de chapada do Apodi, depressão sertaneja setentrional e superfície rebaixada do vale do rio Açu (Ibge, 2019a).

A região está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró (BHRAM), bem como dos reservatórios superficiais da Barragem de Santa Cruz e Lagoa do Apodi (Soares et al., 2019). A principal origem de água na região advém do aquífero Jandaíra, explorado a partir de poços mais rasos, que requerem um menor custo

para sua obtenção e apresentam uma grande concentração de sais (Arruda, 2018).

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Ibge, 2019b), o município em questão possui uma população estimada em 35.845 habitantes para o ano de 2019, distribuída em uma área territorial de 1.602,477 km², dos quais 52% dos indivíduos encontram-se na zona rural.

Segundo dados do Sindicato dos Trabalhadores e Trabalhadoras Rurais de Apodi (Sttra, 2013), na área habitam um total de 1.649 famílias, distribuídas em 55 comunidades (Pontes et al., 2013), que se encontram próximas a zona urbana do município de Apodi/RN.

Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Pinto Filho et al. (2019).

Procedimentos metodológicos

Na amostragem utilizou-se como fonte os dados referentes ao ano de 2018 da Unidade Básica de Saúde (UBS), que constatou um total de 1.649 domicílios nas comunidades rurais pertencentes à região investigada. Dessa forma, foi realizada, de forma aleatória, um sorteio de 10% das residências, ponderando que uma amostra igual ou superior a 25 das residências será significativo (Bolfarine e Bussab, 2005). Sendo assim, as amostras foram coletadas em 186 domicílios distribuídas proporcionalmente entre as comunidades rurais

investigadas. Com isso estabeleceu-se uma amostragem não probabilística, representando mais de 10% do total da população local.

No entanto, optou-se por trabalhar com a espacialização das coordenadas de cada comunidade, considerando à proximidade entre as residências. Sendo assim, realizou-se uma média estatística para as 186 amostras de água, de forma a condensar os dados para as 55 comunidades da região.

Na Figura 2 são apresentadas as comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN para a realização desta pesquisa, que foram

georreferenciados com um receptor Global Positioning System (GPS) de navegação da marca Garmin, modelo Etrex Vista.

Figura 2. Localização das comunidades rurais da Chapada do Apodi/RN.

A realização das análises da qualidade de água se deu com o emprego dos parâmetros físico-químicos e biológicos nos períodos que compreendem de janeiro à março de 2018, em sua maioria, por meio da captação de poços subterrâneos, e para aqueles em que houve restrições para coleta das amostras, foram retiradas de reservatórios das residências destinados para consumo humano. A metodologia de amostragem foi baseada na American Public Health Association (Apha, 1995), por meio da sonda de multiparâmetro modelo HORIBA U-50, que permitiu quantificar em tempo real o potencial Hidrogeniônico (pH), turbidez (NTU), temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg/L), condutividade elétrica (mS/cm), sólidos totais dissolvidos (mg/L), salinidade (ppt) e potencial de Oxirredução (mV). As análises dos parâmetros biológicos de coliformes totais (UFC/100mL), coliformes termotolerantes do tipo *Escherichia coli* (UFC/100mL) foram realizadas em laboratório comercial.

Os resultados das variáveis analisadas foram confrontados com os padrões normativos de referência para qualidade da água: Resolução

CONAMA nº 357/2005, Resolução CONAMA nº 396/2008 e a Portaria MS nº 5/2017.

Com os resultados obtidos foi realizada análise descritiva, com o auxílio da estatística clássica, utilizando o programa Microsoft Excel versão 2016 e Surface Mapping System Surfer versão 11, onde foram determinadas as medidas estatísticas: média, mediana, valores mínimo e máximo, desvio padrão, coeficientes de variação, de assimetria e de curtose, variância, quartil 1º e 3º.

Após o tratamento estatístico, com a finalidade de avaliar as interações entre os pares de parâmetros, foi construída uma matriz de correlação linear de Pearson, processadas por meio do programa Microsoft Excel versão 2016, de forma a identificar as correlações significativas de interesse (Kayode, 2018).

Para classificação da correlação quanto a sua magnitude consideram-se valores entre $0 \leq r < 0,10$ (nulos), entre $0,10 \leq r < 0,30$ (fracos); entre $0,4 \leq r < 0,6$ (moderados); e valores entre $0,7 \leq r \leq 1,0$ (fortes), sendo eles negativos ou positivos (Oliveira et al., 2018).

Além disso, para cada parâmetro foi analisado o modelo matemático de semivariograma (esférico, exponencial e gaussiano) com base no

maior valor do coeficiente de determinação espacial (r^2) e na menor soma de quadrados dos desvios (Matias et al., 2015). Os semivariogramas de cada atributo foram obtidos mediante o programa Gamma Design Software GS+ versão 10 e sua classificação de acordo com os intervalos propostos por Cambardella et al. (1994) que considera o grau de dependência espacial (GDE) utilizando a relação $(C_0/C_0+C_1)*100$, onde inferior a 25% (forte), entre 25 e 75% (moderada) e maior que 75% (fraco).

Por fim para fins de melhor visualização dos dados de cada atributo empregou-se a técnica

de interpolação por krigagem ordinária, por meio do uso do software Surface Mapping System Surfer versão 11 para criação de cartas temáticas.

Resultados e discussão

Na Tabela 1 estão apresentados os valores para a análise da estatística descritiva das variáveis físico-químicas e biológicas. Observa-se, os parâmetros de pH, Turb, OD, STD, C. totais e E. coli apresentaram resultados médios alterados conforme prescreve os padrões normativos de referência.

Tabela 1. Estatística descritiva das variáveis físico-químicas e biológicas das amostras de água.

Variáveis	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	CV	DP	CA	Curtose	Quartil 1°	Quartil 3°
Temp (°C)	29,024	29,320	23,750	32,950	2,684	0,055	1,609	-0,354	1,459	28,000	29,920
pH	5,601	5,661	4,340	7,499	0,556	0,131	0,733	0,262	-0,647	4,920	6,119
ORP (mV)	288,272	288,636	200,000	360,000	1.036,420	0,110	31,613	-0,606	0,956	268,333	309,675
CE (mS/cm)	19,282	13,863	4,500	84,333	306,752	0,893	17,214	2,906	7,957	11,860	17,175
Turb (NTU)	15,052	6,194	0,000	150,000	776,305	1,819	27,385	3,261	11,943	0,125	13,450
OD (mg/L)	9,306	9,113	6,480	16,910	2,993	0,183	1,662	1,662	5,917	8,228	10,012
STD (mg/L)	0,288	0,151	0,029	1,247	0,086	1,004	0,289	1,634	1,953	0,100	0,399
Salinidade (ppt)	0,120	0,100	0,000	0,400	0,007	0,685	0,082	1,552	3,286	0,100	0,121
C. Totais (UFC/100 mL)	144,791	133,458	101,000	232,869	1.517,752	0,264	38,286	0,856	-0,456	112,607	174,554
E. coli (UFC/100 mL)	69,305	71,000	43,900	87,000	111,985	0,150	10,394	-0,448	-0,599	62,500	77,500

Temp: temperatura; pH: potencial Hidrogeniônico; ORP: potencial de oxirredução; CE: condutividade elétrica; Turb: turbidez; OD: oxigênio dissolvido; STD: sólidos totais dissolvidos; C. totais: coliformes totais; CV: coeficiente de variação; DP: desvio padrão; CA: coeficiente de assimetria.

Observa-se que o pH médio das amostras coletadas apresentou-se com condição ácida, o que pode ser resultante de uma característica própria da região, ou ainda diante da fragilidade na efetivação dos componentes de saneamento ambiental (Teixeira, 2015). Em estudos realizados por Macedo, Mendes e Costa (2018) e Lima e Guimarães (2016) no estado do Pará e Bezerra et al. (2017) no Ceará, também averiguaram um pH com características ácidas de poços subterrâneos destinados para abastecimento da população.

O valor médio da turbidez, se comparado com os limites exigidos pela Portaria do MS nº 5/2017, encontra-se acima do permitido. Admite-se que isto se deve ao fato de que muitos poços da Chapada do Apodi/RN não possuem revestimento e o bombeamento realizado para a coleta de água

tende a induzir o carreamento de partículas coloidais existentes no aquífero (Ana, 2010), ou ainda diante das próprias condições de armazenamento da água e as influências do esgotamento sanitário inadequado. Já, quando comparado com a Resolução CONAMA nº 357/2005, embora tenha sido observado uma flutuação de valores nos dados, o resultado médio apresentado esteve abaixo do limite permitido.

Em estudos sobre a qualidade de água subterrânea Bezerra et al. (2018) no Ceará, constataram inconformidades no padrão de potabilidade. Em contrapartida, Coelho et al. (2017) constataram em suas pesquisas valores satisfatórios em comunidade rural no Maranhão. Araujo e Bezerra (2018) explicam que valores discrepantes se devem à falta de recarga dos

aquíferos subterrâneos, que consequentemente elevam a quantidade de sólidos em suspensão presentes na água.

Em relação ao OD, é possível observar uma elevação do valor quando comparado com a legislação ambiental, uma vez que a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece uma concentração mínima permitida de até 6 ml/L para águas doces de classe 1, constatando que não há alteração na qualidade das águas pelo parâmetro em questão. Esse fato se deve aos níveis de concentração do OD aumentar diante da turbulência da água (Nozaki et al., 2014), que pode ocorrer devido a troca de oxigênio entre a atmosfera e a água armazenada no reservatório de captação.

Em ambas as normativas legais, a água para consumo humano deve estar ausente de bactérias indicadoras de contaminação fecal. No entanto, verificou-se a presença de ambos nas amostras coletadas diante das condições de infraestrutura dos sistemas de abastecimento de água inadequados, bem como a inexistência de um tratamento prévio para consumo do recurso.

Em estudos de regiões semiáridas, realizados por Tavares e Souza (2016) no estado da Bahia, Mendonça et al. (2017) em Pernambuco e

McGill et al. (2019) no país Botswana revelaram um armazenamento inapropriado nas residências, ausência de medidas de desinfecção e que a água, do ponto de vista microbiológica, não estavam apropriada para o consumo. Esse cenário é recorrente em regiões rurais e decorrem, principalmente, devido ao manejo inadequado dos dejetos de animais e infiltração de fossas que podem comprometer o lençol freático (Bortoli et al., 2018).

Além disso, merece destaque os valores de desvio padrão, que indica a dispersão dos valores individuais em relação ao valor central do conjunto de dados. Sendo que a Temperatura, pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e salinidade indicaram um pequeno valor de desvio padrão, obtendo dessa forma, menor espalhamento entre os dados. Em contrapartida, os demais dados apresentaram grande dispersão diante dos altos valores de concentrações amostradas nas coletas de água.

Nesta perspectiva de comportamento dos parâmetros das amostras de água investigada, compreende-se que existe influência entre as variáveis, com isso, refletem em suas alterações. Sendo assim, foi realizado uma correlação linear de Pearson entre as variáveis (Tabela 2).

Tabela 2. Correlação linear de Pearson das variáveis físico-químicas e biológicas das amostras de água.

	Temp	pH	ORP	CE	Turb	OD	STD	Salinidade	C. Totais	E. coli
Temp	1,000									
pH	-0,013	1,000								
ORP	0,052	0,116	1,000							
CE	0,098	-0,040	0,188	1,000						
Turb	-0,274	0,023	0,024	-0,072	1,000					
OD	-0,069	0,039	0,264	0,118	0,516	1,000				
STD	0,441	0,483	-0,116	-0,019	-0,235	-0,128	1,000			
Salinidade	0,076	0,432	-0,055	0,314	-0,073	-0,128	0,239	1,000		
C. Totais	-0,275	-0,031	-0,083	-0,267	0,004	-0,335	-0,005	-0,316	1,000	
E. coli	-0,128	-0,228	0,079	0,081	0,145	0,026	-0,179	-0,195	-0,059	1,000

Para valores positivos e/ou negativos, os elementos em cor azul representam uma correlação nula ($0 \leq r < 0,10$), cor verde representam uma correlação fraca ($0,10 \leq r < 0,30$), cor amarelo representam uma correlação moderada ($0,4 \leq r < 0,6$) e cor laranja representam uma correlação forte ($0,7 \leq r \leq 1,0$), conforme Oliveira et al. (2018).

A correlação entre as variáveis STD e temperatura pode ocorrer diante uma poluição térmica ocasionada pela descarga de efluentes (Sperling, 2014), uma vez que a temperatura pode influenciar em processos como solubilidade dos gases dissolvidos e aumento total de STD (Stellato, 2017). Mas também ser devido ao regime climático normal da região (Menezes et al., 2016).

Quanto a correlação entre as variáveis salinidade e pH, pode indicar um aumento de concentrações de sais na água subterrânea (Ajday e Kazemi, 2014; Silva et al., 2017), provocado principalmente em comunidades rurais do Nordeste brasileiro diante da escassez hídrica (Neves et al., 2017).

Para a correlação entre o STD e pH, Menezes et al. (2014) afirmam que o processo de intemperismo das rochas contribui para a acidez da água. A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Cprm, 2015) complementa que a captação de água em aquíferos rasos, de fluxos locais e de rápido tempo de trânsito, percola material intemperizado, resultando em águas de baixa mineralização e de pH ácido.

Por fim, a correlação entre OD e turbidez é explicado devido o fenômeno da turbidez, decorrente especialmente pela descarga de efluentes não tratados, impedir a penetração de luz nas camadas mais inferiores e consequentemente

diminuir a quantidade de oxigênio disponível no meio aquático (Sperling, 2005).

Verificou-se que todos os parâmetros não apresentaram normalidade por destacar valores de assimetria e curtose distantes o suficiente de 0 e 3, respectivamente, e, portanto, são considerados como distribuições anormais, conforme sugere Andriotti (2004), e necessitam ser adequados quanto a sua transformação.

Além disso, por serem considerados outliers os valores foram mascarados, onde evidenciaram-se na Tabela 03.

Tabela 3. Valores considerados *outliers* mascarados da amostra.

Variável	Outlier	Coordenadas UTM		Comunidade rural
		Latitude	Longitude	
Temperatura (°C)	32,95	624052,44	9380968,28	A. Palmares
pH	6,70	635082,66	9391682,54	Morada Nova
Turbidez (NTU)	110,00	625237,73	9380522,22	N. Descoberta
	150,00			
E. coli (UFC/100 mL)	82,00	632900,65	9378019,90	Campinas

Os valores de *outliers* obtidos são valores extremos que eventualmente representam valores errados, anomalias ou dados estranhos (Assunção, 2017), e apesar de estarem associados à erros de digitação e de aferição instrumental, além de falta de precisão dos aparelhos utilizados durante as mensurações (Miot, 2019), indicando um fator natural ou influência de agentes pontuais de contaminação (Ibrahim et al., 2016).

Dados discrepantes afetam substancialmente o comportamento do semivariograma (Diggle e Ribeiro Júnior, 2007).

Dessa forma, o procedimento da análise consiste na verificação de tendência dos dados e sua remoção (Oliveira Júnior, 2016).

Diante deste comportamento das variáveis das amostras de água investigada, observa-se uma influência espacial nos parâmetros estudados, com isso, refletem em suas disponibilidades. Desta forma, os semivariogramas experimentais ajustados gerados para os parâmetros analisados (Figura 3) auxiliaram na avaliação da dependência espacial dos elementos analisados.

Figura 3. Semivariogramas das variáveis analisadas.

Para fenômenos caóticos com ausência de correlação espacial, o modelo efeito pepita puro é adotado. Para Souza et al. (2014), isso não significa que o atributo é espacialmente independente, isso porque a variância estruturada pode não ter sido quantificada, devido à maior distância entre as amostras. Dessa forma, Cherubin et al. (2015)

afirmam que a redução do conjunto de dados diminui a precisão dos modelos ajustados até tornarem-se aleatórios.

O efeito pepita puro reflete um fenômeno que não é totalmente conhecido, por falta de informação, como variações locais, erros de amostragem (Yamamoto e Landim, 2013; Kabir et

al., 2016), e tamanho do campo amostrado insuficiente para exibir toda a variabilidade espacial (Goergen, 2018), como foi constatado por

Souza et al. (2014), Lima et al. (2014) e Araujo et al. (2018).

Na Tabela 04 são apresentados os parâmetros dos ajustes dos semivariogramas.

Tabela 4. Parâmetros ajustados de semivariograma para os parâmetros analisados.

Variável	Modelo	C0	C1	a (m)	r ²	RSS	GDE
Temperatura (°C)	Gaussiano	5,92E-07	2,99E-06	460,000	0,260	3,09E-12	16,54%
pH	Exponencial	1,08E-06	1,11E-05	450,000	0,282	1,97E-11	8,90%
Potencial de oxirredução (mV)	Efeito pepita						
Condutividade elétrica (mS/cm)	Efeito pepita						
Turbidez (NTU)	Esférico	1,00E-04	9,41E-02	1.340,000	0,200	7,16E-03	0,11%
Oxigênio dissolvido (mg/L)	Esférico	1,31E-02	8,91E-02	1.220,000	0,158	6,24E-03	12,82%
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	Efeito pepita						
Salinidade (ppt)	Efeito pepita						
Coliformes Totais (UFC/100 mL)	Efeito pepita						
E. coli (UFC/100 mL)	Esférico	2,38E-06	2,67E-05	1.180,000	0,235	4,17E-10	8,19%

C0: efeito pepita; C1: variância estrutural; a: alcance; r²: coeficiente de determinação; RSS: soma dos quadrados dos resíduos; GDE: Grau de Dependência Espacial.

Observa-se que se obteve diferentes alcances em função dos parâmetros avaliados. Segundo Kabir et al. (2016), em razão da variabilidade de distâncias muito curtas, para as quais não há pares de observações disponíveis, oportunizam o aparecimento do efeito pepita puro. Além disso, Santos (2017) corrobora que quanto maior o alcance, menor será a garantia de uma melhor precisão nas estimativas em locais não amostrados.

Além disso, a partir do GDE proposto por Cambardella et al. (1994), os atributos avaliados foram classificados como fortes, significando uma

elevada magnitude de dependência espacial (Santos, 2017). Porém, quando há uma ausência completa de correlação espacial entre os pontos amostrados, o efeito pepita puro estará presente (Pelissari, 2015), como observa-se para as variáveis de ORP, CE, STD, salinidade, C. totais e E. coli.

Para compreender melhor o comportamento das variáveis das amostras de água investigada, através da influência da variabilidade espacial nos parâmetros, elaborou-se as cartas temáticas de isolinhas, obtidas por meio da interpolação por krigagem ordinária (Figura 4).

Figura 4. Variabilidade espacial dos parâmetros analisados.

Observa-se que as maiores concentrações estimadas tenderam a ocorrer em localidades com maiores concentrações de comunidades rurais. Ali et al. (2018) associam o nível de concentração elevado de parâmetros na qualidade da água subterrânea devido à maior densidade populacional.

Em relação a distribuição de STD, encontram-se maiores evidências de valores extremos na região sudeste, corroborando com a relação que se estabelece com a temperatura e pH. As amostras coletadas para o presente estudo foram realizadas entre os meses de janeiro a março de 2018, ou seja, no período chuvoso. Para Silva et al. (2018), revela a influência direta das chuvas na composição físico-química da água dos poços.

Além disso, percebe-se que a salinidade possui relação com as variáveis de temperatura, pH e ORP, justificado pela alta concentração de sais diluídos, ocasionada pelo carreamento de minerais dissolvidos proveniente de rochas intemperizadas que se infiltram no solo durante o período de maior volume de chuvas (Maia et al., 2017), ou em decorrência da lixiviação de matéria orgânica em decomposição e das rochas carbonáticas (Silva et al., 2014), que é comumente encontradas nas rochas da Formação Jandaíra da Chapada do Apodi (Galindo et al., 2017).

Para os parâmetros de *C. totais* e *E. coli* constata-se que houve concentrações elevadas em toda a área, com exceção da porção sudoeste. Para Sako et al. (2018), o saneamento precário, a falta de uma gestão eficaz dos resíduos domésticos, a proteção inadequada dos poços escavados contra o escoamento superficial e o excremento de animais tornam as águas subterrâneas altamente vulneráveis à poluição antrópica.

Kavurmaci (2016) associou o nível de contaminação elevado com as atividades agrícolas intensivas, por meio da utilização de fertilizantes inorgânicos e pesticidas. Para Li et al. (2017), o uso excessivo de fertilizantes, a não proteção de poços e as más condições sanitárias são fontes potenciais de poluição antropogênica. Vicente et al. (2018) também destacaram inconformidades nos parâmetros em água subterrâneas relacionados às atividades agropecuárias e contaminação por sistemas de esgotamento sanitário ineficientes.

Na região, destacam-se as atividades econômicas potencialmente poluidoras como agroindústrias (na produção de melão, banana, melância, mamão e maracujá), com o desenvolvimento de cultivos temporários e permanentes, pecuária, com predomínio da caprinovinocultura e bovinocultura, mineração (na extração de calcário), além de atividades petrolíferas com exploração do gás natural e petróleo, próximas as comunidades do Sítio do Góis I e II. Em estudo realizado por Pinto Filho, Gonçalves e Lunes (2019), constatou-se que 80% dos entrevistados das 55 comunidades rurais da Chapada do Apodi, referem-se somente a prática da agricultura, que é considerada uma atividade com aspectos relevantes na alteração da qualidade ambiental da área investigada.

Geologicamente a área da Chapada do Apodi é altamente vulnerável à contaminação, devido à presença de sumidouros na região por onde as águas recarregam o aquífero rapidamente, sendo comprovado pela ausência de aquíferos superficiais (Teixeira, 2015). Ainda segundo a autora, as características físicas como o solo raso, topografia suavemente ondulada ou plana e a vegetação rasteira também contribuem para aumentar a vulnerabilidade.

Informações sobre a qualidade regional da água e fontes de poluição são consideradas importantes para a implementação de estratégias sustentáveis de gerenciamento do uso da água (Ali et al., 2018), e eficazes para identificar locais que envolvem a ameaça de contaminação (Kavurmaci, 2016).

Além disso, pontos com concentrações elevadas representam uma ameaça real à saúde dos moradores dessas localidades e precisam da atenção imediata das autoridades envolvidas para tomar medidas corretivas (Ali et al., 2018), assim como realização de estudos de possíveis impactos à saúde associados ao consumo de água potável de baixa qualidade nas populações rurais (McLeod et al., 2017).

Considerações Finais

Na microrregião da Chapada do Apodi/RN, a diminuição da disponibilidade hídrica, associada com a pressão antropogênica influenciam adversamente a qualidade dos mananciais para consumo humano. Sendo assim, a modelagem geoestatística pode auxiliar nos diagnósticos da qualidade da água subterrânea, identificando áreas de potenciais riscos de contaminação desses recursos hídricos na localidade e promover ações preventivas diante da degradação ambiental.

O emprego da análise descritiva dos dados possibilitou constatar que dos dez parâmetros estudados, seis deles (o pH, a turbidez, o oxigênio dissolvido, os sólidos totais dissolvidos, os coliformes totais e os coliformes do tipo *E. coli*) apresentaram resultados médios alterados conforme a legislação vigente de referência para qualidade da água.

Verificou-se ainda que todos os parâmetros não apresentaram normalidade, diante da análise de assimetria e curtose, devido à presença significativa de pontos discrepantes na distribuição de dados. E por esse motivo, precisaram ser adequados quanto a sua transformação logarítmica.

Foi possível averiguar a continuidade espacial dos parâmetros do estudo e posteriormente construir e analisar os seus semivariogramas, assim como selecionar o modelo que melhor se ajustou.

Verificou-se que o semivariograma experimental para a temperatura que melhor se ajustou foi o modelo Gaussiano; o pH ajustou-se ao modelo exponencial; as variáveis turbidez, oxigênio dissolvido e *E. coli* apresentaram modelo esférico. E os demais parâmetros apresentaram efeito pepita puro.

Por fim, observou-se, por meio das cartas temáticas através da interpolação por krigagem

ordinária, que as maiores concentrações estimadas tenderam a ocorrer em localidades com maiores concentrações de comunidades rurais.

O presente trabalho conseguiu estimar a exposição dos parâmetros de água subterrânea para consumo humano em uma área rural por meio da modelagem espacial e associá-los à fatores naturais e antropogênicos que podem afetar a sua qualidade.

Verifica-se que a qualidade da água na localidade pode estar comprometida, retratando um cenário de alerta na saúde pública e necessidade de atenção especial dos planejadores e gestores do município, devendo promover o monitoramento constante da qualidade da água nas comunidades usuárias de fontes possivelmente contaminadas e adoção de medidas corretivas quanto ao saneamento básico.

Futuros estudos relacionados à qualidade de água nas comunidades rurais devem ser conduzidos, considerando e integrando análises das variações sazonais dos parâmetros físico-químicos e biológicos em diferentes profundidades das águas subterrâneas.

Referências

- Ajdary, K., Karami, G., 2014. Quantifying changes in groundwater level and chemistry in Shahrood, northeastern Iran. *Hydrogeology Journal* 10. <https://doi.org/10.1007/s10040-013-1042-8>
- Ali, A., Javed, S., Ullah, S., Fatima, S.H., Zaidi, F., Khan, M.S., 2018. Bayesian spatial analysis and prediction of groundwater contamination in Jhelum city (Pakistan). *Environmental Earth Sciences* 77. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7253-5>
- Alvares, C.A., Stape J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ANA. Agência Nacional de Águas, 2010. Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e Proposição de Modelo de Gestão Compartilhada para os Aquíferos da Chapada do Apodi, entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará. Relatório Final. Brasília.
- Andrade, C., Silva, J., Montenegro, A., Montenegro, S., Tavares, U., 2014. Variabilidade espacial da textura em solo aluvial sob o cultivo de cenoura (*Daucus carota*

- L.). *Revista de Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental* 9, 59-67.
- Andriotti, J.L.S., 2004. Fundamentos de estatística e geoestatística. São Leopoldo-RS: Editora da UNISINOS, 165 p.
- APHA. American Public Health Association, 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th edition. Washington D.C. American Public Health Association. 953p.
- Araujo, C.S.P., Bezerra, J.M., 2018. Qualidade das águas subterrâneas da cidade de Pau dos Ferros-RN. *Revista Geotemas* 8, 116-131. <https://doi.org/10.33237/geotemas.v8i2.3196>
- Araújo, G.G., 2015. Os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e a produção animal em regiões semiáridas. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8, 598-609. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.0.p598-609>
- Araujo, L.M., Bezerra, F.T.C., Borges, P.F., Araujo, L.S., Pereira, A.R., Moscoso, J.S.C., 2018. Estimativas da evapotranspiração de referência para o município de Apodi, RN. *Gaia Scientia* 12, 181-192. <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2018v12n3.34947>
- Arruda, L.E.V., 2018. Simulação pelo modelo hydrus 2d da dinâmica de água e transporte de potássio em um cambissolo do semiárido potiguar. 144 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Manejo Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.
- Assunção, R. Fundamentos Estatísticos de Ciência dos Dados voltado para aplicações, 2017. Disponível: <https://homepages.dcc.ufmg.br/~assuncao/EstatCC/FECD.pdf>. Acesso: 01 dez. 2019.
- Bolfarine, H., Bussab, W.O., 2005. Elementos de amostragem. São Paulo: Editora Blücher.
- BRASIL, 2017. Portaria nº 5 de 28 de setembro.
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Novak, J.M., Turco, R.F., Konopka, A.E., 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society American Journal* 58, 1501-1511. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.0361595005800050033x>
- Cherubin, M.R., Santi, A.L., Eitelwein, M.T., Amado, T.J.C.; Simon, D.H., Damian, J.M., 2015. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 50.
- CONAMA, 2005. Resolução nº 357 de 17 de março.
- CONAMA, 2008. Resolução nº 396, de 3 de abril.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2015. Estudo Comparativo entre as Classificações Brasileira, Norte-Americana e da Comunidade Europeia. Disponível: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Laboratorios-de-Analises-Minerais--Rede-LAMIN/Estudo-Comparativo-entre-as-Classificacoes-Brasileira%2C-Norte-Americana-e-da-Comunidade-Europeia-3525.html?tpl=printerview>. Acesso: 10 nov. 2019.
- Delfes, M., Perazzoli, M., Goldbach, A., 2015. Avaliação Qualitativa da água do Rio do Peixe na área Urbana do Município de Videira, SC. *Unesco & Ciência – ACET* 6, 133-140.
- Diggle, P.J., Ribeiro Júnior, P.J., 2007. Model-based geostatistics. New York: Springer, 230 p. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-48536-2>
- EMPARN. Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. Estação Meteorológica da cidade de Apodi-RN. Disponível: <http://meteorologia.emparn.rn.gov.br:8181/esta-caomet.php>. Acesso: 11 jun. 2020.
- Galindo, A.C., Srivastava, N.K., Souza, L.C., Maia, H.N., Sa, J.M., Araújo, A.G.S., Fillippi, R.R., Oliveira, M.T.D., 2017. Geologia e recursos minerais da folha Apodi* SB.24-X-C-VI. 1. Ed, Recife: CPRM, 181p.
- Ibrahim, A.T.H., Victor, C., Nor, B.A., Kayode, A., Ibrar, Y., Abdullah, G., Ejaz, A., Haruna, C., 2016. The role of big data in smart city. *International Journal of Information Management* 36, 748-758. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.05.002>

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística., 2019a. Pedologia. Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA). Disponível: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso: 05 set. 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019b. Censo Demográfico. Disponível: www.ibge.gov.br. Acesso: 05 set. 2019.
- Kabir, M.S., Salam, M.A., Paul, D.N.R., Hossain, M.I., Rahman, N.M.F., Aziz, A., Latif, M.A., 2016. Spatial Variation of Arsenic in Soil, Irrigation Water, and Plant Parts: A Microlevel Study. *The Scientific World Journal*. <https://doi.org/10.1155/2016/2186069>
- Kavurmaci, M., 2016. Evaluation of groundwater quality using a GIS-MCDA-based model: a case study in Aksaray, Turkey. *Environ Earth Sciences* 75, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6074-7>
- Kayode O.T., Okagbue H.I., Achuka J.A., 2018. Water quality assessment for groundwater around a municipal waste dumpsite. *Data Brief* 17, 579-587. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.01.072>
- Leonardi, I.R. 2018. Modelagem geoestatística de parâmetros de qualidade da água na lagoa do rio Barigui em Curitiba - Paraná. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- Li, P., Zhang, Y., Yang, N., Jing, L.Y.P., 2016. Major ion chemistry and quality assessment of groundwater in and around a mountainous tourist town of China. *Expo Health* 8, 239-252. <https://doi.org/10.1007/s12403-016-0198-6>
- Macedo, R.R., Mendes, R.L.R., Costa, T., 2018. Sistema de informação geográfica (SIG) aplicado a gestão de recursos naturais. Atlas do aproveitamento de água da chuva nas ilhas de Belém - iniciativas, demandas e potencialidades. *GEO UERJ*, 1. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2018.29876>
- Maia, P.J.S., Souza, M.P., Paes, O.A.R.L., Freitas, F.A., 2017. Estudo da Variação da Salinidade de Águas Subterrâneas do Poço Amazonas (Canindé-Ceará) em função da pluviosidade. *Scientia Amazonia* 6, 83-91.
- Matias, S.S.R., Nóbrega, J.C.A., Nóbrega, R.S.A., Andrade, F.R., Baptistel, A.C., 2015. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo cultivado de modo convencional com soja no cerrado piauiense. *Revista Agro@mbiente* 9, 17-26. <https://doi.org/10.5327/Z1982-8470201500012036>
- McLeod, L., Bharadwaj, L., Epp, T., Waldner, C.L., 2017. Use of Principal Components Analysis and Kriging to Predict Groundwater-Sourced Rural Drinking Water Quality in Saskatchewan. *Int J Environ Res Public Health* 14. <https://doi.org/10.3390/ijerph14091065>
- McGill, B.M., Altchenko, Y., Hamilton, S.K., Kenabatho, P.K., Sylvester, S.R., Villholth, K.G., 2019. Complex interactions between climate change, sanitation, and groundwater quality: a case study from Ramotswa, Botswana. *Hydrogeol Journal* 27, 997-1015. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1901-4>
- Medeiros, A.C., Lima, M.O., Guimaraes, R.M., 2016. Avaliação da qualidade da água de consumo por comunidades ribeirinhas em áreas de exposição a poluentes urbanos e industriais nos municípios de Abaetetuba e Barcarena no estado do Pará, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva* 21, 695-708. <https://doi.org/10.1590/1413-81232015213.26572015>
- Mendonça, M.H.M., Roseno, S.A.M., Cachoeira, T.R.L., Silva, Á.F.S., Jácome, P.R.L.A., Jácome Júnior, A.T., 2017. Análise bacteriológica da água de consumo comercializada por caminhões-pipa. *Revista Ambiente & Água* 12, 468-475. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1934>
- Menezes, J.P.C., Bertossi, A.P.A., Santos, A.R., Neves, M.A., 2014. Correlação entre uso da terra e qualidade da água subterrânea. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 19, 173-186. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014000200008>
- Menezes, J.P.C., Bittencourt, R.P., Farias, M.S., Bello, I.P., Fia, R., Oliveira, L.F.C., 2016. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 21, 519-534.

<https://doi.org/10.1590/S1413-41522016145405>

- Miot, H.A., 2019. Valores anômalos e dados ausentes em estudos clínicos e experimentais. *Jornal Vascular Brasileiro* 18. <https://doi.org/10.1590/1677-5449.190004>
- Neves, A.L.R., Pereira, M.A., Lacerda, C.F., Gheyi, H.R., 2017. Aspectos socioambientais e qualidade da Água de dessalinizadores nas comunidades rurais de Pentecoste-CE. *Revista Ambiente e Água* 12. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1722>
- Nozaki, C.T., Marcondes, M.A., Lopes, F.A., Santos, K.F., Larizzatti, P.S.C., 2014. Comportamento temporal de oxigênio dissolvido e pH nos rios e córregos urbanos. *Atas de Saúde Ambiental ASA* 2.
- Oliveira Júnior, H.S., 2016. Monitoramento e mapeamento das águas subterrâneas de abastecimento urbano do município de Mossoró-RN. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Manejo Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.
- Oliveira, D.G., Reis, E.F., Medeiros, J.C., Martins, M.P.O., Umbelino, A.S., 2018. Correlação espacial de atributos físicos do solo e produtividade de tomate industrial. *Revista Agro@mbiente* 12, 1-10. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v12i1.4211>
- Pinto Filho, J.L.O., Goncalves, G.L., Lunes, A.R.S., 2019. Caracterização socioeconômica e ambiental das comunidades rurais da Chapada do Apodi-RN. *Geosul (UFSC)* 35, 01-28. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n71p697>
- Pontes, A.G.V., Gadelha, D., Freitas, B.M.C., Rigotto, R.M., Ferreira, M.J.M., 2013. Os perímetros irrigados como estratégia geopolítica para o desenvolvimento do semiárido e suas implicações à saúde, ao trabalho e ao ambiente. *Revista Ciência e Saúde Coletiva* 18, 3213-3222. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232013001100012>
- Santana Júnior, H.E. 2010. Zoneamento agroecológico do município de Apodi/RN. 121f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Santos, K.E.L., 2017. Geoestatística e geoprocessamento aplicados à tomada de decisão agroambiental em um sistema de produção de leite a pasto intensivo. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental), Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Sibaldelli, R.N.R., Carvalho, J.D.F.C., Oliveira, M.C.N., 2015. Uso de geoestatística no estudo da variabilidade espacial da capacidade de troca de cátions do solo. *Global Science and Technology* 8, 141-156. <https://doi.org/10.14688/1984-3801/gst.v8n1p141-156>
- Silva, D. D., Migliorini, R. B., Silva, E. C., Zoraidy, M. L., Moura, I. B. Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 19, n. 1, p. 43-52, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014000100005>
- Silva, E.B., Neto, J.R.A., Palacio, H.A.Q., Souza, C.A., Andrade, E.M., 2017. Variabilidade espaço-temporal da qualidade de água no vale do rio Trussu, Ceará. *Revista brasileira de agricultura irrigada* 11, 1420-1429. <https://doi.org/10.7127/rbai.v11n300562>
- Silva, R.S.B., Sousa, A.M.L., Sodre, S.S.V., Vitorino, M.I., 2018. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA. *Revista Ambiente & Água* 13. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2072>
- Soares, L.L.L.O., Pinto Filho, J.L.O., Feitosa, A.P., Bezerra, J.M., 2019. Perfil socioeconômico e percepção ambiental dos moradores do entorno da Lagoa do Apodi, Rio Grande do Norte. *Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável*, v. 14, p. 111-119, 2019. <https://doi.org/10.18378/rvads.v14i1.5793>
- Souza, Z.M., Souza, G.S., Marques Junior, J., Pereira, G.T., 2014. Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo. *Ciência Rural* 44, 261-268.

<https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000200011>

Sperling, M.V., 2005. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 3^a. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Sperling, M.V., 2014. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG.

Tavares, J.M., Souza, P.M.A.D., 2016. Características ambientais das comunidades de baiacu e de cachoeira na baía de todos os santos-Bahia - Brasil. *Holos* 7, 258-265. <https://doi.org/10.15628/holos.2016.4664>

Teixeira, Z.A., 2015. Processos determinantes da qualidade das águas subterrâneas da Formação Jandaíra na Chapada do Apodi/CE. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

Vicente, G.Z., Lima, C.G.R., Marques, S.M., 2018. Variabilidade espacial e temporal do Nitrato e Cloreto no Sistema Aquífero Bauru, estado de São Paulo. *Revista Águas Subterrâneas* 32, 295-306. <https://doi.org/10.14295/ras.v32i3.29099>

Yamamoto, J.K., Landim, P.M.B., 2013. *Geoestatística: conceitos e aplicações*. São Paulo: Oficina de textos, 215p.