
ANÁLISE ESPACIAL DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (STD) EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO NORTE DO PIAUÍ

Reurysson Chagas de Sousa **MORAIS**

Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela UFC

reurysson@ifpi.edu.br

<http://lattes.cnpq.br/9693291055100099>

Inessa Racine Gomes de **ARAÚJO**

Graduanda em Geoprocessamento pelo IFPI

inessa.racine10@gmail.com

<http://lattes.cnpq.br/5725362131428571>

RESUMO:

Na região norte do estado do Piauí, nordeste do Brasil, a perfuração de poços tem sido uma alternativa ao precário sistema de abastecimento público, no entanto, a concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) na água pode limitar seu uso para abastecimento. O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise espacial da concentração STD em águas subterrâneas da região norte do Piauí. Para tanto, realizou-se uma interpolação dos valores de STD registrados nos poços da região, disponibilizados no banco de dados do Atlas Digital dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Estado Do Piauí, com uso de método geoestatístico. Posteriormente, buscou-se correlacioná-los com as características geológicas da região. O resultado demonstrou que as águas doces ocorrem em uma área de 201 km², enquanto que as águas salobras e salinas ocorrem em uma área 796 e 1.180 km², respectivamente e apresentaram correspondência espacial com as áreas de afloramento de rochas da suíte intrusiva Chaval. As áreas que apresentaram maior estimativa de ocorrência de água doce estão localizadas nas proximidades da foz dos rios Camurupim e Igarçu, e nas demais porções da faixa litorânea a estimativa da ocorrência de STD aponta para uma salinização das águas subterrâneas, que possivelmente pode estar associado a intrusão salina devido a exploração excessiva do manancial subterrâneo.

Palavras-Chave: Geoestatística. SIG. Qualidade de Água.

SPACE ANALYSIS OF TOTAL DISSOLVED SOLIDS CONCENTRATION (STD) GROUNDWATER IN THE REGION NORTH PIAUÍ

ABSTRACT:

In the northern region of the state of Piauí, Northeast Brazil, drilling wells has been an alternative to slum public supply system, however, the concentration of total dissolved solids (TDS) in water may limit its use to supply. The objective of this study was to perform a spatial analysis of the concentration of TDS in groundwater in the northern Piauí. Therefore, there was an interpolation of TDS amounts recorded in the wells of the region, available on the Digital Atlas database of Groundwater Resources of the State of Piauí, using geostatistical method. Later, it was tried to correlate them with the geological characteristics of the region. The results showed that freshwaters occur in an area of 201 km², while the brackish and saline waters occur in an area 796 and 1,180 km² respectively and presented spatial correspondence with areas of rock outcrops of intrusive suite Chaval. The areas that had higher freshwater occurrence estimation are located near the mouths of rivers Camurupim and Igarapu and in other portions of the coastal strip estimating the occurrence of TDS points to a salinization of groundwater, which they may possibly be associated with saline intrusion due to over-exploitation of groundwater.

Keywords: Geostatistics. GIS. Water quality.

ANÁLISIS ESPACIAL DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (STD) EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA REGIÓN NORTE DE PIAUI.

RESUMEN:

En la región norte de estado de Piauí, nordeste de Brasil, la perforación de pozos tiene sido una alternativa al precario sistema de abastecimiento público, por lo tanto, la concentración de sólidos totales disueltos (STD) en el agua puede limitar su uso para abastecimiento. El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis espacial de la concentración de STD en aguas subterráneas de la región norte de Piauí. Con eso, se ha realizado una interpolación de los valores de STD registrados en los pozos de la región, disponibles en la base de datos del Atlas Digital de Recursos de Aguas Subterráneas del Estado del Piauí, con el uso de los métodos geostadístico. Posteriormente se buscó correlacionarlos con las características geológicas de

la región. El resultado ha demostrado que las aguas dulces ocurren en un área de 201km², mientras que las aguas salobres y salinas ocurren en un área 796 y 1.180km², respectivamente y presentaron correspondencia espacial con las áreas de afloramiento de rocas de la suíte intrusiva Chaval. Las áreas que presentaron mayor estimativa de ocurrencia de agua dulce están ubicadas en las cercanías de la desembocadura de los ríos Camarupim e Igarçu, y en las demás porciones de la raya litoránea a estimación de la ocurrencia de STD indica para una salinización de las aguas subterráneas, lo que posiblemente puede está asociado a la intrusión salina debido a la exploración excesiva del manantial subterráneo.

Palabras-Clave: Geoestadística. SIG. Calidad de Agua

INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda por água tem levado a população a buscar novas fontes de abastecimento, e a utilização de água subterrânea, por meio da perfuração de poços tubulares, tem sido a solução mais adotada em várias regiões do Brasil, inclusive na região norte do Piauí.

Embora a água subterrânea seja uma excelente fonte de abastecimento, nem sempre apresenta qualidade necessária aos usos pretendidos. Dentre as características que limitam seu uso para abastecimento doméstico está, por exemplo, a concentração de sólidos totais dissolvidos (STD), que é soma de todos os constituintes minerais presentes na água (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

A presença de STD altera as características organolépticas das águas, que podem apresentar-se salobras ou salinas. Assim sendo, a Resolução Conama nº 396 de 2008, estabeleceu que, para fins de abastecimento humano, o Valor Máximo Permitido (VMP) de STD para águas subterráneas é de 1000 mg/L, o mesmo valor admitido pelo Ministério da Saúde por meio da Portaria nº 2.914 de 2011 (BRASIL, 2008; 2012).

De modo geral a qualidade das águas subterráneas é influenciada por fatores intrínsecos ou extrínsecos ao aquífero. Conforme destacado por Feitosa e Manoel Filho (2000) a concentração de substâncias dissolvidas na água tende a aumentar à medida que a água percola diferentes aquíferos, podendo ainda, ser influenciada por fatores como o clima, características das águas de recarga, tempo de contato com o meio físico e contaminação por ação antrópica.

Na região norte do Piauí, a perfuração de poços tem sido uma alternativa ao precário sistema de abastecimento público. No entanto, a concentração de STD na água pode limitar seu uso para abastecimento. Por outro lado, a exploração excessiva para outros fins como irrigação e lazer (enchimento de piscinas particulares) pode resultar, na região litorânea, na intrusão de água salina.

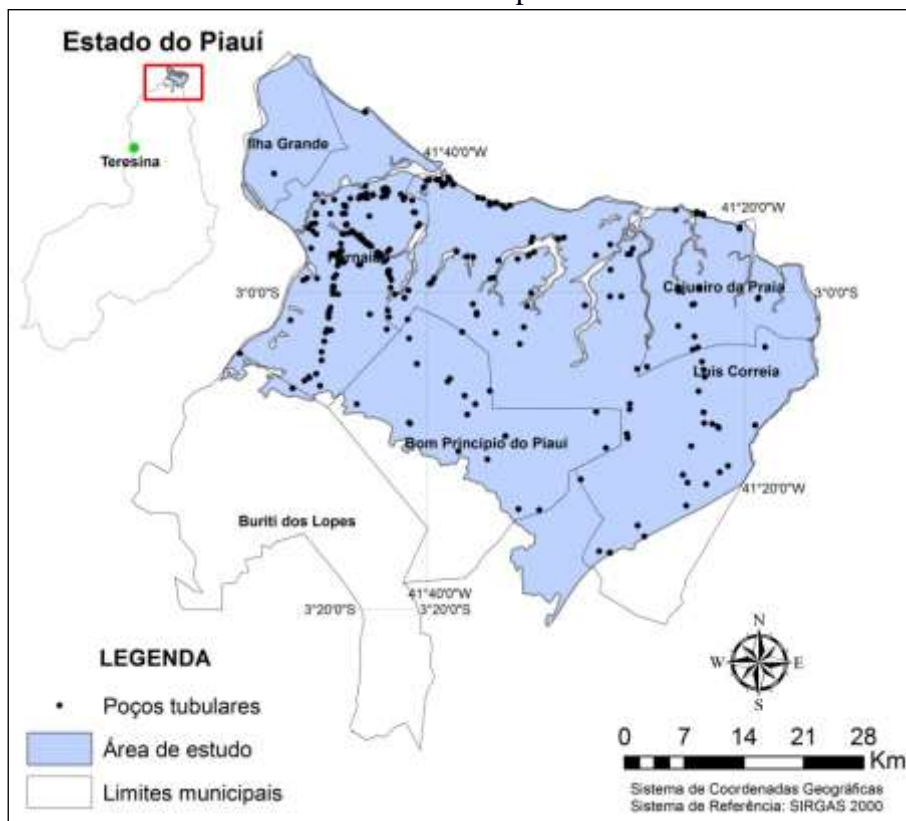
Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise espacial da concentração de STD nas águas subterrâneas da região norte do Piauí, por meio da interpolação dos valores de STD registrados nos poços da região, buscando relacioná-los com as características geológicas. Espera-se que os resultados possam subsidiar o processo de regulamentação de abertura de novos poços, por indicar as áreas que apresentam estimativas de alta concentração de STD.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde a uma faixa de aproximadamente 19 km, limitada ao norte do estado do Piauí pelo oceano Atlântico e, ao sul, por uma faixa de ocorrência de rochas intrusivas (Figura 1). Esta área abrange seis municípios: Bom Princípio do Piauí, Buriti do Lopes, Cajueiro da Praia, Ilha Grande, Luís Correia e Parnaíba, e apresenta grande concentração de poços tubulares. Esses municípios fazem parte da região turística Polo Costa do Delta. Dentre estes, destacam-se Luís Correia e Parnaíba, devido a beleza natural de suas praias que atraem, em período de alta temporada, um grande fluxo de turistas. Nestes períodos, o aumento da demanda por água para abastecimento e enchimento de piscinas das casas de veraneio acarreta uma sobrecarga sobre o sistema de abastecimento, resultando em interrupções constantes no fornecimento de água, fato que tem impulsionado a abertura indiscriminadas de poços artesianos na região.

Nas regiões afastadas do litoral, a abertura de poços artesianos destina-se ao abastecimento doméstico e irrigação de pequenas propriedades. No entanto, devido as características hidrogeológicas, marcada pela ocorrência de aquíferos fissurais e aquíferos sedimentos rasos assentados sobre estruturas cristalinas, as águas subterrâneas nem sempre apresentam qualidade compatível aos usos previsto.

Figura 1 – Mapa de Localização com os municípios estudados e os poços tubulares referente a cada município.



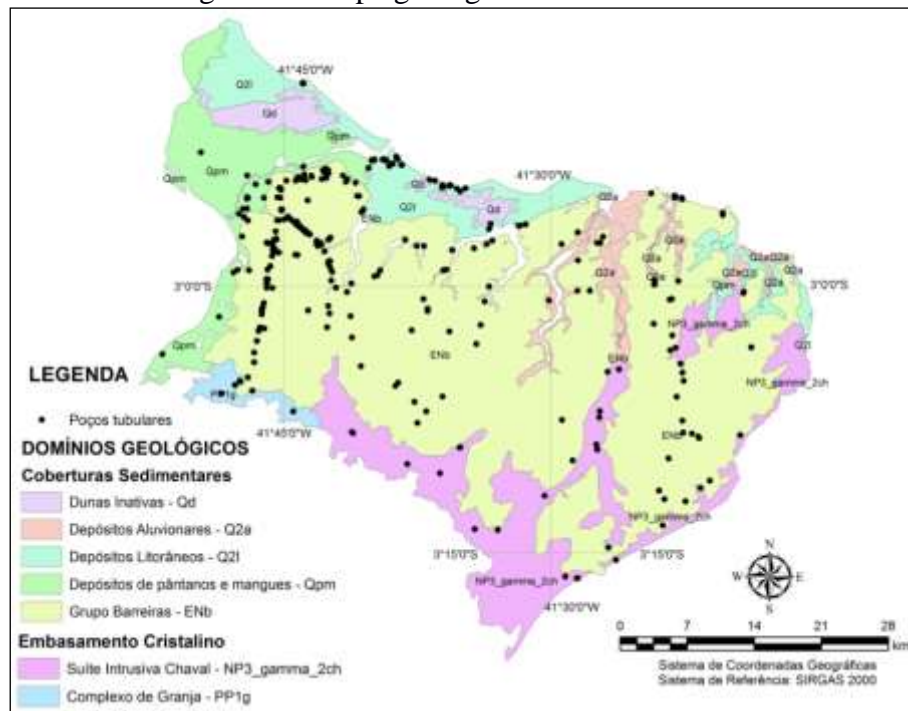
Fonte: Aguiar e Gomes (2004). Elaborado pelos autores.

Características geológicas

A geologia da área de estudo abrange dois domínios geológicos: as coberturas sedimentares, representadas pelas rochas pertencentes ao Grupo Barreiras e sedimentos inconsolidados correspondentes a depósitos aluviais e litorâneos; e o embasamento cristalino (Figura 2).

Os Depósitos Aluviais são representados por todos os depósitos fluviais ou lagunares recentes (que bordejam os baixos cursos fluviais do Parnaíba, Longá, Timonha, Camurupim e outros pequenos cursos d'água), que recobrem as rochas Pré-Cambrianas. Litologicamente são caracterizadas por areias mal selecionadas, argilas, siltes e às vezes cascalhos inconsolidados, de cores escuras (devido a matéria orgânica) ou cores variadas (CPRM, 2004). Devido à mobilidade dos leitos dos rios e às constantes variações de velocidade de sedimentação das partículas sólidas, os depósitos aluviais possuem características texturais muito variadas, o que produz muita heterogeneidade na distribuição das propriedades hidráulicas (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

Figura 2 – Mapa geológico da área de estudo.



Fonte: Gonçalves (2006). Elaborado pelos autores.

Os Depósitos Litorâneos são depósitos contínuos e alongados que se estende por toda a costa, situados na área de atuação da maré até o limite do início do pós-praia. São caracterizadas por areias de textura média a grossa, em geral, moderadamente selecionadas, com abundantes restos de conchas, matéria orgânica e minerais pesados. Segundo Feitosa e Manoel Filho (2000) as areias litorâneas caracterizam-se pela ausência de frações de silte e argila, são moderadamente permeáveis e formam aquíferos em áreas onde existe suficiente espessura saturada. As porosidades situam-se entre 30 e 45%. Ao contrário das aluviões, os depósitos litorâneos tendem a ser muito homogêneos em escala local e muitas vezes em escala regional. Os Depósitos de Pântanos e Mangues englobam areia e argila e também fazem parte dos sedimentos recentes (CPRM, 2004).

O Grupo Barreiras é composto por conglomerados, arenitos grosseiros e finos com intercalações locais de siltitos e argilitos. Tem coloração variando de cinza claros, vermelho-alaranjada e amarelo-avermelhada. Sua estratificação é indistinta e em geral com suave inclinação para o mar. Por correlação estratigráfica, esses depósitos continentais são referentes ao Tércio-Quaternário, sendo do Plio-pleistoceno. Os depósitos da Formação Barreiras estão associados aos depósitos colúvio-aluvionares em uma época que o nível do mar era mais baixo que o atual, permitindo o recobrimento de uma extensa plataforma

formando uma superfície bem mais ampla que os limites atuais (CEPRO, 1996). Segundo Bezerra et al. (2006), a extração de bens minerais e água subterrânea, ao longo da faixa litorânea, tem demandado estudos que busquem o melhor conhecimento da dessa formação geológica.

As coberturas sedimentares constituem-se em aquífero poroso, formado por sedimentos inconsolidados que apresenta muitas vantagens no ponto de vista de aproveitamento, visto que são fáceis de perfurar ou escavar, estando a água subterrânea em níveis rasos. Esses depósitos possuem alta capacidade de infiltração potencial, com grande porosidade efetiva e permeabilidade, enquanto a ocorrência em sedimentos consolidados - as rochas - apresentam de regular a boa permeabilidade (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

O embasamento cristalino é recoberto pelos terrenos da Formação Serra Grande e Formação Barreiras e se estendendo no sentido SE/NW indo em direção à margem direita do rio Parnaíba, saindo do município de Granja no sentido leste na fronteira do Piauí com Ceará e passando pela área dos municípios de Bom Princípio, sentido centro/sul e Buriti dos Lopes, sentido oeste do Piauí. Nesse conjunto são identificados granitóides da suíte intrusiva de Chaval (datados do Neoproterozóico) e na porção NW dessa faixa, ocorrem gnaisses e migmatitos que compõem o Complexo Granja, datados do Paleoproterozóico (CPRM, 2004).

O embasamento cristalino constitui o chamado “aquífero fissural”. Neste tipo de aquífero, a ocorrência de água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas, fendas, juntas ou falhas, que resulta em reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Nesse contexto, as vazões produzidas por poços são pequenas e a água, na maior parte das vezes, apresenta teores elevado de STD. Com tais características, as rochas cristalinas apresentam baixo potencial hidrogeológico, embora se apresentem como alternativa no abastecimento de pequenas comunidades (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados nesse estudo foram obtidos do “Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea”, disponível no portal do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Este projeto realizou o cadastro de todos os poços tubulares, poços escavados representativos e fontes naturais em uma área de 755.000 km², com ênfase no semiárido do Nordeste. As informações levantadas foram organizadas em um banco de dados e sintetizadas

em Relatórios Diagnósticos Municipais e Atlas Digitais Estaduais, ambos disponibilizados no portal da Companhia.

Após a aquisição dos arquivos digitais no formato vetorial contendo a localização e valores de concentração de STD dos poços do estado do Piauí, procedeu-se à seleção dos poços instalados na área de estudo. Os poços tubulares com ausência de dados de STD foram desconsiderados da análise, deste modo, o processo de interpolação levou em consideração os dados de 320 poços da região norte do Piauí.

A análise espacial da concentração de STD foi realizado por meio da interpolação geostatística dos valores de STD dos poços tubulares da região. O processo de interpolação espacial consiste em converter dados de observações pontuais em campos contínuos. Fundamenta-se no raciocínio de que, em média, o valor de atributo em um determinado ponto não amostrado, tendem a ser similar aos valores encontrados em pontos mais próximos do que os valores encontrados em locais mais afastados. Esse conceito fundamenta as relações espaciais entre fenômenos geográficos, utilizando a correlação espacial como meio de diferença dos atributos estimados (CÂMARA; MEDEIROS, 1998 apud JAKOB; YOUNG, 2006).

A Krigagem é um dos métodos de interpolação mais utilizados; usa funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados (JAKOB, 2002). Diferentemente dos métodos tradicionais de estimativa, como a média ponderada e médias móveis, a krigagem apresenta estimativas não tendenciosas e a mínima variância associada ao valor estimado (YAMAMOTO; LANDIM, 2013)

A Krigagem reúne diversos tipos de métodos de estimação como: Krigagem Simples (KS), Krigagem Ordinária (KO) e Krigagem Universal (KU), Krigagem Indicadora (KI), dentre outros. A seleção do método depende das características dos dados, como a distribuição de frequência, ocorrência de tendência, etc. Segundo Ferreira et al. (2013), a KS é utilizada quando a média é assumida como estatisticamente constante em toda a área de estudo. No caso da KO considera-se a média flutuante ou móvel para toda a área. Já o método da KU é utilizado quando o processo estocástico não é estacionário, isto é, quando o processo apresenta tendência (SANTOS et al., 2011).

O procedimento de interpolação dos dados de STD levou em consideração a análise estatística, verificação da continuidade espacial, anisotropia e tendência dos dados, realizada

com uso da Extensão *Geostatistical Analyst* do ArcGis, versão 10.2, licenciada pelo Laboratório de Geoprocessamento do Instituto Federal do Piauí.

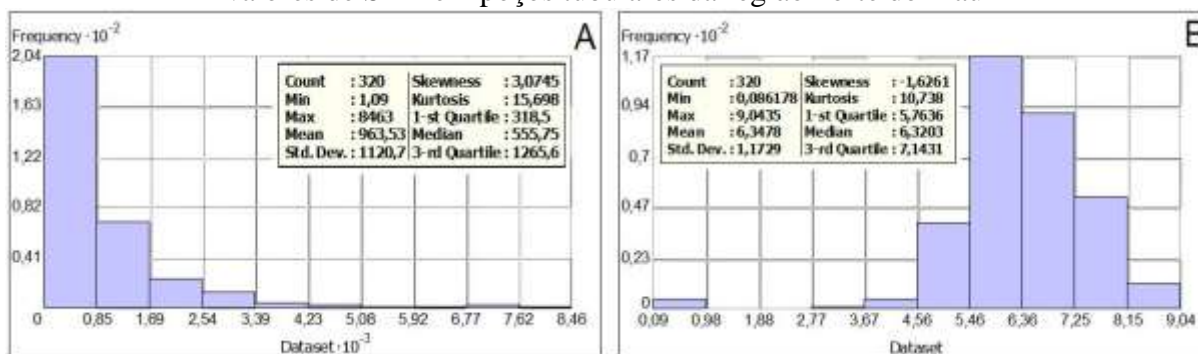
Deste modo, procedeu-se a verificação da necessidade de transformação dos dados, realizada com base na análise do histograma de frequência; a análise da ocorrência de continuidade espacial e anisotropia, a partir do cálculo da função semivariograma (que mede a variância entre pontos separados por uma distância h) dos dados nas direções 0° , 45° , 90° e 135° , conforme recomendado por Yamamoto e Landim (2013); e a análise de tendência, realizada com base na função *Trend Analysis*. Diante das análises descritas, e após sucessivos testes envolvendo outros métodos de krigagem, optou-se pela utilização da KU, por ter apresentado o menor erro médio.

Segundo Ferreira et al. (2013), antes de realizar a interpolação usando a krigagem, faz-se necessário ajustar uma função (modelo teórico) ao semivariograma experimental, visando estimar os parâmetros de dependência espacial: efeito pepita, contribuição, patamar e alcance. Deste modo, optou-se por utilizar o modelo Stable, por apresentar o melhor ajuste ao modelo experimental. Esse modelo foi descrito pelos autores como sendo uma combinação dos modelos exponencial e gaussiano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística dos dados indicou uma grande variação dos valores de concentração de STD nos poços da região estudada, conforme apresentado pelos valores mínimo, máximo e desvio-padrão apresentado na Figura 3-A. É possível ainda observar uma forte assimetria positiva dos dados, indicando uma ocorrência elevada de poços que apresentam valores de STD abaixo dos 1000 mg/L (222 poços, no total).

Figura 3 – Distribuição de frequência antes (A) e após (B) a transformação logarítmica dos valores de STD em poços tubulares da região norte do Piauí

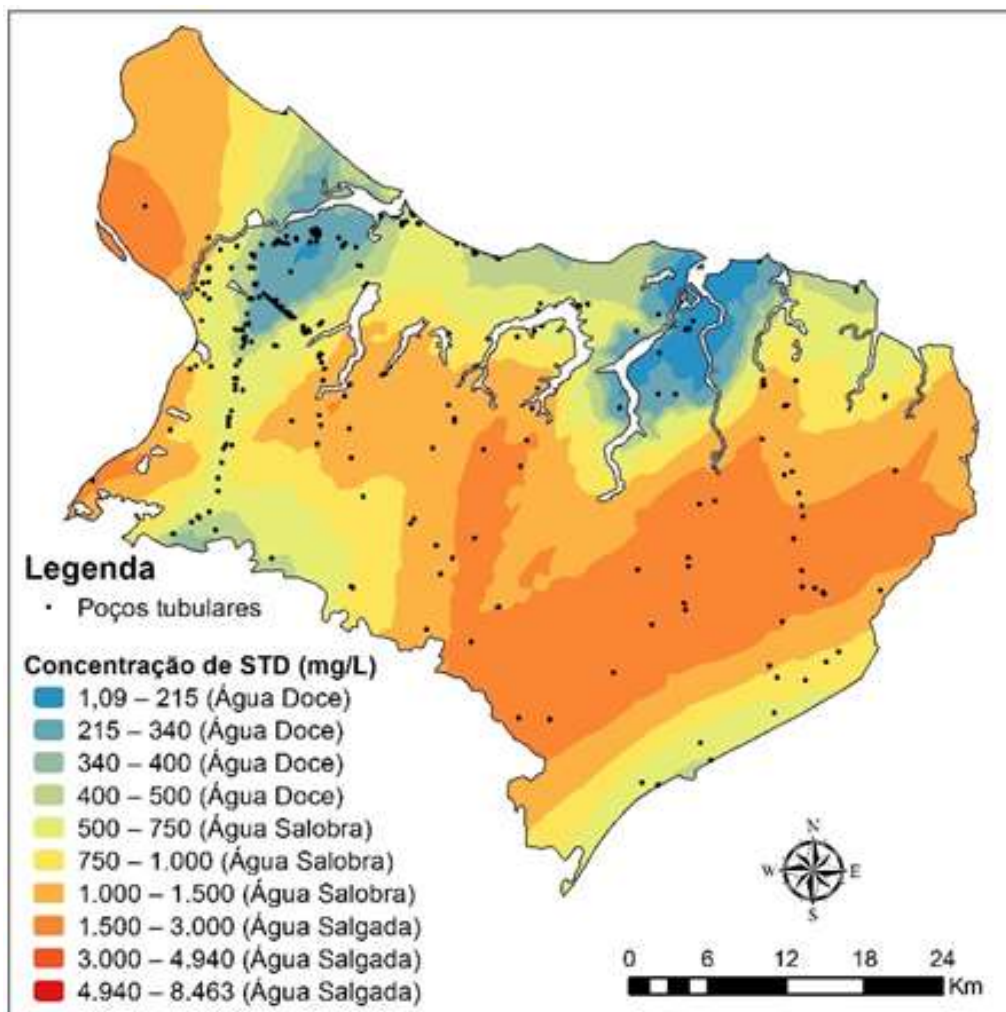


Fonte: Elaborado pelos autores.

No processo de interpolação geoestatística a análise da distribuição de frequência indica a necessidade ou não de transformação dos dados. Segundo Yamamoto e Landim (2013, p. 56) “se a distribuição apresenta assimetria positiva, há a necessidade de transformação dos dados para evitar a influência de poucos valores altos na estimativa de pontos de vizinhança, caracterizada por valores baixos”. Assim sendo, a Figura 3 apresenta o resultado da transformação logarítmica dos dados analisados.

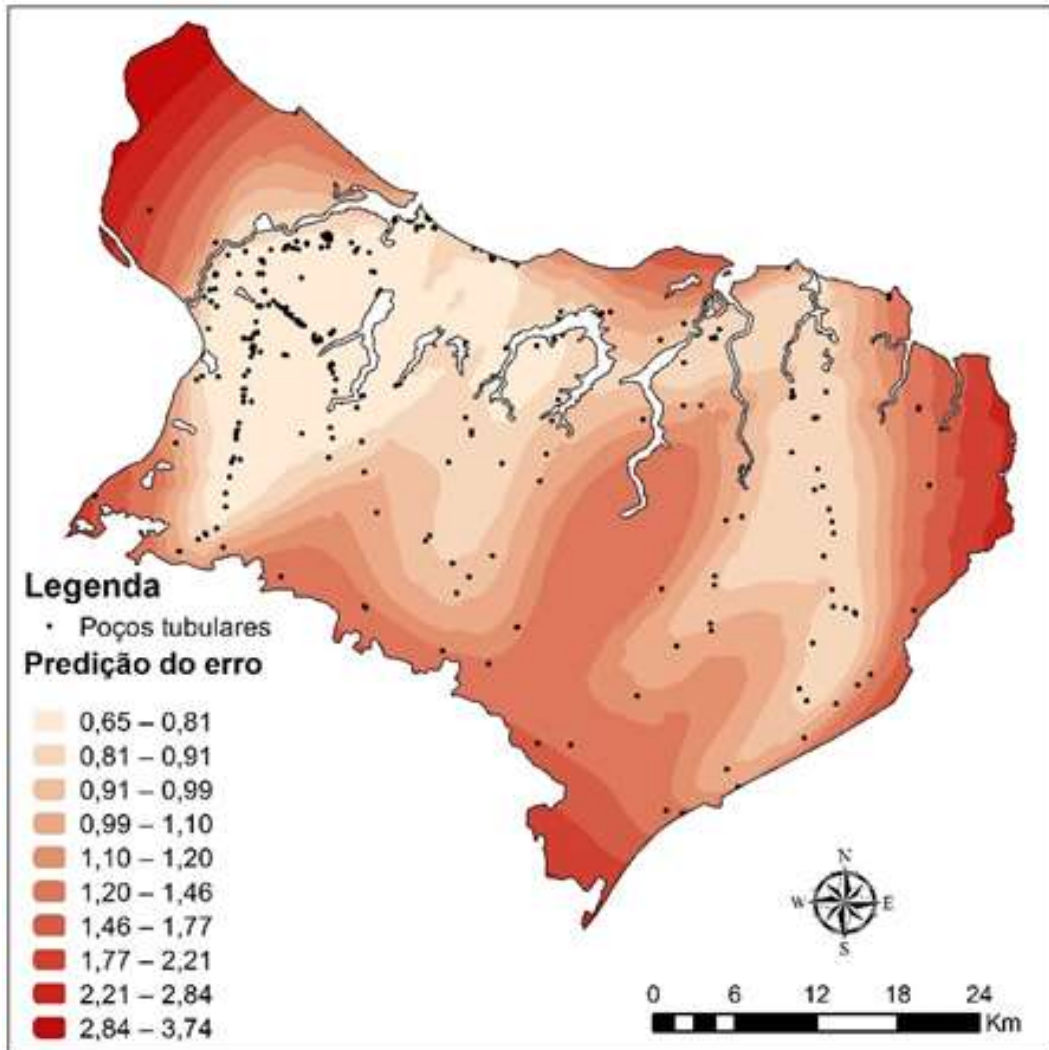
Após a identificação da anisotropia e modelagem do variograma, tendo como base o modelo teórico *Stable*, procedeu-se a geração do mapa de estimação da variável analisada, aplicando-se o método de krigagem universal. O resultado do processo de estimação da ocorrência de STD é apresentado na Figura 4, seguido do mapa de incertezas associados à estimativa (Figura 5).

Figura 4 – Mapa da estimativa de concentração de STD em águas subterrâneas no norte do Piauí.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 5 - Mapa de incertezas das estimativas de concentração de STD em águas subterrâneas no norte do Piauí.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tomando por base a classificação das águas subterrâneas em função da concentração de STD apresentada pela Aguiar e Gomes (2004), identificou-se que 45,3% dos poços tubulares da região apresentam água doce ($STD < 500\text{mg/L}$), enquanto que 36,3% e 18,4% apresentando águas salobras ($500\text{mg/L} < STD < 1500\text{mg/L}$) e salinas ($STD > 1500\text{mg/L}$), respectivamente.

Em estudo semelhante realizado no município de Santa Rosa do Piauí, utilizando a mesma base de dados da CPRM, Nobre et al. (2009) identificaram que as águas subterrâneas do município apresentam teores de STD abaixo dos 460 mg/L. Este cenário pode ser atribuído a geologia do local, marcada pela ocorrência de rochas sedimentares correspondentes às Formações Longá e Poti.

Considerando o mapa da distribuição dos STD na área de estudo (Figura 4), estima-se que as águas doces ocorrem em uma área de 201 km², enquanto que as águas salobras e salinas ocorrem em uma área 796 e 1.180 km², respectivamente.

As áreas com estimativas de ocorrência de águas salobras e salinas apresentaram correspondência espacial com as áreas de afloramento de rochas da suíte intrusiva Chaval, bem como nas áreas de entornos compostas por rochas pertencentes a Formação Barreiras que se sobrepõem a suíte intrusiva, corroborando com o trabalho desenvolvido por Lima et al. (2009), que resultou no mapeamento da variação da qualidade das águas subterrâneas da região Nordeste do Brasil. Segundo os autores, as águas procedentes de rochas cristalinas apresentam alto risco de sodicidade e salinidade, em contraste com o baixo risco apresentado pelas águas derivadas de terrenos sedimentares.

As áreas que apresentaram maior estimativa de ocorrência de água doce estão localizadas nas proximidades da foz dos rios Camurupim e Igarauçu. Nas demais porções da faixa litorânea a estimativa da ocorrência de STD aponta para uma salinização das águas subterrâneas. Este fato pode estar relacionado a dois processos: a presença de rochas cristalinas sob os sedimentos inconsolidados que recobrem esta área, e a intrusão de água salina devido ao bombeamento excessivo, embora este último necessite de uma investigação mais aprofundada.

CONCLUSÕES

A incapacidade do sistema de abastecimento público, em prover água em quantidade e qualidade compatível com as demandas sociais, tem levado várias regiões a buscar nas águas subterrâneas as soluções para a escassez hídrica. No entanto, a presença de altas concentrações de STD pode limitar seu uso para abastecimento doméstico e irrigação.

Na região norte do Piauí a utilização de água subterrânea tem sido largamente utilizada para abastecimento doméstico, lazer e irrigação, embora se reconheça que em diversos locais a água encontra-se com elevada concentração de sais. Os resultados desta pesquisa apontam que a salinidade das águas subterrâneas apresenta correlação com as características geológicas e que nas regiões litorâneas, o aumento da salinidade pode estar associado a intrusão salina devido a exploração excessiva do manancial subterrâneo.

A utilização de técnicas de estimação espacial utilizadas neste estudo, mostraram-se de grande importância para identificar as áreas que apresentam uma elevada concentração de STD, podendo auxiliar no processo de regulamentação da abertura de novos poços.

Nas áreas que apresentam embasamento cristalino, recomenda-se a adoção de um sistema misto de abastecimento que contemple, além do uso de águas superficiais, a captação de água da chuva. Na região litorânea, recomenda-se o monitoramento contínuo de qualidade das águas subterrâneas, e maior fiscalização para impedir a abertura indiscriminada de poços na região.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, R. B.; GOMES, J. R. C (Org.). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí**: diagnóstico do município de Luís Correia. Fortaleza: CPRM, 2004. 24 p. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/piaui/relatorios/118.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2015.

BEZERRA, F. H. R.; MELLO, C. L.; SUGUIO, K. A Formação Barreiras: recentes avanços e antigas questões. **Geologia USP. Série Científica**, Brasil, v. 6, n. 2, p. 3-6, 2006. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/guspssc/article/view/27418>>. Acesso em: 27 out. 2015.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 7 abr. 2008. Seção 1, p. 64-68.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 4 de jan. 2012. Seção 1, p. 43-45.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: Folha SA-24. Brasília, 2004.

GONÇALVES, J. H. (Coord.). **Mapa geológico do Piauí**. 2. versão. Teresina: CPRM-DIGEOP, 2006. Disponível em: <<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 10 jun. 15.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. 2. ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000, 391 p.

FEREIRA, I. O.; SANTOS, G. R.; RODRIGUES, D. D. Estudo sobre a atualização adequada da krigagem na representação computacional de superfícies batimétricas. **Revista Brasileira de Cartografia**. n. 65/5. p. 831-842. 2013. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/download/710/618>>. Acesso em: 27 out. 2015.

CENTRO DE PESQUISAS ECONÔMICAS E SOCIAIS DO PIAUÍ. **Macrozoneamento costeiro do estado do Piauí**: relatório geoambiental e socioeconômico. Teresina, 1996. 221 p.

JAKOB, A. A. E. A krigagem como método de análise de dados demográficos. In: Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 13., Ouro Preto, 2002. **Anais...** Ouro Preto: ABEP, 2002. p. 1-21. Disponível em: <<http://goo.gl/ssK10c>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. In: Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 15., Caxambu-MG. **Anais...** Caxambu-MG: ABEP, 2006. p. 1-22. Disponível em: <<http://goo.gl/js1m0E>>. Acesso em: 12 jun. 2015.

LIMA, E. A. et al. Mapa de variação da qualidade das águas subterrâneas da região Nordeste do Brasil para uso na irrigação. Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, 1., São Paulo, 2009. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2009. p. 1-13. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/21991/14353>>. Acesso em: 27 out. 2015.

NOBRE, J. G. A. et al. SIG como ferramenta de planejamento de uso de águas subterrâneas no município de Santa Rosa do Piauí-PI. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., Natal, 2009. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 25-30. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/660538/1/SBSR.Valdemicio.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2015.

SANTOS, G. R. et al. krigagem simples versus krigagem universal: qual o preditor mais preciso? **Revista Energia na Agricultura**. v. 6. n. 2. p. 49-55, 2011.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística**: conceitos e aplicações. São Paulo: Oficina de Texto, 2013. 215 p.