

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **ANÁLISE ESPACIAL DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS – STD EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO GEOGRÁFICA IMEDIATA DE CORRENTE, ESTADO DO PIAUÍ**

*Núbia Araújo Sena<sup>1</sup> & Reurysson Chagas de Sousa Morais<sup>2</sup>*

**RESUMO** – As águas subterrâneas são formadas pelo excedente das águas de chuvas que percorrem camadas abaixo da superfície do solo e preenchem os espaços vazios entre as rochas. O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise espacial da concentração de sólidos totais dissolvidos nas águas subterrâneas da Região Geográfica Imediata de Corrente, no estado do Piauí. Com uso de método geostatístico. Utilizou-se como metodologia aquisição de dados vetoriais dos poços na base de dados da CPRM, análise estatística descritiva e interpolação dos dados através do método de análise geostatístico da Krigagem, através do campo Explore Data da ferramenta de extensão Geostatistical Analyst do software ArcGis, versão 10.5. Os resultados demonstraram que as áreas com maiores concentrações de poços são as áreas que possuem, estimativamente, menores concentrações de sólidos totais dissolvidos. Com a interpolação dos dados, inferiu-se que, a predição do erro é maior para áreas que possuem poucos ou nenhum poço. Conclui-se que, uso das ferramentas que dispõe em um ambiente SIG é de fundamental importância na espacialização de dados, e aliado a métodos de estudo de estimativas através da Geoestatística se torna uma ferramenta muito útil no estudo caso em uma dada área.

**ABSTRACT** – Groundwater is formed by surplus rainwater that flows through layers below the soil surface and fills the voids between the rocks. The present work aims to perform a spatial analysis of the total dissolved solids concentration in the groundwater of the Immediate Geographical Region of Current, in the state of Piauí. With use of geostatistical method. The methodology used was the acquisition of vector data from the wells in the CPRM database, descriptive statistical analysis and data interpolation through the geostatistical analysis method of Krigagem, using the Explore Data field of the Geostatistical Analyst extension tool of the ArcGis software, version 10.5. The results showed that the areas with the highest concentrations of wells are the areas that have, respectively, smaller concentrations of total solids dissolved. With the interpolation of the data, it was inferred that, the prediction of the error is greater for areas that have few or no wells. It is concluded that using the tools available in a GIS environment is of fundamental importance in data spatialization, and in addition to methods of studying estimates through Geostatistics, it becomes a very useful tool in the case study in a given area.

**Palavras-Chave** – Geoestatística. SIG. Sólidos Totais Dissolvidos.

<sup>1</sup>) Graduanda do Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento do IFPI, campus Teresina Central, (86) 99866-4847, nubia.sena@live.com

<sup>2</sup>) Professor do Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento do IFPI, campus Teresina Central, (86) 99819-2052, reurysson@ifpi.edu.br

## INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas são formadas pelo excedente das águas de chuvas que percorrem camadas abaixo da superfície do solo e preenchem os espaços vazios entre as rochas. Essas formações geológicas permeáveis são chamadas de aquíferos e são classificadas em três tipos: fraturado, poroso e cárstico. Dessa forma, os aquíferos são uma reserva de água embaixo do solo, abastecida pela chuva, e funciona como uma espécie de caixa d'água que alimenta os rios (ANA, *online*).

O Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS desenvolvido pela CPRM é composto por uma base de dados de poços permanentemente atualizada, e de módulos capazes de realizar consulta, pesquisa, extração e geração relatórios. O estado do Piauí possui até o momento um total de 29.823 poços cadastrados (CPRM, *online*).

O que define as águas subterrâneas em doce, salobra e salgada é o nível de Sólidos Totais Dissolvidos – STD, que é o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Representa a concentração de todo o material dissolvido na água, seja ou não volátil (FEITOSA *et al*, 2008).

A Krigagem é um método de análise geostatístico, que permite analisar espacialmente através de estimativas uma distribuição de dados. Faz-se necessário analisar os dados de STD de águas subterrâneas através de estimativas, pois permite uma visão espacial da concentração de STD e dos poços em geral, além de servir como subsídio para a perfuração de novos poços.

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar uma análise espacial da concentração de sólidos totais dissolvidos nas águas subterrâneas da Região Geográfica Imediata de Corrente, no estado do Piauí. Dentre os objetivos específicos, tem-se: adquirir dados vetoriais dos poços no site da CPRM; fazer análise estatística descritiva dos dados e fazer a interpolação dos valores de STD registrados na região estudada.

## LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a Região Geográfica Imediata - RGI de Corrente, localizada na região sul do estado do Piauí e constituída por 14 municípios a citar: Santa Filomena, Gilbués, Barreiras do Piauí, Monte Alegre do Piauí, Riacho Frio, São Gonçalo do Gurgueia, Parnaguá, Corrente, Curimatá, Morro Cabeça do Tempo, Avelino Lopes, Sebastião Barros, Cristalândia do Piauí e Júlio Borges, conforme mostra a Figura 1.

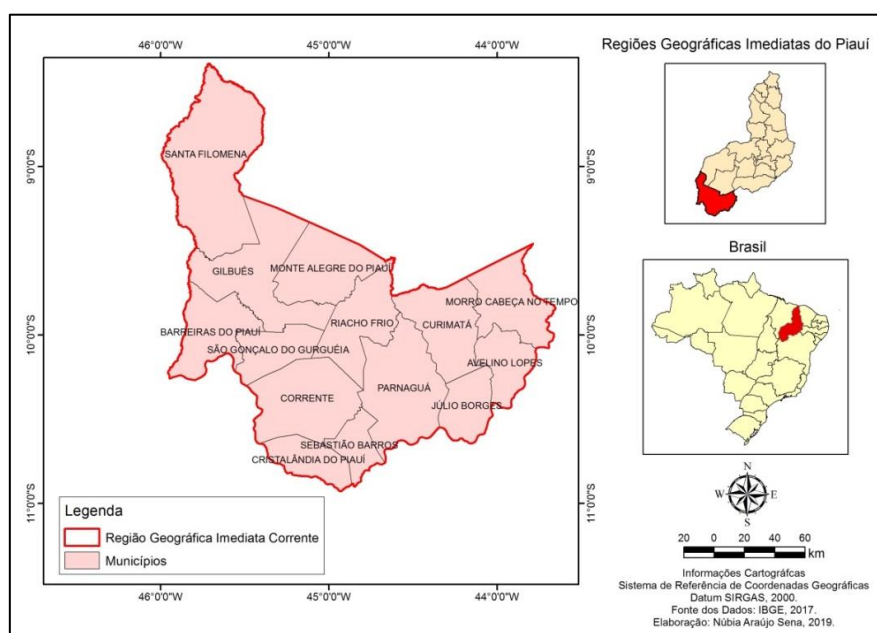


Figura 1 – Municípios que compõem a Região Geográfica Imediata de Corrente.

As Regiões Geográficas Imediatas têm na rede urbana o seu principal elemento de referência. Essas regiões são estruturadas a partir de centros urbanos próximos para a satisfação das necessidades imediatas das populações, tais como: compras de bens de consumo duráveis e não duráveis; busca de trabalho; procura por serviços de saúde e educação; e prestação de serviços públicos, como postos de atendimento do Instituto Nacional do Seguro Social - INSS, do Ministério do Trabalho e de serviços judiciários, entre outros (IBGE, *Online*).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados vetoriais utilizado no presente trabalho foram obtidos do site do Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Após a aquisição dos dados, que possuíam uma abrangência do estado do Piauí todo, foi feito o recorte dos poços da área da Região Geográfica Imediata de Corrente, que resultou em um total de 308 poços.

Feito o recorte dos poços apenas da área de interesse, o segundo procedimento metodológico foi a realização das análises estatísticas descritivas através do campo *Explore Data* da ferramenta de extensão *Geostatistical Analyst* do software ArcGis, versão 10.5.

O terceiro procedimento metodológico foi a interpolação dos dados de Sólidos Totais Dissolvidos – STD, utilizando as informações das análises estáticas, como a verificação da continuidade espacial dos dados, a anisotropia e a tendência dos dados, que foi realizada com uso da ferramenta de extensão *Geostatistical Analyst* do ArcGis, versão 10.5.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análise estatística descritiva

A análise estatística descritiva foi a primeira etapa de execução do trabalho e é de fundamental importância para que seja possível efetuar a interpolação dos dados, pois é necessário saber de certas informações dos dados estudados pois são requisitos do processo de interpolação.

A primeira análise realizada foi o histograma (Figura 2), utilizando o campo *Explore Data* da ferramenta *Geostatistical Analyst* do ArcGis. O histograma foi feito utilizando o método de incluir todos os pontos de amostra (*include all*).

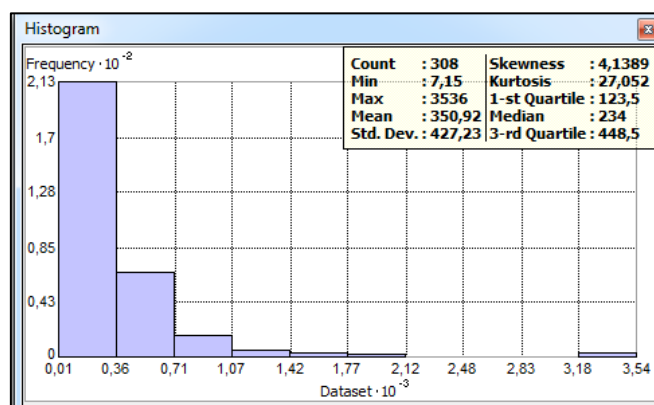


Figura 2 – Histograma dos dados.

Analisando a Figura 2, vê-se que os dados possuem assimetria positiva, pois a cauda está para a direita. Porém, quando aparece o resultado de assimétrico positivo, é necessário fazer a transformação logarítmica. Feito a transformação, obteve-se o seguinte histograma, conforme mostra a Figura 3.

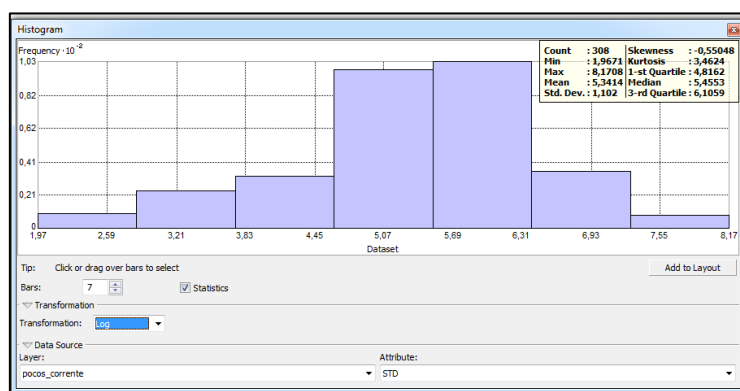


Figura 3 – Histograma dos dados com transformação logarítmica.

Analisando a Figura 3, vê-se que curva do histograma é simétrica, ou seja, não possuem assimetria na distribuição dos dados de Sólidos Totais Dissolvidos, existe uma aproximação dos valores em torno do ponto central. Para ter certeza que os dados possuem uma curva simétrica, também foi feito o gráfico do modelo QQPlot, conforme mostra a Figura 4. O gráfico QQPlot foi feito utilizando o método de incluir todos os pontos de amostra (*include all*).

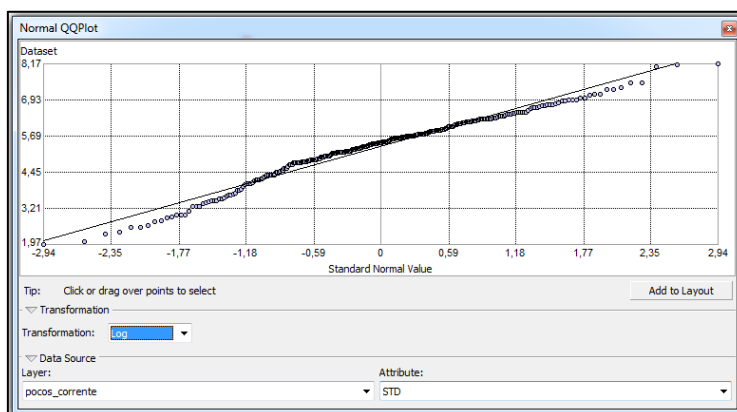


Figura 4 – Gráfico QQPlot dos dados.

Analisando a Figura 4, vê-se que os dados são simétricos, pois está próximo ou sobre a linha diagonal, confirmando o resultado do histograma da Figura 3.

A próxima análise foi a realização do mapa de Voronoi, que também está no campo *Explore Data* da ferramenta *Geostatistical Analyst* do ArcGis, conforme mostra a Figura 5. O mapa de Voronoi foi feito utilizando o método de incluir a média dos pontos da amostra (*use mean*) pois a opção de incluir todos os pontos não ficou habilitada para seleção.

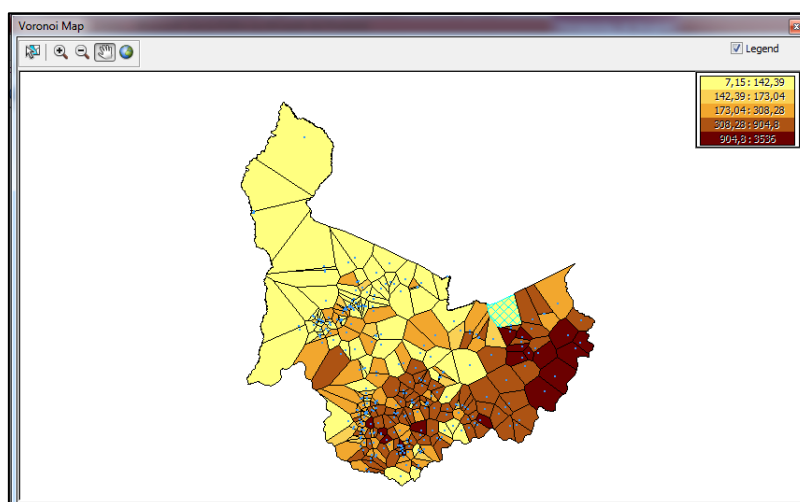


Figura 5 – Mapa de Voronoi dos dados.

Analisando o mapa de Voronoi exposto na Figura 5, verifica-se que os dados estão dispersos aleatoriamente. O diagrama de Voronoi tem como funcionalidade básica a distribuição geométrica da área considerando a posição dos pontos (MOURA, 2009).

A próxima análise realizada foi a tendência, utilizando a opção *Trend Analysis* do campo *Explore Data* da ferramenta *Geostatistical Analyst* do ArcGis, conforme mostra a Figura 6. Os gráficos foram feitos utilizando o método de incluir todos os pontos de amostra (*include all*).

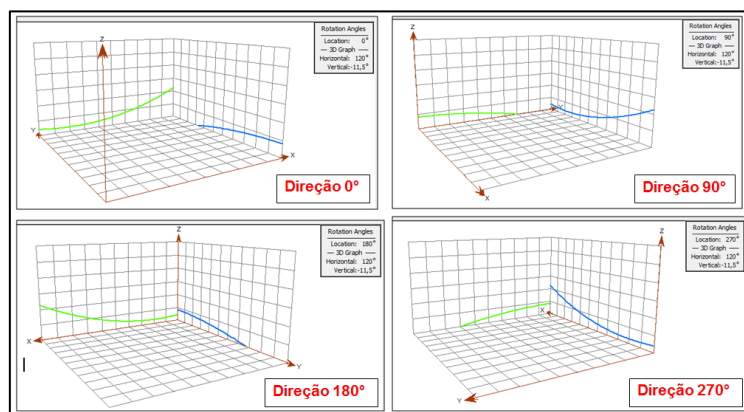


Figura 6 – Gráficos de tendência dos dados, em todas as principais direções.

Ao fazer a análise de tendência, mostrada na Figura 6, vê-se que os dados possuem uma tendência considerável, as linhas (verde e azul) mudam significativamente dependendo da direção escolhida, sendo assim, classificadas de segunda ordem. Se caso as linhas não mudasse independente da direção, os dados seriam sem tendência, ou seja, seriam constantes.

A próxima análise realizada foi os semivariogramas em todas as direções, para poder visualizar a autocorrelação dos pares de pontos, conforme vê-se na Figura 7. Os gráficos foram feitos utilizando o método de incluir todos os pontos de amostra (*include all*).

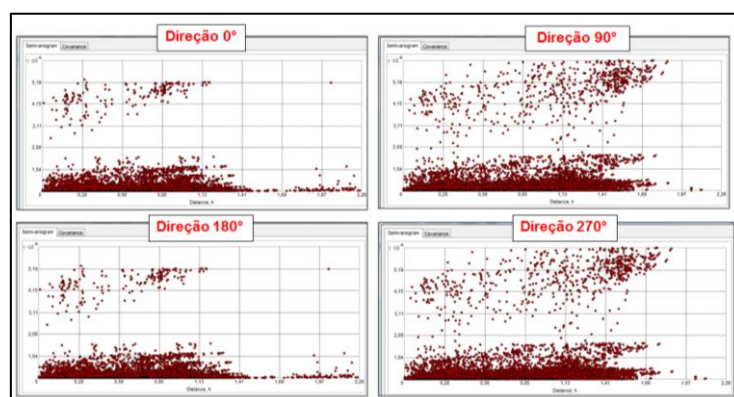


Figura 7 – Semivariograma dos dados para todas as direções.

Verificando a Figura 7, vê-se que há mudança dos pontos quando muda a direção. Para as direções norte e sul ( $0^\circ$  e  $180^\circ$ ) os pontos apresentam o mesmo comportamento e para as direções leste e oeste ( $90^\circ$  e  $270^\circ$ ), também. Dessa forma, os dados são caracterizados como dados anisotrópicos. Foi feito também os gráficos de covariância, conforme mostra a Figura 8.

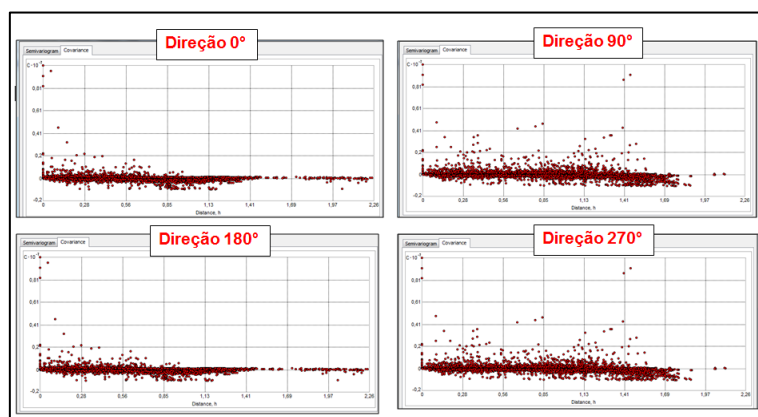


Figura 8 – Covariância dos dados para todas as direções.

Ao analisar a Figura 8, tem-se o mesmo resultado da Figura 7, que é a mudança dos pontos quando muda a direção, ou seja, anisotrópicos. Se caso os dados fossem isotrópicos, a covariância seria sempre muito alta em qualquer direção.

#### 4.1 Interpolação dos dados

Feita toda a análise estatística descritiva dos dados, é necessário fazer a interpolação dos dados. O método geoestatístico utilizado foi o da Krigagem utilizando o campo *Geostatistical Wizard* da ferramenta *Geostatistical Analyst* do ArcGis. A interpolação foi feita utilizando o método de incluir todos os pontos de amostra (*include all*).

Na primeira etapa da interpolação, escolhe-se o método, depois seleciona o shapefile dos dados e em seguida, escolhe-se o campo (atributo) para análise, que no caso, é o campo STD.

Na segunda etapa do procedimento de interpolação, escolhe-se o tipo de Krigagem que deseja-se realizar a interpolação. No caso, foi escolhido o método de krigagem universal com predição. Em seguida, preenche-se o campo afirmando ou não se os dados tem transformação logarítmica, que no caso, conforme já exposto anteriormente, foi necessário fazer a transformação, e também pergunta-se a tendência dos dados, que já vimos que é de segunda ordem.

Na terceira etapa, mostra-se para escolher a função Kernel para a modelagem do semivariograma. Foi escolhida a função *Exponential* para modelagem do semivariograma e como modelo teórico, foi escolhido o *Exponential* pois foi o modelo que mostrou o menor erro possível, que foi 1,2 aproximadamente pois é recomendável escolher um modelo que apresente o menor erro possível.

O erro ideal é 0, mas só é possível obter esse valor quando os dados estiverem regularmente distribuídos e com muita densidade, o que não é o caso dos dados aqui estudados. Todas as outras funções Kernel e modelos teóricos foram testados e mostraram valor de erro maior que 1,2.

Feito a escolha da função Kernel e modelo teórico, tem-se o resultado da estimativa de sólidos dissolvidos totais, conforme mostra a Figura 9 e logo em seguida, na Figura 10, tem-se o mapa de predição de erro das estimativas de SDT.

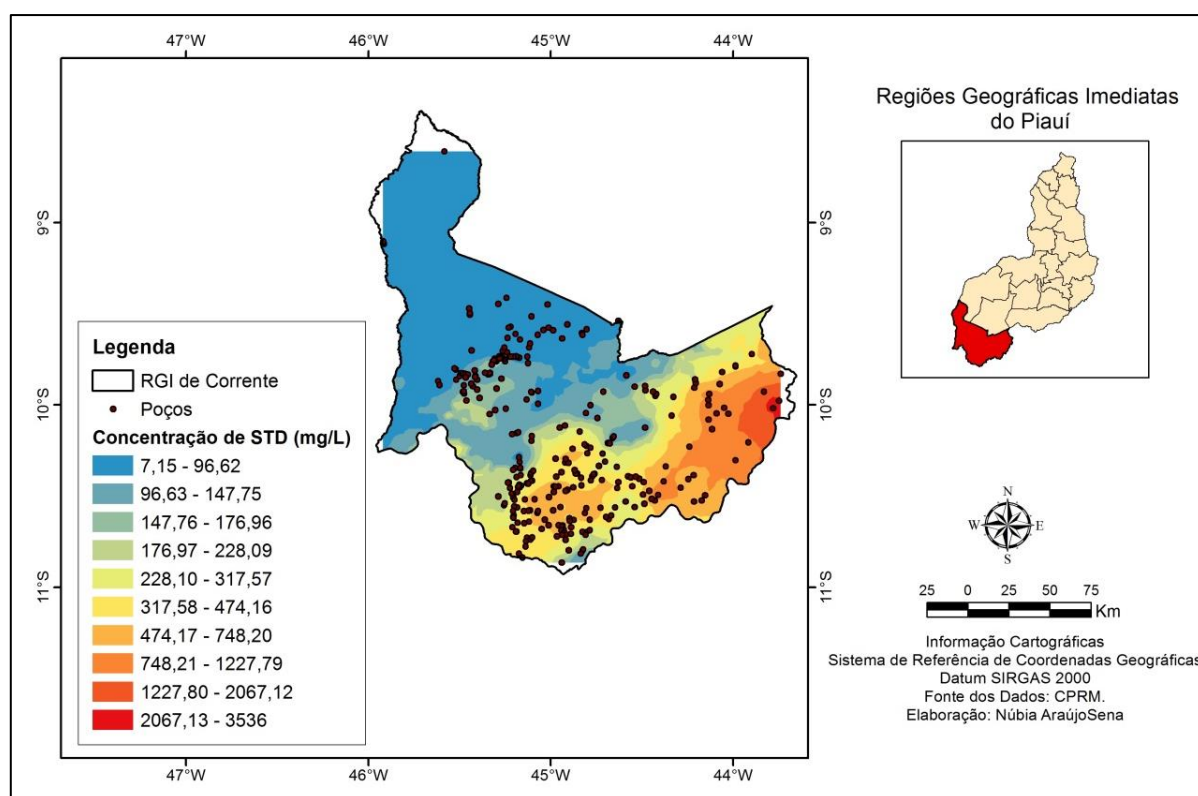


Figura 9 – Mapa de estimativa de concentração de STD na Região Geográfica Imediata de Corrente.



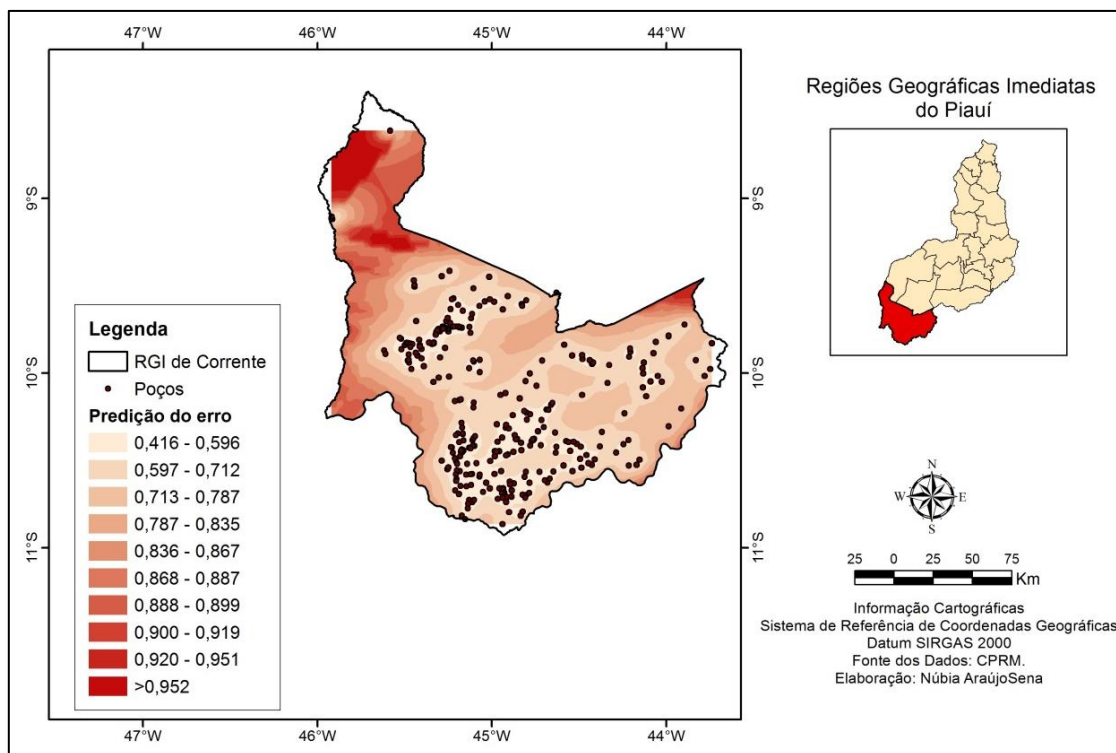


Figura 10 – Mapa de predição de erro da concentração de STD na Região Geográfica Imediata de Corrente.

Analisando a Figura 9 é possível constatar que as áreas que possuem maior quantidade de poços são as áreas que possuem, estimativamente, menores concentrações de sólidos totais dissolvidos.

Quanto maior for a quantidade de SDT, maior será seu nível de salinidade. Conforme explicam Aguiar e Gomes (2004) para a classificação das águas dos poços cadastrados nos municípios, levaram em consideração os seguintes intervalos de STD: < 500 mg/L para água doce; 500 a 1.500 mg/L para água salobra e > 1.500 mg/L para água salgada.

Dessa forma, vê-se que as áreas em tonalidades de azul e amarela são poços que possuem água doce e nas áreas amarelo escuro e vermelho são áreas que possuem uma menor quantidade de poços e estimativas de poços com água salobra.

Ao verificar o mapa da Figura 10, nota-se que a predição do erro é maior para áreas que possuem poucos poços e nenhum poço. A predição do erro mostrou-se menor para áreas onde possuem maiores quantidades de poços, a exemplo da região noroeste na referida figura.

## CONCLUSÃO

A confecção do presente trabalho permitiu ter um melhor entendimento da utilização de métodos geoestatísticos para diagnosticar e analisar determinados problemas que demandam o uso de SIG.

Portanto, o uso das ferramentas que dispõe em um ambiente SIG é de fundamental importância na espacialização de dados, e aliado a métodos de estudo de estimativas através da Geoestatística se torna uma ferramenta muito útil no estudo caso em uma dada área.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, R. B.; GOMES, J. R. C (2004). *Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: diagnóstico do município de Luís Correia*. Fortaleza: CPRM, 24 p. Disponível em:  
[http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/16060/1/Rel\\_LuisCorreia.pdf](http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/16060/1/Rel_LuisCorreia.pdf). Acesso em: 17 fev. 2019.

ANA. *Água Subterrânea*. Online. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua/agua-subterranea>. Acesso em: 17. fev. 2019.

CPRM. *Sistema de Informações de Águas Subterrâneas*. Online. Disponível em:  
<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/apresentacao.php>. Acesso em: 17. fev. 2019.

FEITOSA, F. A. C; MANOEL FILHO, J; FEITOSA, E. C; DEMETRIO, J. G. A (2008). *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 3ª ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 812p. Disponível em: [http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/14818/3/livro\\_hidrogeologia\\_conceitos.pdf](http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/14818/3/livro_hidrogeologia_conceitos.pdf). Acesso em: 17. fev. 2019.

IBGE. *Divisões Regionais do Brasil*. Online. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/organizacao-do-territorio/divisao-regional/15778-divisoes-regionais-do-brasil.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 10. mar. 2019.

MOURA, A. C. M (2009). “*Aplicação do modelo de polígonos de Voronoi em estudos de áreas de influência de escolas públicas: estudo de caso em Ouro Preto – MG.*” *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*. v.3, n. 2. Disponível em:  
<https://www.revistaaber.org.br/rberu/article/download/55/43>. Acesso em: 16. fev. 2019.