

# ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DA VARIABILIDADE ESPACIAL DO PH DO SOLO NO MUNICÍPIO DE SOROCABA-SP

Renan Angrizani de Oliveira<sup>1</sup>, Jéssica Prado Afonso<sup>2</sup>, Vanessa Cezar Simonetti<sup>3</sup>, Jomil Costa Abreu Sales<sup>4</sup>, Roberto Wagner Lourenço<sup>5</sup>, André Henrique Rosa<sup>6</sup>, Antonio Cesar Germano Martins<sup>7</sup>, Darllan Collins da Cunha e Silva<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, renan\_angrizani@hotmail.com;

<sup>2</sup> Universidade de Sorocaba (Uniso), jsca.prado@gmail.com; <sup>3</sup> Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, va\_simonetti@hotmail.com; <sup>4</sup> Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, jomilc@gmail.com; <sup>5</sup> Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, robertow@sorocaba.unesp.br; <sup>6</sup> Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, ahrosa@sorocaba.unesp.br; <sup>7</sup> Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, amartins@sorocaba.unesp.br; <sup>8</sup> Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus Experimental de Registro, darllan.collins@unesp.br.

## RESUMO

O solo é um recurso natural de grande importância para a vida, podendo sofrer influência de diversos fatores, podendo ser estudados por técnicas que auxiliam na manutenção de seu uso. Neste estudo realizou-se a análise do pH do solo de Sorocaba em diferentes pontos amostrais com auxílio de um pHmetro, os dados coletados foram georreferenciados para análise da variabilidade espacial e verificação de qual dos métodos de interpolação IQD e krigagem se ajustam melhor a distribuição espacial do pH. A distribuição dos valores de pH para o município, predominaram entre 6,0 e 6,5; totalizando 75,6% da área de estudo para o método da krigagem e 75,9% para o IQD. Para a comparação entre os métodos, o erro quadrático médio apresentou valores de 0,270926 para a krigagem e 0,272901 para o IQD. Portanto, o modelo teórico que melhor explica a variabilidade do pH do solo de Sorocaba foi a krigagem.

**Palavras-chave** — solo, pH, interpoladores geoestatísticos, SIG, variabilidade espacial.

## ABSTRACT

*Soil is a natural resource of great importance for life, and can be influenced by several factors, and can be studied by techniques that help to maintain its use. In this study the pH of the Sorocaba soil was analyzed in different sampling points with the aid of a pH meter, the data collected were georeferenced for analysis of the spatial variability and verification with IDW and kriging interpolation, to verify which method have better adjust and justify the spatial distribution of the pH.. The distribution of pH values for the municipality predominated between 6.0 and 6.5; totaling 75.6% of the study area for the kriging method and 75.9% for the IDW. For the comparison between the methods, the mean square error presented values of 0.270926 for kriging*

*and 0.272901 for the IDW. Therefore, the theoretical model that best explains the soil pH variability of Sorocaba was kriging.*

**Key words** — soil, pH, geostatistical interpolation, GIS, spatial variability.

## 1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural de grande importância para a vida no planeta, pois desempenha a função de manutenção do desenvolvimento das plantas, entretanto, suas características físico-químicas podem sofrer influência da vegetação, clima e dos organismos vivos presentes no solo, podendo ser estudados por técnicas que auxiliem na manutenção do uso do solo [1,2].

Um dos atributos do solo de grande importância para o desenvolvimento das plantas é o potencial Hidrogeniônico (pH), pois os baixos valores de pH, podem aumentar a toxicidade de alumínio e deficiência do fósforo elemento necessário para o crescimento das plantas; e a redução da atividade microbológica [1,3].

Por meio da utilização de técnicas de geoprocessamento, Sistema de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto (SR) nos estudos dos solos, é possível a obtenção de economia de recursos e a redução do uso de insumos [4,5].

Para análises em grandes áreas, os métodos de interpolação espacial dos dados obtidos possibilitam as estimativas dos valores não amostrados [6].

Desta forma, este estudo visa analisar a variabilidade espacial do Potencial Hidrogeniônico (pH) do solo no município de Sorocaba (SP), podendo auxiliar na proposição de medidas que ajudem na conservação do solo do município através de modelos teóricos que melhor expliquem a variabilidade do pH.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta de dados do Potencial Hidrogeniônico (pH) do solo no município de Sorocaba (SP), foi realizada com o auxílio do pHmetro para solos modelo AMT-300. Os pontos amostrais foram distribuídos no centro da malha gerada para o município, utilizando o software ArcGIS 10.4. Totalizando em 113 pontos distribuídos uniformemente, com mais 50 pontos sorteados aleatoriamente para verificação e validação do modelo geoestatístico adotado.

As coordenadas dos pontos amostrais foram obtidas com auxílio do GPS Garmin eTrex 30, usando o sistema de coordenadas WGS 1984 e com auxílio do software Google Earth Pro, os pontos foram georreferenciados e delimitados no município de Sorocaba.

No entanto, alguns dos pontos de coleta tiveram que ser deslocados do centro da malha, pois estavam localizados em propriedades privadas ou locais inacessíveis para a coleta.

Para a coleta dos dados de pH, foi utilizada uma pá para cavar o entorno do ponto localizado, para retirada o excesso de matéria orgânica que pudesse interferir na coleta do dado. Posteriormente, era fixado o pHmetro no solo até o eletrodo estar completamente coberto e despejado água destilada, pois esta não altera o pH do solo, deixando-o úmido para facilitar a medição.

Os valores de pH e a coordenada geográfica da coleta, foram inseridos em uma tabela do software Microsoft Excel para ser exportado para o software ArcGIS 10.4.

Foram utilizados os métodos de interpolação, do Inverso do Quadrado da Distância (IQD) e a krigagem, pois são os procedimentos estatísticos mais exatos [7]. O IQD é um método simplificado, em que os valores são estimados a partir da interpolação das amostras mais próximas, pois parte do pressuposto de que os pontos mais próximos possuem maior semelhança comparado aos pontos mais distantes; desta forma, cada ponto tem influência local diminuída com a distância, como o próprio nome indica [8].

Na krigagem a informação dos valores obtidos permite o cálculo das distâncias entre as observações através do semivariograma (uma função da distância) relacionando a variância dos pontos obtidos com as distâncias entre eles [8].

Com auxílio do software ArcGIS 10.4, foram interpolados os dados utilizando os métodos de krigagem e IQD e posteriormente espacializados.

A análise dos valores estimados, foi realizado estatisticamente através da equação do Erro Quadrático Médio (EQM), do inglês RMS (*Root Mean Square*), sendo expresso pela Equação 1.

$$EQM = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{(E_i - O_i)^2}{n}} \quad (1)$$

Em que:

EQM é o erro quadrado médio;

E é o valor estimado pelo método de Interpolação;

O é o valor observado;

n é o número de observações.

Quanto menores os valores apresentados de EQM, menor a variabilidade indicada entre os valores estimados e os valores obtidos [9].

## 3. RESULTADOS

A distribuição dos valores de pH para o município pelo método do IQD foram predominantemente entre as faixas de pH 6 e 6,5; conforme demonstrado na Figura 1 e a média obtida da interpolação de 0,005458, com desvio padrão de 0,009954.

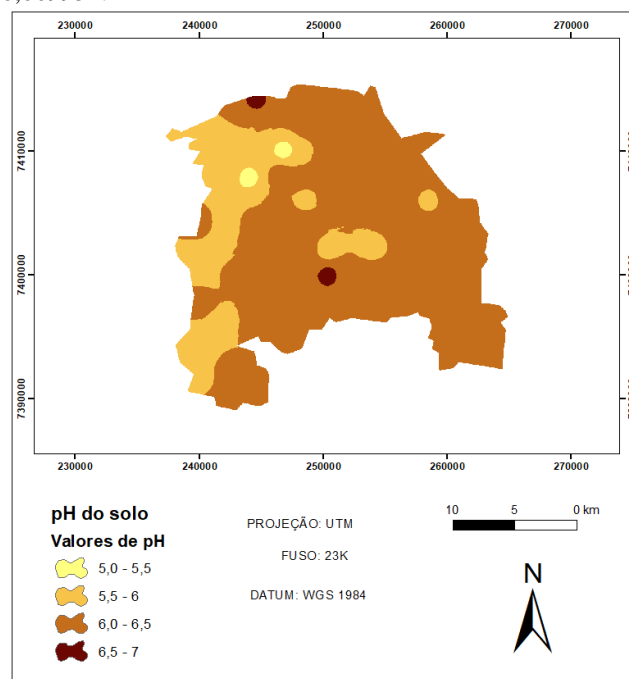


Figura 1. Mapa de interpolação pelo método IQD.

Portanto, a dispersão entre esses valores foi pequena, pois aproximadamente 98% das observações estão contidas no intervalo de valores de pH definido por  $\pm 1$ , com coeficiente de variação obtido pelo método do IQD de 1,823 para os valores de pH da área de estudo, expressa a relação entre o desvio padrão e a média.

Para o método da krigagem, a distribuição dos valores de pH para o município também foram predominantemente entre 6 e 6,5 conforme demonstrados na Figura 2.

A média obtida pelo método da krigagem foi de 0,005419 com desvio padrão de 0,009933, apresentando melhor resultado, visto que o valor do desvio padrão encontrado foi abaixo do obtido pelo método IQD. Seu coeficiente de variação foi de 1,832; apresentando um aumento insignificativo comparado ao resultado obtido pelo método do IQD. A somatória do erro quadrático médio foi

de 0,27026, também com uma diferença menor do valor comparado ao método IQD, indicando melhor resultado.

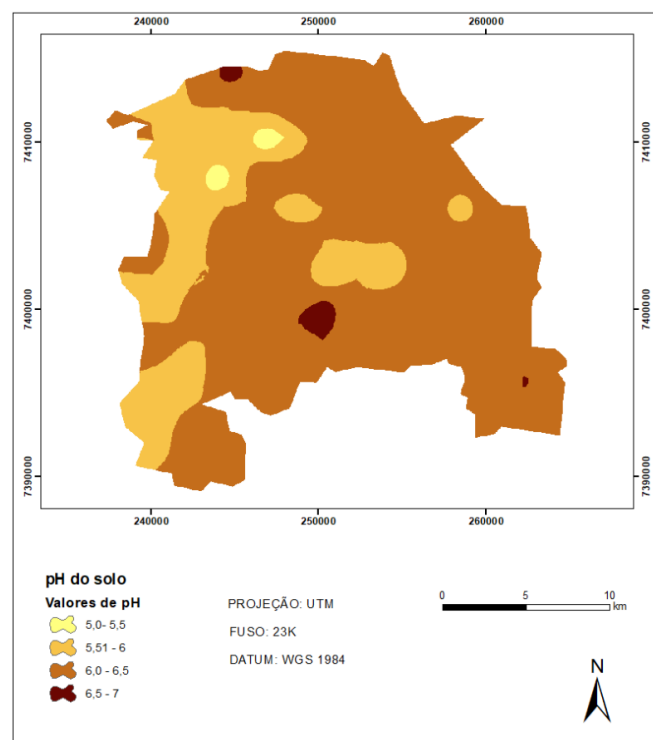


Figura 2. Mapa de interpolação pelo método krigagem.

Conforme retratado na Tabela 1, as áreas (km<sup>2</sup>) de cada intervalo de pH do município de Sorocaba, apresentaram uma maior predominância nos intervalos de 5,5 a 6,5 para ambos os métodos. No entanto, pelo método da krigagem obteve maior precisão na interpolação de dados, expresso pelo menor resultado obtido na somatória do erro quadrático médio.

Tabela 1. Áreas das seções de intervalo do pH

Intervalo do pH	Krigagem	
	Área (km <sup>2</sup> )	Área (km <sup>2</sup> )
5,0 -5,5	3,34 (0,74%)	3,36 (0,75%)
5,5 – 6,0	101,62 (22,6%)	101,35 (22,5%)
6,0 – 6,5	340,90 (75,9%)	339,49 (75,6%)
6,5 – 7,0	3,09 (0,69%)	4,74 (1,05%)

#### 4. DISCUSSÃO

Em estudo realizado para determinar a estimativa de parâmetros da equação de chuvas intensas, foi constatado que dos métodos de interpolação adotados, a krigagem

apresentou melhores valores comparado a inverso do quadrado da distância [7].

Os métodos do IQD e a krigagem são amplamente utilizados em comparações dos resultados de interpolação de dados de análises sociodemográficas e demográficas, em que a krigagem apresenta os melhores resultados, assim como neste estudo [10].

Entre os resultados expostos do Erro Quadrático Médio e a Média (EQM), para o método da krigagem, foi menor quando comparados aos valores obtidos para o método do IQD. Pois, quanto menor os valores obtidos de EQM e do desvio padrão da média, pode ser descrito como mais preciso o método [11].

#### 5. CONCLUSÕES

A distribuição dos valores de pH no município de Sorocaba, apresentaram maior abrangência no intervalo de valores entre 6,0 e 6,5; totalizando pelo método do IQD e krigagem sucessivamente 75,9% e 75,6% da área, seguido do intervalo de valores entre 5,5 e 6,0 com 22,6% e 22,5%.

Os valores de pH obtidos pelos métodos de krigagem e IQD, chegaram próximos aos valores obtidos in loco, conforme demonstrado pelos valores encontrados de somatória do erro quadrático médio, sendo 0,270926 para o método da krigagem e 0,272901 para o IQD.

Portanto, o modelo teórico que melhor explica a variabilidade do pH do solo de Sorocaba foi o da krigagem, apresentando a somatória do erro quadrático médio inferior ao obtido pelo método IQD. No entanto, tanto o método de krigagem e o inverso do quadrado da distância, foram considerados eficientes para inferir os valores não amostrados.

A obtenção e divulgação de dados dos valores de pH do solo por meio de técnicas de geoprocessamento, são de extrema importância, para confecção de banco de dados, que servem de suporte ao plano diretor municipal de Sorocaba para a organização espacial dos usos do solo urbano.

#### 6. REFERÊNCIAS

- [1] Lepsch, I.F. “19 lições de Pedologia”, Oficina de Textos, São Paulo, 456 (pp.), 2011.
- [2] Raij, V.B. “Fertilidade do solo e manejo de nutrientes”, International Plant Nutrition Institute, Piracicaba, 420 (pp.), 2011.
- [3] Thompson, L.M.; Troeh, F.R. “Solos e Fertilidade do Solo”, Andrei Editora, São Paulo, 718 (pp.) 2007.
- [4] Sales, J.C.A.; Silva, D.C.C.; Romagnano, L.F.T.; Bertagna, R.; Lourenço, R.W. “Avaliação do impacto ambiental causado pelas alterações espaço temporal do uso do solo e da cobertura vegetal utilizando o modelo das cadeias de markov”, *Ciência e Natura*, 38 (v.), 1 (n.), 115-124 (pp.), 2016.
- [5] Silva, D.C.C.; Albuquerque Filho, J.L.; Sales, J.C.A.; Lourenço, R.W. “Use of morphometric indicators as tools for

assessment watershed”, *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9 (v.), 627-642 (pp.), 2016.

[6] Bottega, E.L. et al. “Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro”, *Revista Ciência Agronômica*, 44 (v.), 1 (n.), 1-9 (pp.), 2012.

[7] Souza, G.S. et al. “Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na espacialização de atributos químicos de um argissolo”, *Scientia agraria*, 11 (v.), 1 (n.), 073-081 (pp.), 2010.

[8] Ding, Q.; Wang, Y.; Zhuang, D. “Comparison of the common spatial interpolation methods used to analyze potentially toxic elements surrounding mining regions”, *Journal of environmental management*, 212 (v.), 23-31 (pp.), 2018.

[9] XU, W. et al. “A comparison among spatial interpolation techniques for daily rainfall data in Sichuan Province, China” *International Journal of Climatology*, 35 (v.), 10 (n.), 2898-2907 (pp.), 2015.

[10] Righi, E.; Basso, L.A. “Aplicação e análise de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas”, *AMBIÊNCIA*, 12 (v.), 1 (n.), 101-117 (pp.), 2016.

[11] Costa, N.H.A.D.; Seraphin, J.C.; Zimmermann, F.J.P. “Novo método de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz de terras altas”, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37 (v.), 3 (n.), 243-249 (pp.), 2002.