

# USO DA COKRIGAGEM PARA INFERÊNCIA DO NÍVEL FREÁTICO: ESTUDO DE CASO DAS ÁREAS URBANIZADAS DE PRESIDENTE PRUDENTE – SP. Tiago Matsuo Samizava, João Osvaldo Rodrigues Nunes, Rodrigo Hiroshi Kaida, Nilton Nobuhiro Imai. – Geociências – Engenharia Ambiental – Departamento de Geografia – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Campus de Presidente Prudente

A aplicação de técnicas geoestatísticas, integrado a ferramentas computacionais GIS, tem conseguido explicar a distribuição espacial de fenômenos naturais. Tais fenômenos levam em consideração a continuidade no espaço e no tempo, apresentando dependência espacial em determinadas distâncias.

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi inferir o nível freático, da área urbana de Presidente Prudente, a partir de amostras pontuais irregulares por técnica geoestatística.

Os dados amostrais da profundidade do nível d'água, advindos de cisternas (poços rasos), podem ser verificados de acordo com a Figura 1.



Figura 1 – Mapa dos pontos de profundidade do nível d'água. Verifica-se uma maior concentração dos pontos na malha urbana, área central.

Os dados pontuais de profundidade do nível d'água em formato analógico foi convertido em modo digital, através de *scanner*. O mapa digital foi georreferenciado e os dados pontuais foram plotados, no software Spring.

Alguns testes foram realizados utilizando a krigagem ordinária isotrópica e anisotrópica, porém os resultados não foram satisfatórios. O problema constatado é que os pontos amostrais da profundidade do nível d'água encontram-se concentrados na área central, que corresponde a malha urbana da cidade.

Partindo desse contexto e a partir de pressupostos que o nível d'água tem alta correlação com dados de topografia em relação ao nível médio dos mares (LANDIM; STURARO; MONTEIRO, 2002) a cokrigagem apresentou-se como alternativa. Contudo, os dados pontuais além de estarem concentrados numa área específica, localizam-se em sua maioria nos topos das colinas suavizadas, portanto não poderia modelar a variação do relevo, ou seja, dos topos até os fundos de vales. A variação da profundidade do nível d'água pode ser melhor entendida com a Figura 2



Figura 2 – Variação da profundidade do nível d'água. Nas proximidades dos cursos d'águas ocorre o afloramento do freático, enquanto que em locais de topografia mais elevada o nível d'água é mais profundo. Organizado por Samizava (2006).

Dessa forma, para melhorar o modelamento desta variação, ao longo dos cursos d'águas foi considerado como zero o valor da cota do nível freático, denotando que nestes locais o freático aflora na superfície.

Desse modo, gerou-se uma superfície topográfica em modo matricial a partir da interpolação das cotas de uma rede TIN. Essa superfície foi subtraída dos pontos que continham valores de profundidade do nível d'água, para assim, obter cotas do nível d'água em relação ao nível médio dos mares. Em outras palavras, a profundidade do nível freático foi convertida para o mesmo referencial das cotas topográficas.

Para obtenção da variável secundária, a superfície topográfica gerada anteriormente foi reamostrada, diminuindo os números de células, uma vez que a matriz original possui resolução de 5 m, inviabilizando o processamento dos semivariogramas e de interpolação. Desse modo, a nova matriz reamostrada possui resolução de aproximadamente 200 m.

Assim, o primeiro passo para a aplicação da cokrigagem é o cálculo dos auto-variogramas experimentais das variáveis primárias e secundárias. Com base nesses valores é estabelecido um semivariograma teórico ajustado a esses valores. Dessa forma, os variogramas do nível d'água e das cotas topográficas podem ser verificadas de acordo com a Figura 3 e 4, respectivamente.

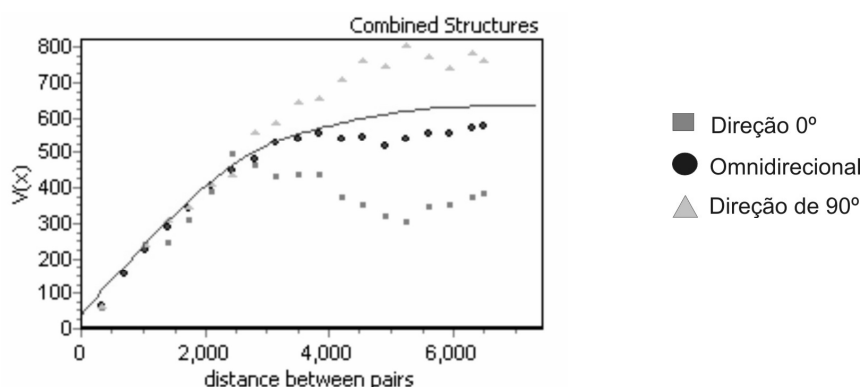


Figura 3 – Variograma do nível d'água.

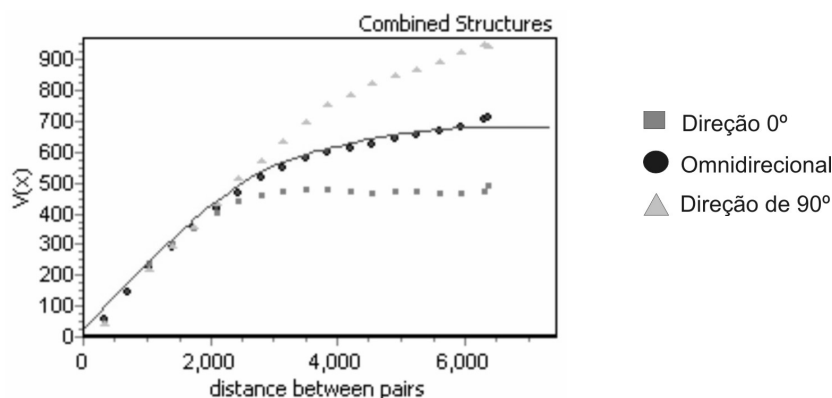


Figura 4 – Variograma da superfície topográfica

A partir daí fez-se o variograma cruzado experimental entre o nível d'água e a superfície topográfica e o respectivo modelo teórico ajustado, de acordo com a Figura 5.

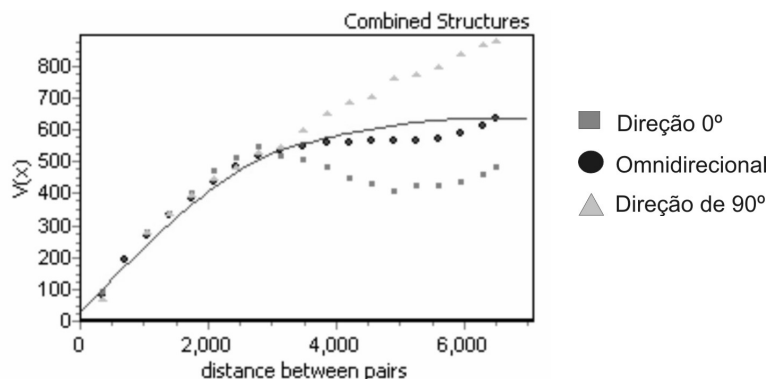


Figura 5 – Variograma cruzado: nível freático x superfície topográfica

Os auto-variogramas foram realizados na direção 90° e 0°, pois possuem maior e menor continuidade, respectivamente, utilizando tolerância angular de 15°. Também foi feito o variograma omnidirecional, ou seja, o variograma para todas as direções (isotrópico).

Convém mencionar que o tamanho de *lag* utilizado foi de 350 m, embora ao adotar valores menores o variograma era passível de ser modelado. Contudo, adotou-se este valor de 350 m, pois este é o tamanho mínimo de *lag* para conter os pontos de profundidade do nível d'água obtidos dos poços rasos.

Os variogramas da cota topográfica e nível d'água apresentam um comportamento, praticamente, isotrópico até certo alcance, e com uma variabilidade ligeiramente acentuada após este limiar para direções 90° e 0°. Pode-se inferir que a componente aleatória é muito baixa até este limiar, denotando alta correlação espacial em todas as direções.

Diante disso, e sabendo-se que para atender o modelo linear de correção devem-se utilizar as mesmas estruturas e valor de alcance, admite-se, a priori, um variograma com duas estruturas esféricas. A primeira estrutura teve o alcance estipulado em 3.400m, enquanto o segundo alcance foi de 6.400m. Esses valores de alcance foram estipulados uma vez que até 3.400 verifica-se um comportamento isotrópico nos três variogramas, enquanto que, até 6.400m, ainda verifica-se uma correlação espacial, embora o comportamento apresente certa anisotropia.

Dessa forma, tentou-se modelar o variograma buscando um modelo isotrópico esférico, coincidindo como uma média entre as direções de maior e menor continuidade. Assim, as funções variográficas isotrópicas foram as seguintes:

$40 + 291.5 Sph_{3400}(h) + 301.5 Sph_{6400}(h_1)$ , para a variável primária;

$23 + 317.5 Sph_{3400}(h) + 342.5 Sph_{6400}(h_1)$ , para a variável secundária;

$30 + 304 Sph_{3400}(h) + 303.5 Sph_{6400}(h_1)$ , para o semivariograma cruzado.

A partir dos modelos teóricos, verificou-se que atendia ao modelo linear de correção. Segundo Landim; Sturaro e Monteiro (2002) as equações da cokrigagem são formuladas na suposição que as variáveis primária e secundária apresentam covariâncias, com matriz positiva definitiva, para ser considerada uma matriz de covariâncias-cruzada válida.

Dessa forma, o modelo linear de correção fornece um método para ajustar os autovariogramas e variogramas cruzados entre duas variáveis ou mais, de tal maneira que a variância de qualquer combinação linear possível dessas variáveis seja sempre positiva. Tal combinação usa a mesmas estruturas dos auto-variogramas e dos variogramas cruzados, mantendo o mesmo valor para o alcance.

Verificado o modelo linear de correção, foi feita a interpolação por cokrigagem. Para tanto, utilizou-se um número mínimo de 4 e máximo de 16 pontos para a interpolação dos dados.

Após a interpolação, a superfície gerada contém a informação do nível d'água em relação ao nível médio dos mares. Para obter os valores da profundidade em relação ao terreno realizou-se uma operação de subtração dessa superfície pela superfície topográfica. Dessa forma, de acordo com a Figura 6, tem-se uma representação, em tons de azul, da superfície de profundidade do nível d'água.

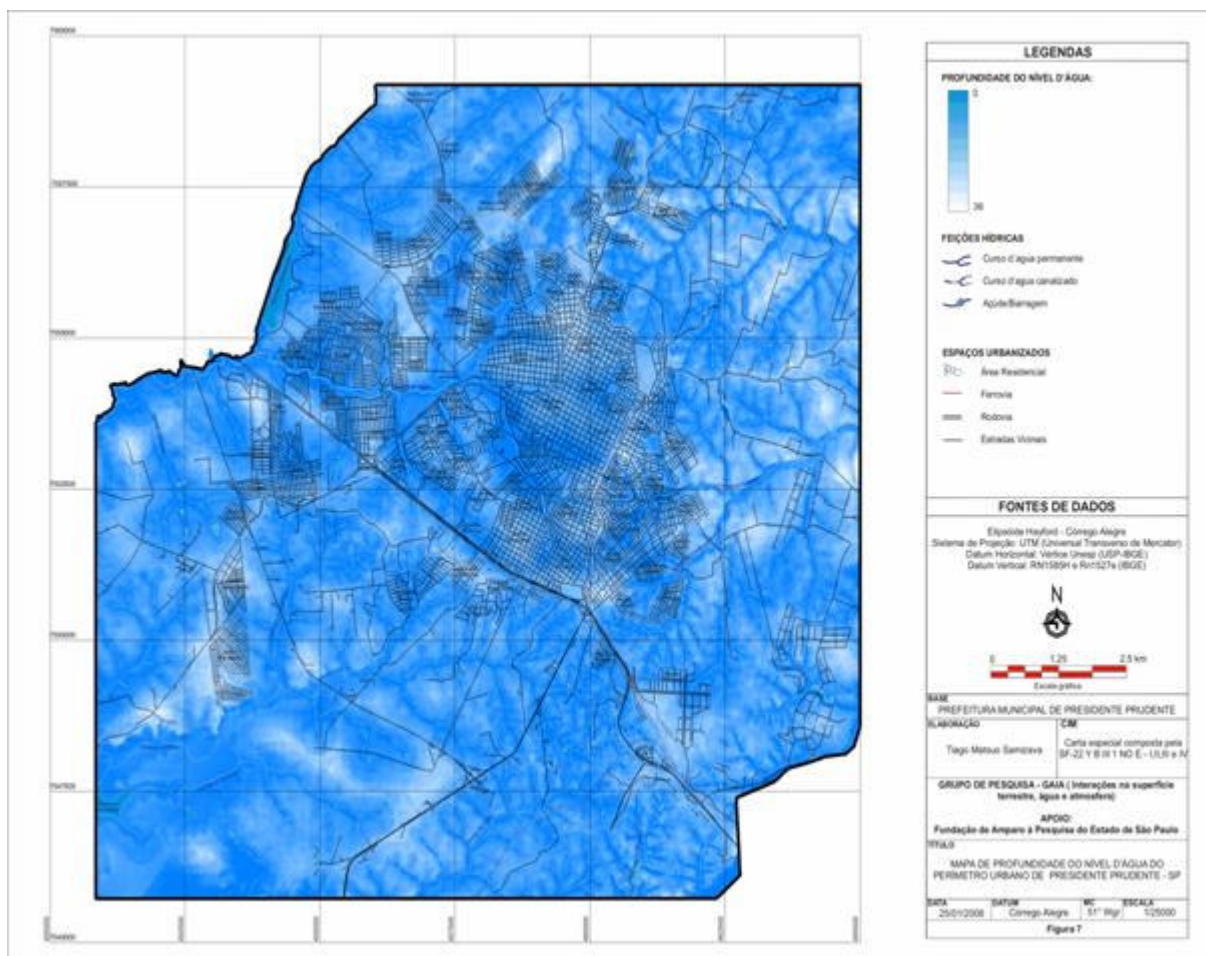


Figura 6. Mapa de profundidade do nível d'água do perímetro urbano de Presidente Prudente-SP.

A representação espacial da profundidade do nível freático mostrou-se bastante coerente com a tipologia do relevo, onde setores dos topos localizam as profundidades mais elevadas e nas proximidades dos cursos d'água denotam-se o afloramento do freático. Esse tipo de informação, embora seja uma estimativa, pode ser utilizada para fins preliminares de planejamento ambiental. Ainda, pode-se gerar um mapa de incerteza que mostra a variância da inferência para cada ponto, o que possibilita uma melhor amostragem e/ou indicação de estimativas com menores desvios.

### Referências Bibliográficas

LANDIM, P. M. B. STURARO, J. R.; MONTEIRO, R. C. **Exemplos de aplicação da cokrigagem**. Rio Claro: DGA, IGCE, UNESP/ Lab. Geomatemática, Texto Didático 09, 17p. 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 08 de out. de 2005

**Bolsa:** FAPESP