



CAPTAR
ciência e ambiente para todos

volume 3 • número 1 • p 60 - 65

A Camada de Ozono em São Paulo, Brasil: Uma Visão Geoestatística

Leonilde Lima¹

João Negreiros²•

É sabido que recolher dados de todos os locais espaciais para medir a magnitude ou concentração de um fenómeno atmosférico é um processo caro. A recolha de amostras estrategicamente localizados, juntamente com um processo de interpolação espacial, permite obter precisões de vastas áreas de um modo eficaz caso o fenómeno de estudo respeite a Primeira Lei da Geografia ou Lei de Tobler: “coisas próximas tendem a ter características mais semelhantes e correlacionadas que objectos espacialmente mais distantes”. Utilizando dados espaciais reais, o objectivo deste curto artigo é, educacionalmente, exemplificar a utilização do ArcGIS© Geostatistical Analyst na interpolação da concentração de ozono em São Paulo, Brasil. Neste estudo, contudo, é de realçar a problemática do sistema de amostragem devido a uma alta concentração das poucas amostras já existentes em relação à vasta área a estimar.

Palavras-chave

geoestatística
Geostatistical Analyst©
interpolação espacial
variografia
Kriging
amostragem

¹ Universidade de Cabo Verde, Campus de Palmarejo, Cidade da Praia, Santiago, Cabo Verde.

² Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação – Universidade Nova de Lisboa, Campus de Campolide, Lisboa, Portugal.

• c8057@isegi.unl.pt

ENQUADRAMENTO

Segundo Ross (2005), “a camada de ozono (O_3) encontra-se na estratosfera constituindo a única protecção da Terra para filtrar os raios ultravioletas do Sol, permitindo a existência de vida na Terra”. O ozono, pelo seu carácter altamente oxidante, é capaz de modificar o equilíbrio ambiental de ecossistemas e alterar a bioquímica das plantas. De acordo com Feliciano et al. (2010), por exemplo, “o ozono troposférico é um dos oxidantes fotoquímicos mais perigosos da troposfera. É um poluente que pode causar efeitos adversos quer ao nível da saúde humana, quer ao nível do ambiente, intervindo activamente na destruição das florestas, na redução da produção e perda de qualidade dos produtos agrícolas e na redução do tempo médio de vida de múltiplos materiais. O ozono é ainda um gás de efeito estufa com uma contribuição relevante para as alterações climáticas globais. Teoricamente, pode também afectar a produção agrícola de forma discreta, mas economicamente significativa.

O nível de poluição atmosférica é determinado pela quantificação das substâncias poluentes presentes no ar. No caso particular da Região Metropolitana de São Paulo, Brasil, este problema apresenta-se como um dos mais graves a nível ambiental. Em 2009, por exemplo, este estado brasileiro registava mais de 41 milhões de habitantes e 16 milhões veículos. Assim, o objectivo deste estudo equaciona a realização de uma estimação dos valores de ozono com base no registo de 15 estações da qualidade do ar (ver Figura 1) em 2008. A ferramenta de eleição para o actual estudo foi o ArcGIS[®], um sistema de informação geográfico (SIG) comercial da ESRI[®].

Como seria de esperar, a análise exploratória dos dados permitiu obter uma melhor descrição do fenómeno em causa. Assim, com recurso ao ArcGIS[®], verificou-se que a média de partículas de ozono em São Paulo foi de $117.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enquanto a sua mediana rondou os $144 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (distribuição assimétrica negativa e comprovada pelo coeficiente de Skewness de 0.87). O valor mínimo, máximo e desvio padrão foram $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $202 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e 70.9, respectivamente.

A etapa da variografia apresenta como objectivo avaliar os principais padrões espaciais do fenómeno físico e desenvolver um modelo matemático de correlação espacial que caracterize a região de estudo. Assim, “o variograma permite descrever quantitativamente a variação

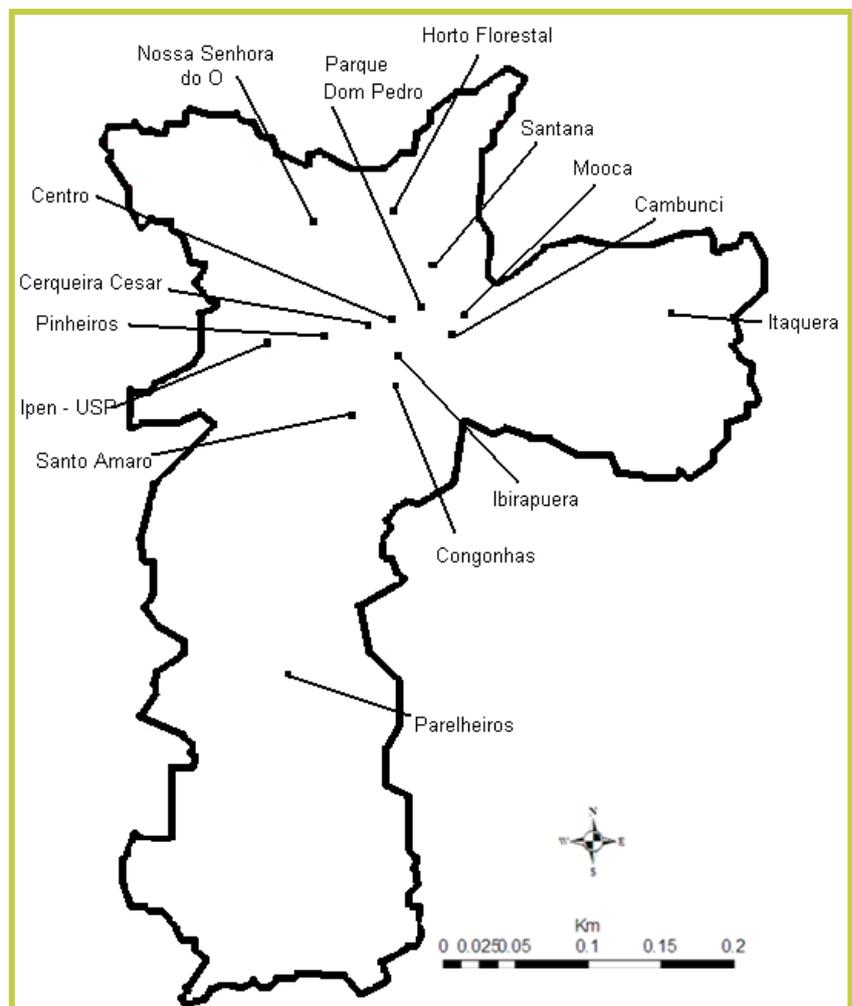


FIGURA 1: Localização das estações de rede automática (Cetesb, 2008)

no espaço de um fenômeno regionalizado” (Goovaerts, 1997). A sua natureza estrutural é definida a partir da comparação de valores tomados simultaneamente em dois pontos, segundo uma determinada direção. Matematicamente, o variograma $\lambda(h)$ é definido como sendo a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço, separados por uma distância h (ver Equação 1) onde $N(h)$ é número de pares para uma distância h e $z(u)$ representa o valor da amostra num determinado local ou *site*. Sendo esta função uma medida de variância, o seu comportamento rege-se por baixos valores para distâncias de h curtas, mas que vai aumentando à medida que os pontos se distanciam entre si.

$$\lambda(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{N(h)} [z(u) - z(u+h)]^2 \quad (1)$$

Ao utilizar-se esta fórmula nas principais direções de continuidade do fenómeno, é possível calcular as variações médias dos corpos ao longo de cada uma das direções. Assim, quando a variabilidade é sensivelmente igual em todas as direções, o modelo é designado isotrópico e depende somente do comprimento do vector h . Caso contrário, o modelo é considerado anisotrópico (Soares, 2000).

A análise da nuvem de covariância do variograma permite, portanto, examinar a correlação espacial entre os valores da amostra. Neste caso, o variograma escolhido apresentou os seguintes parâmetros: modelo Gaussiano, isotrópico, range de influência de 262.9 metros e um efeito de pepita (variabilidade de distância curtas ou próximo de zero) de 73.657 (ver Figura 2).

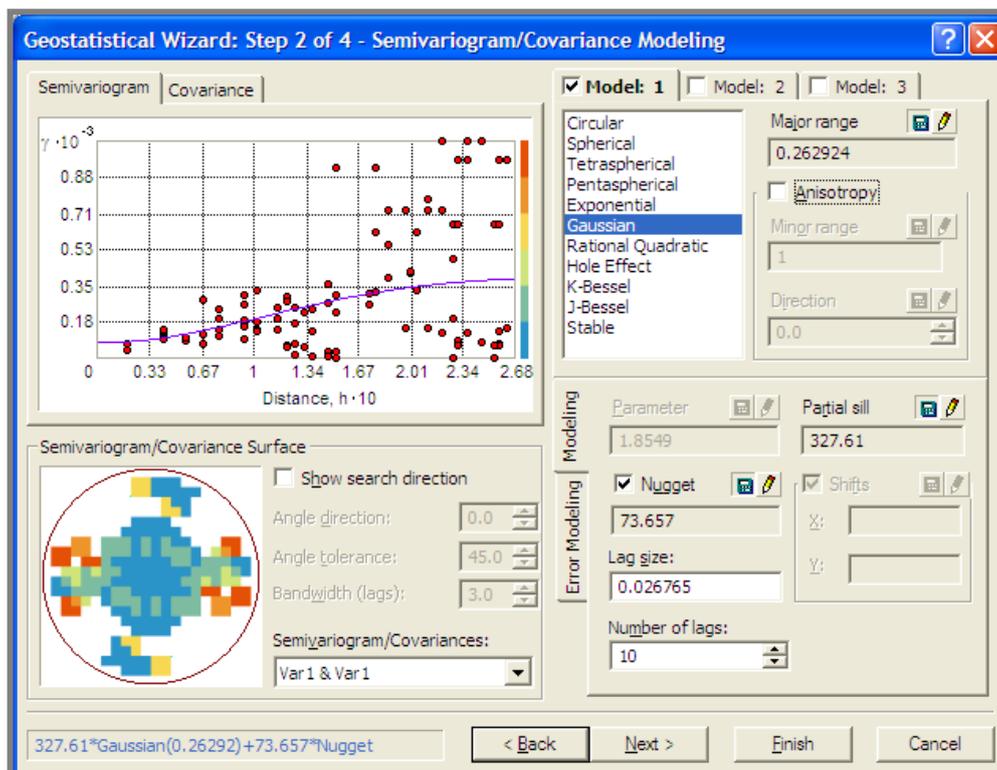


FIGURA 2: Parâmetros de estimação obtidos no ArcGIS®.

ESTIMAÇÃO

Os mapas de estimação por Krigagem Ordinária (OK) da camada de ozono foram elaborados no Geostatistical Analyst[®], uma extensão do ArcGIS[®] e usado para análise de dados atmosféricos ou na indústria de petróleos, por exemplo. “A Krigagem é um conjunto de técnicas de regressão linear generalizadas para minimizar uma variância de estimação a partir de um modelo de covariância definido à priori” (Deutsch e Journel, 1998). O processo de OK estima um valor de um atributo, em uma posição u não amostrada, a partir de um conjunto de amostras vizinhas $z(u_a)$, $a=1, \dots, n$. Genericamente, OK é semelhante à interpolação por média móvel ponderada, porém na Krigagem os pesos dados a cada observação são determinados a partir do variograma experimental. A equação 2 apresenta a formulação para o estimador de OK onde w_j são os pesos a serem atribuídos para a observação i , Ψ representa o valor dos multiplicadores de Lagrange ou a folga necessária para forçar o peso total a um (aquando do sistema de derivadas parciais), $\gamma(x_i, x_j)$ é o valor do variograma da amostra entre i e j enquanto $\gamma(x_i, x_0)$ é igual ao valor do variograma entre a amostra i e a estimativa x_0 .

$$\sum_{j=1}^n w_j \gamma(x_i, x_j) - \Psi = \gamma(x_i, x_0), \quad i = 1 \dots n \quad \text{e} \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (2)$$

Assim, o objetivo é encontrar o estimador de média ponderada que fornece um estimador imparcial e com o menor erro de estimação de variância usando o multiplicador de Lagrange e a soma unitária dos pesos como restrição. Partindo de uma média constante desconhecida e uma variável intrínseca (a ideia subjacente é trabalhar com incrementos mais do que com a própria variável), o regime geral de configurar as equações de Matheron é revelada na Figura 3. Uma vez calculado os pesos W_i , basta multiplicar o valor de cada peso pelo respectivo valor da amostra onde a sua soma corresponde à estimativa desejada (ver o mapa interpolado em São Paulo, Brasil, na Figura 4).

A	=	Cov(x1,x1)	...	Cov(x1,xn)	1	B	=	Cov(x1,x0)	W	=	w1
	
		Cov(xn,x1)	...	Cov(xn,xn)	1			Cov(xn,x0)			Wn
		1	...	1	0			1			Ψ

FIGURA 3: O sistema genérico de Krigagem para o cálculo dos pesos W_i (com $i=1 \dots n$) através da covariância espacial existente entre as n amostras existentes, $Cov(x1, xn)$, com o ponto a estimar x_0 .

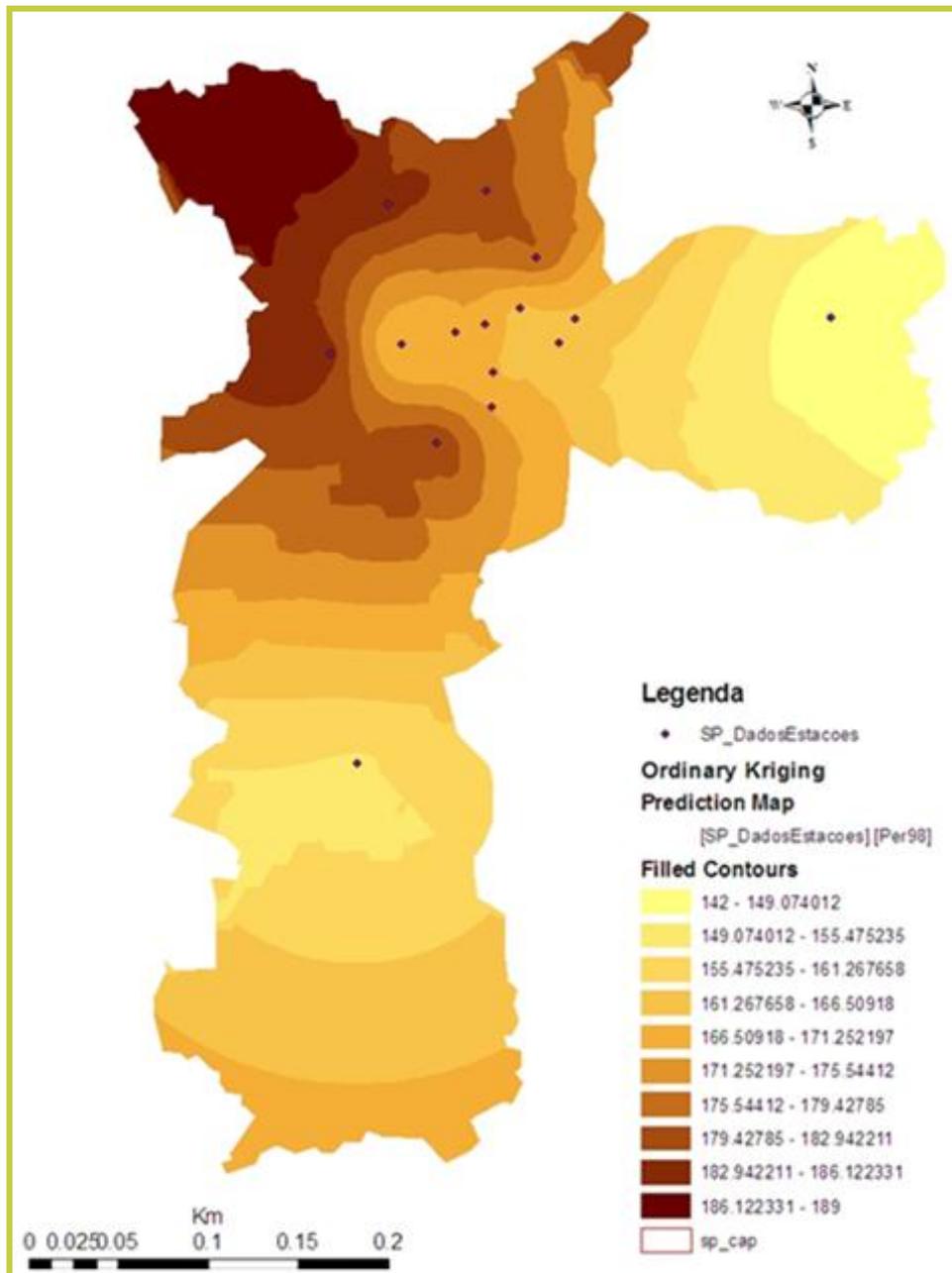


FIGURA 4: Estimação de Krigagem Normal da zona central e comercial de São Paulo, Brasil.

OBSERVAÇÕES FINAIS

Burrough e McDonnell (1998) identificam algumas questões que se devem ter em conta quando se pretende obter mapas interpolados, nomeadamente, o número de pontos da amostra, a distribuição dos mesmos, o tamanho da área de estudo, topologia da vizinhança das amostras e o método matemático a ser usado. Neste caso particular, denota-se claramente que o esquema espacial de amostragem foi altamente prejudicial para o estudo apresentado. Por exemplo, nove das catorze amostras (64%) disponíveis estão altamente concentradas, provocando uma falta completa de dados de entrada em toda a região Este, Sul e Norte-Oeste. Segundo Griffith (1996), o tamanho da amostra deve ser igual ou superior a 30, situação longe

de ser verificada neste caso. Obviamente, o tempo e os custos associados ditaram o tamanho desta amostragem. Deste modo, convém salientar que a solução otimizada seria uma amostragem sistemática com uma aleatoriedade de 20% do total das amostras, de modo a obter uma estimativa representativa do variograma para distâncias curtas (*nugget-effect*). Independentemente da boa escolha do método de interpolação, uma má técnica de amostragem implica, quase sempre, um resultado grosseiro. Espera-se assim que no futuro próximo, este factor seja corrigido nesta particular situação, permitindo assim a comparação da actual estimação com a uma futura interpolação baseada num desenho de amostragem mais consistente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burrough P, McDonnel R (1998). Principles of geographical information systems (spatial informations systems and geostatistics), 2nd Edition. Oxford University Press, Oxford, 832 p.
- CETESB. Qualidade do ar no estado de São Paulo. Série relatórios, 2008 (obtido em Julho de 2010, <http://www.cetesb.sp.gov.br/>).
- Deutsch C, Journel A (1998). GSLIB. Geostatistical software library and user's guide. Oxford University Press, Oxford, 369 p.
- Feliciano M, Ribeiro A, Rodrigues F (2010). Padrões de variação temporal de temperatura do ar e ozono superficial na cidade de Bragança, Portugal. In II workshop internacional sobre clima e recursos naturais nos países da lingua portuguesa, pp 379-387.
- Goovaerts P (1997). Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford University Press, Oxford, 483 pp.
- Griffith D (1996). Some guidelines for specifying the geographical weights matrix contained in spatial statistical models. *In: Practical Handbook of Spatial Statistics*, CRC Press, Boca Raton, Florida, 336 p.
- Ross J (2005). Geografia do Brasil, 5ª Edição. Edusp – editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 547 pp.
- Soares A (2000). Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente. IST Press, Lisboa, 206 p.