



CAPTAR
ciência e ambiente para todos

volume 3 • número 1 • p ... - ...

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

ISSN 1647-323X

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 estimacão 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

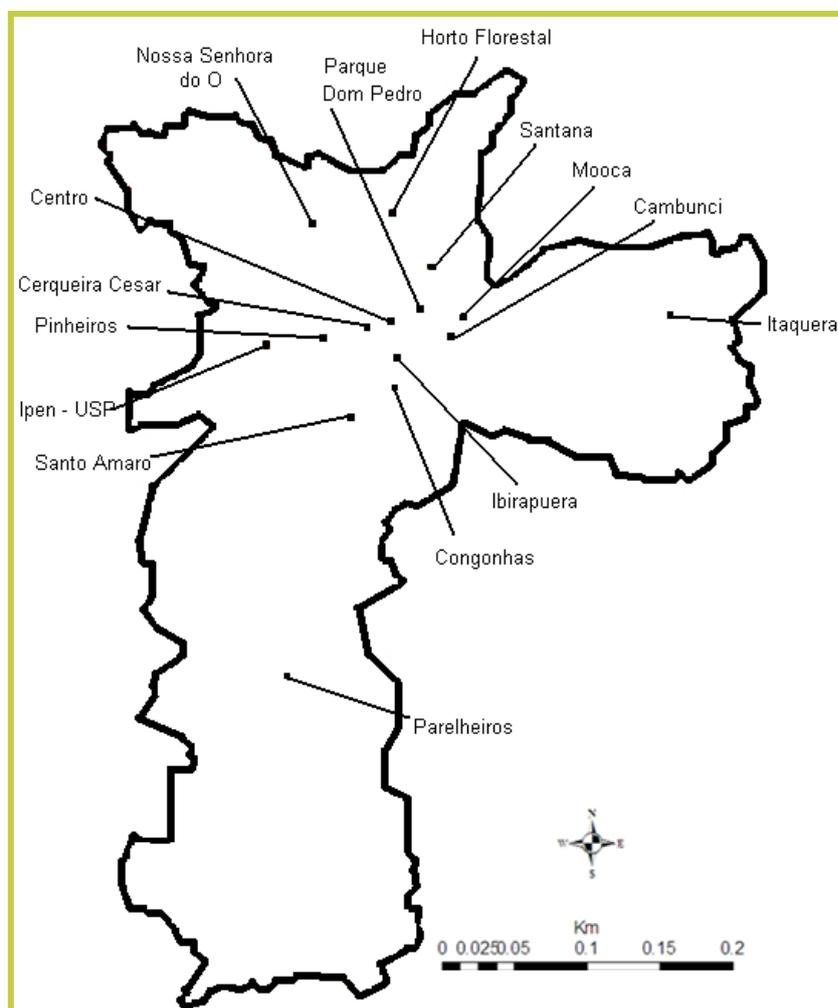


FIGURA 1: Localização das estações de rede automática (Cetesb, 2008)

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 aumentado 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).

$$\lambda(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{N(h)} [z(u) - z(u+h)]^2 \quad (1) \text{ (Verificar a necessidade de repetir a equação)}$$

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).

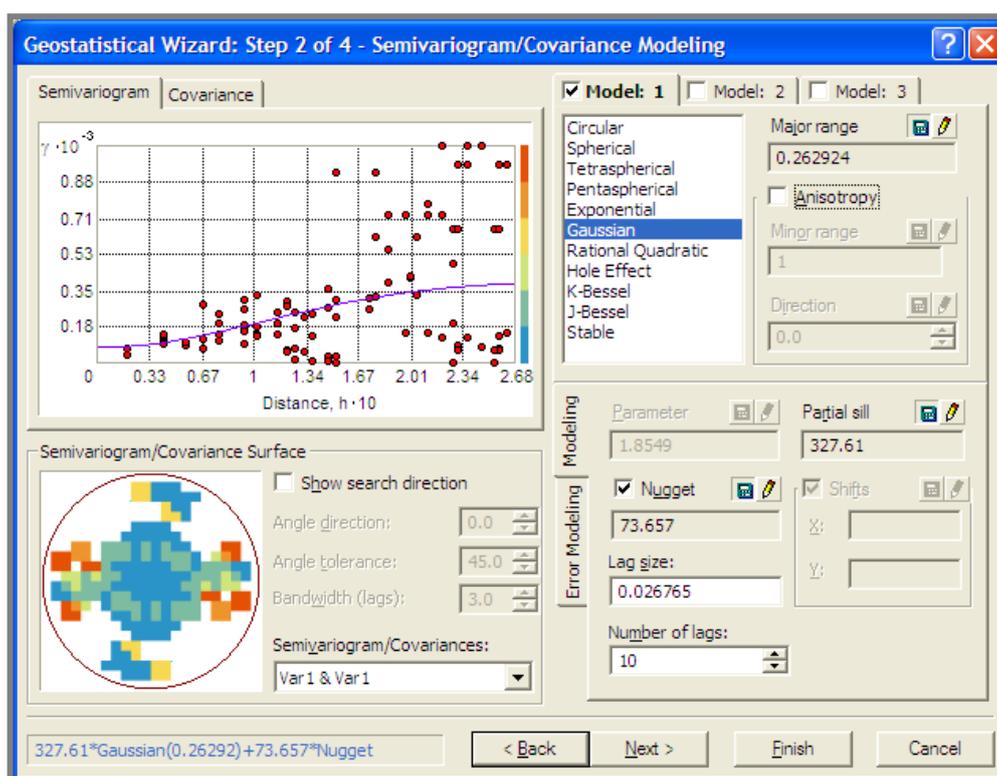


FIGURA 2: Parâmetros de estimação obtidos no ArcGIS®.

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 .

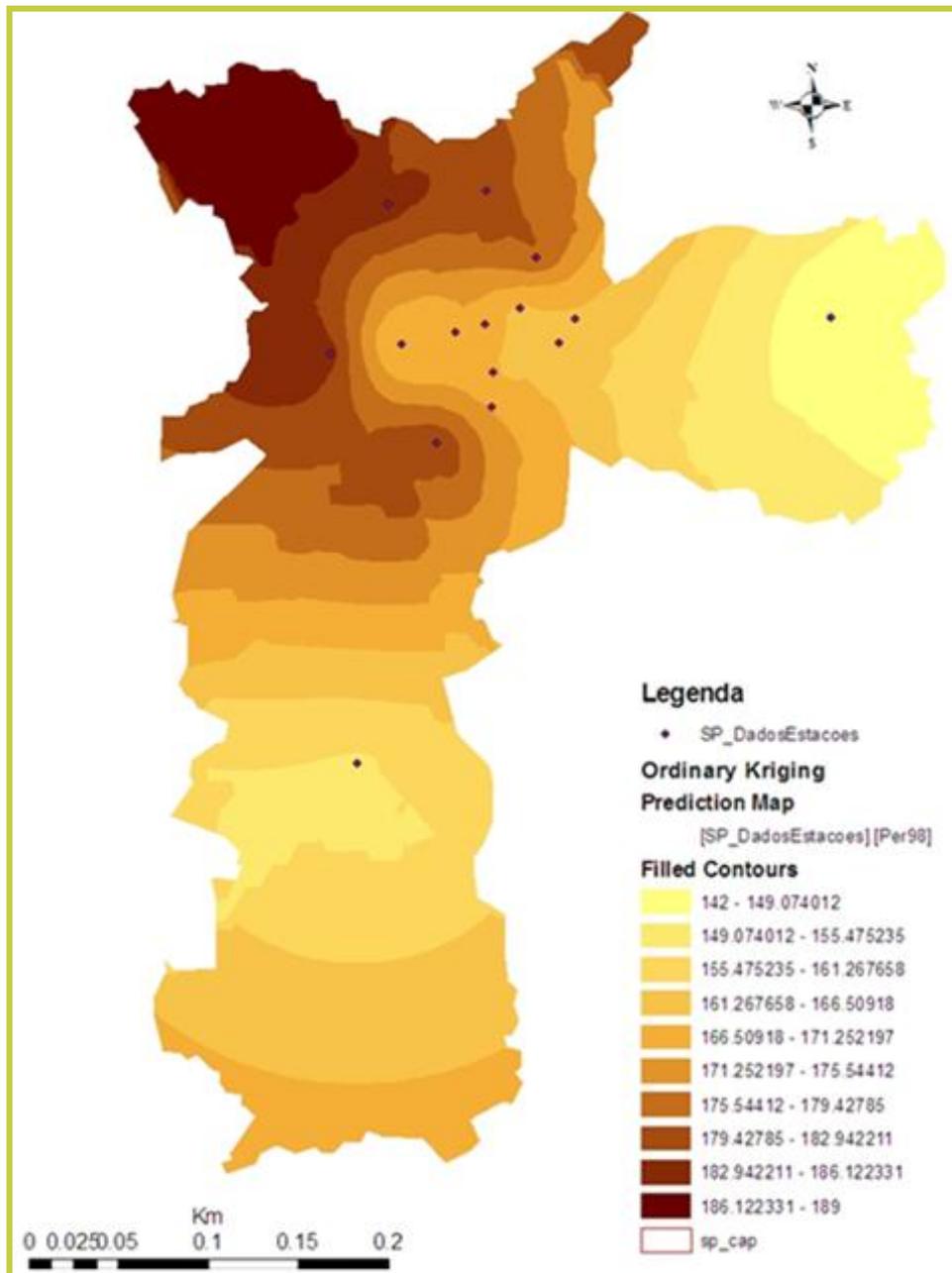


FIGURA 4: Estimação de Krigagem Normal da zona central e comercial de São Paulo, Brasil.

OBSERVAÇÕES FINAIS

Burrough e McDonnell (1994) 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 1994?). 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, cidade, 336 p.

Ross J (2005). Geografia do Brasil, 5ª Edição. Edusp – editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 547 pp.

Shaw T, Perlwitz J, Harnik N (2010). Downward wave coupling between the stratosphere and troposphere: the importance of meridional wave guiding and comparison with zonal-mean coupling. *Journal of Climate* 23: 6365-6381. (Pf verificar a citação no texto)

Soares A (2000). Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente. IST Press, Cidade, 206 p.