

Krigagem ordinária e inverso da distância ponderada aplicados na espacialização da população da mosca-do-figo

Mauricio Paulo Batistella Pasini¹, Alessandro Dal'Col Lúcio², Diniz Fronza³, Liane de Souza Weber²

¹ Universidade de Cruz Alta, Centro de Ciências da Saúde e Agrárias, Rodovia Municipal Jacob Della Méa, km 5,6, Parada Benito, CEP 98020290, Cruz Alta-RS, Brasil. Caixa Postal 1500. E-mail: mauricio.pasini@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Av. Roraima, 1000, Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria-RS, Brasil. E-mail: adlucio@ufsm.br; liweber@gmail.com

³ Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico da UFSM, Campus Camobi, prédio 72, CEP 97105-900, Santa Maria-RS, Brasil. E-mail: dinizfronza@yahoo.com.br

RESUMO

A escolha do método de interpolação apropriado é essencial para se obter mapas de espacialização confiáveis. Desta forma este trabalho teve por objetivo comparar a eficiência da interpolação de dados regionalizados por meio da Krigagem Ordinária e Inverso da Distância Ponderada na estimativa da população de *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae). No Setor de Fruticultura do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria durante o período de 23 de setembro de 2009 a 04 de outubro de 2011 foram elencados 19 pontos de monitoramento, esse, dividido em oito subperíodos correspondentes as estações do ano. Os valores médios de captura foram submetidos aos interpoladores Inverso da Distância Ponderada e Krigagem Ordinária, estes avaliados a partir da validação cruzada. Ambos os métodos de interpolação subestimam a população de *Z. indianus*. A krigagem ordinária apresenta maior eficiência na interpolação de dados regionalizados na estimativa da população de *Z. indianus*.

Palavras-chave: interpolação, monitoramento, semivariograma, variáveis regionalizadas, *Zaprionus indianus*

Ordinary kriging and inverse distance weighted applied in population spatialization of fig fly

ABSTRACT

The choice of the appropriate interpolation method is essential to obtain reliable spatial maps. Therefore, this study aimed to compare the efficiency of regionalised data interpolation by Ordinary Kriging and Inverse Distance Weighted in the population estimates of *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae). In the Fruitculture Sector in Polytechnic College of the Federal University of Santa Maria during the period 23 September 2009 to 4 October 2011 were listed 19 monitoring points, this divided into eight sub-periods corresponding to the seasons. The average values of captures were submitted to the Inverse Distance Weighted and Ordinary Kriging interpolation, they are evaluated from the cross-validation. Both interpolation methods underestimate the population of *Z. indianus*. The Ordinary Kriging interpolation is more efficient for regionalised data to estimate the population of *Z. indianus*.

Key words: interpolation, monitoring, semivariogram, regionalized variables, *Zaprionus indianus*

Introdução

A mosca do figo, *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae) é uma das principais pragas da cultura figo (*Ficus carica* L.). Esta espécie polífaga possui distribuição ampla no território brasileiro e ataca os frutos do figo no início da maturação depositando seus ovos e com o desenvolvimento das larvas, associado à presença de microrganismos, os inutiliza comercialmente (Vilela et al., 2000). Conforme Stein et al. (2003) na época de sua constatação, em 1999, este inseto-praga chegou a causar cerca de 40% de perdas na produção e 80% de perdas na exportação de figos “in natura”.

No período de entressafra do figo a mosca procura outros hospedeiros, estando associada a frutos em decomposição. O conhecimento do comportamento, da preferência alimentar e do habitat desta praga em diferentes épocas do ano é de fundamental importância para o estabelecimento de seu manejo integrado (Pasini et al., 2011).

As populações de insetos em pomares podem ser estimadas através do uso de procedimentos de interpolação, que permitem gerar superfícies contínuas através de unidades amostrais pontuais (Chilès & Delfiner, 1999; Soares et al., 2008). Entre os métodos de interpolação a krigagem ordinária (KO) e o do inverso da distância ponderada (IDP) são mais utilizados (Coelho et al., 2009; Souza et al., 2010; Silva et al., 2010). O método OK usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima (Mello et al., 2003). No método IDP o fator de ponderação é o inverso da distância euclidiana elevada a um expoente que, quando elevado ao quadrado, define-se como inverso do quadrado da distância entre o ponto conhecido e o estimado, sendo considerado de fácil aplicação, mas com acurácia menor que KO, pois não considera a estrutura de dependência espacial (Mello et al., 2003).

Na estratificação de povoaamentos de eucalipto Kanegae Júnior et al. (2006) observaram uma maior redução na variância média e no erro da amostragem com o IDP, Mello et al. (2003) verificaram menores erros no método da KO para parâmetros da equação de chuvas intensas, Soares et al. (2008) obtiveram mínimas vantagens da KO para distribuição de cigarras, Silva et al. (2010) para pH do solo a KO apresentou o menor desvio padrão da média dos erros, Souza et al. (2010) não verificaram diferenças entre os dois métodos de interpolação para atributos químicos do solo, Silva et al. (2011) avaliaram interpoladores para a precipitação, onde KO apresentou as melhores estimativas e Guedes et al. (2012) avaliaram o potencial do uso de interpoladores espaciais em povoaamentos de *Eucalyptus* sp., neste, o uso do interpolador IDP gerou melhores estimativas.

A escolha do método de interpolação apropriado é essencial para obter mapas de espacialização confiáveis (Mello et al., 2003; Silva et al., 2010; Souza et al., 2010; Silva et al., 2011). A utilização de métodos de interpolação para a obtenção de mapas representativos da variabilidade espacial de inseto-praga e de elevada importância, possibilitando o manejo desses organismos em sítios específicos, tornando-se ferramenta para a previsão de ocorrência de inseto-praga e contribuindo para a sustentabilidade da agricultura com a redução de custos e insumos. Desta forma este trabalho teve por objetivo comparar

a eficiência da interpolação de dados regionalizados por meio da Krigagem Ordinária (KO) e do Inverso da Distância Ponderada (IDP) na estimativa da população de *Z. indianus*.

Material e Métodos

A área de estudo localizada no Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil (Lat. 29° 43' S e Long. 53° 43' W), com clima local segundo a classificação de Köppen Cfa, subtropical úmido, sem estação seca e com verões quentes (Heldwein et al., 2009).

No período de 23 de setembro de 2009 a 04 de outubro de 2011 foram elencados 19 pontos de monitoramento, localizados no Setor de Fruticultura do Colégio Politécnico na Universidade Federal de Santa Maria (Figura 1a). Em cada ponto foram utilizadas armadilhas frasco caça mosca (garrafa Pet de 0,6 L; com dois orifícios de 0,8 cm, situadas ao abrigo da luz solar) contendo solução atrativa de suco de figo e água na concentração de 50% com volume total de 200 mL, sendo utilizada por um período de 28 dias (Pasini et al., 2011). Semanalmente os insetos capturados foram retirados, triados e identificados conforme Yassin & David (2010). Os valores observados foram organizados e divididos em quatro períodos, primavera I (23/09 a 22/12 – Prim I), verão (29/12 a 23/03 – Ver I), outono (23/03 a 22/06 – Out I) e inverno (29/06 a 21/09 – Inv I) no primeiro ano e primavera (28/09 a 21/12 – Prim II), verão (28/12 a 22/03 – Ver II), outono (29/03 a 21/06 – Out II) e inverno (28/06 a 27/09 – Inv II) no segundo ano, sendo utilizada na análise a média de adultos de *Z. indianus* capturados no período por armadilha.

Os valores médios de adultos de *Z. indianus* por período foram analisados aplicando a análise descritiva e de técnicas de geoestatística. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Anderson-Darling ($p > 0,05$) e, quando não satisfeita, os dados foram submetidos à transformação Box-Cox (Box & Cox, 1964) na plataforma R (R Development Core Team, 2013), estimada pela Eq. 1:

$$Y_i = \begin{cases} \ln(x_i), & \text{se } \lambda = 0 \\ x_i^\lambda - \frac{1}{\lambda}, & \text{se } \lambda \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

em que:

- Y_i - valor transformado;
- x_i - variável;
- λ - parâmetro da transformação.

Em seguida os dados foram submetidos à análise geoestatística para verificar a existência de dependência espacial e, neste caso, quantificar o grau de dependência espacial dos atributos em estudo, a partir do ajuste dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais isotrópicos com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca a qual é estimada pela Eq. 2:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

em que:

γ - semivariância;
 $N(h)$ - número de pares de valores medidos $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$ separados por um vetor h .

A partir dos semivariogramas experimentais foram obtidos e ajustados os modelos teóricos de semivariogramas circular, esférico, exponencial e gaussiano conforme Webster & Oliver (2007). Através do algoritmo de ajuste dos Mínimos Quadrados Ponderados (MQP) esses modelos foram ajustados ao semivariograma experimental, sendo definidos os parâmetros do modelo: efeito pepita (C_0), patamar (C_0+C_1), alcance (a). O algoritmo é representado pela Eq. 3:

$$Q = \sum_h W_h [\gamma(h) - \gamma(h, \theta)]^2 \quad (3)$$

em que:

W_h - vetor de peso utilizado;
 $\gamma(h)$ - semivariograma experimental
 $\gamma(h, \theta)$ - semivariância calculada pelo modelo teórico e depende dos parâmetros estimados θ (Chilès & Delfiner, 1999; Carvalho et al., 2009).

Para verificar a existência de dependência espacial foi aplicada a fórmula do Índice de Dependência Espacial (IDE) representa uma relação em porcentagem do quanto à dependência espacial, quantificada pelo modelo de semivariograma, contribui para a variabilidade dos dados. O IDE é estimado pela Eq. 4:

$$IDE = \frac{C_1}{C_0 + C_1} \quad (4)$$

sendo classificado conforme Zimback (2001) em forte ($IDE > 75\%$), médio ($25 < IDE \leq 75\%$) e baixo ($IDE \leq 25\%$). Constatada a presença de dependência espacial entre os dados, foram realizadas inferências por KO, estimando valores em locais não medidos. A KO interpola valores com as condições de estimativa sem tendenciosidade e com desvios mínimos em relação aos valores conhecidos, considerando a estrutura de variabilidade espacial encontrada para o atributo (Chilès & Delfiner, 1999), sendo definida pela Eq. 5, e λ pela Eq. 6:

$$\hat{Z}_i = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z_i \quad (5)$$

$$[\lambda] = [b] \cdot [A]^{-1} \quad (6)$$

em que Z_i é o valor interpolado, λ_i o peso atribuído aos valores amostrados, Z_i é o valor amostrado para o i -ésimo ponto, n o número de pontos dentro do alcance, $[\lambda]$ a matriz de pesos de krigagem, $[A]^{-1}$ é a matriz inversa de semivariância entre os pontos vizinhos de um ponto, determinado pelo modelo de semivariograma com base nas distância euclidianas entre os pontos, $[b]$ a matriz de semivariância entre os pontos vizinhos (com a variável estimada) e o ponto para o qual a

variável será interpolada, também determinado pelo modelo de semivariograma, com base nas distâncias entre os pontos vizinhos e o ponto a ser interpolado (Mello et al., 2003; Webster & Oliver, 2007)

O IDP é um interpolador determinístico univariado de médias ponderadas, sendo determinado pela Eq. 7:

$$\hat{Z}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^\lambda} \cdot Z_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^\lambda} \right)} \quad (7)$$

em que Z_i é o valor interpolado, Z_i é o valor amostrado e d_i é a distância euclidianiana entre o ponto amostrado e o estimado, n número de pontos vizinhos utilizados na interpolação e λ é o expoente ponderador da distância euclidianiana, este, aplicado para os pesos 2, 3, 4, 5 e 6.

Para a escolha do modelo teórico de semivariograma, expoente ponderador e os métodos de interpolação utilizou-se técnica da validação cruzada conforme Vieira (1997), Mello et al. (2003), Webster & Oliver (2007), Carvalho et al. (2009). De acordo com Goovaerts (1997) a validação cruzada permite comparar o impacto de diferentes interpoladores entre os valores reais e estimados, onde o modelo com previsões mais precisas é escolhido, Faraco et al. (2008) considerou o critério da validação cruzada o mais adequado para a escolha do melhor ajuste de semivariograma. Os valores estimados foram cruzados com os valores amostrados (variável independente) e submetidos à regressão linear. A partir da equação obtém-se a interseção "a" e o coeficiente angular "b", o melhor ajuste para a relação valores amostrados e estimados se obtém quando os valores obtidos de "a" se aproximam à zero, "b" a um.

Como avaliações complementares foram calculadas a média dos erros (ME) e a raiz quadrada média dos erros (RQME), estimadas, respectivamente, pelas Eqs. 8 e 9:

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(S_i) - z(S_i))}{n} \quad (8)$$

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(S_i) - z(S_i))^2}{n}} \quad (9)$$

em que $Z(s_i)$ é o valor observado e $z(s_i)$ o valor estimado. Nestes parâmetros, os melhores ajustes obtêm-se quando ME e RQME se aproximam a zero. Para a geração dos mapas, fez-se uso do software ArcGis versão 9.3.

Resultados e Discussão

Foram capturados 47.122 adultos de *Zaprionus indianus* com uma média de captura de 3,37 adultos⁻¹ armadilha⁻¹ dia⁻¹. Dos diferentes períodos avaliados houve variações entre as médias de captura, com maior população no período Verão II, com média diária de 6,24 adultos⁻¹ armadilha⁻¹ dia⁻¹, já o com menor população foi o período Inverno I, este com média diária de

0,60 adultos⁻¹ armadilha⁻¹ dia⁻¹, esses, tornam-se mais evidentes ao tomar a soma das médias dos 19 pontos de monitoramento desses períodos como parâmetro, respectivamente (Tabela 1).

Fatores como presença de alimento e condições climáticas podem ter influenciado na discrepância entre os períodos, conforme Poelman et al. (2011) insetos herbívoros possuem forte interação com suas plantas hospedeiras, estas servindo como suporte para desenvolvimento, fornecendo alimento e abrigo, sendo sua presença influenciada pela quantidade e qualidade de nutrientes (Zheng & Dicke, 2008).

Ao comparar os períodos entre anos de captura (I x II) visualiza-se uma leve diferença, com captura média diária de 3,25 e 3,34 adultos armadilha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente, sendo para ambos o período de inverno o com menor população capturada (Tabela 1). *Z. indianus* por ser poiquilotérmico regula sua temperatura a partir da temperatura ambiente, apresentando menor atividade com baixas temperaturas,

porém, sua presença nas armadilhas no período de inverno pode-se justificar por dois motivos: pela capacidade do inseto aumentar sua temperatura corporal durante o voo através da ação dos músculos torácicos e/ou absorção de energia nos horários de maior temperatura do dia (Triplehorn & Johnson, 2011).

Os elevados coeficientes de variação obtidos representam o comportamento da distribuição da população de *Z. indianus* nos diferentes pontos de monitoramento, com amplitudes variando de 1,29 adultos capturados dia⁻¹ a 130,18 adultos capturados dia⁻¹, isto influenciando na distribuição dos dados, no p-valor do teste de normalidade e na presença de valores discrepantes (Figura 1b, Tabela 1). Conforme Pasini et al. (2011) a presença de substrato para *Z. indianus* é de fundamental importância para a manutenção de elevadas populações, o que influencia o número médio de adultos capturados nas armadilhas próximas a esses locais.

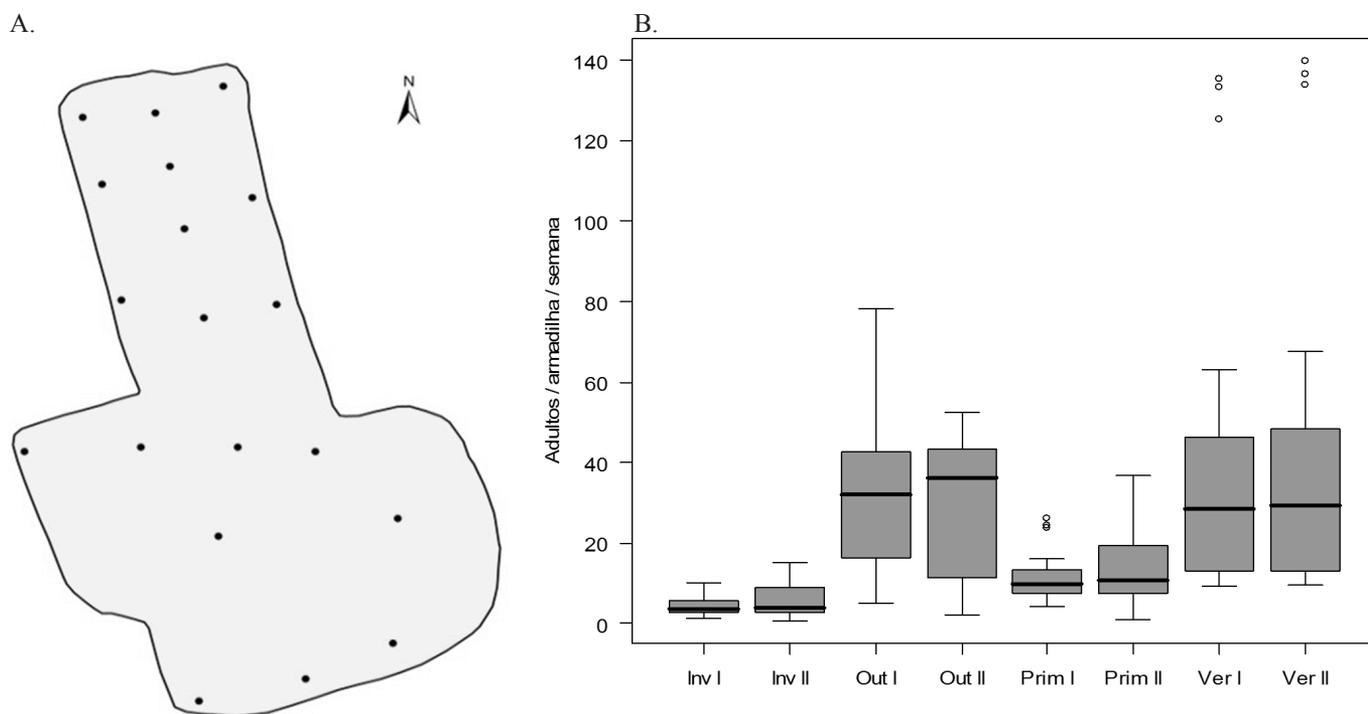


Figura 1. Área de estudo com os respectivos pontos de monitoramento (A) e gráfico Boxplot da média de adultos de *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae) capturados em armadilhas frasco caça mosca em diferentes épocas do ano (B). Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

Tabela 1. Estatísticas descritivas do número médio de adultos de *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae) capturados em diferentes períodos. Santa Maria, Rio Grande do Sul

Estatística	Prim I	Ver I	Out I	Inv I	Prim II	Ver II	Out II	Inv II
Número de armadilhas	19	19	19	19	19	19	19	19
Média	11,75	41,58	33,36	4,23	14,61	43,70	30,39	5,67
Mediana	9,92	28,42	32,08	3,58	10,78	29,42	36,18	4,08
Mínimo	4,33	9,22	5,28	1,18	1,07	9,52	2,20	0,77
Máximo	26,5	135,2	78,2	10,2	36,9	139,7	52,4	15,3
Soma	223	790	633	80	277	830	577	107
Desvio padrão	6,47	42,45	22,30	2,28	10,76	44,26	18,03	4,16
Erro padrão	1,48	9,74	5,12	0,52	2,47	10,15	4,14	0,96
Curtose	0,74	1,26	-0,19	0,98	0,10	1,15	-1,35	-0,28
Assimetria	1,33	1,60	0,62	1,04	0,90	1,56	-0,49	0,81
Coefficiente de variação	55,1	102,1	66,8	53,8	73,6	101,3	59,3	73,4
Normalidade (p-valor)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Transformação Box-Cox								
Box - Cox (λ)	-0,43	-0,34	0,43	0	0,38	-0,38	0,88	0
Normalidade (p-valor)	0,41*	0,56*	0,61*	0,10*	0,36*	0,45*	0,39*	0,12*

*Os dados apresentaram aderência à normalidade pelo teste de Anderson-Darling em nível de 5% de significância.

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros dos modelos teóricos de semivariogramas ajustados aos modelos experimentais através do algoritmo dos MQP, bem como, os valores estimados a partir da aplicação da KO aos modelos teóricos gerando os parâmetros da validação cruzada. Em cada período, os modelos que apresentaram os valores mais elevados do coeficiente angular (“b”) e menores valores de interseção (“a”), a partir da análise de regressão, foram considerados os melhores, gerando estimativas mais semelhantes aos valores reais.

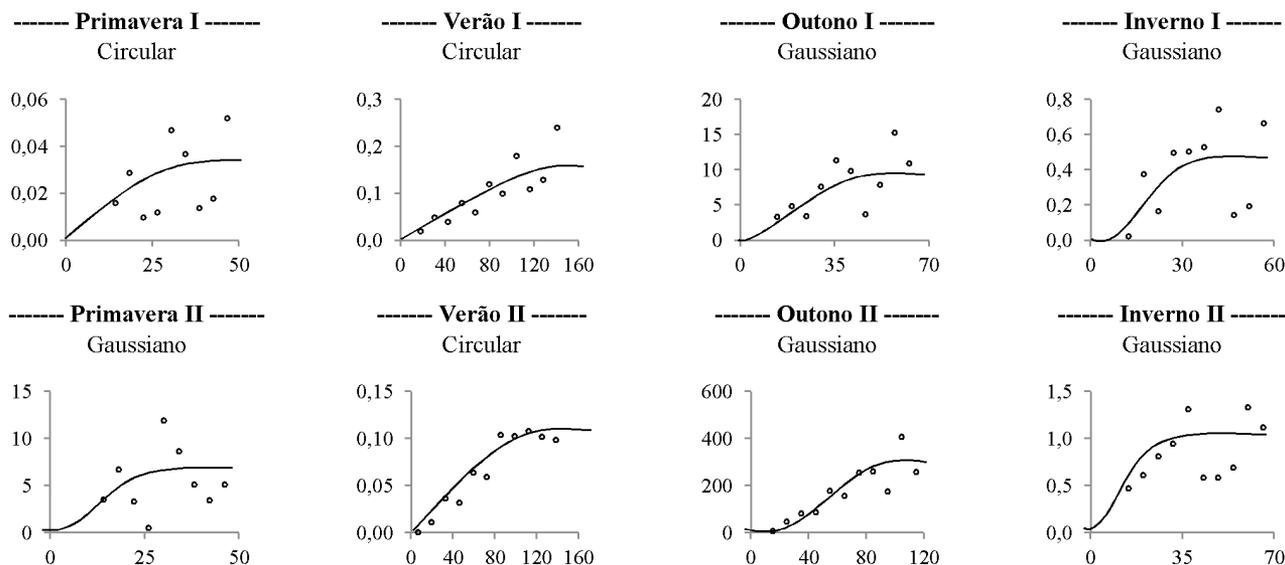
Nos períodos de Primavera I, Verão I e Verão II o modelo teórico circular de semivariograma apresentou o melhor ajuste gerando as melhores estimativas, logo, para os demais períodos o modelo gaussiano foi quem apresentou o melhor ajuste, sendo esses, utilizados pelo interpolador KO para a geração dos mapas (Figura 2). Em todos eles os elevados coeficientes angulares coincidem com os menores valores de interseção e RQME. Contudo para ME não se obteve o mesmo comportamento com relação aos outros parâmetros, indicando a menor robustez deste para avaliar as estimativas por validação cruzada (Webster & Oliver, 2007).

Todos os modelos selecionados apresentaram elevados IDE, sendo eles classificados com forte dependência espacial o que indica que a dependência espacial contribui em 100% para a variabilidade dos dados, havendo a presença apenas da variância estrutural (Chilès & Delfiner, 1999). O parâmetro alcance do modelo variou entre 32,36 a 105,35 m, para os períodos de Primavera I e Verão II, respectivamente, esta medida indica a distância em metros em que os pontos amostrais estão correlacionados espacialmente, representando que os pontos localizados em uma área cujo raio seja o alcance, são mais semelhantes entre si, do que os separados por distâncias maiores (Webster & Oliver, 2007).

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da validação cruzada para o interpolador IDP nos diferentes pesos aplicados, nestes, para os períodos de Primavera I e II o peso 4 proporcionou os melhores resultados, nos períodos de Verão I e II o peso 3 ofereceu os melhores resultados e para os períodos de Outono I e II, e Inverno I e II o peso 6 apresentou as melhores estimativas. Estes resultados seguem o padrão já apresentado na Tabela 2, onde os valores dos coeficientes angulares mais elevados apresentam os menores valores de interseção e RQME.

Tabela 2. Parâmetros do modelo teórico de semivariograma (C0 – efeito pepita, C1 – variável estrutural, a – alcance e IDE – índice de dependência espacial) e validação cruzada (“b” – coeficiente angular, “a” – ponto de interseção, ME – média dos erros e RQME – raiz quadrada média dos erros) do interpolador Krigagem Ordinária para os modelos teóricos avaliados em diferentes períodos para *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae). Santa Maria, Rio Grande do Sul

Modelo	Parâmetros do modelo				Validação cruzada			
	C ₀	C ₁	a	IDE	“b”	“a”	ME	RQME
Primavera I								
Circular	0	0,027087	32,36	100	0,5344	5,4967	0,0257	3,4307
Esférico	0,00889	0,028686	88,29	76	0,4638	6,3129	0,0130	3,7945
Exponencial	0,00000	0,039606	97,81	100	0,5128	5,7783	0,0543	3,5642
Gaussiano	0,00394	0,023668	32,06	86	0,5020	5,8992	-0,0026	3,5789
Verão I								
Circular	0	0,10954	97,81	100	0,5774	16,1160	-1,5277	25,8960
Esférico	0	0,10595	105,35	100	0,5771	16,4480	-1,1358	26,0267
Exponencial	0	0,09550	105,35	100	0,5173	21,7690	1,6978	26,9168
Gaussiano	0,00001	0,04710	35,84	100	0,5453	15,7570	-3,1499	26,8361
Outono I								
Circular	0	9,56100	42,37	100	0,4336	16,1830	-2,7137	16,0371
Esférico	0	11,34600	61,45	100	0,4440	16,0940	-2,4548	16,0723
Exponencial	0	13,67900	105,35	100	0,3776	19,2430	-1,5216	16,7049
Gaussiano	0	10,37800	43,42	100	0,5646	10,0570	-4,4692	13,3120
Inverno I								
Circular	0	0,49722	42,76	100	0,2425	3,0286	-0,1745	1,8322
Esférico	0	0,47623	46,93	100	0,2182	3,1605	-0,1450	1,8710
Exponencial	0	0,47050	53,95	100	0,1112	3,2410	-0,1340	2,0350
Gaussiano	0	0,02388	39,33	100	0,2773	2,8358	-0,2200	1,8320
Primavera II								
Circular	0	5,26810	42,22	100	0,6303	6,0108	0,6091	4,6430
Esférico	0	5,80540	32,36	100	0,3870	9,8744	0,9170	6,8410
Exponencial	0	5,60820	33,27	100	0,2771	11,2920	0,7280	7,8340
Gaussiano	0	4,44250	42,22	100	0,8481	3,2404	1,0210	3,7380
Verão II								
Circular	0	0,08406	105,35	100	0,6323	13,1500	-0,7945	24,4579
Esférico	0	0,07704	105,35	100	0,6224	16,4120	-0,0900	25,0810
Exponencial	0	0,07019	105,35	100	0,5699	22,1290	3,3330	26,2890
Gaussiano	0	0,03617	37,55	100	0,6007	14,8270	-2,6230	24,5850
Outono II								
Circular	0	224,63	105,25	100	0,7646	6,2975	-0,8556	8,5216
Esférico	0	206,56	105,35	100	0,7658	6,2378	-0,8790	8,6150
Exponencial	0	191,27	141,26	100	0,7163	8,0530	-0,5620	8,8700
Gaussiano	0	209,41	88,04	100	0,9501	0,0794	-1,4360	7,0730
Inverno II								
Circular	0	0,99086	42,25	100	0,3022	3,1227	-0,8328	3,3079
Esférico	0	1,04550	47,56	100	0,2757	3,4080	-0,6980	3,3240
Exponencial	0	1,10240	74,06	100	0,1802	4,1759	-0,4710	3,5870
Gaussiano	0	0,82740	42,23	100	0,4383	2,2581	-0,9260	2,8460



Eixo y: semivariâncias; eixo x: distância (m)

Figura 2. Semivariogramas teóricos ajustados aos experimentais da população de *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae) em diferentes períodos. Santa Maria, Rio Grande do Sul

Tabela 3. Validação cruzada (“b” – coeficiente angular, “a” – ponto de interseção, ME – média dos erros e RQME – raiz quadrada média dos erros) do interpolador Inverso da Distância Ponderada para os expoentes ponderadores (λ) avaliados em diferentes períodos para *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae). Santa Maria, Rio Grande do Sul

λ	“b”	“a”	ME	RQME	“b”	“a”	ME	RQME	
Primavera I				Primavera II					
2	0,2758	8,3203	-0,1890	5,1504	0,2305	11,3320	0,0896	8,7510	
3	0,2945	7,9927	-0,2966	5,0542	0,2588	10,9680	0,1379	8,4715	
4	0,3010	7,6413	-0,3721	5,0316	0,2760	10,8620	0,2252	8,3894	
5	0,3002	7,8065	-0,4164	5,1253	0,2756	10,9180	0,3330	8,4250	
6	0,2964	7,8323	-0,4348	5,2079	0,2744	11,0500	0,4480	8,5120	
Verão I				Verão II					
2	0,3246	25,4800	-2,6050	32,7265	0,3377	26,3780	-2,5664	33,5062	
3	0,3318	21,8160	-3,9674	32,8364	0,3469	22,6750	-3,8691	33,4394	
4	0,3278	22,9220	-5,0279	33,5764	0,3450	23,7610	-4,8656	34,0218	
5	0,3187	22,5290	-5,7986	34,5110	0,3378	23,3620	-5,5768	34,8262	
6	0,3092	22,3960	-6,3269	35,3832	0,3299	23,2320	-6,0542	35,5964	
Outono I				Outono II					
2	0,3257	19,7700	-2,7264	18,2738	0,7255	7,3095	-1,0317	9,4327	
3	0,3579	17,4250	-3,9956	18,1950	0,7703	5,4940	-1,5768	9,2360	
4	0,3797	15,6250	-5,0686	18,4074	0,8057	3,8394	-2,0644	9,1785	
5	0,3943	14,2690	-5,9395	18,7179	0,8325	2,6063	-2,4848	9,1900	
6	0,4050	13,2180	-6,6310	17,0126	0,8525	1,6435	-2,8382	9,1283	
Inverno I				Inverno II					
2	0,0464	3,7924	-0,2393	2,1842	0,1788	3,9887	-0,6664	3,6826	
3	0,0799	3,5611	-0,3292	2,1434	0,2327	3,4717	-0,8776	3,5575	
4	0,1005	3,3934	-0,4097	2,1333	0,2698	3,0707	-1,0682	3,5081	
5	0,1120	3,2777	-0,4769	2,1415	0,2926	2,7795	-1,2304	3,5140	
6	0,1180	3,1982	-0,5309	2,1176	0,3049	2,5755	-1,3645	3,5025	

Ao comparar as estimativas do interpolador KO obtidas dos modelos de semivariogramas teóricos selecionados (Tabela 2) aos das estimativas obtidas do interpolador IDP para os pesos selecionados (Tabela 3) observa-se pelos parâmetros da validação cruzada melhor desempenho para todos os períodos da KO, concordando com os resultados apresentados por Mello et al. (2003), Soares et al. (2008), Silva et al. (2010) e Silva et al. (2011).

Na Figura 3 são apresentados os mapas gerados a partir dos interpoladores KO e IDP, onde as diferenças apresentadas pela validação cruzada evidenciam-se a partir das legendas dos mapas. Também, a partir da ilustração gerada pela KO, é possível visualizar a melhor delimitação de superfícies contínuas das populações de *Z. indianus*. Nas ilustrações

geradas a partir do interpolador IDP são visíveis transições abruptas evidentes nos períodos Inverno I e II. Este comportamento é influenciado pelo parâmetro de ponderação, o que dificulta o estabelecimento dos níveis populacionais de *Z. indianus*, bem como o estabelecimento de zonas de manejo do inseto nocivo. Embora ambos os interpoladores subestimem as populações de *Z. indianus*, o interpolador IDP apresenta maior representatividade nesta subestimação (Figura 3).

A partir dos mapas gerados (Figura 3) verifica-se a importância da utilização de métodos de interpolação para a obtenção de mapas representativos da variabilidade espacial de insetos-praga, possibilitando o manejo desses organismos em sítios específicos a partir de sua localização espacial, tornando-se ferramenta para a previsão de ocorrência de insetos-praga.

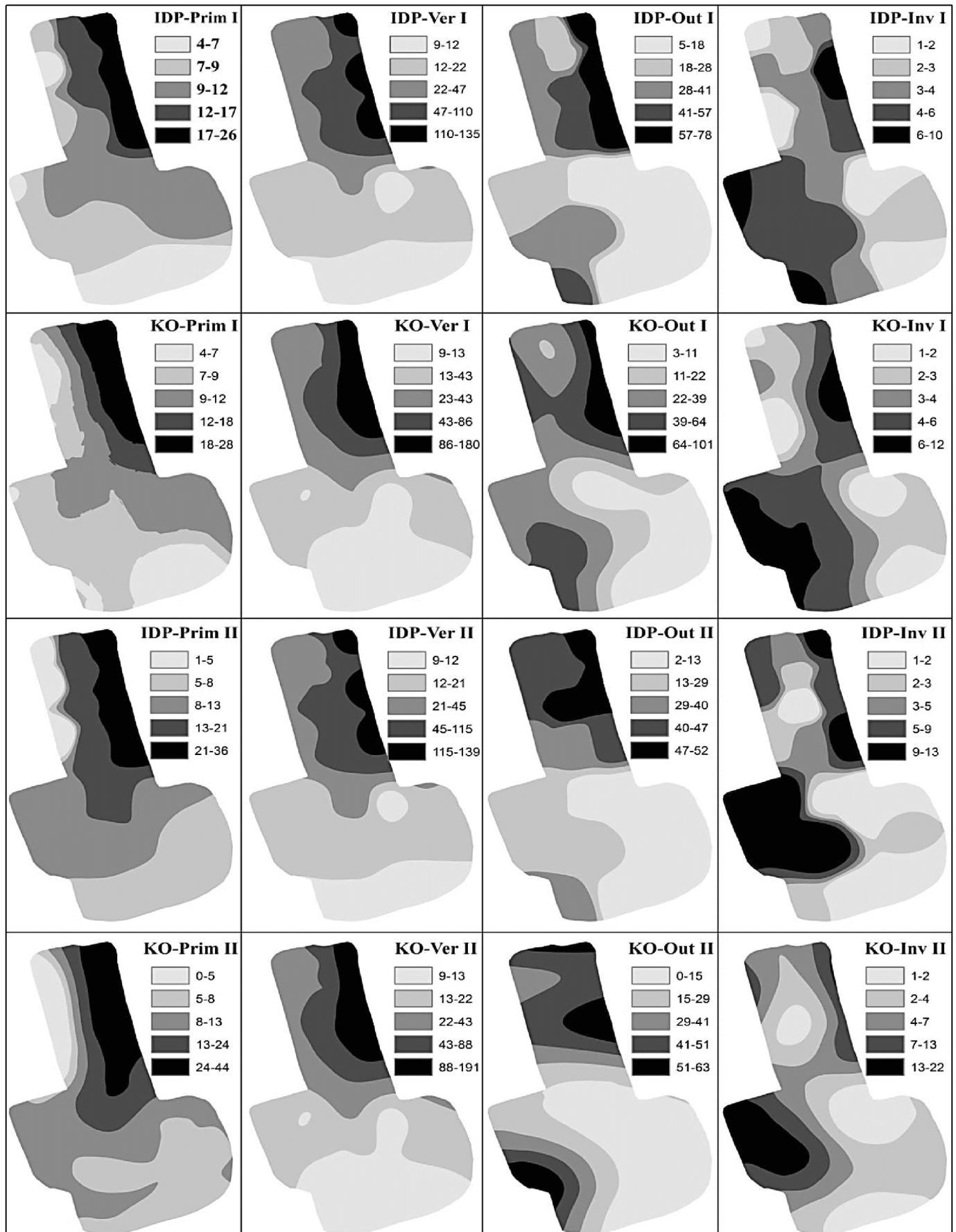


Figura 3. Ilustração dos valores estimados da população de *Zaprionus indianus* em diferentes períodos pelos interpoladores Krigagem Ordinária (KO) e Inverso da Distância Ponderada (IDP)

Conclusões

Os métodos da krigagem ordinária e do inverso da distância ponderada subestimam a população de *Zaprionus indianus*.

A krigagem ordinária apresenta maior eficiência na interpolação de dados regionalizados na estimativa da população de *Z. indianus*.

Literatura Citada

- Box, G. E. P.; Cox, D. R. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, v.26, n.2, p.211-252, 1964. <<http://www.ime.usp.br/~abe/lista/pdfQWaCMboK68.pdf>>. 12 Mar. 2014.
- Carvalho, J. R. P. de; Vieira, S. R.; Grego, C. R. Comparação de métodos para ajuste de modelos de semivariograma da precipitação pluvial anual. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.4, p.443-448, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000400011>>.
- Chilès, J. P.; Delfiner, P. *Geostatistics modeling spatial uncertainty*. New York: John Wiley and Sons, 1999. 695p.
- Coelho, E. C.; Souza, E. G.; Uribe-Opazo, M. A.; Pinheiro Neto, R. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.31, n.1, p.165-174, 2009. <<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v31i1.6645>>.
- Faraco, M. A.; Uribe-Opazo, M. A.; Silva, E. A. A.; Johann, J. A.; Borssoi, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.2, p.463-476, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200001>>.
- Goovaerts, P. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. New York: Oxford University Press, 1997. 512p.
- Guedes, I. C. L.; Mello, J. M.; Mello, C. R.; Oliveira, A. D.; Silva, S. T.; Scolforo, J. R. S. Técnicas geoestatísticas e interpoladores espaciais na estratificação de povoamentos de *Eucalyptus* sp. *Ciência Florestal*, v.22, n.3, p.541-550, 2012. <<http://dx.doi.org/10.5902/198050986621>>.
- Heldwein, A. B.; Buriol, A. G.; Streck, N. A. O clima de Santa Maria. *Revista Ciência & Ambiente*, v.38, p.43-58, 2009.
- Kanegae Júnior, H.; Scolforo, J. R.; Mello, J. M.; Oliveira, A. D. Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos como instrumento de estratificação de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. *Cerne*, v.12, n.2, p.123-136, 2006. <http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/10-02-20092776v12_n2_artigo%2004.pdf>. 12 Mar. 2014.
- Mello, C. R.; Lima, J. M.; Silva, A. M.; Mello, J. M.; Oliveira, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.5, p.925-933, 2003. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000500017>>.
- Pasini, M. P. B.; Link, D.; Schaich, G. Attractive solutions efficiency in capturing *Zaprionus indianus* Gupta, 1970 (Diptera: Drosophilidae) in *Ficus carica* L. (Moraceae) orchard in Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil. *Entomotropica*, v.26, n.3, p.107-116, 2011. <<http://www.entomotropica.org/index.php/entomotropica/article/view/275/357>>. 12 Mar. 2014.
- Poelman, E. H.; Gols, R.; Snoeren, T. A.; Muru, D.; Smid, H. M.; Dicke, M. Indirect plant-mediated interactions among parasitoid larvae. *Ecology Letters*, v.14, n.7, p.670-676, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01629.x>>.
- R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. <<http://www.R-project.org>>. 05 Jul. 2013.
- Silva, A. F.; Lima, J. S. S.; Oliveira, R. B. Métodos de interpolação para estimar o pH em solo sob dois manejos de café arábica. *Idesia*, v.28, n.2, p.61-66, 2010. <<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292010000200007>>.
- Silva, K. R.; Cecílio, R. A.; Xavier, A. C.; Pezzopane, J. R. M.; Garcia, G. O. Interpolação espacial da precipitação no Estado do Espírito Santo. *Floresta e Ambiente*, v.18, n.4, p.417-427, 2011. <<http://dx.doi.org/10.4322/floram.2011.061>>.
- Soares, V. P.; Zaneti, L. Z.; Santos, N. T.; Leite, H. G. Análise espacial da distribuição de cigarras (*Quesada gigas* Oliver) em povoamentos de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) na região de Dom Eliseu, PA. *Revista Árvore*, v.32, n.2, p.251-258, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000200008>>.
- Souza, G. S.; Lima, J. S. S.; Xavier, A. C.; Rocha, W. S. D. Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na espacialização de atributos químicos de um argissolo. *Scientia Agraria*, v.11, n.1, p.73-81, 2010. <<http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v11i1.15939>>.
- Stein, C. P.; Teixeira, E. P.; Novo, J. P. S. Aspectos biológicos da mosca do figo, *Zaprionus indianus* Gupta, 1970 (Diptera: Drosophilidae). *Entomotropica*, v.18, n.3, p.219-221, 2003. <<http://www.entomotropica.org/index.php/entomotropica/article/view/46/45>>. 12 Mar. 2014.
- Triplehorn, C. A.; Johnson, N. F. *Estudo dos insetos*. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 809p.
- Vieira, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos de uma parcela experimental de um Latossolo roxo de Campinas – SP. *Bragantia*, v.56, n.1, p.181-190, 1997. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051997000100019>>.
- Vilela, C. R.; Teixeira, E. P.; Stein, C. P.; Mosca-africana-do-figo, *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae). In: Vilela, E. F.; Zucchi, R. A.; Cantor, F. (Eds.). *Histórico e Impacto das Pragas Introduzidas no Brasil*. Ribeirão Preto: Holos, 2001. p.48-52.
- Webster, R.; Oliver, M. A. *Geostatistics for environmental scientists*. 2.ed. London: John Wiley & Sons, 2007. 315p. <<http://dx.doi.org/10.1002/9780470517277>>.
- Yassin, A.; David, J. R. Revision of the afro-tropical species of *Zaprionus* (Diptera, Drosophilidae), with descriptions of two new species and notes on internal reproductive structures and immature stages. *ZooKeys*, v.51, p.33-72, 2010. <<http://dx.doi.org/10.3897/zookeys.51.380>>.
- Zheng, S.; Dicke, M. Ecological genomics of plant-Insect interactions: from gene to community. *Plant Physiology*, v.146, n.3, p.812-817, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1104/pp.107.111542>>.
- Zimback, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solo para o mapeamento da fertilidade do solo. Botucatu: UNESP, 2001. 114p. Tese Livre Docência.