

Modelo autologístico espaço-temporal com aplicação à análise de padrões espaciais da leprose dos citros

Luziane Francison⁽¹⁾, Paulo Justiniano Ribeiro Junior⁽²⁾, Elias Teixeira Krainski⁽²⁾, Renato Beozzo Bassanezi⁽³⁾ e Ana Beatriz Costa Czermainski⁽⁴⁾

⁽¹⁾Embrapa Suínos e Aves, Caixa Postal 21, CEP 89700-000, Concórdia, SC. E-mail: luziane@cnpsa.embrapa.br

⁽²⁾Universidade Federal do Paraná, Laboratório de Estatística e Geoinformação, Caixa Postal 19.081, CEP 81531-990, Curitiba, PR. E-mail: paulojus@leg.ufpr.br, elias@leg.ufpr.br

⁽³⁾Fundecitrus, Depto. Científico, Caixa Postal 391, CEP 14801-970 Araraquara, SP. E-mail: rbbassanezi@fundecitrus.com.br

⁽⁴⁾Embrapa Uva e Vinho, Caixa Postal 130, CEP 95700-000, Bento Gonçalves, RS. E-mail: ana@cnpuv.embrapa.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi propor estratégias de modelagem aplicadas aos dados de incidência de leprose dos citros, por meio do uso de um modelo autologístico espaço-temporal. Avaliaram-se a adequação do modelo autologístico na análise de dados provenientes de avaliações feitas em diferentes momentos; na detecção de padrões espaciais da doença pela avaliação de diferentes estruturas de vizinhança; na consideração do efeito defasado de covariáveis de vizinhança; e na avaliação do efeito do ácaro transmissor na probabilidade de nova infecção. O modelo autologístico espaço-temporal adotado estendeu o modelo logístico usual, em que a estrutura de vizinhança é descrita por meio da construção de covariáveis, a partir da resposta observada em plantas vizinhas à planta avaliada, seja na mesma avaliação, seja em avaliações anteriores. Os dados de incidência de leprose em plantas de citros foram coletados em pontos referenciados no espaço, em 23 avaliações realizadas em

um talhão, durante aproximadamente dois anos. Os modelos avaliados apontam o efeito da presença do vetor e o padrão espacial na ocorrência de novas infecções, tanto para covariáveis de vizinhança da mesma avaliação, quanto para covariáveis de vizinhança da avaliação anterior. Além disso, os modelos considerados permitem quantificar as variações na probabilidade de ocorrência da doença, de acordo com o estado da doença e com incidência do ácaro transmissor.

Termos para indexação: *Citrus sinensis*, *Brevipalpus phoenicis*, *Citrus leprosis virus*, modelo autológico, estatística espacial, pseudo-verossimilhança.

Spatial temporal autologistic model with an application to the analysis of spatial patterns of citrus leprosis

Abstract - The goal of this study was to propose modeling strategies applied to the analysis of citrus leprosis data, through the use of a spatial temporal autologistic model. We evaluated the adequacy of autologistic model to consider data collected at different times; to detect spatial-temporal patterns through different neighboring structures; to consider the effect of covariates from previous times; and assessing the effect of the presence of the vector of the disease in the probability of new infections. The spatial temporal autologistic model has adopted the usual logistic model, where the by means of covariates built from the status of plants nearby at the same or previous time representing the neighboring structures. Data on the presence of the leprosis on plants were collected on a field at 23 time points covering a period of approximately two years. Models detect the presence of spatial patterns on new infections for both neighbor structures, at the same or previous time. Additionally estimates of the probability of a plant become infected can be obtained from the fitted models given the

occurrence of the disease and vector.

Index terms: autologistic model, *Citrus sinensis*, *Brevipalpus phoenicis*, *Citrus leprosis virus*, spatial statistics, pseudo-likelihood.

Introdução

Experimentos cujas variáveis respostas são binárias são comuns nas diversas áreas do conhecimento, inclusive na área agrícola. Fazem parte dessa estrutura de dados as incidências de doenças em plantas onde, freqüentemente, é registrado a presença/ausência de sintomas de determinada doença em cada planta. Nesses estudos é possível ainda registrar a posição das plantas dentro da área o que permite verificar a presença de estrutura espacial na presença da doença. O pressuposto de independência entre as observações não é adequado e a presença de sintomas da doença em determinada planta está associada à presença da doença em plantas vizinhas. Investigar a presença da estrutura espacial entre as plantas é um dos objetivos de tais estudos e as estratégias de modelagem devem incluir explicitamente elementos que permitam identificar tais estruturas.

O modelo autologístico (Besag, 1972) é uma proposta para descrever a incidência de doenças em plantas e considera o estado da planta em um sistema de resposta binária (presença ou ausência de sintomas), com incorporação da dependência espacial, ou autocorrelação espacial, a partir do estado da doença em plantas vizinhas (Krainski et al., 2008). A escolha de plantas vizinhas a serem utilizadas na construção das covariáveis define a estrutura de vizinhança assumida pelo modelo. O modelo autologístico estende o modelo logístico usual, pertencente à família dos modelos lineares generalizados (McCullagh & Nelder, 1989; Demétrio & Cordeiro, 2007), e constrói covariáveis a partir da resposta observada na vizinhança de cada planta, por meio da configuração espacial dos dados de incidência de doenças.

Em plantas cítricas, os dados de incidência de doenças podem ser coletados em inspeções periódicas dos pomares, o que exige extensões temporais de modelos espaciais, tais como o modelo autológico. Krainski et al. (2008) ajustaram modelos autológicos para incidência de morte súbita em citros de forma a analisar a presença da doença em plantas vizinhas no tempo contemporâneo à avaliação, no tempo anterior, e em um modelo com ambos os tempos. Czermainski (2006) ajustou modelos para dados de leprose de citros e observou a influência das covariáveis de vizinhança defasadas no tempo. Em ambos os estudos, foi ajustado um modelo para cada uma das avaliações. A construção de um modelo único, que incorpore os dados de todas as avaliações, pode trazer mais informações sobre os patossistemas estudados.

O modelo autológico descreve de forma explícita o padrão espacial de doenças em plantas, detectando a existência de padrões e quantificando o efeito da presença da doença, em diferentes estruturas de vizinhança, sobre a probabilidade de uma planta tornar-se doente. Encontrar a probabilidade de uma planta estar doente, dado o estado das plantas na vizinhança, contribui na compreensão da dinâmica da doença. Um fato interessante dos modelos autológicos espaço-temporais considerados no presente trabalho é de tratar conjuntamente dados provenientes de diversas avaliações ao longo do tempo e considerar vizinhanças no espaço e no tempo, bem como a relação entre a presença do vetor e a probabilidade de ocorrência da doença.

Entre os fatores que limitam a produtividade da citricultura brasileira e aumentam seus custos de produção destacam-se as doenças, principalmente as viroses, como a leprose dos citros (Marques et al., 2007). Causada pelo *Citrus leprosis virus* (CiLV), é uma doença endêmica nas regiões produtoras do Estado de São Paulo e reduz a produção e o período de vida útil das plantas afetadas (Rodrigues, 2000). Como o CiLV não é sistêmico e não é naturalmente transmitido por material propagativo infectado e nem mecanicamente, a dispersão da doença

no campo ocorre exclusivamente pela alimentação e circulação do ácaro *Brevipalpus phoenicis* Geijskes na planta e entre as plantas afetadas (Rodrigues, 2000). O estudo da relação espacial e temporal da associação entre a incidência de plantas infestadas por *B. phoenicis* e a incidência de leprose dos citros, pode trazer estimativas mais precisas sobre o crescimento da epidemia, no tempo e no espaço (Czermainski, 2006). O conhecimento desses padrões no tempo e no espaço auxilia a descrição da dinâmica da doença, levanta ou avalia hipóteses biológicas sobre mecanismos de propagação e orienta na proposição de métodos para controle da epidemia focados na presença da doença, e não somente na presença do vetor (Bassanezi & Laranjeira, 2007).

O objetivo deste trabalho foi propor estratégias de modelagem aplicadas aos dados de incidência de leprose dos citros, por meio do uso de um modelo autologístico espaço-temporal. Avaliaram-se a adequação do modelo autologístico na análise de dados provenientes de avaliações feitas em diferentes momentos; na detecção de padrões espaciais da doença pela avaliação de diferentes estruturas de vizinhança; na consideração do efeito defasado de covariáveis de vizinhança; e na avaliação do efeito do ácaro transmissor na probabilidade de nova infecção.

Material e Métodos

Para a construção do modelo autologístico espaço-temporal foram analisados dados de incidência de leprose dos citros, em um talhão de laranjeira 'Valência' enxertada sobre limoeiro cravo, plantado em 1996 e localizado no município de Santa Cruz do Rio Pardo, SP (22° 53' 56" S , 49° 37' 58" O). O talhão apresentava 20 linhas de plantas, com 58 plantas em cada linha. O espaçamento entre linhas era de 7,5 metros e de 3,8 metros, na linha. Os dados foram coletados em 23 avaliações, em intervalos de aproximadamente 22 dias, entre os períodos de

junho de 2003 e novembro de 2004. Nesse período, não foram realizadas pulverizações com acaricidas no talhão, de modo a não afetar a população do ácaro da leprose.

Em cada avaliação, foram coletadas informações sobre os sintomas da doença e a presença do ácaro transmissor em cada planta do talhão. A avaliação dos sintomas da doença foi feita pela contagem de frutos, ramos e folhas com sintomas de leprose, com observação de 25 frutos, 25 folhas e 25 ramos por quadrante do dossel, amostrados a esmo (Czermainski, 2006), totalizando 100 unidades de observação por tipo de estrutura por planta. O número de ácaros da leprose em todas as plantas foi obtido pela observação em cinco frutos, localizados no interior das copas, provenientes da florada principal, e em cinco ramos externos da copa (Czermainski, 2006). A partir dos registros de infestação de ácaros e de infecção pelo CiLV (sintomas da doença) nas plantas, foram obtidas as incidências codificadas de maneira binária, com 0 representando ausência do evento: presença de ácaro ou de sintoma; e 1 representando a presença do evento. Também foi registrado o número de ácaros na planta.

Krainski et al. (2008) descreve o modelo autológico aplicado a um único instante de tempo. Tal modelo é expandido neste artigo para permitir estimar a probabilidade de determinada planta, na i -ésima linha e j -ésima coluna, estar doente, por meio da combinação linear do estado da doença (doente/sadia) nas plantas vizinhas, além de outras possíveis covariáveis. Neste artigo, foram consideradas como resposta, em cada tempo, somente as plantas que não estavam infectadas no instante anterior, ou seja, foi modelada a probabilidade de ocorrência de uma nova infecção, por meio da seguinte equação:

$$P(Y_{ijt} = 1 | x_{ij}, y_{ijt}) = \frac{\Delta_t \exp(\eta_{ijt})}{1 + \Delta_t \exp(\eta_{ijt})}, \quad (1)$$

em que, $\eta_{ijt} = \beta_0 + \sum_{k=1}^r \beta_k x_{ijk} + \sum_{m=1}^s \lambda_m y_{ijtm}$; x_{ijk} representa as covariáveis usuais associadas à planta na i -ésima linha e j -ésima coluna; y_{ijtm} representa as covariáveis de vizinhança da ij -ésima planta no tempo t ; os β 's são parâmetros usuais de regressão de ordem k ; λ 's são

parâmetros que quantificam a autocorrelação espacial da estrutura de vizinhança de ordem m e Δ_t são os intervalos de tempo entre avaliações, tratados nas análises como termos de correção dos valores observados para diferentes intervalos de tempo a fim de torná-los comparáveis, “*offset*” no modelo (Besag, 1972). Particularmente o trabalho assume as seguintes covariáveis de vizinhança, $Y_{1ijt} = (y_{i-1,j,t} + y_{i+1,j,t})$, $Y_{2ijt} = (y_{i,j-1,t} + y_{i,j+1,t})$ que formam, respectivamente, a covariável dentro da linha de plantio e a covariável entre as linhas de plantio.

O método de estimação dos parâmetros usado foi o de pseudo-verossimilhança (Besag, 1975), definida como o conjunto de valores que maximiza o logaritmo da função de pseudo-verossimilhança (Viola et al., 2008).

$$l(p_i) = \sum_{i=1}^n y_i \log(p_i) + \sum_{i=1}^n (1 - y_i) \log(1 - p_i) .$$

Entretanto, os erros-padrão desses estimadores são inválidos em razão da reutilização dos dados, na construção das covariáveis. Gumpertz et al. (1997) sugerem um procedimento “*bootstrap*” utilizando o amostrador de Gibbs para manter o padrão espacial dos dados na re-amostragem. Krainski et al. (2008) descrevem um algoritmo implementado que permite a obtenção das estimativas e erros padrão por re-amostragem.

Para a análise dos dados de presença de novos casos de incidência de leprose foram adotados diferentes modelos autologísticos espaço-temporais. Os modelos testados incluíram covariáveis construídas a partir da incidência da doença em plantas vizinhas, não apenas no mesmo instante de tempo, como também em instantes anteriores. Considerou-se, ainda, a inclusão de termos que refletissem a presença da doença e a presença ou o número de ácaros observados em avaliações anteriores na própria planta.

As equações dos diferentes modelos autologísticos considerados são apresentadas na Tabela 1. Os modelos diferem quanto a quais covariáveis são incluídas, conforme descrição apresentada mais adiante. Os modelos apresentam covariáveis usuais x_{ijk} que refletem a presença do ácaro transmissor em cada planta, na i -ésima linha e j -ésima coluna. Consideraram-se duas formas para essas covariáveis: a primeira (x_{ij1}) é a presença ou ausência do ácaro na planta, na avaliação anterior ($t-1$) e a segunda (x_{ij2}) é o número de ácaros na planta.

A primeira alternativa considerada foi a de modelar os dados de uma avaliação t , considerando covariáveis de vizinhança dentro da linha e entre linhas de plantas no período de tempo anterior $t-1$. Esse modelo (M1) permite verificar se o estado da doença na planta pode estar determinado pela condição dela mesma no tempo anterior, além de refletir o contágio da doença pela vizinhança do passado.

O segundo modelo (M2) considerou as mesmas covariáveis de vizinhança do modelo M1, porém na mesma avaliação. Esse modelo reflete um contágio por fontes adicionais que não foram capturadas no M1, talvez por outros aspectos que não só a influência das plantas vizinhas doentes na avaliação anterior.

A incidência de ácaro vetor do CiLV na planta em avaliações anteriores pode influenciar a probabilidade da planta apresentar os sintomas da doença na avaliação atual, uma vez que após a inoculação do vírus pelo ácaro existe um período de incubação da doença de 17 a 60 dias antes do aparecimento dos sintomas (Rossetti et al., 1969; Chiavegato et al., 1982). A fim de avaliar e quantificar este efeito, uma covariável foi construída a partir da ocorrência do ácaro e acrescentada aos modelos anteriores, definindo-se três novos modelos - M3, M4 e M5 sendo que M3 não considera covariáveis de vizinhança e M4 e M5 as consideram da mesma forma que M1 e M2, respectivamente. Avaliou-se, ainda, se o número de ácaros na planta po-

deria explicar melhor a probabilidade de ocorrência da leprose ao invés da simples incidência do ácaro, o que deu origem aos modelos M6, M7 e M8.

Os modelos considerados sugerem, por meio das covariáveis incluídas, diferentes formas de explicar a dispersão da doença que podem ser avaliadas pela comparação entre seus ajustes, o que é determinado pelo valor da verossimilhança maximizada. Os modelos também foram comparados pelo critério de informação de Akaike (AIC), segundo o qual o melhor modelo é o que apresenta o menor valor. O AIC é dado por $2 \cdot \log(L(\hat{\lambda}, y)) + 2k$, em que a verossimilhança maximizada é penalizada por k (número de parâmetros incluídos no modelo).

As análises foram implementadas no ambiente estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008), utilizando o pacote stLattice (Krainski & Ribeiro Jr, 2008). Os dados e códigos estão disponibilizados na página de “paper companions” do LEG/UFPR, <http://www.leg.ufpr.br/papercompanions>.

Resultados e Discussão

A incidência de leprose foi de 0,1%, na primeira avaliação realizada, e atingiu 32,76%, na última avaliação. As estimativas dos parâmetros e a correspondente significância, bem como os valores dos AIC associados a cada modelo ajustado, são mostrados na Tabela 2. Foram obtidas estimativas significativas dos coeficientes nos modelos ajustados, o que indica que foi detectado padrão espacial na ocorrência de novos casos da doença. Ao se fazer a comparação dos valores de AIC dos modelos M3 com M4 e M5, e ainda M6 com M7 e M8, na Tabela 2, observa-se que o padrão espacial está presente e que os modelos que incluem o estado da doença em plantas vizinhas possuem melhor ajuste. Nos modelos que incluíram covariáveis de vizinhança, tanto o efeito de plantas infectadas na linha de plantio quanto entre as

linhas se mostraram significativos. Esse resultado corrobora com os resultados de Czermainski (2006) e de Bassanezi & Laranjeira (2007) que observaram padrões de agregação para as plantas com sintomas de leprose dos citros, mostrando que plantas mais próximas das infectadas são mais susceptíveis ao contágio da doença, o que indicaria que o movimento do ácaro infectivo ocorre preferencialmente entre plantas dentro da linha de plantio, ou seja, a curtas distâncias (Bassanezi & Laranjeira, 2007).

Nas comparações de modelos anteriormente mencionados nota-se ainda que a inclusão das variáveis de vizinhança torna não significativo o coeficiente da covariável da presença de ácaro. Os modelos que incluíram a covariável de presença do ácaro não apresentaram ajustes superiores aos correspondentes sem essa covariável. As comparações de M7 com M1, M5 com M2 e M8 com M2 confirmam este resultado. Os modelos M4 e M5 mostraram ajustes superiores aos correspondentes M7 e M8, o que indica que o uso do número de ácaros não melhora o ajuste em comparação à simples anotação de presença ou ausência. Portanto, considerar o número de ácaros por planta não implicou em vantagens no ajustamento, em relação à incidência binária (presença/ausência) do ácaro na planta. Na prática, esse resultado significa que para a estimativa do nível de controle do ácaro da leprose, bastaria apenas quantificar a proporção de órgãos das plantas avaliadas com a presença do ácaro, sem a necessidade contagem do número de ácaros por órgão. Estando o ácaro infectivo, a presença de um como de vários ácaros é suficiente para determinar se a planta ficará doente ou não.

A comparação dos valores de AIC de M1 com M2, M5 com M4 e M8 com M7, na Tabela 2, mostra que os modelos com covariáveis de estrutura de vizinhança na mesma avaliação mostram melhor ajuste do que as construídas com observações da avaliação anterior. Entretanto, ressalte-se que, no segundo caso, as covariáveis de vizinhança permaneceram significativas, o que é interessante, na prática, por permitir antecipar resultados de um próximo instante de

tempo. Portanto, covariáveis na mesma avaliação apresentam melhor capacidade descritiva, enquanto que na avaliação anterior conferem poder preditivo ao modelo.

Por meio dos coeficientes dos modelos ajustados pôde-se calcular, pela equação (1), a probabilidade de a planta estar doente dado o estado das plantas vizinhas e da planta apresentar ou não incidência do ácaro, na avaliação anterior conforme exemplificado a seguir. Os resultados desses cálculos mostram que a probabilidade da planta apresentar a doença, dado que as duas plantas vizinhas na linha de plantio e as duas plantas vizinhas entre linhas (vizinhas das linhas adjacentes) estejam doentes, além de a planta apresentar incidência de ácaro na avaliação anterior, é de 0,419. Por outro lado, a probabilidade da planta apresentar a doença, dado que as duas plantas na linha e entre linhas estejam doentes, e que a planta não apresente incidência de ácaro na avaliação anterior, é de 0,398. Portanto, em um período de tempo de aproximadamente 22 dias, intervalo aproximado entre as avaliações, uma planta sadia tem uma vez mais chance de adquirir o vírus se estiver hospedando o ácaro vetor, dado que as duas plantas vizinhas na linha e as duas entre linhas de plantas estejam doentes.

Quando o interesse for apenas de observar a influência do estado das plantas vizinhas, sem considerar a presença do ácaro, os cálculos das probabilidades mostram que uma planta sadia tem probabilidade de 0,090 de apresentar leprose se uma vizinha na linha de plantio e outra vizinha entre as linhas estiverem doentes. Quando há duas plantas vizinhas doentes, dentro da linha, a probabilidade de a planta apresentar a doença é maior, se comparado com duas plantas doentes entre as linhas de plantio, 0,202 e 0,038, respectivamente. Isso pode estar refletindo o espaçamento entre as plantas, que nesse caso é menor dentro da linha de plantio.

A metodologia apresentada aqui não é restrita à análise de dados com incidência de leprose dos citros, mas pode ser usada na avaliação de padrões espaço-temporais e efeitos de fa-

tores que afetem doenças de plantas em condições análogas de configuração espacial e disponibilidade de dados.

Conclusões

1. A análise dos dados mostrou clara evidência do padrão espacial da doença, permitindo quantificar a pressão de infecção como função do estado da doença em plantas vizinhas.
2. A partir dos modelos ajustados é possível quantificar a probabilidade de uma planta não infectada passar a mostrar sintomas da doença, dado a presença do ácaro vetor e o estado de saúde das plantas vizinhas, no espaço ou no tempo.
3. A incidência da leprose dos citros em plantas vizinhas tanto dentro da linha de plantio quanto entre as linhas aumenta a chance das plantas apresentarem sintomas da doença.
4. A presença do ácaro vetor na planta, embora relacionada com a doença, deixa de contribuir para quantificar a probabilidade de infecção quando a informação do estado da doença nas vizinhas é incluído no modelo.

Agradecimentos

À Fapesp pelo suporte financeiro para a obtenção dos dados de campo (processo 01/022066-1) e ao Fundecitrus pela concessão dos dados. Aos revisores anônimos e ao Editor os diversos comentários que contribuíram para o texto. Este trabalho é parte da dissertação de mestrado do primeiro autor no Departamento de Ciências Exatas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Referências

- BASSANEZI, R.B.; LARANJEIRA, F.F. Spatial patterns of leprosis and its mite vector in commercial citrus groves in Brazil. **Plant Pathology**, v.56, p.97-106, 2007.
- BESAG, J. Nearest-neighbour systems and the auto-logistic model for binary data. **Journal of the Royal Statistics Society, Series B**, v. 34, p.75-83, 1972.
- BESAG, J. Statistical analysis of non-lattice data. **The Statistician**, v.24, p.179-195, 1975.
- CHIAVEGATO, L.G.; MISCHAN, M.M.; SILVA, M.A. Prejuízos e transmissibilidade de sintomas de leprose pelo ácaro *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari: tenuipalpidae) em citros. **Científica**, v.10, p.265-271, 1982.
- CZERMAISNKI, A.B.C. **Dinâmica espaço-temporal de populações do patossistema leprose dos citros em condições naturais de epidemia**. 2006. 91p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- DEMÉTRIO, C.G.B.; CORDEIRO, G.M. Modelos lineares genrelizados. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 12., 2007, Santa Maria. **Minicurso**. Maria: UFSM, 2007. 159p.
- GUMPERTZ, M.L.; GRAHAM, J.M.; RISTAINO, J.B. Autologistic model of spatial pattern of Phytophthora epidemic in bell pepper: effects of soil variables on disease presence. **Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics**, v.2, p.131-156, 1997.
- KRAINSKI, E.T.; RIBEIRO JR, P.J.; **Um pacote para modelos autologísticos**. 2008. Disponível em <<http://www.leg.ufpr.br/~elias/stLattice/>>. Acesso em: 18 jan. 2008.
- KRAINSKI, E.T.; RIBEIRO JR, P.J.; BASSANEZI, R.B.; FRANCISCON, L. Autologistic model with an application to the citrus sudden death disease. **Scientia Agricola**, v.65, p. 447-565, 2008.
- MARQUES, J.P.R.; FREITAS-ASTÚA J.; KITAJIMA, E.W.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA,

B. Lesões foliares e de ramos de laranjeira-doce causadas pela leprose-dos-citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1531-1536, 2007.

McCULLAGH, P.; NELDER, J.A. **Generalized linear models**. 2.ed. London: Chapman and Hall, 1989. 511p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. **R Foundation for Statistical Computing**. Vienna, Austria. 2008. Disponível em <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 13 jan. 2008.

RODRIGUES, J.C.V.; **Relações patógeno-vetor-planta no sistema leprose dos citros**. 2000. 168p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ROSSETTI, V.; LASCA, C.C.; NEGRETTI, S. New developments regarding leprosis and zonal chlorosis of citrus. In: INTERNATIONAL CITRUS SYMPOSIUM, 1.. **Proceedings**. Riverside. v.3, p.1453-1456. 1969.

VIOLA, D. N.; DEMÉTRIO, C. G. B.; RIBEIRO JR, P. J.; MANLY, B. F. Uma avaliação do estimador de pseudo-verossimilhança para modelos autolísticos espaciais. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 26, p. 61-68, 2008.

Tabela 1. Equações dos modelos autolísticos espaço-temporais propostos para o ajuste dos dados binários de incidência de leprose dos citros.

Modelos	Equações
M1	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{1(i,j,t-1)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t-1)}$
M2	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{1(i,j,t)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t)}$
M3	$\beta_0 + \beta_1 x_{ij1}$
M4	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{1(i,j,t-1)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t-1)} + \beta_1 x_{ij1}$
M5	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{1(i,j,t)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t)} + \beta_1 x_{ij1}$
M6	$\beta_0 + \beta_1 x_{ij2}$
M7	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{1(i,j,t-1)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t-1)} + \beta_1 x_{ij2}$
M8	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{1(i,j,t)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t)} + \beta_1 x_{ij2}$

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros e significância para os modelos ajustados aos dados de incidência de leprose dos citros.

Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\lambda}_1$	$\hat{\lambda}_2$	$\hat{\beta}_1$	AIC
M1	-4,3744**	1,2305**	0,6336**	-	3535,76
M2	-4,4746**	1,5493**	0,6166**	-	3223,65
M3	-3,9571**	-	-	0,5693**	3922,80
M4	-4,4101**	1,2188**	0,6169**	0,1755	3535,46
M5	-4,7217**	1,5449**	0,6099**	0,0849	3225,13
M6	-3,8551**	-	-	0,0167**	3938,14
M7	-4,3792**	1,2284**	0,6288**	0,0026	3537,53
M8	-4,7057**	1,5490**	0,6158**	0,0006	3225,64

** significativos a 1% de probabilidade.