**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Dinâmica espaço-temporal de populações do patossistema leprose dos citros
em condições naturais de epidemia**

Ana Beatriz Costa Czermainski

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Fitopatologia

Piracicaba

2006

Ana Beatriz Costa Czermainski
Engenheiro Agrônomo

**Dinâmica temporal e espacial de populações do patossistema leprose dos citros
em condições naturais de epidemia**

Orientadora:
Prof.^a Dra. **LILIAN AMORIM**
Co-orientador:
Prof. Dr. **PAULO JUSTINIANO RIBEIRO JÚNIOR**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Fitopatologia

Piracicaba
2006

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Czermainski, Ana Beatriz Costa

Dinâmica espaço-temporal de populações do patossistema leprose dos citros em condições naturais de epidemia / Ana Beatriz Costa Czermainski. - - Piracicaba, 2006.

90 p. : il.

Tese (Doutorado) -- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.
Bibliografia.

1. Ácaros 2. Citricultura 3. Distribuição espacial 4. Epidemiologia 5. Incidência
6. Leprose I. Título

CDD 634.3

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Aos meus pais, Aileda e Julio, pela essência do que sou.

Aos meus filhos, Igor e Betina, minhas razões para evoluir.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa – pela oportunidade desse treinamento.

Ao Departamento de Entomologia, Fitopatologia e Zoologia Agrícola – Setor de Fitopatologia - da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pela oportunidade de um curso eclético, que possibilitou suprir minhas necessidades de aperfeiçoamento.

Aos professores orientadores Dra. Lilian Amorim, da ESALQ, e Dr. Paulo Justiniano Ribeiro Junior, da Universidade Federal do Paraná, pela orientação, amizade, confiança em mim depositada e profissionalismo.

Ao Fundecitrus e, em especial, ao pesquisador Dr. Renato Beozzo Bassanezi, pela confiança em ceder os dados para este estudo e a constante disposição em esclarecer, sugerir e trocar idéias.

Ao estatístico Elias Teixeira Krainski pelo desenvolvimento computacional e adaptação das ferramentas do Rcitrus, utilizado nas análises dos dados.

Aos professores Dra. Lilian Amorim e Dr. Armando Bergamin Filho que primeiro, através de seus escritos, me despertaram o interesse e, com seus ensinamentos, a paixão pela Epidemiologia Vegetal.

Ao meu marido, Paulo Ricardo Dias de Oliveira, pelo apoio incondicional, paciência e incentivo.

Aos meus filhos, Igor e Betina, pela compreensão e por me perdoarem por tantos dias de ausência.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 O patossistema ‘citros-CiLV- <i>Brevipalpus</i> ’	12
2.2 Análise temporal de epidemias	16
2.2.1 Uso de regressão logística em epidemiologia	18
2.3 Análise espacial de epidemias	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 Material	23
3.1.1 Descrição do talhão e coleta de dados	23
3.2 Métodos	24
3.2.1 Análise temporal de medidas no talhão - crescimento da população de ácaros <i>B. phoenicis</i> e da ‘população da doença’ e fatores explanatórios	24
3.2.2 Análise da relação entre a incidência de leprose e covariáveis defasadas no tempo - modelos de regressão logística	27
3.2.3 Análise do padrão espacial das incidências de plantas infestadas por <i>B. phoenicis</i> e de plantas com leprose dos citros	30
3.2.3.1 Ferramentas descritivas do padrão espacial	30
3.2.3.2 Modelagem do padrão espacial da incidência através do modelo autológico	31
4 RESULTADOS	33
4.1 Ciclos fenológicos observados no talhão e o comportamento do clima	33
4.2 Análise temporal de populações do patossistema leprose dos citros	34
4.2.1 O crescimento da população do ácaro <i>B. phoenicis</i>	34
4.2.2 O progresso temporal da epidemia – análises no talhão	41
4.2.3 Análise temporal da doença no nível hierárquico planta	48
4.2.4 A influência sobre a incidência na planta de informações defasadas no tempo na própria planta e em sua vizinhança - análises de regressão logística	52
4.3 Análise do padrão espacial de populações do patossistema leprose dos citros	63

4.3.1 Descrição do padrão espacial da população do ácaro	63
4.3.2 O padrão espacial das plantas doentes	66
4.3.3 O efeito de vizinhança examinado através do modelo autológico	68
5 DISCUSSÃO	71
6 CONCLUSÕES	78
REFERÊNCIAS	79
APÊNDICES	86

RESUMO

Dinâmica espaço-temporal de populações do patossistema leprose dos citros em condições naturais de epidemia

A leprose dos citros, causada por *Citrus leprosis virus* (CiLV), é uma doença endêmica nas regiões produtoras do estado de São Paulo que causa sérios prejuízos à produção. O vírus é transmitido exclusivamente pelo ácaro *Brevipalpus phoenicis* e medidas de controle da doença visam principalmente reduzir a população do vetor através de aplicações de acaricidas. Apesar do controle da doença ser determinado por meio de amostragens da população do ácaro, não há nenhum estudo de longo prazo que correlacione a população do vetor com a incidência da doença. O objetivo deste trabalho foi caracterizar os padrões de crescimento temporal e os padrões espaciais da distribuição do ácaro e da doença e estabelecer uma associação entre as duas populações. A população do ácaro e os sintomas de leprose foram monitorados durante três anos sob condições naturais de epidemia, em um talhão de laranja doce, variedade Valência enxertada sobre limão cravo. A população de *B. phoenicis* apresentou flutuações, mas com picos crescentes ao longo do período. As oscilações na sua densidade dependeram principalmente da fenologia das plantas e menos das condições climáticas. O crescimento da incidência da doença foi lento e seguiu comportamento logístico. Apesar de não ser sistêmica a leprose dos citros comporta-se como poliética com acúmulo de inoculo de ano para ano. A infecção em ramos é a principal causa do caráter cumulativo da doença. Através de regressão logística, a probabilidade de doença foi modelada em função de covariáveis construídas de forma a captar informação da vizinhança das plantas no tempo passado a respeito da incidência do ácaro e da própria doença. Não houve correlação entre o nível de doença numa avaliação e a quantidade de ácaros em avaliações anteriores, em períodos pregressos de até 70 dias. O padrão espacial de plantas com sintomas foi altamente agregado e não correspondeu à distribuição espacial de plantas infestadas pelo ácaro, que foi fracamente agregada. A probabilidade de infestação e de infecção nas plantas foi modelada como dependente do estado das plantas vizinhas, quanto às próprias características, através de modelos autológicos. A probabilidade de plantas estarem infestadas pelo ácaro não depende de sua vizinhança estar ou não hospedando a praga, ao mesmo tempo. Já a probabilidade de doença em uma árvore depende de árvores vizinhas estarem doentes naquele momento. O padrão espacial da incidência de plantas com sintomas visíveis provavelmente reflete o padrão de infestação pelos ácaros contaminados por CiLV, pois existe uma subpopulação de vetores inserida na população de *B. phoenicis*. O controle da doença baseado na população de *B. phoenicis*, não é portanto, recomendável. A amostragem para a tomada de decisão de controle deve ser pautada pela presença de sintomas e ácaros e não somente pela presença de ácaros.

Palavras-chave: *Citrus sinensis*; *Brevipalpus phoenicis*; *Citrus leprosis virus*; Incidência; Progresso temporal; Padrão espacial

ABSTRACT

Spatio-temporal dynamics of populations of the citrus leprosis pathosystem under natural epidemic conditions

Citrus leprosis, caused by *Citrus leprosis virus* (CiLV), is a disease endemic to the producing regions of the state of São Paulo, where it has a heavy impact on production. The virus is transmitted exclusively by the *Brevipalpus phoenicis* mite and disease control measures aim to reduce the vector population mainly by acaricide applications. Although the disease control is based on mite population samplings, there are no long-term studies available that correlate the vector population with the disease incidence. The objective of this study was to characterize temporal and spatial growth patterns of the mite, disease distribution and the association between the two populations. The mite population and citrus leprosis symptoms were monitored for three years under natural epidemic conditions, in a sweet orange stand of the variety Valencia, grafted unto *Citrus limonia* Osbeck. The *B. phoenicis* population presented fluctuations, although with increasing peaks along the study period. The oscillation density depended more on the tree phenology than on climate conditions. The disease incidence increased slowly under a logistic model. Although citrus leprosis is not systemic, it has a polietic performance and builds up inoculum year after year. The infection of branches is the main cause of the cumulative nature of the disease. The disease probability was modeled by a covariable constructed to capture information of the trees surroundings in the past, concerning mite incidence and the disease itself. There was no correlation between the disease level in one evaluation and the mite quantity in earlier evaluations, in antecedent periods of up to 70 days. The spatial pattern of trees with symptoms was highly aggregated and did not correspond to the spatial distribution of mite-infested trees, which was weakly aggregated. The probability of tree infestation and infection was modeled as dependent of the state of the surrounding trees through autologistic models. The probability of mite infestation of a tree does not depend on whether the neighbor trees host the pest or not, but on whether the neighbor trees are diseased at that moment. A vector subpopulation is inserted in the *B. phoenicis* population. The spatial pattern of tree incidence with visible symptoms probably reflects the infestation pattern by CiLV-contaminated mites. Sampling for decision taking regarding disease control must be based on the presence of symptoms as well as of mites, rather than on the mite population only.

Keywords: *Citrus sinensis*; *Brevipalpus phoenicis*; *Citrus leprosis virus*; Incidence; Temporal progress; Spatial pattern

1 INTRODUÇÃO

Nos modernos sistemas produtivos de frutas preconiza-se o uso de tecnologias de baixo impacto ambiental bem como a preservação da saúde do consumidor e dos agentes envolvidos em todas as etapas do processo produtivo. No entanto, para viabilizar a produção é necessário o uso de agroquímicos os quais acarretam riscos para o ambiente e para o homem.

Uma forma de reduzir agroquímicos consiste em racionalizar o seu uso embasando a decisão de intervenção no monitoramento dos componentes biológicos e ambientais que condicionam a ocorrência de epidemias. A tomada de decisão de intervenções químicas deve estar amparada por diagnósticos precisos a fim de satisfazer os sistemas de certificação. O monitoramento das áreas de plantio, quanto às populações de fitopatógenos ou de seus efeitos sobre a planta devem constituir a base desse diagnóstico.

O monitoramento de campo é parte essencial do manejo integrado de pragas. Quando conduzido sistematicamente sobre uma base quantitativa, ele gera a informação necessária para detectar mudanças importantes na atividade da praga ou no crescimento da doença e redimensionar decisões de manejo. A amostragem para obtenção de dados de severidade ou de incidência de pragas e doenças é o principal aspecto do monitoramento e é de fundamental interesse para estudos epidemiológicos que visem diagnósticos precisos e intervenções seguras.

Para Hughes; Gottwald (1998), a análise do padrão de incidência no campo é um precursor da investigação de estratégias amostrais e da análise dos dados que elas geram. Muitos autores citam a importância em se conhecer a dinâmica temporal e o padrão espacial da doença para o estabelecimento de planos amostrais (MADDEN; HUGHES; ELLIS, 1995; KRITZMAN et al., 2003). A relação entre planos amostrais e padrões espaciais de epidemias tem sido abordada tanto de forma genérica/teórica (MADDEN; HUGHES, 1995, 1999; HUGUES; MADDEN, 1994, 1995, 1996; MADDEN; HUGHES; MUNKVOLD, 1996; FERRANDINO, 2004) como dirigida a patossistemas específicos (MADDEN; HUGHES; ELLIS, 1995; TURECHEK; MADDEN, 1999; CHAREST, et al., 2002; KRITZMAN et al., 2003; DALLOT et al., 2003; TURECHEK; MAHAFFEE, 2004). Apesar de ser crescente e já considerável o interesse em aspectos estatísticos de dados de incidência de doenças (RIDOUT; XU, 2000), não se dispõe de métodos objetivos de determinação de aspectos específicos de delineamento amostral, como tamanho de amostra, que envolvam a análise prévia do padrão espacial. HUGHES; MADDEN

(1994) salientam a importância, em especial para planejar processos amostrais, da definição do modelo estatístico do padrão espacial ou da determinação da função de densidade de probabilidade que melhor descreve dados de incidência.

Ferramentas de análise da dinâmica temporal e espacial tiveram, primeiramente, desenvolvimento maior no que diz respeito a insetos. Até recentemente, autores manifestavam-se no sentido de que eram poucos os trabalhos científicos que abordavam esses aspectos para o caso de doenças. Porém, como citado por Maanen; Xu (2003), tem havido um crescente interesse na descrição estatística e modelagem teórica da dinâmica espaço-temporal de epidemias, especialmente para dados de incidência, onde plantas individuais ou partes de plantas são classificadas como sadias ou doentes.

Dentre os sistemas produtivos de fruteiras pode ser citado o de citros como de grande importância econômica e que engloba patossistemas de relevância e para os quais não estão estabelecidos planos amostrais para o acompanhamento do crescimento das epidemias.

No Brasil, espécies de *Citrus* spp., especialmente laranjas (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) são encontradas naturalmente infectadas pelo vírus da leprose dos citros (*Citrus leprosis virus* CiLV) transmitido pelo ácaro *Brevipalpus phoenicis* (Acari: Tenuipalpidae). No Estado de São Paulo, mais de 60% dos pomares apresentam sintomas de leprose (SALVA; MASSARI, 1995). Esta doença tem sido considerada, na última década, a mais importante virose na citricultura nacional, pois reduz a produção e o período de vida das plantas de citros (RODRIGUES, 2000).

O controle da leprose dos citros no Estado de São Paulo se dá principalmente por aplicações de acaricidas, visando reduzir a população do ácaro vetor. As estimativas dos gastos anuais com acaricidas, na citricultura nacional, são da ordem de 90 milhões de dólares, dos quais 62 milhões de dólares são destinados ao controle do ácaro vetor da leprose. Isto tem representado em torno de 35% dos custos com insumos e ao redor de 14% do custo total de um pomar em produção (BASSANEZI; LARANJEIRA, 2006).

O controle do ácaro tem sido recomendado independentemente da condição para a ocorrência da doença, ou seja, da presença ou ausência de plantas infectadas com o vírus da leprose. Segundo Rodrigues et al. (2003), em geral, a decisão sobre as pulverizações é baseada em processo amostral empírico com níveis mínimos de ocorrência de *B. phoenicis* variando entre 1 e 30% das amostras. Nessas recomendações não estão especificados o método de obtenção ou a magnitude das amostras sobre as quais seriam calculados os níveis de ação, e nem relacionam

esses aspectos com a delimitação da população alvo que seria o talhão de citros ou a propriedade citrícola. Por outro lado, o padrão espacial de epidemias raramente é uniforme, portanto estimativas efetuadas sob essa pressuposição podem não ser precisas. Características de dispersão do vetor influenciam o delineamento amostral, especialmente tamanho de amostra. Para o patossistema leprose dos citros não há estudo completo sobre o padrão espacial e planos de amostragem não estão validados.

A associação entre o padrão espacial da incidência de plantas infestadas por *B. phoenicis* e da incidência de plantas com leprose dos citros levantadas na mesma oportunidade não leva à relação infestação-infecção devido ao período de incubação da doença e a falta de informação a respeito da contaminação dos ácaros por CiLV. O estudo da relação temporal e espacial dos dois eventos, pode trazer subsídios para monitoramento através de amostragem da população do ácaro e da doença no pomar. Estimativas mais precisas sobre o crescimento da epidemia, no tempo e no espaço, atentando-se para a localização e tamanho dos focos, podem viabilizar o controle do vetor e práticas de intervenção para retirada de órgãos afetados, nas áreas de localização dos focos da doença ao invés da ação na área total.

O objetivo deste trabalho consistiu em descrever as dinâmicas temporal e espacial de populações que compõem o patossistema leprose dos citros e estabelecer a relação entre a população do vetor e a população da doença de modo a formar uma base científica para o desenvolvimento de planos amostrais que subsidiem a tomada de decisão para o controle da epidemia.

Os objetivos específicos deste estudo foram:

- (1) caracterizar o desenvolvimento temporal da população de ácaros *B. phoenicis* e da leprose, em pomar de citros, sob condições naturais de epidemia;
- (2) identificar variáveis climáticas e fenológicas do hospedeiro associadas ao crescimento e flutuação da população do ácaro e ao desenvolvimento da doença;
- (3) identificar covariáveis da incidência de leprose dos citros, defasadas no tempo, relativas à presença do ácaro ou da doença;
- (4) caracterizar o padrão espacial da população de ácaros *B. phoenicis* e da incidência de leprose dos citros em condições naturais de epidemia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O patossistema ‘citros-CiLV-*Brevipalpus*’

Como citado por Nutter (1997) e por Zhang; Holt; Colvin (2000), os patossistemas viróticos apresentam maior complexidade se comparados a doenças devidas a outros patógenos. O primeiro autor referiu-se à maior dificuldade em identificar precisamente os sintomas de viroses quando ocorrem múltiplas doenças, pragas e deficiências nutricionais, que causam sintomas semelhantes àqueles de vírus, e à importância da modelagem da dinâmica temporal à medida que métodos de detecção de vírus aumentaram a sensibilidade e especificidade, diminuindo o risco de erro. No segundo trabalho, os autores referiram-se aos casos, que são maioria, de viroses transmitidas entre plantas por vetores, cuja complexidade é resultante da interação tripla existente entre o vírus, a planta hospedeira e o vetor e aos processos que controlam a transmissão de viroses: a aquisição do vírus a partir de plantas infectadas e a inoculação de plantas sadias pelos vetores. A transmissão de viroses por vetores é determinada por muitos fatores tais como a suscetibilidade do hospedeiro, a intensidade de vegetação, o número, mobilidade e estágio de vida dos vetores, a distribuição espacial e o estado dos hospedeiros infectados, e vários outros fatores ambientais e condições climáticas (ZHANG; HOLT; COLVIN, 2000). O movimento e distribuição espacial de vetores afetam a disseminação nas plantas e o progresso da epidemia. Existem relativamente poucos estudos dos processos temporais e espaciais, relacionando a dinâmica da doença na população de plantas hospedeiras e a dinâmica populacional do vetor.

A leprose dos citros ocorre em quase todos os Estados brasileiros que produzem citros e é considerada endêmica no Estado de São Paulo. A doença é causada por *Citrus leprosis virus* (CiLV), cujas partículas foram primeiramente descritas por Kitajima et al. (1972). No Brasil, onde a doença foi constatada em 1933, o CiLV é transmitido, nas condições de campo, pelo ácaro *Brevipalpus phoenicis* Geijskes (Acari: Tenuipalpidae) conhecido vulgarmente como ácaro plano ou ácaro da leprose.

Espécies do gênero *Citrus*, especialmente laranjas (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), são naturalmente infectadas por *Citrus leprosis virus* (CiLV). Partículas estão presentes somente nos tecidos com lesões de leprose, não sendo encontradas em áreas adjacentes assintomáticas (KITAJIMA et al., 1972; COLARICCIO et al., 1995). A não-sistemicidade do vírus amplia a

importância do vetor na epidemiologia da leprose dos citros (RODRIGUES et al., 1994), uma vez que o vírus só será disseminado intra e inter plantas na presença do vetor e não por enxertia de borbulhas infectadas. Por outro lado, como o vírus só é adquirido em tecido infectado, o acesso ao vírus por ácaros avirulíferos é mais restrito. A presença de órgãos sintomáticos é essencial para o aumento da eficiência de transmissão e disseminação da leprose.

A ocorrência de leprose em plantas de citros caracteriza-se pelo aparecimento de lesões causadas pelo vírus associadas ao local de alimentação do ácaro vetor o que pode ocorrer nas folhas, nos ramos e nos frutos. Em cada uma dessas estruturas, os sintomas apresentam características específicas descritas por diversos autores entre eles Rodrigues et al. (2003) e Feichtenberger et al. (2005). Os sintomas são bastante peculiares embora possam ser confundidos com sintomas de cancro cítrico ou clorose zonada quando estas doenças estão presentes. Não há, ainda, antisoro disponível para a detecção de CiLV (RODRIGUES et al., 2003). Bastianel et al. (2006) fazem referência a métodos recentemente desenvolvidos para a diagnose da doença ou detecção de CiLV do tipo citoplasmático em todos os tecidos aéreos das plantas e no vetor, permitindo a detecção do vírus em plantas assintomáticas.

Sob intensa infecção, são registradas sensíveis perdas de produção, pois, com alto número de lesões, ocorre abscisão precoce de frutos e folhas, seca dos ramos e morte dos ponteiros. Isto leva ao enfraquecimento das plantas, especialmente as de laranja doce, e redução da vida útil das árvores debilitadas (NANTES E ATIQUÉ, 1993; ROSSETTI, 1995; RODRIGUES et al., 2003; FEICHTENBERGER et al., 2005).

De fato, a leprose dos citros é bastante complexa. O ácaro vetor, em qualquer uma das fases de seu desenvolvimento, pode adquirir e transmitir CiLV. Porém, a fase adulta tem uma importância destacada, dada sua maior mobilidade e longevidade, o que aumenta muito as chances de se contaminar e transmitir a doença (OLIVEIRA, 1995). Um indivíduo é capaz de múltiplas infecções em transmissões primárias e secundárias simultâneas no pomar, ou seja, árvores são contaminadas por autoinfecção e aloinfecção. Existem evidências da multiplicação do vírus no ácaro vetor, que faz com que este, uma vez contaminado, passe a ser transmissor do vírus ao longo da sua vida mesmo que se alimente posteriormente em tecidos sadios (RODRIGUES et al., 1997), entretanto, a transmissão transovariana do vírus para a sua descendência parece não ocorrer (RODRIGUES et al., 1994; CHIAVEGATO, 1995;

RODRIGUES, 1995). As novas gerações do ácaro que surgem na população, tornam-se virulíferas ao alimentarem-se nas áreas de lesões já existentes que servem como fonte de inóculo.

Abordagens sobre a estrutura e comportamento do patossistema leprose dos citros são encontrados em Oliveira; Donadio (eds., 1995), Rodrigues et al. (2003), Childers et al. (2003), Rodrigues; Oliveira (2005) e a recente revisão de Bastianel et al. (2006).

Ácaros do gênero *Brevipalpus* e especificamente o ácaro vetor do vírus da leprose dos citros, têm sido bastante estudados devido a sua importância econômica como praga de diversos cultivos. *B. phoenicis* são observados durante todo o ano em pomares de citros para as condições de São Paulo, com oscilações na densidade populacional. Vários são os fatores que interferem na flutuação populacional do ácaro entre os quais destacam-se: a fenologia das plantas, a variedade cítrica, a presença de predadores e os fatores climáticos (OLIVEIRA, 1995).

O clima pode influenciar diretamente a população de *B. phoenicis* ou indiretamente ao propiciar condições para o desenvolvimento de possíveis agentes patogênicos que agem sobre os ácaros (OLIVEIRA, 1995) ou para o desenvolvimento da planta cítrica hospedeira, cuja fenologia influencia o estabelecimento e crescimento das sucessivas populações. Flutuações nas populações do ácaro em folhas, em frutos e em ramos apresentam diferenças e são afetadas desigualmente pelos fatores ambientais (RODRIGUES et al., 2003). Diversas pesquisas têm sido dirigidas a determinar com maior precisão o efeito da precipitação ou da umidade relativa do ar e da temperatura sobre o ciclo biológico dos indivíduos e sobre a densidade populacional de *B. phoenicis*.

Ao contrário de outras espécies de ácaros, *B. phoenicis* apresenta comportamento bastante sedentário, escondendo-se em frestas e saliências causadas pela verrugose (*Elsinoe fawcetti*) (BARRETO; PAVAN, 1995). Alves (2004), estudando a influência da dispersão sobre a dinâmica da resistência ao acaricida dicofol, concluiu que *B. phoenicis* tem dispersão limitada seja por caminhamento ou por ação do vento. Através de bioensaios, verificou que após sete dias apenas 3% dos ácaros liberados atingiram distância de 40 a 50 cm. Em condições simuladas de ventos, em velocidades de 23 e de 30 km/h que, segundo o autor, seriam similares às velocidades em condições de campo, não houve deslocamento significativo de ácaros da superfície de frutos. O pouco efeito do vento para dispersão pode ser atribuído à anatomia plana do *B. phoenicis*.

A cinética da população de *B. phoenicis* foi detalhadamente estudada por Kennedy et al. (1996). Neste trabalho, as altas taxas de fertilidade e de sobrevivência e a capacidade reprodutiva,

além de aspectos fisiológicos, foram destacados como fatores que determinam o estabelecimento da população desse ácaro, mesmo sob condições extremamente desfavoráveis.

Oliveira (1995) refere-se a estudos realizados na década de 80, na região citrícola de Bebedouro, SP, que indicaram comportamento diferenciado da população do ácaro sob diferentes condições de umidade relativa do ar e quantidade e frequência de chuvas. Sob estiagem, a população do ácaro atingiu níveis mais altos; os picos observados em setembro-outubro de 1980 e de 1981 foram precedidos de baixa precipitação e UR < 60%. Temperaturas em torno de 20 °C, do período não afetaram seu crescimento. Cardoso et al. (1993) constataram maior densidade populacional do ácaro em julho e agosto em dois anos de monitoramento, com temperaturas entre 19 e 22 °C e sugeriram que temperatura acima de 25 °C ocasiona queda na população. Precipitação de mais de 25 mm levou também a diminuição da população. Trindade; Chiavegato (1994) estudaram o efeito da temperatura sobre o ciclo biológico do *B. phoenicis*. Neste caso, um aumento de temperatura de 23 para 27 °C diminuiu o ciclo em 6 dias (de 29,94 para 23,86 dias). Resultados semelhantes são referidos em Oliveira (1995). Estudos têm mostrado que o desenvolvimento do ácaro da leprose é o mesmo quando a umidade relativa do ar está entre 60 e 90% (SOUZA; OLIVEIRA, 2002), mas que a população do ácaro da leprose aumenta mais rapidamente em plantas submetidas a condições de estresse hídrico (SOUZA et al., 2002).

As variedades cítricas têm sido estudadas quanto à possível resistência ou suscetibilidade diferenciada à leprose (MÜLLER et al., 2005). A variedade Valência está entre as que apresentam sintomas acentuados tanto em frutos como em folhas (RODRIGUES, 2000) e ficou entre as quatro mais afetadas comparativamente entre dez cultivares testadas em ensaio por Rodrigues et al. (2003).

O período entre a infestação com ácaros contaminados e o aparecimento de sintomas varia de 17 a 60 dias, mas a maior parte dos sintomas aparece após 21-30 dias (CHIAVEGATO; SALIBE, 1986; RODRIGUES, 1995). O ácaro infesta toda a planta, mas é encontrado mais facilmente nos frutos (ALBUQUERQUE; OLIVEIRA; BARRETO, 1995).

As medidas preconizadas para o controle da leprose são baseadas na redução das fontes de inóculo do vírus e da população do ácaro vetor. No primeiro caso, recomendam-se o plantio de mudas sadias (ROSSETTI et al., 1997), podas de limpeza nos meses de junho e julho para eliminar os ramos secos ou muito lesionados pela leprose (CATI, 1997; ROSSETTI et al., 1997), catação e remoção de frutos lesionados antes da pulverização e de frutos velhos e caídos após a

colheita (BUSOLI, 1995) e colheita antecipada dos frutos (OLIVEIRA, 1986). No segundo caso, medidas como o plantio de mudas isentas de ácaro, a desinfestação de caixas de coleta e veículos (ROSSETTI et al., 1997), a utilização de medidas que favoreçam a população de inimigos naturais (YAMAMOTO et al., 1992), o controle da verrugose nos frutos (CATI, 1997), o controle de plantas daninhas hospedeiras do ácaro (TRINDADE; CHIAVEGATO, 1994; CATI, 1997), o uso de espécies menos favoráveis ao ácaro da leprose como cobertura verde nos pomares (GRAVENA, 1998) e na instalação de quebra-vento (FEICHTENBERGER, 2000) têm sido recomendadas. Contudo, a principal prática adotada pelos citricultores para o controle do ácaro da leprose e, conseqüentemente, da doença tem sido a pulverização do talhão com acaricidas visando reduzir a população do vetor (PINTO et al., 1995; BASSANEZI; LARANJEIRA, 2006).

Apesar do grande esforço direcionado ao controle de *B. phoenicis*, problemas relacionados à eficiência de controle com alguns acaricidas têm sido esporadicamente reportados por agricultores e técnicos ligados à área citrícola. Outra conseqüência da prática de controle de intensa aplicação de acaricidas, é o desenvolvimento da resistência de *B. phoenicis* aos princípios ativos, fator que vem contribuindo para a redução da eficácia de alguns dos produtos utilizados (OMOTO, 2004; ALVES, 2005).

2.2 Análise temporal de epidemias

Maanen; Xu (2003) resumidamente definem epidemia como o progresso da doença no tempo e no espaço. Cada epidemia tem uma estrutura cuja dinâmica temporal e espacial são conjuntamente determinadas pelas características do patossistema e pelas condições ambientais (BERGAMIN FILHO, 1995).

A caracterização da severidade ou da incidência de doenças ao longo do tempo é de fundamental importância em epidemiologia para descrever a dinâmica da doença. A curva de progresso da doença é obtida pela plotagem de uma medida da extensão da doença, tal como o número de lesões, a quantidade de tecido doente ou o número de plantas com sintomas, contra o tempo. A análise estatística e as propriedades matemáticas da curva geram estimativas de parâmetros como a época de início da epidemia, a forma e a área sob a curva de progresso da doença, a duração da epidemia e as quantidades máxima e final de doença e a taxa de aumento da doença (r) que de fato descreve o progresso temporal da epidemia (BERGAMIN FILHO, 1995; XU; RIDOUT, 1998). É usual o ajuste de modelos matemáticos para a análise de curvas de

progresso de doenças. A cuidadosa avaliação visual dos dados fornece indicativos dos potenciais modelos matemáticos para descrevê-los. São utilizadas técnicas de regressão linear, seguidas de critérios como apreciação do coeficiente de determinação e análise de resíduos para a escolha do melhor modelo (BERGAMIN FILHO, 1995).

Trabalhos têm sido desenvolvidos sobre a dinâmica e flutuação populacional e controle do ácaro, mas pouca informação tem sido obtida sobre a leprose dos citros ou sobre a dinâmica temporal da doença e do seu vetor em conjunto (RODRIGUES et al., 2003, CHILDERS et al., 2003). O estudo da dinâmica e crescimento da população da doença pode ser um componente importante para orientar a tomada de decisão quanto às intervenções no pomar. A descrição do progresso da doença no tempo através do ajuste de modelos de crescimento para cada ciclo da cultura permite uma análise comparativa entre ciclos quanto a taxas de crescimento e interpretação de influências de fatores ambientais e do hospedeiro sobre mudanças no crescimento da epidemia. O modelo logístico é o mais freqüentemente usado para descrever epidemias virais (NUTTER, 1997) e foi adequado para descrever dados de leprose dos citros (RODRIGUES, 2000). Rodrigues et al. (2003) apresentam curvas epidemiológicas para a incidência de folhas com sintomas para as cultivares Valência e Baía.

Para descrever dados de contagem usualmente adota-se o modelo probabilístico de Poisson. Assim, se a variável aleatória Y_t , $t=1,...,n$ representa contagens de determinado atributo com médias μ_t , então $Y_t \sim \text{Pois}(\mu_t)$, com $\text{Var}(Y_t) = \mu_t$. Neste caso, relações com variáveis explicativas podem ser investigadas pela regressão Poisson, um caso particular de modelos lineares generalizados, onde usualmente adota-se uma função de ligação canônica dada por $\log(\mu_t) = \beta_0 + \beta_1 x_t$, onde β_0 e β_1 são os parâmetros do modelo e x_t representa o valor da covariável associado à contagem t . O modelo linear que representa a função de ligação relaciona o logaritmo da média da variável-resposta a uma variável explicativa ou covariável X , chamada também de variável de exposição. Esse modelo pode ser expandido de modo a incorporar outras covariáveis. Os parâmetros β_j 's descrevem a variação percentual no logaritmo da média da incidência de plantas para um aumento de uma unidade na variável de exposição (McCULLAGH; NELDER, 1989). Mila, Carriquiry; Yang (2004) usaram a regressão Poisson para analisar a associação entre contagens de plantas de soja com sintomas de podridão da haste (*Sclerotinia sclerotiorum*) e variáveis preditoras referentes a práticas de manejo do solo e ao clima.

2.2.1 Uso de regressão logística em epidemiologia

A regressão logística tem sido usada em pesquisa epidemiológica, tanto em epidemiologia humana como agrícola, onde respostas binárias, comumente a presença e ausência de doença, são modeladas em função de variáveis preditoras que são possíveis fatores de risco de ocorrência da doença ou fatores de interação com a mesma (GIBSON, 1997; MILA; CARRIQUIRY; YANG, 2003). De Wolf et al. (2003) usaram modelos de regressão logística para identificar variáveis de clima (preditoras) associadas ao desenvolvimento de epidemias de fusariose do trigo (*Gibberella zeae*). As preditoras foram construídas a partir de registros horários dos fatores de clima – temperatura, umidade relativa do ar e precipitação – e envolveram medidas pontuais descritivas ou duração, em horas, de condições pré-especificadas destes fatores. Paul; Munkvold (2004) aplicaram esse método para modelar a relação entre severidade da mancha de cercóspera do milho (*Cercospora zeae-maydis*) e variáveis de pré-plantio. Neste caso, a medida de severidade foi classificada em $<20\%$ e $\geq 20\%$, para obtenção da resposta na forma binária. A incidência de podridão do colmo da soja (*Sclerotinia sclerotiorum*) dentro de campos de cultivo e a prevalência regional (ou incidência entre campos) foi modelada por MILA; CARRIQUIRY; YANG, (2003) em função de variáveis de textura e preparo do solo e variáveis de clima.

Se Y_i é a resposta binária sobre o estado de doença de uma planta, então $Y_i = 0$ se a i -ésima planta está sadia, no tempo ou levantamento t e $Y_i = 1$ se a planta apresenta sintomas no tempo t e Y_i tem distribuição de Bernoulli, $Y_i \sim \mathbf{B}(1, p_i)$; o total de plantas doentes num conjunto de n plantas tem distribuição binomial, $\sum_{i=1}^n Y_i \sim \text{Bin}(n, p_i)$. O parâmetro p_i representa a probabilidade de uma planta estar infectada e é comumente estimado por $\left(\sum_{i=1}^n Y_i \right) / n$, considerando-se iguais e independentes as chances de doença em cada planta, sem levar em conta outras variáveis ou influências temporais ou espaciais.

No contexto de modelos lineares generalizados é possível modelar as proporções ou probabilidades p_i em função de variáveis explanatórias X_k , $k=1, \dots, K$, tal que $g(p_i) = x'_k \beta$, em que g é uma função de ligação adequada, x_k é o vetor de valores das covariáveis associadas a planta i e β é o vetor de parâmetros. Uma das funções mais utilizadas é a função logit em que $g(p_i) = \ln[p_i/(1-p_i)]$. Assim, modelos de regressão logística são modelos de probabilidade ou

estocásticos pois representam chance ou probabilidade de ocorrência de um evento (Y) sob um dado conjunto de covariáveis (X), $P(Y=y | X)$ (PAUL; MUNKVOLD, 2004). A probabilidade condicional da presença da doença, $P(Y_i = 1 | X) = p_i$, é modelada como combinação linear de covariáveis, tal que $\text{logit}(p_i) = \ln[p_i/(1-p_i)] = \beta_0 + \sum_k \beta_k x_{ik}$. Uma vez determinadas as estimativas dos parâmetros β_k , a probabilidade de plantas passarem ao estado doente condicionada às

realizações das covariáveis, $P(Y_i = 1 | x_{ik}) = p_i$ será obtida por $\hat{p}_i = \frac{e^{(\hat{\beta}_0 + \sum_k \hat{\beta}_k x_{ik})}}{1 + e^{(\hat{\beta}_0 + \sum_k \hat{\beta}_k x_{ik})}}$.

Uma abordagem sobre regressão logística pode ser acessada em Hosmer; Lemeshow (2000).

2.3 A análise espacial de epidemias

O estudo do padrão espacial de plantas doentes gera informações sobre a importância do inóculo primário, os mecanismos de dispersão do patógeno, a direção e distância de propagação da doença e sobre o efeito de fatores ambientais na epidemia (WU et al., 2001). Muitos autores citam a importância em conhecer o padrão espacial da doença para o estabelecimento de planos amostrais (MADDEN; HUGUES; MUNKVOLD, 1996; KRITZMAN et al., 2003). A relação de planos amostrais com padrões espaciais de epidemias tem sido abordada tanto de forma teórica (MADDEN; HUGHES, 1995, 1999; HUGUES; MADDEN, 1994, 1996; FERRANDINO, 2004;) como dirigida a patossistema específicos (MADDEN; HUGUES; ELLIS, 1995; TURECHEK; MADDEN, 1999; CHAREST, et al., 2002; KRITZMAN et al., 2003; DALLOT et al., 2003; TURECHEK; MAHAFFEE, 2004). Apesar de ser crescente e já considerável o interesse em aspectos estatísticos de dados de incidência de doenças (RIDOUT; XU, 2000), não se dispõe de métodos objetivos de determinação de aspectos específicos de delineamento amostral, como, por exemplo, tamanho de amostra, que envolvam a análise prévia do padrão espacial. No entanto, para LIN; POUSHINSKY; MAUER, (1979) um dilema se apresenta: uma estratégia de amostragem requer o conhecimento da distribuição espacial e o conhecimento da distribuição requer amostragem. Para HUGHES; GOTTWALD (1998), a análise do padrão de incidência no campo é um precursor da investigação de estratégias amostrais e da análise dos dados que elas geram.

Diversos métodos têm sido utilizados para investigar o desenvolvimento de epidemias no espaço assim como os padrões espaciais resultantes (TURECHEK; MADDEN, 1999; BERGAMIN FILHO et al., 2002). Entre eles citam-se a análise de seqüências ordinárias, o cálculo do índice de dispersão e a lei de Taylor modificada. O índice de dispersão (D) (GOTTWALD et al., 1996) e a lei de Taylor modificada (MADDEN; HUGHES, 1995) são métodos que não consideram a localização espacial dos pontos (plantas) amostrados e sua relação com locais próximos e, portanto, não detectam a dependência espacial entre pontos amostrais em uma área (WU et al., 2001). Estas ferramentas apenas possibilitam a classificação dos padrões como regular, aleatório ou agregado e são úteis em fase preliminar da análise.

A análise de seqüências (“ordinary runs”), que utiliza dados binários como os de incidência (BERGAMIN FILHO et al., 2002; MADDEN et al., 1982), possibilita maior sentido prático por analisar de modo simples, embora unidirecionalmente, o padrão de plantas sintomáticas adjacentes, em um único momento, nas linhas de plantio ou transversalmente a elas (DALLOT et al., 2003).

A lei de Taylor modificada relaciona, por meio de polinômio de primeiro grau, a variância observada, V_{obs} , e a variância binomial, V_{bin} . Essa análise pode ser efetuada visando um único mapa de incidência de um talhão dividido em *quadrats* ou sobre diversos talhões ou um único avaliado ao longo do tempo. Análise de regressão, tomando o *quadrat* ou mapa como unidade, é efetuada por meio do método dos quadrados mínimos, considerando como variável independente o logaritmo das variâncias binomiais estimadas ($\log(V_{bin})$) e como variável dependente o logaritmo das variâncias observadas ($\log(V_{obs})$). Nesse caso, $\log(V_{obs}) = \log(A) + b\log(V_{bin})$, onde A e b são parâmetros. A condição de aleatoriedade do evento é inferida quando $b=A=1$, hipótese verificada pelo teste t , usando o valor estimado do parâmetro e seu erro padrão (CAMPBELL; MADDEN, 1990). Para dados expressos em proporção, como o caso da incidência, a distribuição binomial é a que propicia o melhor ajuste para condições de aleatoriedade (MADDEN; HUGHES, 1995). Há um nível constante de agregação quando, para todos valores de incidência, $b=1$ e $A>1$. Quando $b>1$, o grau de agregação varia de acordo com a incidência.

Medidas como a distância mínima entre plantas com incidência igual a 1 para infestação e para infecção e o número de vizinhos incidentes num raio pré-determinado são úteis para análise exploratória dos dados (KRAINSKI; RIBEIRO JÚNIOR; BASSANEZI, 2005). O teste da distância mínima consiste em calcular as distâncias mínimas entre plantas com determinada

característica (planta doente ou infestada por determinada praga). A seguir, tomando-se a proporção observada de plantas com incidência igual a 1 para a presença do atributo considerado, são efetuadas simulações, em número suficiente, que consistem em redistribuições das plantas incidentes nas localizações geográficas da área, sob a hipótese de completa aleatoriedade espacial. É obtido o p-valor que corresponde à proporção de distâncias médias mínimas calculadas nas simulações, menores ou iguais à média das distâncias mínimas observadas. Outra medida explorada para análise de dados de incidência é o número observado de vizinhos doentes ou infestados num raio pré-determinado, comparado à média obtida em simulações segundo a hipótese de aleatoriedade espacial completa. O p-valor corresponde à proporção do número de vizinhos próximos que carregam o atributo em questão, menores ou iguais ao número observado na área de cobertura do raio pré-estabelecido.

Todas as ferramentas de análise espacial descritas até aqui têm caráter descritivo e servem para acumular evidências sobre o diagnóstico do padrão espacial da incidência, porém não envolvem medidas da autocorrelação espacial que possa existir numa variável espacialmente registrada.

Gumpertz; Graham; Ristaino (1997) usaram uma generalização, para dados espaciais, do modelo logístico convencional para predizer presença e ausência de doença causada por *Phytophthora* em pimentas de sino, com base em variáveis de solo (covariáveis). Os autores modelaram a probabilidade de doença em um dado *quadrat* como dependente do estado de doença nos *quadrats* vizinhos. Este método permitiu incorporar a autocorrelação espacial existente entre plantas, condicionando a probabilidade de doença em uma planta à presença de doença em plantas vizinhas. A probabilidade de sucesso de um evento (presença da doença) é modelada como combinação linear de presença da doença em locais vizinhos e de covariáveis que captam informações adicionais nestes locais. Os autores consideraram três estruturas de vizinhança conforme o conjunto de vizinhos incluídos. O sistema denominado de primeira ordem inclui os quatro *quadrats* adjacentes ao *quadrat* em questão, um em cada lado, no sentido da linha de plantio e um em cada lado transversalmente ao sentido das linhas de plantio. Note-se que este mesmo método pode ser aplicado tomando-se uma planta como unidade observacional ao invés de um conjunto de plantas ou *quadrat*.

Para o patossistema leprose dos citros não há estudo completo sobre o padrão espacial e planos de amostragem não estão validados. Mesmo sem a constatação mediante análise espacial

da presença do vetor ou da doença acreditava-se que, em citros, a população do ácaro da leprose e as árvores contaminadas ocorriam inicialmente em reboleiras (BUSOLI, 1995). Recentemente, estudo de Bassanezi; Laranjeira (2006) indicou que o padrão espacial da doença é altamente agregado e que o padrão espacial de plantas infestadas pelo ácaro é fracamente agregado. Os dados da pesquisa referiram-se a 174 pomares comerciais distribuídos no estado de São Paulo vistoriados uma única vez quanto à incidência de plantas infestadas e com sintomas. Não foi encontrada evidência de associação entre os focos de árvores infestadas e os de sintomas. Estes pomares vinham sendo pulverizados normalmente, dentro do sistema de controle de pragas adotado em cada local. Assim que, processos de remoção e de reinfestação pelo ácaro poderiam estar ocorrendo, o que seriam causas da descontinuidade espacial da população e da falta de associação entre plantas infestadas e infectadas, conforme os autores. Nesse trabalho, foi enfatizada a necessidade de investigação do padrão espacial em condições naturais de epidemia, sem nenhuma intervenção no controle do ácaro, para ser estudada a real relação entre plantas infectadas e infestadas.

A associação entre o padrão espacial da incidência de plantas infestadas por *B. phoenicis* e da incidência de plantas com leprose dos citros levantadas na mesma oportunidade não leva à relação infestação-infecção devido ao período de incubação da doença e à falta de informação a respeito da contaminação dos ácaros por CiLV. O estudo da relação temporal e espacial dos dois eventos, pode trazer subsídios para monitoramento através de amostragem da população do ácaro e da doença no pomar. Estimativas mais precisas sobre o crescimento da epidemia, no tempo e no espaço, atentando-se para a localização e tamanho dos focos, podem viabilizar o controle do vetor e práticas de intervenção para retirada de órgãos afetados, nas áreas de localização dos focos da doença ao invés da ação na área total.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Entre janeiro de 2002 e novembro de 2004, epidemias de leprose dos citros foram monitoradas em talhão de citros situado em propriedade comercial no município de Santa Cruz do Rio Pardo, região Sul do Estado de São Paulo. O acompanhamento censitário das árvores originou dados de intensidade de infestação por *B. phoenicis* e de infecção por CiLV. Em dez plantas previamente marcadas em cada talhão, foi efetuado o acompanhamento fenológico. Ao lado do talhão foi instalada uma estação agrometeorológica com o objetivo de monitorar as condições de clima no local.

3.1.1 Descrição do talhão e coleta de dados

O talhão acompanhado era da variedade 'Valência' sobre limoeiro 'Cravo', plantado em 1996, em espaçamento 7,5 m x 3,8 m, e a área útil selecionada correspondeu a 20 linhas de 58 plantas (1160 plantas no total). Foram efetuados 45 levantamentos, cujas datas e intervalos entre cada um constam da Tabela 1. A partir da demarcação da área e início dos trabalhos de monitoramento em janeiro de 2002, não foram realizadas pulverizações com acaricidas nos talhões de modo a não afetar a população do ácaro da leprose.

Efetuaram-se levantamentos censitários no nível hierárquico planta e levantamentos amostrais de frutos, ramos e folhas por planta. Todas as plantas dos talhões foram identificadas pela sua posição espacial. A intervalos variáveis (Tabela 1), foram feitas as seguintes determinações: i) contagem de frutos, ramos e folhas com sintomas de leprose, observados 25 frutos, 25 folhas e 25 ramos por quadrante do dossel, amostrados a esmo, totalizando 100 unidades de observação por tipo de estrutura por planta; ii) número de ácaros da leprose em todas as plantas da área útil pela observação em cinco frutos internos da florada principal e cinco ramos externos da copa (medida de severidade de infestação pelo ácaro); iii) a partir dos registros de infestação e de infecção, foram obtidas as incidências binárias (0 para ausência do evento ácaro ou sintoma e 1 para presença do evento), correspondentes aos órgãos avaliados nas plantas (quanto a sintomas) e à planta como um todo (quanto a sintomas e ácaros); iv) em 10 árvores previamente marcadas, foram contadas as novas brotações/m² de copa, definidas como aquelas cuja haste apresenta ainda estrutura triangular e folhas com coloração verde-pálido e aspecto tenro, e contadas as folhas novas emitidas por broto; v) o estágio fenológico de florescimento e

frutificação, registrado segundo a escala convencionalmente usada para citros (GUIA, [200-]), a saber: R1 = início da brotação reprodutiva; R4 = corola em expansão com as pétalas maiores que o cálice; R6 = antese; R7 = 2/3 de pétalas caídas; F1 = todas pétalas caídas e fruto com 3-5 mm de diâmetro; F2 = frutos com 5-10 mm de diâmetro; F3 = frutos com 15-20 mm de diâmetro (1/4 do tamanho final); F4 = frutos com 30-40 mm de diâmetro (1/2 do tamanho final); F5 = frutos com 50-60 mm de diâmetro (3/4 do tamanho final); F6 = frutos com 60-80 mm de diâmetro (tamanho final); F7 = fruto com casca verde-amarelada; F8 = fruto maduro e casca amarelo-alaranjada).

As variáveis climáticas, precipitação pluviométrica (total em mm), temperatura média, mínima e máxima do ar (° C) e umidade relativa do ar (%) média, mínima e máxima foram registradas a cada 3 horas.

A identificação e descrição das variáveis originais ou calculadas a partir das originais encontram-se na Tabela 2.

3.2 Métodos

3.2.1 Análise temporal de medidas no talhão - crescimento da população de ácaros *B. phoenicis* e da ‘população da doença’ e fatores explanatórios

Mapas das plantas infestadas por *B. phoenicis* e das plantas infectadas por CiLV a cada levantamento foram construídos de modo a se ter uma avaliação visual do progresso espacial e temporal da doença e da incidência de infestação a cada levantamento e dispersão do ácaro na área ao longo do tempo de monitoramento.

Técnicas descritivas foram intensivamente usadas para análise exploratória do conjunto de resultados e dedução de possíveis relações temporais entre as populações alvo e entre essas e os fatores explicativos relativos à fenologia das plantas e ao clima.

Estimaram-se as densidades populacionais relativas do ácaro por órgão amostrado e por planta infestada nas datas de levantamentos e construíram-se gráficos para análise do crescimento da densidade da praga ou severidade de infestação. As linhas de incidência de plantas, de frutos e de ramos com a presença do ácaro foram construídas para análise dedutiva da dispersão temporal do ácaro. Análises de correlações simples entre as incidências de plantas conforme o órgão infestado e o número de ácaros nesses órgãos permitiram verificar se o aumento de densidade populacional ocorre com dispersão do potencial vetor no talhão.

Tabela 1 - Datas dos levantamentos, intervalo entre levantamentos e período acumulado em número de dias a partir do primeiro levantamento em talhão da variedade ‘Valência’

Levantamento	Data	Intervalo em dias	Número de dias
1	29/01/02	0	0
2	06/03/02	36	36
3	26/03/02	20	56
4	17/04/02	22	78
5	09/05/02	22	100
6	27/05/02	18	118
7	18/06/02	22	140
8	10/07/02	22	162
9	05/08/02	26	188
10	28/08/02	23	211
11	18/09/02	21	232
12	03/10/02	15	247
13	07/11/02	35	282
14	04/12/02	27	309
<hr/>			
15	27/12/02	23	332
16	15/01/03	19	351
17	05/02/03	21	372
18	24/02/03	19	391
19	17/03/03	21	412
20	07/04/03	21	433
21	06/05/03	29	462
22	26/05/03	20	482
23	23/06/03	28	510
24	14/07/03	21	531
25	11/08/03	28	559
26	01/09/03	21	580
27	22/09/03	21	601
28	13/10/03	21	622
29	03/11/03	21	643
30	23/11/03	20	663
31	15/12/03	22	685
<hr/>			
32	05/01/04	21	706
33	03/02/04	29	735
34	01/03/04	27	762
35	22/03/04	21	783
36	12/04/04	21	804
37	03/05/04	21	825
38*	31/05/04	28	853
39	01/07/04	31	884
40	26/07/04	25	909
41	16/08/04	21	930
42	08/09/04	23	953
43	27/09/04	19	972
44	18/10/04	21	993
<hr/>			
45	22/11/04	35	1028

* 31/05/04 para levantamento do ácaro e 08/06/04 para levantamento da doença.
Linhas tracejadas demarcam os ciclos fenológicos acompanhados no talhão.

Tabela 2 - Relação das variáveis originais e obtidas a partir destas, por planta e por data ou levantamento

Nome da variável	Descrição
Tempo (Ndapl)	Tempo em número de dias após o primeiro levantamento no ciclo ou em todo o período de monitoramento
NACAFRU	Número de ácaros nos frutos amostrados (n=5 frutos/planta)
NACARAM	Número de ácaros nos ramos amostrados (n=5 ramos/planta)
NACAPLA	Número de ácaros na planta (n=10 unidades/planta)
INPLACFR	Incidência (número ou proporção) de plantas com ácaros nos frutos
INPLACRA	Incidência (número ou proporção) de plantas com ácaros nos ramos
INPLACA	Incidência (número ou proporção) de plantas com ácaros
NFRUSIN	Número de frutos com sintomas (n=100 frutos/planta)
NRAMSIN	Número de ramos com sintomas (n=100 ramos/planta)
NFOLSIN	Número de folhas com sintomas (n=100 folhas/planta)
NORGSIN	Número de órgãos com sintomas em 300 unidades amostradas por planta
INPLSIFR	Incidência (número ou proporção) de plantas com sintomas nos frutos
INPLSIRA	Incidência (número ou proporção) de plantas com sintomas nos ramos
INPLSIFO	Incidência (número ou proporção) de plantas com sintomas nas folhas
INPLSIN	Incidência (número ou proporção) de plantas com sintomas
NBRONOV	Estimativa da média do número de brotos novos por m ² de copa da planta
NFOLBRO	Estimativa da média do número de folhas novas por broto
TAMFRUT	Diâmetro médio de fruto (cm)
TMED, TMIN, TMAX	Temperatura média, mínima e máxima do ar (° C) diária
URM, URMIN, URMAX	Umidade relativa do ar média, mínima e máxima do dia
PP	Precipitação pluviométrica ou quantidade diária de chuva (mm)

A incidência de leprose no talhão (número de árvores infectadas dividida pelo número total de árvores no talhão) foi calculada para cada levantamento, independentemente do órgão observado bem como as incidências de plantas de acordo com o tipo de órgão afetado – frutos, ramos ou folhas. As proporções de órgãos infectados nas amostras de 100 unidades por planta foram neste trabalho referidas como incidências de frutos, de ramos e de folhas. Embora a amostragem de órgãos por planta possa refletir uma medida de intensidade de doença na planta inteira, não serve como medida de severidade conforme definido por Amorim (1995).

Curvas de progresso da incidência de plantas com sintomas em frutos, em ramos e em folhas e para o total de órgãos amostrados foram construídas para posterior ajuste ao modelo logístico e obtenção das respectivas taxas de infecção. A expressão geral do modelo é dada por

$$Y = \beta_1 / \{1 + [(\beta_1 / \beta_2) - 1] * \exp(-\beta_3 * t)\},$$

onde Y é a incidência expressa em proporção de plantas no talhão, β_1 é o parâmetro que indica a assíntota da curva sigmóide logística, β_2 é o parâmetro que corresponde à quantidade de inóculo

inicial e β_3 é a taxa aparente de infecção (CAMPBELL; MADDEN, 1990; BERGAMIN FILHO, 1995). Em geral, é usado $\beta_1=1$ indicando a quantidade máxima de doença. Aqui, optou-se por estimar β_1 devido aos baixos níveis da doença observados no talhão monitorado.

O efeito de variáveis fenológicas sobre o comportamento das incidências de plantas infestadas e infectadas foi avaliado através da análise de regressão Poisson. Assim, se Y_t é o número de plantas com incidência 1 no talhão, para a presença de ácaros ou de sintomas, no levantamento t , então $Y_t \sim \text{Pois}(\mu_t)$, com $\text{Var}(Y_t) = \mu_t$, e com função de ligação canônica dada por $\log(\mu_t) = \beta_0 + \beta_1 x_t$, $t=1, \dots, n$. Os parâmetros β_0 e β_1 , a serem estimados na regressão, quantificam o risco relativo de incidência em um levantamento em função das preditoras. O número n de observações correspondeu ao número de levantamentos no período de cada ciclo de frutificação. As incidências de plantas no talhão, na forma de contagens, INPLSIN e INPLACA (variáveis dependentes), foram relacionadas às covariáveis tempo, medido em número de dias após o primeiro levantamento (NDAPL), número de brotos novos por m^2 de área da copa (NBRONO), número de folhas novas por broto (NFOLBRO) e o diâmetro médio de frutos (TAMFRU). Optou-se pelo ajuste de cada potencial covariável isoladamente devido à maior facilidade de interpretação biológica.

Medidas descritivas e gráficos foram utilizados para a análise dos fatores climáticos levantados na área do talhão, a fim de verificar eventuais anormalidades no período e detectar influências sobre o comportamento da população de *B. phoenicis* e da doença.

3.2.2 Análise da relação entre a incidência de leprose e covariáveis defasadas no tempo - modelos de regressão logística

Tomando-se as realizações das variáveis levantadas por planta foram conduzidas análises de correlação simples a fim de medir possíveis associações entre a incidência da doença por planta, num determinado levantamento t , e o número de órgãos sintomáticos e de ácaros em levantamento anterior t^* , onde $t^* = t - \text{lag}$, e $\text{lag} = 1, 2$ e 3 . Os pares de realizações das variáveis correlacionadas correspondem a cada planta do talhão, ou seja, $N=1160$. Note-se que essas análises foram executadas por levantamento e t corresponde ao número do levantamento ($t=1, \dots, 44$) e não ao número de dias a partir de uma data. As variáveis em t^* mais fortemente correlacionadas com a incidência da doença no tempo t , foram tomadas como preditoras para uma análise de regressão logística.

Regressão logística foi usada para analisar a relação entre a incidência de doença nas plantas (INPLSIN), num momento t , e variáveis preditoras consideradas em levantamento t^* , anterior a t . As prováveis preditoras foram construídas de modo que refletissem a influência espacial e defasada no tempo da presença do ácaro, seja em termos de incidência na planta (INPLACFR, INPLACRA, INPLACFO) ou de densidade de ácaros na planta (NACAFRU, NACARAM e NACAPLAN), e da presença da leprose também quanto à incidência na planta (INPLSIFR, INPLSIRA, INPLSIFO e INPLSIN) e à incidência de órgãos sintomáticos por planta (NFRUSIN, NRAMSIN, NFOLSIN e NORGSIN). Os tempos t^* corresponderam a até três levantamentos anteriores ao levantamento t , ou seja, $t^*=t-lag$, onde $lag=1, 2$ e 3 . Assim, a probabilidade de mudança no estado de uma árvore do pomar, de sadia para doente, foi modelada em função de variáveis regressoras definidas de modo a captar: 1) a informação contida em características relacionadas à presença do ácaro vetor ou de sintomas, medidas na própria planta I nos tempos t^* (covariáveis X_{it^*}); 2) a influência das mesmas características medidas na vizinhança da planta nos tempos t^* , isto é, efeito das duas plantas vizinhas na mesma linha de plantio representado por X_{Lt^*} , e das duas plantas vizinhas nas linhas adjacentes, covariável representada por X_{At^*} . Foram definidos para este estudo os seguintes modelos:

Modelo nulo: $\text{logit}(p_{it}) = \beta_0$ (m0)

Modelo 1: $\text{logit}(p_{it}) = \beta_0 + \beta_1 X_{it^*}$ (m1 = m0 + $\beta_1 X_{it^*}$)

Modelo 2: $\text{logit}(p_{it}) = \beta_0 + \beta_1 X_{it^*} + \beta_2 X_{Lt^*}$ (m2 = m1 + $\beta_2 X_{Lt^*}$)

Modelo 3: $\text{logit}(p_{it}) = \beta_0 + \beta_1 X_{it^*} + \beta_2 X_{Lt^*} + \beta_3 X_{At^*}$ (m3 = m2 + $\beta_3 X_{At^*}$)

Modelo 4: $\text{logit}(p_{it}) = \beta_0 + \beta_1 X_{it^*} + \beta_2 X_{Lt^*} + \beta_3 X_{it^*} X_{Lt^*}$ (m4 = m2 + $\beta_3 X_{it^*} X_{Lt^*}$)

Modelo 5: $\text{logit}(p_{it}) = \beta_0 + \beta_1 X_{it^*} + \beta_2 X_{Lt^*} + \beta_3 X_{At^*} + \beta_4 X_{it^*} X_{Lt^*}$ (m5 = m3 + $\beta_4 X_{it^*} X_{Lt^*}$)

Modelo 6: $\text{logit}(p_{it}) = \beta_0 + \beta_1 X_{it^*} + \beta_2 X_{Lt^*} + \beta_3 X_{At^*} + \beta_4 X_{it^*} X_{Lt^*} + \beta_5 X_{it^*} X_{At^*}$
(m6=m5 + $\beta_5 X_{it^*} X_{At^*}$)

Onde, β_0 representa o intercepto e β_k são os coeficientes das covariáveis, a serem estimados pelo modelo; X_{it^*} é a covariável na planta i , no tempo $t^*=t-lag$; X_{Lt^*} é a covariável nas plantas vizinhas na mesma linha da planta i , no tempo t^* ; X_{At^*} é a covariável nas vizinhas nas linhas adjacentes, no tempo t^* . Os modelos 4 a 6 contemplam efeitos de interações entre a planta e suas vizinhas na linha ($X_{it^*} X_{Lt^*}$) ou entre a planta e suas vizinhas nas linhas adjacentes ($X_{it^*} X_{At^*}$).

A probabilidade $\hat{p}_i$ de plantas passarem ao estado doente condicionada às realizações das

covariáveis analisadas, $P(Y_{it} = 1 | X_{it}^*)$, é obtida por $\hat{p}_i = \frac{e^{(\hat{\beta}_0 + \sum_k \hat{\beta}_k x_{ik})}}{1 + e^{(\hat{\beta}_0 + \sum_k \hat{\beta}_k x_{ik})}}$.

Os seis modelos acima foram ajustados aos dados dos levantamentos 23 a 44 cobrindo o período de meados do ciclo 2003 até o final do ciclo 2004. Para cada característica e cada *lag* selecionou-se o melhor modelo com base no critério de informação de Akaike (*Akaike information criterion* - AIC). O AIC associado a cada modelo é calculado como $AIC = -2 \ln(L) + 2k$, onde k é o número de parâmetros livres no modelo. O menor valor de AIC indica o melhor num conjunto de modelos não necessariamente aninhados. Verificou-se qual modelo apresentou mais vezes o menor AIC ao longo do período avaliado, para cada *lag*, e observou-se qual modelo foi predominante ao longo do período de monitoramento.

Para avaliação da magnitude dos coeficientes dos efeitos das covariáveis ou preditoras, foram selecionados 5 levantamentos no período de monitoramento, distribuídos desde meados do ciclo 2003 até final do ciclo 2004. Para estas datas e cada *lag*, o modelo mais adequado foi escolhido com base no teste da razão de verossimilhança, aplicado aos pares de modelos sequencialmente aumentados de um efeito. A estatística do teste da razão de verossimilhança, para os modelos encaixados, é dada por $-2 \ln(L_m/L_{m'}) = 2[\ln(L_m) - \ln(L_{m'})]$, onde L_m e $L_{m'}$ são os valores maximizados da função de verossimilhança para cada modelo. Essa estatística foi comparada ao valor de qui-quadrado com um grau de liberdade, correspondente à diferença entre o número de parâmetros dos modelos em questão (McCULLAGH; NELDER, 1989). Uma covariável foi considerada ter influência expressiva, quando sua inclusão causou aumento significativo em $\ln(L_{m'})$. Para o nível de significância utilizado de 5% e 1%, os valores teóricos dos testes foram $\chi^2_{(0.05,1)} = 3,84$ e $\chi^2_{(0.01,1)} = 6,63$, respectivamente. A comparação entre os modelos 3 e 4, não encaixados, ambos com 4 parâmetros, foi efetuada diretamente pelo valor das funções de verossimilhança, ou seja, o modelo com a maior verossimilhança associada, descreve melhor a relação entre a incidência de doença e as covariáveis.

Para viabilizar o ajuste dos modelos de regressão logística, na forma como propostos, utilizando a informação de vizinhança, foram implementadas adaptações no pacote Rcitrus (KRAINSKI; RIBEIRO JÚNIOR; BASSANEZI, 2005) desenvolvido em linguagem R.

3.2.3 Análise do padrão espacial das incidências de plantas infestadas por *B. phoenicis* e de plantas com leprose dos citros

3.2.3.1 Ferramentas descritivas do padrão espacial

Análises de seqüências ordinárias (“ordinary runs”) foram efetuadas por data, tanto sobre incidência de plantas com ácaros quanto de plantas com sintomas da doença, a fim de determinar se havia agregação entre árvores infestadas e árvores doentes dentro das linhas de plantio e transversalmente a elas. Para esta análise foi usado um programa macro do Visual Basic Excel (T. R. Gottwald, *não publicado*).

Para o diagnóstico do padrão espacial dos dados de incidência foram utilizados os testes da distância mínima, do número de vizinhos doentes e do índice de dispersão. A distância mínima média entre plantas com incidência 1 para infestação e para infecção e o número de vizinhos incidentes num raio pré-determinado foram calculados e comparados com as médias obtidas em 199 simulações para obtenção do p-valor. Os raios escolhidos para cálculos e simulações no teste do número de vizinhos doentes foram de 4 m, 7,55 m e 8,5 m. Com a primeira medida, englobam-se somente os dois vizinhos imediatos na mesma linha de plantio. O raio de 7,55 m cobre a área da vizinhança de primeira ordem (duas vizinhas de linha e duas vizinhas das linhas adjacentes). O raio de 8,5 m implicou no cálculo dos vizinhos doentes no total de dez (10) vizinhos no entorno de cada planta.

Para o teste do índice de dispersão, foi considerada a divisão do talhão em *quadrats* nas dimensões 2x2, 2x3 e 3x3, escolhidas com base nas análises preliminares descritas acima e julgando-se que os tamanhos e formas de *quadrats*, com número de plantas de 4 a 9 plantas, são dimensões aceitáveis como unidade amostral para monitoramento de pomares comerciais de citros. A cada levantamento e cada tamanho de *quadrat*, foi obtido o índice de dispersão definido como a razão entre a variância observada de árvores doentes entre os *quadrats* e a variância binomial teórica, $D = V_{\text{obs}}/V_{\text{bin}}$. Valores de D maiores que 1 indicaram agregação, isto é, a variância observada foi superior à binomial esperada. Sob a hipótese de aleatoriedade, $(N-1)D$ segue distribuição de χ^2 com N-1 graus de liberdade, onde N é o número de *quadrats*. Observou-se a correlação de D e os níveis de incidência obtidos nos levantamentos.

Foi aplicada a lei de Taylor modificada tomando-se cada levantamento como unidade observacional. Para as três dimensões de *quadrat*, foram ajustadas, por meio do método dos

quadrados mínimos, as regressões lineares $\log(V_{\text{obs}}) = \log(A) + b\log(V_{\text{bin}})$, onde A e b são parâmetros estimados e cada ponto observado corresponde a uma avaliação no tempo ou levantamento. A condição de aleatoriedade do evento é inferida quando $b=A=1$, o que foi verificado pelo teste t (CAMPBELL; MADDEN, 1990). Assim, foi possível concluir sobre o nível de agregação ao longo do período de avaliação conforme $b=1$ e $A>1$, agregação constante, ou $b>1$, se o grau de agregação variou de acordo com a incidência.

3.2.3.2 Modelagem do padrão espacial da incidência através do modelo autologístico

As análises anteriores apontaram para a presença de autocorrelação espacial entre plantas ou *quadrats* na área do talhão nas condições da epidemia. Assim, de forma a modelar a autocorrelação, foi considerada ainda uma outra possibilidade de modelagem associando a probabilidade da doença num instante t ao status das plantas vizinhas no mesmo instante. Para isso, foi ajustado aos dados dos levantamentos 26 a 45, o modelo autologístico (sem covariáveis), conforme utilizado por Gumpertz; Graham; Ristaino (1997). Este método permitiu incorporar a autocorrelação espacial existente entre plantas, condicionando a probabilidade de doença em uma planta à presença de doença em plantas vizinhas. O mesmo foi efetuado para as plantas infestadas por *B. phoenicis*. Foi estudada, em nível de planta, somente a influência das quatro vizinhas imediatas das plantas, duas de cada lado na linha de plantio e uma em cada linha adjacente.

Se o estado da planta j , na linha i , depende de algum modo do número de vizinhos doentes (ou infestados) na linha i (vizinhos $j-1$ e $j+1$) e dos vizinhos na posição j das linhas adjacentes, então a probabilidade de uma resposta particular, $y_{ij} = 1$ (presença de doença ou do ácaro) ou $y_{ij} = 0$ (ausência de doença ou do ácaro), é a probabilidade condicional $P(Y_{ij} = y_{ij} \mid x_{iL}, x_{Aj}) = p_{ij}$. O logaritmo da probabilidade da doença (ou do ácaro) estar presente pode ser modelado como uma função linear de variáveis regressoras construídas com a própria variável-resposta tomada em plantas vizinhas, isto é, $\text{logit}(p_{ij}) = \sum_{k=1}^K \beta_k x_{ijk}$, onde x_{ijk} denota o vetor dos valores das K variáveis regressoras correspondentes à planta ij . Para esta análise, foram usadas as variáveis INPLACA e INPLSIN. Os modelos autologísticos ajustados foram:

Modelo autologístico 1 (MA1): $\text{logit}(p_{ij}) = \beta_0 + \beta_1 X_L$

Modelo autologístico 2 (MA2): $\text{logit}(p_{ij}) = \beta_0 + \beta_1 X_L + \beta_2 X_A$,

onde β_0 representa o intercepto e β_k são os coeficientes a serem estimados; X_L é o número de vizinhos doentes na linha i e X_A representa o número dos vizinhos doentes na posição j das duas linhas adjacentes à linha i .

Entre as ferramentas de análise espacial, com exceção da análise de seqüências ordinárias, todas as demais foram executadas com o Rcitrus, (KRAINSKI; RIBEIRO JUNIOR; BASSANEZI, 2005) pacote em desenvolvimento na linguagem R.

4 RESULTADOS

4.1 Ciclos fenológicos observados no talhão e o comportamento do clima

Com base no comportamento das variáveis fenológicas (Figura 1), dividiu-se o período de acompanhamento das plantas em três ciclos, os quais coincidiram com o ano. A colheita de frutos da florada principal caracterizou o fim de um ciclo e início do ciclo seguinte, quando se passou a acompanhar o desenvolvimento da nova florada (Tabela 3).

Em meados de todos os ciclos (maio-junho de 2002 e 2003 e abril-maio de 2004) ocorreu período em que as plantas não emitiram ramos e folhas novas. A partir do mês de abril, tanto em 2002 como em 2003 e a partir de maio de 2004, os frutos da florada principal encontravam-se no estágio F6, caracterizado por frutos em estágio final de crescimento ou por crescimento completo e iniciando a fase de maturação.

Figura 1 - Número médio de brotos novos do hospedeiro por m² de copa (—), número médio de folhas por broto (—▲—) e diâmetro médio dos frutos da florada principal (mm) (—○—), de plantas da variedade 'Valência'. As três linhas poligonais de diâmetro dos frutos referem-se às floradas acompanhadas a cada ano (2002, 2003 e 2004). O ponto cheio (●) destaca o início de estádios (F6 e F8) de desenvolvimento dos frutos da florada principal

No mês de agosto dos dois primeiros ciclos e no mês de julho do terceiro ciclo, os frutos da florada principal atingiram o estágio F8. Com a frutificação nesse estágio, foram observadas as maiores quantidades de brotos e folhas novos por m² de copa. A emissão dessas estruturas vegetativas perdurou até um ou dois levantamentos antes da colheita dos frutos, cessando quando os frutos atingiram ponto de colheita.

Tabela 3 - Caracterização dos ciclos fenológicos identificados no período de monitoramento do talhão de ‘Valência’

Ciclo	Início	Final	Número de levantamentos	Número total de dias no ciclo	Número total de dias acumulado
1	29/01/02	04/12/02	14	309	309
2	27/12/02	15/12/03	17	353	685
3	05/01/04	18/10/04	13	287	993

Os resultados do acompanhamento do clima não indicaram anormalidades nos três anos de registros. As temperaturas médias mensais entre 15,5 e 25,4 °C (Apêndice B). Foi possível a constatação da estação chuvosa e do período de estiagem. As médias mensais da umidade relativa mínima do ar no período oscilaram entre 58,5 % e 82,0 % (Apêndice C) e. Os dados de velocidade e direção do vento correspondem somente ao período de 09/05/2002 a 06/02/2004 para o qual a velocidade máxima observada não ultrapassou os 10 Km/h, com sentido predominante leste-oeste.

4.2 Análise da dinâmica temporal de populações do patossistema leprose dos citros

4.2.1 O crescimento da população do ácaro

Mapas com a localização das plantas infestadas por *B. phoenicis*, a cada levantamento e por ciclo, foram construídos de modo a se ter uma visão global do crescimento espaço-temporal das populações e deduções a respeito de suas interrelações (Figuras 2, 3 e 4). Na análise da flutuação populacional de *B. phoenicis*, observaram-se oscilações na incidência de plantas infestadas ao longo do ciclo, mas com crescimento ao final de cada um. O incremento ocorrido após cada decréscimo de incidência foi maior que o incremento anterior. Desde o início do monitoramento dos talhões e durante o ano 2002, foram detectados ácaros somente sobre frutos. A presença de ácaros nos ramos, só foi registrada em janeiro de 2003, no segundo levantamento deste ciclo.

As maiores densidades de ácaros por planta infestada foram observadas no período de outubro a dezembro de 2002 e 2003 (Figuras 2 e 3) e de setembro a novembro de 2004 (Figura 4). Ao final do primeiro ano de observação foram contados mais de 1,5 mil ácaros no talhão, porém distribuídos em apenas 9% das plantas, o que resultou em alta densidade relativa (Figura 5). No ano de 2003 o crescimento da população nas plantas já infestadas não foi tão acentuado, porém ao aumento na população absoluta no talhão correspondeu aumento na incidência de

plantas com ácaros (Fig. 5, Tabela 4), indicando uma dispersão maior da população no período. Em 2004, aumentaram tanto a população absoluta como a incidência de infestação, chegando a 73 % de incidência de plantas (Figuras 5 e 6). Ao longo de todo o período de monitoramento, o número médio de ácaros por planta infestada foi de 6,9. Esta relação apresentou os mais altos valores em outubro/2002 (33,6 ácaros/planta infestada) e em setembro/2004 (25,2 ácaros/planta infestada).

Figura 2 - Mapas de incidência de plantas de laranja doce, variedade 'Valência', infestadas por *B. phoenicis* ao longo dos levantamentos efetuados durante o ciclo 2002. Todos os casos detectados de incidência do ácaro neste ciclo foram em frutos

Todos os decréscimos na densidade absoluta de ácaros amostrados no talhão, nos três ciclos, coincidiram com a não emissão de brotos e folhas novas e frutos no estágio F6. A maior população de ácaros da leprose nas plantas foi observada nos estádios finais de maturação (F8) e

crescimento dos frutos (diâmetro médio de 60 a 70 mm), que ocorreu geralmente entre 90 a 150 dias após o início da nova florada, que corresponde aos frutos do ano seguinte.

Figura 3 - Mapas de incidência de plantas de laranja doce, variedade 'Valência', infestadas por *B. phoenicis* ao longo dos levantamentos efetuados durante o ciclo 2003

Figura 4 - Mapas de incidência de plantas de laranja doce, variedade 'Valência', infestadas por *B. phoenicis* ao longo dos levantamentos efetuados durante o ciclo da florada principal de 2004 (final em 18/10/2004) e no levantamento adicional, após colheita, de 22/11/2004

Os decréscimos na densidade absoluta ou relativa da população (Figuras 5) tiveram reflexo no número de plantas infestadas, no sentido de que nem sempre foi detectada a presença do ácaro em plantas classificadas como infestadas em um levantamento anterior, isto é, o registro da infestação por planta foi não cumulativo, resultando na oscilação da incidência (Figura 6).

Figura 5 - Número total de ácaros amostrados no talhão (N=1160 plantas) (superior) e número médio de ácaros por unidade de observação, por planta infestada (10 unidades de observação - frutos e ramos – por planta) em talhão de ‘Valência’ monitorado de 2002 a 2004

Figura 6 - Incidências de plantas com ácaros nos levantamentos ao longo do período de monitoramento – 2002 a 2004 - do talhão de ‘Valência’

Tabela 4 - Número médio de ácaros por órgão amostrado (n=5) e no total de órgãos (n=10) nas plantas infestadas e incidência (proporção) de plantas infestadas nos ciclos fenológicos

Ciclo	Número médio de ácaros por órgão nas plantas infestadas			Incidência máxima observada de plantas infestadas durante o ciclo (data de ocorrência)
	Em frutos	Em ramos	No total amostrado	
2002	1,74	0,00	0,68	0,09 (04/12/02)
2003	1,12	0,51	0,56	0,26 (15/12/03)
2004	1,70	0,51	0,86	0,73 (27/09/04)

Somente em frutos com diâmetro médio acima de 30 mm foi possível observar a presença do ácaro da leprose. A densidade média de ácaros por fruto foi superior a de ácaros nos ramos ao longo do monitoramento (Tabela 4). A proporção média de ácaros situados em frutos foi de 94,5% (Figura 7). No entanto, no primeiro levantamento de 2003 (15/01), constatou-se que 19% dos ácaros contados estavam sobre ramos. Em todos os demais levantamentos essa proporção não ultrapassou os 11%. No levantamento adicional efetuado em 24/11/04, 34% dos ácaros estavam nos ramos. Observou-se que, nestas datas de maior população nos ramos, não havia frutos maduros, os quais já tinham sido colhidos e os da florada subsequente estavam no estágio F4. Nestes períodos, as plantas apresentavam brotos e folhas novas. Todos os picos populacionais do ácaro coincidiram com frutos no estágio F8 ou com períodos de emissões de brotos e de folhas novas. O levantamento de final de setembro de 2004 acusou a maior densidade relativa de ácaros por fruto no talhão atingindo a média de 5,2 ácaros/fruto nas amostras observadas de 5 frutos/planta (Figura 7).

A análise da densidade de ácaros por planta infestada, considerando-se separadamente os grupos de plantas doentes e de plantas sadias indicou um crescimento maior da população de ácaros nas plantas com sintomas de leprose. No ciclo 2003, o número médio de ácaros por planta infestada e sem sintomas foi de 5,54 ácaros, enquanto nas plantas infestadas e doentes essa média ficou em 8,31 ácaros. Já no ciclo 2004, a curva de densidade relativa para plantas doentes apresentou picos mais acentuados de crescimento da população do ácaro, enquanto nas plantas sadias houve menor oscilação, resultando em médias idênticas para os dois subconjuntos de 8,42 ácaros por planta.

Figura 7 - Densidade relativa média de ácaros amostrados por fruto (—●—) e densidade relativa média de ácaros amostrados por ramo (—□—), nas plantas infestadas de ‘Valência’

A correlação positiva significativa entre o número médio de ácaros por planta (densidade relativa) e a proporção de plantas com ácaro (incidência de infestação) (Tabela 5), indicou que incrementos na população de ácaros ocorrem, de modo geral, com dispersão no talhão ou à medida que a população de ácaro aumenta, maior a probabilidade de que novas plantas se tornem infestadas. Os incrementos na população de ácaros e plantas infestadas foram coincidentes.

Tabela 5 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as incidências de plantas com ácaros e a quantidade de ácaros nos órgãos amostrados nas plantas, medidas no talhão em 45 levantamentos ($n=45$)

Número de ácaros	Incidências de plantas com ácaros		
	INPLACFR	INPLACRA	INPLACA
NACAFRU	0,872	0,531	0,835
	$P < 0,0001$	$P < 0,0002$	$P < 0,0001$
NACARAM	0,50021	0,964	0,618
	$P < 0,0005$	$P < 0,0001$	$P < 0,0001$
NACAPLA	0,887	0,591	0,859
	$P < 0,0005$	$P < 0,0001$	$P < 0,0001$

Todos os picos populacionais do ácaro no início dos três períodos já referidos de crescimento populacional foram precedidos por períodos de pouca chuva, baixa umidade relativa e temperaturas amenas. No ciclo de 2004, os meses de setembro a novembro, quando foi registrada a máxima densidade do ácaro, a precipitação total foi de apenas 170 mm em 15 dias com chuva, a umidade relativa variou de 66 a 83% e a temperatura média do período foi de 21,5 °C, com máxima observada de 25,3 °C. A população do ácaro aumentou após 20 a 40 dias de nenhuma ou pouca chuva e baixa umidade relativa do ar. Nos meses de janeiro e fevereiro de

2003 e de fevereiro e março de 2004 foram registradas as maiores quantidades de chuva, em totais mensais e máximas diárias observadas (Apêndice C), coincidindo com decréscimos na densidade absoluta de ácaros amostrados no talhão.

Em maio de 2002, foi detectada a primeira planta com sintomas em alguns ramos. O talhão permaneceu com essa única planta contaminada ao longo deste primeiro ano e até o início do segundo ciclo. Aparentemente houve apenas uma transmissão primária seguida de auto-infecção na planta. No entanto, mais de 100 plantas encontravam-se infestadas por ácaros encontrados, na sua totalidade, alimentando-se nos frutos. Isto leva à suposição de que ácaros introduzidos e redispersos no talhão não estavam infectivos ou baixa quantidade de tecido doente não contaminou as novas progênes do ácaro ou, ainda, plantas estavam no período de incubação da doença.

No primeiro levantamento do ciclo 2003 observou-se queda na densidade absoluta de ácaros e na incidência de infestação. Este ciclo teve número inicial de 5 ácaros/planta em 31 plantas e fonte do inóculo já presente no talhão, aparentemente em apenas uma planta. A partir desse período, tanto a incidência de plantas como de órgãos com lesões foram crescentes, isto é, infecções primárias e secundárias ocorreram à medida que houve a contaminação da população com CiLV, a dispersão desses ácaros, ou ácaros, infectivos ou não, de outras áreas atingiram o talhão.

O terceiro ciclo teve início com mais de 1000 ácaros distribuídos em 15 % das plantas, dentre as quais 5 % com sintomas visíveis. Em toda a área, 7 % das plantas continham em média 37 ramos e folhas com sintomas como fonte de inóculo no novo ciclo fenológico. Das 83 plantas com sintomas visíveis neste início de ciclo, em 66 % pôde ser constatada a presença do vetor em pelo menos um dos três levantamentos precedentes. Nas demais plantas, provavelmente, ou houve registro de falso negativo ou a presença do vetor ocorreu no intervalo de dias entre levantamentos.

4.2.2 O progresso temporal da epidemia – análises no talhão

Durante o ciclo 2002, uma única planta doente foi detectada apresentando sintomas de leprose nos ramos. Mapas de incidência de plantas com sintomas visíveis de infecção por CiLV nos levantamentos ao longo dos ciclos 2003 e 2004 foram construídos de modo a se visualizar o crescimento espaço-temporal da epidemia na área experimental (Figuras 8 e 9).

Figura 8 - Mapas de incidência de plantas com sintomas de leprose dos citros, variedade 'Valência', nos levantamentos efetuados durante o ciclo 2003

A observação dos mapas permitiu afirmar que o número de plantas doentes foi crescente ao longo do período experimental. O último levantamento (Figura 9, data 22/11/04) foi efetuado após o encerramento do ciclo 2004 e não foi considerado para análise temporal da doença.

Figura 9 - Mapas de incidência de plantas com sintomas de leprose dos citros, variedade 'Valência', nos levantamentos efetuados durante o ciclo 2004 e no levantamento adicional de 22/11/04

A curva de progresso da incidência de árvores com leprose dos citros no talhão foi crescente no período (Figura 10). No entanto, a representação do total observado de órgãos com sintomas ou incidência de órgãos sintomáticos no pomar ao longo dos três anos de acompanhamento não teve comportamento sempre crescente, com decréscimos ao final dos ciclos 2003 e 2004. Isto pode ser explicado por dois aspectos. Primeiro, devido à colheita de frutos, incluindo frutos sintomáticos, quando atingiram a maturação (F8) e à abscisão de frutos e

folhas doentes. Um segundo aspecto a ser considerado é que o registro foi feito por amostragem a esmo de frutos internos e de ramos e folhas externos do dossel, não marcados previamente. Ou seja, a cada levantamento, as 300 unidades de observação, sejam frutos, ramos ou folhas, não foram, necessariamente, as mesmas. As incidências de plantas, conforme o órgão afetado (Figura 11), também apresentaram quedas quando os sintomas foram em frutos e em folhas. Como não foi efetuada poda de ramos durante o período experimental, a incidência de plantas com sintomas nos ramos (Tabela 6) bem como o número de ramos com lesões de leprose (Figura 12, Tabela 7) foi crescente ao longo de todo o período de monitoramento.

Figura 10 - Curva de progresso da doença medido pela incidência (em proporção) de plantas sintomáticas (—•—) e incidência (em proporção) de órgãos sintomáticos por planta (-----), ao longo do período de acompanhamento do talhão, com a divisão dos ciclos fenológicos

Tabela 6 - Incidência de plantas com sintomas por tipo de órgão amostrado e no total de órgãos amostrados, ao final dos ciclos fenológicos de 2002 a 2004, e incidência máxima observada de plantas doentes, em cada ciclo, da variedade 'Valência'

Ciclo	Incidência de plantas com sintomas			Incidência máxima observada
	Em frutos	Em ramos	Em folhas	
2002	0	0,0009	0	0,0009 (04/12/02)
2003	0,0275	0,0586	0,0621	0,0664 (15/12/03)
2004	0,2293	0,3034	0,2818	0,3189 (18/10/04)

Tabela 7 - Número de órgãos com sintomas nas amostras por tipo de órgão (n=100 unidades) e no total de órgãos amostrados (n=300 unidades), médias por planta sintomática e por planta do talhão, ao final dos ciclos

Ciclo	Órgãos com sintomas /planta sintomática				No total amostrado /planta do talhão
	Frutos	Ramos	Folhas	No total amostrado	
2002	-	0,05	-	5,00	0,00
2003	6,09	17,04	19,61	35,92	2,38
2004	8,45	31,74	25,63	58,93	18,80

As correlações entre as diversas medidas de incidências de plantas sintomáticas e de incidências de órgãos com lesões no talhão ao longo do período de avaliação foram altamente significativas (Tabela 8). As incidências de órgãos com sintomas são estimativas da quantidade de frutos, de ramos e de folhas com lesões no talhão obtidas em amostras de 100 unidades de cada tipo de estrutura por planta. Embora não estejam de acordo com o conceito de severidade de doença, representam medidas de intensidade de doença por planta do talhão, resultante do processo de infecções secundárias na planta.

Tabela 8 - Coeficientes de correlação de Pearson (r)* entre as incidências de plantas com sintomas e as incidências de órgãos com sintomas, medidas no talhão (n=45)

Número de órgãos com sintomas	Incidências de plantas com sintomas			
	INPLSIFR	INPLSIRA	INPLSIFO	INPLSIN
NFRUSIN	0,975	0,883	0,899	0,910
NRAMSIN	0,949	0,995	0,984	0,987
NFOLSIN	0,942	0,953	0,981	0,973
NORGSIN	0,972	0,989	0,996	0,996

*Todas as correlações foram significativas (P<0,0001)

As correlações entre a incidência da doença (INPLSIN) e a média de incidência por órgão no talhão (NORGSIN), ao longo do período foi $r=0,713$ (P<0,0001) no ciclo 2002, de $r=0,981$ (P<0,0001) no ciclo 2003 e de $r=0,99$ (P<0,0001) no ciclo 2004.

As curvas de progresso da leprose dos citros, avaliadas através da incidência de plantas com lesões, foram construídas e analisadas em consonância com os três ciclos identificados de acordo com a fenologia das plantas (Figura 10). O resultado de baixa infecção no primeiro ano de monitoramento não possibilitou a construção de curva epidemiológica no ciclo 2002.

Figura 11 - Curvas de progresso da doença medida pela incidência (proporção) de plantas com sintomas nos frutos (—●—), nos ramos (—□—) e nas folhas (—▲—), variedade 'Valência', nos ciclos 2003 (A) e 2004 (B)

Figura 12- Curvas de progresso da doença medida pela incidência de plantas com sintomas de leprose dos citros, variedade 'Valência', nos ciclos 2003 (A) e 2004 (B)

Figura 13 - Curvas de progresso de leprose dos citros, variedade 'Valência', medida pela incidência (em número no total de n=100 unidades por tipo de órgão) de frutos (—●—), ramos (—□—) e folhas (—▲—) com sintomas, média por planta do talhão, nos ciclos 2003 (A) e 2004 (B)

As curvas de progresso para os ciclos 2003 e 2004, construídas com as incidências por órgão da planta (Figura 11) e com o total de órgãos (Figura 12), exibiram padrão de incremento logístico. As estimativas da taxa de crescimento da doença foram altamente significativas para todas as incidências nos dois ciclos (Tabela 9).

Tabela 9 - Estimativas dos parâmetros do modelo logístico ajustado às curvas de progresso da doença medido através da incidência de plantas com sintomas de leprose em frutos (INPLSIFR), em ramos (INPLSIRA), em folhas (INPLSIFO) e na planta (INPLSIN) e respectivos coeficientes de determinação

Ciclo	Variável dependente	Estimativas dos parâmetros do modelo			R ²
		Incidência máxima estimada ($\hat{\beta}_1$)	Quantidade de inóculo inicial ($\hat{\beta}_2$)	Taxa de crescimento da doença ($\hat{\beta}_3$)	
2003	INPLSIFR	0,0300 ***	0,0011 *	0,0138 ***	0,9690
	INPLSIRA	0,2044	0,0010 *	0,0126 ***	0,9840
	INPLSIFO	0,0974 ***	0,0013 *	0,0141 ***	0,9767
	INPLSIN	0,1055 **	0,0016 *	0,0135 ***	0,9778
2004	INPLSIFR	0,2049 ***	0,0016	0,0448 ***	0,9819
	INPLSIRA	0,3305 ***	0,0555 ***	0,0118 ***	0,9848
	INPLSIFO	0,2458 ***	0,0388 **	0,0219 **	0,9295
	INPLSIN	0,3018 ***	0,0451 **	0,0198 ***	0,9657

*** P < 0,001; ** P < 0,01; * P < 0,05.

As estimativas da quantidade de inóculo inicial diferiram de zero com exceção daquela calculada para INPLSIRA em 2003 e para INPLSIFR em 2004. As taxas de crescimento da doença foram altamente significativas para todas as incidências nos dois ciclos.

Os coeficientes de determinação ficaram acima de 0,92 para todas as variáveis (Tabela 9). A análise dos conjuntos de resíduos ordinários e padronizados associados aos modelos ajustados não indicou pontos ou padrões atípicos, indicando boa qualidade do ajuste do modelo logístico.

O teste t bilateral, para a diferença entre as quantidades de inóculo inicial entre os dois ciclos (24 graus de liberdade), foi significativo somente quando β_2 foi estimado com base na incidência de plantas com sintomas nos ramos (INPLSIRA). As taxas de crescimento da doença não foram diferentes para os dois ciclos, comparadas nas diferentes incidências.

Os resultados da regressão Poisson (Tabela 10) indicaram que tanto a incidência de plantas com ácaros como a de plantas doentes são influenciadas pela fenologia das plantas da variedade 'Valência'. Os dados do ciclo 2002 não foram passíveis de análise nas combinações de variáveis, de modo que são relatados os resultados de 2003 e de 2004. Medidas da fenologia das plantas número de brotos novos (NBRONOV) e também o diâmetro médio de frutos (TAMFRU) foram consistentes quanto à significância para modelar as incidências de plantas com ácaros e de plantas sintomáticas. O número de folhas novas por broto (NFOLBRO), embora altamente correlacionada com NBRONOV, foi não significativa no ciclo 2003 para explicar INPLSIN.

Tabela 10 - Coeficientes das regressões Poisson entre a incidência de plantas com ácaros e incidência de plantas com sintomas (variáveis dependentes) e variáveis fenológicas, variedade 'Valência'

Variável-resposta	Variável preditora	Ciclo	Estimativas dos coeficientes e erro padrão respectivo			
			Intercepto (β_0)	Erro padrão	β_1 estimado*	Erro padrão
INPLACA	Tempo (ndapl)	2003	2,685	0,1386	0,0036	0,0003
		2004	-0,125	0,1630	0,0067	0,0002
	NBRONOV	2003	4,326	0,0353	0,0008	0,0001
		2004	5,763	0,0179	-0,0002	-
	TAMFRU	2003	2,668	0,205	0,027	0,003
		2004	3,546	0,130	0,031	0,002
INPLSIN	Tempo (ndapl)	2003	-2,639	0,4011	0,0106	0,0007
		2004	1,208	0,1761	0,0049	0,0002
	NBRONOV	2003	2,676	0,074	0,002	0,0001
		2004	5,380	0,0214	0,002	-
	TAMFRU	2003	-2,535	0,519	0,0804	0,007
		2004	3,708	0,150	0,024	0,002

*Todas as estimativas dos coeficientes dos efeitos das preditoras (β_1) foram altamente significativas ($P < 0,001$).

4.2.3 Análise temporal da doença no nível hierárquico planta

Coeficientes de correlação entre as medidas de incidência de órgãos sintomáticos, tomando-se planta como unidade ($N=1160$), ficaram, na maior parte dos levantamentos, entre 0,70 e 0,80 para número de frutos correlacionado com número de ramos e de folhas com sintomas. No início de cada ciclo, estas correlações ficaram abaixo de 0,30, provavelmente devido à colheita dos frutos ou queda de frutos e folhas com lesões. Nos levantamentos 22 (meados do ciclo 2003) e 39 (meados do ciclo 2004) a correlação atingiu os mais altos valores, o que pode ser explicado pelo acentuado incremento na incidência de órgãos doentes nas plantas, sem aumento na incidência de plantas. Notou-se ainda que, nos períodos daqueles levantamentos, não houve emissão de novas brotações. As correlações entre número de ramos e de folhas com sintomas estiveram acima de 0,80 em quase todos os levantamentos. As mais altas correlações entre o número total de órgãos com lesões (NORGSIN) e a medida por tipo de órgão ocorreram ao final dos ciclos (Tabela 11).

Tabela 11 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as medidas de incidência de órgãos sintomáticos nas plantas do talhão ($n=1160$), no levantamento $t=44$

	NRAMSIN	NFOLSIN	NORGSIN
NFRUSIN	0,789 ($P < 0,0001$)	0,754 ($P < 0,0001$)	0,853 ($P < 0,0001$)
NRAMSIN		0,809 ($P < 0,0001$)	0,964 ($P < 0,0001$)
NFOLSIN			0,931 ($P < 0,0001$)

No levantamento $t=23$, que corresponde aos 510 dias após o primeiro levantamento (meados do ciclo 2003), doze plantas passaram do estado de sadias para doentes. Efetuado o acompanhamento deste conjunto de plantas até $t=45$ (1028 dias), quanto às variáveis NFRUSIN, NRAMSIN, NFOLSIN e NORGSIN, observaram-se padrões diferenciados entre as incidências por tipo de órgão. Quanto ao número de frutos doentes (no total de $n=100$ frutos por planta) notou-se a queda marcada pela mudança de ciclo. Tal queda na incidência de folhas doentes não ficou muito evidente. O conjunto de linhas da incidência de ramos com lesões de leprose teve um padrão crescente, a não ser por períodos constantes, em que não foi detectado crescimento no número de ramos doentes em algumas plantas. Em uma única planta foi registrada queda desta incidência, o que pode ser atribuído à amostragem. As curvas de incidência total de órgãos com sintomas ($n=300$ unidades por planta) refletiram a mistura dos componentes da variável NORGSIN (Figura 14). Esta descrição permitiu verificar a uniformidade no processo de autoinfecção entre as plantas por tipo de órgão sintomático.

Figura 14 – Incidência em número de frutos (A), de ramos (B), de folhas (C), em amostras de $n=100$ unidades por planta, e do total de órgãos doentes (D) ($n=300$ unidades/planta), ao longo do período de 23/06/2003 ($t=23$) a 22/11/2004 ($t=45$), num conjunto de doze plantas

Não foi constatada qualquer correlação significativa entre as incidências de frutos, de ramos e de folhas com sintomas (NFRUSIN, NRAMSIN e NFOLSIN) para qualquer levantamento t e as densidades de ácaros nos ramos e nos frutos (NACARAM e NACAFRU) no próprio tempo t e em até três levantamentos anteriores ($t^*=t-1$, $t-2$ e $t-3$). Resultado idêntico ocorreu tomando-se o total de órgãos com sintomas em t (NORGSIN) e o total de ácaros por planta (NACAPLAN) em t^* , mesmo ao final do ciclo 2004 ($t=44$), sob alta incidência observada de sintomas e o alto nível de infestação do talhão por *B. phoenicis* (Figura 15).

Figura 15 - Representação da dispersão de pontos definidos pelo número de ácaros em t^* (abscissa) e o número de órgãos com sintomas de leprose dos citros em $t=44$ (ordenada) por planta, onde $t^*=43$ (superior), $t^*=42$ (centro) e $t^*=41$ (inferior), com ausência de correlação nos três casos

O número de órgãos com sintomas por planta num dado levantamento t foi altamente associado com a mesma variável medida em tempos anteriores t^* para qualquer t ao longo dos ciclos 2003 e 2004 e $t^*=t-1$, $t-2$ e $t-3$. As correlações observadas entre os dados em todos os

levantamentos t e levantamentos t^* estiveram acima de 0,90. A figura 16 ilustra este resultado para $t=44$.

Figura 16 - Representação da dispersão de pontos definidos pelo número de órgãos com sintomas em t^* (abscissa), onde $t^*=43$ (superior), $t^*=42$ (centro) e $t^*=41$ (inferior), e o número de órgãos com sintomas de leprose dos citros em $t=44$ (ordenada) por planta. As correlações entre as incidências foram $r=0,95$, $r=0,93$ e $r=0,93$ ($P<0,0001$), respectivamente

Ao final do período de coleta de dados (levantamento $t=44$), das 370 plantas com sintomas visíveis de leprose dos citros, em 56 não foi constatada a presença de ácaros *B. phoenicis* naquele momento, e em 29 árvores (7,8 %) não foi registrada a presença do potencial vetor em até três levantamentos antes ($t^*=43, 42, 41$), os quais cobriram um período de 63 dias. Com base em informação sobre o período decorrente entre a transmissão e o aparecimento de sintomas, pode se afirmar que estas plantas estiveram infestadas por ácaros contaminados por CiLV neste intervalo de tempo, os quais não foram detectados, seja por efetiva ausência na planta no momento dos levantamentos ou por ocorrência de falso negativo. Por outro lado, das 790 árvores sem sintomas visíveis no final do ciclo 2004, 468 estavam infestadas neste momento e destas, 397 abrigava ácaros também no levantamento efetuado 19 dias antes e 180 plantas

estavam infestadas pelo menos desde 42 dias antes. Essas plantas aparentemente sadias, ou estavam infectadas mas em período de incubação da doença ou a população do ácaro estava ainda com muito baixa contaminação pelo vírus, não efetivando inoculações.

4.2.4 A influência sobre a incidência na planta de informações defasadas no tempo na própria planta e em sua vizinhança - análises de regressão logística

Cada combinação t, t^* , onde t representa o levantamento em questão e t^* algum levantamento anterior, resulta em intervalos de tempo diferentes, em número de dias, devido aos levantamentos não terem sido efetuados em datas equidistantes. Quando $t^*=t-1$ ($lag=1$) significa em média 22 dias retroativos a t ; para $t^*=t-2$ ($lag=2$) são 46 dias em média e para $t^*=t-3$ ($lag=3$) são cerca de 70 dias antes do levantamento t .

Ajustados os modelos propostos (item 3.2.2), numa primeira etapa da seleção de modelos, a comparação dos valores de AIC permitiu identificar o modelo predominante nas avaliações e *lags* conforme as características de infestação pelo ácaro ou de incidência de doença utilizadas na construção das covariadas (Tabelas 12 e 15, respectivamente). Os testes da razão de verossimilhanças apontaram o melhor modelo para cada combinação de avaliação (t) e *lag* (t^*). No entanto, para a escolha final dos modelos, foi levada em conta também a significância dos coeficientes das regressoras.

O modelo nulo, com somente o intercepto significativo, foi predominante para as covariáveis construídas com as características de presença do ácaro (Tabela 12). Até o levantamento 40 não foi detectada influência da presença do ácaro na planta ou em sua vizinhança em t^* sobre a probabilidade da incidência da doença no tempo t . Nesses casos, a estimativa da probabilidade de doença não é alterada para qualquer valor assumido pelas covariáveis.

Em poucas combinações t, t^* , por característica, foi detectada influência do ácaro no tempo anterior, seja na planta ($m1$) ou em sua vizinhança ($m2$ a $m5$), sobre a incidência da doença. No levantamento 44, os modelos escolhidos indicam diferentes influências significativas de covariáveis para cada característica e *lag*. Pode ser destacado o $m3$ como modelo predominante e que engloba efeito da própria planta e das suas vizinhas na linha e nas adjacentes. Ou seja, para os níveis de infecção e infestação observados no levantamento 44, foi detectada

influência da presença do ácaro na planta ou nessa vizinhança sobre a probabilidade das plantas ficarem doentes.

Tabela 12 - Melhores modelos e respectivos valores do AIC para INPLSIN e características relativas à presença do ácaro nas plantas e em frutos e em ramos (número de ácaros e incidência de plantas com ácaros), usadas nas covariáveis, em 5 levantamentos t, nas combinações entre as características e lags

Característica usada nas covariáveis	lag	Levantamento									
			t=26		t=32		t=36		t=40		t=44
NACAPLAN	lag1	m1	285,1	m0 ¹	544,0	m0	911,5	m2	1197,2	m4	1215,6
	lag2	m0	283,7	m0	544,0	m0	911,5	m0	1200,6	m3	1239,8
	lag3	m0	283,7	m3	532,9	m0	911,5	m0	1200,6	m3	1297,2
INPLAACA	lag1	m0	283,7	m1	544,5	m0	911,5	m0	1200,6	m4	1212,4
	lag2	m2	285,1	m2	534,8	m0	911,5	m0	1200,6	m3	1242,1
	lag3	m2	284,1	m5	526,6	m0	911,5	m0	1200,6	m0	1294,0
NACARAM	lag1	m2	278,8	m0	544,0	m0	911,5	m0	1200,6	m4	1292,0
	lag2	m0	283,7	m0	544,0	m0	911,5	m0	1200,6	m1	1293,0
	lag3	na	na	m0	544,0	na	na	m0	1200,6	m0	1294,0
INPLACRA	lag1	m1	283,5	m0	544,0	m3	907,9	m0	1200,6	m4	1293,0
	lag2	m1	284,5	m0	544,0	m0	911,5	m0	1200,6	m3	1287,0
	lag3	na	na	m0	544,0	na	na	m0	1200,6	m0	1294,0
NACAFRU	lag1	m0	283,7	m0	544,0	m0	911,5	m0	1200,6	m4	1216,5
	lag2	m0	283,7	m0	544,0	m0	911,5	m0	1200,6	m3	1241,8
	lag3	m0	283,7	m3	532,4	m0	911,5	m0	1200,6	m3	1297,1
INPLACFR	lag1	m0	283,7	m2	539,4	m1	909,9	m0	1200,6	m4	1211,0
	lag2	m2	285,1	m2	531,3	m0	911,5	m0	1200,6	m3	1245,9
	lag3	m2	284,1	m5	523,2	m0	911,5	m0	1200,6	m0	1294,0

¹Modelo nulo, apenas o intercepto foi significativo (P<0,01).

As características NACAPLAN e INPLACA, que se referem à presença do ácaro sem levar em conta o órgão inspecionado, foram mais consistentes quando usadas nas covariáveis, por apresentarem os menores valores de AIC. Os modelos ajustados em função dessas características são apresentados nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13 - Estimativas dos coeficientes (β) dos efeitos dos modelos escolhidos quando número de ácaros nas plantas (NACAPLAN) foi usado nas covariáveis, em 5 levantamentos no talhão e valor máximo das funções de verossimilhanças associadas

t	lag	Efeitos considerados nos modelos no tempo t*				Log(L)
		Intercepto (β_0)	Planta (X_{It*})	Vizinhas na linha (X_{Lt*})	Vizinhas nas linhas adjacentes (X_{At*})	
26	lag1	-3,480	0,539	-	-	-142,58
	lag2	-3,445	0,262	-	-	-141,89
	lag3	-3,439	0,316	-	-	-141,89
32	lag1	-2,504	0,031	-	-	-272,02
	lag2	-2,824	0,279	0,177	-	-269,98
	lag3	-3,122	0,282	0,346	0,337	-259,26
36	lag1	-1,629	0,026	-	-	-455,77
	lag2	-1,591	-0,041	-	-	-455,77
	lag3	-1,595	-0,04	-	-	-455,77
40	lag1	-1,041	0,029	0,018	-	-598,60
	lag2	-0,936	0,006	-	-	-600,30
	lag3	-0,946	-0,026	-	-	-600,30
44	lag1	-2,590	0,629	0,321	-0,086	-607,80
	lag2	-1,396	0,264	0,109	0,169	-619,90
	lag3	-0,780	-0,012	-0,012	0,102	-648,60

Tabela 14 - Estimativas dos coeficientes (β) dos efeitos dos modelos escolhidos quando incidência de plantas com ácaros (INPLACA) foi usada nas covariáveis, em 5 levantamentos no talhão e valor máximo das funções de verossimilhanças associadas

t	lag	Efeitos considerados nos modelos no tempo t*					Log(L)
		Intercepto (β_0)	Planta (X_{It*})	Vizinhas na linha (X_{Lt*})	Vizinhas nas linhas adjacentes (X_{At*})	Interação $X_{It*}X_{Lt*}$	
26	lag1	-3,472	0,833	-	-	-	-141,16
	lag2	-3,566	-0,131	1,058	-	-	-141,84
	lag3	-3,566	-0,131	1,058	-	-	-141,23
32	lag1	-2,632	0,487	-	-	-	-270,25
	lag2	-3,082	0,718	0,625	-	-	-264,43
	lag3	-3,283	1,126	1,014	0,580	-1,058	-258,33
36	lag1	-1,693	0,523	-	-	-	-452,93
	lag2	-1,628	0,409	-	-	-	-455,04
	lag3	-1,597	-0,090	-	-	-	-455,74
40	lag1	-0,935	0,019	-	-	-	-600,30
	lag2	-0,955	0,146	-	-	-	-598,08
	lag3	-0,940	0,061	-	-	-	-600,23
44	lag1	-3,170	2,408	1,946	-1,555	-	-603,43
	lag2	-1,539	0,693	0,367	0,551	-	-617,05
	lag3	-0,662	0,017	-	-	-	-647,00

Os modelos m2 e m3 foram predominantes quando usadas características referentes à presença de sintomas na construção das covariáveis (Tabela 15). De modo geral, pode se afirmar que a incidência observada no momento t depende da incidência em período anterior, não só na planta mas também em sua vizinhança. As estimativas dos efeitos dos modelos selecionados

(Tabelas 16 a 23), para cada caso, indicaram alta significância do efeito da planta e de suas vizinhas na linha de plantio em todas as avaliações para todos os tempos anteriores (três *lags*). Os modelos que tiveram maiores log-verossimilhanças e, portanto, melhor descreveram a variável INPLSIN por planta, foram aqueles com covariáveis construídas sobre as incidências (INPLSIN, INPLSIFR, INPLSIRA E INPLSIFO) com a vantagem de que são mais facilmente interpretados devido a serem essas regressoras também variáveis binárias, quando consideradas na própria planta ou variáveis discretas assumindo valores 0, 1 e 2, quando consideradas nas vizinhas da planta.

Tabela 15 - Melhores modelos e respectivos valores do AIC para INPLSIN e características relativas à presença de sintomas nas plantas, usadas nas covariáveis, em 5 levantamentos t, nas combinações entre as características e *lags*

Característica usada nas covariáveis	lag	Levantamento									
		t=26		t=32		t=36		t=40		t=44	
NORGSIN	lag1	m2	57,96	m2	132,70	m5	301,66	m2	170,07	m3	270,50
	lag2	m2	89,74	m6	129,96	m2	474,88	m2	315,12	m3	381,66
	lag3	m2	110,70	m2	167,52	m6	533,48	m3	490,62	m3	421,40
INPLSIN	lag1	m2	59,60	m2	131,24	m3	305,44	m2	199,16	m3	280,64
	lag2	m2	95,22	m2	140,86	m3	468,54	m2	359,78	m3	386,22
	lag3	m2	114,04	m3	167,06	m3	551,86	m3	537,96	m3	441,32
NFRUSIN	lag1	m2	144,68	m3	320,10	m3	697,50	m3	446,86	m5	613,76
	lag2	m3	155,48	m3	359,52	m3	820,52	m5	516,20	m3	615,66
	lag3	m3	152,48	m3	342,48	m3	882,08	m3	701,50	m5	642,96
INPLSIFR	lag1	m3	139,84	m3	331,06	m3	601,24	m3	461,92	m3	589,14
	lag2	m3	142,96	m3	365,96	m3	773,26	m3	526,22	m3	584,64
	lag3	m2	150,42	m3	348,18	m2	891,30	m3	700,28	m3	638,50
NRAMSIN	lag1	m1	132,58	m2	155,56	m3	366,48	m3	372,34	m3	373,94
	lag2	m3	146,76	m2	180,08	m2	491,38	m3	427,32	m3	463,26
	lag3	m3	167,36	m3	243,58	m3	535,44	m3	561,20	m2	513,90
INPLSIRA	lag1	m2	134,50	m2	162,64	m3	361,10	m2	384,40	m3	367,48
	lag2	m3	146,50	m2	181,18	m3	484,52	m3	421,92	m3	454,70
	lag3	m3	153,76	m3	237,72	m3	546,52	m3	560,10	m3	509,98
NFOLSIN	lag1	m2	81,96	m3	160,72	m3	390,16	m2	426,16	m3	470,44
	lag2	m2	101,04	m2	172,34	m3	555,46	m3	447,08	m3	537,58
	lag3	m2	127,86	m3	197,06	m3	616,96	m5	546,28	m3	619,82
INPLSIFO	lag1	m2	86,44	m3	154,98	m3	332,64	m2	427,94	m3	435,76
	lag2	m2	109,70	m2	158,32	m3	498,44	m3	477,90	m3	511,52
	lag3	m2	125,78	m3	186,78	m3	582,60	m3	582,18	m3	577,16

Quando usada nas covariáveis, a incidência de plantas (INPLSIN) sem ser devida a sintomas especificamente em frutos, em ramos ou em folhas, os valores das verossimilhanças

maximizadas foram maiores, o que indica que os modelos com covariáveis construídas com aquela característica foram melhor ajustados aos dados.

Tabela 16 - Estimativas dos coeficientes (β) dos efeitos dos modelos escolhidos quando número de órgãos com sintomas (NORGSIN) foi usado nas covariáveis, em 5 levantamentos no talhão e valor máximo das funções de verossimilhanças associadas

t	lag	Efeitos considerados nos modelos no tempo t*						Log(L)
		Intercepto (β_0)	Planta (X_{It^*})	Vizinhas na linha (X_{Lt^*})	Vizinhas nas linhas adjacentes (X_{At^*})	Interação $X_{It^*}X_{Lt^*}$	Interação $X_{It^*}X_{At^*}$	
26	lag1	-5,727	6,470	0,668	-	-	-	-26,98
	lag2	-5,056	4,896	0,540	-	-	-	-42,87
	lag3	-4,815	6,996	0,808	-	-	-	-53,35
32	lag1	-4,786	3,629	0,736	-	-	-	-64,35
	lag2	-4,747	7,085	0,649	0,228	-0,160	-0,645	-62,98
	lag3	-4,359	3,117	0,679	-	-	-	-81,76
36	lag1	-3,700	3,491	0,495	0,294	-0,296	-	-148,83
	lag2	-2,877	2,684	0,636	0,315	-	-	-235,44
	lag3	-2,658	4,232	0,716	0,500	0,130	-0,688	-264,74
40	lag1	-4,505	3,851	0,375	-	-	-	-83,035
	lag2	-3,489	2,620	0,344	-	-	-	-155,56
	lag3	-2,715	2,277	0,208	0,175	-	-	-243,31
44	lag1	-3,634	4,270	0,220	0,185	-	-	-133,25
	lag2	-3,115	3,748	0,265	0,201	-	-	-188,83
	lag3	-2,943	3,411	0,275	0,167	-	-	-208,70

Tabela 17 - Estimativas dos coeficientes β para os modelos escolhidos quando incidência de plantas com sintomas (INPLSIN) foi usada nas covariáveis, em 5 levantamentos no talhão

t	lag	Efeitos considerados nos modelos em t*				Log(L)
		Intercepto (β_0)	Planta (X_{It^*})	Vizinhas na linha (X_{Lt^*})	Vizinhas nas linhas adjacentes (X_{At^*})	
26	lag1	-5,813	7,964	2,677	-	-27,80
	lag2	-5,152	6,462	2,328	-	-45,61
	lag3	-4,928	6,812	3,393	-	-55,02
32	lag1	-4,969	6,614	2,365	-	-63,62
	lag2	-4,651	7,024	2,124	-	-68,43
	lag3	-4,616	5,827	1,793	1,304	-81,53
36	lag1	-3,719	6,051	1,925	0,795	-150,72
	lag2	-2,969	5,425	2,228	1,008	-232,27
	lag3	-2,667	4,396	2,078	1,277	-273,93
40	lag1	-4,998	6,835	1,778	-	-97,58
	lag2	-3,756	5,226	1,640	-	-177,89
	lag3	-2,775	4,379	0,862	0,689	-266,98
44	lag1	-4,032	6,830	1,316	1,052	-138,32
	lag2	-3,432	6,521	1,235	1,131	-191,11
	lag3	-3,289	5,507	1,187	1,149	-218,66

Tabela 18 - Estimativas dos coeficientes (β) dos efeitos dos modelos escolhidos quando número de órgãos com sintomas (NFRUSIN) foi usado nas covariáveis, em 5 levantamentos no talhão e valor máximo das funções de verossimilhanças associadas

t	lag	Intercepto (β_0)	Efeitos considerados nos modelos no tempo t^*				Log(L)
			Planta ($X_{I t^*}$)	Vizinhas na linha ($X_{L t^*}$)	Vizinhas nas linhas adjacentes ($X_{A t^*}$)	Interação $X_{I t^*}X_{L t^*}$	
26	lag1	-4,549	29,224	1,481	0,954	-	-70,34
	lag2	-4,402	28,871	1,359	0,912	-	-75,74
	lag3	-4,402	28,871	1,359	0,912	-	-74,24
32	lag1	-3,460	6,810	1,750	1,280	-	-158,05
	lag2	-3,240	27,740	1,930	1,590	-	-177,76
	lag3	-3,320	28,020	1,620	1,470	-	-169,24
36	lag1	-2,111	1,427	0,349	0,118	-	-346,75
	lag2	-1,809	0,730	0,572	0,145	-	-408,26
	lag3	-1,680	15,190	1,990	1,160	-	-439,04
40	lag1	-3,025	6,018	0,967	0,235	-	-221,43
	lag2	-2,754	5,701	0,928	0,297	0,752	-256,10
	lag3	-2,169	3,542	0,671	0,535	-	-348,75
44	lag1	-2,399	6,025	0,631	0,486	0,740	-304,88
	lag2	-2,369	5,563	0,731	0,444	-	-305,83
	lag3	-2,252	6,183	0,710	0,422	0,869	-319,48

Tabela 19 - Estimativas dos coeficientes β para os modelos escolhidos quando incidência de plantas com sintomas (INPLSIFR) foi usada nas covariáveis, e em 5 levantamentos no talhão

t	lag	Intercepto (β_0)	Efeitos considerados nos modelos em t^*			Log(L)
			Planta ($X_{I t^*}$)	Vizinhas na linha ($X_{L t^*}$)	Vizinhas nas linhas adjacentes ($X_{A t^*}$)	
26	lag1	-4,676	22,106	3,769	2,080	-67,92
	lag2	-4,687	21,265	3,970	3,109	-69,48
	lag3	-4,474	21,137	4,156	-	-73,21
32	lag1	-3,488	5,962	2,887	1,882	-163,53
	lag2	-3,303	19,712	2,985	2,443	-180,98
	lag3	-3,363	19,912	2,653	2,260	-172,09
36	lag1	-2,447	4,921	3,231	2,284	-298,62
	lag2	-1,922	3,893	4,731	2,192	-384,63
	lag3	-1,654	16,221	2,753	-	-443,65
40	lag1	-3,258	6,068	2,283	0,659	-228,96
	lag2	-2,906	5,556	2,103	0,802	-261,11
	lag3	-2,279	4,441	1,641	1,144	-348,14
44	lag1	-2,734	5,520	1,601	1,355	-292,57
	lag2	-2,730	5,991	1,935	1,158	-290,32
	lag3	-2,456	4,851	1,771	1,022	-317,25

Tabela 20 - Estimativas dos coeficientes (β) dos efeitos dos modelos escolhidos quando número de órgãos com sintomas (NRAMSIN) foi usado nas covariáveis, em 5 levantamentos no talhão e valor máximo das funções de verossimilhanças associadas

t	lag	Intercepto (β_0)	Efeitos considerados nos modelos no tempo t*				Log(L)
			Planta (X_{It^*})	Vizinhas na linha (X_{Lt^*})	Vizinhas nas linhas adjacentes (X_{At^*})	Interação $X_{It^*}X_{Lt^*}$	
26	lag1	-4,590	29,141	0,968	0,637	-	-64,29
	lag2	-4,468	29,096	0,927	0,769	-	-71,38
	lag3	-4,289	27,718	1,179	0,818	-	-81,68
32	lag1	-4,431	8,045	1,030	-	-	-75,78
	lag2	-4,142	29,455	1,061	-	-	-88,04
	lag3	-3,787	6,648	0,908	0,713	-	-119,79
36	lag1	-3,311	5,231	0,681	0,376	-0,580	-181,24
	lag2	-2,791	3,726	0,833	0,414	-	-243,69
	lag3	-2,609	24,575	0,916	0,582	-	-265,72
40	lag1	-3,247	6,242	0,559	0,211	-	-184,17
	lag2	-2,980	26,113	0,572	0,216	-	-211,66
	lag3	-2,433	24,449	0,447	0,298	-	-278,60
44	lag1	-3,102	5,752	0,347	0,194	-	-184,97
	lag2	-2,727	5,236	0,324	0,219	-	-229,63
	lag3	-2,522	4,511	0,368	0,167	-	-254,95

Tabela 21 - Estimativas dos coeficientes β para os modelos escolhidos quando incidência de plantas com sintomas (INPLSIRA) foi usada nas covariáveis e valor máximo das funções de verossimilhanças associadas, em 5 levantamentos no talhão

t	lag	Intercepto (β_0)	Efeitos considerados nos modelos em t*			Log(L)
			Planta (X_{It^*})	Vizinhas na linha (X_{Lt^*})	Vizinhas nas linhas adjacentes (X_{At^*})	
26	lag1	-4,566	20,556	3,314	-	-65,25
	lag2	-4,541	21,498	2,813	2,168	-71,25
	lag3	-4,568	21,267	4,020	3,222	-74,88
32	lag1	-4,499	7,498	2,684	-	-79,32
	lag2	-4,234	22,431	2,787	-	-88,59
	lag3	-3,977	6,014	2,559	1,771	-116,86
36	lag1	-3,431	6,711	2,055	1,240	-178,55
	lag2	-2,897	5,995	2,221	1,367	-240,26
	lag3	-2,613	19,576	2,131	1,391	-271,26
40	lag1	-3,299	7,435	2,324	-	-190,20
	lag2	-3,227	21,256	2,107	0,805	-208,96
	lag3	-2,567	20,628	1,477	1,083	-278,05
44	lag1	-3,447	7,539	1,490	1,009	-181,74
	lag2	-3,000	7,152	1,290	1,002	-225,35
	lag3	-2,774	6,242	1,389	0,827	-252,99

Tabela 22 - Estimativas dos coeficientes β para os modelos escolhidos quando número de órgãos com sintomas (NFOLSIN) foi usado nas covariáveis, em 5 levantamentos no talhão e valor máximo das funções de verossimilhanças associadas

t	lag	Intercepto (β_0)	Efeitos considerados nos modelos no tempo t*				Log(L)
			Planta (X_{It^*})	Vizinhas na linha (X_{Lt^*})	Vizinhas nas linhas adjacentes (X_{At^*})	Interação $X_{It^*}X_{Lt^*}$	
26	lag1	-5,115	1,456	0,050	-	-	-38,98
	lag2	-4,850	1,739	0,047	-	-	-48,52
	lag3	-4,551	3,660	0,051	-	-	-61,93
32	lag1	-4,568	3,346	0,682	0,499	-	-78,36
	lag2	-4,146	2,455	0,052	-	-	-84,17
	lag3	-4,063	0,935	0,042	0,044	-	-96,53
36	lag1	-3,158	0,736	0,043	0,025	-	-193,08
	lag2	-2,552	0,569	0,065	0,031	-	-275,73
	lag3	-2,317	1,484	0,100	0,047	-	-306,48
40	lag1	-2,838	0,881	0,043	-	-	-211,08
	lag2	-2,861	0,771	0,041	0,014	-	-221,54
	lag3	-2,486	0,993	0,036	0,023	-0,005	-271,14
44	lag1	-2,577	17,680	0,032	0,025	-	-233,22
	lag2	-2,418	17,924	0,059	0,031	-	-266,79
	lag3	-2,208	1,818	0,054	0,024	-	-307,91

Tabela 23 - Estimativas dos coeficientes β para os modelos escolhidos quando incidência de plantas com sintomas (INPLSIFO) foi usada nas covariáveis, em 5 levantamentos no talhão e valor máximo das funções de verossimilhanças associadas

t	lag	Intercepto (β_0)	Efeitos considerados nos modelos em t*			Log(L)
			Planta (X_{It^*})	Vizinhas na linha (X_{Lt^*})	Vizinhas nas linhas adjacentes (X_{At^*})	
26	lag1	-5,284	7,121	2,890	-	-41,22
	lag2	-4,975	6,018	2,706	-	-52,85
	lag3	-4,794	6,491	3,598	-	-60,89
32	lag1	-4,694	6,203	1,842	1,252	-75,49
	lag2	-4,451	6,763	2,023	-	-77,16
	lag3	-4,442	5,539	1,856	1,358	-91,39
36	lag1	-3,638	5,760	1,975	1,139	-164,32
	lag2	-2,853	5,108	2,232	1,127	-247,22
	lag3	-2,575	3,872	2,445	1,797	-289,30
40	lag1	-3,213	5,256	1,726	-	-211,97
	lag2	-3,254	4,503	1,568	0,597	-236,95
	lag3	-2,692	4,058	1,301	0,871	-289,09
44	lag1	-3,134	20,985	1,564	1,077	-215,88
	lag2	-2,859	20,719	1,716	1,070	-253,76
	lag3	-2,635	6,627	1,853	0,965	-286,58

No levantamento $t^*=39$ a incidência visível no talhão foi de 0,265 (ou 26,5 % de plantas infectadas no talhão). Para a característica INPLSIN usada nas covariáveis e considerando-se, por exemplo, $t=40$ e $t^*=39$ ($lag=1$), o m2 foi o melhor modelo. As combinações dos valores possíveis das covariadas $(INPLSIN)_I$ 39 e $(INPLSIN)_L$ 39 são $(0, 1) \times (0, 1, 2)$ os quais, substituídos no

modelo escolhido resultam em diversas probabilidades (Tabela 24). A probabilidade $\hat{p}_i$ de uma planta estar doente ou com incidência 1, condicionada ao seu estado 22 dias antes, é obtida a partir da expressão do modelo ajustado

$$\log[\hat{p}_i/(1-\hat{p}_i)] = -4,998 + 6,835 (\text{INPLSIN})_{I\ 39} + 1,778 (\text{INPLSIN})_{L\ 39}$$

Atribuindo-se os valores possíveis às covariáveis obteve-se o $\logit(\hat{p}_i)$ e a estimativa da probabilidade $\hat{p}_i$ (Tabela 24).

Tabela 24 - Cálculo do $\logit(\hat{p}_i)$ e da probabilidade $\hat{p}_i$ estimada com base no modelo logístico m2, para $t=40$ e $t^*=t-1=39$, quando incidência de plantas com sintomas (INPLSIN) foi usada na construção das covariáveis

$(\text{INPLSIN})_{I\ 39}$	$(\text{INPLSIN})_{L\ 39}$	$\text{Log}[p_i/(1-p_i)]$	$\hat{p}_i^1$
0	0	-4,998	0,007
	1	-3,220	0,038
	2	-1,442	0,191
1	0	1,837	0,863
	1	3,615	0,974
	2	5,393	0,995

$$^1 \hat{p}_i = \frac{e^{(\hat{\beta}_0 + \sum_k \hat{\beta}_k x_{ik})}}{1 + e^{(\hat{\beta}_0 + \sum_k \hat{\beta}_k x_{ik})}}$$

Ou, por outro lado, as plantas sadias do talhão em $t=39$ ($(\text{INPLSIN})_{I\ 39}=0$), para as quais um vizinho na linha está infectado ($(\text{INPLSIN})_{L\ 39}=1$), têm uma probabilidade de 0,038 ou 3,8% de apresentarem sintomas num período de até 22 dias. Se os dois vizinhos na linha estiverem com sintomas, então a probabilidade dessas plantas tornarem-se doentes sobe para 19,1 %.

Na avaliação 41, a incidência observada de plantas com ácaros no talhão foi de 0,268 e de plantas doentes foi de 0,266. *A priori*, seria de supor-se que esta seria a estimativa da probabilidade de infecção para qualquer das árvores sadias num prazo curto, sem levar em conta o estado da vizinhança no período que antecede a avaliação. Com base no modelo m3 ajustado para INPLSIN em $t=44$ e $\text{lag}=3$, portanto com as realizações das covariáveis em $t^*=41$, para as plantas que não estiverem apresentando sintomas, com a mesma condição sadia observada em sua vizinhança, a probabilidade de, num prazo de 60 a 80 dias, apresentarem sintomas é de 0,036. Porém, se tais plantas sadias tiverem um vizinho na linha de plantio e os dois vizinhos nas linhas adjacentes com incidência 1, então, no mesmo prazo, têm 54,9 % de chance de apresentar sintomas. O aumento observado no talhão do número de plantas doentes entre os levantamentos

41 e 44 foi de 19,7 % no talhão. Note-se que todas essas conjecturas foram feitas sem levar em conta a presença ou ausência do ácaro na planta ou em sua vizinhança.

De forma a modelar a incidência de doença como função dela própria em t^* e da incidência de plantas com ácaros em t^* , optou-se por incluir a característica INPLACA medida na planta I nos tempos anteriores como uma segunda característica covariada e adicionando-a aos efeitos já considerados nos modelos m1, m2 e m3 (Tabela 14). Estes modelos, ajustados para as avaliações 26 a 44 foram comparados entre si através do teste da razão de verossimilhanças. O melhor modelo na maioria das combinações entre avaliações e *lags* foi o m3. Assim, na escala logarítmica, a probabilidade de plantas avaliadas num tempo t^* , passarem ao estado de doença num período $t=t^*+lag$ posterior, será:

$$\log[p/(1-p)] = \beta_0 + \beta_1(INPLSIN)_{It^*} + \beta_2(INPLACA)_{It^*} + \beta_3(INPLSIN)_{Lt^*} + \beta_4(INPLSIN)_{At^*}$$

O teste de significância para as estimativas dos coeficientes dos efeitos considerados no modelo escolhido apontou poucos casos de significância ($P < 0,05$) para o efeito de INPLACA na planta em qualquer tempo anterior, ou seja, em poucas avaliações foi detectada a influência, sobre o resultado da incidência, da presença de ácaros na planta aproximadamente 22, 46 ou 70 dias antes. Pela análise pormenorizada destes casos específicos, não foram encontrados fatores comuns a todos, quanto à fenologia ou clima ou quanto à flutuação populacional do ácaro, que explicasse o efeito detectado.

De modo a resumir os resultados dos ajustes dos modelos, foram calculadas as médias das estimativas dos coeficientes das covariáveis consideradas (Tabela 25).

Tabela 25 - Valor médio, mínimo e máximo observado entre as avaliações 26 a 45 para os coeficientes dos efeitos do modelo logístico com incidência de plantas sintomáticas e de plantas infestadas nas covariáveis

Estimativas dos coeficientes das covariáveis							
		Intercepto ($\hat{\beta}_0$)	(INPLSIN) _{It*} ($\hat{\beta}_1$)	(INPLACA) _{It*} ($\hat{\beta}_2$)	(INPLSIN) _{Lt*} ($\hat{\beta}_3$)	(INPLSIN) _{At*} ($\hat{\beta}_4$)	log(L)
lag1	Média	-4,986	8,006	0,065	1,696	1,132	-94,62
	Mínimo	-7,789	5,318	-4,644	0,027	-0,171	-205,65
	Máximo	-3,147	21,986	2,014	3,898	2,943	-20,90
lag2	Média	-4,168	7,660	0,041	1,620	1,297	-141,50
	Mínimo	-5,375	4,272	-2,106	0,329	0,275	-305,07
	Máximo	-2,493	21,824	1,107	3,047	3,196	-42,02
lag3	Média	-3,767	7,131	0,248	1,665	1,392	-174,26
	Mínimo	-5,101	4,380	-1,279	-0,195	0,189	-351,14
	Máximo	-2,235	21,825	0,881	3,291	3,276	-54,53

Estimativas das probabilidades das plantas do talhão passarem do estado sadio para o estado de doença, num dado período de tempo, podem ser feitas para cada combinação dos possíveis valores de incidência das covariadas INPLSIN na planta e na vizinhança, em t^* , e INPLACA na planta, em t^* (Tabela 26).

Tabela 26 - Cálculo do $\text{logit}(p_i)$ e da probabilidade p_i com base nas médias das estimativas dos coeficientes dos modelos logísticos ajustados, para as possíveis combinações de valores das covariáveis

Combinações de possíveis valores das covariadas				Período médio para predição					
				22 dias		46 dias		70 dias	
(INPLSIN) _I	(INPLACA) _I	(INPLSIN) _L	(INPLSIN) _A	$\text{logit}(p_i)$	p_i	$\text{logit}(p_i)$	p_i	$\text{logit}(p_i)$	p_i
0	0	0	0	-4,986	0,0068	-4,168	0,0152	-3,767	0,0226
0	0	0	1	-3,853	0,0208	-2,871	0,0536	-2,375	0,0851
0	0	0	2	-2,721	0,0618	-1,574	0,1716	-0,983	0,2723
0	0	1	0	-3,289	0,0359	-2,548	0,0726	-2,102	0,1089
0	0	1	1	-2,157	0,1037	-1,251	0,2225	-0,710	0,3295
0	0	1	2	-1,025	0,2641	0,046	0,5115	0,682	0,6641
0	0	2	0	-1,593	0,1690	-0,928	0,2833	-0,438	0,3923
0	0	2	1	-0,461	0,3868	0,369	0,5912	0,954	0,7220
0	0	2	2	0,672	0,6619	1,666	0,8410	2,346	0,9126
0	1	0	0	-4,920	0,0072	-4,127	0,0159	-3,519	0,0288
0	1	0	1	-3,788	0,0221	-2,830	0,0557	-2,127	0,1065
0	1	0	2	-2,656	0,0656	-1,533	0,1775	-0,735	0,3241
0	1	1	0	-3,224	0,0383	-2,507	0,0753	-1,854	0,1354
0	1	1	1	-2,092	0,1099	-1,210	0,2296	-0,462	0,3864
0	1	1	2	-0,959	0,2770	0,087	0,5217	0,930	0,7170
0	1	2	0	-1,528	0,1783	-0,887	0,2916	-0,190	0,4527
0	1	2	1	-0,395	0,4024	0,410	0,6010	1,202	0,7690
0	1	2	2	0,737	0,6763	1,707	0,8464	2,594	0,9305

Assim, por exemplo, considerem-se plantas sadias não infestadas por *B. phoenicis*, com os dois vizinhos de linha apresentando sintomas e com vizinhos nas linhas laterais sem doença (combinação 0, 0, 2 e 0, na Tabela 26). A probabilidade destas plantas virem a apresentar sintomas dentro de 22 dias é de 16,9 %. Num prazo de 46 dias, a probabilidade é de 28,3 % e, para o prazo de 70 dias, é de 39,2 %. Observa-se que a presença do ácaro na planta altera essas estimativas de probabilidades para 17,8 %, 29,2 % e 45,3 %, respectivamente.

O uso destes resultados (Tabela 26) na forma preditiva somente tem sentido prático atribuindo-se valor nulo à covariável (INPLSIN)_I que representa a incidência de doença na própria planta em t^* . O valor 1 indica a presença de doença no momento em que se faz a

predição, e a estimação da probabilidade da incidência futura perde o sentido ou seja a probabilidade da planta permanecer doente é estimada em aproximadamente 100%.

4.3 Análise do padrão espacial de populações do patossistema leprose dos citros

4.3.1 Descrição do padrão espacial da população do ácaro

O percentual de linhas e transversais às linhas que apresentaram agregação de plantas infestadas pelo ácaro foi baixo (Tabela 27), com maior agregação no sentido das linhas de plantio que no sentido perpendicular a elas.

Tabela 27 - Resultados da análise de seqüências ordinárias para os mapas (levantamentos) de incidência de plantas com ácaros da leprose dos citros, variedade 'Valência'

Número de mapas testados*	Número de linhas testadas*	% de mapas com agregação na linha	% de linhas com agregação	Número de transversais testadas*	% de mapas com agregação na transversal à linha	% de transversais com agregação
42	602	54,8	11,3	1571	61,9	7,5

* Mapas, linhas ou transversais às linhas de plantio com, no mínimo, uma planta infestada ou uma planta não infestada pelo ácaro

Para as dimensões de *quadrats* testadas, a incidência de plantas com ácaros apresentou padrão espacial inconsistente, oscilando entre aleatório e agregado. Também se observou que, para essa variável, nem sempre a maior dimensão de *quadrat* correspondeu ao maior D (Tabela 28).

Ocorreram oscilações no p-valor do teste de distância mínima média. Em vários casos, o p-valor foi maior que 0,10, por exemplo, indicando que a distância mínima média observada entre plantas doentes corresponde àquela simulada sob completa aleatoriedade, em 10 % das simulações.

Até a avaliação 9, quando a incidência no talhão foi de 0,86 % de plantas infestadas, o padrão espacial foi aleatório para qualquer tamanho de *quadrat*. Na avaliação 13 a infestação atingiu 5,3 % das plantas e o padrão espacial foi divergente entre os tamanhos de *quadrats*. Entre as avaliações 13 e 40, houve alternância no padrão espacial, com a incidência classificada como aleatória, notadamente quando a densidade populacional do ácaro e a incidência decresceram em relação à avaliação anterior. Ao final do período de monitoramento, levantamentos 40 a 45, a incidência de infestação ficou entre 26 e 73% das plantas, o padrão espacial foi classificado como agregado com valor de D entre 1,53 e 3,47 (Tabela 28).

Tabela 28 - Incidência (proporção) e índice de dispersão binomial (D) para diferentes tamanhos de *quadrats* para os mapas de distribuição de plantas com ácaros da leprose e teste da distância mínima média entre plantas infestadas (m) e p -valor associado

Levantamento (t)	Incidência de plantas com ácaros	Índice binomial de dispersão (D) ^a			Teste da distância mínima média	
		<i>Quadrat</i> 2x2	<i>Quadrat</i> 2x3	<i>Quadrat</i> 3x3	Distância (m)	p -valor ^b
1	0,0060	0,99	0,97	0,95	30,85	0,140
3	0,0129	0,96	1,07	1,03	22,41	0,105
4	0,0026	1,00	0,99	0,99	41,14	0,130
6	0,0052	0,99	0,98	0,97	30,21	0,070
9	0,0026	1,00	1,00	0,99	48,50	0,230
10	0,0078	0,98	1,19*	1,16	13,87	0,005
11	0,0017	1,00	0,96	0,99	16,95	0,025
12	0,0086	0,98	1,00	0,94	22,72	0,035
13	0,0534	1,07	1,19*	1,31	12,44	0,455
14	0,0957	1,38*	1,54*	1,56	8,39	0,015
15	0,0267	1,19*	1,25*	1,67	14,76	0,035
16	0,0914	1,26*	1,26*	1,46	8,83	0,030
17	0,0474	1,12	1,04	0,97	10,78	0,005
18	0,0336	0,95	1,27*	1,42*	10,50	0,005
19	0,0474	1,43*	1,77*	2,12*	7,95	0,005
20	0,1552	1,49*	1,75*	1,81*	6,39	0,005
21	0,0810	1,20*	1,38*	1,52*	8,58	0,005
22	0,0793	1,38*	1,37*	1,34*	8,86	0,010
23	0,0414	1,31*	1,59*	1,30*	11,70	0,005
24	0,0500	1,32*	1,41*	1,46*	10,15	0,005
25	0,0405	1,14	1,34*	1,37*	10,75	0,005
26	0,0310	1,25*	1,59*	1,82*	9,69	0,005
27	0,0276	1,12	1,20*	1,23	10,88	0,005
28	0,1483	1,33*	1,57*	1,93*	6,48	0,005
29	0,1603	1,28*	1,32*	1,43*	7,01	0,010
30	0,2647	1,14	1,16	1,13	6,04	0,200
31	0,2276	1,42*	1,60*	1,58*	5,65	0,005
32	0,1526	1,30*	1,35*	1,53*	6,79	0,005
33	0,0595	1,06	1,07	1,17	11,53	0,285
34	0,0509	1,20*	1,26*	1,28*	10,30	0,005
35	0,1483	1,12	1,23*	1,36*	7,54	0,080
36	0,1345	1,19*	1,35*	1,37*	7,52	0,025
37	0,1397	1,08	1,14	1,27*	7,50	0,015
38	0,1474	1,13	1,23*	1,14	7,68	0,240
39	0,2069	1,11	1,04	1,02	6,83	0,555
40	0,3681	1,16*	1,17	1,38*	5,45	0,555
41	0,2681	1,53*	1,93*	2,33*	5,66	0,005
42	0,3802	1,50*	1,78*	1,67*	5,23	0,120
43	0,7276	2,47*	3,47*	2,66*	3,97	0,005
44	0,6741	2,01*	2,69*	2,59*	4,03	0,005
45	0,5724	1,58*	2,03*	1,57*	4,37	0,010

^aValores de D seguidos por * foram significativamente maiores que 1 ($P < 0,05$), indicando padrão agregado, conforme o teste de Qui-quadrado, com $N-1$ gl, onde N é o número de *quadrats*.

^bO p -valor indica a probabilidade, obtida em $NMC=199$ simulações com o nível de incidência correspondente e sob completa aleatoriedade, da distância mínima média ser igual ou menor que a distância observada.

Com a divisão em *quadrats* de dimensões 2x3, em maior número de mapas o padrão foi considerado agregado.

O número médio de vizinhos infestados oscilou conforme a proporção de plantas infestadas, com correlações positivas significativas superiores a 0,96 para qualquer raio de vizinhança testado. Nos levantamentos 33 e 34, sob baixa infestação (Tabela 28), o número médio de vizinhos com ácaro não atingiu 1 para os raios menores, com probabilidades superiores a 0,06 se considerada a completa aleatoriedade. Sob a mais alta infestação (t=43) quase a totalidade de vizinhos para os raios testados também hospedavam o ácaro (1,8 vizinhos para o raio de 4 m, 3,6 vizinhos para o raio de 7,55 m e 8,8 vizinhos para o raio de 8,5 m).

Os resultados da aplicação da lei de Taylor (Figura 17 e Tabela 29) indicaram agregação variando com a incidência de infestação nas três dimensões de *quadrats*, isto é, a estimativa de b foi superior a 1 (P<0,05).

Figura 17 - Representação da reta de regressão ajustada (----) e da reta binomial teórica (.....) conforme a Lei de Taylor modificada, para incidência de plantas infestadas por *B. phoenicis*, e *quadrats* de 2x2 (esquerda), 2x3 (centro) e 3x3 árvores (direita). Cada ponto representa uma avaliação do talhão

Tabela 29 - Resultados da aplicação da lei de Taylor^a em três dimensões de *quadrats*, na análise da incidência de plantas infestadas por *B. phoenicis* em talhão de laranja doce, cv. 'Valência'

Dimensões de <i>quadrat</i>	Log(A)	b	R ²
2x2	0,265 (0,035)	1,094 (0,018)	0,99
2x3	0,376 (0,055)	1,119 (0,026)	0,98
3x3	0,415 (0,058)	1,123 (0,025)	0,98

^aEstimativas dos parâmetros da reta ajustada $\log(V_{\text{obs}}) = \log(A) + b\log(V_{\text{bin}})$ e erros padrões entre parênteses (41 gl) e coeficientes de determinação (R²).

4.3.2 O padrão espacial das plantas doentes

A partir do mapa ou levantamento 18 (24/02/03), quando 11 plantas localizadas em 5 linhas apresentaram sintomas, já foi apontada agregação na linha. Esses primeiros focos evoluíram mais acentuadamente no sentido das linhas do que transversalmente a elas até o final do monitoramento. A avaliação visual que pode ser feita pela observação das figuras 8 e 9 foi confirmada pelo teste de seqüências ordinárias que acusou mais de 65 % das linhas como apresentando agregação (Tabela 29).

Tabela 29 - Resultados da análise de seqüências ordinárias para os mapas (levantamentos) de incidência de plantas com sintomas de leprose dos citros, variedade 'Valência'

Número de mapas testados*	Número de linhas testadas*	% de mapas com agregação na linha	% de linhas com agregação	Número de transversais testadas*	% de mapas com agregação na transversal à linha	% de transversais com agregação
40	354	70	65,2	902	57,5	18,0

* Mapas, linhas ou transversais às linhas de plantio com, no mínimo, uma planta com sintomas ou uma planta sem sintomas de leprose.

Até a avaliação 16 somente uma planta sintomática foi observada no talhão. A análise de *quadrats* e cálculo do índice binomial de dispersão, D, só foram possíveis a partir da avaliação 17 (Tabela 30). O D calculado para a incidência de plantas sintomáticas não diferiu de 1 até o levantamento 22 (meados do ciclo 2003- 26/05/2003), no qual a incidência foi de 0,7 %. Após 28 dias, a incidência atingiu quase 2 % e o padrão espacial passou a agregado permanecendo assim até a incidência de 32 % ao final do ciclo 2004 e do período experimental.

À medida que cresceu a incidência no talhão, diminuiu a distância entre plantas doentes, ou seja, aumentou a agregação entre plantas doentes. Sob a mais alta incidência, a média das distâncias mínimas no talhão foi de 4,7 m, o que seria esperado para apenas 0,5 % das plantas doentes se não houvesse agregação.

O número médio observado de vizinhos doentes ficou acima do número obtido sob a hipótese de completa aleatoriedade espacial, em todos os levantamentos para as três medidas de raio calculadas. No levantamento 45, tomando um raio de 8,5 m, a média observada foi de 6,59 plantas doentes, igual ao dobro do número esperado que foi de 3,3 vizinhos doentes/planta dentre os dez vizinhos em torno das plantas.

Tabela 30 - Incidência (proporção) e índice de dispersão binomial (D) para diferentes tamanhos de *quadrats* para os mapas de distribuição de plantas com sintomas de leprose dos citros e teste da distância mínima média entre plantas infectadas (m) e p-valor associado

Levantamento	Incidência de plantas com sintomas	Índice binomial de dispersão (D) ^a			Teste da distância mínima média	
		<i>Quadrat</i> 2x2	<i>Quadrat</i> 2x3	<i>Quadrat</i> 3x3	Distância observada (m)	p-valor ^b
17	0,0017	1,00	1,00	0,99	45,6	0,160
18	0,0043	0,99	0,99	0,98	32,4	0,080
19	0,0062	0,99	0,98	0,96	17,6	0,010
20	0,0052	0,99	0,98	0,97	25,0	0,035
21	0,0052	0,99	0,98	0,97	25,0	0,050
22	0,0069	0,98	0,98	0,96	12,3	0,005
23	0,0198	1,65*	1,84*	2,52*	7,8	0,005
24	0,0250	1,64*	2,10*	2,71*	6,9	0,005
25	0,0276	1,89*	2,30*	3,07*	5,8	0,005
26	0,0302	1,97*	2,41*	2,83*	6,7	0,005
27	0,0345	2,04*	2,51*	3,45*	6,5	0,005
28	0,0414	2,31*	2,89*	4,34*	7,4	0,005
29	0,0603	2,46*	3,28*	4,37*	5,8	0,005
30	0,0612	2,58*	3,59*	4,57*	5,7	0,005
31	0,0664	2,46*	3,35*	4,23*	6,8	0,005
32	0,0716	2,46*	3,39*	4,18*	6,9	0,005
33	0,0733	2,45*	3,33*	4,24*	6,7	0,005
34	0,0871	2,37*	3,20*	4,23*	6,6	0,005
35	0,1224	2,40*	3,18*	4,56*	5,6	0,005
36	0,1543	2,30*	3,16*	4,48*	4,8	0,005
37	0,2129	2,46*	3,29*	4,48*	4,7	0,005
38	0,2509	2,43*	3,33*	4,35*	4,7	0,005
39	0,2672	2,41*	3,21*	4,07*	4,9	0,005
40	0,2655	2,34*	3,08*	4,05*	5,0	0,005
41	0,2664	2,31*	3,06*	4,01*	5,0	0,005
42	0,2698	2,31*	3,01*	3,99*	5,0	0,005
43	0,2931	2,29*	3,05*	3,99*	4,9	0,005
44	0,3190	2,33*	3,11*	4,03*	4,8	0,005
45	0,3241	2,43*	3,31*	4,29*	4,7	0,005

^aValores de D seguidos por * foram significativamente maiores que 1 ($P < 0,05$), indicando padrão agregado, conforme o teste de Qui-quadrado, com $N-1$ gl, onde N é o número de *quadrats*.

^bO p-valor indica a probabilidade, obtida em $NMC=199$ simulações com o nível de incidência correspondente e sob completa aleatoriedade, da distância mínima média ser igual ou menor que a distância observada.

Pela aplicação da lei de Taylor (Figura 18 e Tabela 31), o padrão espacial das plantas doentes foi classificado como agregado para os três tamanhos de *quadrats* e a agregação aumenta à medida que aumenta o nível de infestação. Pelo teste t unilateral ($\alpha=0,01$ e 66 gl) a diferença entre as estimativas de b na análise da incidência de plantas com sintomas (Tabela 31) e na análise de plantas com ácaros (Tabela 28) foi altamente significativa, para qualquer das diferentes dimensões de *quadrats*. Portanto, o nível de agregação de plantas sintomáticas foi mais elevado que o nível de agregação de plantas sintomáticas.

Figura 18 - Representação da reta de regressão ajustada (----) e da reta binomial teórica (.....) conforme a Lei de Taylor modificada (relação entre a variância observada e a variância teórica binomial) para incidência de plantas com sintomas de infecção por CiLV, para *quadrats* de 2x2 (esquerda), 2x3 (centro) e 3x3 árvores (direita). Cada ponto representa uma avaliação do talhão

Tabela 31 - Resultados da aplicação da lei de Taylor^a em três dimensões de *quadrats*, na análise da incidência de plantas com sintomas de leprose dos citros em talhão de laranja doce, cv. 'Valência'

Dimensões de <i>quadrat</i>	Log(<i>A</i>)	b	R ²
2x2	0,721 (0,041)	1,228 (0,020)	0,99
2x3	1,009 (0,055)	1,297 (0,024)	0,99
3x3	1,323 (0,075)	1,376 (0,032)	0,98

^aEstimativas dos parâmetros da reta ajustada $\log(V_{\text{obs}}) = \log(A) + b\log(V_{\text{bin}})$ e erros padrões entre parênteses (16 gl) e coeficientes de determinação (R^2).

4.3.3 O efeito de vizinhança examinado através do modelo autológico

Foram ajustados os dois modelos autológicos propostos (item 3.2.3.2) para INPLACA e INPLSIN. Para ambas as variáveis, o modelo 2, com o efeito de vizinhos na linha e nas linhas adjacentes, apresentou maior verossimilhança e foi ajustado aos dados dos levantamentos 26 a 45.

Com o aumento da incidência de infestação apenas o intercepto dos modelos aumentou ($r=0,61$, $P<0,01$). Os demais coeficientes não tiveram correlação significativa com o número de plantas infestadas, o que indica que o efeito dessas covariáveis, construídas de modo a captar o efeito de vizinhança, independe do nível de infestação (Tabela 32). O efeito de vizinhança sobre a probabilidade de infestação da planta pelo ácaro é eventual ou não uniforme. O levantamento $t=26$, onde se teve baixo nível de infestação, e o $t=43$, de maior incidência de infestação durante

o período estudado, apresentaram altos coeficientes para os efeitos de vizinhas na linha e de vizinhas nas linhas adjacentes.

Tabela 32 - Estimativas dos coeficientes (β) dos efeitos e erro padrão associado, para MA2 ajustado à incidência de plantas com ácaros (INPLACA), para as avaliações t=26 a t=45

Levantamento	Efeitos considerados no modelo					
	Intercepto (β_0)		Vizinhas na linha (X_L)		Vizinhas nas linhas adjacentes (X_A)	
26	-3,834	(0,225)	1,252	(0,375)	1,957*	(0,356)
27	-3,839	(0,226)	1,667	(0,364)	1,191*	(0,471)
28	-2,279	(0,130)	0,855	(0,141)	0,682	(0,151)
29	-1,825	(0,117)	0,200 ^{ns}	(0,148)	0,492	(0,146)
30	-1,087	(0,110)	-0,013 ^{ns}	(0,112)	0,258	(0,108)
31	-1,818	(0,121)	0,895	(0,110)	0,330	(0,120)
32	-2,058	(0,122)	0,754	(0,140)	0,272 ^{ns}	(0,158)
33	-2,763	(0,148)	-0,352 ^{ns}	(0,418)	0,680	(0,298)
34	-2,855	(0,153)	0,077 ^{ns}	(0,397)	0,253 ^{ns}	(0,381)
35	-1,873	(0,116)	0,390	(0,157)	0,036 ^{ns}	(0,167)
36	-1,993	(0,119)	0,216 ^{ns}	(0,165)	0,327 ^{ns}	(0,172)
37	-1,912	(0,120)	0,247 ^{ns}	(0,162)	0,270 ^{ns}	(0,157)
38	-1,810	(0,116)	0,076 ^{ns}	(0,168)	0,324	(0,156)
39	-1,306	(0,110)	-0,141 ^{ns}	(0,133)	0,166 ^{ns}	(0,133)
40	-0,679	(0,117)	-0,067 ^{ns}	(0,096)	0,308	(0,093)
41	-1,590	(0,114)	0,471	(0,102)	0,554	(0,104)
42	-1,007	(0,117)	0,364	(0,092)	0,354	(0,094)
43	-2,030	(0,233)	1,378	(0,132)	0,962	(0,148)
44	-1,307	(0,181)	0,865	(0,111)	0,789	(0,113)
45	-0,651	(0,151)	0,573	(0,090)	0,308	(0,095)

^{ns} Coeficientes dos efeitos do modelo não significativos ($P>0,05$).

*Coeficiente do efeito de vizinhos nas linhas adjacentes significativo a 0,05.

Todos os demais coeficientes foram altamente significativos ($P<0,001$).

À medida que aumentou a incidência de plantas doentes no talhão, aumentou o valor do intercepto ($r=0,98$, $P<0,01$) dos modelos ajustados por avaliação e diminuiu o coeficiente tanto do efeito das vizinhas na linha de plantio ($r=-0,83$, $P<0,01$) como do efeito de vizinhas nas adjacentes ($r=-0,57$, $P<0,01$) (Tabela 33). O efeito de vizinhança, na estrutura testada aqui, enfraqueceu à medida que a doença progrediu no talhão.

Tabela 33 - Estimativas dos coeficientes (β) dos efeitos e erro padrão associado do modelo autolístico 2, ajustado à incidência de plantas com sintomas (INPLSIN), por avaliação

Levantamento	Efeitos considerados no modelo					
	Intercepto (β_0)		Vizinhas na linha (X_L)		Vizinhas nas linhas adjacentes (X_A)	
26	-4,535	(0,308)	3,368	(0,462)	0,636 ^{ns}	(0,564)
27	-4,211	(0,261)	2,841	(0,422)	0,307 ^{ns}	(0,541)
28	-4,531	(0,302)	3,186	(0,407)	1,074*	(0,451)
29	-4,089	(0,244)	2,274	(0,294)	1,577	(0,317)
30	-4,107	(0,246)	2,219	(0,297)	1,649	(0,334)
31	-3,967	(0,231)	2,207	(0,285)	1,490	(0,314)
32	-3,852	(0,220)	2,248	(0,294)	1,266	(0,333)
33	-3,868	(0,221)	2,210	(0,274)	1,391	(0,314)
34	-3,614	(0,198)	2,201	(0,241)	1,041	(0,277)
35	-3,564	(0,197)	2,219	(0,202)	1,136	(0,221)
36	-3,278	(0,177)	2,024	(0,172)	0,949	(0,187)
37	-3,174	(0,176)	2,099	(0,156)	0,846	(0,160)
38	-2,691	(0,151)	1,872	(0,146)	0,508	(0,142)
39	-2,644	(0,150)	1,791	(0,137)	0,571	(0,136)
40	-2,610	(0,148)	1,862	(0,139)	0,444	(0,135)
41	-2,602	(0,148)	1,764	(0,131)	0,549	(0,130)
42	-2,594	(0,148)	1,710	(0,129)	0,606	(0,128)
43	-2,555	(0,148)	1,664	(0,126)	0,657	(0,126)
44	-2,518	(0,148)	1,553	(0,121)	0,775	(0,125)
45	-2,560	(0,151)	1,625	(0,124)	0,754	(0,127)

^{ns} Coeficientes dos efeitos do modelo não significativos ($P > 0,05$).

* Coeficiente do efeito de vizinhos nas linhas adjacentes significativo a 0,05.
 Todos os demais coeficientes foram altamente significativos ($P < 0,001$).

5 DISCUSSÃO

Para melhor fluência de leitura deste item, o termo vetor será usado em referência ao ácaro virulífero, isto é, aquele capaz de transmitir o CiLV às plantas hospedeiras, disseminando o vírus e a doença.

A flutuação populacional de *B. phoenicis* no talhão de ‘Valência’ acompanhado nesta pesquisa esteve de acordo com outros levantamentos efetuados e pode ser observada alguma influência do clima como acréscimo na população em períodos mais secos e quedas em períodos chuvosos. Oliveira (1986; 1995) e Primiano; Bassanezi (2002) obtiveram resultados semelhantes em talhões na região de Bebedouro e Araraquara, respectivamente, mostrando boa correlação entre períodos de estiagem e posterior aumento da população do ácaro. A amplitude de umidade relativa do ar média observada no período de monitoramento, não foi restritiva ao desenvolvimento do ácaro, conforme o constatado por Souza; Oliveira (2002).

Com base em levantamentos em quatro regiões do Estado de São Paulo, em áreas isentas de tratamentos com defensivos, Oliveira (1986) apontou os meses de setembro e outubro como os de mais alta densidade populacional de *B. phoenicis*, período que coincide com os de maior infestação detectados neste trabalho e com baixa umidade e baixa precipitação coincidentes com crescimento da população de *B. phoenicis*. As temperaturas registradas no período de coleta de dados para este trabalho foram normais para a região. Considerando que a temperatura tem pouca influência sobre a população (OLIVEIRA, 1995) e, ainda, a alta capacidade de sobrevivência e de estabelecimento da população mesmo sob condições extremamente desfavoráveis, conforme destacadas por Kennedy et al. (1996), pode se inferir que a flutuação populacional, nas condições deste estudo, dependeu mais da fenologia das plantas e do tipo de tecido disponível por épocas ao longo do ano do que dos fatores climáticos.

Este estudo mostrou que a probabilidade da incidência de plantas com ácaros está altamente associada à fenologia da planta, especialmente à emissão de brotos novos. Nos três anos de monitoramento puderam ser identificados períodos em que as plantas não emitiram novas brotações ou novas folhas coincidentes com queda na densidade absoluta de ácaros. Os mesmos fatores relacionados com o aumento populacional do ácaro também afetaram a incidência de plantas com ácaro, que cresceu nos estádios finais de maturação e crescimento dos frutos e nos períodos de novos fluxos vegetativos. Para Zhang; Holt; Colvin (2000), folhas e ramos novos são locais favoráveis à alimentação de vetores e também locais em que vírus são mais facilmente

adquiridos por potenciais vetores. Pelas análises efetuadas neste trabalho, a emissão de novos brotos parece atrair não apenas a população do ácaro, como também a população do vetor, uma vez que essa variável fenológica, número de brotos novos, esteve altamente associada à probabilidade de incidência de plantas sintomáticas. Além do número de brotos, o diâmetro do fruto também foi positivamente correlacionado às incidências de plantas com ácaros e sintomas, a despeito do decréscimo na incidência de frutos e folhas com sintomas ao final dos ciclos, devido à queda dessas estruturas atribuída à própria doença.

A preferência do ácaro da leprose por frutos é comumente relatada na literatura (Oliveira, 1986) e, segundo Rodrigues (2000), um tempo inicial de dois meses após o florescimento seria necessário para a migração de populações do ácaro de outros órgãos da planta (folhas e ramos) para os novos frutos. De fato, os resultados deste trabalho confirmam essas afirmativas. As quedas no número de ácaros por planta foram atribuídas às operações de colheita dos frutos (normalmente aos 150 dias após o florescimento da próxima safra), indicando que a maior parte da população se encontrava nestes órgãos. Entretanto, mesmo com a retirada dos frutos maduros, uma população remanescente maior que a do período anterior foi observada nos frutos da nova florada e nos ramos. Conseqüentemente, os incrementos seguintes da população do ácaro e de plantas infestadas foram também maiores.

As variáveis fenológicas estão comprovadamente associadas ao crescimento da população do ácaro e ao crescimento da incidência da doença no talhão. Essas associações foram investigadas tomando-se as variáveis preditoras isoladamente e em momentos concomitantes. Faz-se necessário investigar modelos mais amplos, que identifiquem a influência de mais de uma preditora simultaneamente a fim de verificar possíveis influências de interações entre elas sobre as incidências de infestação e de infecção. Outros aspectos possíveis de serem investigados são interações entre ciclos e preditoras e o efeito destas com defasagem no tempo.

O alto grau de correlação entre as incidências de órgãos doentes nas plantas indica que a infecção em frutos, em ramos e em folhas ocorre simultaneamente. O progresso da doença na planta se dá provavelmente por auto-infecção e, ainda, por um grupo restrito de vetores ali hospedados.

A principal diferença nas curvas anuais de progresso da doença foi quanto à quantidade de inóculo inicial nos ramos (Tabela 8). Esses órgãos não são removidos da planta entre as safras e perpetuam a fonte de vírus de um ano para outro. A doença, apesar de não ser sistêmica,

apresenta comportamento poliético com efeito cumulativo de inóculo de ano para ano. As estimativas dos parâmetros do modelo logístico, aplicado ao ajuste dos dados anuais, comprovam essa característica (Tabela 8). Além disso, os ramos parecem representar a fonte de inóculo para os demais órgãos da planta. O acompanhamento do progresso da doença em 12 árvores individualizadas durante os ciclos de 2003 e 2004 mostrou que o progresso da doença nos ramos é muito mais rápido do que em frutos (Figura 15). Em um ano, praticamente todos os ramos amostrados estão infectados, e provavelmente infectivos. Essa elevada quantidade de inóculo nos ramos se reflete em aumento de incidência de frutos com lesões no ano seguinte. Assim, os ramos parecem ser o sítio primário do inóculo nas plantas doentes.

As análises de correlação e de regressão logística em que a incidência da doença foi relacionada à população de ácaros e à própria incidência da doença na vizinhança das plantas em períodos anteriores, indicaram que não há influência do número de ácaros sobre a incidência de doença na planta mais tarde. Por outro lado, elevada correlação entre as incidências da doença estimadas em períodos de tempo distintos, mostrou que, nas condições desta avaliação, a população de ácaros em qualquer nível de infestação, não foi boa preditora da ocorrência da leprose nas plantas. Portanto, não há indicação, neste estudo, de que se possa usá-la como critério de decisão para medidas de controle da doença. A quantidade de doença em uma determinada data é função da própria quantidade de doença em datas anteriores, o que reforça a importância do inóculo inicial. A eliminação dessa fonte de inóculo seria uma importante medida para o controle da leprose dos citros.

Considerou-se o ajustamento de modelos de regressão logística ferramenta eficaz para demonstrar a influência de covariáveis defasadas no tempo e com informação da vizinhança. Também efetivo foi o uso de modelos autolísticos para estudar a influência de autocorrelação espacial. No entanto, ao se utilizarem os modelos de regressão Poisson, de regressão logística e o modelo autolístico assume-se o pressuposto de que existe uma relação linear, na escala da transformação definida pela função de ligação. Por exemplo, no modelo logístico um acréscimo de uma unidade numa dada covariável X , qual seja do valor 0 para 1, provoca o mesmo acréscimo no logito que a mudança de 1 para 2 na covariável. Esse pressuposto pode não ser consistente com a realidade. Portanto, a escolha da forma covariável deve contemplar a possibilidade de ser usada em alguma forma transformada. Por exemplo, a relação linear pode ser melhor descrita com uma função da covariável tal como logaritmo, raiz, dicotomização de forma

a estar acima ou abaixo de certo limiar ou outra transformação adequada. A escolha de tal transformação em modelos Binomiais e Poisson pode ser baseada em ferramentas gráficas na escala da função de ligação. Entretanto, para respostas dicotômicas nos modelos logísticos, a investigação gráfica não é óbvia. Uma alternativa é considerar algumas transformações e escolher aquela que maximiza a verossimilhança do modelo ajustado. Além disto, no contexto de modelos lineares generalizados, outras escolhas de função de ligação, tais como complemento log-log e probito para modelos binomiais, podem se revelar mais adequadas. Poderiam ser feitos testes para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos logísticos nas diversas situações em que foram utilizados. No entanto, no âmbito deste trabalho, restringiu-se ao ajuste dos modelos como uma etapa inicial à modelagem no sistema leprose dos citros.

A disseminação do CiLV é totalmente dependente da ação do vetor. Os mapas de incidência de sintomas indicam plantas onde efetivamente ácaros virulíferos se alimentaram num tempo anterior. Portanto, a disseminação da doença coincide com a disseminação do vetor. Como o *B. phoenicis* tem baixa mobilidade e o vento tem pouco efeito no seu deslocamento (ALVES, 2004), nas condições de localização do talhão, a disseminação do CiLV e, portanto, da doença, deve, de fato, ser bastante lenta, com baixa taxa aparente de infecção. Rodrigues et al. (2003), conforme citado por Bastianel et al. (2006), cogitaram que talhões sem controle químico do ácaro estariam com 100 % das plantas doentes num prazo de 2 a 3 anos. Essa premissa não foi verdadeira para as condições do talhão de ‘Valência’ monitorado para este estudo.

Dois fatores podem ter contribuído para maior agregação do ácaro e da doença na linha, como observado neste estudo. O talhão era bastante vegetativo (ramificado e enfolhado) e o contato entre as copas das árvores na linha pode ter favorecido a disseminação do ácaro por caminhamento de uma árvore a outra neste sentido. A direção leste-oeste das linhas de plantio no TV coincidiu com a direção predominante dos ventos no período de monitoramento o que pode também ter contribuído para maior disseminação/dispersão da praga. Operações de tratos culturais e colheita, executadas no sentido das linhas de plantio, podem também ter sido fator de disseminação do vetor.

A análise da agregação de *quadrats* mostra que há um aumento da agregação com o progresso da doença ou seja, a expansão da doença ocorreu em torno dos focos primários de infecção. Os parâmetros das equações da lei de Taylor modificada são bastante elevados, quando comparados a outras doenças dos citros, como CVC (LARANJEIRA, 1997), que é transmitido

por cigarrinha; ou mesmo cancro cítrico, doença bacteriana de disseminação a curtas distâncias (BERGAMIN FILHO et al., 2000).

Segundo Zhang; Holt; Colvin (2000), o movimento e distribuição espacial de vetores são aspectos centrais dos mecanismos de progresso de viroses e o aumento na agregação espacial de vetores e de plantas doentes levam à reduzidas taxas de progresso da doença disseminada por tais vetores. A baixa mobilidade do *B. phoenicis*, a não transmissão do vírus para as progênes pelos vetores e não sistemicidade do vírus na planta reforçam a agregação desses ácaros virulíferos em relação à população total de ácaros. Além disso, foi constatado crescimento maior da população do ácaro nas plantas doentes em relação às sadias. Uma investigação dos aspectos fisiológicos e comportamentais dos dois grupos pode vir a esclarecer se existem diferenças ligadas à taxa de fertilidade, a movimentos migratórios ou ao ciclo biológico.

Pela associação positiva entre o crescimento das incidências de plantas infestadas conforme o órgão examinado e o número de ácaros por órgão ou planta infestada (densidades relativas do ácaro), pode se afirmar que a população do ácaro cresce disseminando-se pelas plantas do talhão. Em relação à doença, também foram constatadas correlações entre a expansão na planta doente, resultante de infecções secundárias, e a expansão no talhão, resultante de novas infecções primárias. O uso de incidências facilita o monitoramento em escala comercial, pois amostrar pela presença-ausência de um atributo, neste caso, o ácaro ou a doença, é mais rápido do que contar ácaros ou órgãos sintomáticos.

Embora padrões verdadeiramente aleatórios sejam infreqüentes em patossistemas agrícolas (BERGAMIN FILHO, 1995), a transmissão da doença, através de infecção primária, é comumente associada a uma distribuição inicialmente aleatória de plantas infectadas (GRAY; MOYER; BLOOMFIELD, 1986; MADDEN et al., 1992). Nos levantamentos de leprose dos citros apresentados neste trabalho, sob muito baixa incidência o padrão foi aleatório, mas os focos se desenvolveram de dentro para fora, isto é, as transmissões primárias têm origem na fonte de inóculo inicial. O vetor passa de uma planta vizinha a outra, fazendo a transmissão de curta distância a partir de fontes internas de inóculo.

Existe uma subpopulação de ácaros vetores inserida na população maior de ácaros *B. phoenicis*. O padrão altamente agregado da doença não condiz com o padrão aleatório ou fracamente agregado da população do ácaro e, sim, deve corresponder ao padrão da subpopulação

dos ácaros contaminados com CiLV, se não concomitantemente, com uma defasagem no tempo correspondente ao período de incubação.

No estudo de Bassanezi; Laranjeira (2006), o primeiro executado sobre padrão espacial em leprose dos citros, os dados utilizados permitiram apenas retratar e diagnosticar, num único momento, o padrão espacial de áreas de plantio de citros sem possibilidade de analisar o avanço espacial das populações do ácaro e da doença ou a relação destas ao longo do tempo. Esta é uma situação freqüente no sistema produtivo, em que não se tem registros ou não foi feito monitoramento anterior. O modelo autológico permite a modelagem do padrão espacial quando se tem uma única observação no tempo ou apenas um levantamento. Tal como utilizado, o modelo demonstrou, em situação de contemporaneidade com a avaliação da incidência de doença, a fraca relação de vizinhança quando se trata de incidência de plantas com ácaros e a estreita relação entre plantas vizinhas quanto ao estado de doença. Este resultado pode ser de interesse para a construção de planos amostrais quando se dá início ao monitoramento de um talhão.

Os resultados alcançados neste trabalho confirmam que a presença ou ausência do ácaro não é um indicador suficiente para suposições sobre o risco de ocorrência de leprose de citros. Os níveis populacionais do ácaro não podem isoladamente subsidiar estimativas do nível de incidência da doença, quando não se tem informações sobre a origem desta população e sobre o seu grau de contaminação com o vírus. Assim, monitorar somente a população do ácaro é uma prática não recomendável considerando o alto custo financeiro de uma decisão de controle químico e o prejuízo ambiental. A acentuada agregação da leprose dos citros, tal como constatado neste trabalho, seria suficiente para garantir a indicação de práticas de controle por linhas ou setores do pomar.

Em cultivos comerciais de laranja doce, estimativas de incidência da leprose dos citros dependem de planos amostrais específicos. O padrão espacial da ‘população da doença’ é altamente agregado. Portanto, planos amostrais delineados sob a pressuposição de aleatoriedade não levam a estimativas acuradas e precisas. As análises efetuadas neste trabalho fornecem subsídios para o desenvolvimento de planos amostrais visando a tomada de decisão de medidas de controle da leprose dos citros.

A identificação do foco original da doença parece ser uma boa estratégia de controle, pois o manejo pode restringir-se à planta foco e a um raio de plantas vizinhas que poderiam estar

infectadas sem, no entanto apresentar sintomas. Dessa forma tanto a aplicação de acaricidas como a remoção de ramos doentes poderia ser restrita aos focos iniciais. Os conhecidos “pragueiros” que percorrem o pomar em busca de ácaros deveriam passar a percorrê-lo em busca de sintomas da doença nos ramos, de forma a aumentar a eficiência de controle sem aumentar o atual custo de inspeção em uma propriedade. Num programa amostral visando controle da leprose dos citros seria de extrema importância o uso de teste para detectar a presença do CiLV no ácaro, quando for detectada a infestação no talhão mas não a presença de sintomas nas plantas.

A aplicação de acaricidas, amplamente empregada no controle da doença, é uma medida de proteção, dentro dos princípios de Whetzel (KIMATI; BERGAMIN FILHO, 1995). Como tal, o principal efeito na epidemia é a redução da taxa de progresso da doença. Foi bem demonstrado neste estudo que a taxa de progresso da doença varia pouco de ano para ano. A doença progride porque o inóculo se acumula de ano para ano. Portanto a utilização de medidas de controle com efeito predominante sobre a taxa de progresso da doença não é a melhor tática para evitar o avanço de epidemias de leprose dos citros. Medidas de erradicação, como poda de ramos doentes, devem contribuir de forma mais eficaz.

6 CONCLUSÕES

Existe uma relação direta entre a flutuação da população de *Brevipalpus phoenicis* assim como do progresso da epidemia de leprose dos citros e a fenologia. Fases caracterizadas pela emissão de novos fluxos vegetativos na planta ou por frutos no estágio final de crescimento são favoráveis ao crescimento da população de *B. phoenicis* e ao progresso da epidemia.

A taxa de crescimento anual da leprose dos citros é baixa, o que reflete o lento crescimento da incidência de plantas doentes.

O padrão espacial da população do ácaro não corresponde ao padrão espacial da doença que é altamente agregado. Quanto maior a incidência da doença, maior o grau de agregação.

Existe uma subpopulação de ácaros contaminados por CiLV inserida na população estabelecida em uma área de produção de citros sob condições de epidemia. O padrão espacial da doença reflete o padrão espacial das árvores infestadas pelo vetor em momento anterior, defasagem essa que corresponde ao período entre a inoculação de CiLV e o aparecimento de sintomas. A densidade populacional do ácaro *Brevipalpus phoenicis*, em determinado tempo, não está correlacionada à incidência da doença *a posteriori*. Portanto, indicadores relativos à presença do ácaro não são suficientes em levantamentos para a tomada de decisão de controle da leprose.

Considerando a alta agregação da doença e baixa capacidade de dispersão de *Brevipalpus phoenicis*, medidas de erradicação de fontes de inóculo da doença podem ser efetuadas em áreas localizadas ou por setor do talhão.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, F.A. de; OLIVEIRA, C.A.L. de; BARRETO, M. Comportamento do ácaro *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari: Tenuipalpidae) em frutos de citros. In: OLIVEIRA, C.A.L.de; DONADIO, L.C. (Ed.). **Leprose dos citros**. Jaboticabal: FUNEP. 1995. p.77-90.

ALVES, E.B. Dinâmica da resistência de *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari: Tenuipalpidae) ao acaricida dicofol. 91 p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ALVES, E.B.; CASARIN, N.F.B.; OMOTO, C. Mecanismos de dispersão de *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari: Tenuipalpidae) em pomares de citros. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, n.1, p. 89-96, 2005.

AMORIM, L. Avaliação de doenças. In: A. BERGAMIN FILHO; H. KIMATI; L. AMORIM (Ed.) **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Editora Ceres. 1995. v.1 p.540-553.

BARRETO, M.; PAVAN, A. Relação Verrugose x Leprose. In: OLIVEIRA, C.A.L.de; DONADIO, L.C. (Ed.). **Leprose dos citros**. Jaboticabal: FUNEP. 1995. p.69-76.

BASSANEZI, R.B.; LARANJEIRA, F.F. Spatial patterns of leprosis and its mite vector in commercial citrus groves in Brazil. **Plant Pathology**, London, 2006. In press.

BASTIANEL, M.; FREITAS-ASTÚA, J.; KITAJIMA, E.W.; MACHADO, M.A. The citrus leprosis pathosystem. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 32, n. 3, p. 211-220, 2006.

BERGAMIN FILHO, A. Conceitos e objetivos. In: A. BERGAMIN FILHO; H. KIMATI; L. AMORIM (Ed.) **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Editora Ceres, 1995. v.1, p.540-553.

BERGAMIN FILHO, A.; HAU, B.; AMORIM, L.; LARANJEIRA, F.F.; GOTTWALD, T.R. Epidemiology of citrus canker in Brazil with and without the asian citrus lesfminer. In: INTERNATIONAL CITRUS CANCER RESEARCH WORKSHOP, Fort Pierce, 2000. **Proceedings...** Fort Pierce, 2000. Disponível em: <<http://www.doacs.state.fl.us/canker>>. Acesso em: 8 nov. 2005.

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; LARANJEIRA, F.F. Análise espacial de epidemias. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v.10, p.155-218, 2002.

BUSOLI, A.C. O manejo integrado de pragas - citros e a busca de qualidade total na citricultura. **Laranja**, Cordeiropolis, v.16, p.155-186, 1995.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York, John Wiley, 1990. 532 p.

CARDOSO, M.H.M.; SCARPELLINI, J.R.; SANTOS, J.C.C. Flutuação populacional do ácaro da leprose *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari: Tenuipalpidae) em pomar cítrico sem controle químico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 14., 1993, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBE, 1993. p.712.

CATI. Citros: recomendação para o controle das principais pragas e doenças em pomares do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico CATI**, Campinas, n.165, 58p, 1997.

CHAREST, J.; DEWDNEY, M.; PAULITZ, T.; PHILION, V.; CARISSE, O. Spatial distribution of *Venturia inaequalis* airborne ascospores in orchards. **Phytopathology**, Saint Paul, v.92, n.7, p.769-779, 2002.

CHIAVEGATO, L.G.; SALIBE, A.A. New results on the transmissibility of leprosis symptoms by mite *Brevipalpus phoenicis* in citrus. In: CONFERENCE INTERNATIONAL OF ORGANIZATION CITRUS VIROLOGISTS, 10., 1986. Valencia. **Proceedings...** Valencia. 1986. p.136.

CHIAVEGATO, L.G. Avaliação da potencialidade de *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari: tenuipalpidae) na transmissão da leprose em plantas cítricas. In: CONGRESSO DE ENTOMOLOGIA, 15., 1995, Caxambu. **Anais...** Caxambu: SBE. 1995. p.14.

CHILDERS, C.C.; FRENCH, J.V.; RODRIGUES, J.C.V. *Brevipalpus californicus*, *B. obovatus*, *B. phoenicis* and *B. lewisi* (Acari: Tenuipalpidae): a Review of their Biology, Feeding Injury and Economic Importance. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v.30, n.1/3, p.5-28, 2003.

COLARICCIO, A.; LOVISOLO, O.; CHAGAS, C.M.; GALLETI, S.R.; ROSSETTI, V.; KITAJIMA, E.W. Mechanical transmission and ultra-structural aspects of citrus leprosis disease. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, p.208-213, 1995.

DALLOT, S.; GOTTWALD, T.; LABONNE, G.; QUIOT, J.B. Spatial Pattern Analysis of Sharka Disease (*Plum pox virus* Strain M) in Peach Orchards of Southern France. **Phytopathology**, Saint Paul, v.93, n.12, p.1543-1552, 2003.

DE WOLF, E.D.; MADDEN, L.V.; LIPPS, P.E. Risk Assessment Models for Wheat Fusarium Head Blight Epidemics Based on Within-Season Weather Data. **Phytopathology**, Saint Paul, v.93, n.4, p.428-435, 2003.

FEICHTENBERGER, E.; BASSANEZI, R.B.; SPÓSITO, M.B.; BELASQUE JÚNIOR, J. Doenças dos citros. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. (Ed.). **Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**, 4ed. São Paulo: Agronômica Ceres, v.2, 2005. p.239-269.

FEICHTENBERGER, E. Manejo integrado das principais doenças dos citros no Brasil. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS, 6., 2000. Bebedouro. **Anais...** Bebedouro: 2000. p.177-216.

FERRANDINO, F.J.; Measuring spatial aggregation in binary epidemics: correlative analysis and the advantage of fractal-based sampling. **Phytopathology**, Saint Paul, v.94, n.11, p.1215-1227, Nov. 2004.

GIBSON, G.J. Investigating mechanisms of spatiotemporal epidemic spread using stochastic models. **Phytopathology**, Saint Paul, v.87, n.2, p.139-146, Feb. 1997.

GOTTWALD, T.R.; CAMBRA, M.; MORENO, P.; CAMARASA, E.; PIQUER, J. Spatial and temporal analyses of citrus tristeza virus in eastern Spain. **Phytopathology**, Saint Paul, v.86, n.1, p.45-55, Jan. 1996.

GRAVENA, S. Manejo ecológico de pragas dos citros - aspectos práticos. **Laranja**, Cordeiropolis, v.19, n.1, p.61-77, 1998.

GRAY, S.M.; MOYER, J.W.; BLOOMFIELD, P. Two-dimensional distance class model for quantitative description of virus-infected plant distribution lattices. **Phytopathology**, Saint Paul, v.76, n.2, p.243-248, Feb.1996.

GUIA de fases de desenvolvimento – citros. Campinas: Stoller do Brasil Ltda. [200-]. 1 folder.

GUMPERTZ, M.L.; GRAHAM, J.M.; RISTAINO, J.B. Autologistic model of spatial pattern of *Phytophthora* epidemics in bell pepper: effects of soil variables on disease presence. **Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics.**, Alexandria, v.2, n.2, p.131-156, June 1997.

HOSMER, D.; LEMESHOW, S. **Applied Logistic Regression**. 2nd ed. New York: John Wiley, 2000. 373 p.

HUGHES, G.; MADDEN, L.V.; Aggregation and incidence of disease: some implications for sampling. **Applied Biology**, London, v.37, n.1, p. 25-31, 1994.

HUGHES, G.; MADDEN, L.V. Some methods allowing for aggregated patterns of disease incidence in the analysis of data from designed experiments. **Plant Pathology**, London, v.44, n.6, p. 927-943, 1995.

HUGHES, G.; MADDEN, L.V. Cluster sampling for disease incidence data. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 86, n.2, p. 132-137, 1996.

HUGHES, G.; GOTTWALD, T. R. Survey methods for assessment of citrus tristeza virus incidence. **Phytopathology**, Saint Paul v.88, n.7, p.715-723, 1998.

HUGHES, G.; MADDEN, L.V.; MUNKVOLD, G.P. Cluster sampling for disease incidence data. **Phytopathology**, Saint Paul, v.86, n.2, p.132-137, 1996.

KENNEDY, J.S.; IMPE, G.van; HANCE, P.; LEBRUN, P. Demecology of the false spider mite, *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari, Tenuipalpidae). **Journal Applied Entomology**, Berlin, v.120, p.493-499, 1996.

KIMATI, H.; BERGAMIN FILHO, A. Princípios gerais de controle. In: A. BERGAMIN FILHO; H. KIMATI; L. AMORIM (Ed.). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Editora Ceres. v.1 1995. p.692-716.

KITAJIMA, E.W.; MÜLLER, G.W.; COSTA, A.S.; YUKI, W. Short, rod-like particles associated with citrus leprosis. **Virology**, New York, v.50, p.254-258, 1972.

KRAINSKI, E.T.; RIBEIRO JÚNIOR, P.J. ; BASSANEZI, R.B. Rcitrus: Pacote para Análise de Padrões Espaciais de Doenças de Citrus. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA 50., 2005, Londrina. **Anais...** Londrina: ABE, 2005.

KRITZMAN G.; SHWARTZ H.; MARCUS R.; MANULIS S.; KLIETMAN F.; OPPENHEIM D.; ZILBERSTAIN M. Testing a rapid diagnostic medium for *Erwinia amylovora* and development of a procedure for sampling blossoms in pear orchards. **Phytopathology**, Saint Paul, v.93, n.8, p.931-940, 2003.

LARANJEIRA, F.F. **Dinâmica espacial e temporal da clorose variegada dos citros**. 144p. (Dissertação de Mestrado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

LIN, C.S.; POUSHINSKY, G.; MAUER, M. An examination of five sampling methods under random and clustered disease distributions using simulation. **Canadian Journal Plant Science**, Ottawa, v.59, n.1, p.121-130, 1979.

MAANEN, A. van; XU, X.M. Modelling plant disease epidemics **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v.109, n.7, p.669-682, 2003.

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

MADDEN, L.V.; HUGHES, G. Sampling for Plant Disease Incidence. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 89, n.11, p. 1088-1103, 1999.

MADDEN, L.V.; HUGHES, G. Plant disease incidence: distributions, heterogeneity, and temporal analysis. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.33, p.529-564, 1995.

MADDEN, L.V.; HUGHES, G.; ELLIS, M.A. Spatial heterogeneity of the incidence of grape downy mildew. **Phytopathology**, Saint Paul, v.85, n.3, p.269-275, 1995.

- MADDEN, L.V.; HUGHES, G.; MUNKVOLD, G.P. Plant disease incidence: inverse sampling, sequential sampling, and confidence intervals when observed mean incidence is zero. **Crop Protection**, Surrey, v.15, n.15, p. 621-632, 1996.
- MADDEN, L.V., LOUIE, R., ABT, J.J.; KNOKE, J.K. Evaluation of tests of randomness of infected plants. **Phytopathology**, Saint Paul, v.72, n.2, p.195-198, 1982.
- MILA, A.L. CARRIQUIRY, A.L.; YANG, X.B. Logistic Regression Modeling of Prevalence of Soybean Sclerotinia Stem Rot in the North-Central Region of the United States. **Phytopathology**, Saint Paul, v.94, n.1, p.102-110, 2004.
- MULLER, G.W.; TARGON, M.L. P. N.; CARVALHO, S.A.; SOUZA, A.A.; RODRIGUES, J.C.V. Doenças de citros causadas por vírus e viróides. In: MATTOS JÚNIOR, D.; NEGRI, J. D. de; PIO, R.M.; POMPEU JÚNIOR, J. (Ed.). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundag, 2005. p. 568-604.
- NANTES, J.F.D.; ATIQUE, C.C. Relação entre leprose e queda de frutos em citros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 14., 1993, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBE. 1993. p.181.
- NUTTER, F.W. Quantifying the temporal dynamics of plant virus epidemics: a review. **Crop Protection**, Surrey, v. 16, n. 7, p. 603-618, 1997.
- OLIVEIRA, C.A.L. de; DONADIO, L.C. **Leprose dos citros**. Jaboticabal, FUNEP, 1995. 219 p.
- OLIVEIRA, C.A.L. de Aspectos ecológicos do *Brevipalpus phoenicis*. In: OLIVEIRA, C.A.L.de; DONADIO, L.C. (Ed.). **Leprose dos citros**. Jaboticabal: FUNEP. 1995. p.37-48.
- OLIVEIRA, C.A.L. de Flutuação populacional e medidas de controle do ácaro da leprose *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) em citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v.7, p.1-31, 1986.
- OMOTO, C. Avanços na implementação de estratégias de manejo da resistência do ácaro-da-leprose, *Brevipalpus phoenicis* (Acari: Tenuipalpidae), a acaricidas em pomares de citros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 20., 2004, Gramado. **Resumos...** Gramado: SEB, 2004. p.128.
- PAUL, P. A.; MUNKVOLD, G.P. A Model-based approach to preplanting risk assessment for gray leaf spot of maize. **Phytopathology**, Saint Paul, v.94, n.12, p.1350-1357, 1994.
- PINTO, R.A.; YAMAMOTO, P.T.; PAIVA, P.E.B.; GRAVENA, S. Amostragem seqüencial de pragas na citricultura como método rápido e seguro. **Laranja**, Cordeirópolis, v.16, n.1, p.133-148, 1995.
- PRIMIANO, E.L.V.; BASSANEZI, R.B. Flutuação populacional do ácaro da leprose em pomares citrícolas localizados nos municípios de Gavião Peixoto e Luiz Antônio – SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 19., 2002, Manaus. **Resumos...** Manaus: SEB, 2002. p.253.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 6 nov. 2006.

RIDOUT, M.S.; XU, X.-M. Relationships Between Several Quadrat-Based Statistical Measures Used to Characterize Spatial Aspects of Disease Incidence Data. **Phytopathology**, Saint Paul, v.90, n.6, p. 568-575, 2000.

RODRIGUES, J.C.V. **Leprose dos citros, cito-histopatologia, transmissibilidade e relação com o vetor *Brevipalpus phoenicis* Geijskes (Acari: Tenuipalpidae)**. 79p. (Dissertação de Mestrado) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

RODRIGUES, J.C.V. **Relações patógeno-vetor-plantas no sistema leprose dos citros**. 168p. (Tese de Doutorado) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

RODRIGUES, J.C.V.; OLIVEIRA, C.A.L. de Ácaros fitófagos dos citros. In: MATTOS JÚNIOR, D.; NEGRI, J. D. de; PIO, R.M.; POMPEU JÚNIOR, J. (Ed.). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundag, 2005. p. 691-727.

RODRIGUES, J.C.V.; NOGUEIRA, N.L.; PRATES, H.S.; FREITAS, D.S. Leprose dos citros: importância, histórico, distribuição e relações com o ácaro vetor. **Laranja**, Cordeirópolis, v.15, n.1, p.123-138, 1994.

RODRIGUES, J.C.V.; KITAJIMA, E.W.; CHILDERS, C.C.; CHAGAS, C.M. Citrus leprosis vírus vectored by *Brevipalpus phoenicis* (Acari: Tenuipalpidae) on citrus in Brazil. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v.30, p.161-179, 2003.

ROSSETTI, V. A leprose dos citros no Brasil. In: OLIVEIRA, C.A.L.de; DONADIO, L.C. (Ed.). **Leprose dos citros**. Jaboticabal, FUNEP. 1995. p.1-12.

ROSSETTI, V.; COLARICCIO, A.; CHAGAS, C.M.; SATO, M.E.; RAGA, A. Leprose dos citros. **Boletim Técnico do Instituto Biológico**, Campinas, v.6; p.5-27, 1997.

SALVA, R.A.; MASSARI, C.A. Situação do ácaro da leprose no Estado de São Paulo - Levantamento - Fundecitrus, Agosto 1995. In: OLIVEIRA, C.A.L.de; DONADIO, L.C. (Ed.). **Leprose dos citros**. Jaboticabal: FUNEP, 1995. p.13-17.

SOUZA, R.S.; OLIVEIRA, C.A.L. de Efeito da umidade relativa do ar sobre diferentes estágios de desenvolvimento do *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 19., 2002, Manaus. **Resumos...** Manaus: SEB, 2002. p.253.

SOUZA, R.S.; OLIVEIRA, C.A.L. de; ARAÚJO, J.A.C.; FERNANDES, E.J. Desenvolvimento do *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) sobre plantas de citros submetidos a diferentes condições hídricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 19., 2002, Manaus. **Resumos...** Manaus: SEB, 2002a. p.253-254.

TRINDADE, M.L.B.; CHIAVEGATO, L.G. Caracterização biológica dos ácaros *Brevipalpus obocatus* D., *Brevipalpus californicus* B. e *Brevipalpus phoenicis* G. (Acari: Tenuipalpidae). **Anais da Sociedade de Entomologia Brasileira**, v.23, n.2, p.189-195, 1994.

TURECHECK, W.W.; MADDEN, L.V. Spatial Pattern Analysis of Strawberry Leaf Blight in Perennial Production Systems. **Phytopathology**, Saint Paul, v.89, n.5, p.421-433, 1999.

TURECHECK, W.W.; MAHAFFEE, W.F. Spatial pattern analysis of hop powdery mildew in the Pacific Northwest: Implications for sampling. **Phytopathology**, Saint Paul, v.94, n.10, p.1116-1128, 2004.

WU, B.M.; van BRUGGEN, A.H.C.; SUBBARAO, K.V.; PENNING, G.G.H. Spatial analysis of lettuce downy mildew using geostatistics and geographic information systems. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 91, n.2, p.134-142, 2001.

XU, X.-M.; RIDOUT, M.S. Effects of Initial Epidemic Conditions, Sporulation Rate, and Spore Dispersal Gradient on the Spatio-Temporal Dynamics of Plant Disease Epidemics. **Phytopathology**, Saint Paul, v.88, n. 10, p.1000-1012, 1998.

YAMAMOTO, P.T.; PINTO, A. de S.; PAIVA, P.E.B.; GRAVENA, S. Seletividade de agrotóxicos aos inimigos naturais de pragas dos citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v.13, p.709-755, 1992.

ZHANG, X.-S.; HOLT, J.; COLVIN, J. A general model of plant-virus disease infection incorporating vector aggregation. **Plant Pathology**, London, v.49, n.4, p.435-444, 2000.

APÊNDICES

Apêndice A - Precipitação pluviométrica mensal observada no período de monitoramento em talhão de laranja doce, variedade 'Valência', município de Santa Cruz do Rio Pardo, SP

Ano	Mês	Chuva (mm)	Número de dias com chuva	Máxima quantidade diária de chuva observada (mm)
2002	Maio	123,0	8	51
	Jun	0,0	0	0
	Jul	35,0	6	15
	Ago	93,0	4	46
	Set	55,0	5	21
	Out	0,0	0	0
	Nov	115,0	11	34
	Dez	125,0	13	28
2003	Jan	204,0	20	45
	Fev	152,0	10	60
	Mar	98,0	9	27
	Abr	66,0	4	52
	Maio	20,0	5	14
	Jun	23,0	3	13
	Jul	8,0	1	8
	Ago	16,0	3	11
	Set	19,0	4	6
	Out	98,0	6	57
	Nov	70,0	10	38
	Dez	109,0	9	58
2004	Jan	67,0	2	61
	Fev	123,1	11	35
	Mar	109,0	6	72
	Abr	53,0	8	20
	Maio	98,0	11	25
	Jun	32,0	6	13
	Jul	44,0	4	41
	Ago	0,0	0	0
	Set	5,0	2	4
	Out	162,0	11	46
	Nov	3,0	2	2

Apêndice B - Médias mensais de temperaturas média, mínima e máxima no período de maio/2002 a novembro/2004, a partir de registros de estação agroclimatológica situada em talhão comercial de laranja doce, variedade 'Valência', município de Santa Cruz do Rio Pardo, SP

Apêndice C - Precipitação pluviométrica diária, em mm, e umidade relativa do ar mínima e máxima (%) no período de maio/2002 a novembro/2004, a partir de registros de estação agroclimatológica situada em talhão comercial de laranja doce, variedade ‘Valência’, município de Santa Cruz do Rio Pardo, SP

Apêndice D - Temperatura média diária no período de maio/2002 a novembro/2004, a partir de registros de estação agroclimatológica situada no talhão e densidade absoluta de ácaros amostrados nos levantamentos, em talhão comercial de laranja doce, variedade ‘Valência’, município de Santa Cruz do Rio Pardo, SP