

ANÁLISE DA SÉRIE TEMPORAL OBTIDA POR SIMULAÇÃO DA POPULAÇÃO DO ÁCARO RAJADO NA TEMPERATURA DE 25°C

Érica Fernanda da Cruz^{1,2}, Tamara Aparecida Nogueira dos Anjos¹,
Thelma Sáfiadi¹, Solange Gomes Faria Martins¹

Resumo: *O ácaro rajado, Tetranychus urticae (Koch) é uma praga agrícola cosmopolita que se alimenta de diferentes espécies de plantas de importância econômica, seu ataque causa diversos danos às plantas, ocasionando em sérios prejuízos às culturas. Diante da importância econômica e biológica dessa espécie, neste trabalho foi simulada a evolução temporal da população de T. urticae na temperatura de 25°C e aplicou-se técnicas de séries temporais para análise da série da população, gerada por simulação, com o objetivo de captar efeitos de tendência e sazonalidade nas etapas temporais iniciais. Com os resultados, verificou-se a presença de tendência e também duas componentes sazonais, uma em 13 e outra em 22 dias, que podem estar relacionadas com o ciclo reprodutivo e longevidade da espécie, respectivamente. Além disso, os dados foram bem ajustados pela modelagem baseada na metodologia de Box e Jenkins.*

Palavras-chave: *Ácaro rajado, Simulação computacional, Série temporal.*

Abstract: *In this work we simulated the temporal evolution of the population of T. urticae at 25°C and applied techniques of time series in order to capture effects of trend and seasonality. We verified the presence of trends, seasonal component 13 and another period of time 22.*

Keywords: *Population dynamics, T. urticae, Agricultural pest.*

1 Introdução

O ácaro rajado, *Tetranychus urticae* (Koch) (Acari: Tetranychidae), é uma praga agrícola cosmopolita que se alimenta de diferentes espécies de plantas de importância econômica, tais como morango, feijão, pepino, melancia, algodão, rosa, dentre outras. Sua ocorrência está relacionada com as condições climáticas. Altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar são fatores ideais para seu desenvolvimento. (FLECHTMANN, 1976)

Em seu ciclo, o ácaro rajado passa por cinco fases de desenvolvimento: ovo, larva, protoninfa, deutoninfa e adulto. Estes ácaros começam a se alimentar na fase de larva logo após a eclosão; as fêmeas medem cerca de 0,5 mm de comprimento, tanto as fêmeas fecundadas quanto as não fecundadas dão origem a descendentes. (FLECHTMANN, 1976)

O ataque, que geralmente ocorre na superfície inferior das folhas, causa sérios danos às plantas, como necrose, maturação precoce, redução do porte, desfolha precoce, ocasionando

¹DEX - UFPA. e-mail: erica.89@bol.com.br

²Agradecimento à CAPES e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

sérios prejuízos às culturas. Devido a suas severas infestações é considerado o ácaro fitófago de maior nocividade para a economia mundial (FLECHTMANN, 1983; GALLO et al., 2002).

Em biologia, especificamente no estudo de dinâmica de populações, a modelagem matemática, estatística e computacional são ferramentas complementares à experimentação quando propósitos preditivos estão envolvidos. Modelos de previsão são de grande interesse em Programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP), pois fornecem subsídios para se estabelecer práticas de prevenção e controle de pragas e doenças (ZAMBOLIM, 2000).

Diante da importância econômica e biológica dessa espécie, neste trabalho foi simulada a evolução temporal da população de *T. urticae* na temperatura de 25°C. Aplicou-se técnicas de séries temporais para análise da série da população, gerada por simulação, com o objetivo de captar efeitos de tendência e sazonalidade nas etapas temporais iniciais, considerando a correlação existente entre as observações.

2 Material e métodos

Para simulação da evolução temporal da população foi construído um modelo computacional, utilizando a linguagem C, a partir de dados da biologia desta espécie, baseados na pesquisa de Bertollo (2007) e Bounfour & Tanigoshi (2001). Para a análise da série temporal da população, considerou-se as primeiras 220 observações, no regime transiente.

2.1 Modelo computacional

A população é inicialmente constituída de 500 indivíduos adultos, com probabilidade rs de ser fêmea, definida pela razão sexual da espécie. Cada indivíduo da população foi testado para reprodução, envelhecimento e morte. Fêmeas adultas, após o período de pré-oviposição γ , geram b descendentes, com o sexo definido também por rs .

Para evitar a explosão populacional, foi incluído o fator de regulação do tamanho populacional (fator de Verhulst). A cada etapa temporal indivíduos com idade superior a de ovo (idade $> \epsilon$), morrem devido as restrições ambientais com uma probabilidade dada por:

$$P_v = N(t)/K, \quad (1)$$

sendo $N(t)$ o tamanho da população em cada etapa temporal e K a capacidade de suporte do ambiente. Caso o indivíduo não morra devido ao fator de regulação, ele será testado para a morte por envelhecimento, com probabilidade:

$$P = 1 - e^{-Ei} (E > 0), \quad (2)$$

sendo i a idade do indivíduo e E um parâmetro de ajuste. Esta suposição é razoável, pois, segundo a Lei de Gompertz (MEDEIROS, 2001), a probabilidade de morte cresce exponencialmente com a idade. Caso o indivíduo sobreviva, sua idade é incrementada de uma unidade. Assim, finalmente, em cada etapa temporal t determinou-se o tamanho da população $N(t)$. Os valores dos parâmetros usados apresentam-se na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros usados no modelo computacional na temperatura de 25°C. Tempo de desenvolvimento à fase adulta (R), período de pré-oviposição (γ), fase de ovo (ϵ), fecundidade (b), todos em dias, razão sexual (rs), obtidos por Bertollo (2007), capacidade de suporte do ambiente (K) e o parâmetro de ajuste E .

R	γ	ϵ	b	rs	E	K
8	2	3	4	0.65	0.035	100000

2.2 Análise da série temporal

Segundo Morettin & Tolo (2006), uma série temporal é qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo, onde pode-se estar interessado em investigar o mecanismo gerador da série temporal, fazer previsão de valores futuros, procurar periodicidades relevantes nos dados ou apenas descrever o comportamento da série. Geralmente tem-se por objetivo construir um modelo para esta série.

De maneira geral, uma série temporal $Z_t : z_1, z_2, \dots, z_n$ pode ser decomposta numa soma de três componentes não observáveis, no caso onde essas componentes são independentes, o modelo é da forma aditiva:

$$Z_t = T_t + S_t + a_t, \quad (3)$$

sendo que T_t e S_t representam a tendência e a sazonalidade, respectivamente, e a_t é a componente aleatória, de média zero e variância constante. Se as componentes sazonais variam de acordo com a tendência, o modelo mais adequado é o multiplicativo ($Z_t = T_t S_t a_t$). Neste caso, pode ocorrer um acréscimo na variância à medida que o tempo passa, então são utilizadas as transformações para estabilizar a variância e também para tornar o efeito sazonal aditivo. (MORETTIN & TOLOI, 2006)

Uma das suposições que se faz a respeito de uma série temporal é a de que ela seja estacionária, ou seja, se desenvolve no tempo ao redor de uma média constante. Contudo, na maioria das séries isto não ocorre, então aplicam-se diferenças na série original a fim de torná-las estacionárias.

Primeiramente, conforme proposto por Morettin e Tolo (2006), foi feita a análise gráfica visual da série original da população do açúcar rajado, buscando identificar tendência, sazonalidade, variabilidade ou observações atípicas ("outlier"). Em seguida foram feitos os testes para tendência e sazonalidade.

Para verificar a existência de tendência e sazonalidade foram aplicados os testes do sinal de Cox-stuart e o teste de Fisher, respectivamente. Mais detalhes sobre esses testes podem ser encontrados em Morettin & Tolo (2006). Em seguida, foram tomadas as diferenças na série original a fim de torná-la estacionária.

Para o ajuste do modelo usou-se o método de Box & Jenkins (1976), que consiste em uma importante metodologia empregada na análise de modelos paramétricos. O modelo usado foi o Sazonal Auto-Regressivo Integrado Média Móvel SARIMA que consiste em uma generalização dos modelos de Box & Jenkins. Definem-se os modelos do tipo SARIMA(p, d, q) \times (P, D, Q) $_s$, sendo Δ o operador diferença, d o número de diferenças para tornar a série estacionária, D o número de diferenças sazonal e s o período sazonal, da seguinte forma:

$$\Phi(B^s)\phi(B)\Delta^d\Delta_s^D Z_t = \Theta(B^s)\theta(B)a_t, \quad (4)$$

em que

- $\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$ é o polinômio auto-regressivo de ordem p ;
- $\Phi(B^s) = 1 - \Phi_1 B^s - \Phi_2 B^{2s} - \dots - \Phi_P B^{Ps}$ é o polinômio auto-regressivo sazonal de ordem P ;
- $\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$ é o polinômio de médias móveis de ordem q ;
- $\Theta(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \dots - \Theta_Q B^{Qs}$ o polinômio médias móveis sazonal de ordem Q ;
- a_t é o ruído branco, ou seja, uma sequência de erros aleatórios, independentes e identicamente distribuídos com média zero e variância constante.

Para realização das análises da série da população, gerada pela simulação computacional, utilizou-se as funções do pacote TSA do software R.2.14.2(R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

3 Resultados e discussões

Na Figura 1 observa-se o comportamento da população da presa *T. urticae* na temperatura de $25^{\circ}C$. Através de uma análise visual no gráfico nota-se uma sazonalidade e também tendência positiva na série.

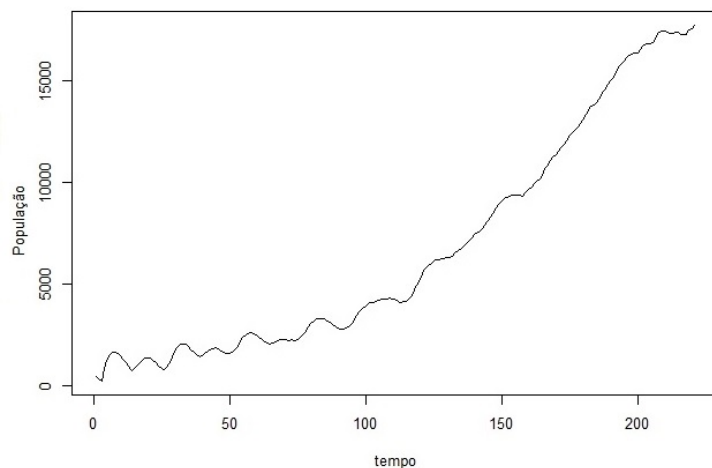


Figura 1: Evolução temporal da população do ácaro rajado na temperatura de $25^{\circ}C$

Na Figura 2 é possível observar que o periodograma apresenta um pico no período de 13 dias e também em aproximadamente 23 dias. Através do teste de Fisher; as estatísticas $z = 0,06817$, $g_1 = 0,4557$ e $g_2 = 0,1183$ (g_1 e g_2 referentes aos picos em 13 e 23 dias, respectivamente) mostram que $g_1 > z$ e $g_2 > z$, portanto os dois picos são significativos. O teste do sinal de (Cox-Stuart) foi aplicado para confirmar a existência da tendência. Considerando que a série possui 220 observações, tem-se que: $c=110$ e $n=110$. O número de sinais positivos T é igual a 110 e o valor de t é dado por: $t = 1/2(110 + 1,96\sqrt{110}) = 65,28$. Portanto, como $T = 110 \geq n - t = 65,28$, pode-se afirmar que a série apresenta tendência.

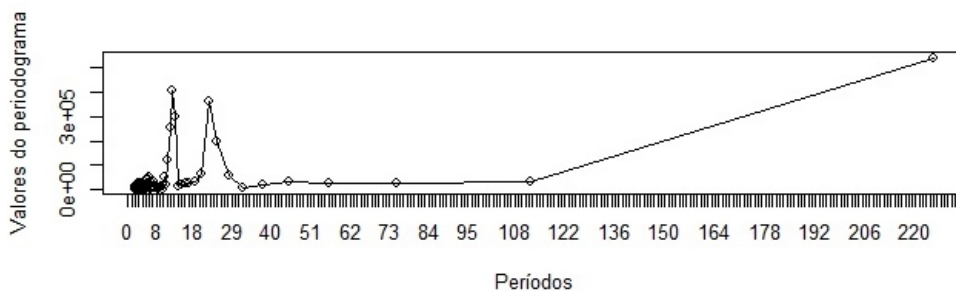


Figura 2: Periodograma da série da população de *T. urticae* na temperatura de $25^{\circ}C$.

Assim, para tornar a série estacionária, aplicou-se a primeira diferença, uma diferença sazonal de ordem 13 e uma diferença de ordem 23 nos dados. As possíveis ordens do modelo a ser ajustado são sugeridas pela fac e a $facp$ da série estacionária, representadas na Figura 3.

O modelo que se ajustou aos dados foi:

$$Z_t = \frac{1 - \Theta_1 B^{13}}{(1 - \phi_1 B)(1 - B)(1 - B^{13})(1 - B^{23})} a_t. \quad (5)$$

A estimativa do parâmetro do modelo sugerido apresenta-se na Tabela 2.

Tabela 2: Estimativa do parâmetro do modelo (5) e seu erro padrão para a série da população de *T. urticae* a 25°C.

Modelo	Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão
5	ϕ_1	0,5501	0,0648
	Θ_1	-0,6594	0,0824

Na Figura 4 apresenta-se a fac dos resíduos do modelo estimado, indicando que eles constituem ruído branco. Pelo teste de Box-Pierce ao nível de 5%, temos que o valor $p = 0,1177$ para o modelo sugerido, o que confirma que os resíduos do modelos são ruído branco.

Substituído o valor da estimativa de ϕ_1 e Θ_1 presente na Tabela 2 temos:

$$Z_t = \frac{1 + 0,6594B^{21}}{(1 - 0,5501B)(1 - B)(1 - B^{13})(1 - B^{23})} a_t. \quad (6)$$

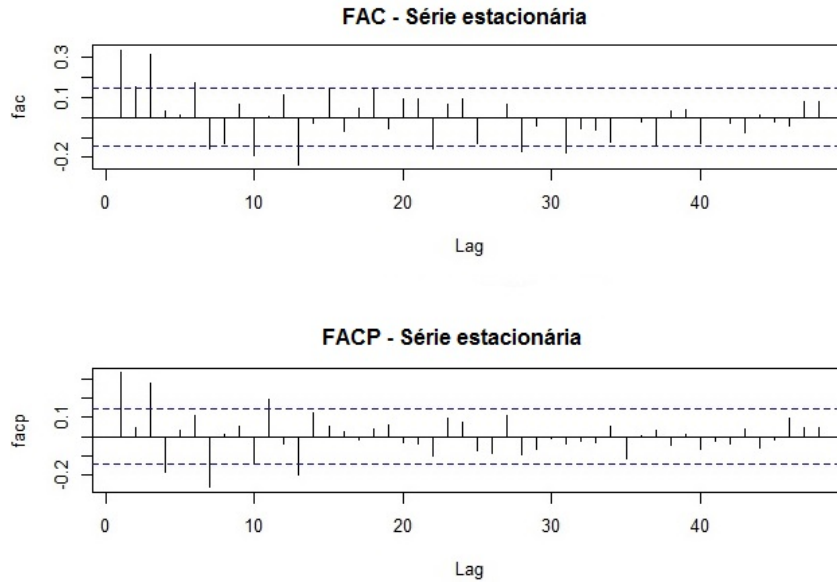


Figura 3: Correlograma da série estacionária da população de *T. urticae* na temperatura de 25°C.

Da análise da série temporal da população do ácaro rajado na temperatura de 25°C, verificou-se a presença da componente tendência no período analisado, pois como a população inicial é baixa, devido ao fator de Verhulst inserido no modelo, ela cresce até atingir um limite máximo sustentável. Observou-se também um efeito sazonal significativo, captando duas componentes sazonais, a primeira em 13 dias, que pode estar relacionada com o ciclo reprodutivo da espécie que também está em torno de 13 dias após o nascimento. A segunda componente sazonal foi num período de 22 dias, que pode estar relacionada com a longevidade do ácaro rajado nesta temperatura.

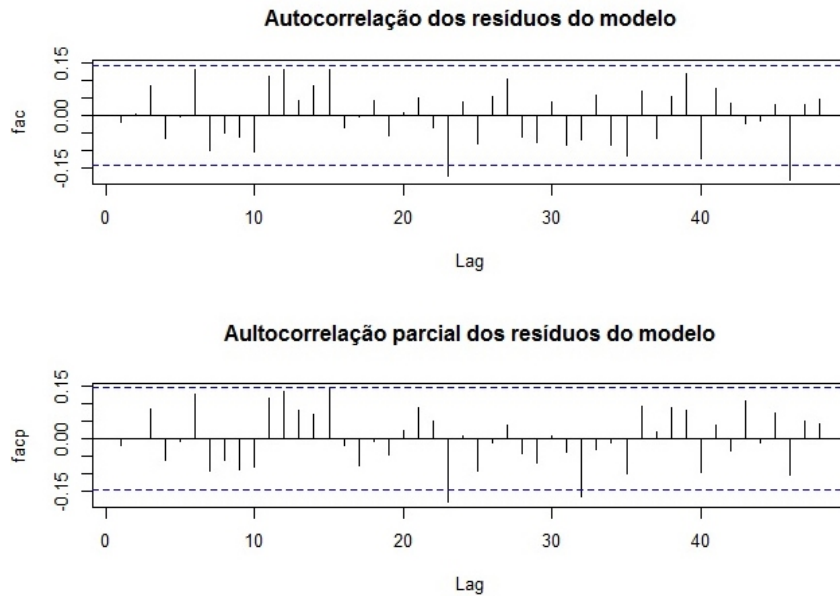


Figura 4: Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, dos resíduos do modelo estimado.

4 Conclusões

Com esta análise, observa-se que o modelo computacional reproduziu características biológicas importantes da população do ácaro rajado, e que a modelagem baseada na metodologia de Box e Jenkins mostrou-se eficiente para representar a série da população do ácaro rajado nas etapas iniciais, captando os efeitos de tendência e sazonalidade ocorridos e descrevendo o comportamento destas, considerando a correlação existente entre as observações.

Referências

- [1] BERTOLLO, E. C. **Efeito da temperatura e do hospedeiro na biologia do ácaro rajado, *Tetranychus urticae* koch (Acari: Tetranychidae)**. 2007. 126p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 2007.
- [2] BOUNFOUR, M.; TANIGOSHI, L.K. Effect of temperature on development and demographic parameters of *Tetranychus urticae* and *Eotetranychus carpini borealis* (Acari: Tetranychidae). **Annals of the Entomological Society of America**, College Park, v.94, n.3, p.400-404, June 2001.
- [3] BOX, G.; JENKINS, G.M. **Time series analysis, forecasting and control**. San Francisco: Holden-Day, 1976. 575 p.
- [4] FLECHTMANN, C. H. W. **Ácaros de importância agrícola**. 5.ed.São Paulo: Nobel, 1983. 189p.
- [5] GALLO, D; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, C.; BAPTISTA, G.C.D.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J.D.; MARCHINI, L.C.; LOPES, J.R.S.; OMOTO, C. **Entomologia Agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. v.2, 920p.

- [6] MEDEIROS, N.G.F. **Modelos Evolucionários de Envelhecimento Biológico**. 2001. 119p. Tese (doutorado) - Instituto de Física de São Carlos, São Carlos, 2001.
- [7] MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de Séries Temporais**. 2. ed. São Paulo: Ed. Blücher, 2006, 538p.
- [8] R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. www.r-project.org , 2012.