



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

USO DO R NA IMPLEMENTAÇÃO DE UM MODELO BASEADO NO INDIVÍDUO PARA SIMULAR A DINÂMICA DE PROPAGAÇÃO DO HLB DO CITROS

Jacomo Giovanetti **Minto** Neto¹; Francisco Ferraz Laranjeira **Barbosa**²; Sônia **Ternes**³

Nº 17604

RESUMO – A citricultura mundial tem sido afetada pela doença conhecida como Huanglongbing (HLB), considerada a mais séria por trazer grandes prejuízos aos citricultores e não possuir cura até o momento. No Brasil, o inseto-vetor responsável por transmitir a doença é o psílídeo *Diaphorina citri*. Estudos sobre a dinâmica de propagação da doença vem sendo desenvolvidos no âmbito do projeto HLB-BioMath2. Este trabalho apresenta uma implementação em R e Shiny de um modelo baseado no indivíduo (MBI) para estudar a dinâmica espaço-temporal do HLB no Recôncavo baiano. As simulações têm permitido observar o rápido espalhamento da doença pelos pomares, devido à grande capacidade de migração do inseto e ao grande período de incubação da doença nas plantas de citros. O simulador encontra-se em desenvolvimento e tem sido observada a necessidade de otimização do código-fonte pois, devido às características do MBI, o tempo de execução no R é um fator importante a ser observado.

Palavras-chaves: citricultura; Huanglongbing; R Shiny; MBI; simulação computacional.

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em análise e desenvolvimento de sistemas, FATEC, Americana-SP; jacomo.giovanetti@hotmail.com.

2 Colaborador, Pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas-BA; francisco.laranjeira@embrapa.br.

3 Orientador: Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas-SP; sonia.ternes@embrapa.br.



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

ABSTRACT – *The world citrus industry has been affected by the disease known as Huanglongbing (HLB), which is considered the most serious disease because it brings great losses to citrus growers and there is no cure nowadays. In Brazil, the insect-vector responsible for transmitting that disease is the psyllid *Diaphorina citri*. Studies on the dynamics of HLB spread have been developed under the HLB-BioMath2 project. This work presents an implementation based on R and Shiny languages of an individual-based model (IBM) to study the space-time dynamics of HLB in the Recôncavo baiano. The simulations have allowed to observe the fast spreading of the disease by the orchards, due to the great capacity of migration of the insect and to the great incubation period of the disease in the citrus plants. The simulator is under development and it has been observed the need of source code optimization due to the characteristics of the IBM and the execution time in R, which is an important factor to be observed.*

Keywords: citriculture; Huanglongbing; R Shiny; IBM; computer simulation.

1 INTRODUÇÃO

A citricultura é uma atividade de grande importância para o Brasil. Desde 1962, quando começaram as primeiras exportações, a citricultura tem contribuído de forma definitiva para com o desenvolvimento do país. O Produto Interno Bruto citrícola representou, em 2009, US\$ 6,5 bilhões, sendo US\$ 4,39 bilhões no mercado interno e US\$ 2,15 bilhões no mercado externo. No período de 1962 a 2009 a citricultura exportou, em valores de 2009, quase US\$ 60 bilhões, ou R\$ 111 bilhões, trazendo, em média, US\$ 1,3 bilhão por ano em divisas ao país (MÔNACO, 2012). O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de citros, tendo obtido uma produção de 21 milhões de toneladas em 2011, apresentando queda em 2015, com uma produção de 18 milhões de toneladas (IBGE, 2017).



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

Atualmente a doença conhecida como Huanglongbing (HLB) é considerada a mais séria do mundo nos pomares de citros, a qual traz grandes prejuízos aos citricultores por não possuir cura até o momento (Bove, 2006). O HLB, causado pela bactéria *Candidatus Liberibacter*, é um agente infeccioso sistêmico que leva à queda da produtividade e qualidade da fruta. No Brasil, o psíldeo *Diaphorina citri* é o principal inseto-vetor responsável por transmitir o HLB. Devido à grande capacidade do inseto de infestação em pomares, eles têm se espalhado rapidamente, aumentando a faixa geográfica da doença e atingindo boa parte das regiões cítricas ao redor do mundo.

A pesquisa aqui apresentada faz parte do projeto HLB-BioMath2 (Barbosa, 2015) em desenvolvimento na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), que objetiva, dentre outros aspectos, gerar ferramentas biomatemáticas para a análise do impacto epidemiológico do HLB no Recôncavo Baiano.

Este trabalho apresenta um modelo baseado no indivíduo, em desenvolvimento no âmbito do projeto acima citado, para estudar a propagação espaço-temporal do HLB, visando o suporte à defesa fitossanitária. A modelagem baseada no indivíduo (MBI) é uma abordagem na qual cada indivíduo das populações envolvidas (citros e psíldeo) é representado explicitamente no modelo como entidade única, carregando informações de interesse da simulação (características do indivíduo) que evoluem estocasticamente no tempo (GRIMM; RAILSBACK, 2005). O MBI possibilita a observação das interações entre os indivíduos e do indivíduo com o meio. Este tipo de modelagem proporciona uma maior precisão na observação da dinâmica da propagação da doença, sendo ele mais próximo à realidade.

O MBI está sendo implementado usando o software R, devido à ampla gama de pacotes proporcionados, como por exemplo, funções relacionadas a processos estocásticos utilizadas para simular o comportamento das populações. O pacote Shiny (CHANG et al., 2015) foi usado para o desenvolvimento de uma interface gráfica que permite ao usuário a escolha dos parâmetros do modelo MBI.



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

2 O MODELO

O MBI desenvolvido representa três populações envolvidas no patossistema: 1) inseto-vetor em fase adulta; 2) inseto-vetor em fase de ninfa; 3) Hospedeiro (plantas de citros). Cada indivíduo dessas populações possui suas próprias características, que se modificam estocasticamente no tempo a partir de processos previamente definidos para a população. O modelo assume que as plantas estão dispostas numa área de plantio retangular correspondente a uma matriz de dimensão 20x42 (totalizando 840 plantas). A parametrização do modelo é realizada a partir da literatura na área e de experimentos desenvolvidos no âmbito do projeto HLB-Biomath2.

A seguir são apresentadas as características de cada indivíduo e os processos dinâmicos relacionados a cada população.

1. População: Inseto adulto

a. Características:

- i. Posição na linha do pomar: linha da planta em que o inseto se encontra no pomar.
- ii. Posição na coluna do pomar: coluna da planta em que o inseto se encontra no pomar.
- iii. Estado epidemiológico: 0 - não infectivo; 1 - infectivo desde a fase de ninfa; 2 - infectivo a partir da fase adulta.
- iv. Idade corrente: idade (dias) atual do inseto em determinado tempo de simulação.
- v. Idade máxima: tempo máximo que o inseto viverá, definido a partir da expectativa de vida do inseto adulto.

b. Processos:

- i. Aquisição: verifica possível aquisição da bactéria pelo inseto, de acordo com o estado do hospedeiro em que o inseto se encontra.



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

- ii. Reprodução: verifica possível oviposição, se indivíduo for fêmea e se a capacidade de suporte do hospedeiro não tiver sido atingida, gerando ninfas.
- iii. Morte: verifica se indivíduo atingiu idade de morte.
- iv. Envelhecimento: atualiza a idade do indivíduo conforme o tempo de simulação.
- v. Emigração: verifica se o inseto irá voar para outro hospedeiro, de acordo com determinadas probabilidades.

2. População: Inseto ninfa

a. Características:

- i. Posição na linha do pomar: linha da planta em que o inseto se encontra no pomar.
- ii. Posição na coluna do pomar: coluna da planta em que o inseto se encontra no pomar.
- iii. Estado epidemiológico: 0 - não infectivo; 1 - infectivo.
- iv. Idade corrente: idade (dias) atual da ninfa em determinado tempo de simulação.
- v. Idade máxima: tempo máximo que o indivíduo permanecerá na fase de ninfa.

b. Processos:

- i. Aquisição: verifica possível aquisição da bactéria pela ninfa de acordo com o estado do hospedeiro em que a ninfa se encontra.
- ii. Maturidade: efetua mudança de estágio de ninfa para adulto, caso a ninfa tenha atingido a idade de mudança de estágio.
- iii. Envelhecimento: atualiza a idade do indivíduo conforme o tempo de simulação.



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

- iv. Morte: verifica tempo máximo de vida definido a partir da taxa média de sobrevivência da fase ovo-ninfa.

3. População: Hospedeiro

a. Características:

- i. Tipo: -1 = hospedeiro removido; 0 = sem planta; 1 = citros.
- ii. Estado epidemiológico: 0 - suscetível; $0 < x \leq t_l$: infectado em estado de latência, com x igual ao número de dias no período de latência e t_l igual ao período de latência máxima; $t_l < x \leq t_i$: infectado assintomático, com x igual ao número de dias no período de incubação e t_i igual ao período de incubação máxima; $x \geq t_i + 1$: infectado sintomático.
- iii. Idade: número de dias do hospedeiro.
- iv. Capacidade de suporte corrente: quantidade de insetos adultos na planta.
- v. Capacidade de suporte máxima: quantidade máxima de insetos que a planta pode suportar.

b. Processos:

- i. Infecção: verifica probabilidade de infecção por inseto adulto.
- ii. Remoção: a cada 3 meses (90 dias), se hospedeiro é sintomático, ele pode ser removido conforme probabilidade de detecção da doença no campo.
- iii. Capacidade: verifica voo do inseto para outro hospedeiro, definido por processo obrigatório, caso hospedeiro tenha atingido a capacidade de suporte máxima.
- iv. Envelhecimento: atualiza idade do indivíduo conforme o tempo de simulação.



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

Antes do início da simulação são criadas as populações iniciais, considerando:

- Hospedeiro: apenas plantas do tipo citros, não infectivas, com idade inicial de 6 anos para todos hospedeiros; capacidade de suporte corrente é definida pela quantidade de insetos inicial e a capacidade de suporte máxima é obtida seguindo uma distribuição Normal com média 100 e desvio padrão 15;
- Insetos adultos: há 2 cenários para a inicialização, sendo possível fazer a escolha na interface gráfica como parâmetro de entrada. No Cenário, 1 é gerado apenas um inseto infectivo desde a fase de ninfa, ele chega na primeira planta na linha 1 e coluna 1, sua expectativa de vida é obtida seguindo uma distribuição Uniforme, de acordo com o parâmetro biológico relacionado à expectativa de vida do inseto adulto; sua idade inicial (em dias) é tomada aleatoriamente entre 1 e sua vida máxima obtida anteriormente. O Cenário 2 leva em consideração a proporção de psilídeos encontrados nos experimentos realizados no projeto HLB-Biomath2, que variam de 2 a 5 insetos por planta. Esse Cenário considera os insetos chegando na primeira planta na linha 1 e coluna 1, sendo metade infectivos desde a fase de ninfa e a outra metade infectivos a partir da fase adulta. A idade e a expectativa de vida são determinadas de modo semelhante ao descrito no Cenário 1;
- Insetos ninfas: as simulações se iniciam sem ninfas na área de plantio.

Para cada dia de simulação, os processos são executados conforme o algoritmo apresentado na Figura 1.

O algoritmo aqui descrito foi implementado usando o software R e o pacote de interface gráfica Shiny (CHANG et al., 2015), onde o usuário inicialmente pode definir alguns parâmetros de entrada antes de executar e, após sua execução, o usuário observa o resultado da dinâmica visualmente.



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

Looping simulação: para tempo = 1 até tempo máximo de simulação:

Looping dos hospedeiros: para cada indivíduo até a quantidade máxima de hospedeiros:

1. Executa processos da população de hospedeiros:
 - a. Hospedeiro.Infecção;
 - b. Hospedeiro.Remoção;
 - c. Hospedeiro.Capacidade;
 - d. Hospedeiro.Envelhecimento;

Fim looping dos hospedeiros;

Looping das ninfas: para cada indivíduo até a quantidade máxima de ninfas:

2. Executa processos da população de ninfas:
 - a. Ninfa.Aquisição;
 - b. Ninfa.Maturidade;
 - c. Ninfa.Morte;
 - d. Ninfa.Envelhecimento;

Fim looping das ninfas;

Looping dos adultos: para cada indivíduo até a quantidade máxima de adultos:

3. Executa processos da população de adultos:
 - a. Adulto.Aquisição;
 - b. Adulto.Reprodução;
 - c. Adulto.Emigração;
 - d. Adulto.Morte;
 - e. Adulto.Envelhecimento;

Fim looping dos adultos;

Fim looping simulação;

Figura 1. Pseudocódigo da ordem de execução dos processos de cada população.



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 é apresentada a interface gráfica em Shiny do modelo, sendo dois painéis. No lado esquerdo da interface são selecionados os valores de entrada correspondentes à simulação desejada. A simulação se inicia ao pressionar o botão “Processar”. Em seguida, do lado inferior esquerdo há a “Visualização da dinâmica”, que se inicia após pressionar o botão “>”. O resultado aparece em um retângulo no lado direito que representa um único pomar com citros (20x42 plantas), onde são observados os estados epidemiológicos de cada hospedeiro no pomar pelo seguinte esquema de cores: branco (sem planta), preto (planta removida), verde (citros suscetível), verde claro (citros infectado com doença na fase de latência), amarelo (citros infectado com doença na fase de incubação, assintomático) e vermelho (citros infectado, sintomático).

A implementação do simulador está em fase de finalização, sendo esta considerada como um protótipo, pois estão sendo realizados testes com o intuito de verificar se o modelo está se comportando o mais próximo da realidade observada nos experimentos controlados pela equipe do projeto. Além disso, o protótipo tem o intuito de verificar se a dinâmica espaço-temporal observada nas simulações condiz com o observado nos últimos anos no Recôncavo baiano.

Apesar da grande facilidade encontrada em implementar o algoritmo na linguagem R, neste momento a maior dificuldade é desenvolvê-lo de forma otimizada, pois esta implementação do modelo apresenta um tempo de execução muito lento (levando em torno de 15 minutos para uma simulação básica, em uma máquina com processador AMD Phenom(tm) II X6 1090T Processor × 6, memória de 16GB). Para o objetivo do projeto se faz necessário um algoritmo mais eficiente, considerando que no futuro próximo as simulações serão executadas representando áreas de plantio bem maiores.

Uma forma de melhoria do tempo de execução é a utilização do pacote Rcpp, o qual torna muito simples a conexão da linguagem C++ com o R, fornecendo uma API simples e acessível que permite a escrita de código com alto desempenho. Assim, é possível escrever funções que demandam alto desempenho em C++ e chamá-las de dentro do código em R, minimizando significativamente o tempo de execução do algoritmo (EDDELBUETTEL; FRANCOIS, 2011).



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

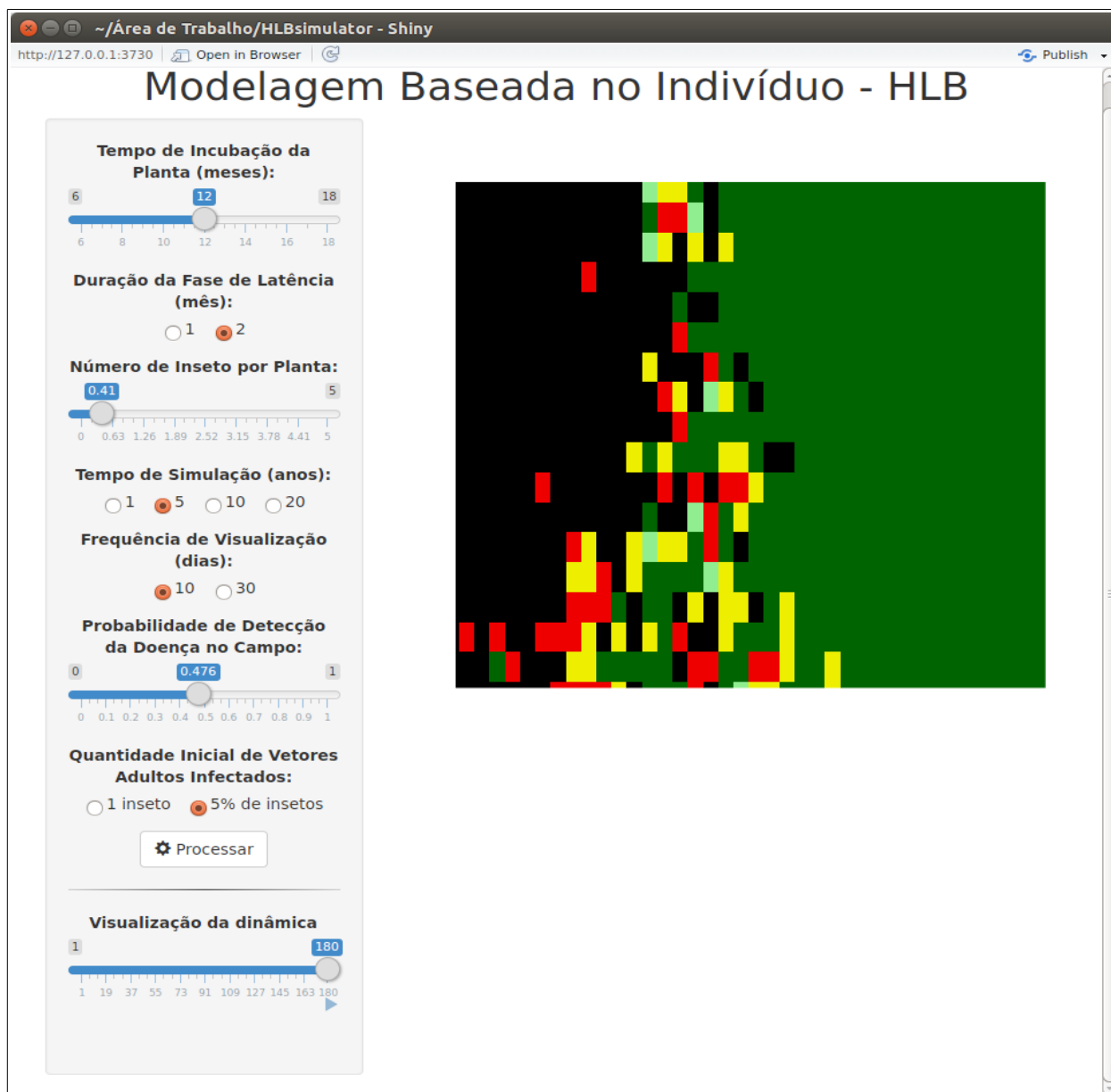


Figura 2. Interface gráfica em Shiny do MBI.



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

4 CONCLUSÕES

O protótipo desenvolvido em R-Shiny, além da facilidade de implementação do algoritmo e as várias funções disponíveis no R para manipulação de processos estocásticos, tem se mostrado eficiente para a validação e testes do modelo MBI. Após esta fase de testes e melhorias, será incluído no modelo a população de hospedeiros alternativos (Murta), servindo como fator de atração ou expulsão (*push and pull*) de insetos na área de cultivo. Tal aspecto permitirá avaliar cenários de simulação de diferentes paisagens agrícolas (diferentes proporções de citros e murtas numa mesma área de plantio).

5 AGREDECIMENTOS

Ao CNPq pelo suporte financeiro (PIBIC - Processo 100170/2017-0).

6 REFERÊNCIAS

BARBOSA, F. F. L. **HLB BioMath fase 2**: abordagem bio-matemática como suporte a defesa fitossanitária e avaliação ex-ante de tecnologias de manejo, Cruz das Almas: Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura, 2015. 26 p. (Embrapa. Macroprograma 2 - Código SEG 02.13.03.007.00.000). Projeto em andamento: Bio-Math2.

BOVE, M. J. **Huanglongbing**: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus, *Journal of Plant Pathology*, 88: 7-37, 2006.

CHANG, W.; CHENG, J.; ALLAIRE, J. J.; XIE Y.; MCPHERSON, J. **Shiny**: Web application framework for R. 2015. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=shiny>. Acesso em: 20 jun. 2017.

EDDELBUETTEL, Dirk; FRANCOIS, Romain. **Rcpp**: Seamless R and C++ Integration. *Journal of Statistical Software*, [S.l.], v. 40, Issue 8, p. 1 - 18, apr. 2011. ISSN 1548-7660. Available at: <<https://www.jstatsoft.org/v040/i08>>. Acesso em: 20 jun. 2017. doi:<http://dx.doi.org/10.18637/jss.v040.i08>.

GRIMM, V.; RAILSBACK, S. F. **Individual-based modeling and ecology**. Princeton: Princeton University Press, 2005.

IBGE, sidra. Produção agrícola municipal: Tabela 1613. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

MÔNACO, L. C. Líder em citros, Brasil ajusta setor às necessidades contemporâneas. 2012. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA10-visao-setorial05.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2017.