

Abordagem Bayesiana do modelo logístico no estudo do herbicida glifosato em abelhas

Isabela S. Lima¹, Karine D. S. Pinto², Fernanda B. França³, Carla R. G. Brighenti^{4†}, Danilo C. Serpa⁵,
Deodoro M. Brighenti⁶

¹Universidade Federal de São João del-Rei. E-mail: isabela_lima30@hotmail.com.

²Universidade Federal de São João del-Rei. E-mail: karine.daenquele@yahoo.com.

³Universidade Federal de São João del-Rei. E-mail: fernandabarbedo@hotmail.com.

⁴Universidade Federal de São João del-Rei/Universidade Federal de Lavras.

⁵Universidade Federal de São João del-Rei. E-mail: daniloserpa@hotmail.com.

⁶Universidade Federal de São João del-Rei. E-mail: deodoro@ufsj.edu.br.

Resumo: Verificou-se o efeito de diferentes concentrações de glifosato em abelhas após 96h. O número de abelhas mortas observado, a cada nível da dose de glifosato, seguiu uma distribuição Binomial com parâmetros: n_i , que é o número de abelhas por gaiola e p_i , que é a taxa de mortalidade. Assumiu-se o modelo logit (logístico), que tem como objetivo permitir a predição de valores com característica binária, através de uma amostra. Utilizou-se uma abordagem Bayesiana para a estimação dos parâmetros do modelo logístico. Nesta abordagem a informação a priori é combinada com a informação proveniente dos dados amostrais, originando na distribuição a posteriori. As análises foram realizadas pelo pacote BRugs do software R, utilizando prioris vaga ou informativa, obtida de dados através de elicitação. Foi realizado um experimento com abelhas africanizadas mantidas em gaiolas cilíndricas de PVC, sendo 30 abelhas submetidas a cada um dos tratamentos por ingestão com as doses 0,0; 0,5; 1,0; 1,5; 5,0 e 10,0 g de Roundup® (glifosato) para cada 100 mL de solução aquosa de sacarose a 50% colocados em recipiente próprio no interior das gaiolas. As estimativas obtidas tanto para os parâmetros foram significativas a 5% e não diferiram significativamente entre as prioris utilizadas. Obteve-se um valor para dose letal de 50% (DL₅₀) igual a 1,57 g de Roundup® (glifosato) para cada 100 mL de solução aquosa de sacarose a 50%.

Palavras Chave: Binomial; logit; *Apis mellifera*, Round up.

Abstract: The effect of different concentrations of glyphosate on bees after 96h was verified. The number of dead bees observed, at each dose level of glyphosate, followed a Binomial distribution with parameters: n_i , which is the number of bees per cage and p_i , which is the mortality rate. The logit (logistic) model was adopted, which aims to allow the prediction of values with binary characteristics. A Bayesian approach was used to estimate the parameters of the logistic model. In this approach the a priori information is combined with the information coming from the sample data, originating in the a posteriori distribution. The estimates were performed by the BRugs software package, using informative priori obtained from data through elicitation. It was also used non-informative prior. An experiment was carried out with Africanized bees kept in cylindrical PVC cages, 30 bees submitted to each of the treatments by ingestion with the doses 0,0; 0,5; 1,0; 1,5; 5,0 and 10,0 g Roundup® (glyphosate) for each 100 ml of 50% aqueous sucrose solution placed in a container inside the cages. The estimates obtained for both parameters were significant at 5% and did not differ significantly among the priori used. A lethal dose value of 50% (LD50) of 1.57g of Roundup® (glyphosate) was obtained for each 100 mL of 50% aqueous sucrose solution.

Keywords: Binomial; logit; *Apis mellifera*; Round up.

Introdução

As abelhas contribuem com mais de 80% dos produtos agrícolas polinizados por insetos e estima-se que polinizem cerca de 73% dos vegetais cultivados no mundo (Imperatriz-Fonseca 2006). Economicamente, o impacto da polinização de insetos na produção agrícola mundial utilizada diretamente para alimentação humana foi de 153 bilhões de euros em 2005 (Gallai et al. 2009).

†Autor correspondente: carlabrighenti@ufsj.edu.br.

Existem várias espécies de abelhas que são utilizadas pelo homem para a polinização de culturas de grande interesse comercial, no entanto, as do gênero *Apis* tem sido as mais utilizadas no mundo para a polinização de plantas cultivadas, em razão de sua abundância em diferentes ecossistemas e seu perfil generalista na busca de recursos, uma vez que obtém pólen em uma ampla gama de espécies vegetais.

Dentre as mais importantes espécies se destaca a *Apis mellifera*, embora se desconheça sua real eficiência para muitas das espécies agrícolas (D'Avila & Marchini, 2005). Além da polinização esta espécie se sobressai pelos benefícios que representam com a produção de mel, própolis, geleia real e outros produtos apícolas (Pires et al. 2016). No Brasil, através de diversos cruzamentos tem-se hoje um tipo particular desta espécie denominada abelha africanizada. Assim, a importância de estudos acerca dos efeitos toxicológicos de defensivos agrícolas em abelhas do gênero *Apis* é amplamente justificada. Entre estes defensivos, tratando-se de herbicidas, se sobressaem aqueles que possuem como princípio ativo o glifosato, pois são os mais utilizados em todo o mundo (Jones et al. 2010), incluindo o uso em muitas culturas que são alvos de polinização por abelhas.

O glifosato possui baixa toxicidade, no entanto, segundo Jones et al., (2010) os efeitos destes herbicidas podem ser nocivos e representar sérios danos a uma diversidade de espécies de insetos. Dentre as espécies que podem ser afetadas por estes herbicidas, estão as abelhas, esta conjuntura é preocupante, principalmente por serem as abelhas as principais polinizadoras na agricultura (Aizen et al. 2009). Sabe-se que atualmente ocorre um fenômeno mundial de perdas de colônias de abelhas, nomeado “Desordem do Colapso das Colônias (CCD)”. São elencados muitos motivos que corroboram com tal fenômeno, no entanto, um dos principais tem sido a intoxicação com defensivos agrícolas (Pires et al., 2016).

O comércio mundial de defensivos cresce a cada ano. Embora muitas mudanças e inovações surjam conforme as necessidades do mercado, entre elas o advento das culturas transgênicas, resistentes a algumas pragas, o uso de herbicidas é destacado, visto que a maioria destas inovações não impede o florescimento de ervas daninhas no campo. No Brasil, segundo a ANVISA (2019), o glifosato é o defensivo mais utilizado nas lavouras de soja, milho, algodão e jardins. Atualmente, o herbicida glifosato, não-seletivo, sistêmico, pós-emergente, representa 60% do mercado mundial de herbicidas não seletivos, contabilizando um total de US\$ 1,2 bilhão/ano com vendas do produto, sendo capaz de controlar efetivamente 76 das 78 plantas invasoras mais agressivas. Entre as variedades de nomes com os quais é comercializado no mundo, se destaca o Roundup® (Amarante Jr. et al., 2002; Gruys E Sikorski, 1999).

No caso das abelhas submetidas ao glifosato, o interesse é determinar a mortalidade ou não, assim o experimento pode fornecer respostas que são determinadas por 0 ou 1, constituindo assim em dados binários (Pires, 2010). Assim, para analisar o efeito do glifosato em abelhas, a probabilidade de mortalidade de abelhas p_i deve estar no intervalo $[0,1]$. Um modelo para este caso é dado pelo uso da transformação denominada de função logit de p_i . O modelo logístico ou logit tem como objetivo permitir a predição do efeito de valores em uma variável binária, através de uma amostra (Rossi, 2010).

Uma maneira de analisar o modelo logit é através da abordagem Bayesiana, que permite incorporar informações a priori sobre os parâmetros do modelo. Na análise Bayesiana, os parâmetros dos modelos são considerados como quantidades aleatórias atribuindo distribuições de probabilidade para eles, distribuição a priori e a posteriori (Paulino, 2003). As informações a priori combinadas com as informações amostrais permitem atualizar as estimativas dos parâmetros a posteriori, a partir do Teorema de Bayes (Pires, 2010).

A inferência Bayesiana adota uma postura subjetivista através do uso explícito de probabilidades para quantificar o grau de incerteza acerca de quantidades de interesse não observadas.

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p. 282-289, 2019.

64ª Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO).

Pode se utilizar diferentes tipos de prioris, sendo estas classificadas conforme a quantidade de informação que apresentam. Existem situações em que o conhecimento sobre determinado fenômeno é vago ou inexistente (Berger, 1985). Nestes casos, a distribuição a priori é dita vaga, difusa ou não informativa, não precisa ou de variância alta, significando que a densidade a priori reflete ignorância. Em outros casos pode-se descrever sua informação por uma determinada forma funcional, ou eventualmente, pode-se definir uma família paramétrica de densidades (Gamerman & Migon, 1993). Uma das formas de se construir uma priori informativa é a elicitación. A elicitación é um processo que permite a incorporação da informação a priori fornecida por um especialista sobre alguma quantidade, desconhecida e de interesse, à informação proveniente dos dados do experimento (Penha, 2014).

O presente trabalho objetivou estudar o efeito do glifosato em abelhas utilizando o Modelo Logístico através da análise Bayesiana considerando diferentes critérios para construção das prioris.

Metodologia

Para verificar o ajuste do modelo logístico no efeito do glifosato em abelhas africanizadas, foi realizado um experimento com indivíduos obtidos de uma colônia em condições naturais no campus – CTAN/UFSJ – na cidade de São João del-Rei, Minas Gerais.

As unidades experimentais foram constituídas de 18 gaiolas de PVC cilíndricas com 10 cm de diâmetro por 5 cm de altura, com o uso de 180 abelhas anestesiadas, que foram separadas em grupos de 10 e colocadas nas gaiolas. Os tratamentos refereriram-se as concentrações 0,0; 0,5; 1,0; 1,5; 5,0 e 10,0 g de Roundup® (glifosato) para cada 100 mL de solução aquosa de sacarose a 50% e foram colocados em recipiente próprio no interior das gaiolas com uso de seringas.

Após 96h foi verificado o número de abelhas mortas em cada gaiola, constituindo-se desta forma, dados binários. Assim, o número de abelhas mortas r_i , a cada nível de concentração x_i , segue uma distribuição Binomial com parâmetros n_i (tamanho da amostra) e p_i (taxa de mortalidade).

Utilizou-se para a modelagem de tais dados, o modelo logit (logístico). Na função logit, assume-se que X tem distribuição logística e parâmetros $\mu \in \mathbb{R}$ e $\tau > 0$, similar à distribuição normal, caudas mais longas e f.d.p dada por:

$$f_X(x; \mu, \tau) = \frac{1}{\tau} \frac{\exp\left(\frac{x - \mu}{\tau}\right)}{\left[1 + \exp\left(\frac{x - \mu}{\tau}\right)\right]^2},$$

com média $E(X) = \mu$ e variância $Var(X) = \pi^2 \tau^2 / 3$. Usando $\alpha = -\mu / \tau$ e $\beta = 1 / \tau$, obtêm-se

$$f_X(x; \alpha, \beta) = \frac{\beta e^{\alpha + \beta x}}{(1 + e^{\alpha + \beta x})^2}. \text{ Logo, } p_i = P(X \leq x_i) = F(x_i) = \frac{e^{\alpha + \beta x_i}}{1 + e^{\alpha + \beta x_i}}$$

é uma função não-linear em um conjunto linear de parâmetros, linearizada por

$$\text{logit}(p_i) = \log\left(\frac{p_i}{1 - p_i}\right) = \alpha + \beta x_i. \quad (\text{Paula, 2002})$$

Para realizar a abordagem Bayesiana foram consideradas diferentes prioris sobre os parâmetros de regressão. As prioris vagas sendo $\alpha \sim N(0, 10^{-6})$ e $\beta \sim N(0, 10^{-6})$ e as informativas baseadas em resultados de estimativas frequentistas de trabalhos anteriores com glifosato obtidos por Brighenti et al. (2018). Os valores apresentados de medidas de posição e dispersão foram utilizados para obter os parâmetros da priori informativa.

Utilizou-se inicialmente a abordagem frequentista dos dados obtidos no experimento e posteriormente as análises bayesianas utilizando as prioris vaga e informativa.

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p. 282-289, 2019.

64ª Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO).

As análises foram realizadas com utilização software R (R Core Team, 2018). Para a abordagem Bayesiana utilizou-se o pacote BRugs do na qual gerou-se 110.000 valores em um processo MCMC (Cadeias de Markov pelo Método de Monte Carlo). Considerou-se um descarte amostral de 2.000 valores iniciais, com salto a cada 10 valores gerados. A convergência das cadeias foi verificada por meio do pacote CODA do programa R, pelo critério de Heidelberger & Welch (1983).

Em cada caso de priori utilizada foi realizada a estimação dos parâmetros e construção do gráfico correspondente, e também a estimação frequentista com construção dos respectivos intervalos de confiança para a razão de chance (RC).

A razão de chance de um evento ocorrer é definido como a razão de probabilidade do evento ocorrer pela probabilidade do evento não ocorrer. O Logit, como é chamado, pode ser escrito em termos do log de odds (chances). Se β é positivo significa que a probabilidade de ocorrência do evento aumenta, quando a variável independente X aumenta. Se β é negativo, a probabilidade de ocorrência do evento diminui, quando a variável independente X diminui (Hosmer & Lameshow, 1989).

O intervalo de confiança de 95% para o RC é calculado de forma análoga, através da fórmula: $IC_{95\%}(\text{RC}) = \exp[\beta \pm 1,96 \times \text{erro padrão}(\beta)]$.

Utilizou-se para comparar os modelos obtidos com diferentes prioris o critério DIC (*Deviance Information Criterion*), proposto por Spiegelhalter et al. (2002). Ele é uma aproximação do Fator de Bayes, que corresponde a uma generalização do critério AIC. É baseado na distribuição a posteriori

de $D_i(\theta) = -2 \ln \frac{f(x|\theta, M_i)}{h(x)}$, onde $h(x)$ é uma função apenas dos dados que não tem impacto na

escolha do modelo. Propõe como medida da adequabilidade do modelo o valor esperado a posteriori de $D_i(\theta)$ e como penalização $p_{D,i}$ associada à complexidade do modelo a diferença entre este valor esperado e o valor de $D_i(\theta_i)$ calculado no valor esperado a posteriori de θ_i (Paulino et al, 2003). Assim,

$$p_{D,i} = E_{(\theta_i|x, M_i)}[D_i(\theta_i)] - D_i(E_{(\theta_i|x, M_i)}[\theta_i])$$

e

$$DIC_i = E_{(\theta_i|x, M_i)}[D_i(\theta_i)] + p_{D,i} = 2E_{(\theta_i|x, M_i)}[D_i(\theta_i)] - D_i(E_{(\theta_i|x, M_i)}[\theta_i]).$$

O melhor modelo será aquele que minimizar a medida de discrepância DIC.

A partir dos parâmetros estimados obteve-se também a dose-letal (DL_{50}) para ocorrência de 50% da mortalidade de abelhas.

Resultados e Discussão

Inicialmente considerou-se a abordagem frequentista através da função logit, obtendo-se as estimativas para α e β , dadas por 0,6249 e 0,3758, respectivamente, com um AIC de 9,0427.

Uma das grandes vantagens da regressão logística é que cada coeficiente estimado fornece uma estimativa do logaritmo natural (ln) da razão de chances (RC) ajustada para todas as variáveis do modelo, permitindo a estimação direta através da exponenciação do coeficiente β , sendo $RC = e^\beta$.

No caso da variável concentração do glifosato, o coeficiente β estimado pela regressão logística foi de 0,3758, assim $RC = e^{0,3758} = 1,456$. Assim, estima-se que, para o aumento de uma unidade na concentração do glifosato, o número de abelhas mortas aumenta em 1,456, ou seja, há um aumento de 46% na chance de óbito das abelhas a cada acréscimo de uma unidade de glifosato.

O intervalo de confiança de 95% para o RC é $\exp[0,3758 \pm 1,96 \times 0,4163] = [0,6439; 3,2928]$.

Para a abordagem Bayesiana as estimativas dos parâmetros do modelo logístico, considerando as prioris vagas, são apresentadas na tabela 1.

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p. 282-289, 2019.

64ª Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica (SEAGRO).

Tabela 1 – Estimativas dos Parâmetros a partir do modelo logístico com priori vaga.

Parâmetro	Média	dp	Erro_MC	ICr(2,5%)	Mediana	ICr(97,5%)
α	-0,6027	0,21310	0,0009496	-1,0230	-0,6011	-0,1897
β	0,3849	0,07762	0,0004314	0,2446	0,3806	0,5479
\hat{r}_0	10,6600	1,44900	0,0063950	7,9320	10,6200	13,5800
$\hat{r}_{0.5}$	11,9900	1,37100	0,0057620	9,3590	11,9700	14,7200
$\hat{r}_{1.0}$	13,3900	1,30400	0,0052310	10,8400	13,3800	15,9700
$\hat{r}_{1.5}$	14,8100	1,26700	0,0049870	12,3300	14,8100	17,3000
\hat{r}_5	23,5500	1,51700	0,0074950	20,4300	23,6000	26,3500
\hat{r}_{10}	28,6500	0,83090	0,0038940	26,5600	28,8300	29,7200

As estimativas obtidas tanto para α e β forma significativas a 5%. A partir destas obtém-se um valor para dose letal igual a 1,57 g de Roundup® (glifosato) para cada 100 mL de solução aquosa de sacarose a 50%. Assim, pode-se dizer que as três dosagens mais baixas utilizadas no experimento são inferiores a DL_{50} , não causando danos tóxicos graves às abelhas. É importante ressaltar que a dose utilizada em campo por produtores corresponde às estas inferiores e, portanto, não causam dano às abelhas.

Já no caso da dose de 5g/100mL, a mortalidade foi estimada em 23,55 abelhas das 30 utilizadas, o que corresponde a uma taxa de mortalidade de 78,5%. E na superdosagem de 10g/100mL esta taxa sobe para 95,5%.

Para construção das prioris informativas, utilizou-se a média de mortalidade após 96h, obtida por Brighenti et al. (2018), correspondente a 0,39, com variância de 0,0337, obtido por $Var(X) = \pi^2 \tau^2 / 3$. Desta forma, usando $\alpha = -\mu / \tau$ e $\beta = 1 / \tau$, tem-se $\alpha \sim N(3,8522; 0,06)$ e $\beta \sim N(9,8775; 0,06)$.

Tabela 2 – Estimativas dos Parâmetros a partir do modelo logístico com priori informativa.

Parâmetro	Média	Dp	Erro_MC	ICr(2,5%)	Mediana	ICr(97,5%)
α	-0,6656	0,21480	0,0009678	-1,0910	-0,6639	-0,2500
β	0,3989	0,07905	0,0004427	0,2562	0,3946	0,5658
\hat{r}_0	10,2300	1,43300	0,0063880	7,5440	10,2000	13,1300
$\hat{r}_{0.5}$	11,6000	1,36300	0,0057750	8,9840	11,5700	14,3200
$\hat{r}_{1.0}$	13,0300	1,30300	0,0052460	10,4900	13,0100	15,6100
$\hat{r}_{1.5}$	14,5000	1,27200	0,0050010	12,0100	14,5000	17,0000
\hat{r}_5	23,5800	1,53500	0,0075890	20,4200	23,6300	26,4100
\hat{r}_{10}	28,7400	0,79460	0,0037220	26,7300	28,9100	29,7500

As curvas ajustadas são apresentadas na Figura 1.

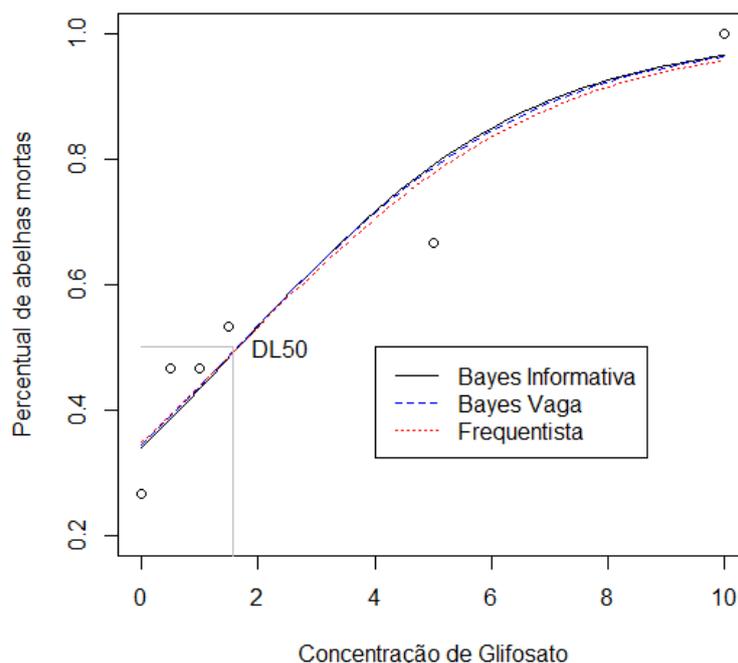


Figura 1 – Modelo ajustado para o número de abelhas mortas, curvas frequentista, Bayesiana com priori vaga e Bayesiana com priori informativa.

Para o caso Bayesiano com priori vaga, a $DL_{50\%}$ ocorreu fora do intervalo de uso comercial recomendado pelo fabricante, uma vez que o contato tópico se mostrou menos letal que a ingestão, ainda sim é possível a ocorrência de mortalidades moderadas em casos de uso de superdosagem de defensivos agrícolas. Dentro das dosagens de uso comercial, a preocupação é principalmente pelos resíduos deixados em produtos apícolas, tais como mostrados por Thompson et al, (2014), os quais são consumidos por humanos.

Na tabela 3, encontra-se a medida de discrepância dos modelos ajustados.

Tabela 3: DIC e pD pra os modelos ajustados

Modelo	DIC	pD
Com priori vaga	29,47	1,990
Com priori informativa	29,54	1,984

Percebe-se que, com as duas prioris utilizadas, obteve-se um valor menor para DIC com a priori vaga, indicado este modelo estar melhor ajustado aos dados pois minimiza o desvio.

Conclusão

O Modelo Logístico foi adequado para avaliar o efeito do Glifosato em abelhas.

O uso de técnicas de análise Bayesiana considerando prioris pouco ou muito informativas não proporcionou diferenças significativas entre os resultados.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fapemig e a UFSJ pelo apoio financeiro.

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p. 282-289, 2019.

64ª Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO).

Referências

- AIZEN, M. A.; HARDER, L. D. The global stock of domesticated honey bees is growing slower than agricultural demand for pollination. *Current Biology*, Maryland Height, v. 19, n. 11, p. 915-928, jun. 2009.
- AMARANTE JR., O. P.; SANTOS, T. C.; BRITO, N M.; RIBEIRO, M. L. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. *Química Nova*, Vol. 25, n. 4, p. 589-593, 2002.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). *Anvisa: glifosato não causa danos graves à saúde*. Disponível em: <<https://www.sna.agr.br/anvisa-glifosato-nao-causa-danos-graves-a-saude/>> Acesso em: 19 mar. 2019.
- BERGER, J. O. Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis. *Second Edition*. New York: Springer-Verlag, 1985.
- BRIGHENTI, D. M.; SERPA, D.C.; BRIGHENTI, C. R. G. Toxicidade do herbicida glifosato para abelhas africanizadas. In: XXII Congresso Brasileiro de Apicultura e VII Congresso Brasileiro de Meliponicultura, 2018, Joinville. *Anais...Joinville, SC: CBA*, 2018.
- D'ÁVILA, M.; MARCHINI, L.C., Polinização realizada por abelhas em culturas de importância econômica no Brasil. *Boletim de Indústria Animal*, v. 62, n. 1, p. 79-90, 2005.
- GALLAI, N.; VAISSIÈRE, B.E. *Guidelines for the economic valuation of pollination services at a national scale*. Rome, FAO, 2009.
- GAMERMAN, D.; MIGON, H.S. *Inferência Estatística: uma abordagem integrada*. Rio de Janeiro: Instituto de Matemática / UFRJ, 1993. 207p.
- GRUYS, K. J.; SIKORKI, K. A. Inhibitors of tryptophan, phenylalanine and tyrosine biosynthesis as herbicides . IN: SINGH, B. K. *Plant amino acids: biochemistry and biotechnology*. New York: Marcel Dekker, 1999.
- HEIDELBERGER, P.; WELCH, P. Simulation run length control in the presence of an initial transient. *Operations Research*, v.31, p.1109-44, 1983.
- HOSMER, D. W; LAMESHOW, S. *Applied Logistic Regression*. New York, Ed John Wiley & Sons, 1989.
- IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; SARAIVA A. M.; JONG D. *Bees as pollinators in Brazil: assessing the status and suggesting best practices*. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2006. 96 p.
- JONES, D. K.; HAMMOND, J. I.; RELYEA , R. A. Competitive stress can make the herbicide Roundup® more deadly to larval amphibians. *Environmental Toxicology and Chemistry*. Pittsburgh, v. 30, n. 2, p. 446-454, 2010.
- Sigmae**, Alfenas, v.8, n.2, p. 282-289, 2019.
- 64ª Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).
18º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO).

- PAULA, G. A. *Modelos de regressão com apoio computacional*. Instituto de Matemática e Estatística, 2002.
- PAULINO, C. D.; TURKMAN, M. A.; MURTEIRA, B. *Estatística Bayesiana*. Editora: Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2003.
- PENHA, D. L. *Inferência bayesiana não-paramétrica para elicitación da função de contabilidade*. 2014. 85 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2014.
- PIRES, C. S. S.; PEREIRA, F. M.; LOPES, M. T. R.; NOCELLI, R. C. F.; MALASPINA, O.; PETTIS, J. S.; TEIXEIRA, E. W. Enfraquecimento e perda de colônias de abelhas no Brasil: há casos de CCD?. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.51, n.5, p. 422-442, 2016.
- PIRES, M. C., *Abordagem Bayesiana para modelos de regressão logística com erros e classificações repetidas*. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2010.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Áustria, 2018.
- ROSSI, R. M., *Introdução aos métodos Bayesianos na análise de dados zootécnicos com uso do WinBUGS e R*, Fundação Universidade Estadual de Maringá, PR, 2010.
- SPIEGELHALTER, D. J.; BEST, N. G.; CARLIN, B. P.; VAN DER LINDE, A. Bayesian measures of model complexity and fit (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society Series B (Statistical Methodology)*, v. 64, p. 583-639, 2002.
- THOMPSON, H. M.; LEVINE, S. L.; DOERING, J.; NORMAN, S.; MANSON, P.; SUTTON, P.; von MEREY, G. Evaluating exposure and potential effects on honeybee brood (*Apis mellifera*) development using glyphosate as an example. *Integrated Environmental Assessment and Management*, Ljubljana, v.10 n.3, p.463-470. 2014.