



## Análise estatística de um delineamento de experimento para esterilização por radiação de mosquitos *Aedes aegypti*

Nascimento<sup>a</sup> L. A., Fernandes<sup>b</sup> M. A. R., Moura<sup>a</sup> T. F. A., Ribolla<sup>c</sup> P. E. M.,  
Cantane<sup>a</sup> D. R., Florentino<sup>a</sup> H. O., Oliveira<sup>a</sup> R. A.

<sup>a</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp), Instituto de Biociências de Botucatu,  
Departamento de Bioestatística, CEP:18618-693, Botucatu, SP, Brasil.

<sup>b</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp), Faculdade de Medicina de Botucatu,  
Departamento de Dermatologia e Radioterapia, CEP:18618-970, Botucatu, SP, Brasil.

<sup>c</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp), Instituto de Biociências,  
Departamento de Parasitologia, CEP:18618-693, Botucatu, SP, Brasil.

[rogerio.oliveira@unesp.br](mailto:rogerio.oliveira@unesp.br)

---

### RESUMO

Doenças endêmicas, comuns em países tropicais e subtropicais, como a dengue, febre amarela, Zika e a de Chikungunya são diariamente noticiadas nos meios de comunicação. O portal do Ministério da Saúde alertou sobre o aumento de 264,1% dos casos de dengue no país, que passaram de 62,9 mil nas primeiras 11 semanas de 2018 para 229.064 no mesmo período de 2019, até 16 de março de 2019. Em relação aos números de casos de Zika e Chikungunya, no mesmo período, foram registrados 2.062 e 12.942, respectivamente. O projeto apresenta uma análise do uso de radiação como forma de esterilização dos mosquitos *Aedes aegypti* machos. Realizou-se um planejamento de experimento para observar o crescimento da população dos mosquitos e coletar os dados. Um modelo de regressão Binomial foi utilizado para verificar a diferença em dois níveis de radiação na esterilização dos machos, sendo que na dose de 30 Gy houve diminuição de aproximadamente 50% no número médio de nascimentos, quando comparado com 25 Gy. Verificou-se que os machos irradiados têm chances de competir, pela cópula das fêmeas, com machos naturais. Entretanto, observou-se que numa população de machos esterilizados, no mínimo, seis vezes maior que a de machos naturais, há uma redução significativa no número de nascimentos de larvas.

**Palavras-chave:** *Regressão Binomial; Radiação gama; Controle populacional de mosquitos.*

---

---

**ABSTRACT**

Endemic diseases common in tropical and subtropical countries such as dengue, yellow fever, Zika and Chikungunya are reported daily in the media. The site of the Brazilian Ministry of Health warned about the 264.1% increase in dengue cases in the country, from 62,900 in the first 11 weeks of 2018 to 229,064 in the same period of 2019, until March 16, 2019. The Zika and Chikungunya numbers were registered, 2,062 and 12,942, respectively in the same dates. The project presents an analysis of the use of radiation as a form of sterilization of male *Aedes aegypti* mosquitoes. An experiment was planned to observe mosquito population growth and collect data. A Binomial regression model was used to verify the difference in two levels of radiation in the sterilization of males. The dose of 30 Gy has decreased approximately 50% the number of births when compared to 25 Gy. The irradiated males have a chance of competing with natural males, through the copula of the females. However, the population of sterilized males must be at least six times greater than the population of natural males because it can provide a significant reduction in the number of larvae births.

*Keywords: Binomial regression, Gamma radiation, Population control of mosquitoes.*

---

## 1. INTRODUÇÃO

O mosquito *Aedes aegypti* é um grande problema de saúde pública, devido ao fato de ser o vetor de transmissão do vírus da dengue, da febre amarela, da Zika e da Chikungunya. Ao longo de sua evolução, esse mosquito desenvolveu um comportamento estritamente sinantrópico e antropogênico, tornando uma espécie muito dependente do ambiente urbano [1]. Seu habitat está ligado às condições domiciliares ou peridomiciliares, facilitando a proximidade com as pessoas.

O ciclo de vida do mosquito pode ser dividido em quatro fases: ovo, larva, pupa e alada (adulto). O *Aedes aegypti* apresenta um ciclo aquático, que é influenciado pela qualidade da água com preferência a água limpa [2], mas isso não o impede de realizar seu ciclo em outras situações impostas pelo ser humano, poças de água ou esgoto a céu aberto. A escolha de um lugar para a oviposição é um dos principais fatores responsáveis pela distribuição dos mosquitos nos criadouros e sua subsequente dispersão em diferentes áreas geográficas [3].

A fase adulta do *Aedes aegypti* é caracterizada pela sua capacidade reprodutiva. Dentro de 24h, após emergirem do estado de pupa os mosquitos já estão prontos para o acasalamento [4]. A cópula ocorre apenas uma única vez durante toda a vida da fêmea. Em média cada macho pode acasalar com até 10 fêmeas. Os mosquitos adultos, machos e fêmeas, alimentam-se de carboidratos,

usualmente provenientes de seivas, flores e frutas, sendo somente as fêmeas ingerem de sangue, que serve como fonte de desenvolvimento e maturação de seus ovos [5].

Uma forma de controle do aumento do número de mosquitos é a liberação de machos estéreis nas áreas de superpopulação de mosquitos, visando alterar seu processo reprodutivo e reduzir o número de indivíduos infectados. Estes insetos se tornam estéreis devido ao uso de agentes que causam mutações, tais como, a radiação gama. Esta técnica, conhecida como *Sterile Insect Technique* (SIT), tem-se mostrado eficiente no controle das populações de mosquitos [6,7].

Como as fêmeas copulam apenas uma única vez durante toda a vida adulta, então ao copular com um macho estéril, a fêmea colocaria ovos não fertilizados, que não gerariam novas larvas do mosquito, ocasionando a descontinuidade do ciclo reprodutivo [9]. A esterilização, entretanto, deve ser efetiva na capacidade de diminuir o nascimento de novos mosquitos em larga escala, sem que haja grande diferença na habilidade competitiva entre machos naturais (machos não estéreis) e machos estéreis [7,8].

Uma das possíveis formas de esterilização dos mosquitos machos é por meio do uso de radiações ionizantes em sua última fase aquática, fase de pupa, facilitando a separação por sexo e o acondicionamento em recipientes apropriados para a irradiação de todos os machos adequadamente [10,11]. Essa técnica pode ser empregada em equipamentos com fontes de cobalto-60, as quais emitem raios gama com atividade radioativa suficiente para a esterilização dos mosquitos.

A escolha da dose de radiação é de grande importância no sucesso da esterilização dos mosquitos machos. As doses entre 20 a 40 Gy tem se mostrado eficaz na esterilização dos mosquitos do gênero *Aedes* [12-15]. Alguns experimentos com o uso de fêmeas irradiadas em 40 e 50 Gy, apontou que as fêmeas não realizaram postura de ovos, mesmo após duas alimentações sanguíneas [15].

A soltura de machos estéreis, além de diminuir a taxa de fêmeas fertilizadas, não representa riscos à saúde humana, pois os machos não picam as pessoas, já que não precisam ingerir sangue. Essa técnica é segura porque não altera a estrutura genética dos mosquitos e os mosquitos não passam nenhuma alteração para seus descendentes [16].

O modelo de regressão Binomial pode ser utilizado para analisar o número de nascimentos de larvas dos mosquitos, considerando diferentes proporções de machos irradiados e naturais no encontro de fêmeas jovens, ainda não fertilizadas.

Este trabalho teve como objetivo analisar os níveis de esterilização dos mosquitos machos de *Aedes aegypti* obtidos nas doses de 25 e 30 Gy e estudar a competitividade dos machos naturais e machos esterilizados por radiação gama na cópula com fêmeas, utilizando a modelagem por regressão Binomial.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ovos do mosquito *Aedes aegypti* foram depositados aleatoriamente em bandejas com água até o nascimento das larvas, sendo mantidos em condições ótimas, típicas de verão, em câmara com temperatura de 27°C, com umidade relativa em torno de 75% e luminosidade controlada, simulando os períodos de dia e noite. As larvas foram alimentadas com ração de peixes ornamentais durante a fase larval, para proporcionar o crescimento acelerado dos mosquitos na fase aquática.

Durante a fase de pupa, os machos foram separados das fêmeas com o auxílio de uma lupa, para serem destinados para a esterilização, que foi realizada em um aparelho de telecobaltoterapia da marca GE/CGR/MEV modelo Alcyon II (Figura 1). A fonte de Cobalto-60 emite radiação gama com energia média de 1,25 MeV. Neste trabalho foram irradiadas nove amostras, totalizando 60 pupas de mosquitos machos para cada dose de radiação analisada. As pupas de mosquitos machos foram depositadas em dois recipientes plásticos com 300 ml cada com profundidade de 4 cm de água. O campo de radiação aplicado foi de 33 cm x 33 cm, para se garantir a dose de radiação máxima (*build'up*) na superfície, uma placa de acrílico de 0,5 cm de espessura foi colocada sobre a cobertura do recipiente com as pupas. A distância da fonte de Co-60 à superfície superior da placa de *build'up* foi de 80 cm. Para garantir uma melhor distribuição da dose de radiação em todo o campo de radiação, foram colocadas, sob o recipiente de amostras, placas de acrílico totalizando uma espessura de 5 cm, garantindo o retroespalhamento e melhor distribuição de dose no campo de radiação.

**Figura 1:** *Aparelho de telecobaltoterapia modelo Alcyon II.*

Fonte: Arquivo Pessoal.

Para esse experimento usamos as doses de radiação de 25 Gy e 30 Gy. O tempo de irradiação é dado por:

$$t = \frac{\text{Dose}}{\text{PDP} \times \frac{\text{R}}{\text{min}} \times F_c}, \quad (1)$$

em que a dose é expressa em cGy de radiação aplicada de 25 Gy e 30 Gy;  $F_c$  é o fator campo (razão da medida da radiação no campo 33 cm x 33 cm pelo campo 10 cm x 10 cm) com valor de 1,111; PDP é a porcentagem de dose na profundidade de cálculo, considerando o valor de 94,70%; R/min é o rendimento por minuto da fonte radioativa que no dia do experimento era de 67,3 cGy/min.

Os tempos para as doses de 25 Gy e 30 Gy foram 35 minutos e 42 minutos, respectivamente. Logo após a radiação os machos, as larvas dos mosquitos irradiados foram acondicionadas em gaiolas, na presença de fêmeas naturais, com inserção ou não de machos naturais. A divisão dos mosquitos nas gaiolas foi realizada da seguinte forma:

**Grupo A:** 3 machos irradiados e 3 fêmeas (proporção de 1 irradiado: 1 fêmeas);

**Grupo B:** 3 machos irradiados, 3 naturais e 3 fêmeas (1 irradiado: 1 natural: 1 fêmeas);

**Grupo C:** 30 machos irradiados, 3 naturais e 3 fêmeas (10 irradiado: 1 natural: 1 fêmeas);

**Grupo D:** 3 machos irradiados, 30 naturais e 3 fêmeas (1 irradiado : 10 natural: 1 fêmeas);

**Grupo Controle:** 10 machos naturais e 10 fêmeas naturais (manutenção da população no laboratório).

Foram utilizadas como repetição três gaiolas para os grupos e as mesmas foram identificadas devidamente pelo número da repetição, pelo grupo e pela dose de radiação empregada na esterilização.

Na fase adulta, todos os mosquitos foram alimentados com solução de água e concentração de 10% de sacarose, com embebida em algodão envolto por gaze. As fêmeas adultas foram alimentadas com sangue de camundongos para proporcionar o desenvolvimento e a maturação dos ovos. O processo de alimentação por sangue ocorreu a cada quatro dias e foi empregado um camundongo anestesiado em cima de cada gaiola (Figura 2), que permaneceu por 15 minutos, sobre a membrana semipermeável, permitindo fácil acesso das fêmeas. A utilização de camundongos nesse experimento foi aprovada e certificada pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) e possui protocolo n.º 785 – CEUA.

**Figura 2:** *Gaiolas separadas por dose de radiação e proporções diferentes (a). Alimentação sanguínea das fêmeas com o uso de camundongos anestesiados (b).*



Fonte: Arquivo Pessoal

Para oviposição, utilizou-se um papel filtro umedecido em água, colocado em copos plásticos com água, para mantê-lo úmido. Os ovos coletados a cada quatro dias foram contados e depois colocados em água para verificar a quantidade de nascimentos de larvas, para acompanhar o nascimento das jovens mosquitos.

Para analisar o número de nascimentos larvais para cada um dos grupos nas duas doses de radiação, foi utilizado o modelo de regressão Binomial porque os dados são referentes a observação de uma resposta binária, 1 para sucesso (eclosão do ovo - nascimento) e 0 para falha (não eclosão do ovo – não nascimento). Considere a variável aleatória  $y_i$ , que representa a contagem do número de sucessos de cada amostra de tamanho  $n_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Então, tem-se que

$$E(y_i) = \mu_i = n_i \pi_i, \quad (2)$$

em que  $y_i$  é o número de nascimentos,  $n$  é o número total de ovos,  $\mu_i$  é o número médio esperado de nascimentos e  $\pi_i$  é a proporção esperada de nascimentos.

Os dados podem ser ajustados por um modelo linear generalizado, que permite ajustar as proporções esperadas  $\pi_i$  em termos das variáveis explicativas  $\mathbf{x}_i$ ,

$$g(\pi_i) = \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta}, \quad (3)$$

em que  $g$  é alguma função de ligação logística e  $\boldsymbol{\beta}$  é um vetor de  $p$  parâmetros desconhecidos, relacionados as duas fontes de variação estudadas (2 doses de radiação e 4 grupos). Diz-se então que  $y_i$  segue uma distribuição Binomial,  $y_i \sim \text{Bin}(n_i, \pi_i)$ , com função de variância dada por

$$\text{Var}(y_i) \approx n_i \pi_i (1 - \pi_i). \quad (4)$$

A função de ligação canônica para uma distribuição Binomial é uma função logito, que correspondente à modelagem na escala *log-odds* (razão de chances),

$$g(\mu_i) = \log\left(\frac{\mu_i}{n_i - \mu_i}\right) = \log\left(\frac{\pi_i}{1 - \pi_i}\right) = \eta_i. \quad (5)$$

A adequação do ajuste do modelo pode ser verificada pela função desvio ou *deviance* é dada por

$$D(\mathbf{y}, \boldsymbol{\mu}) = 2 \sum_{i=1}^n \left[ y_i \log\left(\frac{y_i}{n_i \mu_i}\right) + (n_i - y_i) \log\left(\frac{1 - y_i/n_i}{1 - \mu_i}\right) \right]. \quad (6)$$

A função desvio considera os resíduos gerados pelo ajuste do modelo aos dados, logo um valor pequeno para a função desvio indica que, para um número reduzido de parâmetros, obtém-se um ajuste tão bom quanto o ajuste com modelo saturado.

Para o uso de modelos lineares generalizados, com um parâmetro de escala conhecido, quando o modelo está bem ajustado, espera-se que o valor do *deviance* seja próximo do número de graus de liberdade do modelo estatístico [17,18]. Entretanto, a falta de ajuste do modelo estatístico, uma das possíveis causas, pode ser a sobredispersão ou a subdispersão. Este problema pode ocorrer na modelagem de dados binários, devido à presença de uma maior variação do que aquela assumida

pelo modelo. As possíveis causas deste problema podem estar relacionadas a variabilidade do material experimental, devido à variabilidade individual das unidades experimentais e pode dar uma componente adicional de variabilidade que não é explicada pelo modelo mais simples; correlação entre respostas observadas; amostras agrupadas; dados de nível agregado, gerando um processo de agregação com distribuições compostas e alguma variável importante que não foi observadas durante o experimento, por simples desconhecimento de sua influência[17].

O método mais popular, para resolver o problema da sobredispersão/subdispersão, é o método da quasi-máxima verossimilhança. Entretanto, deve-se primeiramente especificar a função média, que está relacionada às covariáveis do modelo. No contexto da regressão logística, a função média é dada por

$$\mu_i = n_i \exp(\mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta}), \quad (7)$$

resultando em

$$\log\left(\frac{\pi_i}{1-\pi_i}\right) = \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta}. \quad (8)$$

O próximo passo é especificar a função de variância, que determina a relação entre a variância da variável resposta e sua média. Para um modelo Binomial, a função de variância é dada por

$$\mu_i(n_i - \mu_i)/n_i. \quad (9)$$

Agora, inclui-se o parâmetro  $\sigma^2$ , denominado como parâmetro de escala, logo a variância pode ser expressa como:

$$V(y_i) = \sigma^2 \mu_i(n_i - \mu_i)/n_i. \quad (10)$$

Se  $\sigma^2 \neq 1$ , então o modelo de regressão adequado aos dados não é o de Binomial usual ; se  $\sigma^2 > 1$  tem-se o problema de sobredispersão e, se  $\sigma^2 < 1$ , tem-se o caso de subdispersão. Se  $\sigma^2$  for conhecido, poderíamos obter uma estimativa consistente, assintoticamente normal e eficiente para  $\boldsymbol{\beta}$  pelo um procedimento de *quasi-scoring*. Para a função de variância mostrada acima, o método de *quasi-scoring* se reduz à informação de Fisher (Escore de Fisher), que pode ser encontrado iterativamente. Este método utiliza a variância como uma função da média, utilizando um fator multiplicativo, conhecido também como fator de sobredispersão  $\sigma^2$ . Neste caso, o parâmetro de dispersão  $\sigma^2$  não interfere nas estimativas de  $\boldsymbol{\beta}$  ; mas altera a matriz estimada de variâncias e covariâncias para  $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ , ou seja,

$$\hat{V}(\hat{\boldsymbol{\beta}}) = \sigma^2(\mathbf{X}^T \mathbf{W} \mathbf{X})^{-1}, \quad (11)$$



em que  $\mathbf{W}$  é a matriz de pesos de tal forma que todos os erros padrão estimados devem ser multiplicados pela estimativa do parâmetro de dispersão  $\hat{\sigma} = \sqrt{\hat{\sigma}^2}$ .

Pode-se estimar a dispersão do modelo como  $\hat{\sigma}^2 = D^2/(N - p)$ , em que  $D^2$  representa o *deviance* do ajuste do modelo estatístico,  $N$  é o número de amostras e  $p$  o número de parâmetros. Se o modelo apresentar um bom ajuste aos dados, então o estimador  $\hat{\sigma}^2$  é consistente assintoticamente para o parâmetro de dispersão  $\sigma^2$ , quando  $N \rightarrow \infty$  para diferentes  $n_i$  fixos [17].

Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do ajuste do modelo de regressão Binomial, sem e com parâmetro de dispersão, utilizando a programação dos comandos, de algumas funções e de pacotes disponibilizados no Software R, que realiza diversas análises estatísticas e pode ser baixado gratuitamente [19].

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O grupo controle foi utilizado inicialmente para aumentar o tamanho da população de mosquitos e, conseqüentemente, obter quantidade suficiente de ovos para iniciar o experimento, fornecendo a quantidade necessária de machos para o processo de separação e esterilização. Os dados coletados nos grupos para as duas doses de radiação estão apresentados na Tabela 1.

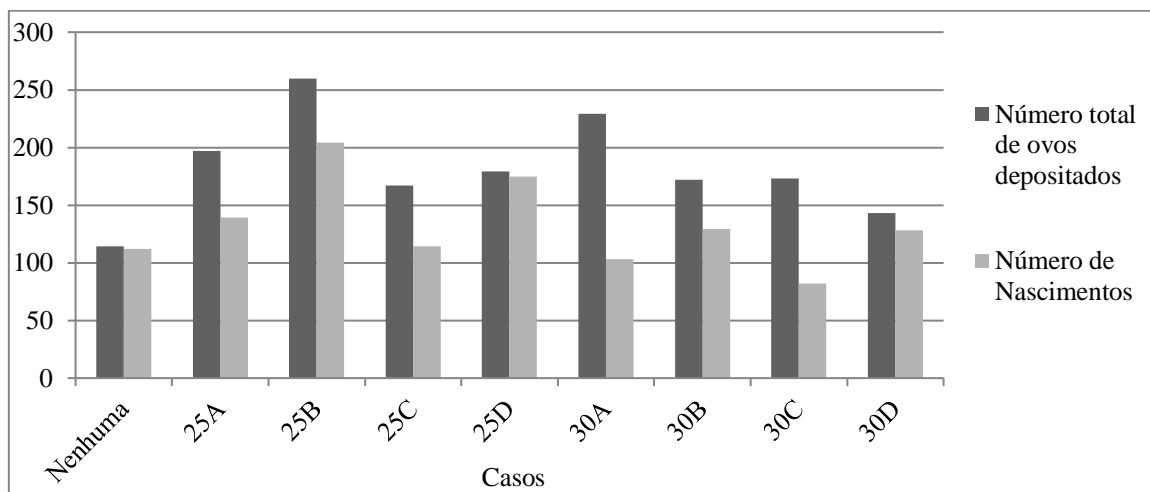
**Tabela 1:** Quantidade de ovos depositados e proporção de nascimentos em cada um dos grupos.

Dose (Gy)	Grupo	Número Total de Ovos	Número de Nascimentos	Proporção de Nascimentos (%)
Nenhuma	Controle	114	112	98,24
25	A	197	139	70,55
25	B	260	204	78,46
25	C	167	114	68,26
25	D	179	175	97,77
30	A	229	103	44,97
30	B	172	129	75,00
30	C	173	82	47,39
30	D	143	128	89,51

A Figura 3 apresenta as proporções de nascimentos observadas nos 4 grupos estudados e com doses de esterilização de 25 Gy e 30 Gy. Observa-se que existe uma diminuição na proporção de nascimentos quando os machos estão submetidos à maior dose de radiação. No grupo B, observa-se que não houve grande diferença nas proporções de nascimentos.

Devido ao tipo de dados, número total de ovos e quantidade de nascimentos de larvas destes, tem-se que os dados seguem uma distribuição Binomial com proporção  $p$  de sucesso (nascimentos). Logo um modelo linear generalizado (MLG) para a distribuição Binomial foi ajustado considerando a função de ligação logística.

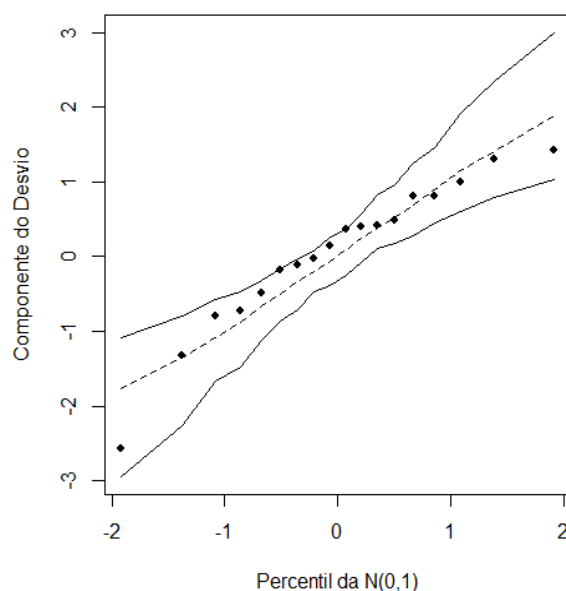
**Figura 3:** Número de nascimentos nos quatro grupos para a radiação de 25 e 30 Gy.



Um modelo linear para a quantidade do número de ovos e o número de nascimentos observados foi ajustado considerando como fatores de variação a dose de radiação (25 Gy e 30 Gy) e os grupos (A, B, C e D). A radiação 25 Gy e o grupo A foram considerados como referência de suas respectivas categorias para a realização das comparações estatísticas. Para este ajuste, foi obtido o *deviance* igual a 50,072 com 13 graus de liberdade, evidenciando falta de ajuste dos dados coletados ao modelo estatístico proposto, pois o valor do *deviance* deve ser próximo aos graus liberdade do modelo ajustado. Posteriormente, ajustou-se o modelo com as doses de radiação, os grupos e as interações (dose e grupo). O valor observado para o *deviance* dos resíduos foi de 38,873 com 10 graus de liberdade para o modelo ajustado, mostrando falta de ajuste. Uma das possíveis

causas de falta de ajuste poderia estar relacionada à superdispersão/subdispersão, logo foi utilizada a função *glm.binomial.disp*, do Software R para estimar os parâmetros do modelo relacionados aos fatores de variação (dose e grupo), considerando esta variabilidade. A estimativa do parâmetro de dispersão foi igual a 0,0365 e o valor do *deviance* dos resíduos foi igual a 10,224 para 10 graus de liberdade do modelo, apontando melhor qualidade de ajuste para este modelo. Considerando o nível de significância de 5%, todas as interações não são estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ) e foram retiradas do modelo. Portanto, foi realizado novo ajuste do modelo estatístico sem considerar interações. A Tabela 2 apresenta as estimativas dos parâmetros: dose de radiação e grupo, referentes ao ajuste final do modelo de regressão Binomial. A estimativa do parâmetro de dispersão para o modelo Binomial sem interação foi de 0,0404, apontando a presença de subdispersão. O valor do *deviance* foi de 12,46 para 13 graus de liberdade do modelo estatístico, indicando um bom ajuste do modelo considerando a subdispersão. A Figura 4 apresenta o gráfico do envelope dos resíduos para o modelo de regressão Binomial sem interações. Pode-se ver que todos os pontos estão dentro das bandas de confiança para a distribuição Binomial, confirmando um ajuste adequado do modelo aos dados.

**Figura 4:** Gráfico do Envelope dos resíduos gerados para o modelo Binomial sem interação.



**Tabela 2:** Estimativas dos parâmetros do modelo Binomial sem interação.

<b>Parâmetros</b>	<b>Estimativas</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>Estatística Z</b>	<b>Valor p</b>
<b>intercepto</b>	0,6698	0,2609	2,5680	0,0102
<b>Radiação 25Gy</b>				
<b>Radiação 30Gy</b>	-0,7649	0,2560	-2,9880	0,0028
<b>grupo A</b>				
<b>grupo B</b>	0,8308	0,3246	2,5900	0,0096
<b>grupo C</b>	0,0297	0,3146	0,0940	0,9247
<b>grupo D</b>	2,4880	0,5220	4,7700	<0,001

Pela Tabela 2, observa-se que existe diferença significativa entre as duas radiações e, considerando a radiação 30 Gy, tem-se uma diminuição na estimativa da razão de chances (proporção de nascimentos / proporção de não nascimentos).

A dose de radiação de 30 Gy diminui em média 50% a proporção de nascimentos (resultado =  $\exp(-0,7649)$ ). Para os grupos, existe diferença significativa entre os grupos A e B ( $p = 0,0096$ ) e grupo A e D ( $p < 0,001$ ). Pode-se ver que a proporção de 1 irradiado: 1 natural: 1 fêmeas aumenta em 2,3 vezes o número médio de nascimento de larvas em relação ao grupo A, apontando maior sucesso nas cópulas de fêmeas com machos naturais. Aplicando contrastes dos efeitos observados para os grupos, são testadas as hipóteses lineares de comparações dos grupos. O grupo D difere do grupo B ( $p = 0,010$ ) e do grupo C ( $p < 0,001$ ), ou seja, a proporção de machos naturais/ irradiados nos grupos altera a proporção de nascimentos das larvas. Agora se a proporção de machos naturais for 10 vezes que o número de machos esterilizados (Grupos B e D), observa-se que o número médio de nascimento é 5,2 vezes maior que o observado para o grupo B, demonstrando que os machos irradiados ajudaram a reduzir o número de nascimentos das larvas em 19,1%.

#### 4. CONCLUSÕES

As fêmeas copuladas com os mosquitos machos irradiados com a radiação de 30Gy apresentaram uma diminuição de quase 50% na proporção de nascimentos, quando comparados

com as fêmeas que copularam com os machos irradiados com 25 Gy. Essa tendência de diminuição foi observada nos quatro grupos estudados, considerando diferentes proporções de machos naturais e irradiados. Verificou-se que com o aumento da dose da radiação a fertilidade dos machos irradiados diminuiu significativamente e as doses utilizadas neste trabalho não esterilizaram totalmente os mosquitos machos, mantendo a capacidade reprodutiva e sendo capazes de competir com os machos naturais pelas fêmeas. Lima [15] apresentou que as doses de 40 e 50 Gy efetivamente esterilizam os machos e também não comprometem sua condição para copular com as fêmeas, embora tenha observado que houve redução de 80% de ovos viáveis, quando o tamanho da população de machos esterilizados era 10 vezes maior que a população de machos naturais. Baseados nos resultados desse experimento, pode-se aconselhar que a soltura de uma população de machos esterilizados para o controle populacional deve ser, no mínimo, seis vezes maior que a população de machos naturais, aumentando as chances de competitividade pela cópula com as fêmeas. Além dos controles mecânico (remoção de criadouros) e químico (inseticidas) já utilizados para a diminuição e controle populacional pelos órgãos públicos, o controle biológico por meio da soltura de machos radiados, mesmo em doses menores como a deste experimento, pode contribuir significativamente na diminuição do número de larvas eclodidas em uma área de grande infestação de mosquitos e, conseqüentemente, prevenir na propagação de todas as doenças transmitidas pelo mosquito *Aedes aegypti*.

## AGRADECIMENTOS

FUNDUNESP/PROPG/PROPE/UNESP, CAPES, CNPq – PIBIC, CNPq (nº 302454/2016-0) e FAPESP (nº 2014/01604-0 e 2013/07375-0).

## REFERÊNCIAS

- [1] NATAL, D. Bioecologia do *Aedes aegypti*. **Biológico**, São Paulo, v.64, n.2, p.205-207, 2002.
- [2] VAREJÃO, J. B. M.; SANTOS, C. B. DOS; REZENDE, H. R.; BEVILACQUA, L.C. & FALQUETO, A. Criadouros de *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762) em bromélias

- nativas na cidade de Vitória, ES. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**. v.38: p.238-240, 2005.
- [3] TILAK, R.; GUPTA, M. V.; SURYAM, M. V.; YADAV, J. D. & GUPTA, B. K. K. D. A laboratory investigation into oviposition responses of *Aedes aegypti* to some common household substances and water from conspecific larvae. **Medical Journal Armed Forces India**, v.61: p.227-229, 2004.
- [4] OLIVEIRA, M. M. F. **Condicionantes sócio-ambientais urbanos da incidência da dengue na cidade de Londrina/PR**. Tese de mestrado, Universidade Federal do Paraná. Londrina, 2006.
- [5] CONSOLI, R. A. G. B.; OLIVEIRA, R. L. **Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil**. Rio de Janeiro. Editora Fiocruz, 225 p, 1994.
- [6] BARTLETT, A.C.; STATEN, R.T. **The sterile release method and other genetic control strategies**, in: Radcliffe, E.B. Hutchison, W.D. (Eds), Radcliffe's IPM World Textbook, University of Minnesota, St. Paul, MN, 1996.
- [7] O'BRIEN, R. D.; WOLFE, L. S. **Radiation, Radioactivity and Insects**. Academic Press, New York, v.145, n.3630: p.377-378, 1964.
- [8] THOMÉ, R.C.A.; YANG, H.M.; ESTEVA, L. Optimal Control of *Aedes aegypti* Mosquitoes by the Sterile Insect Technique and Insecticide. **Mathematical Biosciences**, v.223:p.12-23, 2010.
- [9] BALESTRINO, F et al. Gamma ray dosimetry and mating capacity studies in the laboratory on *Aedes albopictus* males. **J. Med. Entomol.** v.47, n.4: p.581-591, 2010.
- [10] SILVEIRA, E. **A transformação dos insetos**. 2012. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/09/14/a-transformacao-dos-insetos/>>. Acesso em: 06 fev 2017.
- [11] VINAYA, S; SHETTY, BP; ANANTHANARAYANA, SR; JHA, SK; CHAUBEY, RC. Effects of gamma radiation on life history traits of *Aedes Aegypti*. **Parasite Epidemiology and Control**, v1, p.26-35, 2016.
- [12] CANTANE, D. R.; CRISTINO, A. C.; OLIVEIRA, R. A.; FLORENTINO, H. O. ; SANTOS, F. L. P. ; FERNANDES, M. A. R. ; S. NETO, J. A. ; RIBOLLA, P. E. M. O desenvolvimento da população do *Aedes aegypti* aplicado ao modelo de otimização no controle da Dengue. In: **XLVII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2015, Porto de Galinhas. Anais do XLVII SBPO, 2015.

- [13] YAMADA, H.; PARKER, A.G.; OLIVA, C.F.; BALESTRINO, F.; GILLES, J.R.L. X-Ray-Induced Sterility in *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) and Male Longevity Following Irradiation. **Journal of Medical Entomology**: v.51,n.4:p.811-816, 2014.
- [14] OLIVA, C.F.; JACQUET, M.; GILLES, J.; LEMPERIERE, G.; MAQUART, P.O., et al. The Sterile Insect Technique for Controlling Populations of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) on Reunion Island: Mating Vigour of Sterilized Males. **PLoS ONE**7(11): e49414, 2012.
- [15] LIMA, K. F. A. **Avaliação biológica de machos esterilizados por radiação gama, para utilização em programas de controle populacional de *Aedes aegypti*** (Diptera: Culicidae). Dissertação de Mestrado em Biociências e Biotecnologia da Saúde, Fiocruz, p. 85, 2015.
- [16] WILKE, A. B. B.; GOMES, A. C.; NATAL, D.; MARRELLI, M. T. Controle de vetores utilizando mosquitos geneticamente modificados. **Rev. Saúde Pública**. v.43,n.5: p.869-874. ISSN 1518-8787, 2009.
- [17] HINDE, J.; DEMÉTRIO, C. G. B. **Overdispersion: Models and Estimation**. SINAPE 1998. Caxambu, Minas Gerais. p.66, 1998.
- [18] PAULA, G. A. **Modelos de regressão com apoio computacional**. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. p. 429. 2013. Available at: <[https://www.ime.usp.br/~giapaula/texto\\_2013.pdf](https://www.ime.usp.br/~giapaula/texto_2013.pdf)>. Acessado: 10 Abril 2019.
- [19] R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>> . Acessado em: 20 Março 2017.