



Artigo de Pesquisa

## Modelagem Matemática Aplicada ao Controle de Escorpiões *Tityus Serrulatus* na Cidade de Oliveira (MG)

**Karla Teresa Ribeiro**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Campus Divinópolis

[karla.teresa@educacao.mg.gov.br](mailto:karla.teresa@educacao.mg.gov.br)

**Erasmão Tales Fonseca**

Universidade do Estado de Minas Gerais - Divinópolis

[erasmo.fonseca@uemg.br](mailto:erasmo.fonseca@uemg.br)

### Resumo

Acidentes envolvendo picadas de escorpiões da espécie *Tityus Serrulatus*, segundo o Ministério da Saúde, têm aumentado no país nos últimos anos. No município de Oliveira (MG), têm sido constantes os relatos do aparecimento de escorpiões dessa espécie dentro de residências. Na busca por uma possível solução para este problema de saúde pública, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre a dinâmica populacional desse aracnídeo, com o escopo de subsidiar o desenvolvimento de um modelo matemático que represente o crescimento dessa população e os efeitos oriundos da inserção de galinhas como um predador de forma artificial no ambiente, para controle e inibição do seu aparecimento na parte interna das residências. O referencial teórico construído levou à escolha do modelo contínuo de crescimento logístico, com a adição de um fator de predação. As simulações de interação por meio de dados heurísticos demonstram que a inserção das galinhas no ambiente contribui para a inibição do crescimento populacional do escorpião *Tityus Serrulatus*.

**Palavras-chaves:** Escorpião. *Tityus Serrulatus*. Modelo Matemático.

### Abstract

Accidents involving scorpion stings of the *Tityus Serrulatus* species, according to the Ministry of Health, have increased in the country in recent years. In the city of Oliveira (MG) there have been constant reports of the appearance of scorpions of this species inside homes. In the search for a possible solution to this public health problem, a bibliographic research was carried out on the population dynamics of this arachnid in order to support the development of a mathematical model that represents the growth of this population and the effects arising from the insertion of chickens as an artificial predator in the environment to control and inhibit its appearance inside homes. The theoretical framework built led to the choice of the continuous logistic growth model with the addition of a predation factor. Simulation of interaction using heuristic data demonstrate that the insertion of chickens in the environment contributes to the inhibition of the population growth of the scorpion *Tityus Serrulatus*.

**Keywords:** Scorpion. *Tityus Serrulatus*. Mathematical Model.

## 1 Introdução

Quando se trata de escorpiões, observa-se que é pacífico o entendimento de que estes oferecem risco para o ser humano, de modo que este inseto causa terror à população quando encontrado em residências. No entanto, nota-se ainda que, embora haja esse receio, poucos são os estudos matemáticos relacionados à sua dinâmica populacional que visem possibilitar a previsão e controle de seu crescimento.

Nessa conjuntura, verifica-se que no município de Oliveira (MG) há frequentes relatos de escorpiões encontrados no interior das residências e inclusive acidentes relacionados a envenenamento por picadas. Então, torna-se relevante compreender a dinâmica reprodutiva desse aracnídeo, com o intuito de desenvolver um modelo matemático que possibilite prever a propagação do escorpião *Tityus Serrulatus* e assim auxiliar no desenvolvimento de uma possível solução, por meio do controle populacional dos escorpiões, que iniba a sua incidência no ambiente doméstico.

Partindo deste cenário, a presente pesquisa, realizada como requisito para a conclusão do curso de licenciatura em matemática pela UEMG – Divinópolis, tem como escopo a revisão bibliográfica acerca da dinâmica populacional do escorpião *Tityus Serrulatus* para compreender como o escorpião se reproduz e a razão pela qual o seu crescimento é considerado um problema de saúde pública que vem se agravando ao longo dos anos.

Após essa investigação teórica sobre o escorpião, será realizado um estudo concernente à elaboração de um modelo matemático para previsão do crescimento populacional da espécie e os efeitos advindos da inserção de um predador nos locais de maior incidência no município de Oliveira (MG). O modelo desenvolvido será experimentado de forma teórica, por meio do software *Populus*<sup>1</sup> e, por fim, os dados numéricos obtidos serão analisados de forma quantitativa e qualitativa para determinação da viabilidade do modelo e da inserção de um predador para controle do crescimento populacional desse escorpião.

## 2 O escorpionismo como um problema de saúde pública

Em 2009, o Manual de Controle de Escorpiões do Ministério da Saúde (BRASIL, 2009, p. 5) já relatava que acidentes envolvendo animais peçonhentos representavam mais de 100 mil acidentes e quase 200 óbitos registrados por ano, dos quais 30% seriam decorrentes do escorpionismo e que este tipo de acidente se apresentava como uma tendência crescente. Segundo dados do (DATASUS, 2021), no ano de 2020 foram notificados 143.955 casos de picadas de escorpião em seres humanos no Brasil, o que demonstra que o escorpionismo continua a ser um problema de saúde pública no país.

De acordo com (REIN, 2023), atualmente no mundo já foram catalogadas 2.630 espécies de escorpiões, organizadas biologicamente em quatro famílias (*Bothriuridae*, *Buthidae*, *Chactidae* e *Hormuridae*), das quais existem relatos no Brasil de "23 gêneros e cerca de 160 espécies, o que representa 6,3% da diversidade mundial desses aracnídeos." (MARTINS et al., 2021, p. 2).

Dentre as famílias de escorpiões, (MARTINS et al., 2021, p. 2) expõe que a *Buthidae*, além de ser a maior das famílias de escorpiões e ser encontrada em todo o mundo, exceto Antártica e Nova Zelândia, representa "cerca de 50 espécies consideradas perigosas para os humano" e é responsável por "95% dos envenenamentos de escorpiões". Conforme o Ministério da Saúde (BRASIL, 2009), nessa família temos como principais representantes dos problemas de saúde pública no país o gênero *Tityus*, sendo a espécie *Tityus Serrulatus* a responsável pelos acidentes mais graves, uma vez que:

com ampla distribuição em todas as macrorregiões do país, representa a espécie de maior preocupação em função do maior potencial de gravidade do envenenamento e pela expansão em sua distribuição geográfica no país, facilitada por sua reprodução partenogenética e fácil adaptação ao meio urbano (DATASUS, 2021).

(BRAZIL e PORTO, 2010, p. 66) enfatizam também que o escorpião *tityus Serrulatus* "é o principal agente etiológico dos acidentes escorpiônicos no Brasil, sendo responsável pela maioria dos casos de maior gravidade e diversos casos fatais". O escorpião desta espécie, segundo a (FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ, 2021), é "considerado o mais venenoso da América do Sul, é o escorpião causador de acidentes graves, principalmente no Estado de Minas Gerais".

Este escorpião atinge até 7 cm de comprimento e possui um tronco escuro e o restante do corpo amarelo, razão pela qual é conhecido popularmente como escorpião amarelo. Conforme observado na figura, o escorpião possui um ferrão venenoso, que pode levar o ser humano picado rapidamente a óbito, devido ao seu efeito neurotóxico que, além de doer, atua no sistema nervoso, bloqueando funções básicas do corpo humano:

O atributo mais notório de um escorpião é seu ferrão venenoso. O veneno dos escorpiões é neurotóxico. Sua ação é muito rápida e forte. A dor é intensa se irradiando por todo o corpo da vítima. Agindo especialmente sobre o sistema nervoso, pode causar a morte por asfixia, pois os comandos que controlam a respiração ficam bloqueados. O soro antiescorpiônico é o único remédio eficaz contra as ferroadas dos escorpiões. Todas as espécies de escorpião são venenosas. (FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ, 2021).

Embora haja um alto risco oferecido à população em virtude da gravidade da picada do escorpião, observa-se, por outro lado, uma escassez de ações que visem prevenir acidentes e combater o crescimento populacional desse aracnídeo na zona urbana.

<sup>1</sup>O *Populus* é um software de uso gratuito desenvolvido pela Universidade de Minnesota para a simulação de dinâmicas populacionais.

**Figura 1:** Escorpião amarelo (*Tityus Serrulatus*).

Fonte: (LOURENÇO et al., 1996).

Nesse sentido, (JÚNIOR, 2019) expõe que, por vezes, o problema é negligenciado:

No mundo, ainda existem poucos estudos epidemiológicos acerca do escorpionismo. Apesar de não ser recente o seu reconhecimento como problema de saúde pública, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), ele é um problema negligenciado e, por vezes, associado à pobreza. (JÚNIOR, 2019, p. 9).

Observa-se então a necessidade de controle dos escorpiões desta espécie, tendo em vista a tendência de crescimento destacada por (CARMO et al., 2019) que demonstra que os casos de acidentes com escorpiões têm crescido no país e devem ser levados em consideração na medida em que também se elevam as taxas de mortalidade, principalmente de crianças e idosos:

No Brasil, os acidentes envolvendo picada de escorpião adquirem importância clínica cada vez mais significativa, em virtude da elevada toxicidade do veneno desses animais, assim como o maior acometimento de indivíduos da faixa etária economicamente ativa e as elevadas taxas de letalidade em crianças e idosos. No período de 2000 a 2012, foram registradas no país, taxas médias anuais de incidência de picada por escorpião de 19,6 por 100 mil habitantes e de mortalidade por essa causa de 0,030 por 100 mil habitantes. (CARMO et al., 2019, p. 3).

Nesse mesmo sentido, (BRAZIL e PORTO, 2010, p. 38) reforçam que “pelo risco que podem representar para a saúde humana, em algumas situações, é necessário controlar o tamanho de populações de escorpiões em áreas urbanas, já que a erradicação dessas espécies não é possível e nem viável”. Tal impossibilidade decorre do fato de que os escorpiões se reproduzem com facilidade e são altamente adaptativos. Em se tratando especificamente da deste escorpião temos que:

A espécie *T. serrulatus* (escorpião amarelo) reproduz-se por partenogênese. Assim, só existem fêmeas e todo indivíduo adulto pode parir sem a necessidade de acasalamento. Este fenômeno facilita sua dispersão; por causa da adaptação a qualquer ambiente, uma vez transportado de um local a outro (introdução passiva), instala-se e prolifera com muita rapidez. Além disso, a introdução de *tityus Serrulatus* em um ambiente pode levar ao desaparecimento de outras espécies de escorpiões devido à competição. (BRASIL, 2009, p. 8).

Destarte, essa facilidade de reprodução corrobora a preocupação em relação à propagação desse escorpião, uma vez que, conforme exposto, a espécie é composta apenas por fêmeas que se reproduzem de forma partenogênica, ou seja, não necessitam acasalar para gerar novos indivíduos. Segundo o (INSTITUTO BUTANTAN, 2021) “os óvulos se desenvolvem diretamente em embriões por estímulo hormonal”.

Conforme (FREITAS NOVAIS, 2017, p. 5), uma fêmea adulta tem em média 2 partos por ano, gerando entre 16 e 20 novos indivíduos em cada um e a espécie *tityus Serrulatus* “tem como comportamento manter a prole em seu dorso durante determinado período, geralmente até o fim do primeiro instar, o que dura cerca de 6 a 11 dias”.

O autor ainda descreve que não há sazonalidade na reprodução, havendo picos em épocas chuvosas, porém com eventos reprodutivos durante todo o ano. (BRASIL, 2009, p. 9) relata ainda que essa espécie de escorpião vive por aproximadamente 4 anos, que demora entre 10 meses à 1 ano para atingir a maturidade reprodutiva e que durante a sua vida gera em média 160 filhotes.

(LOURENÇO, 2000, p. 79) retrata essa facilidade de reprodução pela rapidez com que a espécie “anteriormente ocupava uma área restrita no estado de Minas Gerais no Brasil” e hoje se encontra amplamente distribuída por toda a região sudeste do país e outros 15 estados da federação<sup>2</sup>.

<sup>2</sup>Conforme (BRAZIL e PORTO, 2010, p. 52) a espécie *tityus Serrulatus* pode ser encontrada nos seguintes estados: BA, CE, DF, ES, GO, MG, MS, PR, PE, PI, RJ, RN, SC, SE, SP, TO.

Quanto à adaptabilidade, esta espécie é bem adaptada ao ambiente urbano e costuma ser encontrada com frequência em locais como esgoto e cemitérios. Sobre essa peculiaridade, (BRASIL e BRITES-NETO, 2018) explicam que:

Em razão de seu hábito criptozoico, a espécie *tityus Serrulatus* em seu processo de colonização dos logradouros urbanos, adaptou sua proliferação por meio de populações subterrâneas em galerias de esgoto e cemitérios. Essa peculiaridade de novos habitats em nossas cidades acabou por dificultar uma avaliação de como essas populações dispersariam em área urbana e quais seriam os limites de distância desses deslocamentos. (BRASIL e BRITES-NETO, 2018, p. 28).

Inobstante, é importante considerar que, embora o crescimento populacional do escorpião *tityus Serrulatus* seja considerado um problema de saúde pública que exige um controle com escopo de diminuir o número de acidentes, a erradicação não é uma solução. (BRASIL, 2009, p. 23) enfatiza que “esses animais desempenham papel importante no equilíbrio ecológico como predadores de outros seres vivos, devendo ser preservados na natureza”.

Por conseguinte, torna-se importante verificar de quem é a responsabilidade do controle. Analisando a legislação pertinente, observa-se que o Ministério da Saúde dispõe na Portaria MS/GM nº 1.172, de 15 de junho de 2004, *in verbis*:

Art. 3º Compete aos municípios a gestão do componente municipal do Sistema Nacional de Vigilância em Saúde, compreendendo as seguintes atividades:

X - Registro, captura, apreensão e eliminação de animais que representem risco à saúde do homem; (BRASIL, 2023).

Assim, é responsabilidade de cada município, por meio dos setores de vigilância sanitária e controle de zoonoses, realizar o controle do escorpião *Tityus Serrulatus*. (BRASIL, 2009, p. 23-24) orienta que o controle seja feito por meio da identificação dos locais de risco e busca ativa de escorpiões nas seguintes situações:

1. Notificação de acidente: deve desencadear visita domiciliar para busca ativa em 100% dos casos ocorridos em zona urbana; 2. Demanda espontânea da população levando em conta as áreas prioritárias; 3. Identificação de áreas prioritárias: a busca ativa nesse caso deverá acontecer, no mínimo a cada seis meses. Em ambas as situações, devem ser visitados além dos imóveis de ocorrência, os limitrofes (direita, esquerda e fundos) e em frente. No caso de ocorrência em zona rural, deve-se estabelecer um raio de 100m para busca ativa. (BRASIL, 2009, p. 25-26).

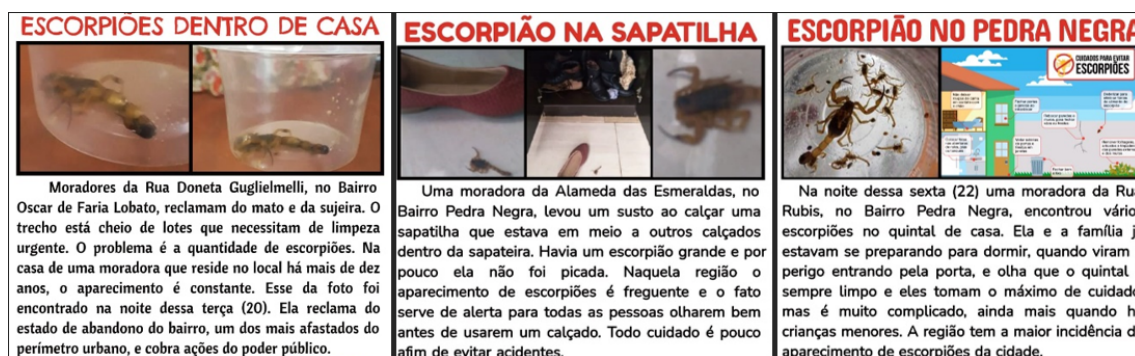
Observa-se que o controle orientado se restringe a busca de escorpiões de modo a reduzir o quantitativo nas áreas residenciais. Ademais, o controle químico não se apresenta como possibilidade, na medida em que, além de não contar com eficácia comprovada, pode ocasionar a migração de escorpiões para locais sem a presença dos agentes químicos, aumentando o risco de picadas em humanos. (BRASIL, 2009).

Além disso, a alta adaptabilidade do escorpião *Tityus Serrulatus* inclui a possibilidade de resistência a agentes químicos, pois eles “possuem capacidade de permanecer com seus estigmas pulmonares fechados por um longo período” (BRASIL, 2009, p. 36-37). Deve-se, inclusive, ter cuidado com o uso de inseticidas para outros tipos de infestações (baratas, mosquitos, barbeiros, etc.) uma vez que podem provocar o desalojamento de escorpiões e ainda reduzir presas causando migrações.

No município de Oliveira (MG), que se situa na região Centro-Oeste do estado de Minas Gerais, é recorrente a incidência dessa espécie de escorpião. No ano de 2021 foram registradas pelo departamento de vigilância sanitária e controle de zoonoses municipal 8 ocorrências envolvendo escorpiões *Tityus Serrulatus* em residências, todas sem picadas e reportadas voluntariamente por moradores.

A vigilância sanitária do município atua predominantemente de forma passiva que, conforme (WALDMAN, 1998, p. 17), “caracterizam-se por ter como fonte de informação a notificação espontânea” sendo “mais vulnerável à subnotificação”. Neste sentido, nos veículos de comunicação e nas redes sociais do município, são frequentes os relatos de escorpiões encontrados, o que corrobora a tese de que o número de ocorrências possa ser superior ao notificado.

Consoante todo o exposto, a modelagem matemática apresenta-se como uma possibilidade de prever a propagação do escorpião *Tityus Serrulatus*, de modo a possibilitar a previsão da sua dinâmica populacional e assim auxiliar no desenvolvimento de uma possível solução, por meio do controle populacional dos escorpiões através da inserção de um predador natural, que iniba a sua aparição dentro das residências.

**Figura 2:** Relatos de ocorrência de escorpiões em residências.

Fonte: (SÉRGIO HENRIQUE DINIZ, 2021).

### 3 Modelagem Matemática em dinâmicas populacionais

#### 3.1 Modelagem Matemática

Segundo (BASSANEZI, 2015, p. 9) a modelagem matemática traduz-se no emprego da matemática em situações concretas de alguma área do conhecimento e se expressa na transformação de um problema prático “em um modelo matemático, ou seja, traduzir a questão na linguagem de números, gráficos, tabelas, equações, etc., e procurar uma solução que possa ser reinterpretada em termos da situação concreta original.”

Nesse mesmo sentido, (COSTA DE AZEVEDO MEYER et al., 2011, p. 27) assevera que “o primeiro passo a ser dado para se trabalhar com Modelagem é reconhecer a existência de um problema real” que tenha significado para aquele que irá modelar. É nesse contexto que se observa que a modelagem matemática é uma ramificação da matemática denominada matemática aplicada, De acordo com Meyer et al.:

O que estamos denominando de Matemática é o que os profissionais da área de Matemática estão elaborando, ou seja, é o conhecimento matemático produzido nas academias, visando exclusivamente ao desenvolvimento da Matemática. Profissionais estes que se constituem em pessoas inseridas num tempo histórico, social e cultural. Já os matemáticos aplicados tomam o que os matemáticos puros fazem de Matemática e usam-nos como ferramental para estudar e entender – e, às vezes – até ajudar a resolver determinados problemas. O matemático aplicado estuda e aprende Matemática para resolver algo. Ele é um profissional tanto quanto o matemático dito puro, mas este estuda e aprende Matemática para resolver problemas da Matemática. (COSTA DE AZEVEDO MEYER et al., 2011, p. 35).

Com o escopo de resolver problemas matemáticos é que a matemática aplicada possui várias áreas de pesquisa, sendo uma delas a modelagem de dinâmicas populacionais conforme veremos no subtópico seguinte.

#### 3.2 Modelagem Matemática em dinâmicas populacionais

De acordo com (EDELSTEIN-KESHET, 2005, p. 210, tradução nossa), “o crescimento e declínio das populações na natureza e a luta das espécies para predominar umas sobre as outras têm sido um assunto de interesse que remonta à antiguidade”. Neste âmbito, aplicações de conceitos matemáticos para previsão e controle de espécies assumem relevância quando estamos diante de um problema de saúde pública que envolve o crescimento de populações que oferecem risco ao ser humano.

Existem modelos clássicos que foram desenvolvidos para a previsão do controle populacional como o de Malthus (1798) e de Verhulst (1838) que analisam o crescimento de espécies isoladamente, sem considerar a interação existente no meio. Quando se busca analisar interações entre duas espécies que interagem como presa e predador temos “o trabalho de Lotka e Volterra, que chegaram de forma independente a vários modelos” que causaram “efeito profundo no campo agora conhecido como biologia populacional” (EDELSTEIN-KESHET, 2005, p. 210, tradução nossa). Em relação aos modelos citados o autor enfatiza que:

Os modelos clássicos de biologia populacional servem a vários propósitos [...]. Os modelos também demonstram como pequenas alterações feitas nas equações ou nos valores das quantidades críticas que aparecem neles podem levar a previsões de mudanças. Finalmente, o fato de que esses modelos são bastante simples, nos permite avaliar criticamente as várias suposições e suas consequências. ((EDELSTEIN-KESHET, 2005, p. 211, tradução nossa).

Destarte, embora trate-se de modelos simples, os exemplos apresentados contribuem para uma avaliação crítica dos resultados obtidos e podem servir como ponto de partida para o desenvolvimento de modelos mais complexos e que envolvam a definição de outras variáveis ambientais que interferem no crescimento ou declínio de populações.

### 3.3 Modelagem Matemática do escorpionismo

Nos termos do tópico anterior, infere-se que os modelos matemáticos que visam a prever o desenvolvimento de populações podem ser aplicados para a análise e controle do escorpionismo. No entanto, na busca de autores que descrevem modelos matemáticos para esse aracnídeo, observa-se apenas a existência de abordagens estatísticas que tencionam a preparar o sistema de saúde para o atendimento de pessoas picadas como, por exemplo, (CHOWELL et al., 2006), (SELMANE, 2015) e (SELMANE et al., 2017).

Sem embargo da ausência de material literário específico, nota-se segundo (NORONHA e FERREIRA, 2017, p. 430), que “o modelo do tipo Lotka-Volterra se mostrou capaz de descrever a interação de controle biológico aplicado entre a presa e o predador” auxiliando ainda “na compreensão dos principais fatores ecobiológicos que governam o sistema tratado”. Nesse sentido os atores destacam ainda que:

a predação é um exemplo de interação entre duas populações, que resulta em consequências negativas no crescimento e sobrevivência de uma população e em resultado benéfico na outra população. Nessa interação, a quantidade de indivíduos da população de presa depende diretamente do número de indivíduos de predadores num mesmo habitat e vice-versa. (NORONHA e FERREIRA, 2017, p. 430).

Nesse sentido, a inserção de um predador natural para controle populacional do escorpião apresenta-se como uma alternativa que pode ser viável, tendo em vista a impossibilidade de controle químico. Dentre os predadores naturais do escorpião “estão camundongos, quatis, macacos, sapos, lagartos, corujas, seriemas, galinhas, algumas aranhas, formigas, lacraias e os próprios escorpiões”. (BRASIL, 2009, p. 9).

Apesar da diversidade de possíveis predadores, observa-se que a inserção da maioria deles seria inviável na zona urbana, tanto pela necessidade de um habitat adequado para animais como macacos, quatis, corujas e seriemas, quanto pela dificuldade de controle e rejeição do próprio ser humano em relação a camundongos, sapos, lagartos, aranhas, formigas, lacraias e escorpiões de outras espécies.

As galinhas, neste cenário, apresentam-se como uma possibilidade, na medida em que são de fácil controle, inserção e não causam prejuízos ao ser humano. A galinha poderia beneficiar a população local por meio de uma criação de subsistência, sendo possível sua criação em quintais de área urbana. Neste sentido, a (EMBRAPA, 2007, p. 7) esclarece que “no Brasil, a criação de galinhas caipiras é uma tradição. Mesmo em áreas urbanas, em improvisados galinheiros, a criação dessas aves é meio de obtenção de carne e ovos, geralmente para o próprio consumo”.

Embora o Manual de Controle de Escorpiões elaborado pelo Ministério da Saúde considere que as galinhas não sejam agentes eficazes no controle de escorpiões, existem relatos de casos de sucesso como o de um condomínio em Mirassol/SP (G1, 2012) e o da Escola Municipal Gilberto Bonafé, em Piraju (SP) (RAFAEL HONORATO, 2019) ambos noticiados pelo portal de notícias G1.

Faz-se necessário ressaltar que as galinhas são animais de hábitos diurnos, enquanto os escorpiões são animais de hábitos noturnos, logo o encontro entre as espécies ocorre de forma não frequente. Porém em entrevista dada ao MBM<sup>3</sup>, (RONALDO VICTORIA, 2015) relata que ainda que de maneira eventual as galinhas são aptas a encontrarem esconderijos e escorpiões:

Por conta da diferença de hábitos, as galinhas encontram os escorpiões eventualmente, enquanto ciscam os terrenos, removendo pedras ou madeiras onde eles possam estar escondidos. Ao mesmo tempo, comem pequenos insetos dos quais os escorpiões se alimentam. Também destaca que o hábito de ciscar das galinhas permite descobrir os abrigos dos escorpiões e, por isso, elas são úteis para grandes quintais, chácaras e condomínios. (RONALDO VICTORIA, 2015).

Ao se alimentar de pequenos insetos e de restos de alimentos que são encontrados no ambiente, as galinhas também atuam como um predador indireto, pois diminuem a fonte de alimentação dos escorpiões, estimulando a migração do inseto para um local mais favorável. Destarte, a galinha pode ser considerada um predador direto e

<sup>3</sup>MBM Escritórios de ideias, produz revistas de circulação em Piracicaba/SP e região.

ao mesmo tempo indireto, sendo que, ainda que de forma discreta, sua inserção nos locais de grande incidência do escorpião promoverá benefícios para o controle do aracnídeo.

Analisando-se o modelo de presa e predador de Lotka e Volterra diante das premissas apresentadas, verifica-se que o escorpião não irá promover benefícios e/ou prejuízos significativos para a população de galinhas inseridas de forma artificial no meio urbano. Além disso, para que a galinha atue como predador não haveria a necessidade de se verificar a dinâmica populacional desse animal, tendo em vista que na cidade de Oliveira (MG) o custo de uma galinha é baixo e a quantidade de galinhas poderia ser reposta com facilidade.

Logo, como o modelo de Lotka e Volterra pressupõe que a interação entre presa e predador reflita de forma direta uma sobre a outra, observa-se que não se torna relevante a análise dos efeitos do escorpião sobre as galinhas, de modo que poderíamos descartar a análise da segunda equação <sup>4</sup> do modelo que se refere ao predador. A dinâmica populacional das galinhas poderia ser descrita de forma linear no sentido de que se pode inserir a quantidade de galinhas que se mostrar necessária para o controle populacional do escorpião, bem como as galinhas poderiam ser inseridas sem a necessidade de se observar a sua reprodução. Assim, descartando-se a segunda equação, acabamos por recair em um modelo de crescimento logístico.

Isto posto, uma análise realizada com o auxílio do modelo de crescimento logístico de Verhulst para a previsão do crescimento populacional do escorpião *Tityus Serrulatus* associado a parâmetros da análise da interação presa-predador entre escorpião e galinha por meio da inserção deste último nos locais de maior incidência, podem auxiliar no desenvolvimento de estratégias de controle dessa praga no município de Oliveira (MG).

#### 4 Modelo Matemático aplicado ao controle de escorpiões *Tityus Serrulatus* na cidade de Oliveira (MG)

O modelo de crescimento populacional de Verhulst elaborado em 1837 e conhecido como modelo crescimento logístico é definido pela seguinte equação <sup>5</sup> ordinária linear de 1ª ordem:

$$\frac{dN}{dt} = rN \left( 1 - \frac{N}{K} \right). \quad (1)$$

Onde:

1.  $N_t$ : população no instante  $t$ ;
2.  $t$ : tempo;
3.  $K$ : capacidade de carga do sistema;
4.  $r$ : taxa de crescimento.

Assim, supondo que conheçamos o tamanho da população no instante de  $t=0$  o modelo de Verhulst pode ser descrito pelo seguinte problema do valor inicial. O modelo adotado é contínuo na medida em que, conforme detalhado anteriormente, embora a espécie de escorpião *tityus Serrulatus* por regra geral se reproduza duas vezes ao ano, produzindo entre 16 a 20 filhotes em cada uma, não é possível definir um intervalo de tempo específico em que tal reprodução acontece, não sendo possível se considerar uma sazonalidade reprodutiva.

Assim, supondo que conheçamos o tamanho da população no instante de  $t=0$  o modelo de crescimento logístico poderia ser descrito pelo seguinte problema do valor inicial:

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = rN \left( 1 - \frac{N}{K} \right) \\ N(0) = N_0 \end{cases}. \quad (2)$$

Onde,  $N(0)$  é a população inicial.

<sup>4</sup>A segunda equação do modelo de Lotka e Volterra pressupõe uma relação de dependência do predador para com a presa, o que não acontece no caso da inserção artificial da galinha, tendo em vista que o interesse é o auxílio no controle do escorpião e não o controle populacional de galinhas.

<sup>5</sup>Conforme (EDELSTEIN-KESHET, 2005, p. 212)

Procurando determinar inicialmente a capacidade de carga do ambiente denominada de  $K$ , tendo em vista a necessidade de examinarmos posteriormente a inserção artificial dos predadores, vamos considerar o espaço de um lote residencial. Não estudaremos a área total do município por dois fatores: o primeiro, visto que nem todos os bairros sofrem com a incidência de escorpiões, bem como nem toda a área urbana é propícia para o escorpião, como por exemplo, locais como ruas e avenidas, áreas de circulação constante de pessoas como passeios e áreas internas de maior circulação das residências.

O segundo, devido ao fato de que a inserção das galinhas de forma artificial necessita de gestão, pois soltar as galinhas em um bairro poderia ocasionar roubos, uma maior mortalidade por atropelamentos ou por predação de outros animais, a migração das galinhas para outros bairros e até mesmo a concentração das galinhas em apenas uma área específica do bairro, não beneficiando a residência acometida.

Neste cenário, iremos estimar  $K = 1000$  escorpiões<sup>6</sup> atentando que a maior incidência dos escorpiões é em bairros novos e que por regra geral nesses locais os lotes possuem uma média de  $200\text{m}^2$  e tendo em mente ainda que o escorpião *Tityus Serrulatus* é agressivo, não possuindo o costume de viver em grupos e que tem o hábito de ficar escondido embaixo de pedras, pisos e entulhos aguardando as presas. Assim, essa capacidade de carga representaria 5 escorpiões por  $\text{m}^2$  o que é um valor que se mostra adequado tendo em vista que o escorpião possui no máximo 7 cm de comprimento e que nem toda área do terreno será propícia.

Buscando definir a taxa de reprodução contínua devemos levar em conta diversos fatores do ciclo reprodutivo e não simplesmente determinar que 1 escorpião teria uma taxa de natalidade de 2000% a cada parto, pois além de não ser condizente com um modelo contínuo, temos fatores como a mortalidade dos escorpiões, o prazo para que os novos indivíduos atinjam a maturidade reprodutiva e o prazo gestacional.

Em face do exposto, investigando uma possível taxa de crescimento logístico, cogitamos inicialmente uma taxa de 4 e observamos que ela proporcionaria um crescimento muito próximo daquele que ocorreria se não houvesse nenhum fator adverso no ambiente que retardassem o crescimento, promovendo inicialmente um crescimento semelhante ao exponencial, de modo que em um intervalo de tempo de 1 ano, um indivíduo geraria 40 novos indivíduos, que seria a quantidade máxima do ciclo reprodutivo.

Tal taxa pode ser considerada alta, à medida em que, embora o escorpião seja altamente adaptativo, nem todos os filhotes sobrevivem, pois o ambiente, por mais favorável que seja, sempre proporcionará algum risco como o próprio canibalismo da espécie, de forma que deixar a redução do crescimento a cargo exclusivamente da capacidade de carga poderia proporcionar uma suposição heurística leviana.

Dessa forma, entendemos que uma taxa adequada seria em torno de 3,5 que resultaria no primeiro ano de reprodução considerando 1 indivíduo adulto a geração de 30 novos escorpiões para o ano seguinte. Embora a taxa de crescimento logístico ainda possa aparentar ser alta, observamos que, segundo (LOURENÇO, 2000), o crescimento do escorpião *Tityus Serrulatus* é muito rápido, se comparado com outras espécies de escorpiões. O autor demonstra que, em um intervalo de cinco anos, a população cresce praticamente de maneira exponencial, ocasionando surtos populacionais conforme o gráfico da figura a seguir:

Destacamos ainda que não adotamos o crescimento exponencial, na medida em que há uma inibição natural dos escorpiões por meio dos predadores naturais existentes no ambiente, pela captura realizada pelo ser humano, competição intraespecífica, etc.

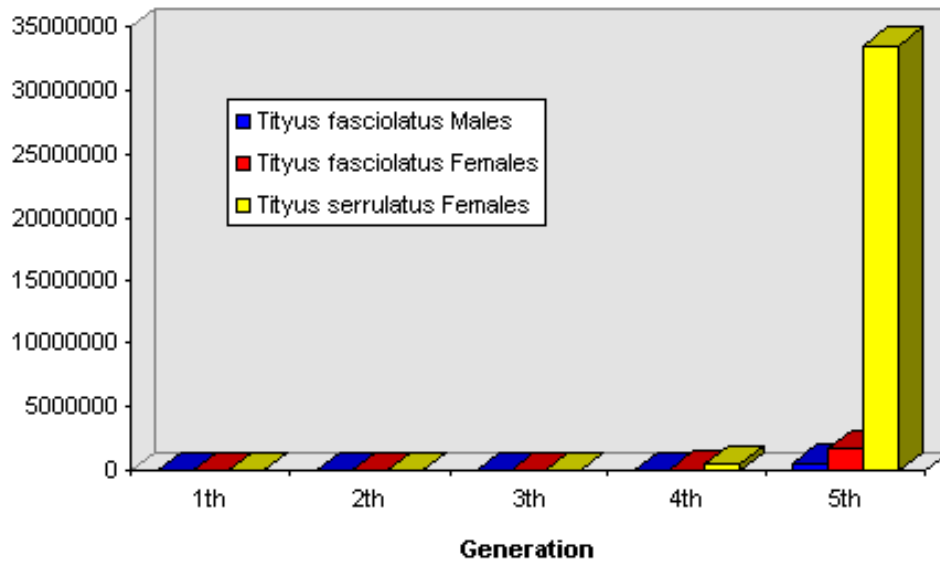
Logo estabelecidos heurísticamente  $K = 1000$  e  $r = 3,5$ , precisamos adicionar ao modelo um novo fator que represente a predação que ocorrerá com a inserção de galinhas em um lote residencial. Reiterando a ideia apresentada no tópico anterior de que as galinhas serão inseridas sem a preocupação com sua reprodução, de modo que, havendo a necessidade de reposição de alguma galinha ela acontecerá facilmente, vamos considerar que a predação poderá ser dada pela subtração de um termo que relacione a quantidade de galinhas e a taxa de predação da seguinte forma:

$$\frac{dN}{dt} = rN \left( 1 - \frac{N}{K} \right) - GpN. \quad (3)$$

<sup>6</sup>Estamos considerando que o crescimento do escorpião *Tityus Serrulatus* é denso dependente baseado no estudo realizado por (FREITAS NOVAIS, 2017) que demonstrou que a taxa de reprodução diminuiu em ambiente mais densos e que houve aumento na taxa de mortalidade nesses locais. No entanto, estamos considerando uma capacidade de carga alta devido à facilidade reprodutiva e à alta adaptabilidade deste aracnídeo conforme exposto por (LOURENÇO et al., 1996) que discorre também acerca das explosões populacionais do *Tityus Serrulatus*.



**Figura 3:** Crescimento do escorpião *Tityus Serrulatus* após 5 gerações.



Fonte: (LOURENÇO, 2000).

Onde os novos fatores correspondem:

1.  $G$ : quantidade de galinhas;
2.  $p$ : taxa de predação.

Buscando definir valores para os elementos do termo adicionado ao modelo, vislumbramos que  $G$  (quantidade de galinhas) irá variar de acordo com a necessidade e disponibilidade do morador. Já para  $p$  considerando que o encontro entre a galinha e o escorpião é eventual, iremos considerar que haveria apenas 25% de chance de as galinhas encontrarem um esconderijo de escorpiões que promova a predação direta e de que ela interfira no ambiente de modo a reduzir a fonte de alimentos deles promovendo migração ou mortalidade indireta por esta escassez alimentar e de esconderijos.

Adotando os valores heurísticos para as variáveis do modelo iremos considerar as seguintes equações:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = 3,5N_1 \left(1 - \frac{N_1}{1000}\right) \\ \frac{dN_2}{dt} = 3,5N_2 \left(1 - \frac{N_2}{1000}\right) - 0,25GN_2 \end{cases} \quad (4)$$

Em que a primeira equação corresponde ao crescimento da população de escorpiões sem a inserção artificial de galinhas e a segunda ao crescimento, levando em consideração a predação das galinhas. Para fins de experimentação e análise do modelo, iremos verificar diferentes cenários de população e de inserção de galinhas no tópico a seguir.

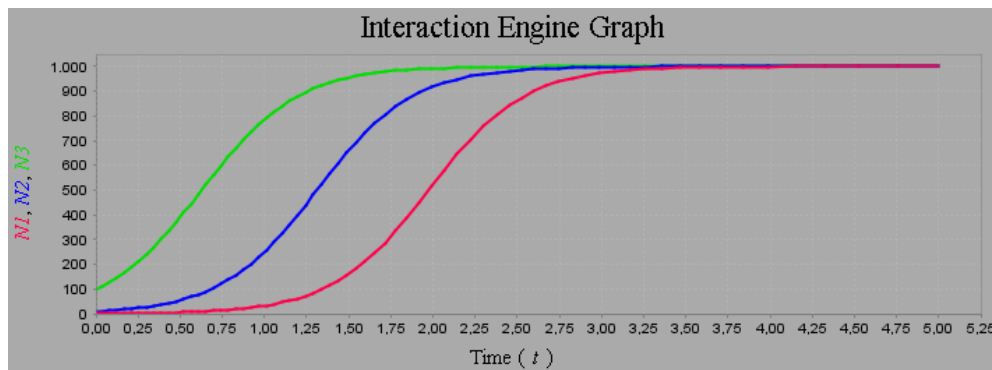
### 5 Resultados numéricos e discussões

Inicialmente, buscando definir a melhor população inicial para que possamos fazer a análise da interação entre os escorpiões e as galinhas, vamos considerar  $N_1(0) = 1$  (população inicial de escorpiões),  $N_2(0) = 10$  e  $N_3(0) = 100$ .

Pelo gráfico acima, em que  $t$  é determinado em anos, verifica-se que as curvas são semelhantes, modificando-se apenas a velocidade com que a capacidade de carga  $K$  é atingida. Diante disso, para possibilitar uma melhor análise da dinâmica populacional, vamos adotar a menor população inicial (1 escorpião) introduzida em um lote de 200 m<sup>2</sup>.

Definida a população inicial e averiguando como a quantidade de galinhas inseridas interfere no crescimento da população de escorpiões, podemos aferir duas situações distintas: uma, em que o lote de 200m<sup>2</sup> ainda não

**Figura 4:** Simulação do crescimento do escorpião *Tityus Serrulatus*.

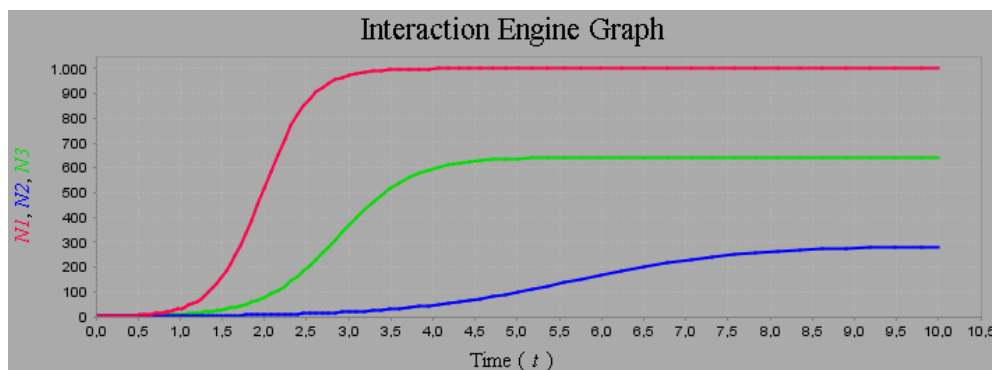


**Fonte:** Autores.

possui casa edificada e outra, em que haja residência edificada. Na primeira hipótese, observamos de forma especulativa que haveria a possibilidade de inserir uma quantidade maior de galinhas, já na segunda, tendo em vista que a inclusão é feita apenas na área externa da residência edificada, teremos um espaço menor ou ainda nenhum espaço dependendo da área construída.

Explorando a primeira situação e supondo que em um lote murado sejam inseridas 10 galinhas ou 5 galinhas, observamos a seguinte dinâmica populacional em que  $N_1$  se refere ao modelo sem a inserção do predador,  $N_2$  com a inserção de 10 galinhas e  $N_3$  com a inserção de 5 galinhas.

**Figura 5:** Simulação da interação entre o escorpião e as galinhas em lotes vazios.



**Fonte:** Autores.

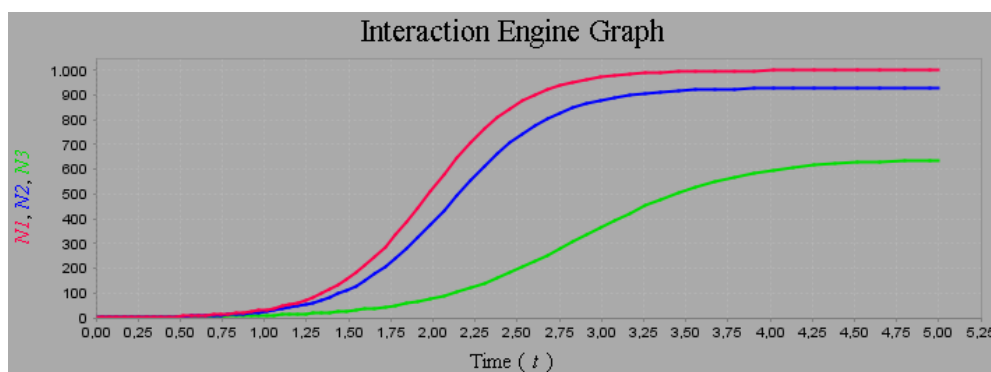
Pelo gráfico, verifica-se que a inserção de galinhas não apenas retarda o crescimento da população de escorpiões como impede que ela alcance a capacidade de carga, de modo que, quanto maior a quantidade de galinhas no ambiente, menor seria a população de escorpiões. Se inserirmos uma quantidade ainda maior de galinhas, a curva seria achatada cada vez mais até inibir completamente a presença do escorpião no local.

Analisando agora a segunda situação em que há menos espaço para a criação das galinhas, vamos verificar o que acontece se forem inseridas 1 ou 5 galinhas. No gráfico abaixo  $N_1$  se refere ao modelo sem a interação com o predador,  $N_2$  com a interação com 1 galinha e  $N_3$  com a interação com 5 galinhas.

Observamos que, embora de maneira mais sutil, a inserção de apenas uma galinha no ambiente já seria capaz de reduzir o crescimento da população de escorpiões, de modo que, de forma análoga a situação anterior, quanto maior a quantidade de galinhas, menor o crescimento da população de escorpiões.

Diante dos dados obtidos com as simulações verificamos que, se os dados inseridos heurísticamente estiverem próximos da realidade, a inserção artificial de galinhas pode ser um método eficaz de controle biológico dos escorpiões da espécie *Tityus Serrulatus* evidenciando-se os casos de sucesso nos municípios de Mirassol e de Piraju no estado de São Paulo mencionados anteriormente.

Além disso, temos que observar que a inserção de galinhas no entorno das residências, mesmo que não acabe completamente com os escorpiões do local, poderá inibir que eles adentrem o interior das residências, forçando sua permanência em seus esconderijos externos ou até mesmo impelindo-os a migrarem para outros locais mais

**Figura 6:** Simulação da interação entre o escorpião e as galinhas em lotes edificadas.

Fonte: Autores.

propícios.

Devemos sopesar também que a criação de galinhas é relativamente simples e que estas também proporcionam outros benefícios para as famílias. Como exemplos das vantagens, temos a econômica, pela produção de ovos e fornecimento da carne, e social, pelo potencial recreativo da criação.

## 6 Considerações finais

Pela análise teórica e simulação de dados realizada no presente trabalho, que teve por escopo o desenvolvimento de um modelo matemático de previsão e controle do escorpião *Tityus Serrulatus*, foi possível verificar que a modelagem matemática se apresenta como um caminho eficaz para definir estratégias que visem inibir a ocorrência de acidentes envolvendo picadas desse aracnídeo.

O modelo apresentado, elaborado por meio de simplificações da realidade, ainda que avaliado por parâmetros definidos heurísticamente alicerçados nas informações coletadas em pesquisas de outras áreas de conhecimento, possibilitou uma representação bem próxima da factual. Principalmente, se levarmos em consideração o conhecimento empírico (popular) acerca da temática que já propunha como solução para a incidência de escorpiões a criação de galinhas, sendo que a análise matemática corroborou essa teoria, demonstrando a viabilidade da criação desse animal para inibir o crescimento da população de escorpiões.

Posto isso, temos ainda que em um cenário inexorável não devemos buscar a extinção dos escorpiões, pois todas as espécies existentes de animais fazem parte da dinâmica biológica e possuem importância para o equilíbrio ecológico do meio em que está inserido. É importante ressaltar que a invasão de escorpiões em áreas urbanas ocorre principalmente devido ao avanço do ser humano para o habitat natural dessas espécies e não o contrário, visto que os escorpiões são insetos que se movimentam em áreas pequenas.

Neste contexto, os resultados numéricos obtidos com o modelo demonstram que a inserção artificial de galinhas em casas e lotes nos bairros de maior incidência é uma ferramenta apta a promover um controle do escorpião, evitando um crescimento exagerado e proporcionando, em decorrência disso, uma diminuição no número de acidentes de envenenamento por picada de escorpião.

Temos ainda que mencionar que a criação de galinhas é simples, de baixo custo e oferece benefícios em adição da inibição do escorpião, pois as galinhas também são fonte de alimento e atualmente são consideradas uma das fontes de proteína mais baratas. Destacamos ainda que o município de Oliveira (MG) possui características que favorecem a criação de galinhas, tendo em vista que uma das principais fontes de renda do município vem da agropecuária com predominância da agricultura familiar.

O modelo carece de experimentação concreta, porém consideramos que os objetivos propostos para a pesquisa foram alcançados em sua integralidade. Esperamos que este seja o ponto de partida para o desenvolvimento de novas investigações de caráter tangível e de maior proporção territorial que visem resolver este grave problema de saúde pública existente em nosso país.

## Referências

- BASSANEZI, Rodney Carlos (2015). **Modelagem matemática: teoria e prática**. Contexto.
- BRASIL (2009). **Manual de controle de escorpiões**. URL: [https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/publicacoes-svs/animais-peconhentos/manual\\_controle\\_escorpiones.pdf/view](https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/publicacoes-svs/animais-peconhentos/manual_controle_escorpiones.pdf/view) (acessado em: 12/10/2023).
- BRASIL (2023). **Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Regulamenta a NOB SUS 01/96 no que se refere às competências da União, Estados, Municípios e Distrito Federal, na área de Vigilância em Saúde, define a sistemática de financiamento e dá outras providências**. URL: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2004/prt1172\\_15\\_06\\_2004.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2004/prt1172_15_06_2004.html) (acessado em: 11/10/2023).
- BRASIL, Jardel e BRITES-NETO, José (2018). **Avaliação da mobilidade de escorpiões *Tityus serrulatus* em área de infestação urbana de Americana**. Em: *Journal of Health & Biological Sciences*, pp. 21–25. DOI: <https://doi.org/10.12662/2317-3076jhbs.v7i1.2279.p21-25.2019>.
- BRAZIL, Tania Kobler e PORTO, Tiago Jordão (2010). **Os escorpiões**. 1ª ed. EDUFBA.
- CARMO, Érica Assunção et al. (2019). **Fatores associados á gravidade do envenenamento por escorpiões**. Em: *Texto & Contexto Enfermagem*, p. 14. DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-265X-TCE-2017-0561>.
- CHOWELL, G et al. (2006). **Epidemiological and clinical characteristics of scorpionism in Colima, Mexico (2000-2001)**. Em: *Toxicon*, pp. 753–758. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2006.02.004>.
- COSTA DE AZEVEDO MEYER, João Frederico da, CALDEIRA, Ademir Donizeti e SANTOS MALHEIROS, Ana Paula dos (2011). **Modelagem em Educação Matemática**. Autêntica.
- DATASUS (2021). **Acidentes por escorpiões**. URL: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/a/acidentes-ofidicos/acidentes-por-escorpiones> (acessado em: 12/10/2023).
- EDELSTEIN-KESHET, Leah (2005). **Mathematical Models in Biology. Classics in Applied Mathematics: 46**. Society for Industrial e Applied Mathematics.
- EMBRAPA (2007). **Criação de galinhas caipiras. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica**. URL: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/126%20298/criacao-de-galinhas-caipiras> (acessado em: 12/10/2023).
- FREITAS NOVAIS, Felipe de (2017). **Influência da densidade na fertilidade de *Tityus Serrulatus* Lutz & Melo, 1922 (*Scorpiones: Buthidae*)**. Dissertação de Mestrado. UNB-Instituto de Ciências Biológicas.
- FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ (2021). **Escorpionídeos**. URL: <http://www.fiocruz%20.br/biosse%20guranca/Bis/infantil/escorpionideos.htm> (acessado em: 11/10/2023).
- G1 (2012). **Galinha que come escorpião é usada para controlar animal em Mirassol, SP**. URL: <https://g1.globo.com/sao-paulo/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2012%20/11/galinha-que-come-escorpiao-e-usada-para-controlar-animal-em-mirassol-sp.html> (acessado em: 12/10/2023).
- INSTITUTO BUTANTAN (2021). **Escorpiões: quem são essas formas de vida que há 450 milhões de anos habitam a Terra?** URL: <https://butantan.gov.br/noticias/escorpiones-quem-sao-essas-formas-de-vida-que-ha-450-milhoes-de-anos-habita-a-terra> (acessado em: 11/10/2023).

- JÚNIOR, Dalmo Abrantes Figueiredo (2019). **Determinantes do escorpionismo no Brasil**. Monografia de Graduação.
- LOURENÇO, W. R. et al. (1996). **The Evolution of scorpionism in Brazil in recent years**. Em: *Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases*, pp. 121–134. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-79301996000200005>.
- LOURENÇO, Wilson R (2000). **Reproduction in scorpions, with special reference to parthenogenesis**. Em: *European Arachnology 2000*, pp. 71–85.
- MARTINS, Jonas Gama et al. (2021). **Scorpion species os medical importance in the Brazilian Amazon: a review to identify knowledge gaps**. Em: *Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases*, p. 32. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-9199-JVATITD-2021-0012>.
- NORONHA, V L e FERREIRA, R P (2017). **Mathematical model applied to biological control**. Em: *Revista Ciência & Saberes*, pp. 429–433.
- RAFAEL HONORATO (2019). **Galinhas são doadas para escola de Piraju e auxiliam na limpeza e em trabalho pedagógico de alunos**. URL: <https://g1.globo.com/sp/itapetininga-regiao/noticia/2019/10/20/galinhas-sao-doadas-para-escola-de-piraju-e-auxiliam-na-limpeza-e-em-trabalho-pedagogico-de-alunos.ghtml> (acessado em: 12/10/2023).
- REIN (2023). **The Scorpion Files**. URL: <https://www.ntnu.no/ub/scorpion-files/> (acessado em: 11/10/2023).
- RONALDO VICTORIA (2015). **Galinhas contra escorpiões**. MBM Escritório de Ideias. URL: <http://mbmideias.com.br/capa.asp?artigo=527> (acessado em: 12/10/2023).
- SELMANE, Schehrazad (2015). **Scorpion Envenomations and Climate Conditions: the case of Naama Province in Algeria**. Em: *International Journal Of Mathematical Models And Methods In Applied Sciences*, pp. 261–268.
- SELMANE, Schehrazad et al. (2017). **Scorpionism in Sidi Okba, Algeria: A cross-sectional study of 2016 stung patients between 2014 and 2015**. Em: *Tropical biomedicine*, pp. 425–432.
- SÉRGIO HENRIQUE DINIZ (2021). **Escorpiões dentro de Casa, Escorpiões na Sapatilha, Escorpião no Pedra Negra**. URL: [ZapNew](https://www.zapnews.com.br/) (acessado em: 2/11/2021).
- WALDMAN, Eliseu Alves (1998). **Usos da vigilância e da monitorização em saúde pública**. Em: *Inf. Epidemiol. Sus*, pp. 7–26. DOI: <http://dx.doi.org/10.5123/S0104-16731998000300002>.