

## Ajuste bayesiano do modelo logístico para análise de crescimento de escargots (*Conu aspersum maximum*)

Felipe Freitas<sup>1</sup>, Matheus Lourenço<sup>2</sup>, Carla Brighenti<sup>3†</sup>, Flávia Silva<sup>4</sup>, Thamires Leoncio<sup>5</sup>, Leila Gaya<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de São João del-Rei.

<sup>2</sup>Universidade Federal de São João del-Rei. email: [matheus\\_salvianoifet@hotmail.com](mailto:matheus_salvianoifet@hotmail.com).

<sup>3</sup>Universidade Federal de São João del-Rei. email: [carlabrighenti@ufsj.edu.br](mailto:carlabrighenti@ufsj.edu.br).

<sup>4</sup>Universidade Federal de São João del-Rei. email: [flaviazootecc@gmail.com](mailto:flaviazootecc@gmail.com).

<sup>5</sup>Universidade Federal de São João del-Rei. email: [thataleo1@hotmail.com](mailto:thataleo1@hotmail.com).

<sup>6</sup>Universidade Federal de São João del-Rei. email: [genova@ufsj.edu.br](mailto:genova@ufsj.edu.br).

**Resumo:** Em vista da crescente demanda pelo mercado consumidor por escargots a expansão de sua criação se torna necessária, bem como estudos específicos de manejo e melhoramento, afim de melhorar os índices zootécnicos. Dentre as espécies de escargots comestíveis, o Gros Gris (*Cornu aspersum maximum*) é o que apresenta maior rusticidade, por isso, sua criação é a mais indicada. No entanto, apesar de sua importância e recente destaque do setor de criação, existem poucos dados disponíveis na literatura acerca da sua criação. Devido as dificuldades na obtenção de dados precisos e/ou na coleta de dados, é útil recorrer a técnicas estatísticas que possam melhorar a estimação de índices para helicicultura. Para modelar o crescimento de escargots em condições de confinamento total, utilizou-se um modelo logístico proposto por Verhulst. Os dados utilizados nesse trabalho referem-se à idade e peso de 58 escargots de diferentes progenitores em sistema de confinamento total. As análises foram realizadas utilizando o software R. O modelo utilizado possibilitou a estimação da curva de ganho de peso de escargots Gros Gris sob confinamento total por inferências bayesianas usando priori pouco informativa. Observou-se a existência de uma alta correlação entre peso e idade, sendo que o ponto de inflexão ocorreu aos 115 dias, que se refere ao tempo no qual os escargots analisados alcançaram da maturidade sexual, com peso correspondente a 9,595 g. A taxa de crescimento foi estimada em 0,04199 com um intervalo de credibilidade a 95% igual a [0,0307;0,0538].

**Palavras-chave:** Curva sigmoide; Gros Gris; helicicultura; modelo de Verhulst.

**Abstract:** The consumer market for escargots is increasing and the expansion of its breeding becomes necessary, as well as specific studies of management and breeding, in order to improve the zootechnical indexes. The Gros Gris (*Cornu aspersum maximum*) is the species of edible escargots more indicated to creation. In spite of importance of escargots there is little data available in the literature about its creation. Due to difficulties in obtaining accurate data, it is useful to use statistical techniques that may improve the estimation of rates for heliciculture. A logistic model proposed by Verhulst was used to model the growth of escargots under conditions of total confinement. The data used in this study refer to the age and weight of 58 snails from different parents. The analyzes were performed using the R software. The model used allowed estimation of the weight gain curve of Gros Gris escargots under total confinement by Bayesian inferences using little informative priori. It was observed a high correlation between weight and age, and the inflection point occurred at 115 days, which refers to the time at which the analyzed escargots reached sexual maturity, with a weight corresponding to 9.595 g. The growth rate was estimated to be 0.04199 with a 95% credibility interval equal to [0.0307; 0.0538].

**Keywords:** Sigmoid curve; Gros Gris; heliciculture; Verhulst model.

---

†Autor correspondente: [carlabrighenti@ufsj.edu.br](mailto:carlabrighenti@ufsj.edu.br)

## Introdução

Os Escargots possuem origem no mediterrâneo, sendo utilizados como fonte de alimentação desde a pré-história (Rodrigues, 1991; Ferraz, 1999). Foram amplamente utilizados como fonte de proteína animal durante o período das grandes navegações e hoje são consumidos no mundo inteiro, apesar de limitações na criação (Lloveras et al., 2011).

Em vista da crescente demanda pelo mercado consumidor a expansão de sua criação se torna necessária, bem como estudos específicos de manejo e melhoramento que são intrinsecamente necessários para aumentar os índices zootécnicos no que tange o sistema de criação intensivo (Almeida, 2014).

Por não se adaptar ao clima brasileiro, os escargots não apresentam risco de competição ou invasão e por isso sua criação é liberada no Brasil desde que se atenda aos requisitos do Ministério do Meio Ambiente. Sendo que para sua criação é necessário simular o seu ambiente de origem, tendo em vista, principalmente o conforto animal, já que são extremamente sensíveis.

Dentre as espécies de escargots comestíveis, o *Gros Gris* (*Cornu aspersum maximum*) é o que apresenta maior rusticidade, por isso, sua criação é a mais indicada. Porém devido sua sensibilidade ao manejo, é necessário utilização de métodos não invasivos (Rodrigues, 1991; Ferraz, 1999).

As taxas de crescimento dos escargots e os padrões de tamanho, são determinados pelo tempo gasto com período de dormência do animal (estivação), podendo interferir na cor e até no sabor da carne. Outro aspecto a ser considerado é que esses indivíduos atingem a maturidade sexual rapidamente, em apenas alguns meses, sendo que sua expectativa de vida é igual a 48 meses. (Cobbinah et al, 2008). Assim um fator grande importância na criação é ainda acompanhar o crescimento dos escargots. No entanto apesar de sua importância e recente destaque do setor de criação, existem poucos dados disponíveis na literatura (Rodrigues, 1991; Ferraz, 1999).

Para modelar as taxas de crescimento um dos modelos usados é proposto pelo matemático belga Pierre F. Verhulst em 1837 (Verhulst, 1838). Este propõe que uma população, vivendo num determinado meio, deverá crescer até um ponto máximo tendendo-se a estabilizar. A equação incorpora a queda do crescimento populacional que provavelmente está ligada algum tipo de fator inibitório de proporcionalidade (Tavoni & Oliveira, 2013)

Modelos de dinâmica de populações tratam das variações, no tempo e no espaço, das densidades e tamanhos das populações. O estudo da dinâmica populacional não se restringe somente à compreensão da variação do número de indivíduos de uma determinada população, mas também no estudo do controle biológico de pragas, estratégias de pesca, crescimento de cidades e crescimento de animais e plantas (Bacaer, 2011). O modelo Verhulst que trata do crescimento populacional foi aplicado, por exemplo, por Gracias e Lourenço (2010) no estudo da produção e importação de gás natural.

O modelo Verhulst é um modelo logístico que tem como principal característica a tendência assintótica da curva podem ser mais adequados para modelar o crescimento de escargots, já que estes atingem um peso assintótico quando alcançam a maturidade sexual (aparecimento do peristoma), que, está de acordo com os resultados anteriores relatados para gastrópodes (Jokela, Dybdahl & Lively, 1999; Dybdahl & Kane, 2005).

Freitas (2005) ao avaliar diversos modelos de crescimento na produção animal concluiu que o modelo Logístico seguido do Von Bertalanffy, foram os mais versáteis para ajustar dados de crescimento das espécies animais estudadas e permitiram estimar o crescimento corporal, em função da idade, com coeficientes de determinação superiores a 92,0%.

**Sigmae**, Alfenas, v.8, n.2, p. 162-169, 2019.

64<sup>a</sup> Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18<sup>o</sup> Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO).

No entanto, devido as dificuldades na obtenção de dados precisos e/ou na coleta de dados, é útil recorrer a técnicas estatísticas que possam melhorar a estimação através de processos de amostragem tais como MCMC (Cadeias de Markov pelo Método de Monte Carlo) ou mesmo proposição de *prior's* informativas. Rossi e Santos (2014), avaliaram o ajuste de diferentes modelos não-lineares a dados de peso corporal de codornas assumindo diferentes distribuições para o erro sob o ponto de vista Bayesiano. Assim como, Cancho et al. (2010) estudaram os modelos não-lineares de crescimento logístico, Gompertz e de Von Bertalanffy assumindo erros skew-normais, também sob enfoque Bayesiano, para analisarem dados de quantidade de água presente em células de raiz de feijão, obtida em diferentes pontos de raízes.

Nas estimações frequentistas, preconiza-se a utilização de um grande número amostral, o que implicaria em maior manipulação dos animais, gerando desconforto e estresse, o que poderia influenciar diretamente na confiabilidade dos dados. Portanto, é indicado o uso das estimações Bayesianas, já que é possível trabalhar com um número amostral menor, passível da utilização de resultados anteriores na construção de distribuições *a priori*.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo, estimar a curva de ganho de peso de escargots *Gros Gris* sob confinamento total por inferências bayesianas usando modelo logístico de Verhulst assim estabelecer parâmetros que relacionam o peso e idade dos escargots, em sistema de confinamento total.

## Metodologia

Os dados utilizados nesse trabalho referem-se à idade e peso de 58 escargots de progenitores diferentes confinados em laboratório do setor de helicicultura do departamento da zootecnia da Universidade Federal de São João del Rei. Os escargots foram submetidos a um ambiente com temperatura e umidade controladas, sendo que a temperatura média foi de 22,0°C, já umidade relativa do ar (UR) média foi de 78%. As coletas dos pesos foram realizadas em 8 idades distintas de animais marcados individualmente.

Deve ressaltar que marcação individual dos indivíduos jovens é complicada, pois eles apresentam um tamanho muito reduzido após a eclosão. Por isso os animais utilizados foram analisados tinha idades superiores a 60 dias, pois a partir dessa idade é possível identificação individual dos mesmos para melhor acompanhamento analítico de cada indivíduo.

O modelo de Verhulst, ou modelo logístico, supõe que uma população deverá crescer até um limite máximo, isto é, a população tende a se estabilizar. Essa estabilidade da população no modelo de Verhulst está relacionada com a capacidade de suporte do meio que esta população vive (Zill e Cullen, 2003). A equação diferencial para este modelo é representada pela equação (1):

$$\frac{dP}{dt} = \beta P(P) \quad (1)$$

Com  $\beta(P) = r \left( \frac{P_{\infty} - P}{P_{\infty}} \right)$ ,  $r > 0$ , sendo  $r$  a taxa de crescimento da população e  $P_{\infty}$  o valor assintótico da população, ou seja, o nível de saturação da população. Desta forma  $\beta(P)$  tende a zero quando  $P \rightarrow P_{\infty}$ .

Explicitando  $\beta(P)$  na equação (1), e supondo que  $P(0) = P_0$  seja dado, temos o modelo clássico de Verhulst ou modelo logístico dado por (2).

$$\begin{cases} \frac{dP}{dt} = rP \left( 1 - \frac{P}{P_{\infty}} \right) \\ P(0) = P_0, \quad r > 0 \end{cases} \quad (2)$$

**Sigmae**, Alfenas, v.8, n.2, p. 162-169, 2019.

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

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

A solução da equação anterior é obtida pelo método de variáveis separáveis (Zill e Cullen, 2003), juntamente com o uso da técnica de integração de frações parciais, sendo uma das parametrizações para modelagem dos dados apresentadas na literatura por Rossi (2010) para crescimento do peso corporal em função do tempo é do pela equação (3):

$$P_i = \frac{\alpha}{1 + \exp(\beta - \gamma T_i)} + \varepsilon_i \quad (3)$$

em que:  $0 < \gamma < 1$ ,  $\alpha, \beta \in \mathbb{R}$  e  $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$

Sendo que  $P_i$  é o peso do caracol, sendo  $i=1,2,\dots,n$ ;  $\alpha$  representa a assíntota superior (valor máximo a ser atingido pela variável em estudo);  $\beta$  é um parâmetro que não apresenta interpretação biológica direta, mas que é importante para manter o formato sigmoidal do modelo e está relacionado com o ponto de inflexão;  $\gamma$  está associado ao crescimento e indica o índice de maturidade;  $t_i$  são os valores que a variável independente assume, neste caso, o tempo e,  $\varepsilon$  corresponde ao vetor da variável aleatória não-observável (resíduo) (Maia et al., 2009).

Este modelo apresenta formato sigmoidal e é simétrico em relação ao ponto de inflexão; ou seja, quando  $t$  assume o valor  $\beta/\gamma$  (abscissa do ponto de inflexão),  $P$  atinge metade do seu valor máximo esperado,  $\alpha/2$ .

Para os parâmetros envolvidos no modelo, foram assumidas as seguintes distribuições *a priori* normais pouco informativas:

$$\alpha, \beta \sim N(0, 10^{-6});$$

$$\gamma \sim U(0,1);$$

$$\tau \sim \text{Gama}(10^{-3}, 10^{-3});$$

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. 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).

Foi realizada a estimação dos parâmetros e construção do gráfico correspondente. Em que a partir dos parâmetros estimados obteve-se é a idade em que os escargots alcançaram 50% de seu peso assintótico (ponto de inflexão), correspondente ao tempo para atingir a maturidade sexual.

## Resultados e Discussões

Inicialmente foi realizada uma análise descritiva dos dados, obtendo-se um diagrama de caixa, no qual é possível observar a existência de dados discrepantes ou outliers e uma alta variabilidade de peso praticamente em todas as idades avaliadas (Figura 1).

A existência de outliers pode ser explicada devido a alta variabilidade de crescimento comum nos escargots. Além disso, existe uma associação do comportamento competitivo por alimento entre os escargots lotados no mesmo recipiente. Ainda sim, existe uma alta variabilidade entre os indivíduos analisados por terem progenitores diferentes, que também pode estar relacionado a um potencial genético associado ao índice endogâmico da linhagem avaliada.

Assim, foi realizado o ajuste do modelo logístico utilizando *priori* pouco informativa, obtendo-se as estimativas dos parâmetros apresentados na equação (3) conforme Tabela 1.

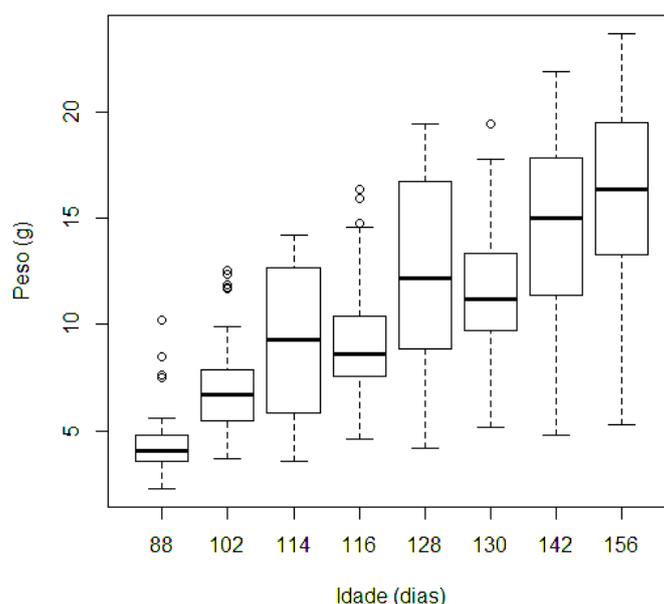


Figura 1 – Diagrama de caixa dos pesos em função das idades dos escargots *Gros Gris* em criação intensiva.

Tabela 1 – Estimativas pontuais e intervalos de credibilidade a 95% para os parâmetros do modelo logístico com *priori* pouco informativa.

Parâmetro	Média	Dp	Erro_MC	Mediana	Intervalo de Credibilidade (95%)	
					Limite Inferior	Limite Superior
$\alpha$	19,1900	2,532000	0,2441000	19,55000	13,79000	24,18000
$\beta$	4,86500	0,519900	0,0494000	4,74300	4,07000	5,89900
$\gamma$	0,04199	0,006312	0,0006075	0,04116	0,03071	0,05384
$\sigma$	3,16300	0,155900	0,00047470	3,15600	2,88400	3,49400
$\tau$	0,10070	0,009822	0,0002811	0,10040	0,08191	0,12030

O modelo considerando as estimativas dos parâmetros será (4):

$$P = \frac{19,1900}{(1 + \exp(4,8650 - 0,0419 * T))} \quad (4)$$

O ajuste está de acordo com estudos apresentados por Février, (2009), que afirma que os escargots aos 4 meses de idade tem peso igual a 12 g. Os resultados também estão de acordo com os dados apresentados por Silva (2018), que obteve média de 10,36 g com 121 dias de idade. No modo ajustado por este trabalho, utilizando os mesmos parâmetros o valor do peso estimado seria igual a 10,67 g, evidenciando um bom ajuste.

A curva sigmoide correspondente aos parâmetros estimados, ajustando o eixo y para o peso em gramas dos escargots, encontra-se na Figura 2.

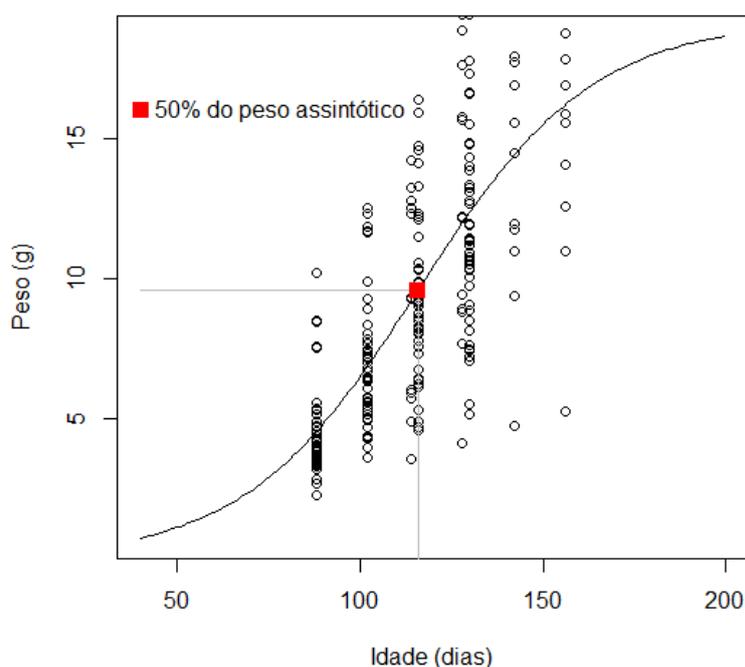


Figura 2 - Curva de Crescimento de Escargots *Gros Gris* em criação intensiva.

Os dados sugerem que o peso aumenta à medida que o que a idade aumenta, existindo certa tendência a estabilização, isto é, características de um ajuste de um modelo de crescimento sigmoide. Observou-se alta correlação entre a idade e o peso sendo que o modelo logístico apresentou ajuste adequado para o caso Bayesiano com *priori* pouco informativa, sendo que o ponto de inflexão assintótico ocorreu em 115,83 dias, ponto em que o ganho de peso decresce tendendo a estabilizar e é, tratado muitas vezes, como tempo em que atinge a maturidade sexual (Février, 2009). O peso atingido neste ponto é de 9,595 g. A taxa de crescimento foi estimada em 0,04199 com um intervalo de credibilidade a 95% igual a [0,0307;0,0538].

Vale ressaltar que o intervalo de dados que foram utilizados não atendeu a amplitude necessária pelo modelo. Recomenda-se, uma coleta de dados mais ampla para aperfeiçoamento dos modelos estimados.

## Conclusão

Os resultados obtidos, por meio de gráficos, mostram que os modelos de dinâmica populacional de Verhulst podem ser aplicados na modelagem do crescimento do peso corporal de escargots *Gros Gris* sob confinamento total, incorporando informações através de inferência bayesiana.

A estimativa de maturidade sexual foi de 115,83 dias com um peso correspondente de 9,596 g, sendo a taxa de crescimento estimada em 0,04199.

## Agradecimentos

A UFSJ e Fapemig pelo apoio financeiro e a equipe de trabalho do setor de Helicicultura pela disponibilização dos dados.

**Sigmae**, Alfenas, v.8, n.2, p. 162-169, 2019.

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

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

## Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, G. N. Caviar Pérola, estudo da estabilidade físico-química e microbiológica. *Tese de Doutorado*. Universidade Técnica de Lisboa. Faculdade de Medicina Veterinária, 2014.
- BACAËR, N. *A short history of mathematical population dynamics*. Bondy, France: Springer, 2010.
- CANCHO, V. G.; LACHOS, V. H.; ORTEGA, E. M. M. A nonlinear regression model with skew-normal errors. *Statistical Papers*, v. 51, n. 3, p. 547-558, 2010.
- COBBINAH, J. R.; VINK, A.; ONWUKA, B. *A cultura de caracóis, produção, processamento e comercialização*. Fundação Agromisa, Wageningen, Países Baixos, 2008.
- DYBDAHL, M. F.; KANE, S. L. Adaptação vs. plasticidade fenotípica no sucesso de um invasor clonal. *Ecology*, v. 86, p. 1592 – 1601, 2005.
- FERRAZ, J. *O escargot: criação e comercialização*. São Paulo: Ícone. 176 p, 1999.
- FÉVRIER, Y.; RUSSO, J.; MADEC L. Intraspecific variation in life history traits of a land snail after a bacterial challenge. *Journal of Zoology*, v. 277, ed. 2, França, 22p, 2009
- FREITAS, A. R. Curvas de crescimento na produção animal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 34, n. 3, p. 786-95, 2005.
- GRACIAS, A. C.; LOURENÇO, S. R. Aplicação de um modelo matemático na simulação da produção e importação de gás natural no Brasil até 2017. *Revista Produção Online*, v.10, n.3, p. 698-717, 2010.
- HEIDELBERGER, P.; WELCH, P. Simulation run length control in the presence of an initial transient. *Operations Research*, v.31, p.1109-44, 1983.
- JOKELA, J.; DYBDAHL, M. F.; LIVELY, C. M. Habitat-specific variation in life-history traits, clonal population structure and parasitism in a freshwater snail (*Potamopyrgus antipodarum*). *Journal of Evolutionary Biology*, v. 12, p. 350 – 360, 1999.
- LLOVERAS, L.; NADAL, J.; ARGUELLES, P. G.; FULLOLA, J. M.; ESTRADA. A. The land snail midden from Balma del Gai (Barcelona, Spain) and the evolution of terrestrial gastropod consumption during the late Palaeolithic and Mesolithic in eastern Iberia. *Quaternary International*, v. 244, n. 1, p. 37-44, 2011.
- MAIA, E.; SIQUEIRA, D. L.; SILVA, F. F.; PETERNELLI, L. A.; SALOMÃO, L. C. C. Método de comparação de modelos de regressão não-lineares em bananeiras. *Ciência Rural*, v. 39, n. 5, p. 1380-1386, 2009.

**Sigmae**, Alfenas, v.8, n.2, p. 162-169, 2019.

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

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

RODRIGUES, M. P. *Manual prático para a criação de caracóis (escargots)*. 2.ed. São Paulo: Ícone Editora, 123p, 1991.

ROSSI, R. M. *Introdução aos métodos Bayesianos na análise de dados zootécnicos com uso do WinBUGS e R*, 2010.

ROSSI, R. M.; SANTOS, L. A. Modelagem Bayesiana para curvas de crescimentos de codornas assumindo assimetria nos erros. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 35, n. 3, p. 1637-1648, 2014.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL . 2018.

SILVA, F. M. Relação entre características da concha e peso corporal de escargots gros gris (*Cornu aspersum maximum*) sob confinamento total. *Trabalho de Conclusão* (Graduação – Zootecnia UFSJ) São João del-Rei, 31p, 2018.

TAVONI, R.; OLIVEIRA, R. Z. G. Os modelos de crescimento populacional de Malthus e Verhulst - uma motivação para o ensino de logaritmos e exponenciais. *Iniciação Científica da Universidade Estadual Paulista*, São Paulo, 2013.

VERHULST, P. F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Correspondence Mathématique et Physique*, v.10, p.113-121, 1838.

ZILL, D. G., CULLEN, M. R. *Equações diferenciais*. v.1. 2. ed. São Paulo: Person, 2003.

**Sigmae**, Alfenas, v.8, n.2, p. 162-169, 2019.

64ª Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).  
18º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica (SEAGRO).