

# Modelo misto semiparamétrico para avaliar o comportamento dos filhotes das corujas (*Tyto alba*) na presença dos seus pais

Denize Palmito dos Santos <sup>1</sup>, Renata Alcarde Sermarini <sup>1</sup>

## 1 Introdução

Um dos sinais utilizados pela maioria das aves para avaliar a necessidade de alimentar a sua ninhada é o comportamento vocal apresentado pelos filhotes. A mendicância, por exemplo, pode ser um sinal utilizado pelos filhotes e que possibilita aos pais um possível ajuste da taxa de alimentação e alocação do alimento dentro da ninhada (ROULIN, 2000; ROULIN; BERSIER, 2007). Com base nisso, Roulin e Bersier (2007) analisaram o comportamento vocal de filhotes das corujas (*Tyto alba*), ou coruja-das-torres, na presença do pai e da mãe, investigando se existe diferença na forma como os filhotes imploram pelo alimento para as suas mães e seus pais, pois os descendentes tendem a pedir com maior intensidade para aquele que é mais propenso a alimentar em maior quantidade.

Em contraste com a maioria das aves, os filhotes das coruja-das-torres vocalizam não apenas quando os pais estão no ninho, mas também na sua ausência (ROULIN, 2000). As chamadas dos filhotes produzidas na ausência dos pais informam aos parceiros do ninho que eles irão competir pelo próximo alimento a ser entregue, dessa forma, implorar na ausência e na presença dos pais pode servir como uma forma de negociação entre irmãos (ROULIN, 2000; ROULIN; BERSIER, 2007).

Alguns dos trabalhos disponíveis na literatura que analisam o comportamento vocal de filhotes das corujas costumam normalizar as variáveis respostas (ROULIN, 2000; ROULIN; BERSIER, 2007). Tendo como motivação a pesquisa realizada por Roulin e Bersier (2007) buscamos propor um modelo alternativo para a resposta negociação entre irmãos não normalizada, para isso, os efeitos fixos e aleatórios foram analisados por modelos mistos dentro do contexto dos modelos aditivos generalizados para locação, escala e forma (GAMLSS) que é uma classe de modelos flexíveis proposta por Rigby e Stasinopoulos (2005). Por fim, será apresentada a qualidade de ajuste do modelo alternativo e do modelo ajustado com a distribuição Normal para verificar a adequabilidade do modelo sugerido.

## 2 Material e método

### 2.1 Descrição dos dados

Neste trabalho iremos analisar um conjunto de dados provenientes de um experimento executado por Roulin e Bersier (2007) que investigou o comportamento de filhotes das coruja-das-torres. Para compreender a reação dos filhotes na presença dos pais os pesquisadores implantaram microfones dentro dos ninhos e uma câmera fora. A amostra foi constituída por 27 ninhos e a medida em que os pais trouxeram as presas o comportamento vocal dos filhotes foi observado.

---

<sup>1</sup>ESALQ-USP. e-mail: [denizepalmito@gmail.com](mailto:denizepalmito@gmail.com)

<sup>1</sup>ESALQ-USP. e-mail: [ralcarde@usp.br](mailto:ralcarde@usp.br)

Quatro variáveis respostas foram consideradas no estudo, sendo elas: a quantidade de tempo gasto no poleiro por um dos pais, a quantidade de tempo no ninho, a negociação entre irmãos e a mendicância (ROULIN; BERSIER, 2007). O procedimento estatístico realizado pelos autores para a análise dos dados foi via modelos mistos considerando o ninho como uma variável categórica aleatória e o método da máxima verossimilhança restrita (REML) foi utilizado para a estimação dos parâmetros, as respostas foram normalizadas aplicando o logarítmico.

Zuur et al. (2009) disponibiliza o conjunto de dados desse estudo para uma das variáveis resposta que é a negociação entre irmãos, essa variável foi definida utilizando as imagens gravadas, o número de chamadas feitas por todos os filhos na ausência dos pais que foi contado durante 30 segundos e a cada 15 minutos. O número de chamadas a cada visita de um dos pais foi considerada contando 15 minutos antes da sua chegada. Este número foi então dividido pela quantidade de filhotes em cada ninho (ZUUR et al., 2009; ROULIN; BERSIER, 2007). As variáveis explicativas apresentadas no estudo foram sexo dos pais, o tratamento dos alimentos (saciados e desprovidos) e o horário de chegada que reflete o tempo em que um dos pais chegou ao ninho com uma presa. As medições ocorreram entre 21h30min até às 05h30min (descrito no conjunto de dados como 21:30 até 29:30). Baseado nessas informações foi proposto um modelo alternativo para analisar a variável resposta negociação entre irmão.

## 2.2 Análise estatística

No modelo alternativo apresentado nesse trabalho foram considerados os efeitos fixos e aleatórios analisados por modelos mistos dentro do contexto dos modelos GAMLSS. A distribuição considerada no ajuste foi a o gama inflacionada em zero, que tem a parte contínua definida pela densidade da distribuição gama e um parâmetro adicional que permite a ocorrência do valor zero com probabilidade positiva, Rigby e Stasinopoulos (2010) definiram essa distribuição como:

$$f(y|\mu, \sigma, \nu) = \begin{cases} \nu & \text{se } y = 0 \\ (1 - \nu) \left[ \frac{1}{(\sigma^2\mu)^{\frac{1}{\sigma^2}}} \frac{y^{\frac{1}{\sigma^2}-1} e^{-\frac{y}{\sigma^2\mu}}}{\Gamma(\frac{1}{\sigma^2})} \right] & \text{se } y > 0 \end{cases}$$

com  $\mu > 0$ ,  $\sigma > 0$ ,  $0 < \nu < 1$  sendo a  $E(Y) = (1 - \nu)$  e  $Var(Y) = (1 - \nu)\mu^2(\nu + \sigma^2)$ . A seleção dos efeitos fixos atribuídos na regressão de cada parâmetro do modelo alternativo foi feita utilizando o Critério de Informação de Akaike Generalizada (GAIC). Para isso foi utilizado a função *stepGAIC* () do pacote *gamlss*, essa função é baseada na função *stepAIC* () da biblioteca MASS (VENABLES; RIPLEY, 2002). Basicamente a seleção de covariáveis é feita por um procedimento para frente, para trás ou passo a passo, em que todas as variáveis consideradas no modelo são, individualmente analisadas e descartadas em cada etapa (STASINOPOULOS et al., 2017).

O modelo alternativo sugerido nesse trabalho é:

$$\begin{aligned} G_{ijkl} &\sim ZAGA(\mu_{jkl}, \sigma_j, \nu_{ijk}) \\ g_1(\mu_{jkl}) &= \log(\mu_{jkl}) = \beta_{10} + \beta_{11}\text{tratamento}_j + s_{11}\text{tempo}_k + \gamma_{11}\text{ninho}_l, \\ g_2(\sigma_j) &= \log(\sigma_j) = \beta_{20} + \beta_{21}\text{tratamento}_j, \\ g_3(\nu_{ijk}) &= \text{logit}(\nu_{ijk}) = \beta_{30} + \beta_{31}\text{sexo}_i + \beta_{32}\text{tratamento}_j + s_{31}(\text{tempo}_k), \end{aligned}$$

em que  $G_{ijkl}$  é a resposta negociação entre irmãos não normalizada, com  $i = 1, 2$ ;  $j = 1, 2$ ;  $k=1,2,3,\dots,32$  e  $l = 0, \dots, 27$ . Para o efeito aleatório, assumiu-se que  $ninho \sim N(0, \sigma_{ninho}^2)$ . A função suavizadora *P-spline* foi atribuída à covariável tempo por não apresentar efeito linear na resposta. O leitor mais interessado na modelagem da variável resposta negociação entre irmãos com a distribuição normal e as estimativas do ajuste pode consultar Roulin e Bersier (2007).

### 3 Resultados e Discussão

#### 3.1 Análise exploratória e marginal

Algumas medidas descritivas para a variável resposta estão apresentadas na Tabela 1. Pelos valores de média, mediana e da moda observa-se claramente que os dados apresentam uma assimetria à direita. Na Figura 1 são exibidos os gráficos das distribuições acumuladas

Tabela 1: Medidas descritivas da variável resposta negociação entre irmãos.

Resposta	Média	Mediana	Moda	Variância
negociação entre irmãos	1,56	1,20	0,00	2,60

da ZAGA e da Normal junto com os valores empírico. Nota-se que a distribuição ZAGA se manteve mais próxima aos valores empíricos do que a Normal, e possivelmente esse modelo seja adequado para explicar os dados da variável resposta negociação entre irmão.

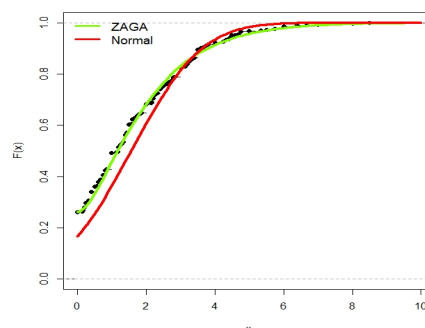


Figura 1: Estimativa das funções acumuladas dos modelos ZAGA, Normal e da função de distribuição acumulada empírica para os dados de negociação entre irmãos.

Na Tabela 2, apresentam-se as estimativas dos parâmetros, erros padrão e valores de probabilidade dos efeitos fixos do modelo ajustado aos dados da negociação entre irmãos. A covariável tratamento está associada negativamente ao parâmetro  $\mu$ . Em termos práticos, isso indica que a negociação entre irmãos é menor quando os filhotes estão saciados do que quando estão desprovidos de alimentos.

Na covariável tempo de chegada dos pais foi atribuída uma função suavizadora, sua estimativa não é passível de interpretação direta e seu efeito é avaliado de forma gráfica na Figura 2. Por meio da Figura 2 é possível identificar que o nível de negociação é menor ao final da noite. Observa-se ainda que entre 22h e às 24h a variável resposta obteve o ponto mais elevado e pela parte colorida é possível verificar entre esses dois horários a

Tabela 2: Estimativas dos efeitos fixos do modelo ajustado aos dados de negociação entre irmãos.

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	valor-p
$\beta_{10}$	2,57	0,38	< 0,01
$\beta_{11}$	-0,19	0,06	< 0,01
$s_{11}$	-0,07	0,01	< 0,01
$\beta_{20}$	-0,54	0,04	< 0,01
$\beta_{21}$	0,28	0,06	< 0,01
$\beta_{30}$	-6,82	1,41	< 0,01
$\beta_{31}$	1,52	0,21	< 0,01
$\beta_{32}$	0,21	0,05	< 0,01
$s_{31}$	-0,56	0,20	< 0,01

variabilidade foi menor após às 24h nota-se uma oscilação da variável resposta no decorrer do tempo.

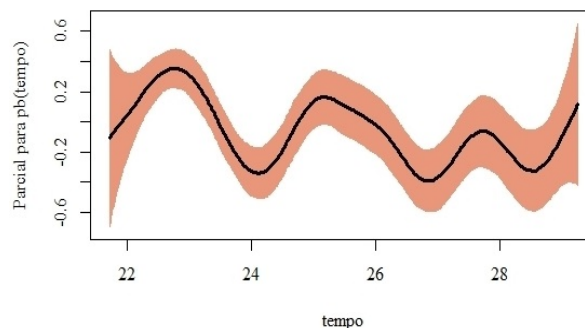


Figura 2: Gráfico do termo aditivo para os dados de negociação entre irmão em relação ao tempo de chegada dos pais.

A covariável tratamento foi significativa no parâmetro de dispersão indicando que a dispersão é maior quando os filhotes estão saciados do que quando estão famintos. Essa covariável também está associadas positivamente ao parâmetro  $\nu$ , esse parâmetro permite a ocorrência do valor zero com probabilidade positiva. Essa ocorrência é maior quando os filhotes estão saciados. Em contrapartida, a ocorrência é menor em relação aos pais do que em relação as mães. Por fim, o valor do desvio padrão do efeito aleatório é 0,32.

### 3.2 Verificação do modelo

Uma análise dos resíduos dos modelos ajustados, para a variável resposta negociação entre irmãos normalizada e não normalizada, é apresentada nas Figura 3. Ao avaliar os resíduos quantílicos versus a covariável tempo, observa-se que os resíduos do modelo ajustado com a distribuição ZAGA (Figura 3 (b)) apresentaram um comportamento mais aleatorizado do que o modelo ajustado com a distribuição Normal (Figura 3 (a)). Além disso, poucas observações foram identificadas fora do intervalo  $[-3, 3]$ . Os gráficos da Figura 3 (c) e (d) referem-se aos resíduos quantílicos versus a covariável tratamento para modelos ajustados. Observa-se que os *box plots* apresentam padrões parecidos e há indícios que em ambos os modelos apresentam homogeneidade de variâncias com relação a variável explicativa tratamento.

A Figura 3 (e) e (f) referem-se aos gráficos *worms*, propostos no contexto dos modelos GAMLSS e indica que a distribuição ZAGA (Figura 3 (f)) apresentou um comportamento

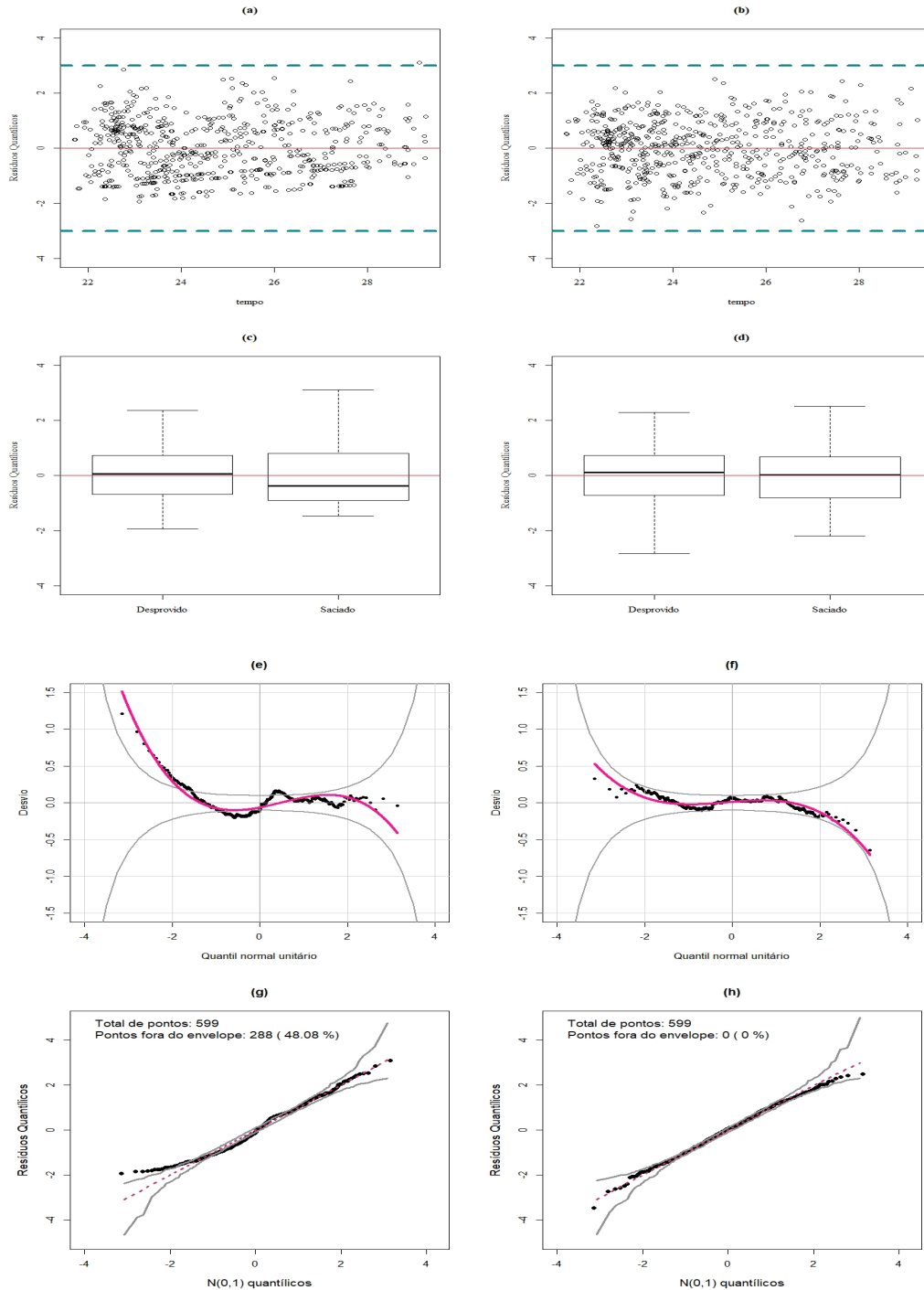


Figura 3: Gráfico de resíduos quantílicos versus tempo e tratamento dos modelos ajustados com a distribuição Normal (a) e (c) e ZAGA (b) e (d), gráficos *worms* dos modelos ajustados com as distribuições Normal (e) e ZAGA (f) e gráficos de probabilidade normal com envelope simulado dos modelos ajustados com as distribuições Normal (g) e ZAGA (h) aos dados de negociação entre irmãos.

mais adequado do que a distribuição Normal (Figura 3 (e)), mostrando que foi uma boa escolha para esses dados, já que nenhuma tendência (deslocamento vertical, inclinação) foi observada.

Por fim, a qualidade de ajuste do modelo foi verificada pelo envelope simulado (ATKINSON, 1985) apresentado na Figuras 3 (g) e (h). Para o modelo ZAGA (Figura 3 (h)) observa-se que mais de 95% dos resíduos estão contidos entre as faixas de confiança simuladas, indicando que o modelo é plausível e pode ser considerado para explicar os dados de negociação entre filhotes de coruja-das-torres.

## 4 Conclusão

O modelo misto semiparamétrico mostrou-se vantajoso pois foi possível trabalhar com a resposta não normalizada possibilitando uma interpretação mais realista para a variável resposta o que foi constatado por meio da qualidade de ajuste. Além disso, foi possível atribuir uma estrutura de regressão em outros parâmetros, além do parâmetro de posição. A utilização da distribuição ZAGA mostrou-se apropriada, uma vez que a variável resposta é assimétrica e apresenta excessos de zeros.

## Agradecimentos

CNPq e CAPES.

## Referencias Bibliográficas

- ATKINSON, A. C. Plots, transformations and regression; an introduction to graphical methods of diagnostic regression analysis. *Clarendon Press Oxford*, Oxford, 1985.
- RIGBY, R. A.; STASINOPOULOS, D. M. Genelized additive models for location, scale and shape. *Journal of Statistical Software*, Los Angeles, v. 54, n. 3, p. 507-554, 2005.
- RIGBY, R. A.; STASINOPOULOS, D. M. A flexible regression approach using GAMLSS in R. *Lancaster: University of Lancaster*, London, 2010.
- ROULIN, A. Food supply differentially affects sibling negotiation and competition in the barn owl (*Tyto alba*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, v. 49, n. 6, p. 514-519.
- ROULIN, A. BERSIER, L. Nestling barn owls beg more intensely in the presence of their mother than in the presence of their father. *Animal Behaviour*, v. 74, n. 4, p. 1099-1106, 2007.
- STASINOPOULOS, M. D. et al. *Flexible Regression and Smoothing: Using GAMLSS in R*. 1. ed. Boca Raton: Chapman & Hall, p. 392-399, 2017.
- VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. *Modern Applied Statistics with S*. 4. ed. New York: Springer, p. 495, 2002.
- ZUUR, A.F., IENO, E.N., WALKER, N.J., SAVELIEV, A.A., SMITH, G. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Springer, New York, 2009.