



PADRÕES ALOMÉTRICOS EM TÍMPANOS DE ANUROS

Palavras-Chave: [ANUROS], [TÍMPANO], [ALOMETRIA]

Autores:

BRUNA MARIA DE PAULA CAMPOS (aluna) [UNICAMP]

Dr. RAONI REBOUÇAS [UNICAMP]

Dr. JOÃO TONINI [HARVARD UNIVERSITY]

Prof. Dr. LUÍS FELIPE TOLEDO (orientador) [UNICAMP]

INTRODUÇÃO

A comunicação da maioria dos anfíbios anuros é feita pelo canto. O canto é emitido através do saco vocal, que é uma membrana presente somente nos machos. Ele serve para amplificar os sons (DUELLMAN & TRUEB, 1986) e possui função tanto acústica quanto visual (NARINS *et al*, 2003; ROSENTHAL *et al*, 2004). O canto é utilizado em diferentes contextos, sendo o principal deles o de atração e seleção sexual (HALLIDAY, 1983), sobretudo utilizado pelas fêmeas para avaliar características do macho e facilitar, assim, suas escolhas através de parâmetros acústicos antes do acasalamento (RYAN & KEDDY-HECTOR, 1992; REBOUÇAS, AUGUSTO-ALVES, TOLEDO, 2020). Entretanto, alguns fatores ecológicos podem influenciar a evolução e a estrutura do canto (TONINI, PROVETE, MACIEL *et al*, 2020).

Os anuros não têm uma recepção sonora comparável à de outros vertebrados terrestres (DIJK *et al*, 2011). A comunicação sonora efetiva entre os anuros está atrelada não só a órgãos emissores de sons, mas também a órgãos sensoriais especializados na recepção por parte do indivíduo alvo. Dentre esses órgãos, alguns estão localizados no ouvido médio e interno desses animais, como a papila *amphibiorum* e a papila basilar, responsáveis pela recepção de frequências graves (geralmente de 50 Hz a 1 kHz) e agudas (acima de 1 kHz), respectivamente (SMOTHERMAN & NARINS, 2000). Os sons agudos são recebidos pelo tímpano (orelha externa) e chegam na orelha média, onde está a papila basilar, e os sons graves são recebidos pela perna do animal, através de vibrações musculares, e chegam ao ouvido interno, onde está a papila *amphibiorum*. Ambos os caminhos são percorridos até chegarem ao cérebro do animal, que é o principal órgão de percepção sonora (DIJK *et al*, 2011). O tamanho do tímpano está diretamente relacionado com o tamanho corporal dos indivíduos (FOX, 1995), no entanto, a frequência do canto possui correlação inversa e é tipicamente restringida pelo tamanho do corpo do indivíduo (GERHARDT, 1994; REBOUÇAS, AUGUSTO-ALVES, TOLEDO, 2020). Além das características corporais individuais, o local onde o canto é emitido pode interferir na forma como essas frequências são percebidas por um outro indivíduo (RYAN, 1988). Por exemplo, em ambientes muito ruidosos (BRUMM & SLABBEKOORN, 2005), o som ambiente pode influenciar na percepção do canto, e assim, dificultar a comunicação

entre os anuros. Também pode, inclusive, ter influência no processo adaptativo de algumas espécies (ARCH, GRAFE, NARINS, 2008; HADDAD & GIARETTA, 1999).

Portanto, nosso objetivo com esse trabalho foi observar os padrões alométricos dos tímpanos de anuros em diferentes espécies, bem como verificar como os fatores ambientais influenciam nas modificações dos tímpanos, e correlacionar as frequências dos cantos com as variações dos tímpanos entre as diferentes espécies.

METODOLOGIA

Morfometria

Primeiramente foi feito um levantamento das espécies de interesse presentes na coleção do Museu de Zoologia Adão José Cardoso, da Unicamp (ZUEC), e foram medidos os espécimes já depositados. Como forma de evitar viés de dimorfismo sexual, foram selecionados apenas machos adultos para a amostra, a partir de características sexuais, como os sacos vocais visíveis. Foram tomadas as seguintes medidas de cada indivíduo: comprimento rostro-cloacal (CRC), comprimento da tíbia (CT) e largura do tímpano (LT). Medidas de espécimes adicionais foram adquiridas por meio de investigação na literatura, através de trabalhos com a descrição das espécies, seguindo o critério de só incluir medidas de machos adultos da série tipo.

Habitat e frequência do canto

O habitat específico de cada espécie foi verificado através do disponível na bibliografia, e foram classificados como “riacho” e “não-riacho”. Com isso, avaliamos se as espécies estão adaptadas a ambientes ruidosos ou não. Os cantos das espécies foram obtidos através de descrições de canto disponíveis na literatura, e foram consideradas as medidas de frequência dominante (KÖHLER *et al*, 2017).

Análise de dados

Foi feito um teste de correlação de Pearson entre as medidas do tímpano (LT) e comprimento rostro-cloacal (CRC), por família examinada, para verificar a existência de alometria entre as duas variáveis. Além disso, foi feita uma Análise de Modelos Generalizados Filogenéticos de Mínimos Quadrados (PGLS), utilizando como variável resposta a frequência dominante, e como variáveis preditoras: (i) largura do tímpano (LT) e (ii) comprimento rostro-cloacal (CRC). Como base filogenética para a análise, foi utilizada a filogenia proposta por Pyron e Wiens (2011). Todas as análises foram feitas em R 3.6.0 (R CORE TEAM, 2020) com intervalos de confiança de 95 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

É possível observar que a largura do tímpano, dentre os grupos que apresentaram modificação alométrica, está dividida em 2 agrupamentos diferentes (Figura 2A). Além disso, a frequência dominante apresenta maior sobreposição ao longo do cladograma e está sempre abaixo do valor geral (nos grupos que apresentaram variação alométrica). Essa variação pode ser resultado do tamanho maior dos indivíduos (e.g. RYAN & KEDDY-HECTOR, 1992; REBOUÇAS, AUGUSTO-ALVES, TOLEDO, 2020), como observado nas figuras 2B e 2C. Além disso, individualmente, as relações entre

os grupos são diferentes. Em *Hylarana*, por exemplo, o aumento do tamanho nas espécies não influencia na frequência dominante, e em *Huia* e *Hylodes* a relação é inversa em relação ao esperado (Figura 2E).

Figura 1- Cladograma dos anuros destacando pontos onde a relação comprimento rostro-cloacal (CRC) X largura do tímpano (LT) X frequência dominante fugiram do padrão. Os círculos representam pontos de mudança alométrica, destacando os principais grupos: *Hylarana* (azul), *Huia* (verde), *Hylodes* (laranja), *Dendropsophus* (vermelho) e *Leiuperinae* (marrom).

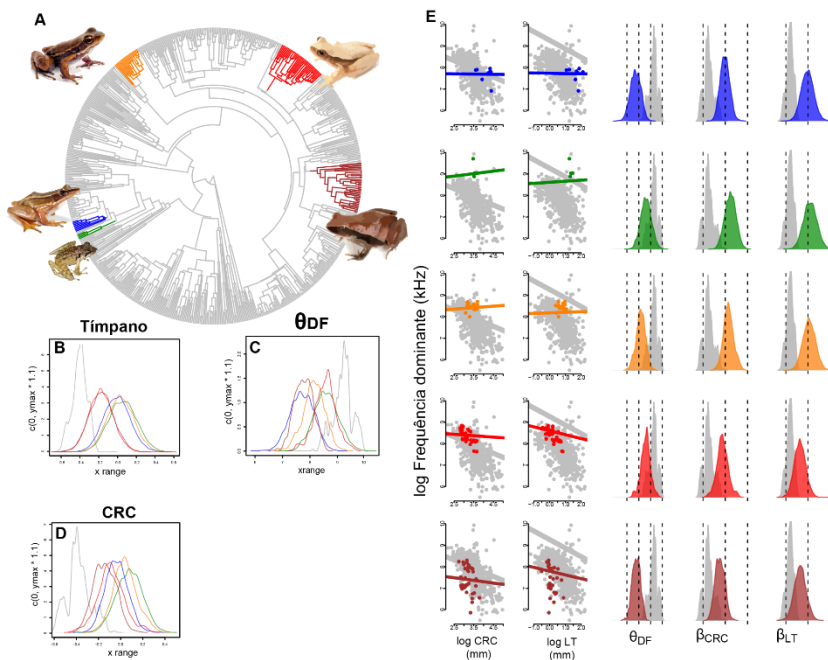
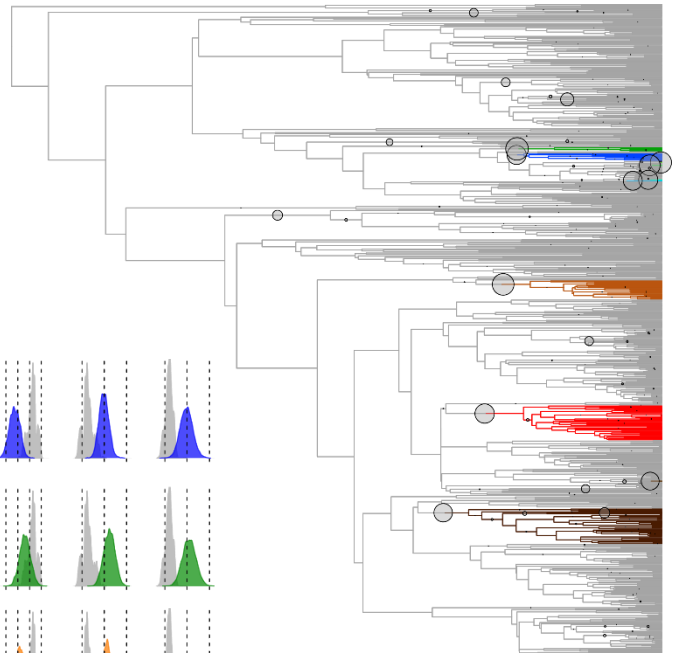


Figura 2- Relações detalhadas dos 5 grupos que possuem diferentes alometrias entre frequência dominante, CRC e LT, com a representação dos grupos no cladograma: *Hylarana* (azul), *Huia* (verde), *Hylodes* (laranja), *Dendropsophus* (vermelho) e *Leiuperinae* (marrom). Cladograma com os grupos evidenciados (A), relações ao longo da árvore para LT (B), frequência dominante (DF) (C), e CRC (D); e relação entre frequência dominante e CRC e LT para os diferentes grupos que apresentaram modificação alométrica ao longo do cladograma, com os respectivos histogramas (E).

Considerando que o tamanho do corpo influencia diretamente a frequência dominante, e esta por sua vez influencia na recepção sonora, aqui colocada com tamanho do tímpano (Fox, 1995), é possível observar que a emissão e a recepção sonora possuem processos de seleção natural diferenciados.

CONCLUSÕES

Embora análises adicionais ainda sejam necessárias, este estudo demonstra que a seleção natural permite pouca variação no tamanho corporal, já que essa influencia na frequência do canto, ou seja, na emissão sonora. Pouca variação no tamanho já apresenta um padrão evidente e diferenciado para frequência do canto em anfíbios. A recepção sonora, no entanto, apresenta um



A análise PGLS mostrou que o melhor modelo explicativo consistiu em frequência dominante explicada por CRC e LT (AIC= 1250,56), sem a interação das duas (AIC= 1249,51). Embora não houvesse diferença significativa entre esses dois modelos ($p = 0.08$), consideramos o que possui menos variáveis como o melhor para explicar a influência na frequência dominante.

padrão diferente de evolução, o que caracteriza que, para esses animais, emissão e recepção do som estão sob ambientes de seleção natural diferentes.

BIBLIOGRAFIA

ARCH, V.S.; GRAFE, T.U.; NARINS, P.M. **Ultrasonic signaling by a Bornean frog**. *Biology Letters*, 4:19-22 (2008).

BRUMM, H. & SLABBEKOORN, H. **Acoustic communication in noise**. *Advances in the Study of Behavior*, 35:151-209 (2005).

DIJK, P.V. *et al.* **Mechanics of the frog ear**. *Hearing Research*, 273:46-58 (2011).

DUELLEMAN, W. E. & TRUEB, L. **Biology of amphibians**. McGraw-Hill, New York, pp. 670 (1986).

FOX, J.H. **Morphological correlates of auditory sensitivity in anuran amphibians**. *Brain Behav Evol.*, 45:327-338 (1995).

GERHARDT, H.C. **The evolution of vocalization in frogs and toads**. *Annual Review in Ecology and Systematics*, 25:293-324 (1994).

HADDAD, C.F.B. & GIARETTA, A.A. **Visual and acoustic communication in the Brazilian torrent frog, *Hylodes asper* (Anura: Leptodactylidae)**. *Herpetologica*, Vol. 55, No. 3 (Sep.), pp. 324-333 (1999).

HALLIDAY, T. **Behavioural ecology: Do frogs and toads choose their mates?** *Nature*, 306:226-227 (1983).

KÖHLER *et al.* **The use of bioacoustics in anuran taxonomy: theory, terminology, methods and recommendations for best practice**. *Zootaxa* (2017).

NARINS, P. M. *et al.* **Bimodal signal requisite for agonistic behavior in a dart-poison frog, *Epipedobates femoralis***. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100:577-580 (2003).

PYRON, R.A. & WIENS, J.J. **A large-scale phylogeny of Amphibia including over 2800 species, and a revised classification of extant frogs, salamanders, and caecilians**. *Molecular phylogenetics and evolution*, 61.2:543-583 (2011).

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/> (2020).

REBOUÇAS, R.; AUGUSTO-ALVES, G.; TOLEDO, L. F. **Evolution of treefrogs calls in tropical islands might be under directional selection**. *Journal of Zoology*, 312.1:43-52 (2020).

ROSENTHAL, G.G. *et al.* **The vocal sac as a visual cue in anuran communication: an experimental analysis using video playback**. *Animal Behaviour*, 68:55-58 (2004).

RYAN, M.J. & KEDDY-HECTOR, A. **Directional patterns of female mate choice and the role of sensory biases**. *The American Naturalist*, 139, no. (Mar.): S4-S35 (1992).

RYAN, M.J. **Energy, calling, and selection.** American Zoologist, 28:885-898 (1988).

SMOTHERMAN, M.S. & NARINS, P.M. **Hair cells, hearing and hopping: a field guide to hair cell physiology in the frog.** J. Exp. Biol., 203:2237-2246 (2000).

TONINI, J.F.R.; PROVETE, D.B.; MACIEL, N.M. *et al.* **Allometric escape from acoustic constraints is rare for frog calls.** Ecol Evol., 10:3686-3695 (2020).