



Morfologia da cauda e desempenho de natação em girinos de *Rhinella ornata* (Anura: Bufonidae)

Gabriel Kayano, Camila de Rezende Barreto, Pietro Pollo & Vinícius Silva Reis

RESUMO: O desempenho funcional dos indivíduos está ligado a variações morfológicas e tem relação direta com sua aptidão. Abordamos a relação entre morfologia caudal e desempenho natatório em girinos de *Rhinella ornata*. Dado que a musculatura é o gerador de força motriz do sistema propulsor na cauda, nossa hipótese é que quanto maior a razão força/superfície da morfologia caudal, maior o desempenho natatório. Visto que girinos se locomovem mais rápido, adotamos o tamanho corporal como variável operacional de desempenho natatório. Nossa variável operacional de variação morfológica da cauda foi a razão entre o componente gerador de força (músculo) e a superfície de contato com a água (ala). Ao contrário do esperado, encontramos que indivíduos maiores possuem uma cauda mais remiforme, com proporcionalmente mais ala do que músculo. A cauda remiforme pode ser também explicada por diferentes pressões de predação na ontogenia, pois uma ala proporcionalmente maior ajuda os girinos grandes na distração de predadores.

PALAVRAS-CHAVE: alometria, desempenho locomotor, ecologia funcional, locomoção, variação morfológica.

INTRODUÇÃO

De acordo com Arnold (1983), existe uma relação direta entre variação morfológica, desempenho e aptidão dos indivíduos. A variação existente nas estruturas morfológicas dos indivíduos determina maior ou menor desempenho em funções que delas dependem, tais como variações no tamanho de membros e o desempenho de locomoção ou variações no tamanho de mandíbulas e a capacidade de abocanhar presas. Em diversos sistemas de estudo, um maior desempenho em locomoção leva à maior aptidão do indivíduo. Em sistemas aquáticos, por exemplo, a viscosidade do meio impõe maior resistência ao movimento em relação ao ar. A forma das estruturas corpóreas de um organismo nesse meio, portanto, é determinante no desempenho de funções que exijam deslocamento, tais como escapar de predadores e perseguir presas.

Animais aquáticos nadadores em geral possuem estruturas que proporcionam a propulsão de que necessitam para as funções ecológicas. Peixes ósseos e mamíferos aquáticos, por exemplo, possuem corpo fusiforme com nadadeiras e uma cauda por meio da qual a musculatura axial imprime a força que é transmitida para o meio. Nesse sentido, os músculos que participam da movimentação corpórea são o gerador de força motriz do nado e, quanto mais desenvolvida a musculatura, maior a força de contração. Essa força é transmitida ao longo do corpo e exercida pela superfície da cauda

contra a água, deslocando a água e impulsionando o animal. Portanto, o processo de natação está ligado principalmente à relação alométrica entre as estruturas morfológicas associadas ao nado e à eficiência com que a força gerada pela musculatura é transmitida ao meio através de uma superfície de contato.

Fases larvais de anfíbios anuros (girinos) possuem corpo de forma globosa, sem membros e uma cauda fina com pouca musculatura axial. A cauda flexível é a estrutura responsável pela propulsão dos indivíduos e é composta por um núcleo muscular e por uma superfície de contato com a água denominada ala. O núcleo muscular é o gerador de força motora, sustentado por uma notocorda ao longo da qual se inserem as fibras de musculatura axial. A ala é uma extensão do tecido epitelial do núcleo muscular e é constituída principalmente por colágeno (Hoff & Wassersug, 2000). Portanto, a razão força/superfície nas estruturas da cauda representa uma variação morfológica alométrica com implicações diretas sobre a eficiência de transmissão de energia da musculatura para propulsão, que pode influenciar o desempenho natatório dos girinos.

Dado que o desempenho de natação em girinos é essencial para fuga de predadores e busca por alimentos, nosso objetivo foi entender como a variação morfológica da cauda influencia o desempenho

natatório de girinos. Adotamos como modelo de estudo girinos de *Rhinella ornata* e avaliamos o desempenho de natação em indivíduos pequenos e grandes, pois girinos maiores geralmente são mais velozes que girinos menores (Huey, 1980). Nossa hipótese é que quanto maior a razão força/superfície na cauda, maior o desempenho de natação, visto que um maior componente muscular na cauda deve proporcionar maior aumento no desempenho dos indivíduos.

MATERIAL & MÉTODOS

Coleta de dados

Coletamos girinos em uma poça de água à beira de uma rua no bairro Guaraú (24°22'1,42"S, 47°0'32,46"W), município de Peruíbe, litoral sul do estado de São Paulo. Considerando que girinos maiores possuem maior velocidade de natação (Huey, 1980), separamos visualmente os girinos coletados nas classes de tamanho grande e pequeno, isto é, usamos o tamanho corporal como variável operacional de desempenho natatório. Em seguida, sorteamos 30 indivíduos de cada classe e fotografamos cada um deles em posição lateral para que as estruturas da cauda ficassem mais evidentes. A partir das fotos que tomamos, medimos a altura do músculo na base da cauda (daqui em diante altura do músculo) e a altura da ala onde ela fosse mais larga d (Figura 1) usando o programa *ImageJ*®. Em seguida, calculamos a razão músculo/ala (M/A) como um indicador da relação entre força e superfície.

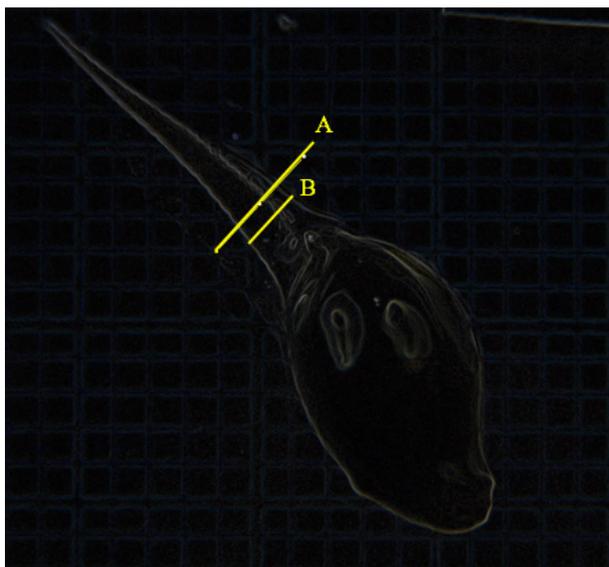


Figura 1. Girino de *Rhinella ornata* com as estruturas de interesse evidenciadas por contraste de fundo escuro. (A) Altura da ala e (B) altura do músculo na base da cauda.

Análise de dados

Nossa estatística de interesse foi a diferença entre as médias da razão músculo/ala (razão M/A) de cada classe de tamanho. Utilizamos o pacote *Rsampling-shiny* (Prado *et al.*, 2016) para calcular a diferença entre as médias da razão M/A de cada classe de tamanho. Para testar se as duas classes de tamanhos de girinos possuíam razão M/A significativamente diferentes, realizamos um teste de permutação com 10.000 aleatorizações sem reposição dentro das classes de tamanho e calculamos a probabilidade de o resultado ter sido encontrado ao acaso. Todas as análises foram feitas em ambiente R versão 3.1.3 (R Core Team, 2015).

RESULTADOS

A média da altura do músculo dos girinos grandes foi 52% maior que a média da altura do músculo dos girinos pequenos (média \pm desvio padrão = $1,28 \pm 0,16$ mm e $0,84 \pm 0,08$ mm, respectivamente). Já a média da altura da ala dos girinos grandes foi 113% maior em relação à média da altura da ala dos girinos pequenos ($2,83 \pm 0,46$ mm e $1,33 \pm 0,32$ mm, respectivamente). Logo, girinos maiores possuem ala maior, proporcionalmente ao músculo, que os girinos menores (razão altura do músculo por altura da ala para os girinos grandes = $0,46 \pm 0,10$ e para os girinos pequenos: $0,67 \pm 0,18$; Figura 2). Encontramos, então, que a média da razão M/A não foi maior em girinos grandes ($p = 1$).

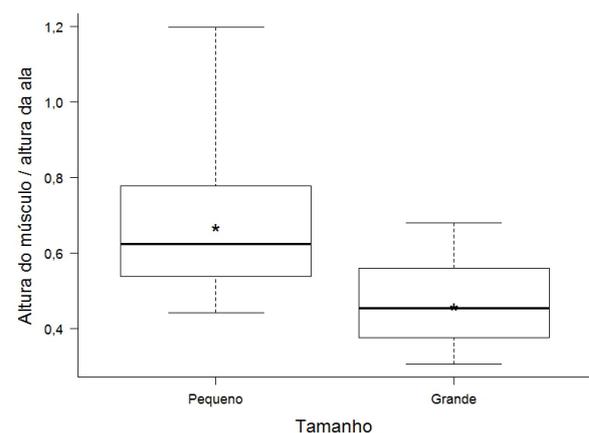


Figura 2. Razão altura do músculo por altura da ala em girinos pequenos e grandes de *Rhinella ornata*. A linha contínua dentro da caixa representa a mediana, o asterisco representa a média, a caixa representa os limites dos quartis centrais e as barras representam os limites inferiores e superiores do primeiro e quarto quartil, respectivamente.

DISCUSSÃO

Observamos que girinos menores possuem cauda com maior relação força/superfície (*i.e.*, filiforme), enquanto girinos maiores possuem cauda com menor relação força/superfície (*i.e.*, remiforme). Dado que girinos maiores têm melhor desempenho natatório que girinos menores, uma cauda com maior componente muscular em relação ao componente alar não está associada a um maior desempenho natatório em girinos de *R. ornata*. Nossos resultados indicam, portanto, uma relação contrária ao esperado, em que uma cauda remiforme está associada a um maior desempenho na natação.

A cauda desenvolvida no estágio larval de anuros é morfologicamente desconexa da forma adulta, isto é, não será utilizada posteriormente. Por conseguinte, os indivíduos se beneficiariam se desenvolvessem uma morfologia caudal eficiente para a natação com o menor custo possível. Visto que a ala é menos custosa de ser produzida e mais fácil de ser reabsorvida na metamorfose do que a musculatura, pois é composta principalmente por colágeno (Hoff & Wassersug, 2000), a produção de ala em detrimento de musculatura caudal pode ser explicada por questões energéticas e ontogenéticas.

Apesar da natação ser crucial para os girinos em qualquer estágio ontogenético, ao menos para procura de alimento, diferentes pressões de predação podem explicar o porquê do maior desempenho natatório e da maior proporção da ala em relação à musculatura caudal nos girinos grandes quando comparados aos pequenos. Larvas de libélula são um dos principais predadores de girinos, porém são limitadas pelo tamanho de sua mandíbula e, por conseguinte, ficam restritas ao consumo de girinos pequenos (Travis *et al.*, 1985). Como essas larvas são predadores do tipo senta-e-espere, um maior desempenho natatório de girinos pequenos não acarreta maior chance de sobrevivência. Entretanto, girinos maiores são melhor detectados por aves e peixes devido ao seu maior tamanho, sendo mais suscetíveis à predação por estes animais. Assim, para os girinos grandes, um maior desempenho de natação tem grande utilidade para escapar dos predadores. Para esses girinos, a ala mais desenvolvida também serve como forma de distrair o predador para um órgão não vital (Van Buskirk *et al.*, 2003), análogo ao uso da cauda em lagartixas. Desse modo, girinos grandes têm duas razões para desenvolverem caudas remiformes: maior desempenho natatório e melhor distração de predadores.

Determinar como a forma da cauda dos girinos influencia a natação é uma abordagem promissora

para investigar os mecanismos por meio dos quais a morfologia pode influenciar o desempenho e, por conseguinte, a aptidão dos indivíduos. Nossos resultados mostram que existe uma relação negativa entre a razão força/superfície da morfologia caudal e o desempenho natatório em girinos. Contudo, essa relação não necessariamente expressa causalidade, sendo a investigação de outras medidas morfológicas necessárias para um entendimento completo do desempenho de natação nos girinos. Sugerimos, então, estudos com diferentes medidas morfológicas (*e.g.*, comprimento da cauda, tamanho do corpo) e o uso da razão área/superfície da cauda relacionando a medidas diretas de desempenho natatório, como testes de velocidade.

REFERÊNCIAS

- Arnold, S.J. 1983. Morphology, performance and fitness. *American Zoologist*, 23:347–361.
- Hoff, K.S. & R.J. Wassersug. 2000. Tadpole locomotion: axial movement and tail functions in a largely vertebraeless vertebrate. *American Zoologist*, 40:62-76.
- Huey, R.B. 1980. Sprint velocity of tadpoles (*Bufo boreas*) through metamorphosis. *American Society of Ichthyologists and Herpetologists*, 1980:537-540.
- Prado, P.; A. Chalom & A. Oliveira. 2016. *Rsampling: ports the workflow of "Resampling stats"*. Add-in to R. R package version 0.1.1.
- R Core Team, 2015. *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Travis, J.; W.H. Keen & J. Juilianna. 1985. The role of relative body size in a predator-prey relationship between dragonfly naiads and larval anurans. *Oikos*, 45:59-65.
- Van Buskirk, J.; P. Anderwald; S. Lüpold; L. Reinhardt & H. Schuler. 2003. The lure effect, tadpole tail shape, and the target of dragonfly strikes. *Journal of Hepetology*, 37:420-424.

Orientação: Monique Nouailhetas