



# Na medida certa: o investimento em estruturas de captação de alimento em anêmonas é modulado pela disponibilidade de alimento

Camila Souza Beraldo

**RESUMO:** Plasticidade fenotípica é a capacidade de um genótipo expressar diferentes fenótipos dependendo das condições ambientais. Anêmonas são animais que podem apresentar variações em tamanho dependendo da disponibilidade de alimento. Neste trabalho testei se indivíduos da anêmona *Anthopleura krebbsi* investem mais em estruturas de captação de alimento em ambientes com menor disponibilidade de alimento do que em ambientes com maior disponibilidade de alimento. Coletei anêmonas nas regiões superior e inferior do mesolitoral de um costão rochoso, contei o número de tentáculos e calculei a área do disco pedal de cada indivíduo. Indivíduos na região superior do mesolitoral investiram mais em tentáculos do que indivíduos na região inferior. O investimento em estruturas de captação de alimento foi maior em ambientes com menor disponibilidade de alimento, representando uma resposta fenotípica plástica que pode maximizar a eficiência de forrageio.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Anthopleura*, forrageio, mesolitoral, plasticidade fenotípica, tentáculos.

## INTRODUÇÃO

Plasticidade fenotípica é a capacidade de um organismo apresentar variações fenotípicas dependendo do ambiente (Futuyma, 1998). Em metazoários, a plasticidade fenotípica pode ser observada por meio de variações bioquímicas, fisiológicas, comportamentais e morfológicas (Whitman & Agrawal, 2009). Variações morfológicas, em particular, podem ser induzidas por fatores abióticos, como luminosidade, temperatura e disponibilidade de água (Shick, 1991). Por exemplo, cracas que recebem maior aporte de água durante o dia possuem pênis maior, permitindo a cópula entre mais indivíduos diferentes e espacialmente mais distantes (Neufeld & Palmer, 2008).

Costões rochosos são ecossistemas costeiros influenciados pela maré, que gera um gradiente vertical de disponibilidade de água e de aporte de alimento (Levinton, 1995; Underwood & Chapman, 1995). Esse gradiente ambiental determina a distribuição e abundância de organismos, formando faixas de zonação ao longo do costão rochoso (Connell, 1961; Levinton, 1995). O mesolitoral corresponde à faixa intermediária da zonação, ficando submerso durante a maré alta e exposto durante a maré baixa. Na maré baixa, o mesolitoral pode abrigar poças de maré, que são depressões no substrato rochoso que represam água e servem de abrigo para organismos suscetíveis à dessecação (Underwood & Chapman, 1995). As poças de maré na região inferior do mesolitoral têm mais acesso à água e, conseqüentemente, maior disponibilidade

de alimento para os organismos do que as poças do mesolitoral superior (Levinton, 1995; Underwood & Chapman, 1995). Assim, animais sésseis que vivem em poças de maré podem apresentar variações fenotípicas dependendo da posição do costão em que estão se desenvolvendo (Hildrew *et al.*, 2007).

Anêmonas-do-mar são predadores zooplancctívoros que podem ser encontrados em poças de maré em costões rochosos (Shick, 1991; Ruppert & Barnes, 1996). Para se alimentar, as anêmonas expõem seus tentáculos contra a corrente de água na tentativa de que eles encostem em potenciais presas. Quando isso acontece, estruturas chamadas nematocistos injetam veneno na presa, que é levada até a boca pelos tentáculos (Ruppert & Barnes, 1996). As anêmonas de poças de maré estão suscetíveis ao gradiente de disponibilidade de alimento provocado pela maré. Espécies do gênero *Anthopleura* (Cnidaria, Anthozoa), por exemplo, podem apresentar variações de tamanho dependendo da posição em que os indivíduos se estabeleceram no costão rochoso (Sebens, 1982). Assim, é razoável supor que, além de variações de tamanho, anêmonas apresentem também variações no investimento em estruturas de captação de alimento dependendo da disponibilidades de alimento no ambiente.

O objetivo deste trabalho foi estudar como a disponibilidade de alimento influencia o investimento em estruturas de captação de alimento na anêmona-do-mar *Anthopleura krebbsi*, cujos indivíduos habitam poças de maré no mesolitoral e se

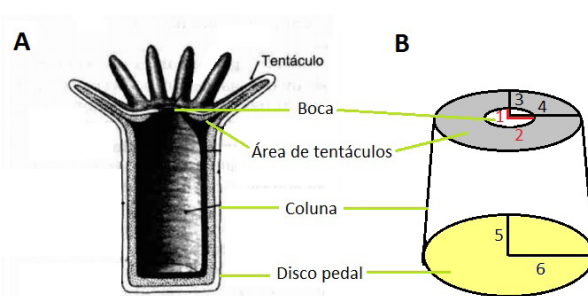
alimentam de microcrustáceos e larvas de animais marinhos (Schick, 1991; Daly, 2004). Considerando que as anêmonas do mar são animais que habitam poças de maré em costões rochosos e que os recursos alimentares estão distribuídos em um gradiente ao longo do costão rochoso, espero que indivíduos que se estabelecem em ambientes com menor disponibilidade de alimento invistam mais em estruturas de captação de alimento de modo a maximizar a eficiência de forrageio.

## MATERIAL & MÉTODOS

### Área de estudo e coleta de dados

Realizei o estudo em um costão rochoso na praia do Guarará (24°22'1,42"S, 47°0'32,46"O), município de Peruíbe, litoral sul do estado de São Paulo. Amostrei poças de maré do mesolitoral superior e inferior, utilizando o limite da ocorrência de mexilhões do gênero *Brachidontes* como indicador para o mesolitoral superior e o limite da ocorrência de algas do gênero *Ulva* como indicador para o mesolitoral inferior (Connell, 1961). Amostrei 10 poças de maré em cada região do mesolitoral ao longo de 100 m de extensão horizontal do costão rochoso. Coletei todas as anêmonas presentes na região central de cada uma das poças. No laboratório, sorteei dois indivíduos de cada amostra, adicionei 10 ml de solução de Lactopurga® a 10% no frasco de cada um a fim de induzir o relaxamento de seus músculos e esperei 12 h para que a solução fizesse efeito.

Anêmonas-do-mar são cnidários solitários e sésseis que se prendem ao substrato por um disco pedal (Figura 1a). A parte principal das anêmonas é uma coluna (ou haste corporal) que sustenta em sua extremidade o disco oral, onde ficam os tentáculos e a boca (Figura 1a). A variável que utilizei como medida de investimento em estruturas de captação de alimento foi o número de tentáculos. Para estimar o número de tentáculos em cada indivíduo, contei o número de tentáculos presentes em uma área de 25 mm<sup>2</sup>. Aproximei a área do disco oral e da boca ao formato de uma elipse e medi, em milímetros, o raio maior e o menor das elipses do disco oral e da boca (Figura 1b). Subtrai a área da boca da área do disco oral e obtive a área do disco oral que era preenchida por tentáculos (Figura 1b). Com base na quantidade de tentáculos na área de 25 mm<sup>2</sup>, calculei a quantidade total de tentáculos em cada anêmona.



**Figura 1.** (A) Esquema da estrutura corporal de uma anêmona-do-mar. As anêmonas-do-mar possuem um disco pedal, pelo qual se prendem ao substrato marinho, e uma coluna que sustenta os tentáculos e a boca. (B) Esquema representando as aproximações feitas para estimativa do número de tentáculos e para o cálculo da área pedal: (1) Raio menor da boca; (2) raio maior da boca; (3) raio menor do disco oral; (4) raio maior do disco oral; (5) raio menor do disco pedal e (6) raio maior do disco pedal. A área de tentáculos está representada em cinza e a área pedal em amarelo. Adaptado de Ruppert & Barnes (1996).

O tamanho das anêmonas-do-mar pode variar de acordo com o seu nível de retração muscular. Estudos demonstram que a melhor maneira para se inferir o tamanho de um indivíduo é por meio do cálculo da área de seu disco pedal (Shick, 1991; Acuña, 2001). Assim, utilizei a área do disco pedal como uma variável preditora do número de tentáculos e incluí esta covariável nas análises, pois o número de tentáculos deve aumentar com o tamanho da anêmona. Para medir a área do disco pedal, aproximei a área do disco pedal ao formato de uma elipse e medi, em milímetros, o raio maior e o menor desta elipse (Figura 1b).

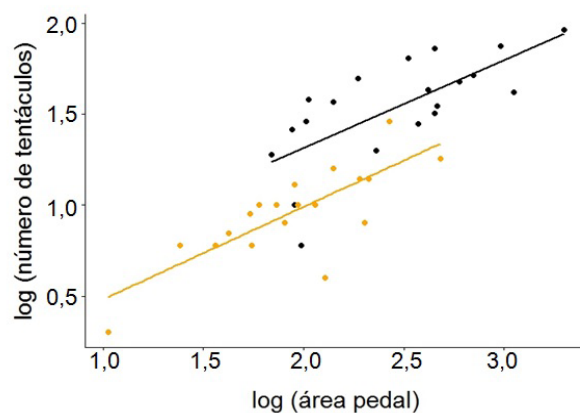
### Análise dos dados

Para testar a hipótese de que indivíduos na parte superior do mesolitoral investem mais em tentáculos, calculei os coeficientes angular e linear das retas de regressão do número de tentáculos em função da área do disco pedal, que foram as minhas estatísticas de interesse. Criei um cenário nulo em que permutei 10.000 vezes entre as regiões inferior e superior do mesolitoral os dados sobre número de tentáculos. Em cada permutação recalculei os coeficientes angular e linear das retas de regressão do número de tentáculos em função da área do disco pedal a fim de gerar uma distribuição nula das estatísticas de interesse. Por fim, calculei a probabilidade de encontrar valores de coeficientes angular e linear maiores ou iguais que os observados em campo no cenário nulo que gerei.

Realizei as análises usando o pacote *Rsampling-shiny* (Prado *et al.*, 2016) em ambiente R versão 3.1.3 (R Core Team, 2015). Minha previsão é que, dada uma mesma área de disco pedal, indivíduos na região superior do costão rochoso teriam mais tentáculos do que indivíduos na região inferior do costão rochoso.

## RESULTADOS

Na região superior do mesolitoral, os indivíduos possuíam, em média ( $\pm$  DP),  $41,0 \pm 22,2$  tentáculos e  $84,87 \pm 34,78$  mm<sup>2</sup> de área pedal. Na região inferior do mesolitoral, os indivíduos possuíam, em média ( $\pm$  DP),  $10,5 \pm 5,9$  tentáculos e  $32,59 \pm 14,50$  mm<sup>2</sup> de área pedal. Houve uma relação positiva entre área pedal e número de tentáculos, porém os coeficientes angulares das retas de regressão do número de tentáculos em função da área pedal não diferiram entre as regiões superior e inferior do mesolitoral (coeficiente angular = 0,842;  $p = 0,697$ ). Os interceptos das retas de regressão do número de tentáculos em função da área pedal diferiram entre as regiões ( $p < 0,001$ ; Figura 2), sendo o intercepto da superior (intercepto = 0,354) maior do que o da região inferior (intercepto = -0,028) do mesolitoral.



**Figura 2.** Regressão linear entre o log do número de tentáculos e o log da área pedal de indivíduos da anêmona *Anthopleura krebsi* que ocorrem em poças de maré nas regiões superior (preto) e inferior (laranja) do mesolitoral de um costão rochoso em Peruíbe, São Paulo.

## DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo indicam que indivíduos da anêmona *A. krebsi* que se estabeleceram em ambientes com menos recursos alimentares possuem mais tentáculos do que indivíduos que se estabeleceram em ambientes com mais recursos alimentares. Esses resultados indicam que indivíduos em ambientes com menor disponibilidade de alimento investem mais em estruturas

de captação de alimento do que indivíduos em ambientes com maior disponibilidade de alimento. O maior investimento em estruturas de captação de alimento em indivíduos de ambientes com poucos recursos alimentares pode representar, portanto, uma resposta fenotípica plástica que maximiza a eficiência de forrageio em anêmonas.

De forma geral, a plasticidade fenotípica referente ao aumento das estruturas de captação de alimento representa uma resposta evolutiva frente à variação de disponibilidade de alimento no ambiente e pode ser encontrada em diversos grupos de metazoários (Whitman & Agrawal, 2009). Por exemplo, algumas espécies de poliquetos que produzem filamentos de muco para captura de presas podem aumentar a produção destes filamentos quando o fluxo de água está baixo, de modo a compensar a baixa disponibilidade de alimento (Hildrew *et al.*, 2007). O investimento em estruturas de captação de alimento aumenta a probabilidade de captura de presas, mas pode gerar um custo para o organismo que produz e mantém estas estruturas (Sibens, 1982; Hildrew *et al.*, 2007). Em algumas de medusas, indivíduos privados de alimento, podem aumentar a extensão e/ou a quantidade de seus tentáculos e braços orais para aumentar a probabilidade de captação de presas (Shick, 1991; Hildrew *et al.*, 2007). Contudo, ao fazerem isso, os indivíduos reduzem a espessura de sua mesoglêia, que é responsável pela distribuição de gases pelo corpo. Ao reduzir a espessura da mesoglêia, as medusas dificultam o transporte de gases pelo corpo e podem comprometer funções vitais, como produção de ATP (Shick, 1991). Como anêmonas são sésseis e não podem investir em outras estratégias de forrageio, como a predação ativa por presas, é possível que o maior investimento em estruturas de captação de alimento compense eventuais custos.

Além do investimento na produção de mais estruturas para captação de alimento, anêmonas-do-mar também podem investir na ampliação das estruturas já existentes (Shick, 1991). Em anêmonas, conforme o tamanho do corpo aumenta, aumenta também o tamanho das cnidas (Francis, 2004), que são organelas utilizadas para a captura de presas (Mariscal, 1984). Como *A. krebsi* pode apresentar variações fenotípicas no número total de tentáculos em ambientes com diferentes disponibilidades de alimento, é razoável supor que os indivíduos desta espécie também possam investir no aumento de comprimento dos tentáculos como forma adicional de aumentar a eficiência de forrageio. O aumento dos tentáculos pode acarretar no aumento do tamanho das cnidas, influenciando o tipo e/ou a quantidade de presas capturadas pelos

indivíduos. Estudos que investiguem como a quantidade e comprimento dos tentáculos influenciam a capacidade de captura de presas em ambientes com maior e menor disponibilidade de alimento são importantes para estabelecer uma relação causal entre a plasticidade fenotípica reportada aqui e seu significado adaptativo para as anêmonas.

Anêmonas de costão rochoso podem variar fenotipicamente quando em ambientes com pouca disponibilidade de alimento, aumentando o investimento em estruturas de captação de presas. Os benefícios de um maior investimento em estruturas de captação de alimento podem compensar possíveis custos, representando uma resposta adaptativa importante para lidar com fatores ambientais estressantes, como a escassez de alimento. Concluo, portanto, que a resposta plástica referente ao aumento de investimento em estruturas de captação de alimento seja uma estratégia eficiente quando a disponibilidade de alimento no ambiente é baixa.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus companheiros de costão, Rodolfinho e Lygia, por toda ajuda, desespero e diversão compartilhados durante a coleta de dados. Em especial, agradeço à Lygia, que quase foi levada pelas ondas junto comigo. Agradeço ao Glauco, Puh, Zé Pedro, Billy e P.I. pelo auxílio na elaboração do projeto e pelo incentivo no estudo das “anemonemonas”. Ao meu lab e *roommate*, Xiboquinha, agradeço pela ajuda com análises dos dados. Muito obrigada aos meus grupos de projetos orientados (Lucas, Vini, Kiss, Rodolfinho, Bife e Marcelão) que, além de dar sangue, suor e sono para os trabalhos, tornaram tudo mais engraçado. Por fim, obrigada a toda equipe didática e turma de Ecologia de Campo 2016 que tornou este curso sensacional.

## REFERÊNCIAS

- Acuña, J.L. 2001. Pelagic tunicates: why gelatinous? *American Naturalist*, 158:100-107.
- Connell, J.H. 1961. The influence of interspecific competition and other factors on the distribution of the barnacle *Chthamalus stellatus*. *Ecology*, 42:710-723.
- Daly, M. 2004. Phylogeny and biogeography of *Anthopleura* in the North Atlantic Ocean. *Hydrobiologia*, 530:241-248.
- Francis, L. 2004. Microscaling: why larger anemones have longer cnidae. *Biological Bulletin*, 207:116-129.
- Futuyma, D.J. 1998. *Evolutionary biology*. Sinauer Associates, Sunderland.
- Hildrew, A.G.; D.G. Raffaelli & R. Edmonds-Brown. 2007. *Body size: the structure and function of aquatic ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Levinton, J.S. 1995. *Marine biology: function, biodiversity and ecology*. Oxford University Press, New York.
- Mariscal, R.N. 1984. Cnidaria: cnidae, pp. 57-68. Em: *Biology of the integument* (J. Bereiter-Hahn, A.G. Maltosy & K.S. Richards, eds.). Springer-Verlag, Berlin.
- Neufeld, C.J. & A.R. Palmer. 2008. Precisely proportioned: intertidal barnacles alter penis form to suit coastal wave action. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Biological Sciences*, 275:1081-1087.
- Prado, P.; A. Shallon & A. Oliveira. 2016. *Rsampling: ports the workflow of “Resamplingstats”*. 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.
- Ruppert, E.E. & R.D. Barnes. 1996. *Zoologia dos invertebrados*. Rocca, São Paulo.
- Sebens, K.P. 1982. The limits to indeterminate growth: an optimal size model applied to passive suspension feeders. *Ecology*, 63:209-222.
- Shick, J.M. 1991. *A functional biology of sea anemones*. Springer, Amsterdam.
- Underwood, A.J. & M.G. Chapman. 1995. Rocky shores, pp. 55-82. Em: *Coastal marine ecology* (A.J. Underwood & M.G. Chapman, eds.). University of New South Wales Press, Sidney.
- Whitman, D.W. & A.A. Agrawal. 2009. What is phenotypic plasticity and why is it important? pp. 1-63. Em: *Phenotypic plasticity of insects: mechanisms and consequences*. (D.W. Whitman & T.N. Ananthakrishnan, eds.). Science Publishers, Enfield.