



Osmorregulação em Invertebrados Costeiros

O ambiente marinho oceânico possui uma salinidade constante e a maioria dos invertebrados marinhos que nele vivem encontram-se em equilíbrio osmótico com o meio externo. Entretanto, na região costeira podemos observar variações de salinidade decorrentes de variações diárias das marés, pluviosidade e escoamento de águas continentais. Por exemplo, quando a maré está baixa, podem ocorrer períodos de condições hiperosmótica (maior concentração osmótica) e períodos de condições hiposmóticas (menor concentração osmótica), especialmente em poças de marés e fendas das rochas, devido à evaporação da água retida nestes ambientes ou às chuvas, respectivamente. Nesta região intramareal encontramos invertebrados cuja concentração osmótica do fluido extracelular varia de acordo com as mudanças na concentração osmótica da água e invertebrados no qual os fluidos extracelulares não se alteram. Os primeiros são denominados conformadores, enquanto que o segundo grupo caracteriza os reguladores.

A grande maioria dos invertebrados marinhos não apresenta órgãos ou estruturas especializadas na manutenção da osmolalidade dos fluidos corporais e, geralmente, são isosmóticos em relação ao meio, ou seja, possuem fluidos com a mesma concentração osmótica que a água do mar. No entanto, a composição iônica do fluido extracelular apresenta algumas variações em relação ao meio externo, caracterizando certo grau de regulação iônica. Assim, um animal pode estar osmoconformando e ionorregulando ao mesmo tempo; isto é, a concentração total de solutos nos fluidos corporais e na água é a mesma, embora a composição seja diferente.

Cabe lembrar, que nenhum organismo é completamente osmoconformador ou osmorregulador. Na tabela abaixo (Tabela 1) podemos notar que mesmo espécies ditas como completamente osmoconformadoras têm a capacidade de regular determinados íons, como por exemplo, sifomedusas do gênero *Aurelia* regulam o íon sulfato, facilitando assim sua fluatibilidade. De forma semelhante, crustáceos regulam os íons Mg^{2+} e Ca^{2+} com diferentes finalidades funcionais como mobilidade; além da regulação do Na^+ e Cl^- para manutenção da osmolalidade.

AM/FEC	Na ⁺	Cl ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻
AM	478	558	10	54	11	29
sifomedusa	473	580	11	53	10	16
bivalve	474	553	12	53	12	29
isopoda	566	629	13	20	35	4

Tabela 1 - Composição da água do mar (AM) e do Fluido Extracelular (FEC) de invertebrados marinhos. Valores em miliMolar (mM). Os valores em vermelho são referentes aos íons que estão sendo regulados.

Quando um animal aquático se depara com uma alteração na concentração osmótica do meio, ele pode apresentar dois mecanismos moleculares básicos para assegurar um balanço de água e solutos: (1) regulação anisomótica do fluido extracelular (RAFE), que mantém o fluido extracelular constante independente da salinidade do meio circundante; e (2) regulação isomótica do fluido intracelular (RIFI), que mantém o fluido intracelular isomótico em relação ao fluido extracelular que, por sua vez, varia de acordo com as variações do meio externo.

A RAFE ocorre em função de trocas iônicas que podem ocorrer ao longo de qualquer superfície permeável tal como o epitélio branquial, intestinal e da glândula antenal em resposta ao gradiente osmótico entre o líquido extracelular e o ambiente. Intimamente associados à estes órgãos encontra-se a atividade das enzimas Na⁺/K⁺-ATPase e anidrase carbônica. A RIFI depende principalmente de mecanismos de ajuste de efetores osmóticos intracelulares, tais como aminoácidos, peptídeos e solutos inorgânicos, para manter o fluido intracelular isomótico à hemolinfa, evitando geração de gradientes osmóticos e, portanto, fluxo de água. As espécies osmorreguladoras dependem principalmente da RAFE, enquanto que as osmoconformadoras dependem principalmente da RIFI.

A Figura 1 ilustra os dois padrões descritos acima. Nela, podemos observar o que acontece com a osmolalidade do fluido extracelular em resposta às variações na osmolalidade do meio.

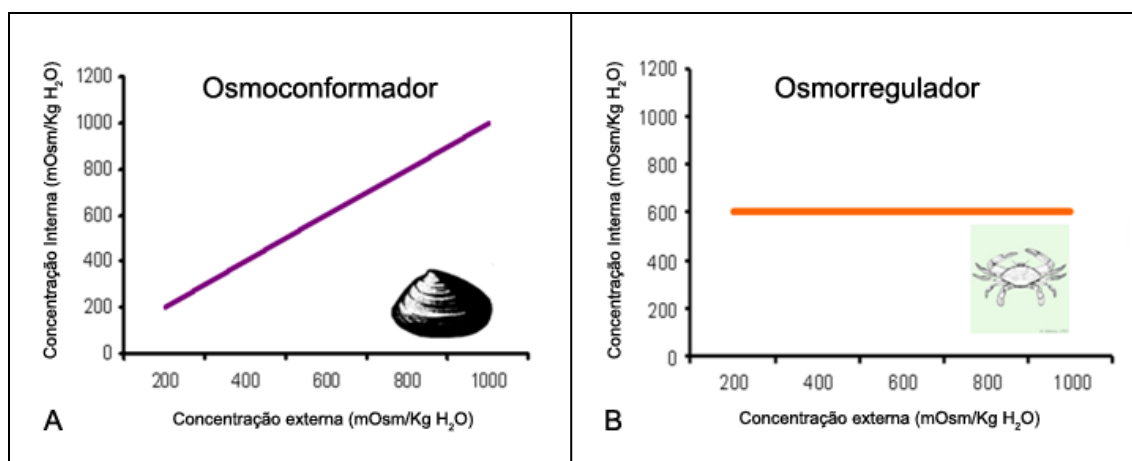


Figura 1 – Variação da osmolalidade do fluido extracelular dos animais diante da variação da osmolalidade do meio externo. **A** - fluido variando com o meio externo, animal osmoconformador; **B** – fluido mantido constante independentemente da variação externa, animal osmorregulador.

Os mecanismos de regulação mencionados pretendem a manutenção do volume celular. A capacidade de regulação de volume nas células de animais osmoconformadores submetidos a choque osmótico pode estar limitada a uma faixa estreita de variação osmótica do meio externo (estenoalinos) ou a uma ampla faixa, como no caso dos eurialinos.

Os animais osmoconformadores que apresentam grande tolerância à variação da salinidade do ambiente externo são classificados como eurialinos (linha sólida preta da Figura 2), e esta tolerância está relacionada à capacidade de regulação de volume de suas células. Já os osmoconformadores que não apresentam grande capacidade de regular volume celular estão limitados à ocupação de ambientes mais estáveis, sendo, portanto classificados como estenoalinos (linha sólida azul da Figura 2).

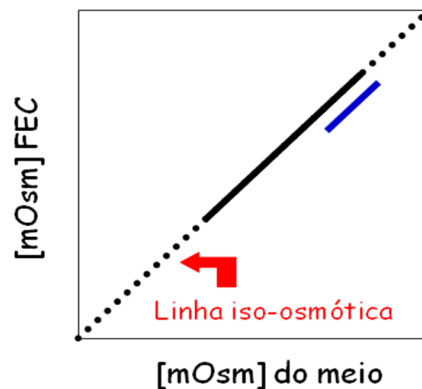


Figura 2 - Ilustração da variação da concentração osmótica do fluido extracelular (FEC) proporcional à variação osmótica do meio. Linha preta sólida – variação isosmótica representando os animais eurialinos. Linha azul representando animais estenoalinos, com pequena tolerância à variação osmótica do meio.

Assim, podemos assumir que a capacidade de regular o volume celular é fundamental para determinar o grau de eurialinidade das espécies, independente se estamos falando de osmoconformadores ou osmorreguladores. Quando transferidos para águas com baixa salinidade, animais osmoconformadores podem rapidamente inchar em resposta ao influxo osmótico de água (estresse hiposmótico), mas depois de certo tempo na salinidade reduzida, recuperam, ao menos em parte, seu volume original. Esse influxo osmótico de água para o fluido extracelular resulta numa diluição transitória do mesmo. Tal diluição representa um choque osmótico para as células, resultando num aumento do volume celular. Desta forma as células devem, portanto, apresentar capacidade de regulação de volume.

O volume celular é regulado de maneira que a célula retorne ao seu volume normal após um distúrbio osmótico, e permaneça relativamente estável, para desempenhar

suas diferentes funções. Concluímos, então, que as células, principalmente dos osmoconformadores, mas também dos osmorreguladores (em intensidades diferentes), precisam ter mecanismos para regulação do seu volume celular.

Tanto o choque hiposmótico quanto o choque hiperosmótico podem levar à ativação de um ou mais sistemas de transporte de solutos orgânicos e/ou inorgânicos (Figura 3). Células submetidas a choque hiposmótico recuperam seu volume devido à eliminação de solutos acompanhada por água. Já as células que são submetidas a choque hiperosmótico têm seu volume recuperado graças à entrada de solutos, que levam água para dentro da célula. O processo de regulação do volume celular é parte essencial de uma variedade de funções importantes para o bom funcionamento da célula.

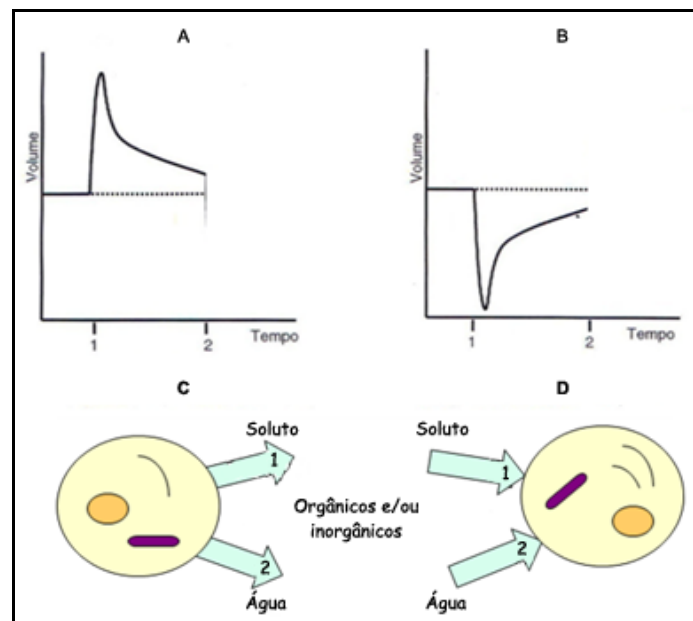


Figura 3 - Em **A** observamos a variação temporal do volume de células submetidas a uma diluição do meio extracelular. Em **B** observamos a variação temporal do volume de células submetidas a um meio extracelular mais concentrado. Em ambas situações observamos recuperação do volume celular. O esquema **C** ilustra a perda de solutos inorgânicos e/ou orgânicos e **D** mostra o ganho de solutos inorgânicos e/ou orgânicos para recuperação de volume celular.

Como mencionado anteriormente, a maioria das células de invertebrados e vertebrados incha diante de um choque hiposmótico e retornam, parcialmente ou completamente, ao seu volume inicial. Algumas células, no entanto, quando em situação hiposmótica só apresentam mecanismos para minimizar o ganho de volume, sem apresentar recuperação total. A regulação de volume em células expostas a choque hiperosmótico é menos frequente que em choques hiposmóticos. Uma possibilidade é o fato dos mecanismos implicados serem lentos demais para induzir uma mudança de volume significativa.

Na aula foi avaliado o comportamento osmótico de três espécies de invertebrados da região costeira do sul do estado do Rio Grande do Sul (RS), quando submetidos à salinidade baixa (choque hiposmótico) e à salinidade alta (choque hiperosmótico). Dentre os animais utilizados encontram-se uma espécie de anêmona, animal que habita região entre-marés, uma espécie de poliqueta e outra de caranguejo, sendo estas duas últimas estuarinas. A análise foi feita com base na variação temporal do peso dos animais, como indicativo da capacidade regulatória do meio extracelular. Animais que não variaram seu peso são capazes de regular o meio extracelular (osmorregulador), enquanto que os animais que variaram de peso indicam sua incapacidade de regular o meio extracelular (osmoconformador).

Bibliografia indicada

Hill, R.W., Wyse, G.A., Anderson, M. 2008. Fisiologia Animal. 2ª Edição, Artmed, Porto Alegre, Brasil, 894 p.

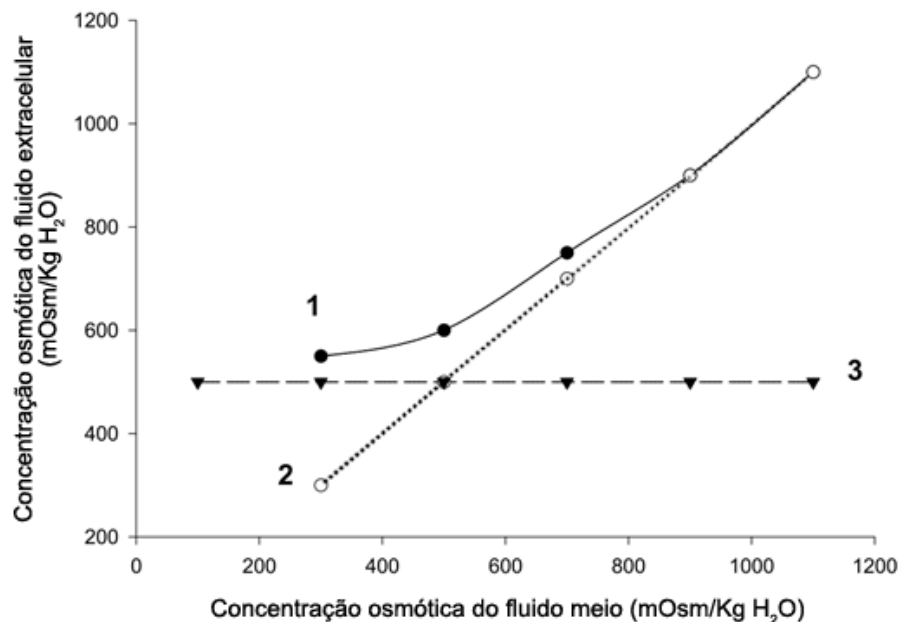
Moyes, C.D., Schuttle, P.M. 2010. Princípios de Fisiologia Animal. 2ª Edição, Artmed, Porto Alegre, Brasil, 756 p.

Randall, D., Burggren, W., French. 2000. Eckert Fisiologia Animal - Mecanismos e Adaptações. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, Brasil, 729 p.

Schmidt-Nielsen, K. 2002. Fisiologia Animal - Adaptação e Meio Ambiente. 2ª Edição, Santos Editora, São Paulo, Brasil, 611 p.

Questões de Revisão

- 1 – Segundo a variação de peso observada nas três espécies, como você as classificaria quanto ao padrão de osmorregulação?
- 2 – No experimento com o poliqueta, compare a variação de peso observada no animal nas condições de salinidade 20 e 40 ‰, e diga para qual faixa de salinidade o animal é mais tolerante e qual é o provável motivo dessa variação.
- 3 – Agora compare os resultados observados com os poliquetas e com as anêmonas e diga se eles apresentam comportamento diferente do esperado.
- 4 – Ainda, sobre as anêmonas e os poliquetas, se você tivesse que definir uma dessas espécies quanto a tendência a ser osmorreguladora, qual você escolheria? Por quê?
- 5 – Utilizando os padrões de comportamento osmótico do fluido extracelular em função da variação da salinidade (concentração osmótica) do meio, mostrados no gráfico abaixo, responda qual linha provavelmente corresponde ao padrão da anêmona, do poliqueta e do caranguejo? Explique o porquê.



Solucionando as Questões de Revisão

1 – A espécie de crustáceo não apresentou variação de peso ao longo do período de exposição, nem na salinidade baixa e nem na alta. Esses resultados indicam que a espécie é osmorreguladora. Já a espécie de poliqueta ganhou peso na salinidade baixa e perdeu na salinidade alta, comportando-se como uma típica osmoconformadora. A espécie de anêmona mostrou, em um intervalo de tempo maior, uma pequena variação de peso: maior peso em condição hiposmótica e menor peso em condição hiperosmótica, sendo que somente no último tempo experimental foi observada uma variação de peso mais expressiva, em ambas as condições osmóticas. Em suma, esta espécie também se comportou como osmoconformadora, no entanto, com uma variação temporal diferente da espécie de poliqueta.

2 – Segundo os resultados obtidos com a espécie de poliqueta houve maior variação de peso na condição hiposmótica do que na condição hiperosmótica, indicando que a espécie é mais tolerante a altas salinidades do que a baixas salinidades, provavelmente, por apresentar mecanismos regulatórios mais eficazes diante de choque hiperosmótico do que do choque hiposmótico.

3 – Ambas as espécies se comportaram como osmoconformadoras, ganhando e perdendo peso com os choques osmóticos aplicados. No entanto, as anêmonas demoraram mais tempo para apresentar uma pequena variação de peso, tanto em salinidade alta quanto baixa, ainda assim, ao final do experimento mostraram a variação esperada para uma espécie osmoconformadora.

4 - Escolheria a anêmona. Os resultados de pequena variação de peso, quando as anêmonas foram submetidas aos choques hipo e hiperosmótico, indicam que a espécie, por um tempo, tende a se comportar como osmorreguladora, mas à medida que o tempo de exposição aumenta fica clara a osmoconformação.

5 – A figura mostra a variação da concentração osmótica do fluido extracelular de 3 grupos de animais diante da variação da concentração osmótica do meio externo. A linha sólida representa a linha isosmótica, ou seja, quando a variação de uma concentração osmótica é exatamente igual a outra. A concentração osmótica do fluido extracelular do crustáceo não varia com a variação da salinidade do meio, logo trata-se de uma espécie osmorreguladora. A concentração osmótica do fluido extracelular do poliqueta varia proporcionalmente à variação osmótica externa, logo trata-se de uma espécie osmoconformadora. Por fim, a anêmona mantém a concentração osmótica do seu fluido extracelular quando em salinidades mais baixas, osmorregulando e, variações osmóticas acompanhando as variações do o meio externo em salinidades mais altas, osmoconformando. Note, que os valores representados no gráfico

são hipotéticos e não correspondem exatamente aos dados obtidos durante a experimentação prática.