

PROPRIEDADES COLIGATIVAS DA ÁGUA NOS SERES VIVOS¹

1. Introdução

Os organismos vivos existentes em nosso planeta formam uma vasta e diversa ordem, onde os processos vitais se desenvolvem em um meio aquoso e dependem das propriedades físico-químicas desse solvente. A água é uma substância altamente reativa, muito diferente, tanto fisiológica quanto quimicamente da maioria dos outros líquidos. As diversas propriedades da água são de grande importância para os seres vivos, e a vida, como nós conhecemos seria impossível se a água não tivesse essas propriedades. Os primeiros sistemas vivos provavelmente surgiram no meio aquoso dos mares profundo, portanto, não é surpreendente que os organismos vivos atuais estejam intimamente adaptados em nível molecular às propriedades especiais da água (Eckert, 2000).

Esse artigo pretende abordar as propriedades coligativas da água e suas implicações nos seres vivos. Inicialmente abordam-se algumas considerações sobre a molécula de água e sobre o conceito de propriedades coligativas. Posteriormente serão descritas e exemplificadas as propriedades coligativas da água que possuem relação fisiológica nos seres vivos.

2. A molécula de água

As moléculas de água são mantidas juntas por ligações covalentes polares entre um átomo de Oxigênio (O) e dois átomos de Hidrogênio (H). A polaridade (distribuição desigual de cargas) das ligações covalentes resulta da forte tendência do átomo de O em adquirir elétrons de outros átomos, tais como o H. A propriedade química mais importante da água é sua capacidade de formar *pontes de hidrogênio* entre os prótons (átomos de H) carregados positivamente, quase sem elétrons, e o átomo de O rico em elétrons carregados negativamente das moléculas de água vizinhas (Eckert, 2000).

Conforme Heneine (2000) a água também possui propriedades macroscópicas que favorecem os sistemas biológicos de diversas maneiras.

A *densidade* do gelo, por exemplo, é menor que da água líquida, fazendo com que este flutue. No inverno apenas uma camada superficial dos oceanos e lagos se solidifica, isso faz

¹ Seminário apresentado pelo aluno ALEXANDER CENCI na disciplina BIOQUÍMICA DO TECIDO ANIMAL, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no primeiro semestre de 2010. Professor responsável pela disciplina: Félix H. D. González.

com que a água permaneça líquida abaixo dessa camada, possibilitando a continuidade da vida nesse ambiente.

O *calor específico* (a quantidade de energia térmica que deve ser fornecida a uma substância para elevar sua temperatura) da água é relativamente alto. Como a água compõe cerca de 75% de um sistema biológico, ela age como um moderador térmico, ou seja, os sistemas biológicos estão mais protegidos contra mudanças bruscas de temperatura.

O *calor de vaporização* (energia necessária para passar de líquido para vapor) também é relativamente alto. Isso proporciona duas vantagens os sistemas biológicos: a primeira é que, para desidratar é necessária grande quantidade de energia; a segunda vantagem refere-se à possibilidade de utilização da evaporação de pequenas quantidades de água para dissipar o excesso de calor, seja por sudorese ou pela respiração pulmonar.

A *tensão superficial* (a atração intra-molecular que tende a manter coesas as moléculas de um líquido) constitui uma espécie de membrana que impede a penetração na massa líquida. A alta tensão superficial dificulta as trocas gasosas nos alvéolos pulmonares, obstáculo esse diminuído pela síntese de surfactante.

A *viscosidade* baixa da água (devido à contínua flutuação das pontes de H, que se fazem e desfazem em menos de 10^{-11} s) facilita as trocas hídricas no organismo. Caso a água tivesse uma alta viscosidade, seria prejudicial à circulação sanguínea e aos mecanismos hemodinâmicos.

3. As propriedades coligativas da água

Muitos dos processos químicos e físicos dos seres vivos ocorrem em solução aquosa. Os líquidos dentro das células e dos tecidos dos animais, bem como o ambiente aquoso no qual os animais aquáticos vivem, são influenciados pelos solutos (particularmente eletrólitos, i.e., compostos que se dissociam em íons quando dissolvidos em água) que eles contêm (Eckert, 2000).

As *propriedades coligativas* de uma solução dependem do número de partículas de um soluto em dado volume, independente da natureza química desse soluto. Dessa forma as propriedades coligativas da água são classificadas em *pressão osmótica*, *depressão do ponto de congelamento*, *elevação do ponto de ebulição* e *depressão da pressão de vapor da água* (Eckert, 2000).

Conforme Dukes (2006) a substância mais abundante no organismo para difundir é a água, e essa difusão ocorre por todo o organismo com relativa facilidade. A quantidade de água que se difunde para dentro das células geralmente é equilibrada por quantidade igual que se difunde para fora. Quando duas soluções aquosas diferem em sua concentração de água e estão separadas por uma membrana permeável a água, mas não a seus solutos, há difusão total de

água do lado com a concentração mais elevada de água (menor concentração de soluto) para o lado com menor concentração de água (maior concentração de soluto), fenômeno referido como *osmose*.

A *pressão osmótica* é a pressão que deveria ser aplicada ao compartimento com menor concentração de água (maior concentração de soluto) para evitar a difusão total da água a partir do compartimento com a concentração mais elevada de água, com menor concentração de soluto (Dukes 2006).

Conforme Knut Schmidt- Nielsen (2002) a água pura possui ponto de congelamento 0°C, porém se for resfriada abaixo de 0°C, o congelamento não acontecerá de imediato. Uma amostra de água pura pode ser resfriada abaixo de 0°C sem que haja a formação de cristais de gelo e dizemos que a amostra é super-resfriada. A probabilidade de essa água pura congelar depende de três variáveis: temperatura, presença de núcleos para a formação de gelo (nucleação) e tempo. Na ausência de materiais estranhos formadores de núcleos, uma amostra de água ultra pura pode ser super-resfriada sem congelar. No instante em que um núcleo inicial de gelo é formado, o congelamento progride rapidamente por toda a amostra.

Conforme Masterton (1990) quando aquecemos um líquido em um recipiente aberto formam-se bolhas, geralmente no fundo onde é aplicado o calor. As primeiras pequenas bolhas que vemos são ar, expelido da solução pelo aumento de temperatura. Eventualmente, a certa temperatura, grandes bolhas de vapor formam-se em todo o líquido. Essas bolhas de vapor sobem para a superfície e se quebram. Quando isso ocorre, diz-se que o líquido entrou em ebulição. A temperatura na qual o líquido ferve depende da pressão exercida sobre ele, ou seja, um líquido entra em ebulição a uma temperatura na qual a pressão de vapor iguala-se a pressão exercida sobre sua superfície.

Conforme Knut Schmidt- Nielsen (2002) a *pressão de vapor de água* é alterada pela temperatura. No ponto de congelamento da água (0°C) a pressão de vapor é 4,6 mmHg. Ela aumenta com a temperatura e atinge 760 mmHg a 100°C. Por essa razão, ao nível do mar (onde a pressão é de 760 mmHg ou 1 atm) a água entra em ebulição a 100 °C. Se a pressão atmosférica for inferior, a água entra em ebulição, a uma temperatura mais baixa. Por exemplo, se a pressão for reduzida a 17,5 mmHg, a água entrará em ebulição a 20°C. No pico do Monte Everest onde a pressão atmosférica é de aproximadamente 260 mmHg, a água ferve a 71°C.

Qualquer mistura de gases, tal como o ar atmosférico, que está em equilíbrio com a água livre, contem vapor de água a uma pressão correspondente à temperatura, e a fração da amostra de ar que é constituída de vapor de água aumenta com a temperatura. A 37°C, temperatura

corpórea aproximada dos mamíferos, a pressão de vapor de água é aproximadamente 47 mmHg e o vapor de água perfaz 6,2% do volume de ar².

O ar do pulmão dos animais que respiram ar atmosférico está sempre saturado com vapor de água à temperatura corpórea, mas o ar atmosférico externo normalmente não está. Quando o ar está totalmente saturado com vapor de água, diz-se que a umidade relativa é de 100%. Se o ar contiver menos vapor de água, a umidade poderá ser expressa como uma percentagem da quantidade necessária para saturação àquela temperatura. Por exemplo, 50% de umidade relativa significa que o ar contém metade da água que conteria se saturado com vapor de água àquela temperatura.

Para algumas finalidades a umidade relativa é uma expressão conveniente, mas quando queremos saber a quantidade total de vapor de água no ar, este valor é expresso em miligramas de água por litro de ar. Como o ar frio tem um conteúdo muito pequeno de vapor de água, mesmo a 100% de umidade relativa, a quantidade absoluta de água no ar frio é pequena (Knut Schmidt- Nielsen, 2002).

Todas essas propriedades coligativas estão intimamente relacionadas umas às outras, e são todas quantitativamente relacionadas ao número de partículas do soluto dissolvido em dado volume de solvente. Como exemplo pode-se citar o seguinte: 1 mol³ de um *soluto ideal* (no qual as partículas não se dissociam nem se associam) dissolvido em 1.000 g de água em pressão padrão de 760 mm Hg (1 atm), diminui 1,86°C, eleva 0,54°C no ponto de ebulição, e exibe uma pressão osmótica de 22,4 atm em temperatura de 0°C (Eckert, 2000).

² Numa mistura de gases, a pressão total é a soma da pressão que cada gás exerceria se estivesse presente isoladamente. No ar atmosférico seco à pressão barométrica padrão (760 mmHg) a pressão parcial de oxigênio é 159,2 mmHg (20,95% de 760 mmHg), de nitrogênio 600,6 mmHg (79,02%) e de dióxido de carbono 0,2 mmHg (0,03%). Como o ar atmosférico nunca é totalmente seco e o vapor de água exerce uma pressão parcial correspondente ao conteúdo de vapor de água no ar, a pressão parcial dos outros gases é então reduzida na proporção exata. Por exemplo, se o ar a 760 mmHg contém 5% de vapor de água (i.e., 38 mmHg) a pressão total dos gases restante é de 722 mmHg e suas pressões parciais individuais estão na proporção de suas concentrações relativas para compor um total de 722 mmHg (Knut Schmidt- Nielsen, 2002)

³ A quantidade de uma substância pura é expressa em **moles** (mol abreviado); um mole é o número de Avogrado de moléculas ($6,022 \times 10^{23}$) de um elemento ou composto. É equivalente ao peso molecular expresso em gramas. Assim, 1 mol de ¹²C consiste em 12 gramas de ¹²C puro, ou $6,022 \times 10^{23}$ átomos de carbono. Do mesmo modo, há $6,022 \times 10^{23}$ moléculas em 2 g (1 mol) de H₂, em 28 g (1 mol) de N₂ e em 32 g (1 mol) de O₂. Em fisiologia uma medida de concentração usual é a **molaridade** (M). Uma solução 1 molar é uma solução na qual 1 mol do soluto é dissolvido em um volume total de 1 litro (isto é escrito 1 mol/L ou 1 M). Em laboratório, uma solução 1 M é feita simplesmente adicionando-se água a 1 mol de soluto o suficiente para se obter um litro de solução final (Eckert, 2000).

3. Propriedades coligativas da água e interações nos seres vivos

A água é indispensável a todos os processos bioquímicos e fisiológicos. A presença de água em nosso planeta tornou possível que a origem da vida surgisse em um mar salgado e escuro bilhões de anos atrás. De certa forma, os líquidos extracelulares que circundam as células vivas nos dias de hoje refletem a composição do mar primitivo, no qual a vida evoluiu (Eckert, 2000).

5.1 Equilíbrio osmótico⁴

A capacidade de sobreviver em vários meios osmóticos foi adquirida nos grupos de animais mais avançados pela evolução de meio interno estável, que age para proteger os tecidos internos contra oscilações do meio externo. Assim, a capacidade de manter um meio interno adequado em face ao estresse osmótico (alguma coisa que tende a perturbar a homeostase iônica e osmótica) desempenhou um papel muito importante na evolução animal.

Vários *mecanismos osmorreguladores* são empregados para controlar os problemas osmóticos e regular as diferenças entre os compartimentos intra e extracelular e entre o compartimento extracelular e meio externo. Esse processo se dá basicamente através da regulação da entrada e saída de água e sais do organismo.

Quanto à capacidade de regulação da osmolaridade em relação ao meio os animais podem ser classificados em *osmoreguladores* quando mantém a osmolaridade interna diferente da do meio no qual eles vivem, ou *osmoconformadores* quando não controla ativamente a condição osmótica de seus líquidos corporais e, em vez disso, se adapta à osmolaridade do meio.

Quanto à capacidade de tolerar variações na osmolaridade do meio, os animais podem ser classificados em *euriálinos* caso possam tolerar uma grande variação de salinidade ou *esrenoalinos* se tolerarem apenas pequenas variações.

Animais que vivem em água doce, incluindo invertebrados, peixes, anfíbios, répteis e mamíferos, possuem líquidos corporais hiperosmóticos em relação ao meio aquoso que os rodeiam. Vertebrados de água doce possuem osmolaridade sanguínea na faixa de 200 a 300 mOsm/L, ao passo que a osmolaridade da água doce geralmente é menor que 50 mOsm/L. Essa situação pode ocasionar dois tipos de problemas a esses animais: eles estão sujeitos a entrada de água para o interior de seus corpos em razão do gradiente osmótico, assim como estão sujeitos a uma constante perda de sais corporais para o meio que os rodeia, que tem baixo teor de sal.

Uma forma de evitar o ganho de água é a produção de urina diluída. Em peixes que vivem em água doce, por exemplo, produzem muito mais urina copiosa (volumosa e diluída) do que

⁴ Baseado em Eckert, 2000, páginas 532-581.

seus “parentes” que vivem em água salgada. Os sais úteis são retidos em grande quantidade por reabsorção para o sangue a partir do ultrafiltrado nos túbulos renais, e assim urina diluída é excretada. Uma importante especialização para reposição de sais em animais de água doce é o transporte ativo de sal do meio externo diluído para o meio intersticial e sangue através do epitélio.

No caso dos peixes marinhos, em geral, os líquidos corpóreos são hipotônicos em relação à água do mar, existindo a tendência desses peixes a perder água para o meio, especialmente através do epitélio das brânquias. Para repor o volume de água perdido eles bebem água do mar, sendo que a maior parte da absorção de sal ocorre por ingestão dessa água. O excesso de sal ingerido com a água é excretado por transporte ativo em órgãos osmorregulatórios extra-renais tais como as brânquias e a glândula retal.

No caso de répteis e pássaros marinhos que bebem água do mar para obter suprimento de água, devido a sua incapacidade de produzir urina concentrada (hiperosmótica em relação a seus líquidos corporais), existem as chamadas glândulas de sal. Essas glândulas estão localizadas geralmente acima da órbita dos olhos nos pássaros e próxima ao nariz ou aos olhos nos lagartos.

Em animais terrestres, a regulação da concentração de íons no plasma e a excreção de resíduos nitrogenados são acompanhadas por inevitável perda de água corpórea. O rim é o principal órgão de osmorregulação e excreção de nitrogênio na maioria dos vertebrados terrestres, em especial mamíferos, que não possuem outro recurso para excreção de sais ou nitrogênio. Os rins de pássaros e mamíferos produzem urina hiperosmótica em relação ao plasma, permitindo que esses animais explorem ambientes terrestres secos. Répteis e anfíbios não produzem urina hiperosmótica, e em algumas situações de desidratação, certos anfíbios interrompem inteiramente a produção de urina durante o período de estresse osmótico.

5.2 Tolerância ao frio e ao congelamento⁵

Animais que vivem em regiões temperadas e frias ficam, com frequência, expostos a períodos prolongados de temperatura inverniais que estão bem abaixo do ponto de congelamento da água. A sobrevivência de animais de “sangue frio” a temperaturas abaixo de zero depende de características fisiológicas e bioquímicas.

Para tanto, um animal pode ser tolerante ao congelamento, o que significa que sobrevive ao congelamento prolongado e a formação de gelo no seu corpo, ou evitar o congelamento através do super-resfriamento e produção de substâncias anticongelantes.

⁵ Baseado em Knut Schmidt- Nielsen, 2002, páginas 225-232.

Um animal pode ficar exposto a uma temperatura consideravelmente abaixo do ponto no qual seus líquidos corpóreos possivelmente congelariam, permanecendo em temperatura de super-resfriamento, a menos que a formação de gelo se inicie por meio da nucleação.

Repteis e anfíbios, cujos fluidos corpóreos, se nucleados, começariam a congelar a $-0,6^{\circ}\text{C}$, foram experimentalmente super-resfriados a -8°C sem que congelassem. Isso pode significar a diferença entre a vida e a morte para um animal que fica exposto a um ambiente frio, antes de encontrar algum tipo de abrigo contra essa temperatura desfavorável.

Muitos peixes possuem substâncias anticongelantes, que impedem a adição de molécula de água ao cristal, pois se ligam à superfície do mesmo e assim bloqueia o seu subsequente crescimento.

O glicerol é um componente particularmente efetivo na redução do ponto de congelamento e também do de super-resfriamento, bem como melhora a tolerância ao congelamento em animais que toleram a formação de gelo.

Embora uma tolerância natural ao congelamento e à formação de gelo seja fundamental para a maioria das espécies, alguns seres vivos, incluindo vertebrados (anfíbios), suportam a formação pronunciada de gelo em seu organismo. Todavia, a tolerância ao congelamento não é conhecida entre aves e mamíferos.

Referências

- Dukes. **Fisiologia dos Animais Domésticos**. 12 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.
- Eckert. **Fisiologia Animal: mecanismos e adaptações**. 4.ed. Rio de Janeiro : Guanabara Koogan, 2000.
- Heneike, I. F. **Biofísica Básica**. São Paulo: Editora Atheneu, 2000.
- Knut Schmidt-Nielsen. **Fisiologia Animal**. 5 ed. São Paulo: Livraria Santos, 2002.
- Masterton; Slowinski; Stanitski. **Princípios de Química**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990.