

# Importância da Água

## Compartimentos e Líquidos do Organismo

*Iuri Marques de Oliveira & Renato Moreira Rosa*

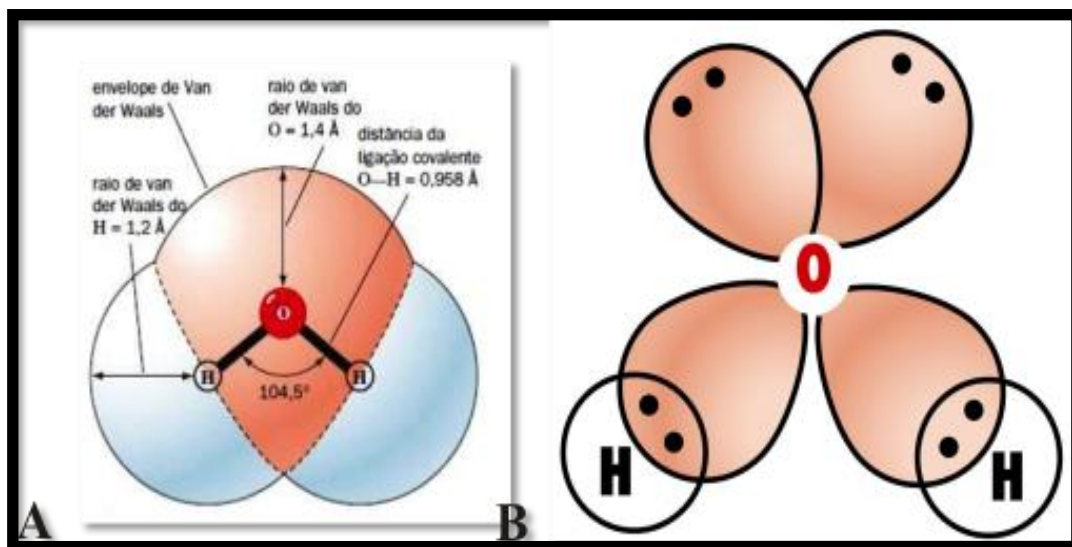
A água é uma substância de natureza incolor, inodora e insípida que possui uma importância fundamental para os seres vivos. Não obstante, os seres vivos são constituídos majoritariamente de água (cerca de 70% da massa de um ser humano é composta por água), como também são circundados ela no nosso “planeta azul”.

Todos sabemos da necessidade de água para nossa existência, tanto na sua utilização diária como para manutenção do ambiente aquoso dentro de nossos corpos. Uma questão simples que pode ser feita é: Por que bebemos água? ou Por que os organismos necessitam ingerir água? Muitas respostas podem ser dadas, como “para matar a sede” ou “para ficar hidratado”, e são corretas, mas ainda muito superficiais. O fato é que todos os seres necessitam de água, desde as criaturas marinhas, que passam suas vidas em um ambiente aquoso, até os organismos terrestres, que mantêm um ambiente aquoso interno, pois a água possui diversas funções importantes, tais como:

- Praticamente todas as moléculas biológicas adotam suas formas (e, portanto, suas funções) em resposta às propriedades físicas e químicas da água circundante.
- O meio para a maioria das reações bioquímicas é a água. Reagentes e produtos de reações metabólicas, nutrientes, assim como produtos de descarte, dependem da água para o transporte dentro e entre as células.
- A própria água participa ativamente de muitas reações químicas que dão suporte à vida. Com frequência, os componentes iônicos da água, os íons  $H^+$  e  $OH^-$ , são os verdadeiros reagentes. A reatividade de muitos grupos funcionais nas moléculas biológicas depende, na verdade, das concentrações relativas de  $H^+$  e  $OH^-$  no meio circundante.
- A oxidação da água para produzir oxigênio molecular,  $O_2$ , é uma reação fundamental da fotossíntese, o processo que converte a energia solar em uma forma química utilizável. A utilização dessa energia acaba por levar à redução de  $O_2$  novamente a  $H_2O$ .

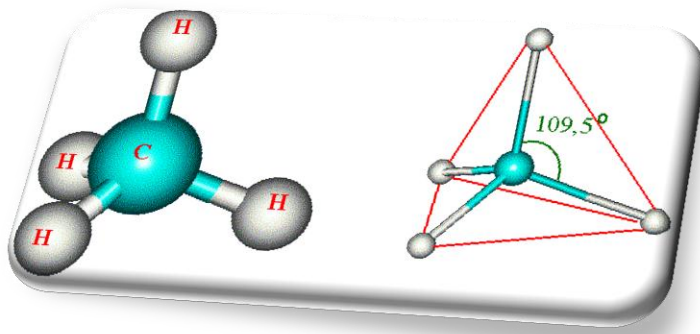
## 1. A estrutura da água

A molécula de água é formada por duas ligações covalentes O – H, sendo H – O – H e sua fórmula química é representada por H<sub>2</sub>O (Figura 1A). Devemos lembrar que os átomos para se tornarem estáveis devem possuir a sua última camada de valência completa, uma dessas maneiras é o compartilhamento de elétrons pela ligação covalente. No caso, o átomo oxigênio (O) possui 6 elétrons na última camada (K = 2; L = 6) necessitando portanto de 2 elétrons para completar os 8 e ficar estável apresentando a configuração semelhante a um gás nobre. O átomo de hidrogênio (H) necessita de 1 elétron (K = 1) para completar 2 elétrons na camada K e ficar com a configuração eletrônica semelhante ao átomo de hélio. Portanto, na molécula de água há o compartilhamento de um par de elétrons entre cada átomo de hidrogênio com o átomo de oxigênio, desta forma os átomos de hidrogênio passam a ter 2 elétrons na camada K e o átomo de oxigênio 8 elétrons na última camada, atingindo assim a estabilidade (Figura 1B).



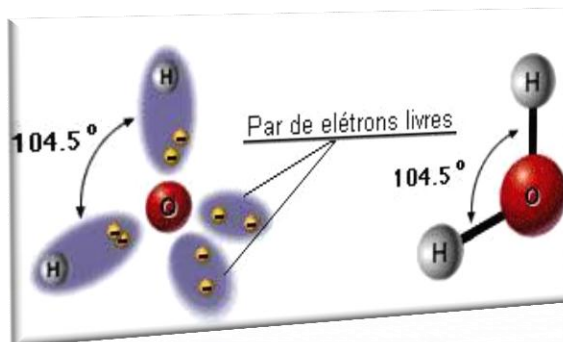
**Figura 1:** (A) A área sombreada representa o envelope de van der Waals, a “superfície” efetiva da molécula. (B) Figura mostrando o compartilhamento realizado pelos átomos de oxigênio e de hidrogênio estabelecendo as ligações covalentes na molécula de água

A água possui uma geometria muito particular e importante no entendimento de suas propriedades. Para entendermos a geometria desta molécula fundamental, antes é interessante fazer uma comparação com a molécula de metano ( $\text{CH}_4$ ). A molécula de metano é composta de um átomo de



**Figura 2:** Molécula de metano (observar 4 ligações C – H com ângulos de  $109,5^\circ$  formando um tetraedro)

carbono central ligado a 4 átomos de hidrogênio (4 ligações C – H exatamente iguais), formando uma estrutura perfeitamente tetraédrica, com os ângulos entre as ligações de  $109,5^\circ$  (Figura 2). Na molécula de água os átomos de hidrogênio não estão arranjados linearmente, pois os quatro orbitais híbridos  $\text{sp}^3$  do átomo de oxigênio estendem-se aproximadamente na direção dos vértices de um tetraedro. Os átomos de hidrogênio ocupam dois vértices do tetraedro, e os pares de elétrons não-ligantes do átomo de oxigênio ocupam os dois outros vértices (Figura 3). Desta forma, há uma concentração de elétrons nos orbitais livres em um pólo da molécula, de maneira a repelir os elétrons presentes na ligação covalente entre os átomos de oxigênio e de hidrogênio, de modo a “empurrar” essas ligações O – H e aproximar uma da outra como mostrado na Figura 3. Essa repulsão vai refletir no ângulo entre as ligações O – H, sendo este então diminuído de  $109,5^\circ$  (como seriam em um tetraedro perfeito como na molécula de metano, apenas com ligações C – H iguais) a  $104,5^\circ$ .

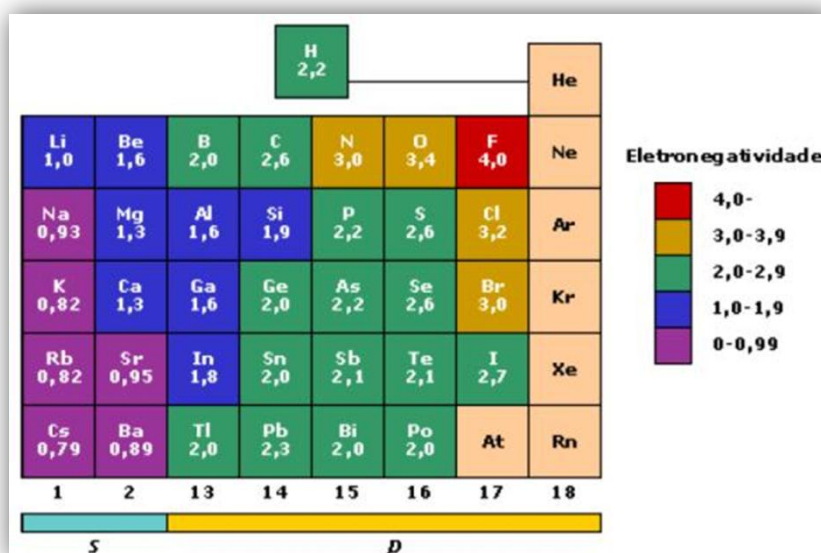


**Figura 3:** Molécula de água mostrando os orbitais e o ângulo de  $104,5^\circ$  entre as ligações O – H.

Esses orbitais livres e a repulsão sobre as ligações O – H reduzindo o ângulo entre elas faz com que esses átomos orientem-se no espaço de maneira a conferir uma geometria angular para essa molécula de raio 1,5 Å. A molécula de metano não possui orbitais livres estando todos preenchidos pelas ligações com os hidrogênios, consequentemente não há repulsão entre as ligações C – H ficando todas com o mesmo ângulo entre si formando uma geometria tetraédrica, diferente da geometria angular da água que é devida a repulsão provocada pelos elétrons dos orbitais livres do oxigênio sobre os elétrons das ligações covalentes O – H, o que leva a redução dos ângulos entre essas ligações e a formação de uma geometria angular.

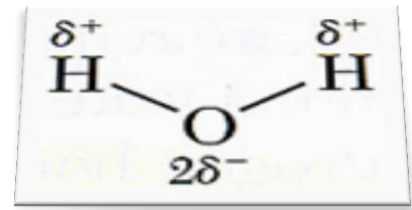
## 2. Ligações ou Pontes de Hidrogênio

Se observarmos a Tabela Periódica dos elementos e os valores de eletronegatividade, ou seja a capacidade de um átomo de atrair elétrons, podemos verificar que os elementos mais eletronegativos são os átomos de nitrogênio, oxigênio e flúor, como mostrado na tabela simplificada da Figura 4.



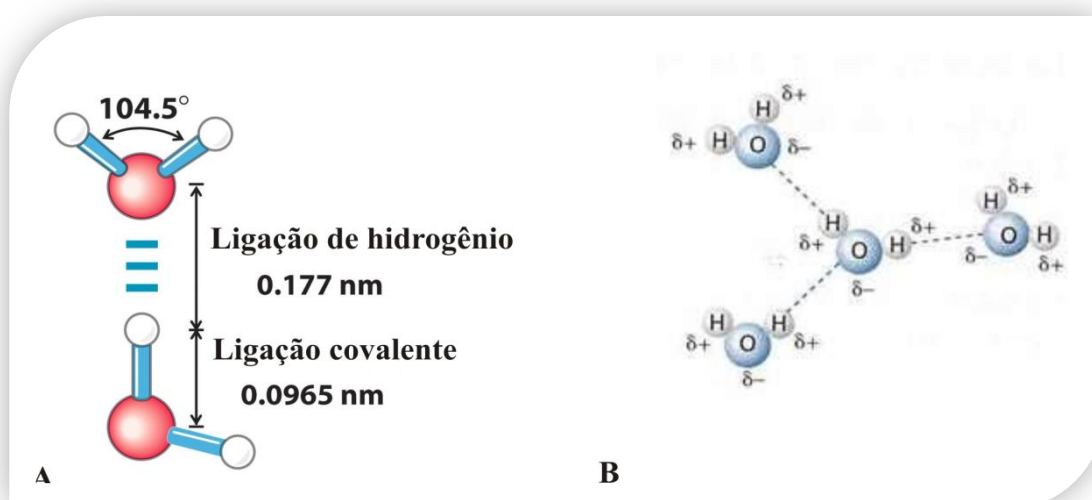
**Figura 4:** Tabela simplificada mostrando a eletronegatividade dos elementos

Esses átomos devido a essa eletronegatividade são capazes de formar moléculas polares. No caso da água, o átomo de oxigênio tem alta eletronegatividade e conseqüentemente é mais eletronegativo que o de hidrogênio, ou seja, o núcleo do oxigênio atrai os elétrons envolvidos na ligação O – H mais fortemente que o núcleo do hidrogênio. Essa propriedade é decisiva na polaridade da molécula de água, uma vez que torna a região do átomo de oxigênio mais negativa (com os elétrons mais próximos) do que a região onde está o átomo de hidrogênio (com os elétrons mais afastados). Ou seja, a molécula de água é **polar**, sendo o oxigênio seu pólo negativo ( $2\delta^-$ , já que são dois elétrons a mais) e os hidrogênios seus pólos positivos ( $\delta^+$ , um elétron a menos para cada átomo) (Figura 5).



**Figura 5:** Figura mostrando a polaridade da água

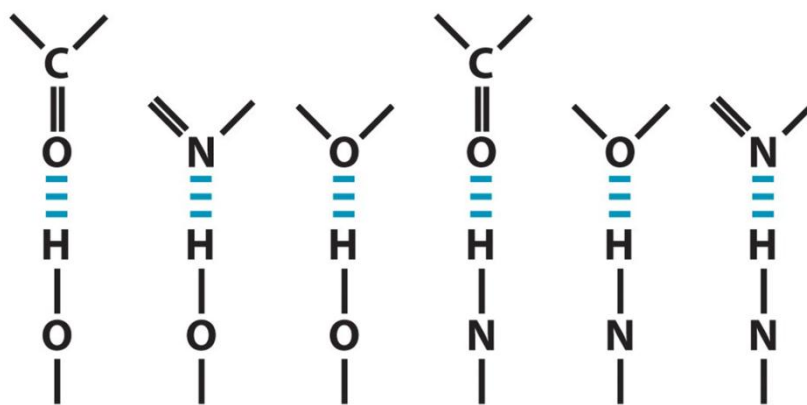
Como água é um composto polar, o oxigênio (pólo negativo) da molécula pode interagir fortemente de maneira intermolecular com hidrogênios (pólos positivos) das moléculas vizinhas através de uma atração eletrostática. Essa atração é chamada ligação de hidrogênio (ponte de hidrogênio é uma nomenclatura em desuso) (Figura 6A), e ocorre entre átomos de hidrogênio com átomos muito eletronegativos como o oxigênio, nitrogênio, flúor. Moléculas de água vizinhas tendem a se orientar de modo que a ligação O - H de uma molécula (a porção positiva) aponte para um par de elétrons de outra molécula de água (a parte negativa) (Figura 6B).



**Figura 6:** A) Figura mostrando a ligação de hidrogênio. B) Moléculas de água formando ligações de hidrogênio entre si.

As ligações de hidrogênio, apesar de serem as mais fortes entre as forças consideradas fracas, são bem menos estáveis que as ligações covalentes, prova disso é que a energia de dissociação de uma ligação de hidrogênio entre moléculas de água é cerca de 23 kJ/mol, enquanto que a da ligação O – H (covalente) da água é de 470 kJ/mol. Essas ligações de hidrogênio são responsáveis por basicamente todas as propriedades da água.

É importante salientar que as ligações de hidrogênio não são exclusivas da água, mas são formadas entre moléculas polares que possuam átomos com alta eletronegatividade como oxigênio, nitrogênio e flúor, presentes em grupos hidroxila, em álcoois, grupos carboxila em ácidos carboxílicos, etc., pois formam pólos capazes de formar atrações eletrostáticas entre as moléculas, estabelecendo essas ligações (Figura 7). Já moléculas consideradas apolares, ou seja, que não formam pólos. Tais como gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ...), compostos orgânicos como benzeno, cadeias carbonadas... etc não formam ligações de hidrogênio com a água. Isso ocorre pois essas moléculas não possuem pólos. Poranto, moléculas contendo grupos C – H, como benzeno, não formam ligações de hidrogênio com a água.



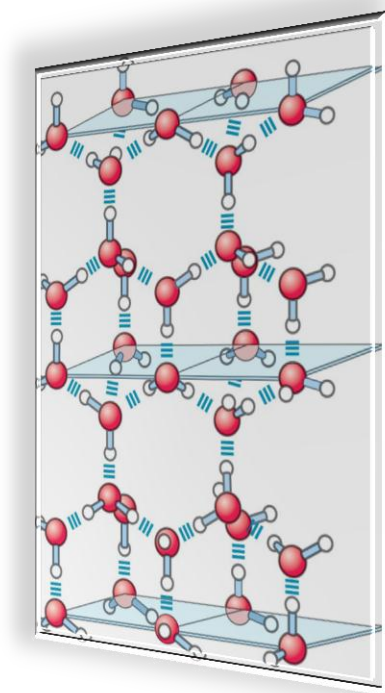
**Figura 7:** Alguns exemplos de grupamentos que formam ligações de hidrogênio, bastante comuns em sistemas biológicos.

As ligações de hidrogênio são caracterizadas estruturalmente por uma distância que é pelo menos  $0,5 \text{ \AA}$  mais curta do que a distância de van der Waals (distância de maior proximidade entre dois átomos não-ligados) calculada. Na água, por exemplo, a distância da ligação de hidrogênio O - H é de  $\sim 1,8 \text{ \AA}$ , contra  $2,6 \text{ \AA}$  para a distância de

van der Waals correspondente. Outra característica das ligações de hidrogênio é a rapidez com que elas se formam e são quebradas. A todo instante moléculas de água estão interagindo entre si, formando ligações de hidrogênio que duram de um a vinte picossegundos ( $1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$ ). Quando uma ligação se quebra, imediatamente outra se forma.

Uma molécula de água pode fazer ligações de hidrogênio com até outras quatro moléculas, mas isso só ocorre quando a água está solidificada. Cada molécula de água está no centro de um tetraedro circundada por quatro moléculas vizinhas, com as quais interage por ligações de hidrogênio (Figura 8). Em consequência de sua estrutura aberta, a água é uma das poucas substâncias que se expande sob congelamento (a  $0^\circ\text{C}$ , a água líquida tem uma densidade de  $1,00 \text{ g.mL}^{-1}$ , ao passo que o gelo tem uma densidade de  $0,92 \text{ g.mL}^{-1}$ ).

**Figura 8:** A estrutura do gelo. Cada molécula de água interage de forma tetraédrica com quatro outras moléculas de água. Os átomos de oxigênio estão em vermelho, e os átomos de hidrogênio estão em branco. As ligações de hidrogênio são representadas por linhas tracejadas.

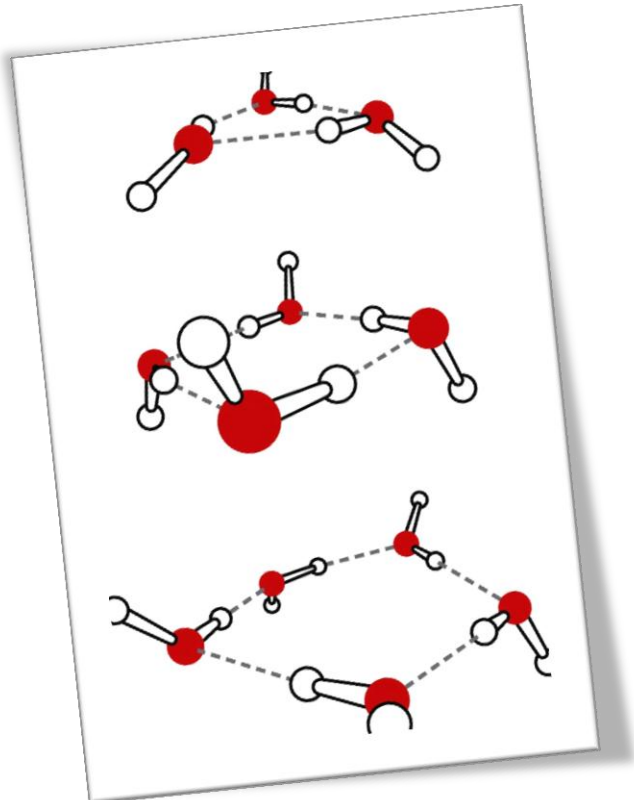


A expansão da água sob congelamento apresenta inúmeras consequências para a vida no planeta. Suponha que a água se contraísse sob congelamento, isto é, ficasse mais densa em vez de menos densa: o gelo iria afundar no fundo dos lagos e oceanos, em vez de flutuar. Esse gelo estaria isolado do Sol, de modo que os oceanos, com exceção de uma fina camada superficial de líquido em clima ameno, permaneceriam congelados (em grandes profundidades, a água, mesmo nos oceanos tropicais, está

próxima dos 4°C, sua temperatura de densidade máxima). Assim, a Terra estaria confinada a uma era de gelo permanente, e a vida talvez nunca tivesse surgido.

O derretimento do gelo representa o colapso da orientação tetraédrica estrita das moléculas de água ligadas por ligações de hidrogênio, apesar de ligações de hidrogênio entre moléculas de água persistirem no estado líquido. Na verdade, a água líquida possui apenas ~15% menos ligações de hidrogênio do que o gelo a 0°C.

Considerações teóricas e evidências espectroscópicas sugerem que as moléculas na água líquida estão, cada uma, ligadas por ligações de hidrogênio com seus quatro vizinhos próximos, como no gelo. Essas ligações de hidrogênio estão distorcidas, no entanto, de modo que as redes de moléculas ligadas são irregulares e variadas. Por exemplo, moléculas ligadas por ligações de hidrogênio em anéis de 3 a 7 membros ocorrem normalmente na água líquida (Figura 9), ao contrário dos anéis de seis membros característicos do gelo (Figura 8). Ademais, as redes estão continuamente se rompendo e se formando novamente a cada  $10^{-12}$  s. A água líquida consiste, portanto, em uma rede instável e tridimensional de moléculas de H<sub>2</sub>O ligadas por ligações de hidrogênio.



**Figura 9:** Estrutura de um trímero, de um tetrâmero e de um pentâmero de água. Esses modelos baseiam-se em previsões teóricas e dados espectroscópicos.

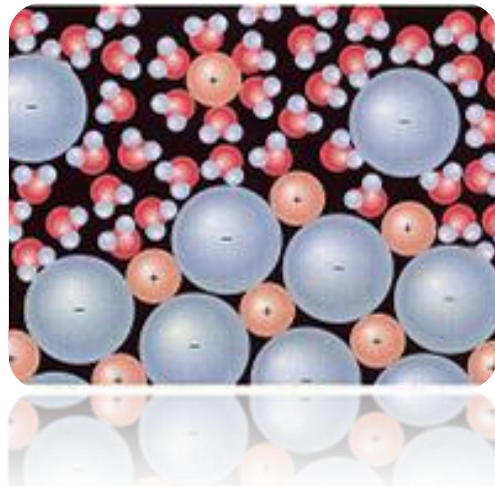


### 3. Água e a solubilização de moléculas

A solubilidade depende da habilidade de um solvente de interagir com partículas de um soluto mais intensamente do que as partículas de soluto interagem entre si. A água é considerada o “solvente universal”. Apesar de essa afirmação não ser verdadeira de modo literal, a água certamente dissolve mais tipos de substâncias e em quantidades maiores do que qualquer outro solvente. Em especial, o caráter polar da água a torna um solvente excelente para materiais polares e iônicos, os quais são chamados de hidrofílicos (do grego, *hydro*, água + *philos*, gostar). Por outro lado, substâncias apolares são praticamente insolúveis em água (“óleo e água não se misturam”), sendo descritas como hidrofóbicas (do grego, *phobos*, medo). apolares, contudo, são solúveis em solventes apolares, como  $\text{CCl}_4$  e hexano. Essa informação é resumida por outra máxima, “semelhante dissolve semelhante”.

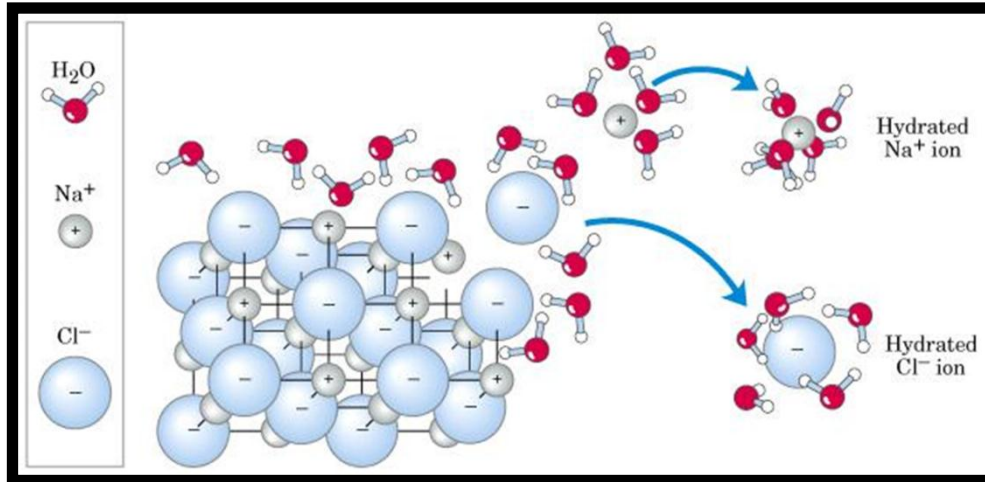
#### 3.1 Interações entre água e solutos iônicos

A água é a substância da natureza que apresenta a maior **constante dielétrica**. De maneira mais simples podemos definir a constante dielétrica como sendo a grandeza que expressa a capacidade de uma substância em manter separado íons de cargas opostas. Note que os íons de sinais opostos tendem a se atrair. Assim sendo, somente substâncias de alta constante dielétrica são capazes de se intercalar entre esses íons e impedir a atração (Figura 10). Esse mecanismo de intercalação entre os íons é o modo pelo qual a água consegue solubilizar



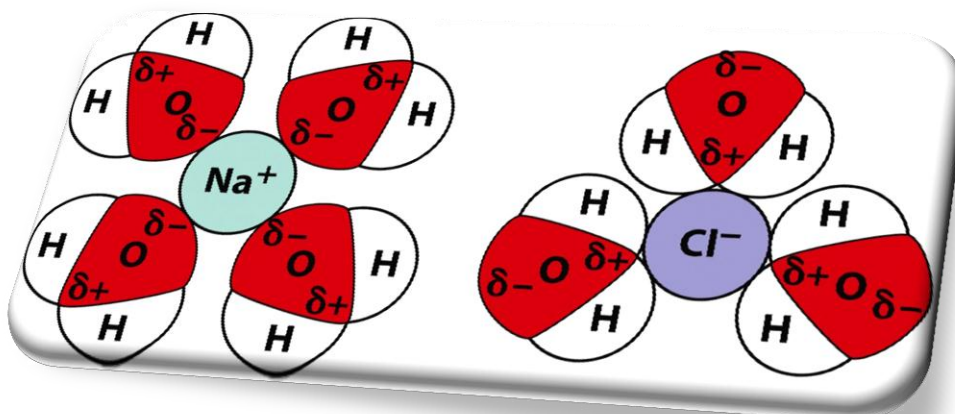
**Figura 10:** Figura mostrando a capacidade da água de manter separadas cargas opostas

compostos iônicos, desfazendo a estrutura cristalina (Figura 11). E também é por isso que os compostos iônicos encontram-se dissociados quando em meio aquoso. (ver [dissolução de um sal](#))

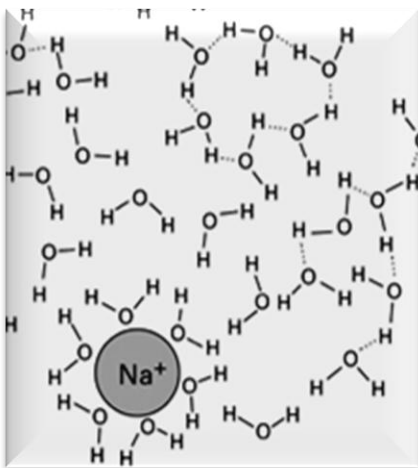


**Figura 11:** Figura mostrando a estrutura cristalina de um sal sendo desfeita pela água

Também deve ser notado que a interação com cátions é feita pelo pólo negativo da água enquanto a interação com ânions fica por conta dos pólos positivos, como visto no exemplo do NaCl na Figura 12. Desta maneira, a água pode solubilizar os íons (sódio, potássio, cloro, magnésio,...) e microelementos (minerais presentes em quantidades ultrapequenas, como zinco, molibdênio, selênio,...) presentes em meio fisiológico. No organismo os íons são conhecidos como eletrólitos.



**Figura 12:** Solvatação de íons. Os dipolos das moléculas de água circundantes estão orientados de acordo com a carga do íon. Apenas uma camada de moléculas de solvente está sendo mostrada



**Figura 13:** Figura mostrando a formação de camadas de água ao redor do íon aumentando o tamanho efetivo do mesmo

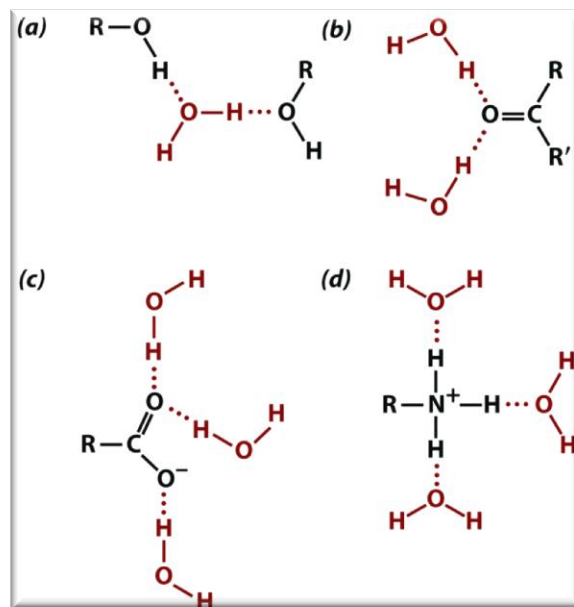
O íon solvatado é, dessa forma, circundado por uma ou mais camadas concêntricas de moléculas de solvente orientadas (Figura 13). Diz-se que tais íons estão solvatados ou, quando o solvente for água, hidratados. A partícula iônica fica de tal maneira cercada por água que a camada de hidratação passa a fazer parte do íon: a camada de solvatação aumenta o tamanho do íon. Exemplos: compostos que, em solução, ficam dissociados e suas partículas com camada de hidratação: NaCl, KCl, AgNO<sub>3</sub> e muitos outros sais. A camada de hidratação também ocorre em solutos polares e com

carga, seguindo o mesmo princípio. As moléculas de água na camada de hidratação ao redor de um íon se movem mais lentamente do que as moléculas de água que não estão envolvidas na solvatação do íon. Na água pura, o custo do rompimento de uma ligação de hidrogênio é baixo, porque é provável que outra ligação se forme ao mesmo tempo. O custo é maior para as moléculas relativamente ordenadas da camada de hidratação. A energia de solvatação também desempenha um papel nas reações químicas, já que um grupo reativo tem que dissipar sua água de hidratação (as moléculas de água na camada de hidratação) para poder se aproximar de outro grupo.

### 3.2 Interações entre água e solutos polares

As ligações de hidrogênio não ocorrem somente entre moléculas de água. Como foi dito anteriormente, elas podem ocorrer entre hidrogênio e oxigênio, nitrogênio, flúor e outro hidrogênio. Como também já foi mencionado, para um soluto ser polar, é necessário que haja uma diferença de eletronegatividade entre os átomos que o compõem. Essa diferença ocorre normalmente entre os elementos citados acima. Quando em solução, um composto polar forma ligações de hidrogênio com a água, já que seus pólos interagem com os pólos da água.

Os dipolos de ligação de moléculas polares não-carregadas tornam-nas solúveis em soluções aquosas pelas mesmas razões que substâncias iônicas são hidrossolúveis. Portanto, um soluto polar ou carregado forma uma mistura homogênea com a água, já que todas as suas moléculas (ou quase todas, dependendo do coeficiente de solubilidade) interagem com a água e ficam separadas umas das outras, “cercadas” pela água. As solubilidades de substâncias polares e iônicas são aumentadas quando elas possuem grupos funcionais, como grupos hidroxila (O – H), carbonila (C = O), carboxilato (COO<sup>-</sup>) ou amônio (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), os quais podem formar ligações de hidrogênio com água, como ilustrado na Figura 14. De fato, biomoléculas hidrossolúveis, como proteínas, ácidos nucleicos e carboidratos, são ricas em tais grupos.



**Figura 14:** Ligações de hidrogênio em grupos funcionais. A água forma ligações de hidrogênio com grupos (a) hidroxila, (b) grupos cetona, (c) íons carboxilato e (d) íons amônio.

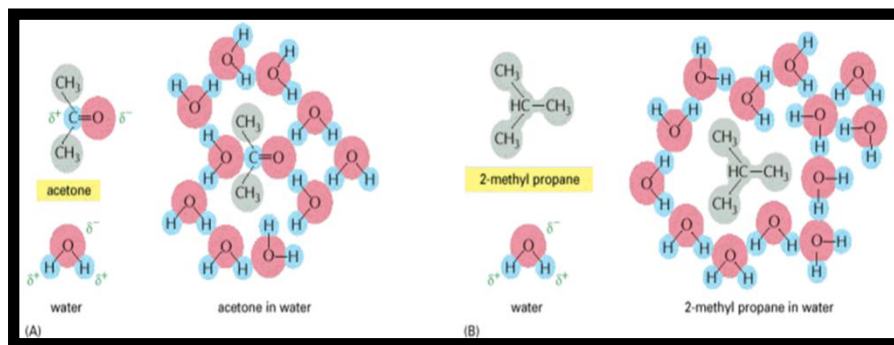
### 3.3 Interações entre água e solutos apolares

Para os seres vivos, porém, não só a solubilidade em água é importante: também o que a água não dissolve é decisivo. Quando um composto apolar - como o óleo, por exemplo - é misturado à água, forma-se uma solução heterogênea (Figura 15).

Isso ocorre porque tais compostos não possuem carga nem pólos, ou seja, não têm regiões que possam interagir com a molécula de água. Portanto, moléculas apolares não são “dissolvidas” porque não estabelecem interações com as moléculas de água (ligações de hidrogênio e outras interações eletrostáticas, as forças de Van der Waals), mas, em meio aquoso, ficam em um estado termodinamicamente instável, de alta energia, pois as moléculas de água que a “envolvem”, não podendo interagir com ela, interagem mais fortemente entre si. Portanto, quando uma substância apolar é adicionada a uma solução aquosa, ela não se dissolve, sendo, em vez disso, “excluída” pela água. A tendência da água de minimizar seu contato com moléculas hidrofóbicas é chamada de “efeito hidrofóbico” (Fig 16).



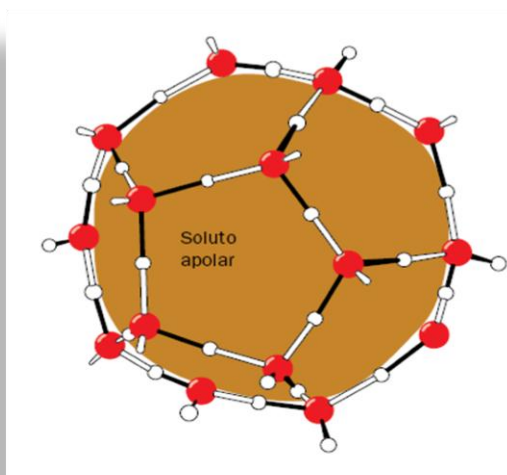
**Figura 15:** Figura mostrando a formação de uma mistura heterogênea entre água e óleo



**Figura 16:** A) molécula de acetona em água, como é polar forma ligações de hidrogênio com a água; B) molécula de propano em água, não forma ligações com as moléculas de água, ficando “isolada”

No contato inicial de uma substância apolar com a água, há rompimento não compensado de muitas ligações de hidrogênio, pois a água não forma estas ligações com moléculas apolares. (Esse rompimento ocorre também quando um soluto polar entra em contato com a água; neste caso, entretanto, as ligações de hidrogênio são compensadas pela interação da molécula de água com as moléculas do soluto).

A fim de fazer o maior número de ligações de hidrogênio possível, as moléculas de água orientam-se envolta da substância apolar e a envolvem, de modo que uma rede de ligações de hidrogênio é formada ao redor de um soluto apolar (Fig. 17). Essa gaiola formada pode ser chamada de **clatrados**, ou seja, varias moléculas de água arranjadas entre si, envolvendo o soluto apolar mas sem interagir com ele (ver [Formação do Clatrado](#)).



**Figura 17** – Moléculas de água formando uma rede de ligações de H ao redor de um soluto apolar

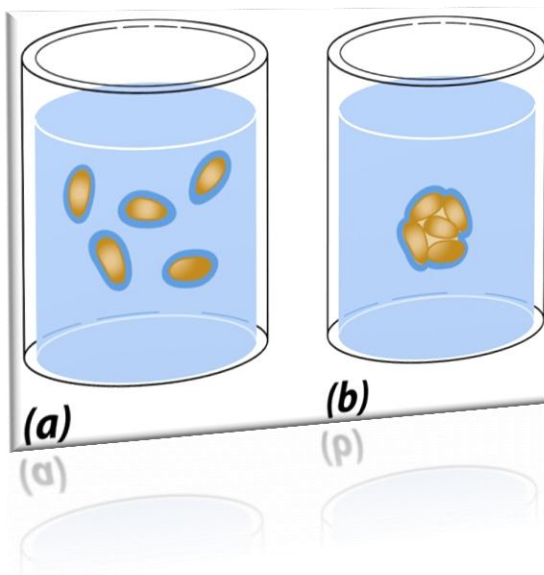
Antes de prosseguirmos, para entender o efeito hidrofóbico vale a pena falarmos de entropia do sistema. A entropia, ou “desordem”, é uma medida da ordem do sistema. Os sistemas tendem a aumentar sua entropia ou seja a desordem no sistema, em outras palavras eles tendem a aumentar o número de estados possíveis que podem formar. Simplificando podemos dizer utilizando artificios matemáticos que é o número de combinações que o sistema pode formar, logo quanto maior número de combinações maior a entropia e vice-versa. Analogamente podemos dizer que uma sociedade com pessoas promíscuas tem maior entropia do que uma sociedade com pessoas fiéis, pois no primeiro caso o número de combinações no sistema é maior.

Se a entropia aumentar quando uma molécula apolar deixar uma solução aquosa, ela deverá diminuir quando essa molécula entrar na água. Tal diminuição na entropia quando uma molécula apolar é solvatada por água é uma observação experimental, não uma conclusão teórica. Mesmo assim, as alterações na entropia são muito grandes para refletirem apenas as mudanças nas conformações dos hidrocarbonetos. Assim, a variação na entropia deve surgir, principalmente, em

decorrência de alguma espécie de ordenamento da própria água. Qual é a natureza desse ordenamento?

A extensa rede de ligações de hidrogênio nas moléculas de água líquida é perturbada com a introdução de um grupo apolar. Uma vez que um grupo apolar não pode aceitar nem doar ligações de hidrogênio, as moléculas de água na superfície de uma cavidade ocupada pelo grupo apolar não podem formar ligações de hidrogênio com outras moléculas de água da maneira usual, ficando de maneira mais organizada ao redor da molécula apolar. Para maximizar sua capacidade de formação de ligações de hidrogênio, essas moléculas de água na superfície orientam-se para formar uma rede de ligações de hidrogênio envolvendo a molécula (Figura 17). Essa orientação constitui um ordenamento da estrutura da água, uma vez que o número de maneiras pelas quais as moléculas de água podem formar ligações de hidrogênio ao redor da superfície de um grupo apolar é menor do que o número de maneiras que elas podem formar ligações de hidrogênio em água pura.

A energia livre desfavorável da hidratação de uma substância apolar, causada pelo ordenamento das moléculas de água circundantes, tem como conseqüência a tendência de a substância apolar ser excluída da fase aquosa. Isso ocorre porque a área de superfície de uma cavidade contendo um agregado de moléculas apolares é menor do que a soma das áreas de superfície das cavidades que cada uma dessas moléculas ocuparia individualmente (Figura 18). A agregação de grupos apolares minimiza a área de superfície da cavidade e, assim, maximiza a entropia do sistema como um todo. Em certo sentido, os grupos apolares são “espremidos” para fora da fase aquosa.



**Figura 18** – Agregação de moléculas apolares em água. (a) A hidratação individual de moléculas apolares dispersas (marrom) reduz a entropia do sistema porque as moléculas da água de hidratação (azul-escuro) não estão livres para formar ligações de hidrogênio. (b) A agregação das moléculas apolares aumenta a entropia do sistema, uma vez que o número de moléculas de água necessário para hidratar os solutos agregados é menor do que o número necessário para hidratar as moléculas dispersas do soluto. Esse aumento de entropia é responsável pela agregação espontânea as substâncias apolares em água.

Quando várias moléculas apolares entram em contato com a água, elas se agrupam, a fim de aumentar a entropia do sistema. Ou seja, ao invés de fazerem uma rede de ligações de hidrogênio ao redor de cada molécula apolar que seria energeticamente desfavorável, as moléculas de água “forçam” as apolares a se agruparem (Figura 17). Dessa forma, a superfície de contato entre soluto e água é menor e, portanto, a rede de ligações de hidrogênio é formada também. Deste modo, a energia do sistema diminui, e a tendência é as moléculas apolares permanecerem justapostas, isto é o que chamamos de efeito hidrofóbico, um importante fenômeno físico que atua na organização espacial de algumas estruturas biologicamente fundamentais, como as proteínas e as membranas celulares, compostas por moléculas ditas anfipáticas, parcialmente polares e parcialmente apolares.

Sucintamente então, as moléculas de água formam ligações de hidrogênio entre si e não formam ligações com as moléculas apolares. Portanto, quando se coloca moléculas apolares em um meio aquoso, vai haver um breve rompimento das ligações de hidrogênio mas essas logo voltarão a ser refeitas, nisso vão isolar as moléculas apolares pois estas não formam ligações com a água, ou seja, vai ser como as moléculas apolares estivessem sendo “excluídas” do meio e, logo, tenderão a se agruparem podendo formar interações entre si, como interações hidrofóbicas e forças de Van der Waals. Por isso, moléculas apolares em meio aquoso tendem a formarem aglomerados espontaneamente, exatamente por esta aparente exclusão.

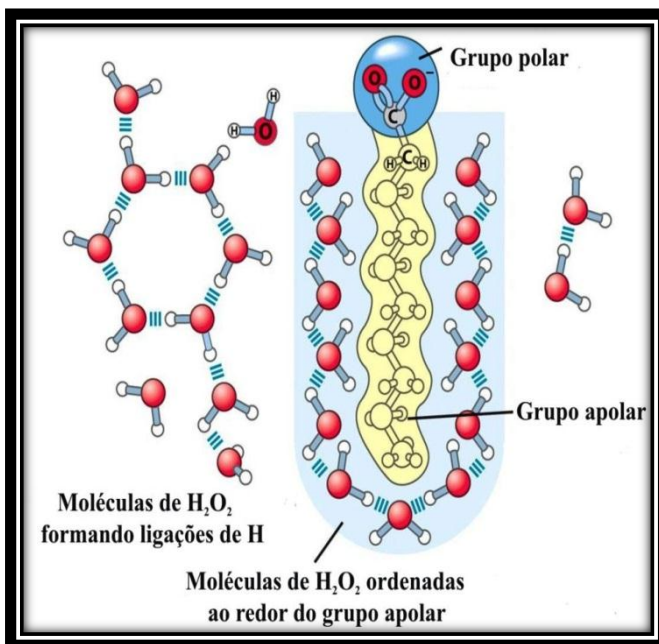
### **3.4 Interações entre água e biomoléculas**

Para solubilizar compostos polares não-iônicos, ou seja, moléculas (portanto, átomos unidos entre si por ligação covalente) com certos grupamentos polares, a água interage (através de seus pólos negativos e positivos) com os grupamentos constituintes dessas moléculas, podendo inclusive estabelecer interações intermoleculares como pontes de hidrogênio e interações eletrostáticas. Dessa forma é possível solubilizar aminoácidos (que estão ionizados em pH fisiológico), proteínas (que são polímeros de aminoácidos), algumas vitaminas, açúcares (glicídios), nucleotídeos, ácidos nucléicos e outros componentes celulares.



Muitos fosfolípidos e glicolípidos formam, espontaneamente, bicamadas em meio aquoso, sendo este um processo auto-produzido. Para isso devemos lembrar que, como foi visto anteriormente, os fosfolípidos possuem tanto uma região polar (“cabeça”) como uma apolar (representada pela longa cadeia de ácidos graxos, a “cauda”), ou seja, são moléculas anfipáticas.

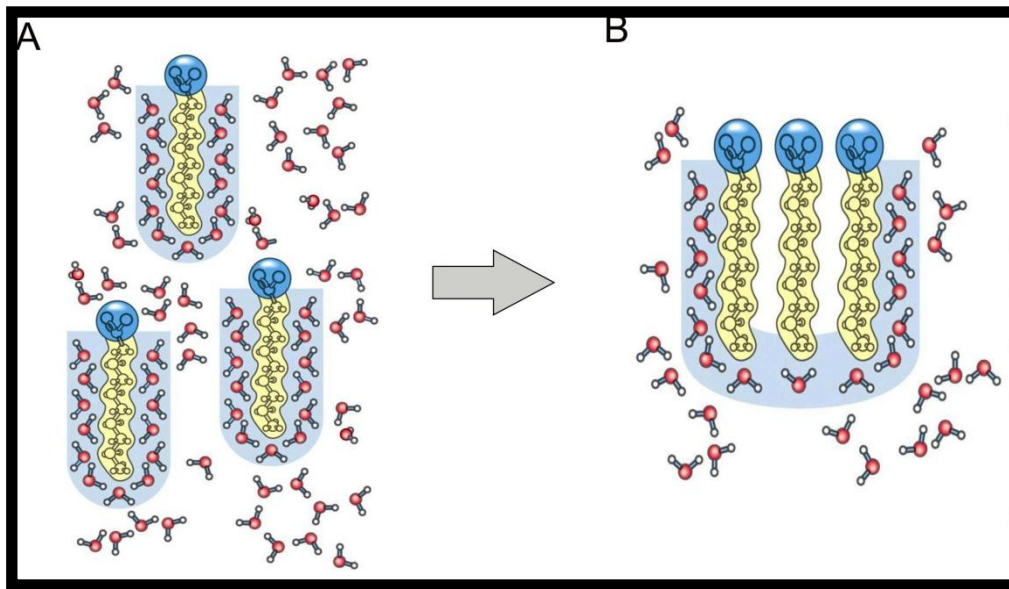
Para moléculas anfipáticas como os fosfolípidos, temos formas especiais de organização em meio aquoso. Tendo estes uma cabeça polar e conseqüentemente hidrofílica, ou seja, podem interagir com as moléculas de água formando ligações de hidrogênio e uma cauda apolar terminam sendo estas circundadas pelas moléculas de água mas sem interação (Figura 19). Logo um fosfolípido em meio aquoso tem sua cabeça formando ligações de hidrogênio com as moléculas de água e sua porção apolar circundada e comprimida pelas mesmas, formando a “gaiola” de moléculas de água ao redor da porção apolar. O mesmo que acontecia com o exemplo citado anteriormente na Figura 15, da molécula de propano colocada em meio aquoso, era circundada por moléculas de água mas sem interagir formando a gaiola como mostrado na Figura 16.



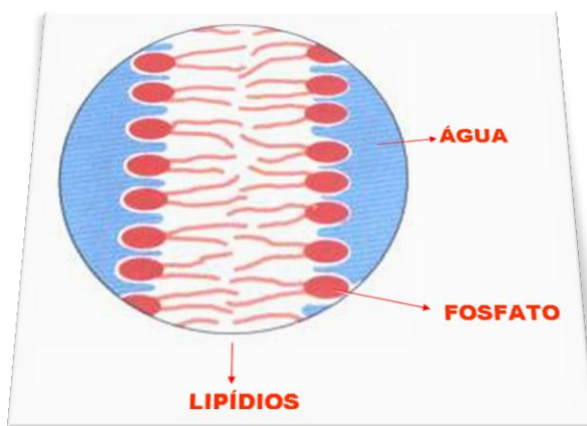
**Figura 19** – Esquema de um fosfolípido em meio aquoso, salientando como as moléculas de água envolvem a porção apolar

Se varias moléculas de fosfolípidos estiverem em meio aquoso, vai ocorrer o mesmo com as moléculas, ou seja, teremos as varias moléculas de fosfolípidos com a cauda envolvida por moléculas de água e a cabeça formando ligações de hidrogênio e interações eletrostáticas com as mesmas (Figura 20A). As caudas apolares dos fosfolípidos tendem a se aproximarem e se agruparem quando estão em meio aquoso, pois “querem” reduzir o contato com a água, que é energeticamente desfavorável, então tem uma afinidade maior por ficarem

próximas, diminuindo essa zona de contato como mostrado na Figura 20B, passando a formarem estruturas mais organizadas e mais compactas, já que no contato de um fosfolípido e outro elimina o contato com as moléculas de água q estavam circundando a cauda apolar.



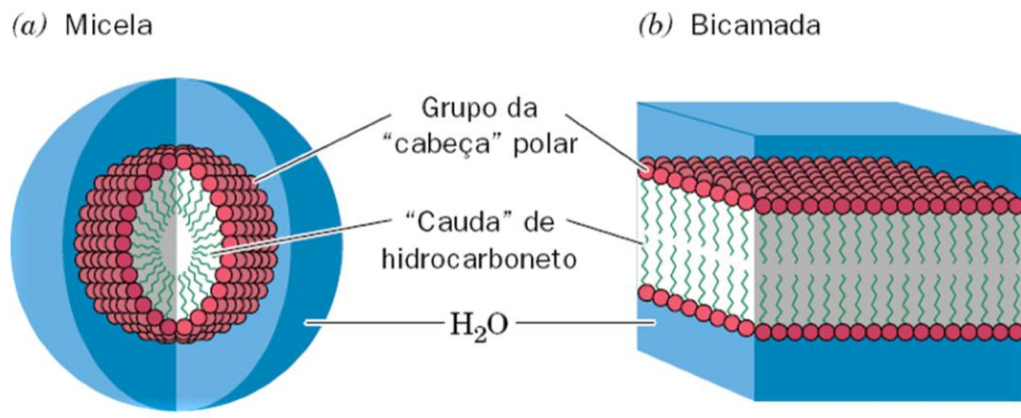
**Figura 20** – A) esquema mostrando algumas moléculas de fosfolípidos tendo suas caudas apolares circundadas pelas moléculas de água; B) esquema mostrando essas moléculas de fosfolípidos se agrupando e reduzindo a região de contato com as moléculas de água.



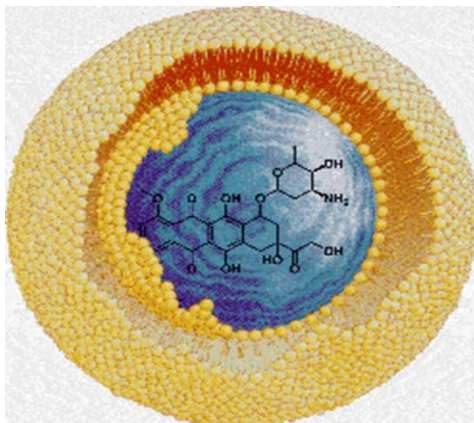
**Figura 21** – Figura salientando a porção hidrofóbica que está “escondida” do meio aquoso, de maneira a reduzir a zona de contato das caudas apolares com a água, enquanto as cabeças polares ficam em contato com o meio aquoso, estando então voltadas para o mesmo.

Ainda para diminuir o contato com a água, os fosfolídeos podem se “esconder” da água formando regiões hidrofóbicas, que reduz bastante esse contato, ficando com as cabeças polares estabelecendo contato com o meio aquoso (Fig. 21).

Dessa forma, os fosfolídeos tendem a formar estruturas mais organizadas em meio aquoso como micelas e bicamadas (Figura 22).



**Figura 22** - Estrutura de micelas e bicamadas. Em solução aquosa, os grupos da cabeça polar de moléculas anfipáticas estão hidratados, enquanto as caudas apolares se agregam pela exclusão da água. (a) Uma micela é um agregado esférico. (b) Uma bicamada é um agregado planar estendido.



**Figura 23** – Estrutura de um lipossoma

Uma terceira estrutura possível é o lipossoma (Figura 23), que é uma vesícula formada por uma bicamada lipídica. O lipossoma é uma forma de liberação de fármacos bastante eficiente: pode-se inserir qualquer substância no interior do lipossomo e no momento que a vesícula encontrar o tecido, funde-se com a membrana celular, arremessando o composto no interior celular. Este método facilita a absorção de fármacos. Um exemplo

são os lipossomas encontrados em cremes, que facilitam a absorção de algumas substâncias pela pele. Outros são os lipossomos projetados para uso em tumores sólidos.

Nas proteínas, a água interage com os grupamentos dos aminoácidos, hidratando toda a cadeia polipeptídica. Os aminoácidos que possuem pouca afinidade pela água (hidrofóbicos) permanecem no interior da estrutura enquanto os aminoácidos mais polares situam-se nas regiões externas interagindo com a água. Aminoácidos quando estão ionizados podem estabelecer interações eletrostáticas com a água da mesma forma do que os íons. O mesmo acontece com o DNA, seus grupos fosfato

negativamente carregados ficam em contato com a água estabelecendo esse tipo de interações, enquanto as bases nitrogenadas hidrofóbicas ficam no interior na molécula.

Açúcares também podem ser dissolvidos em água pois possuem grupamentos polares capazes de formarem ligações de hidrogênio com a água. Por exemplo, na estrutura da glicose, mostrada na Figura 24, cada grupamento  $-OH$  pode formar ligações de hidrogênio com a água.

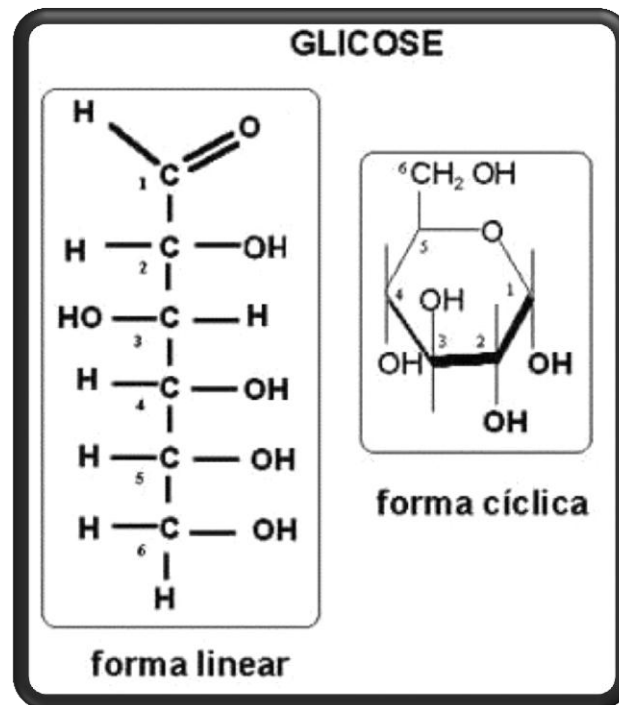


Figura 24 – Estrutura linear e cíclica da glicose

## 4. Propriedades da água

### 4.1 Meio de transporte

Como todos os compartimentos do organismo são aquosos, o transporte de moléculas é feito através da sua difusão na água. Assim, a circulação pode carregar gases (os quais estão dissolvidos no plasma), gorduras (que podem transitar na circulação conjugadas com a albumina ou em partículas lipoprotéicas, ambas solvatadas

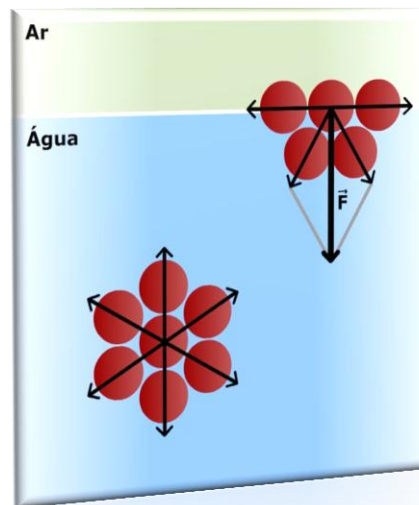
pela água), eletrólitos (hidratados no plasma), proteínas, etc a todos lugares do corpo. Isso é possível pois a água é capaz de dissolver toda essa gama de substâncias.

#### 4.2 Reações de hidrólise

Uma série de reações do metabolismo requer a participação de água, tais como as reações de hidrólise (lise= quebra), ou seja, quebra pela água. Um exemplo importantíssimo é a hidrólise do ATP (trifosfato de adenosina, o composto energético da célula).

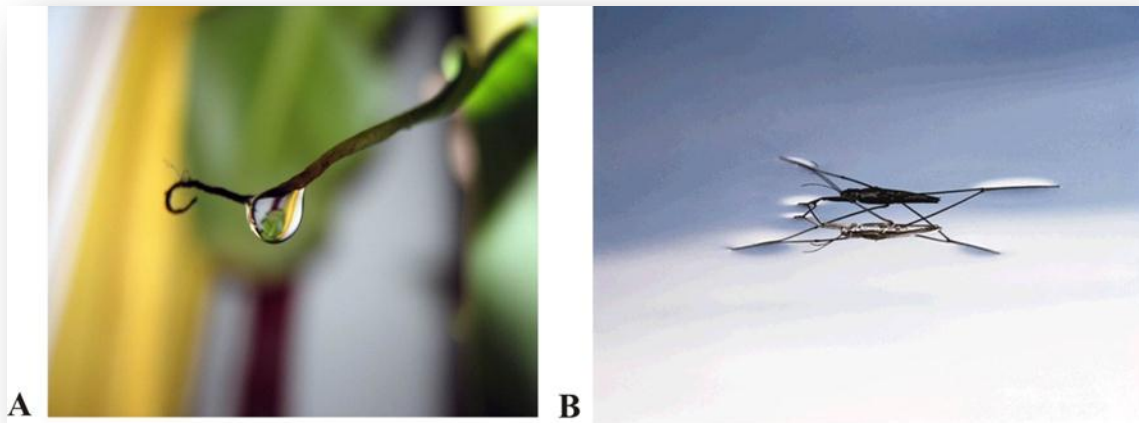
#### 4.3. Importância da tensão superficial

No interior de uma quantidade de água, as moléculas sofrem atração umas pelas outras (formam ligações de hidrogênio), de modo que a força resultante sobre cada molécula é nula (Figura 25). Entretanto, na superfície da água, as moléculas estão em contato tanto com outras moléculas de água como com moléculas de gases presentes no ar. A atração do ar pelas moléculas de água é muito menor do que a que ocorre entre as moléculas água-água, de modo que a força resultante nas moléculas de superfície não é nula. Logo, a força de atração das moléculas de água da superfície tendem para o interior (Figura 25). A consequência disso é a formação de um filme, uma finíssima membrana que limita a água e dificulta que gases a penetrem. Além disso, esse filme constitui uma barreira mecânica, que dificulta a penetração de pequenas partículas na água. Um exemplo claro dessa barreira mecânica é mostrado na figura a seguir. Devido a essa propriedade que as gotas de água possuem



**Figura 25** – Figura mostrando o sentido das forças de atração das moléculas de água

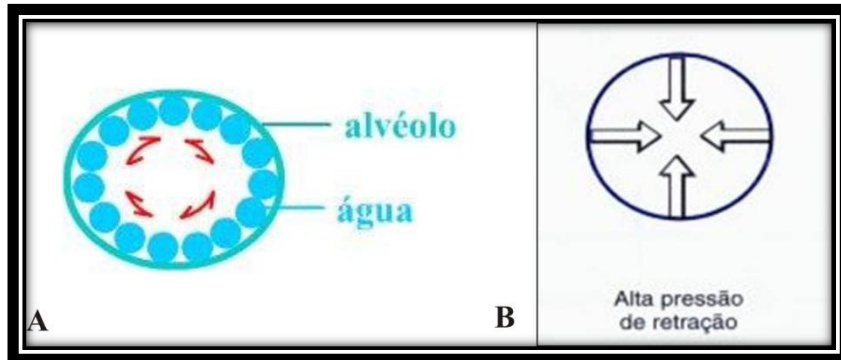
formato arredondado e insetos como o alfaiate conseguem se locomover sobre a água (Figura 26). A essa propriedade da água damos o nome de tensão superficial, que é a força necessária para qualquer molécula atravessar essa camada. A água é a substância de maior tensão superficial da natureza.



**Figura 26** – A) Figura mostrando uma gota de água salientando o formato arredondado provocado pela tensão superficial B) Inseto alfaiate se locomovendo sobre a superfície da água sendo isso possível pela tensão superficial

Quando inspiramos certa quantidade de ar, necessitamos que o  $O_2$  penetre nossos alvéolos para que seja transportado para todas as nossas células. Mas há na luz dos alvéolos entre outras coisas, por água e apresenta, logo, tensão superficial. Essa propriedade dificulta as trocas gasosas no nível dos alvéolos nos mamíferos terrestres. Antes do nascimento do indivíduo o pulmão está preenchido por líquido, depois do nascimento esse líquido é expelido (por isso coloca-se o nenem de cabeça para baixo e dá-se um tapinha no bumbum para ajudar a expelir esse líquido e ter a primeira inspiração). Mas mesmo assim, na superfície do alvéolo ainda permanece uma fina camada de água e esse filme líquido apresenta uma tensão superficial tão alta que impede a passagem de gases. Para os gases atravessarem a barreira líquida eles deveriam exercer uma força muito grande. Além de dificultar as trocas gasosas, a alta tensão superficial dessa fina camada de líquido que recobre a superfície do alvéolo forma uma camada tão compacta que pode impedir a abertura do alvéolo. É como se o

filme de líquido puxasse as paredes dos alvéolos até que eles colabassem (Figura 27). Analogamente podemos imaginar um saco plástico, então se colocar a boca no saco plástico e sugar o ar o saco vai esvaziar e suas paredes vão ficar encostadas ou seja houve um colapamento do saco plástico.

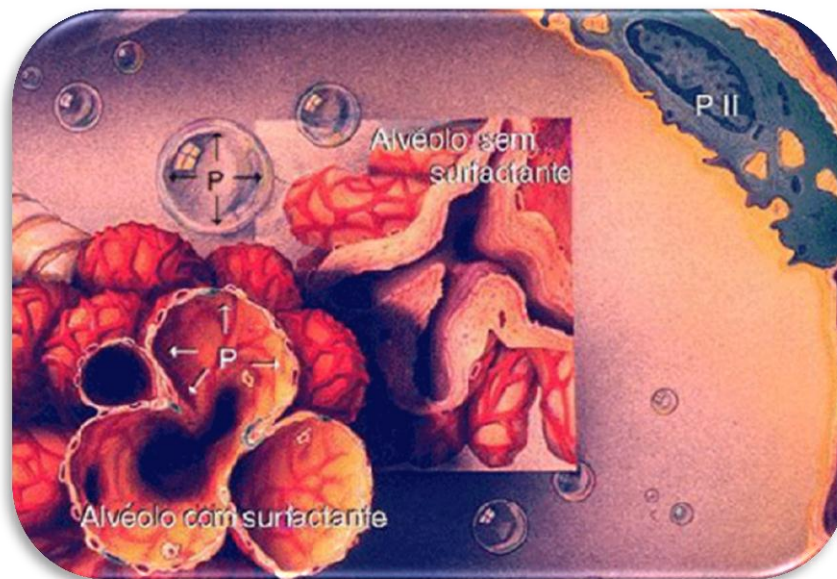


**Figura 27** – A) Figura esquemática mostrando o alvéolo com uma fina camada de água no interior B) Figura mostrando a força de atração exercida pela camada de água no interior do alvéolo

Entretanto, o organismo resolveu este problema secretando substâncias que reduzem a tensão superficial nessa região, os surfactantes. O surfactante tem uma natureza anfipática, ou seja possui uma porção polar em sua molécula e uma porção apolar (geralmente lipídica), como observado nos detergentes. Sendo um detergente, a região polar atrai algumas moléculas de água da superfície do filme líquido e estabelece interação com a região. Além disso, as moléculas do surfactante podem se intercalar entre as moléculas de água da monocamada para propiciar a exposição da região apolar com o ar e assim desfazer a continuidade do filme líquido. Assim sendo, os gases podem transitar e as trocas gasosas (hematose) podem ocorrer sem problemas. O surfactante reduz a tensão superficial, ou seja, diminuem as forças que estão atraindo as moléculas de água, passando a ter uma baixa pressão de retração (Figura 28) e assim **impede que os alvéolos colabem** (Figura 29).



**Figura 28** – Figura esquemática mostrando a redução da força de atração exercida pela camada de água no interior do alvéolo pela presença do surfactante

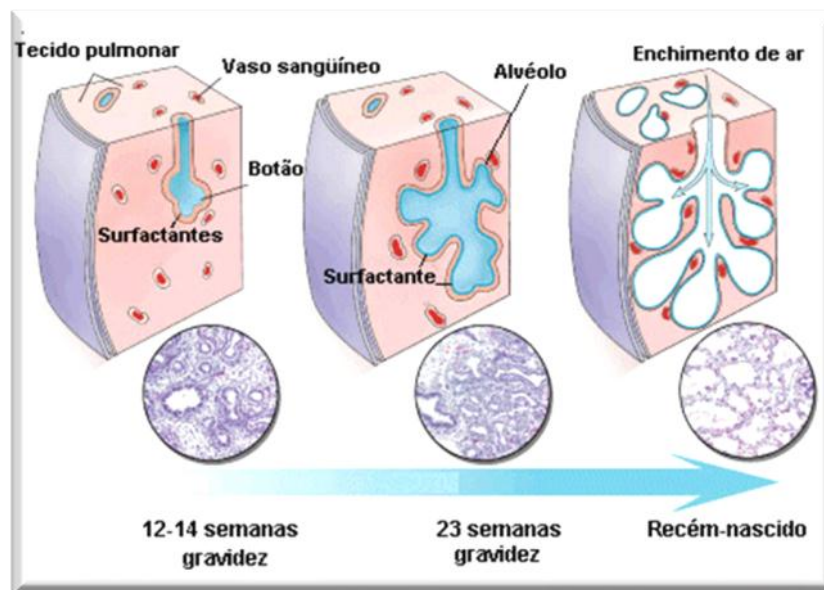


**Figura 29** – Figura comparando um alvéolo com o surfactante bastante expandido e outro alvéolo sem o surfactante, estando este colabado

Portanto, entre a 12-14<sup>o</sup> semana de gestação, produz-se o surfactante pulmonar pelos pneumócitos tipo II, formado principalmente por uma substância chamada dipalmitoil lecitina. Quando o recém-nascido não possui surfactante um grave quadro de cianose se estabelece – a doença da membrana hialina do recém-nascido. Para solucionar esse problema faz-se uso da administração de surfactantes sintéticos em aerossol ou uso de compostos tiólicos (contendo o grupamento S-H) como a N-acetilcisteína. Em nascimentos prematuros é possível a administração de uma alta dose de glicocorticóides cerca de 48h antes do parto para acelerar a maturação dos pneumócitos. Os adultos também podem apresentar quadros agudos da doença com acúmulo de líquidos nos alvéolos em função de outras patologias como a acidose metabólica, edema pulmonar ou em cirurgias cardíacas que fazem uso da circulação extracorpórea.

Nos maioria dos afogamentos, a água penetra no tubo digestivo em razão de um rápido reflexo que impede o acesso ao pulmão. Nessa situação, o indivíduo sempre sobrevive. Ao contrário, quando a água penetra na região pulmonar geralmente o acidente é letal. A causa, ao menos em parte, deve-se ao desbalanço entre o conteúdo de líquido na cavidade pulmonar e a quantidade de surfactante disponível.





**Figura 29** – Figura mostrando o desenvolvimento alveolar e a produção de surfactante

Uma vantagem da tensão superficial foi permitir a compartimentalização biológica ao longo da evolução das espécies.

#### 4.4. Importância da viscosidade

Viscosidade é a resistência de um fluido ao escoamento. A água é a substância de maior tensão superficial, entretanto sua viscosidade é baixíssima. Esse contraste pode ser explicado pelo rearranjo das ligações de hidrogênio entre as moléculas, o que acontece a cada  $10^{-11}$  segundos. Um aspecto importante da viscosidade do plasma é a sua função hemodinâmica. Alterações que tornam o sangue mais viscoso irão requerer um maior trabalho cardíaco para realizar o bombeamento na mesma vazão.

Pacientes com uma doença conhecida como hipercolesterolemia familiar não conseguem absorver o colesterol da circulação. Esse acúmulo de gordura aumenta a viscosidade do sangue e conduz a um maior esforço cardíaco, podendo levar à insuficiência cardíaca. Alguns fármacos inibem a síntese de colesterol e são indicados

nesse caso para redução da viscosidade do plasma. Essa classe de fármacos são as estatinas de baixo peso molecular (sinvastatina, lovastatina, pravastatina).

A viscosidade do sangue é maior que da água pura, em razão dos compostos que encontram-se dissolvidos nesse líquido, especialmente gorduras e proteínas. Alguns líquidos corporais possuem um valor de viscosidade extremamente elevado, tal como a sinóvia (ou líquido sinovial). Considerando que a função desse líquido é a lubrificação de articulações, realmente, a viscosidade deve ser elevada para impedir o escoamento.

#### **4.5 Importância do calor específico**

Calor específico é a quantidade de energia que se deve fornecer a uma substância para elevar a sua temperatura em 1°C. Em função da forte organização das moléculas de água pela formação de pontes de hidrogênio, a água possui um elevado calor específico.

Devido a esse alto calor específico a água tem resistência a mudar de estado físico, ou seja, precisa de grande quantidade de energia para passar ao estado de vapor ou perder grande quantidade para virar gelo, então tem uma estabilidade térmica bastante elevada.

Cabe aqui então uma pergunta: Por que a água é líquida a temperatura ambiente? Já que via de regra quanto maior for o peso molecular (PM) de uma substância, maior é a probabilidade de ser um sólido ou um líquido a temperatura ambiente. Por exemplo, metano (PM = 16), etano (PM = 30) e o dióxido de carbono (PM = 44) são todos gases a temperatura ambiente. No entanto, a água que possui um PM menor ou igual a estes compostos é líquida nesta mesma temperatura. Isso ocorre exatamente devido a formação das ligações de hidrogênio que mantém a água coesa, ou seja, unida em um estado líquido impedindo que se dispersem na forma de vapor, diferente das demais moléculas citadas que são apolares e conseqüentemente não formam ligações de hidrogênio não mantendo-se unidas e se dispersando facilmente.

O papel da água nos organismos vivos é a moderação térmica, uma vez que os organismos vivos são  $\frac{3}{4}$  de água. Essa grande estabilidade térmica da água sendo necessária uma grande quantidade de energia para aumentar em 1°C a temperatura da água, portanto, seria necessário fornecer muito calor para alterar a temperatura corpórea

de um animal. Por isso, o alto calor específico da água é importante para a regulação da temperatura corporal de animais homeotermos. Por exemplo, uma pessoa pode estar em um ambiente a 40°C e a temperatura corpórea permanece em 37°C. Uma vez que é necessária uma grande quantidade de energia para aumentar a temperatura corporal, também é necessário remover uma grande quantidade de energia para resfriar o corpo. Por isso, o alto calor específico é importante para impedir o resfriamento dos animais, já que a água consegue absorver grandes quantidades de energia sem mudar de estado físico, conseguindo então absorver a energia térmica em excesso no organismo. É por isso que podemos caminhar na rua a 15°C e continuamos a 37°C.

A água também possui um alto calor de vaporização, ou seja, é preciso muita energia para promover a evaporação da água. Portanto, se um organismo recebe uma quantidade muito grande de calor, a água do seu corpo não entra em ebulição. Essa quantidade extra de energia deve ser dissipada com a finalidade de não alterar a temperatura corporal. A alta quantidade de calor é eliminada através da perda de uma pequena massa de água através de sudorese, do ofego ou da perspiração insensível. Então, a importância do alto calor específico também é promover a eliminação do excesso de energia (calor).

#### **4.6 Influência da densidade**

Já que de  $\frac{3}{4}$  da composição dos tecidos biológicos deve-se a água e portanto, a densidade desses tecidos é similar a da água. Uma exceção é observada em tecidos pobres em água, como o tecido ósseo, o que lhes confere a resistência mecânica necessária para manutenção do esqueleto.

A densidade dos líquidos biológicos é próxima a da água mas sempre maior, pois além de água, os fluidos do corpo contém solutos dissolvidos, como proteínas e gorduras. A densidade da urina é determinada muito facilmente em laboratório (é um parâmetro do exame qualitativo de urina) e tm importância clínica. Por exemplo, um paciente diabético com perda elevada de glicose na urina (um quadro denominado glicosúria) apresentará uma densidade fora do normal.

#### 4.7 Coesão, Adesão e Capilaridade

As moléculas de água estão unidas através das pontes de hidrogênio. Essa união entre as moléculas é chamada de coesão. Coesão é a capacidade que uma substância tem de permanecer unida, resistindo à separação. Podemos observar essa coesão em uma gota de água sobre uma superfície, formando uma espécie de película resistente, pois as moléculas estão fortemente aderidas umas às outras.

Além das forças de coesão, a água também pode se aderir à outras moléculas. Isso pode ocorrer graças à sua polaridade. A água tende a atrair e ser atraída por outras moléculas polares. Essa atração entre as moléculas de água e outras moléculas polares é chamada de adesão.

A capilaridade é um fenômeno físico resultante das interações entre as forças de adesão e coesão da molécula de água. É graças a capilaridade que a água desliza através das paredes de tubos ou deslizar por entre poros de alguns materiais. Quando se coloca um tubo de fino calibre em contato com água, o líquido tende a subir pelas paredes desse tubo, graças às forças de adesão e coesão. A adesão está relacionada com a afinidade entre o líquido e a superfície do tubo, pois há a formação de pontes de hidrogênio entre os dois. Graças à coesão das moléculas de água, também proporcionada pelas pontes de hidrogênio, elas mantêm-se unidas, e umas acabam arrastando as outras pela coluna, elevando o nível de água.

Essas propriedades são fundamentais para a água poder circular nos vasos dos organismos, sejam vasos sanguíneos dos animais ou vasos condutores das plantas.

#### **Curiosidade:**

##### **Sabem por que a água possui uma coloração levemente azulada?**

A coloração da água está relacionada às ligações de hidrogênio e às suas vibrações. Quando uma molécula de água vibra, ela afasta as moléculas vizinhas às quais está unida por ligações de hidrogênio. Essa alteração vibracional ocorre com absorção de energia luminosa. No caso da água, não ocorre absorção da luz cuja frequência corresponda à região do azul, sendo ela portanto refletida. A mesma tonalidade azulada é muitas vezes vista nas formações de gelo.

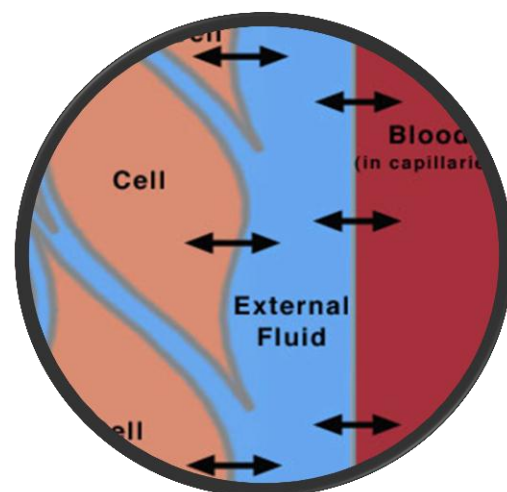
## 5. *Compartimentos e Líquidos do Organismos*

A distribuição de água nos organismos vivos acontece de forma heterogênea, de modo a permitir que o corpo apresente graus variados de resistência mecânica; regiões mais pobres em líquido mostram uma consistência e dureza maior enquanto as vísceras com maior conteúdo de água são mais moles. Quando analisamos os diferentes filos do reino animal, podemos observar que a composição líquida corpórea dos animais é constante e em torno de 60 a 70% de sua massa.

Nos mamíferos de modo geral, esse líquido está distribuído em três compartimentos distintos:

- a) o compartimento intracelular, o qual corresponde a água contida no interior das células.
- b) o compartimento extracelular, representando a água localizada fora das células, ou seja, água contida no espaço vascular (no plasma, que é a fração líquida do sangue), vasos linfáticos, na região intersticial e nos espaços aquosos menores.
- c) Alguns autores ainda consideram a água transcelular, que representa a água em trânsito na luz do trato gastrointestinal (compondo os sucos digestivos) e urinário. Essa água é praticamente reabsorvida em sua totalidade ao longo do dia

O líquido intersticial é o líquido que nutre e banha os tecidos, envolvendo as células. Os vasos sanguíneos constituem um sistema fechado de circulação, de maneira que as substâncias (nutrientes, gases) são transportadas do sangue para a região intersticial e então, do líquido intersticial para o interior das células dos tecidos adjacentes ao vaso. O líquido intersticial é continuamente drenado pela circulação linfática. Da mesma maneira, as substâncias secretadas pelos tecidos primeiramente passam para o

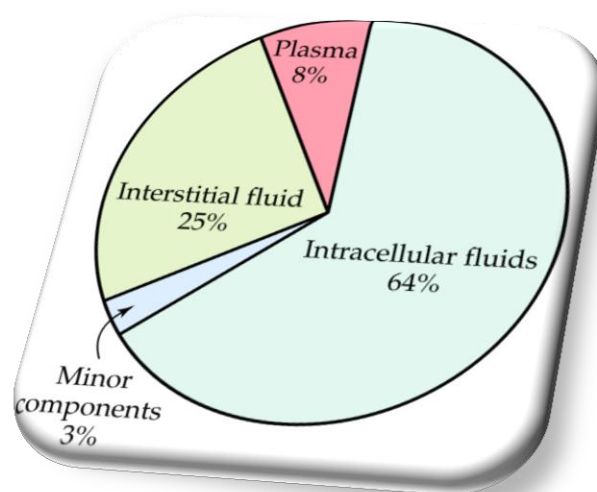


**Figura 30** – Esquema mostrando a comunicação existente entre os compartimentos

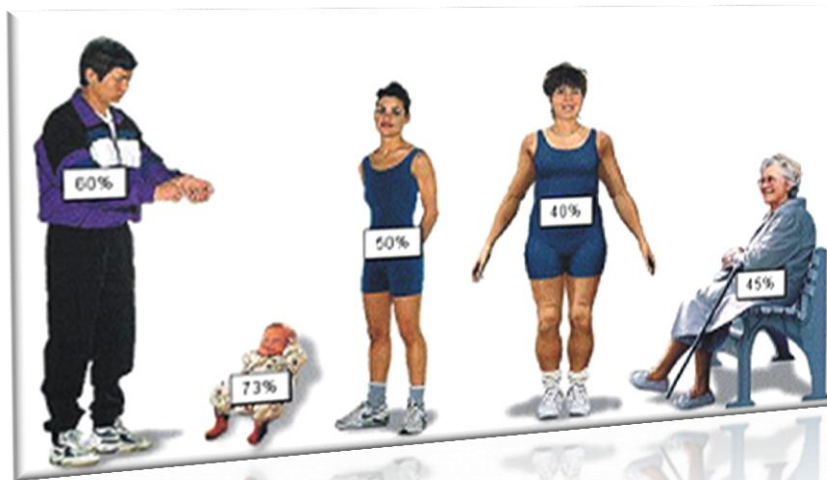
interstício e posteriormente difundem-se para os vasos. Para chegar à célula ou ao vaso, qualquer molécula deve transitar antes pelo interstício (Figura 30).

Enquanto a circulação vascular é um sistema fechado de trânsito de líquido, a circulação linfática é um sistema fechado de terminações cegas. Os vasos linfáticos terminam em nível de tecidos, local em que atuam na regulação do volume de líquido intersticial. Nas regiões de linfonodos, os vasos linfáticos podem comunicar-se com o sistema vascular e realizar intercâmbrio de líquidos e substâncias.

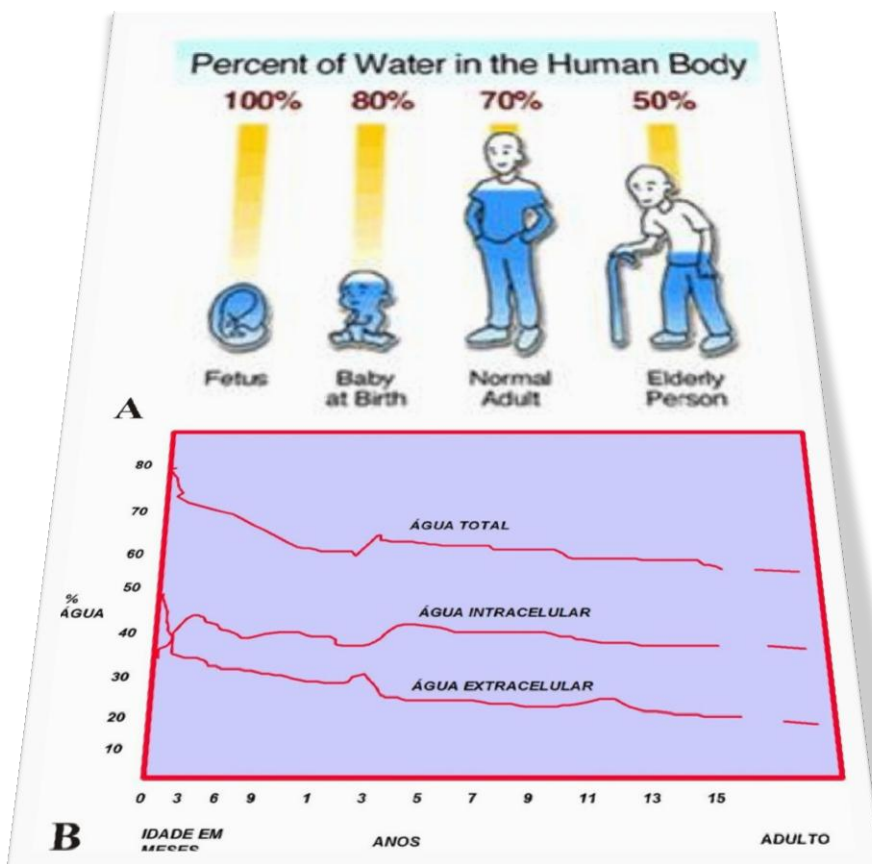
No organismo humano, 64% do volume de líquido está presente no compartimento intracelular, 25% no interstício, 8% no espaço vascular. Essa prevalência de volume do interstício em relação ao sangue também pode ser observada em outros animais. Ainda há 3% nos espaços aquosos menores (Figura 31). Os espaços aquosos menores compreendem outros líquidos extracelulares, como o líquido pleural, humor aquoso, líquido sinovial, lágrimas e outros. Ainda existem os espaços potenciais, sendo a melhor maneira de descrever um espaço potencial do organismo é listar alguns exemplos: cavidade pleural, cavidade pericárdica, cavidade peritoneal, cavidades sinoviais, incluindo junções e a bursa. Os espaços potenciais possuem superfícies em contato, contendo apenas uma fina camada de fluido entre elas. A membrana de superfície de um espaço potencial não oferece resistência significativa a passagens de fluidos e eletrólitos, os quais movem-se constantemente entre interstício e espaço potencial.



**Figura 31** – Gráfico representando a distribuição em porcentagem do conteúdo de água corpórea



**Figura 32** – Figula ilustrando a variação da % de água corpórea segundo o peso, idade, gênero e tipo físico



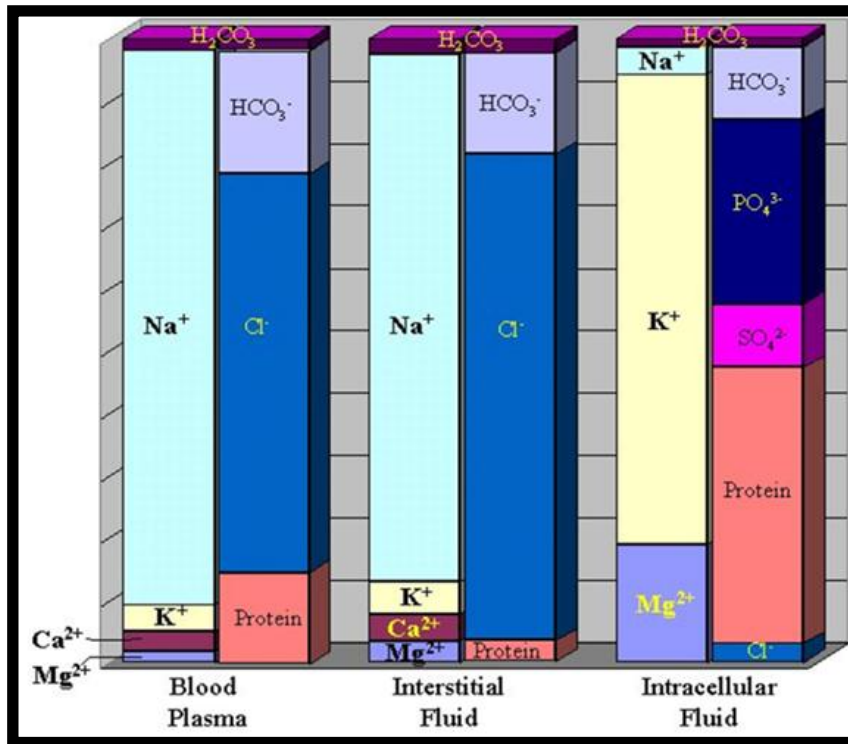
**Figura 33** – Figula ilustrando a variação da % de água corpórea segundo o avanço do desenvolvimento A) Mostrando que com o aumento da idade reduz a % de água corpórea B) Gráfico indicando uma redução da % de água corpórea total com o aumento da idade e as variações da % de água intracelular e extracelular

Em seres humanos adultos, a porcentagem de água corpórea está em torno de 70% da massa corporal, variando com peso, idade, gênero e tipo físico (Figura 32). Por exemplo, pessoas obesas possuem uma massa grande de tecido adiposo em seu peso corpóreo. Entretanto, os adipócitos são células de acúmulo de gordura e por isso possuem um conteúdo muito pequeno de água. Dessa maneira torna-se fácil entender por que uma **pessoa obesa possui menos água** corpórea que uma pessoa magra.

A Figura 33A mostra a variação da porcentagem de água corpórea segundo o desenvolvimento do organismo. Pode-se observar que em fetos quase 100% da massa corporal é água. Nas crianças esse valor reduz-se a 80%, em adultos em torno de 60-70% e 50% em idosos. Portanto a porcentagem de água total do organismo diminui com a idade como visto na Figura 33B. Como também pode ser observado na Figura 33B, durante certo período do crescimento, a quantidade de água do compartimento intracelular sofre um aumento e a quantidade de água intersticial sofre uma considerável redução, pois há **retração do espaço extracelular** durante o desenvolvimento. Isso ocorre, pois novas células devem ocupar espaço e, desta forma, vão enchendo o espaço intersticial disponível, conseqüentemente aumenta o conteúdo de água intracelular com a idade e reduz o conteúdo de água extracelular (Figura 33B).

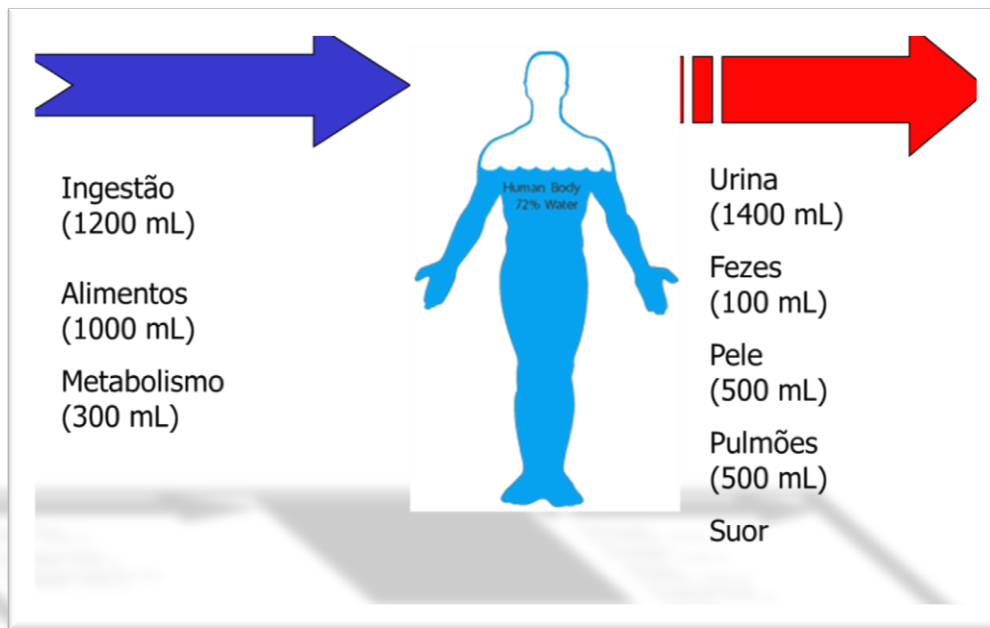
Os compartimentos também apresentam composições eletrolíticas e protéicas diferenciadas. O compartimento extracelular possui uma concentração maior de íons sódio e cloreto, sendo pobre em potássio. O compartimento intracelular possui uma elevada concentração de potássio e é pobre em termos de sódio e cloreto. A composição do fluido intracelular apresenta uma quantidade muito maior de proteínas. As proteínas são macromoléculas biológicas executoras das funções biológicas tais como catálise de reações (enzimas), sustentação (proteínas do citoesqueleto), sinalização (receptores), transporte (canais e bombas de membrana), geração de energia, funções informacionais (proteínas envolvidas na replicação de DNA, transcrição e tradução) etc. Então, é lógico que elas são muito mais importantes dentro da célula que fora. Na circulação (espaço extracelular) as proteínas desempenham principalmente funções de transporte (ex: a albumina ajuda a carregar os ácidos graxos no sangue), sinalização (alguns hormônios de natureza protéica), manutenção da pressão oncótica (albumina), coagulação e defesa (anticorpos). Portanto, concentração de proteínas do vaso sanguíneo é cerca de seis vezes a do interstício.





**Figura 34** – Figura mostrando a composição eletrolítica dos diferentes compartimentos

O balanço hídrico relaciona as vias de entrada e saída de água do organismo (Figura 35). As principais vias de entrada são a ingestão de líquido, a ingestão de alimentos e a água endógena (ou água metabólica), que é a água proveniente das reações de oxidação do metabolismo, uma vez que a oxidação de glicídios, ácidos graxos e aminoácidos no ciclo de Krebs e cadeia transportadora de elétrons gera gás carbônico e água, os produtos finais da oxidação da matéria orgânica. Por exemplo, em animais que hibernam a degradação dos ácidos graxos (gorduras) do tecido adiposo fornece uma quantidade muito grande de água para ser utilizada pelo organismo. As principais vias de eliminação de líquido do organismo são a urina, fezes, a pele (perspiração insensível e pelas glândulas sudoríparas) e pelos pulmões (no ar aquecido eliminado na ventilação pulmonar e no ofego, em animais que não possuem quantidade significativa de glândulas sudoríparas).



**Figura 35** – Figura mostrando as principais vias de entrada e saída de água no

O requerimento basal de água para o adulto varia de 1,25 a 3 litros por dia, dependendo da superfície corporal, quantidade de massa celular, idade e sexo. O requerimento basal de líquido também relaciona-se com a taxa metabólica do indivíduo, a qual é determinada por diversos fatores. No contexto de organismo humano, é importante notar que a taxa metabólica é regulada e afetada diretamente pela resposta hormonal, notadamente pelos hormônios tireoidianos.

É importante considerar que os três compartimentos estão interconectados (afinal todos usam água como meio de transporte) e em equilíbrio. A água pode mover-se livremente entre eles. Assim sendo, uma redução ou aumento no volume de algum compartimento irá refletir em alterações nos outros. Em patologias com secreção muito alterada de hormônios da tireóide, conhecida como tempestade tireoidiana, a requisição de água é muito elevada em razão da perda que ocorre pelas crises febris. No hipotireoidismo, é comum encontrarmos pacientes com intoxicação hídrica, gerada pelo excesso da ingestão de água em situação de metabolismo reduzido.

Alguns animais realizam adaptações em seu balanço hídrico em função do ambiente em que vivem. O rato canguru, espécie comum nos desertos americanos, bebe 6 mL de água em um mês (a água é escassa) e obtém 54 mL através da oxidação de 100 g de cevada (comum no seu habitat). Em função disso, perde pouca água na urina

(apenas 13,5 mL por mês – urina bastante concentrada), pouca água nas fezes ( apenas 2,6 mL) e a maior parte de água é eliminada na evaporação pelos pulmões (para resfriar o corpo que está no deserto). E lembre que ratos não tem glândulas sudoríparas. Alguns camelos no deserto possuem uma secreção nasal extremamente higroscópica que captura a água que eles perderiam na respiração, contribuindo para a economia de água. Por curiosidade, existe uma espécie de camelo na região norte da Índia que bebe apenas água salgada.

Diversos mecanismos fisiológicos operam para manter constante o volume dos compartimentos, tais como o mecanismo da sede, a secreção do hormônio antidiurético (que promove a reabsorção tubular de água no ducto coletor renal) e as alterações na eliminação do íon sódio pelos rins na urina. O íon sódio é um dos principais responsáveis pela manutenção do volume do líquido extracelular. O organismo tenta ao máximo manter o seu balanço hídrico, mesmo em situações patológicas, para que não ocorram alterações de volume dos compartimentos. Por exemplo, o paciente diabético (Diabetes insipidus; causada pela redução da produção de hormônio antidiurético pelo hipotálamo – dito diabetes insipidus central - ou pela impossibilidade de ação desse hormônios nos túbulos renais em consequência de defeitos em receptores ou em canais de aquaporina 2 – conhecido como diabetes insipidus nefrogênico) possui uma eliminação de elevado volume urinário (poliúria), podendo causar uma desidratação. Como organismo necessita manter o balanço hídrico para manutenção da homeostase, esse indivíduo apresenta uma sede muito aumentada (polidipsia) para compensar o líquido perdido pela urina. No diabetes insipidus o paciente pode eliminar até 9 litros de urina por dia, justificando sua sede anormal.

As desidratações são os quadros patológicos caracterizados por um aumento na perda de líquido do organismo. Essa perda elevada pode ocorrer pelas diversas vias. Por exemplo, em pacientes com insuficiência suprarrenal existe uma perda elevada de líquido pela urina. Em alguns casos ocorre uma perda excessiva de água nas fezes (quadro conhecido como diarreia), o qual pode ser causado por agentes infecciosos microbianos (ex: infecção intestinal por *Salmonella sp.*) ou parasitários ( ex: amebas, outros protozoários, vermes....), reações inflamatórias entre outras causas. A pele elimina uma pequena quantidade de líquido pela perspiração insensível e uma quantidade razoável pela sudorese. Por exemplo, uma pessoa em prostração pelo calor

torna-se desidratada pela perda excessiva de líquido pela sudorese. Os pacientes com queimaduras graves apresentaram quadros complicados de desidratação pela perda contínua de líquido em função da disrupção da barreira epitelial. Os pulmões podem aumentar o ritmo de ventilação e assim provocar uma perda de água superaquecida na ventilação; essa é uma via importante na desidratação que ocorre em pacientes febris, para evitar o superaquecimento corporal. Crianças ou pacientes comatosos que não recebem o suprimento externo de líquidos adequado também apresentar-se-ão desidratados. Em algumas disfunções do hipotálamo, o mecanismo da sede fica afetado e com isso a ingestão de líquido não é apropriada. O aumento do metabolismo, observado em situações como queimaduras graves e hiperparatiroidismo também elevam a requisição de água enquanto a redução metabólica, como na velhice, infecções prolongadas, insuficiência renal e cardíaca e desnutrição reduzem a necessidade de água.

Em algumas situações, ocorre migração anormal de volume de líquido entre os compartimentos, conduzindo a quadros patológicos, que serão abordados a seguir. Por exemplo, em pacientes com uma fístula entérica, uma abertura que permite a perda de líquido do trato digestivo para a cavidade abdominal, ocorre perda de líquido do compartimento transcelular para o extracelular. Em pacientes com sangramento (hemorragia) gastrointestinal com catabolismo protéico intraluminal ocorre perda de líquido do compartimento extracelular vascular para o transcelular. Nos vômitos existe perda de água do trato digestivo. Relembrando, como os compartimentos estão interligados e em equilíbrio, independente do local de início da perda de líquido, todos demais são também afetados.

Considerando que as crianças possuem mais água intersticial que adultos, é possível entender a razão pela qual as diarreias (perda de água nas fezes) são mais graves na infância pois a perda de líquido da região intersticial no processo torna-se elevada e com isso o volume hídrico da criança reduz rapidamente.

As hiperhidratações ou intoxicação hídrica são quadros em que a ingestão de líquido é muito maior que a necessidade do organismo. Por exemplo, em cirurgias que duram por muito tempo é comum a infusão excessiva de líquido por via endovenosa.

**Referências:**

- VOET, D., VOET, J., PRATT, C.W. *Fundamentos de Bioquímica*, Artes Médicas Sul, Porto Alegre, 2008. ([NRB 653812](#))
- AIRES, Margarida de Mello. *Fisiologia*. 3ª Edição. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2008. ([NRB 653521](#))
- GARCIA, E. A. C. *Biofísica*. São Paulo, Sarvier, 1998. ([NRB 231085](#))
- GUYTON, A . C. *Tratado de Fisiologia Médica*. 11ª Edição, Rio de Janeiro, Elsevier 2006. ([NRB 546567](#))
- HENEINE, I. F. *Biofísica Básica*. 2ª edição, Atheneu, Rio de Janeiro, 1999. ([NRB 277346](#))
- NELSON, D. L. & COX, M. *Lehninger – Princípios de Bioquímica*. São Paulo: Sarvier, 4ª Edição, 2006. ([NRB 603380](#))