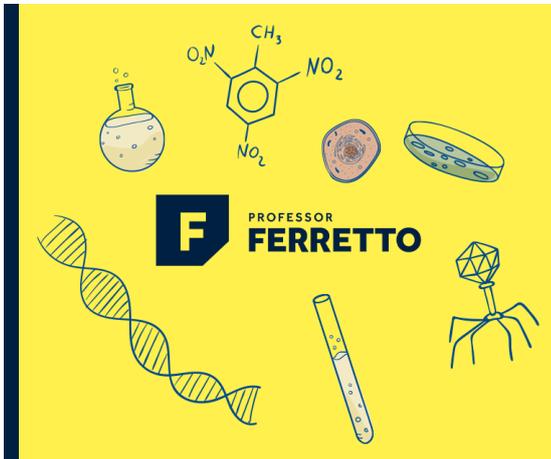


# Biologia

PROFESSOR FLÁVIO LANDIM



## CONSTITUINTES INORGÂNICOS DA CÉLULA

### Água

A água, quimicamente representada pela fórmula molecular  $H_2O$ , é a substância química mais abundante na matéria viva, correspondendo a cerca de 75 a 85% de uma célula, além de ser abundante no espaço intercelular dos seres pluricelulares, de modo que cerca de 60% de um animal e 75% de um vegetal são formados por água. Deste modo, a água é bem mais abundante que a matéria orgânica nos seres vivos. E, como a água possui dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio, o hidrogênio é o elemento químico mais abundante na matéria viva, bem mais que o carbono das moléculas orgânicas.

### ASSUNTOS DA AULA.

Clique no assunto desejado e seja direcionado para o tema.

- [Água](#)
- [Propriedades da água](#)
- [Formação de pontes de hidrogênio](#)
- [Comparação entre metano, amônia e água](#)
- [Alta coesão e alta adesão](#)
- [Alta capacidade de dissolução](#)
- [Alto calor específico](#)
- [Alto calor latente de fusão/solidificação](#)
- [Participação em reações químicas](#)
- [Variação no teor de água no organismo](#)
- [Sais minerais](#)
- [Sódio, potássio e cloreto](#)
- [Cálcio e magnésio](#)
- [Ferro](#)
- [Proteínas hêmicas](#)
- [Fosfato](#)
- [Íons tampões](#)
- [Outros elementos](#)

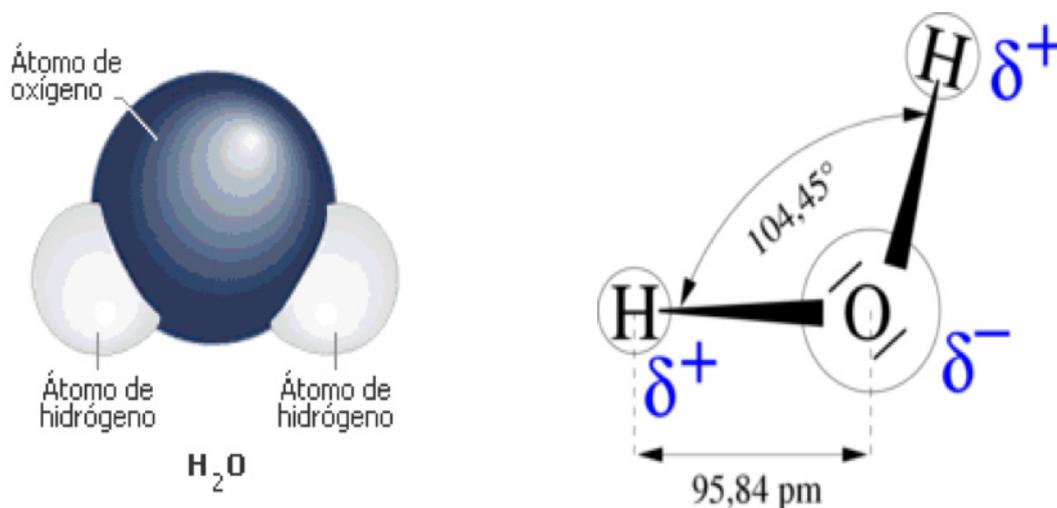
# PROPRIEDADES DA ÁGUA

## 1. POLARIDADE

Cada molécula de água tem peso molecular 18 e é formada por um átomo de oxigênio que se liga de modo covalente a dois átomos de hidrogênio, o que justifica a fórmula molecular  $H_2O$  e a fórmula estrutural H-O-H. Essas ligações covalentes, que implicam no compartilhamento de um par de elétrons, são ditas polares porque o átomo de oxigênio é mais eletronegativo, isto é, tem maior capacidade de atrair os elétrons compartilhados para si, e o átomo de hidrogênio é menos eletronegativo. Devido a essa diferença de eletronegatividade, o par de elétrons compartilhados nessas ligações covalentes fica mais próximo do oxigênio, que fica “mais negativo”, ou seja, com “densidade de carga negativa” (ou, simplesmente  $\delta^-$ ), e mais distante dos hidrogênios, que ficam “mais positivos”, ou seja, com “densidade de carga positiva” (ou, simplesmente  $\delta^+$ ).

Se a molécula de água tivesse geometria linear, ela seria apolar, pois haveria dois vetores de polaridades de igual intensidade e direções inversas, com o oxigênio negativo no centro e os hidrogênios positivos nas extremidades, o que implicaria em um vetor neutralizando o outro. No entanto, o átomo de oxigênio tem dois pares de elétrons livres, o que gera um efeito espacial que faz com que a molécula de água possua forma angulada, sendo o átomo de oxigênio o vértice do ângulo de  $104,45^\circ$  com os dois átomos de hidrogênio. Devido a essa forma angulada, a molécula de água possui comportamento polar, com o oxigênio como polo negativo e os hidrogênios como polo positivo. A **polaridade** da água é a principal responsável por determinar suas demais propriedades.

Tome nota:



Estrutura da água. À esquerda, detalhes dessa estrutura.

## FORMAÇÃO DE PONTES DE HIDROGÊNIO

Outra propriedade fundamental da molécula de água é sua capacidade de fazer pontes de hidrogênio entre si e com algumas outras moléculas. **Pontes de hidrogênio** (ou **ligações de hidrogênio**) são interações intermoleculares que, nas moléculas de água, ocorrem pela atração elétrica dos **elétrons livres do átomo de oxigênio** com os **hidrogênios dotados de densidade de carga positiva**.

São necessárias duas características para que uma molécula faça pontes de hidrogênio, sendo ambas as condições satisfeitas pela molécula de água:

- ocorrência de **átomo ligado a um elemento bem eletronegativo**, como **oxigênio** e **nitrogênio**, de modo que a menor eletronegatividade do hidrogênio faz com que os elétrons compartilhados na ligação covalente fiquem mais próximos do ligante, que fica com densidade de carga negativa, e mais distantes do hidrogênio, que fica com densidade de carga positiva;

- ocorrência de **átomo com pares de elétrons livres**, como **oxigênio** e **nitrogênio**, de modo que os elétrons livres são atraídos pelo hidrogênio com densidade de carga positiva, levando ao aparecimento de uma ponte de hidrogênio.

As pontes de hidrogênio são as mais fortes interações intermoleculares, mas são bastante fracas quando comparadas às ligações químicas covalentes (cerca de 20 vezes mais fracas), e de curta duração. No entanto, cada molécula de água faz quatro pontes de hidrogênio com outras moléculas de água (através de cada um dos dois elétrons livres do átomo de oxigênio e de cada um dos dois átomos de hidrogênio), sendo, na soma das várias pontes de hidrogênio que ocorrem na água, de força significativa, tanto é que essas pontes de hidrogênio permitem que a água se mantenha em **estado líquido** nas condições normais de temperatura e pressão. Algumas moléculas de peso molecular semelhante ao da água, por não fazerem pontes de hidrogênio, como o metano, ou por fazerem menos pontes de hidrogênio que a água, como a amônia, são gasosas nas mesmas condições.

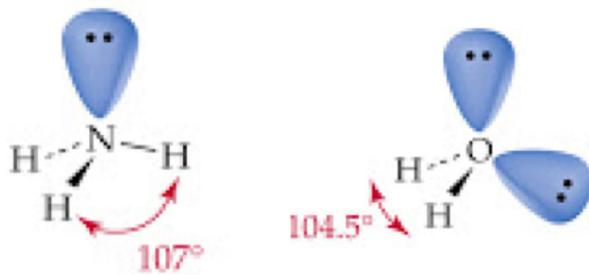
Tome nota:

## COMPARAÇÃO ENTRE METANO, AMÔNIA E ÁGUA

Moléculas como o metano, com fórmula molecular  $\text{CH}_4$  e peso molecular 16, e a amônia, de forma molecular  $\text{NH}_3$  e peso molecular 17, têm estrutura química e peso molecular semelhantes à água, de fórmula molecular  $\text{H}_2\text{O}$  (ou " $\text{OH}_2$ ") e peso molecular 18. Por que metano e amônia não poderiam substituir a água nos processos vitais?

No **metano**, a ligação entre carbono e hidrogênio é apolar, de modo que a molécula como um todo é apolar; além disso, o metano não forma pontes de hidrogênio, uma vez que o hidrogênio está ligado ao carbono, que não é muito eletronegativo, e não há um átomo com pares de elétrons livres. Devido ao **baixo peso molecular**, à **apolaridade** e à **ausência de pontes de hidrogênio**, o metano se mantém em **estado gasoso** nas condições normais de temperatura e pressão.

Na **amônia**, a ligação entre nitrogênio e hidrogênio é **polar**, sendo o nitrogênio mais eletronegativo e com densidade de carga negativa (como o oxigênio na água) e o hidrogênio menos eletronegativo e com densidade de carga positiva. A geometria da amônia é piramidal, com o nitrogênio como polo negativo e os hidrogênios como polo positivo, de modo que a molécula de amônia é polar, como a água. Outra característica comum com a água é a **presença de pontes de hidrogênio**, uma vez que a amônia possui hidrogênio ligado a nitrogênio (muito eletronegativo) e possui nitrogênio com um par de elétrons livres. A amônia é muito mais semelhante à água do que o metano, sendo amônia e água polares, com pontes de hidrogênio e peso molecular muito parecido (sendo 17 na amônia e 18 na água). No entanto, a amônia se mantém em estado **gasoso** e a água se mantém em estado líquido nas condições normais de temperatura e pressão. Isso se explica porque a amônia só tem um par de elétrons livres no nitrogênio, não havendo elétrons livres suficientes para fazer pontes com os três átomos de hidrogênio de outra molécula de amônia, de modo que cada amônia só faz duas pontes de hidrogênio com outras moléculas de amônia, o que faz com que a força de atração entre as moléculas de amônia seja menor, justificando o estado gasoso. É bom lembrar que a água tem dois pares de elétrons livres no oxigênio, havendo elétrons suficientes para fazer pontes com os dois átomos de hidrogênio de outra molécula de água, de modo que cada água faz quatro pontes de hidrogênio com outras moléculas de água, o que faz com que a força de atração entre as moléculas de água seja maior, justificando o estado líquido. Biólogos costumam especular que em regiões mais frias do Universo, talvez a amônia pudesse desempenhar em alguma forma de vida um comportamento semelhante ao da água nos seres vivos na Terra.



À esquerda, molécula de amônia com um par de elétrons livres no nitrogênio, podendo fazer duas pontes de hidrogênio com outras moléculas de amônia, uma com o par de elétrons livres do nitrogênio e outra com um dos átomos de hidrogênio, explicando seu estado gasoso. À direita, molécula de água com dois pares de elétrons livres, podendo fazer quatro pontes de hidrogênio com outras moléculas de água, uma com cada um dos dois pares de elétrons livres e uma com cada um dos átomos de hidrogênio, explicando seu estado líquido.

## ALTA COESÃO E ALTA ADESÃO

**Coesão** é a propriedade de uma molécula pela qual a mesma **atrai moléculas idênticas** a si. A água possui alta capacidade de coesão, atraindo outras moléculas de água e se mantendo em estado líquido. Essa coesão da água se dá devido a duas interações principais, as pontes de hidrogênio e as forças dipolo-dipolo (que se dão pela atração elétrica entre a região negativa e a região positiva de moléculas polares). A alta coesão da água explica porque gotas de água são esféricas: todas as moléculas de água da gota se atraem mutuamente, de modo que a água tende a assumir um volume compacto, sem se espalhar por todo o meio onde se encontra.

As forças de atração nas moléculas abaixo da superfície de uma gota de água são diferentes daquelas que ocorrem na superfície. As moléculas abaixo da superfície fazem pontes de hidrogênio em todas as direções, de modo que elas se atraem mutuamente com a mesma força. As moléculas da superfície, no entanto, não formam pontes de hidrogênio acima delas, mas somente abaixo e ao lado, de modo que essa desigualdade de forças promove uma coesão mais forte na camada superficial, que passa a se comportar como uma película ou membrana flexível, ao que se chama tensão superficial.

**Tensão superficial** é a propriedade pela qual a camada superficial de um líquido se comporta como uma película flexível, estando relacionada à coesão das moléculas do líquido. A alta tensão superficial da água explica por que alguns tipos de insetos (chamados por vezes de insetos “Jesus”) são capazes de caminhar sobre a água: o peso do inseto é insuficiente para quebrar a coesão entre as moléculas de água.



Insetos “Jesus”, que andam na água, são possíveis devido à alta coesão da mesma, a qual leva a uma alta tensão superficial.

Tome nota:

**Adesão** é a propriedade de uma molécula pela qual a mesma **atrai moléculas diferentes de si**. A água possui alta capacidade de adesão, atraindo outras moléculas, desde que sejam polares. Essa adesão da água a moléculas polares se dá principalmente por interações intermoleculares do tipo forças dipolo-dipolo.

A alta capacidade de adesão da água faz com que a mesma forme **camadas de solvatação**,

camadas de água que envolvem partículas polares e/ou eletricamente carregadas, de modo que as regiões positivas das moléculas de água interagem com as regiões negativas da partícula e vice-versa. Como exemplo, uma partícula dotada de carga elétrica negativa será envolvida por várias moléculas de água na camada de solvatação, de forma que as regiões positivas da água interagem com a partícula negativa. Essas camadas de sol-

vatação podem neutralizar parcialmente as cargas elétricas de partículas carregadas, reduzindo sua reatividade e sua repulsão eletrostática diante de partículas de mesma carga, e, com isso, aumentando sua estabilidade.

A grande capacidade de adesão da água também tem importância por ser uma das principais propriedades da água que justificam a sua grande capacidade de dissolução de substâncias polares.

## ALTA CAPACIDADE DE DISSOLUÇÃO

A água é considerada o **solvente universal** para moléculas polares. Como a maioria das substâncias que ocorrem nos seres vivos são polares, como **glicídios, proteínas, ácidos nucleicos e sais minerais**, a água dissolve a maior parte dos constituintes da matéria viva.

No entanto, devido ao princípio químico que afirma que “semelhante dissolve semelhante”, ou seja, substâncias polares dissolvem substâncias polares e substâncias apolares dissolvem substâncias apolares, a água polar não dissolve substâncias apolares como os **lipídios**. Por esse motivo, os lipídios são os constituintes principais das membranas celulares, isolando água e substâncias dissolvidas no meio interno da célula da água e substâncias dissolvidas no meio externo da célula.

Uma vez que a água dissolve a maior parte dos constituintes da matéria viva, ela age como **meio para reações químicas**, de modo que todas as reações metabólicas ocorrem em meio aquoso, e age como **meio para transporte de substâncias**, como ocorre em líquidos corporais como sangue, linfa e seiva.

## ALTO CALOR ESPECÍFICO

**Calor específico** é a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de uma amostra de uma determinada substância. **A água tem alto calor específico** quando comparada a outras substâncias, sendo esse calor específico de 1 cal/ g °C, o que significa que é necessária 1 caloria de energia para elevar a temperatura de 1 grama de água em 1 °C. Em comparação, o calor específico do ar é de 0,22 cal/ g °C, do óleo de soja é de 0,4 cal/ g °C e do álcool etílico é de 0,58 cal/ g °C.

O significado prático de a água ter um alto calor específico é que a água exige grande quantidade de calor para aumentar de temperatura. Isso ocorre porque o aumento de temperatura ocorre pelo aumento no grau de agitação entre as partículas de um sistema, e o fato de as moléculas de água se atraírem mutuamente por pontes de hidrogênio dificulta o aumento desse grau de agitação. Assim, a água precisa receber grandes quantidades de calor para que as pontes de hidrogênio quebrem e as moléculas de água possam aumentar seu estado de agitação, resultando num aumento de temperatura.

Como a água exige muito calor para aumentar de temperatura, é difícil que uma certa amostra de água

aumento de temperatura, o que implica em a água possuir **grande estabilidade térmica**, ou, explicando de outra maneira, a água é capaz de absorver bastante calor e não variar significativamente de temperatura.

A grande estabilidade térmica da água proporciona uma grande estabilidade térmica para os seres vivos, uma vez que a água é seu componente mais abundante. Esta estabilidade térmica dificulta a ocorrência de variações térmicas corporais que seriam prejudiciais para a manutenção da vida. Como exemplo, se houver **aumento na temperatura** dos sistemas biológicos, poderá haver **desnaturação das proteínas**, fenômeno no qual as mesmas têm sua estrutura espacial alterada e perdem sua função, o que, no caso das enzimas, impede a catálise de reações metabólicas essenciais à manutenção da homeostase. Se houver **diminuição na temperatura** dos sistemas biológicos, haverá **diminuição da velocidade das reações metabólicas**, podendo resultar em dificuldade de manter a homeostase.

## ALTO CALOR LATENTE DE FUSÃO/SOLIDIFICAÇÃO

**Calor latente de fusão** é a quantidade de calor necessária para alterar o estado físico de uma amostra de determinada substância de sólido para líquido. **Calor latente de solidificação** é a quantidade de calor necessária para alterar o estado físico de uma amostra de determinada substância de líquido para sólido. O valor dos calores latentes de fusão e solidificação são iguais em módulo, mas com sinais inversos, sendo que há ganho de calor para que haja fusão e perda de calor para que haja solidificação. **A água tem alto calor latente de fusão** quando comparada a outras substâncias, sendo esse calor latente de fusão de 80 cal/g a 0 °C, ou seja, são necessárias 80 cal para que 1 g de água passe do estado sólido para o líquido a 0 °C. Como consequência, a água tem alto calor latente de so-

lidificação quando comparada a outras substâncias, sendo esse calor latente de solidificação de -80 cal/g a 0 °C, o que significa que são necessárias 80 cal perdidas para que 1 g de água passe do estado líquido para o sólido a 0 °C.

O significado prático de a água ter um alto calor latente de solidificação é que a água tem que perder grande quantidade de calor para solidificar. Desse modo, a água tem grande dificuldade de congelar, o que preserva os constituintes da matéria viva em temperaturas muito baixas. Se houver congelamento da água, podem ocorrer sérios danos às estruturas celulares, uma vez que cristais de gelo podem assumir formas geométricas com pontas perfurantes.

Existe uma técnica denominada criogenia que utiliza o congelamento para preservar embriões ou óvulos humanos, por exemplo, por longos períodos de tempo. Normalmente, o congelamento gradual permite que novos cristais de gelo se formem sobre cristais de gelo pré-existent, gerando cristais muito grandes e seriamente danosos.

A técnica de criogenia utiliza substâncias anticongelantes, que protegem as estruturas celulares de eventuais cristais de gelo formados, e nitrogênio líquido, à temperatura de -196 °C, que promove um congelamento muito rápido do material, impedindo a formação de cristais de gelo muito grandes e diminuindo os danos às estruturas celulares.

A **criogenia** para a conservação de um corpo humano inteiro poderia até ser usada para o seu congelamento, mas a inexistência de substâncias anticongelantes capazes de proteger todos os tipos de tecidos humanos inviabiliza a preservação de todas as estruturas corporais após o descongelamento, de modo que um indivíduo da espécie humana não teria como sobreviver ao procedimento.

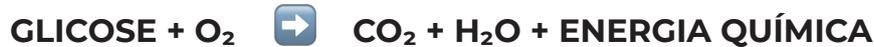
## PARTICIPAÇÃO EM REAÇÕES QUÍMICAS

Além de ser o meio onde ocorrem as reações metabólicas, a água age diretamente em várias reações químicas no interior dos seres vivos, seja como produto ou como reagente. Dentre essas reações, podemos citar:

- **Fotossíntese**, onde a água é reagente.



- **Respiração aeróbica**, onde a água é produto.



- **Hidrólise**, onde a água é reagente.



- **Síntese por desidratação**, onde a água é produto.



## VARIAÇÃO NO TEOR DE ÁGUA NO ORGANISMO

A proporção de água nos seres vivos varia segundo três fatores principais: espécie, atividade metabólica e idade.

### Espécie

Cada espécie tem um teor corporal de água que lhe é peculiar. Como exemplo, o percentual de água corporal em seres humanos é de cerca de 64% e em águas-vivas é de cerca de 98%.

### Atividade metabólica

Quanto maior a atividade metabólica em um tecido, maior o teor de água nele, o que se justifica pelo fato de que a água é o meio para a ocorrência das reações metabólicas. Como exemplo, a alta atividade metabólica justifica o alto teor de água

em tecidos como tecido nervoso, com cerca de 90% de água, e tecido muscular, com cerca de 83% de água. Por outro lado, a baixa atividade metabólica justifica o baixo teor de água no tecido ósseo, com cerca de 25% de água apenas.

### Idade

Quanto menor a idade de um indivíduo, maior a necessidade de reações químicas relacionadas ao crescimento e ao desenvolvimento, ou seja, maior a sua atividade metabólica e, conseqüentemente, maior o seu teor de água. Em humanos, por exemplo, um embrião com 1,5 mês de vida tem cerca de

97% de água, um feto de 3 meses tem cerca de 94% de água, um feto de 8 meses tem cerca de 83% de água, um recém-nascido tem cerca de 71% de água e um adulto tem cerca de 64% de água em seu corpo.

Tome nota:

## SAIS MINERAIS

Os elementos minerais ocorrem nos seres vivos em percentual bem inferior ao de moléculas orgânicas e de água, mas desempenham importantes funções estruturais e reguladoras.

De modo geral, sais minerais correspondem à forma insolúvel dos elementos minerais, tendo papel estrutural em estruturas esqueléticas. Já os íons correspondem à forma solúvel e eletricamente carregada dos elementos minerais, tendo papel regulador na forma de cofatores enzimáticos, fundamentais para a ação catalítica de certas enzimas, ou dissolvidos nos líquidos celulares e extracelulares.

De acordo com as quantidades necessárias aos seres vivos, os elementos minerais podem ser classificados em:

- **Macrominerais**, quando necessários em grandes quantidades, como ocorre com cálcio, fósforo, potássio, sódio, cloro, magnésio e enxofre;
- **Microminerais** ou **oligoelementos**, quando necessários em pequenas quantidades, como ocorre com ferro, zinco, cobre, iodo, flúor, cromo, selênio, cobalto, manganês, molibdênio, vanádio, níquel, estanho e silício.

## SÓDIO (Na<sup>+</sup>), POTÁSSIO (K<sup>+</sup>) E CLORETO (Cl<sup>-</sup>)

**Sódio, potássio e cloreto** não ocorrem na natureza na forma de sais insolúveis, estando sempre em suas formas iônicas. **O sódio é o íon positivo mais abundante em organismos animais, o potássio é o íon positivo mais abundante em organismos vegetais, e o cloreto é o íon negativo mais abundante em todos os seres vivos.**

Por serem solúveis e muito abundantes, sódio, potássio e cloreto agem na manutenção do **equilíbrio hídrico** dos organismos vivos através de mecanismos de osmose.

**Osmose** é a passagem espontânea de **solvente**, no caso dos seres vivos, de **água**, de um **ambiente hipotônico, menos concentrado em soluto**, para um **ambiente hipertônico, mais concentrado em soluto**. A osmose é uma **propriedade coligativa** das soluções, o que significa que ela não depende da natureza química das partículas dissolvidas, mas somente da concentração das mesmas. Dessa maneira, sódio, potássio, cloreto ou açúcar terão efeito semelhante em relação à osmose, desde que ocorrendo em igual concentração no meio em questão.

De modo geral, se um determinado meio ganha sódio, potássio e/ou cloreto, fica hipertônico e ganha água por osmose, e se perde sódio, potássio e/ou cloreto, fica hipotônico e perde água por osmose. Assim, células e líquidos extracelulares controlam o teor desses íons para controlarem o teor de água.

Um importante exemplo da ação osmótica desses íons está nos efeitos da ingestão de grandes quantidades de sal de cozinha nos alimentos. **O sal se acumula no sangue, que fica hipertônico em relação aos demais tecidos corporais e atrai água por osmose, o que leva ao aumento do volume sanguíneo (aumento de volemia) e, consequentemente, da pressão sanguínea (hipertensão**

**arterial), além de levar à desidratação dos demais tecidos, gerando a sensação de sede.** Efeito semelhante ocorre com a ingestão de grandes quantidades de açúcar porque a osmose não depende da natureza química do soluto, massivamente da concentração do mesmo. No entanto, o efeito osmótico do açúcar em causar hipertensão arterial e sede é menor que o do sal de cozinha, uma vez o açúcar é constituído de uma única partícula e o sal (NaCl) se dissocia em duas partículas,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ . Desse modo, uma concentração de 1 molar de sal implica no dobro do poder osmótico de uma concentração de 1 molar de açúcar.

Outro importante exemplo da ação osmótica desses íons está no uso do sal de cozinha como conservante, como, por exemplo, na produção de carne de sol (ou de charque). **O sal torna a carne hipertônica em relação às bactérias decompositoras, que perdem água por osmose, de modo que desidratam e morrem, o que impede que a carne se decomponha.** Efeito semelhante ocorre quando se fabrica doces de frutas, como a goiabada, onde o açúcar também atrai água por osmose, desidratando e matando as bactérias decompositoras, o que justifica o efeito conservante do açúcar.

Em células animais, **o teor de sódio fora da célula é maior que o teor de sódio dentro da célula**, ou seja,  $[\text{Na}^+]_{\text{extracelular}} > [\text{Na}^+]_{\text{intracelular}}$ , de modo que a tendência natural é que haja a entrada de sódio ( $\text{Na}^+$ ) na célula. **O teor de potássio dentro da célula é maior que o teor de potássio fora da célula**, ou seja,  $[\text{K}^+]_{\text{intracelular}} > [\text{K}^+]_{\text{extracelular}}$ , de modo que a tendência natural é que haja a saída de potássio ( $\text{K}^+$ ) da célula. Como **o teor total de sódio é maior que o teor total de potássio**, ou seja,  $[\text{Na}^+]_{\text{total}} > [\text{K}^+]_{\text{total}}$ , essa passagem de íons levaria a um desequilíbrio osmótico na célula. Para compensar essa passagem natural de íons, existe um mecanismo, **a bomba de sódio e potássio**, que consome energia para transportar o sódio de volta para o meio extracelular e o potássio de volta para o meio intracelular. Devido ao teor diferenciado de sódio e potássio, a bomba transporta 3 íons sódio para o meio extracelular (“3 cargas positivas para fora”) para cada dois íons potássio que transporta para o meio intracelular (“2 cargas positivas para den-

tro”), gerando uma diferença de potencial elétrico denominada **polaridade ou potencial de repouso de membrana**, que, nos neurônios, é a base para a **condução do impulso nervoso**.

Alterações nas concentrações de sódio e potássio alteram a polaridade de membrana, influenciando na condução do impulso nervoso. Como o teor de sódio em animais já é muito elevado, alterações na concentração de sódio dificilmente influenciam na condução do impulso nervoso de modo significativo. Ao contrário, como o teor de potássio em animais é bem menor, alterações na concentração de potássio influenciam muito na condução do impulso nervoso. Por exemplo, diante de **quantidades excessivas de potássio**, como ocorre nas **injeções letais à base de KCl** para a execução de penas de morte, a polaridade de membrana se altera e **dificulta a condução do impulso nervoso, inibindo a contração muscular e levando à parada cardíaca**. Diante da perda excessiva de potássio, que pode ocorrer em casos como sudorese intensa e diarreias, a polaridade de membrana se altera e **facilita a condução do impulso nervoso, o que facilita a contração muscular, levando ao aumento do tônus muscular (grau médio de contração muscular) e ao aumento no consumo de energia pelo músculo, facilitando a ocorrência de câibras**. A ingestão de alimentos ricos em potássio, como água de coco, banana e melancia, bem como a de bebidas isotônicas, pode prevenir a ocorrência de câibras em atletas, especialmente em dias quentes e secos.

O **potássio** ainda tem importância por agir como cofator enzimático em processos como **síntese proteica, síntese de glicogênio** (polímero de glicose) e **respiração celular**.

Tome nota:

## CÁLCIO (Ca<sup>++</sup>) E MAGNÉSIO (Mg<sup>++</sup>)

**Cálcio** e **magnésio** são elementos minerais abundantes em alimentos como **leite e derivados (como queijos e iogurtes), carnes, ovos e verduras**. Tais elementos podem aparecer nos seres vivos nas **formas iônicas de Ca<sup>++</sup> e Mg<sup>++</sup>** e nas **formas não iônicas de sais insolúveis** como **fosfato de cálcio ou apatita, Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, fosfato de magnésio, Mg<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> e carbonato de cálcio ou calcário, CaCO<sub>3</sub>**, sendo que a maior parte, cerca de 99%, se encontra na forma de sais.

**Sais de cálcio e magnésio** apresentam função estrutural em estruturas como **ossos e dentes** em animais vertebrados, principalmente constituídos de **fosfato de cálcio**, e em **carapaças e conchas** em animais invertebrados, principalmente constituídos de **carbonato de cálcio**.

**Íons de cálcio e de magnésio**, em conjunto, agem regulando a **permeabilidade das membranas celulares**, promovendo o fechamento de seus canais quando em grandes concentrações, e a abertura de seus canais quando em pequenas concentrações ou ausentes.

O **cálcio iônico** age ainda em processos como **coagulação sanguínea, contração muscular e condução do impulso nervoso** (principalmente na **sinapse**, ou seja, na passagem do impulso nervoso intracelular), além de promover a **ativação de certas enzimas**.

O **magnésio** entra na constituição da molécula de **clorofila**, fundamental ao processo de **fotossíntese**, e dos **ribossomos**, responsáveis pela **síntese proteica**.

## FERRO (Fe)

**Ferro** é um elemento mineral que se encontra associado a proteínas, onde se associa através de um **grupo heme** (associado a um grupo químico denominado anel de porfirina, contendo carbono, hidrogênio e nitrogênio) ou não.

O ferro pode ser obtido nos alimentos em duas possíveis formas:

- **forma heme ("orgânica")**, encontrada em **alimentos animais** como **carne vermelha**, sendo a forma de ferro mais fácil de se absorver no intestino humano;

- **forma não heme ("inorgânica")**, encontrada em **alimentos vegetais** como **leguminosas**, como o feijão, e **verduras escuras**, como o espinafre. A forma inorgânica pode estar com o ferro em dois possíveis estados de oxidação, sendo a **forma férrica (Fe<sup>3+</sup>, ferro oxidado) mais abundante e difícil de absorver que a forma ferrosa (Fe<sup>2+</sup>, ferro reduzido)**. A **vitamina C auxilia na absorção de ferro** por **se oxidar facilmente e ceder elétrons ao Fe<sup>3+</sup> para que forme Fe<sup>2+</sup> mais fácil de absorver**.

A ingestão de **fígado** fornece grandes quantidades de ferro, uma vez que o fígado armazena ferro na **proteína ferritina**. Apesar de o ferro da ferritina estar na forma não heme, ou seja, inorgânico, ele se encontra em seu estado reduzido (ferro ferroso, Fe<sup>2+</sup>), de fácil absorção.

Tome nota:

## PROTEÍNAS HÊMICAS

O ferro age principalmente na forma heme associado a proteínas, as quais são chamadas de **proteínas hêmicas**, como **hemoglobina**, **mioglobina**, **citocromos** e **catalase**.

A **hemoglobina** tem cor vermelha e ocorre nas **hemácias** do **sangue** de animais vertebrados, tendo função de **transportar gás oxigênio e gás carbônico** pelo corpo. Cada molécula de hemoglobina é constituída de quatro subunidades proteicas, sendo duas cadeias  $\alpha$  e duas cadeias  $\beta$ , além de quatro grupos heme, ou seja, um grupo heme para cada subunidade proteica, sendo que o gás oxigênio se liga ao ferro do grupo heme e o gás carbônico se liga à parte proteica da hemoglobina. A **falta de ferro** leva à **deficiência na produção de hemoglobina**, com consequente **diminuição na produção de hemácias**, numa condição denominada de **anemia ferropriva**, com efeitos como **falta de ar**, **palidez** e **cansaço crônico**. O tratamento da anemia ferropriva se faz pelo aumento no teor de ferro na dieta, com o uso de alimentos como carne vermelha, fígado, leguminosas e verduras escuras como fonte de ferro, e vitamina C para otimizar a absorção do ferro, sendo necessária, muitas vezes, o uso de suplementos dietéticos a base de sulfato ferroso. (Observação: O termo **eritropenia** designa a diminuição na quantidade de hemácias no sangue, enquanto que o termo **anemia** designa a diminuição na quantidade de hemoglobina no sangue. A anemia pode ter várias causas, sendo a mais comum delas exatamente a anemia ferropriva causada pela deficiência de ferro no corpo.)

A **mioglobina** também tem cor vermelha e ocorre em alguns **músculos** de animais vertebrados, tendo função de **transferir o gás oxigênio das hemácias do sangue para organelas nas células musculares denominadas mitocôndrias, que utilizam o gás oxigênio na produção de energia pela respiração aeróbica**. Quanto mais vermelho o músculo, maior seu teor de mioglobina e maior sua capacidade de produzir energia pela respiração aeróbica, podendo manter sua atividade

por tempos mais prolongados. Como exemplo, galinhas não podem manter o voo por períodos prolongados de tempo porque sua musculatura peitoral é clara, apresentando pouca mioglobina e não conseguindo manter a respiração aeróbica prolongadamente. Aves que conseguem manter o voo por períodos prolongados de tempo possuem musculatura peitoral escura, com muita mioglobina e podendo manter a respiração aeróbica prolongadamente.

Os **citocromos** são proteínas que agem na **cadeia respiratória (ou cadeia transportadora de elétrons)** da **respiração aeróbica** e na **fotofosforilação** da **fotossíntese**, sendo ambos os processos relacionados à **produção de energia** através da passagem de elétrons pelos átomos de ferro, cujo estado de oxidação fica alternando entre reduzido (quando recebem elétrons) e oxidado (quando passam os elétrons a frente).

A **catalase** é uma enzima (proteína catalítica) que ocorre em organelas denominadas **peroxissomos**, tendo função de **degradar água oxigenada (peróxido de hidrogênio)**, muito tóxica e produzida em algumas reações metabólicas, **em água e gás oxigênio**.



## FOSFATO ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

**Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ )** é um grupo químico que está entre os mais versáteis da bioquímica celular, sendo encontrado na composição de **fosfolípidios** formadores das **membranas celulares**, **fosfatos de cálcio** e **magnésio** em **ossos** e **dentes**, **nucleotídeos** formadores de ácidos nucleicos, como **DNA** e **RNA** (sendo responsáveis pelo caráter ácido desses compostos), e **nucleotídeos energéticos**, como **ATP** (adenosina-trifosfato) e **GTP** (guanosina-trifosfato), além de apresentarem função de **tamponamento**, evitando variações de pH em sistemas biológicos.

## ÍONS TAMPÕES (ÍONS FOSFATO/BIFOSFATO E ÍONS CARBONATO/ BICARBONATO)

Íons tampões agem na manutenção da constância do pH de um meio, ou seja, impedem variações bruscas de pH num sistema. A manutenção do pH dos sistemas biológicos é fundamental para a manutenção da homeostase, uma vez que cada proteína age num determinado pH e sofre desnaturação em pH diferente, com conseqüente alteração de sua estrutura espacial e perda de função biológica.

Os dois principais sistemas de tampão nos organismos vivos são o sistema fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ )/bifosfato ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) e carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ )/bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), que se encontram em equilíbrio dentro das seguintes reações.



OU



Quando aumenta o teor de íons  $\text{H}^+$  no meio, o que levaria a uma diminuição de pH no meio, o  $\text{H}^+$  reage com fosfato ou carbonato, formando, respectivamente, bifosfato ou bicarbonato, o que remove os íons  $\text{H}^+$  do sistema, impedindo a variação de pH.



OU



Quando aumenta o teor de íons  $\text{OH}^-$  no meio, o que levaria a um aumento de pH no meio, o  $\text{OH}^-$  reage com bifosfato ou bicarbonato, formando, respectivamente, fosfato ou carbonato e água, o que remove os íons  $\text{OH}^-$  do sistema, impedindo a variação de pH.



OU



Esse sistema não consegue impedir as variações de pH quando os teores de  $\text{H}^+$  ou  $\text{OH}^-$  são muito elevados, uma vez que pode haver esgotamento dos íons do sistema tampão, interrompendo a reação.

## OUTROS ELEMENTOS

Alguns outros elementos minerais são descritos a seguir.

O **iodo (I)** faz parte da composição de **hormônios da tireoide**, como a **tiroxina**, os quais agem na regulação do metabolismo energético corporal. A falta de iodo leva a um quadro de **hipotireoidismo**, com redução da atividade metabólica e inchaço da tireoide, num quadro conhecido como **bócio**.

O **flúor (F)** faz parte da composição da parte mineral dos dentes, convertendo a hidroxiapatita (fosfato de cálcio hidratado) em **fluorapatita**, mais resistente ao surgimento de cáries, e tem ação **bactericida**, o que o torna ainda mais eficaz na proteção contra cáries, justificando seu uso em dentifrícios e na água de consumo.

O **cobalto (Co)** faz parte da composição da **vitamina B12**, a qual age na produção de hemácias na medula óssea.

O **cobre (Cu)** auxilia na mobilização de ferro para a **síntese de hemoglobina**, age como cofator enzimático na produção de **adrenalina** e **melanina**, faz parte da composição de algumas formas da enzima superóxido dismutase, que age na destruição do ânion superóxido, radical livre derivado do gás oxigênio, e faz parte da composição da hemocianina, pigmento respiratório que transporta gás oxigênio no sangue de animais como crustáceos e moluscos.

O manganês (Mn) tem ação antioxidante direta, faz parte da composição de algumas formas da **enzima superóxido dismutase**, e faz parte da composição do **fotossistema II**, complexo enzimático que age na reação de **fotólise da água** da **fotossíntese**.

O **selênio (Se)** entra na composição de um aminoácido especial denominado **selenocisteína**, que ocorre em várias proteínas, tem ação antioxidante direta, e faz parte da composição de enzimas antioxidantes denominadas **selenoproteínas**.

O **zinco (Zn)** tem **ação antioxidante** direta e é cofator enzimático em várias enzimas, como algumas formas da **enzima superóxido dismutase**, a enzima **anidrase carbônica**, relacionada ao transporte de gás carbônico no sangue, e as enzimas relacionadas a produção de **linfócitos T** no timo, sendo essencial ao funcionamento do **sistema imunológico**.

## Radicais livres

**Radicais livres** são espécies químicas que possuem elétrons deficientes em sua estrutura, de modo a remover elétrons de outras moléculas e promover sua oxidação. Assim, radicais livres são agentes oxidantes. Ao atacar moléculas como lipídios e proteínas de membrana, os radicais livres podem causar morte celular e, com isso, acelerar o envelhecimento. Ao atacar o DNA, os radicais livres podem desencadear mutações e, eventualmente, cânceres.

A maior parte dos radicais livres é produzida no próprio corpo, como subprodutos de processos oxidativos do metabolismo energético. Como principal exemplo, a cadeia respiratória na respiração aeróbica nas mitocôndrias e a  $\beta$ -oxidação dos lipídios em organelas denominadas de peroxissomos produzem, muitas vezes, **água oxigenada (peróxido de hidrogênio ou  $H_2O_2$ )**, que é responsável pela formação de uma classe de radicais livres conhecidas como **espécies ativas ou espécies reativas de oxigênio (EAO ou EROs)**.

Enzimas como a **catalase**, nos **peroxissomos**, que destrói **água oxigenada**, e as **superóxidos dismutases**, em várias regiões do citoplasma, que destroem o **ânion superóxido**, fazem parte de um sistema endógeno de destruição de radicais livres.

Elementos minerais como **cobre**, **manganês** e **zinco**, além de vitaminas como **C** e **E** fazem parte de um sistema exógeno de destruição de radicais livres. Tais compostos **se oxidam facilmente**, cedendo elétrons aos radicais livres, que se reduzem e não mais removem elétrons de outras moléculas como lipídios, proteínas e DNA, que não sofrem oxidação.