

## 6 As plantas e a água



O principal objetivo deste capítulo é explicitar a relação existente entre a água e o funcionamento dos vegetais.

Para tanto vamos:

- Compreender como a água se encontra no solo e como ocorre sua entrada na raiz das plantas;
- Compreender o processo de transporte da água no xilema da planta;
- Compreender os princípios básicos da teoria da tensão-coesão e o papel da transpiração nesse processo;
- Identificar as animações de internet como instrumentos interessantes para abordar a fisiologia vegetal em sala de aula, uma vez que permitem visualizar de forma dinâmica os processos envolvidos.

## Introdução

O transporte de água e minerais à longa distância nas angiospermas ocorre nos elementos condutores do xilema, que se estendem da raiz às folhas. Pelas células da raiz, a água penetra nos elementos condutores e sai pela folha, sob a forma de vapor d'água, através da superfície das células do mesófilo, para os espaços intercelulares. Quando os estômatos estão abertos, o vapor d'água se difunde dos espaços intercelulares saturados e vai para a atmosfera, em um processo chamado transpiração. A perda de água pela transpiração é, então, reposta pela água que é absorvida nas raízes.

Assim funciona, na prática, o transporte de água nas plantas. Mas, e na teoria, você já parou para pensar como a água chega à copa das árvores?

As maiores árvores do mundo, como as sequoias e eucaliptos, podem medir mais de 120 metros de altura!

**Como é possível que ocorra essa movimentação, que desafia a gravidade e outras leis da física?**

Apenas para efeito de comparação, o desafio já é grande nas girafas, animais que podem medir até 6 metros de altura; entretanto, elas dispõem de uma bomba natural – o coração, capaz de gerar pressões intravenosas extraordinárias. Nas plantas, não existe qualquer tipo de bombeamento, então, novamente perguntamos:

**Como pode a água percorrer 120 metros de altura contra a gravidade?**



Fig. 6.1 Girafas / Fonte: [Thinkstock/CEPA](#)



Fig. 6.2 Pinheiros / Fonte: [Thinkstock](#)



Fig. 6.3 (a) Girafa se alimentando (b) O tamanho da sequoia em relação ao homem em sua base / Fonte: [Thinkstock](#)

Para entender como isso funciona em detalhe, façamos uma viagem junto com a molécula da água, através dos diferentes tecidos da planta, desde sua entrada na raiz até sua evaporação nas folhas.

## Água no solo

Para entender como as raízes fazem para absorver a água do solo, é necessário antes, que analisemos como a molécula de água se apresenta no solo e quais são suas relações com os solutos ali presentes.

A molécula de água consiste de um átomo de oxigênio ligado a dois átomos de hidrogênio. Devido ao ângulo da ligação e à carga de cada átomo, a molécula de água possui uma natureza polar, fator que a torna o principal solvente conhecido. Além disso, cada molécula se liga às vizinhas por numerosas pontes de hidrogênio, sendo essas ligações responsáveis por muitas das propriedades físicas da água, como a coesão, tensão e adesão. Sendo resultado direto da presença dessas pontes, a **coesão** refere-se à atração mútua entre as moléculas, que lhes permite permanecer unidas, resistindo à separação.

As moléculas de água na interface ar-água são mais facilmente atraídas para as moléculas vizinhas que para a atmosfera circundante. Como consequência dessa atração desigual, a interface ar-água tende a minimizar sua área criando uma **tensão superficial**, que faz com que a superfície se comporte como uma película elástica. A tensão não apenas influencia na forma da superfície, mas pode gerar uma pressão sobre o restante do líquido, como o que acontece quando a água evapora no mesófilo foliar durante a transpiração.

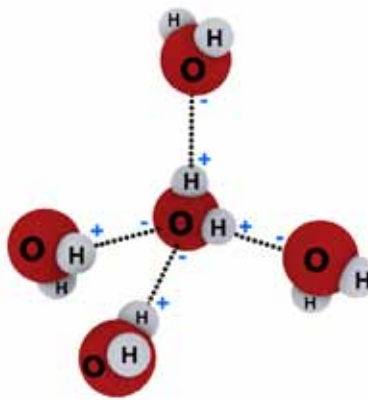


Fig. 6.4 Representação esquemática de moléculas de água ligadas por pontes de hidrogênio. / Fonte: CEPA

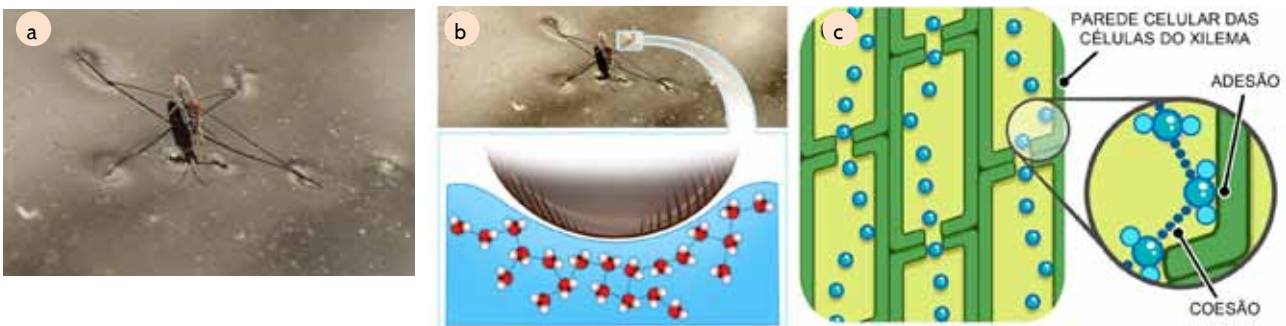


Fig. 6.5 (a) Foto de inseto pousado na superfície da água / Fonte: Thinkstock (b) Esquema de tensão superficial / Fonte: Thinkstock/CEPA (c) Esquema de moléculas de água aderidas ao xilema / Fonte: CEPA

Outra propriedade, a **adesão**, refere-se à capacidade das moléculas da água de se ligarem a outras moléculas também polares, como a parede interna dos elementos do xilema ou aos microporos (capilares) do solo, por exemplo. Quando o conteúdo de água do solo decresce, pela evaporação ou pela absorção radicular, a interface ar-água se contrai, criando uma pressão negativa. Essa pressão é responsável pela diminuição do potencial hídrico do solo.



O **potencial hídrico** é uma medida da energia livre (capacidade de realizar trabalho) da água por unidade de volume. A **água pura** possui o mais alto potencial hídrico, que equivale a zero. Adicionando-se solutos a essa água, a energia livre é diminuída e o potencial hídrico cai, assumindo um valor negativo. Outros fatores que podem diminuir o potencial hídrico são a pressão (como comentado anteriormente) e a força da gravidade. No solo ou nas plantas, a água sempre vai se mover de um local com maior potencial hídrico (mais perto de zero) para outro com menor potencial (mais negativo). É importante ressaltar que esse é um processo passivo, resultado da ação de forças físicas: não existem “bombas” que empurrem a água de um lugar para outro.

Assim, a absorção de água pelas raízes ocorre devido a uma diferença de potencial hídrico entre o solo e a raiz, de modo que a água se mova de uma região de menor pressão (solo) para uma região com maior pressão (córtex da raiz). No solo, o movimento de água é primariamente dirigido por pressão: quando a água é removida do solo pelas raízes, a tensão da água do solo puxa mais água de áreas adjacentes, em um movimento do tipo de **fluxo de massa**, que consiste no movimento concertado de grupos de moléculas, em massa, em resposta à aplicação de uma força exterior, como a pressão, e só é possível graças à coesão entre as moléculas de água.

## Entrada de água na raiz

Além da diferença de potencial entre solo e raiz, a entrada da água na planta é facilitada pela presença dos **pelos radiculares**.

Após ter penetrado na raiz, através dos pelos radiculares, a água necessita atravessar o **córtex** em direção ao cilindro vascular, de onde será distribuída ao restante da planta. Durante esse trajeto, a água e os íons contidos nela podem percorrer uma ou mais das três rotas possíveis:

1. **Rota apoplástica** – a água move-se exclusivamente pelas paredes celulares, sem atravessar quaisquer membranas.
2. **Rota transmembrana** – a água passa do protoplasto de uma célula para o protoplasto de outra adjacente, tendo, nesse caso, de atravessar duas vezes a membrana plasmática de cada célula (na entrada e na saída).



Fig. 6.6 Planta com flores e raiz visível / Fonte: [Thinkstock](#)

3. **Rota simplástica** – a água move-se do protoplasto de uma célula para o protoplasto de outra. Entretanto, não atravessa nenhuma membrana; a movimentação ocorre pelos plasmodesmas, que são canais revestidos por membrana, que atravessam as paredes celulares, comunicando células adjacentes.



Assista à animação sobre o transporte da água, que está disponível no mural de atividades. Essa animação é um recurso didático interessante que você pode utilizar em suas aulas no Ensino Médio. Uma dica é apresentá-la sem som e você mesmo dar as explicações à medida que a animação vai ocorrendo.

## Transporte no xilema

Tendo alcançado o cilindro vascular, a água (e solutos associados) penetra as células do **xilema**, que é o tecido especializado na sustentação e condução das plantas vasculares. Quando comparada à complexidade do transporte no córtex da raiz, a via no xilema parece muito simples, pois oferece pouca resistência ao fluxo. Isso se deve, em grande parte, à presença de células altamente especializadas na condução de fluidos.

Dentro desses vasos, que formam um sistema de tubos interconectados ao longo de todo o corpo da planta, da raiz às folhas, é que ocorre a maior parte do transporte de água no vegetal. Em uma planta com 1 metro de altura, por exemplo, aproximadamente 99,5% do transporte da água ocorre no xilema e, em árvores mais altas, o movimento no xilema pode representar uma porcentagem ainda maior. Esse movimento de ascensão é possível, além da diferença de potencial hídrico e da coesão já citadas, graças à **adesão** das moléculas da água às paredes dos vasos, que cria uma força suficientemente grande para sustentar a

coluna de água ascendente por vários metros contra a gravidade. A adesão é resultado da formação de pontes de hidrogênio entre moléculas polares da água e da parede interna dos vasos, sendo responsável, por exemplo, pela ascensão de líquidos em tubos capilares, um fenômeno conhecido como **capilaridade**.



Acesse o link para ver a animação em 3D sobre o transporte da água pelo xilema:  
<http://www.youtube.com/watch?v=lr9bm3fli90>

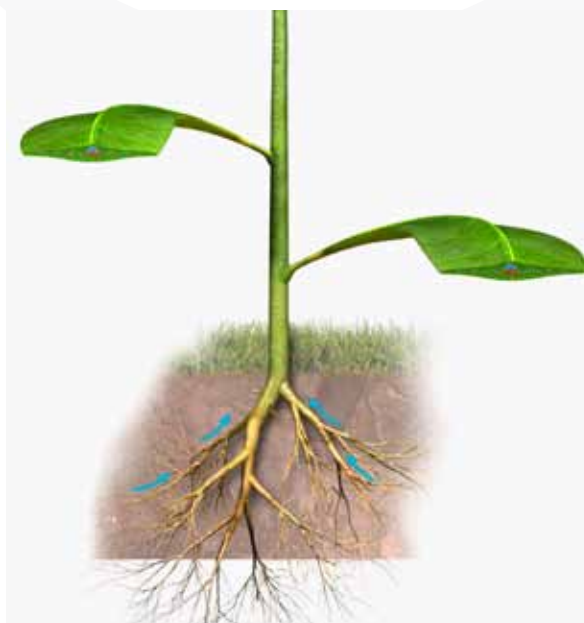


Fig. 6.7 Ilustração da raiz absorvendo água. /  
 Fonte: Thinkstock



# Transpiração nas folhas: teoria da tensão-coesão

Para prosseguir na compreensão do caminho da água no interior da planta, retornemos à nossa questão primordial:

## Como a água chega à copa das árvores?

Em um primeiro momento, poderíamos sugerir duas hipóteses:

- 1) A água é empurrada a partir das raízes
- 2) A água é puxada a partir do ápice

A primeira hipótese é falha, pois, como bem sabemos, as plantas (diferentemente das girafas) não possuem órgãos especializados na função de bombear a seiva para todas as partes dela. Então, resta-nos a segunda hipótese, de que a água é puxada a partir do ápice.

Como vimos nos tópicos anteriores, a diferença de potencial hídrico é responsável pela movimentação da água do solo para a raiz e da raiz para cima no xilema.

## Mas como essa diferença de potencial hídrico é gerada na planta?

Várias atividades complexas e interdependentes estão envolvidas para que ocorra essa diferença de potencial, entre as quais podemos citar a subida da água pelos tecidos condutores, a fotossíntese e a transpiração.

Agora apresentamos um novo questionamento:

## Como ocorre a transpiração?



Fig. 6.8 Água escorrendo da folha.  
/ Fonte: [Thinkstock](#)

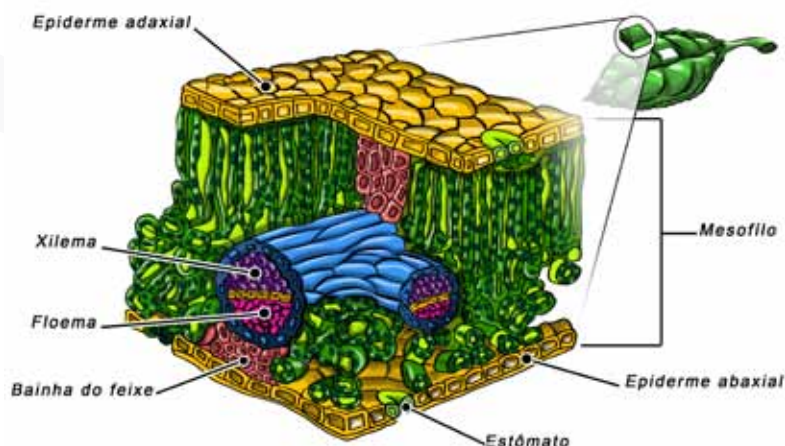


Fig. 6.9 Corte transversal da folha. / Fonte: [Thinkstock](#)

Um dos compostos fundamentais para a realização da fotossíntese pela planta é o gás carbônico. Com a abertura dos estômatos para sua captação, ocorre concomitantemente uma inevitável perda de água, fenômeno conhecido como **transpiração** (veja a seguir os fatores que afetam a abertura estomática). Principalmente durante o dia, a planta perde continuamente água em forma de vapor para o ambiente através dos estômatos. Isso acontece porque o ar que circunda as folhas possui concentração de água menor que a do mesófilo foliar, ou seja, o potencial hídrico geralmente é menor na atmosfera: como resultado, a planta perde água das folhas para o ar por difusão. Mais de 90% da água absorvida pela planta é devolvida para o ambiente em forma de vapor através dos estômatos, fazendo com que uma única planta possa absorver até centenas de litros de água diariamente.

No momento em que se evapora a água da superfície das paredes celulares das células do mesófilo, que delimitam a câmara subestomática, uma tensão é gerada. Essa tensão é resultado da perda de água dessas células, que as torna hipertônicas (diminui seu potencial hídrico). Como resultado, a água move-se entre células adjacentes, das células do tecido condutor até alcançar as células do mesófilo foliar, em um processo contínuo. Essa movimentação é possível graças à coesão das moléculas de água que as mantêm unidas, mesmo sob forte pressão, formando uma verdadeira “coluna d’água” no interior da planta.

Podemos dizer então, que a transpiração é o fenômeno responsável pelo estabelecimento de um gradiente de potencial hídrico, que se propaga do mesófilo foliar até as células do xilema, chegando finalmente às raízes. O estabelecimento desse gradiente é fundamental para que haja o movimento da água ao longo do solo-planta-atmosfera, que encontra nas propriedades físicas da água (coesão, adesão e tensão) aliados de fundamental importância.



Essa teoria é chamada de **teoria da coesão-tensão**, tendo sido primeiro estabelecida pelo botânico irlandês Henry Horatio Dixon. Atualmente, é a teoria mais aceita como modelo universal de transporte de água e solutos no xilema.

## Abertura e fechamento dos estômatos

Muitos fatores estão relacionados à abertura e fechamento dos estômatos, de modo a regular a taxa de transpiração. Entre eles, podemos citar o estresse hídrico, a concentração de  $\text{CO}_2$ , a temperatura e a luz.

O estresse hídrico é, sem dúvida, o fator que mais influencia no processo de fechamento estomático. Quando o turgor da célula diminui abaixo de um ponto crítico, a abertura



Fig. 6.10 (a) *Sedum* sp. (Crassulaceae) / Fonte: Thinkstock  
(b) *Ananas* sp. (Bromeliaceae) / Fonte: Thinkstock  
(c) *Cactus* (Cactaceae) / Fonte: Thinkstock

dos estômatos torna-se menor. Quando há, por exemplo, um aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera ou quando a temperatura no ambiente ultrapassa a marca dos 30°C, a tendência dos estômatos é a de se fecharem. A taxa de transpiração provocada pela evaporação da água dobra a cada 10°C.



Muitas plantas de clima quente têm a tendência de fechar os estômatos por volta do meio-dia para evitar uma intensa desidratação. Muitas variedades de plantas suculentas, como os cactos, o abacaxi (*Ananas comosus*) e representantes da família *Crassulaceae*, promovem a abertura estomática durante a noite, quando as condições são mais favoráveis para evitar a transpiração. Essa característica fisiológica peculiar lhes confere uma vantagem adaptativa para viverem em climas secos.

A umidade relativa do ar também é um fator importante, já que a planta promove essa eliminação muito mais lentamente em uma atmosfera saturada de vapor d'água. Da mesma forma, uma brisa seca pode também favorecer a evaporação da água pela folha.

De maneira geral, na maioria das espécies, os estômatos abrem-se durante o dia e fecham-se durante a noite, mesmo sem haver alteração no balanço hídrico. Logo no início da manhã, a presença de luz favorece a abertura estomática e, à noite, o escuro estimula o fechamento. Essa abertura e fechamento só são possíveis graças às características morfológicas diferenciadas das células-guarda. A parede dessas células apresenta um espessamento típico, mais pronunciado nas proximidades do poro estomático: quando a célula fica **túrgida**, a parede anticlinal afastada do poro dilata-se, retraindo a parede que delimita o poro que se abre. Ao contrário, quando as células perdem a turgescência, as paredes anticlinais das células-guarda voltam à sua posição normal, fechando o poro.

**Assim, podemos dizer que tanto a forma quanto a função dos estômatos atuam como elementos complementares.** Entretanto, para que essa movimentação aconteça, há processos fisiológicos específicos envolvidos. Na presença de um solo seco, o hormônio **ácido abscísico** (ABA) é produzido pelas raízes e transportado até as folhas através do xilema. A ligação do ABA a receptores na membrana plasmática da célula-guarda promove a abertura de canais de  $K^+$  e  $Cl^-$ , que saem de dentro da célula-guarda por difusão. Essa saída diminui o potencial osmótico do interstício, fazendo com que a água acompanhe os íons, movimentando-se por osmose. Como resultado, diminui a pressão de turgor das células-guarda, o que causa o fechamento do poro estomático (ostíolo). No momento em que o sinal do ABA é removido, as células-guarda transportam os íons  $K^+$  e  $Cl^-$  de volta para o interior da célula, utilizando um gradiente eletroquímico gerado por uma bomba de prótons. Dessa forma, um potencial osmótico mais negativo é restabelecido dentro das células-guarda. A água entra por osmose e o aumento resultante da **pressão de turgor** provoca a abertura dos poros estomáticos.



Fig. 6.11 (a) Folhas expostas ao sol. /  
Fonte: Thinkstock  
(b) Folhas à noite. / Fonte: Thinkstock



## Pressão de raiz: entrada de água mesmo com pouca transpiração

Quando a transpiração é baixa, muito lenta ou ausente (como durante a noite), pode ocorrer um fenômeno denominado **gutação**, que nada mais é do que a eliminação de gotas d'água nas margens das folhas através dos **hidatódios**. Os hidatódios são estruturas encontradas nas margens das folhas, as quais exsudam um líquido que pode ser composto por soluções diluídas de solutos orgânicos e inorgânicos, ou de água.

Esse processo ocorre quando a diferença de potencial hídrico é gerada a partir de íons para dentro do xilema na raiz, reduzindo seu potencial hídrico e possibilitando a entrada de água por osmose. Dessa forma, cria-se uma pressão positiva, capaz de permitir o transporte tanto de água quanto de íons para cima no xilema. A esse processo damos o nome de **pressão de raiz**. A pressão de raiz, entretanto, só é capaz de mover a água para cima por poucos metros, não atingindo, portanto, as regiões apicais da planta.

### Resumo

Ao longo deste capítulo, foi possível constatar que há uma perfeita continuidade entre os tecidos e suas funções fisiológicas na planta. A água do solo penetra pela raiz e é transportada a longas distâncias através dos elementos condutores do xilema e termina por ser liberada em forma de vapor d'água nas folhas, repetindo um ciclo constante.

Esse transporte só é possível graças às características físicas da água, tanto pela existência das pontes de hidrogênio (coesão) quanto por sua natureza polar, que permite sua aderência às paredes das células do xilema (adesão). Os estômatos, por sua vez, mantêm a conectividade entre os espaços intercelulares do mesófilo e a atmosfera, permite a perda de vapor d'água para o ar. A perda dessa água, fenômeno chamado de transpiração, é responsável pela criação de um gradiente de potencial hídrico, que se estende das folhas à raiz, sendo a força motriz do sistema.

Tudo isso só é possível, claro, pelo fato de que os tecidos do mesófilo das folhas estão em perfeita continuidade com os tecidos do córtex do caule, que por sua vez estão interligados com os tecidos da raiz: esse contínuo se estende também ao ambiente (solo e atmosfera), visto que a água flui entre os diferentes setores de forma livre e cíclica.

Também percebemos que as animações são ótimos recursos didáticos para abordar a fisiologia vegetal. Uma vez que o tema aborda justamente o funcionamento das plantas, um recurso que propicie ao aluno visualizar os processos de forma dinâmica pode ser de grande valia para facilitar sua aprendizagem.



Fig. 6.12 Gutação na folha de morango (*Fragaria sp.*). / Fonte: [Thinkstock](#)

 **Atividades****Envio de Texto**

1. Pesquise na internet animações sobre qualquer tópico de fisiologia vegetal.
2. Escolha a que você achar mais interessante. Sua escolha deve considerar se a animação está conceitualmente correta e didaticamente apropriada.
3. Elabore um pequeno texto, apresentando:
  - *Link* da animação que escolheu;
  - Justificativa da escolha do material;
  - Uma proposta de como utilizar tal animação durante uma aula de fisiologia vegetal.

**Fórum**

Sua participação nessa atividade é **optativa!**

Convidamos todos os cursistas a construir, coletivamente, um banco de animações sobre fisiologia vegetal. Para isso, aqueles que quiserem devem postar o material escolhido na atividade fórum desta aula e comentá-lo.

## Referências bibliográficas

- HOPKINS, W. **Introduction to Plant Physiology**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley, 1999.
- NANUZA et al. **Apostila de anatomia e morfologia de plantas vasculares** – IBUSP.
- RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia vegetal**. 6<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.
- SUTCLIFFE, J. **As plantas e a água**. EPU, 1980. (Coleção Temas de Biologia)
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

## Material complementar

1. Esta é uma interessante proposta de experimento para ser feita em sala de aula com os alunos, abordando o tema “Por onde a água sobe?”  
Acesse o link para conhecê-la:  
<http://pontociencia.org.br/experimentos-interna.php?experimento=250&POR+ONDE+A+AGUA+SOBE>
2. Como sabemos, os tecidos vegetais têm três dimensões. E, para explicar melhor para os seus alunos a estrutura do interior das plantas, utilize o modelo tridimensional do artigo:  
<http://www.scielo.br/pdf/rbb/v29n2/a15v29n2.pdf>