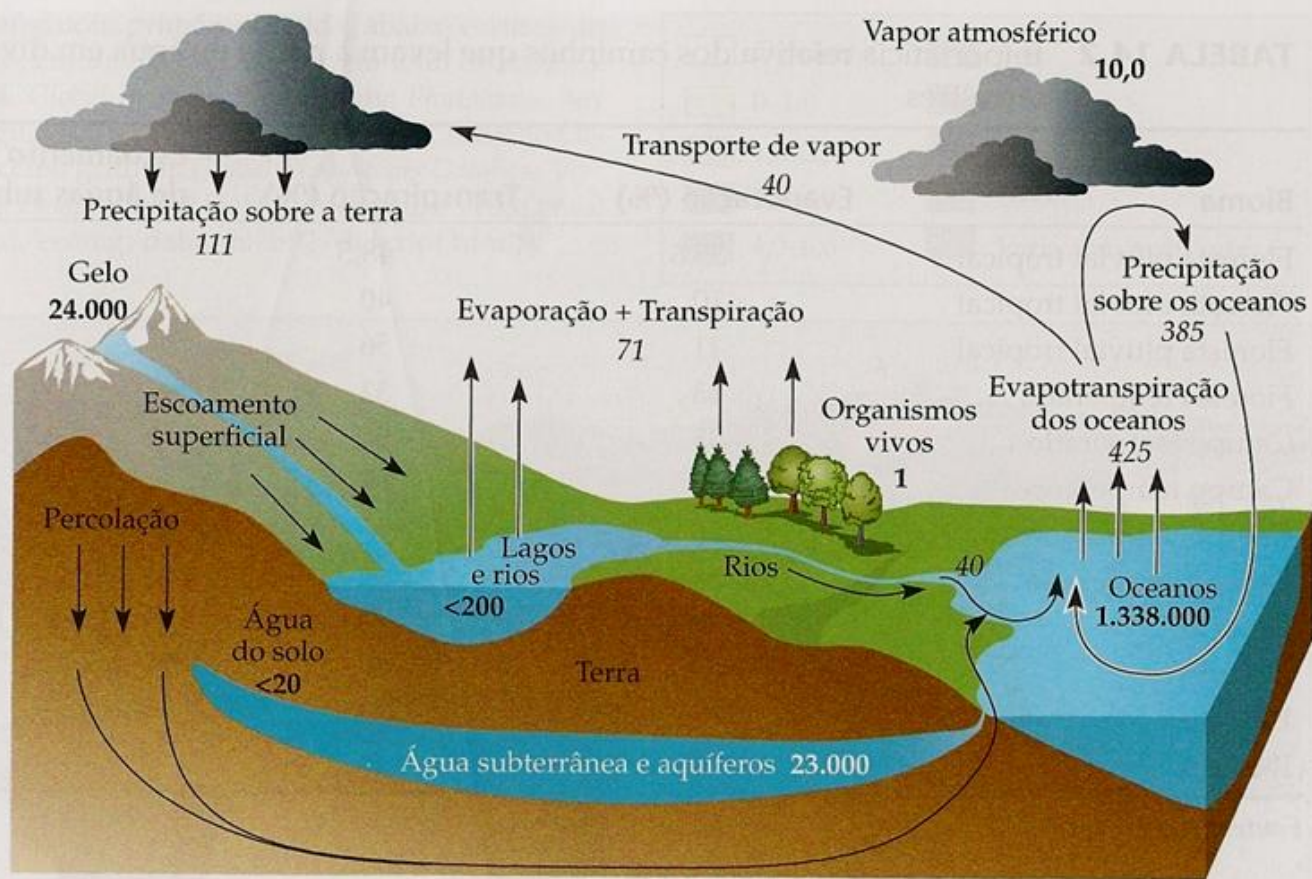
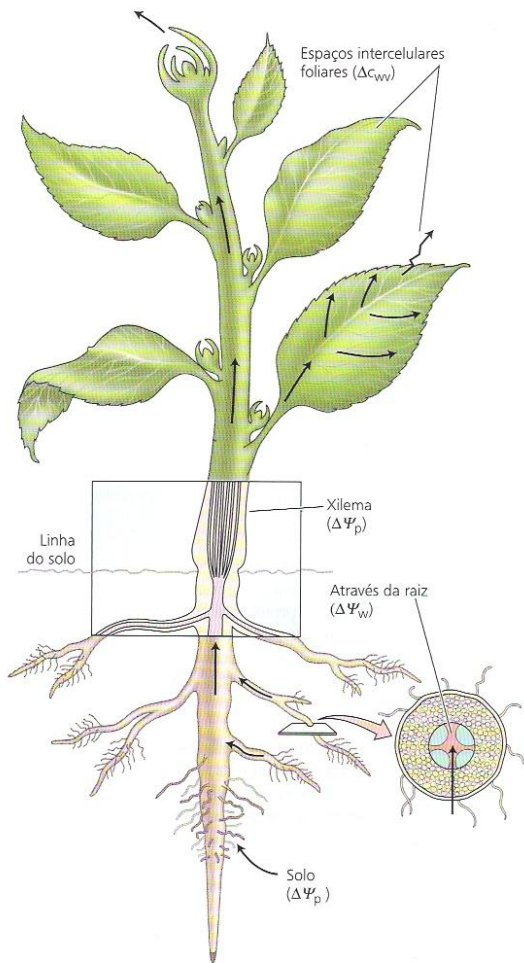


# Relações Hídricas em Plantas

**Figura 14.1** Ciclo global da água. Os números mostram os *pools* (em unidades de 1.000 km<sup>3</sup> de água, em **negrito**) mantidos em diferentes componentes do ecossistema global, e os fluxos através desses componentes (em unidades de 1.000 km<sup>3</sup>/ano, em *itálico*). Note que a quantidade de água que deixa a terra para retornar aos oceanos (40.000 km<sup>3</sup>/ano) é igual à quantidade que retorna ao ambiente terrestre como vapor originado dos oceanos. Os números fornecidos são aproximados, pois as estimativas variam consideravelmente entre diferentes autores (segundo Schlesinger, 1997 e Gleick, 1996; dados de Lvovitch, 1973 e Chahine, 1992).

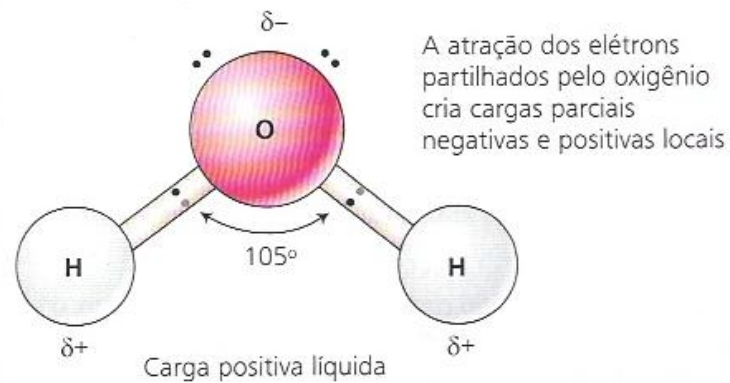




**FIGURA 4.1** Principais forças propulsoras do movimento de água do solo através da planta para a atmosfera: diferenças em concentração de vapor de água ( $\Delta c_{wv}$ ), pressão hidrostática ( $\Delta \Psi_p$ ) e potencial hídrico ( $\Delta \Psi_w$ ).

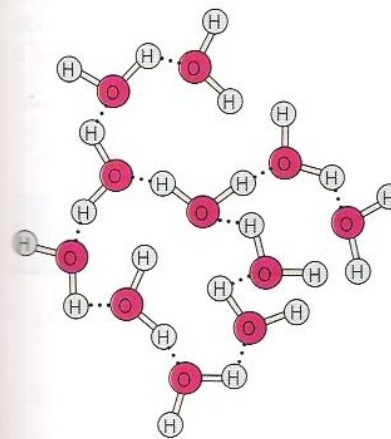
**TABELA 4.1**  
Características físicas de diferentes solos

Solo	Diâmetro da partícula (mm)	Área de superfície por grama (m <sup>2</sup> )
Areia grossa	2.000-200	< 1-100
Areia fina	200-20	
Silte	20-2	10-100
Argila	< 2	100-1.000

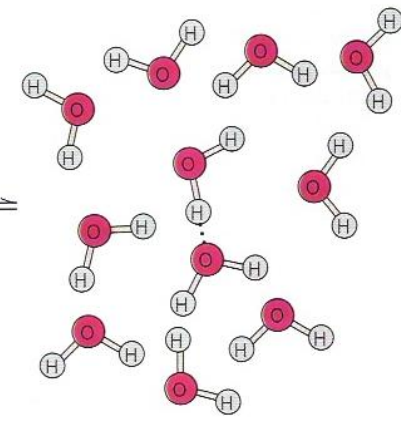


**FIGURA 3.3** Diagrama da molécula de água. As duas ligações intramoleculares hidrogênio-oxigênio formam um ângulo de  $105^\circ$ . As cargas parciais opostas ( $\delta^-$  e  $\delta^+$ ) na molécula de água levam à formação das ligações de hidrogênio com outras moléculas de água. O oxigênio tem seis elétrons nos orbitais externos; cada hidrogênio tem um.

(A) Configuração correlacionada

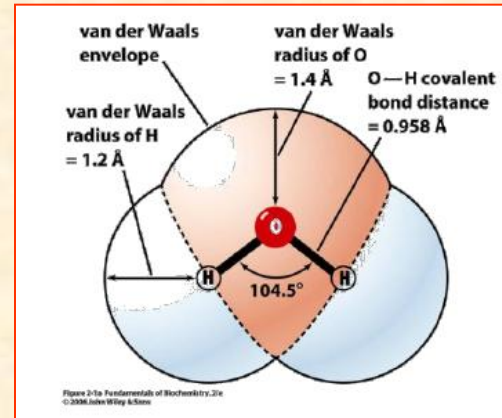
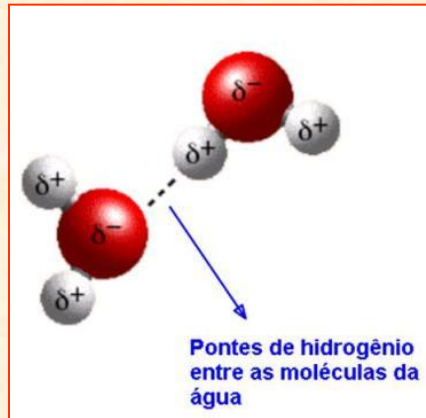


(B) Configuração aleatória



**FIGURA 3.4** (A) As ligações de hidrogênio entre moléculas de água resultam em agregações locais de moléculas de água. (B) Devido à agitação térmica contínua das moléculas de água, essas agregações têm vida curta; elas se quebram rapidamente, formando configurações muito mais aleatórias.







<b>Substância</b>	<b>Calor Específico (cal/g.°C)</b>
<u>água</u>	1,0
<u>álcool</u>	0,58
<u>alumínio</u>	0,22
<u>ar</u>	0,24
<u>carbono</u>	0,12
<u>chumbo</u>	0,031
<u>cobre</u>	0,094
<u>ferro</u>	0,11
<u>gelo</u>	0,5
<u>hélio</u>	1,25
<u>hidrogênio</u>	3,4
<u>latão</u>	0,092
<u>madeira</u>	0,42
<u>mercúrio</u>	0,033
<u>nitrogênio</u>	0,25
<u>ouro</u>	0,032
<u>oxigênio</u>	0,22
<u>prata</u>	0,056
<u>rochas</u>	0,21
<u>vidro</u>	0,16
<u>zinco</u>	0,093

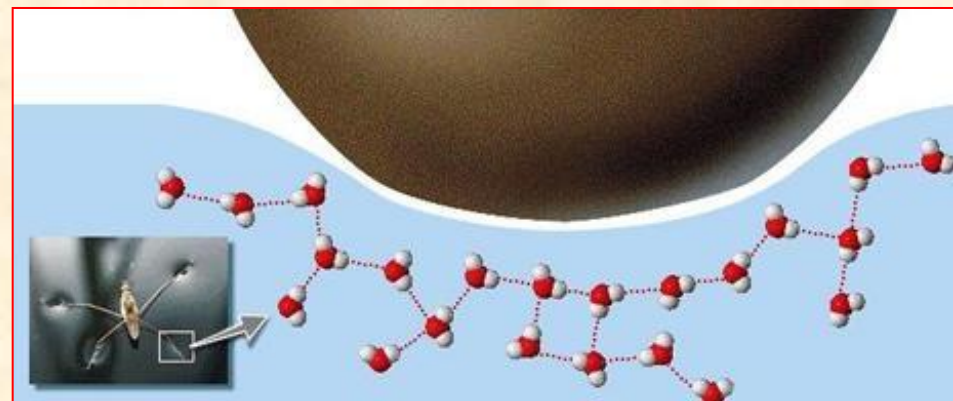
## Tabela de calores latentes

A tabela seguinte mostra a latentes aquece e mudança de fase temperaturas de alguns fluidos comuns e gases.

Substância	Calor Latente Fusão kJ / kg	Fusão Ponto ° C	Calor Latente Vaporização kJ / kg	Ebulição Ponto ° C
O álcool, etilo	108	-114	855	78,3
Amônia	339	-75	1369	-33,34
Gás carbônico	184	-78	574	-57
Hélio			21	-268,93
Hidrogénio (2)	58	-259	455	-253
Chumbo <sup>[6]</sup>	24,5	327,5	871	1750
Nitrogénio	25,7	-210	200	-196
Oxigénio	13,9	-219	213	-183
R134a		-101	215,9	-26,6
Tolueno		-93	351	110,6
Terebintina			293	
Água	334	0	2260	100

## Tabelas de calores latentes

Calor latente de fusão (L)		Calor latente de vaporização (L)	
Substância	$\times 10^4$ ( $J\ kg^{-1}$ )	Substância	$\times 10^4$ ( $J\ kg^{-1}$ )
Água	33,5	Água	226
Azoto	2,57	Azoto	20,0
Chumbo	2,32	Chumbo	85,9
Cobre	20,7	Cobre	473
Etanol	10,8	Etanol	85,5
Hidrogénio	5,80	Hidrogénio	45,5
Mercúrio	1,14	Mercúrio	29,6
Ouro	6,28	Ouro	172
Oxigénio	1,39	Oxigénio	21,3
Prata	10,5	Prata	23,4





**Mercúrio**

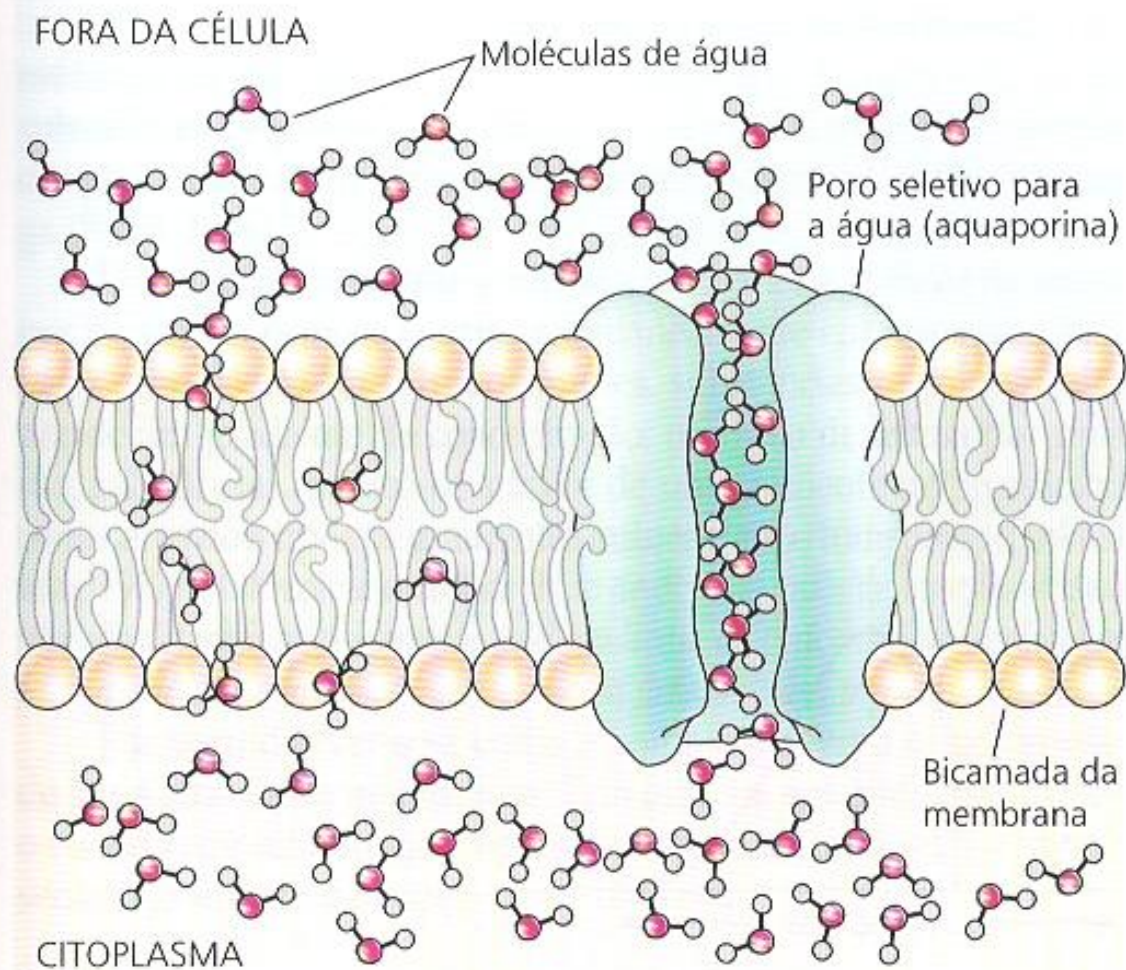


**Água**



## **Coesão e Adesão**





**FIGURA 3.6** A água pode atravessar membranas vegetais por difusão de suas moléculas individuais por meio da bicamada lipídica da membrana, conforme mostrado à esquerda, ou por fluxo microscópico de massa de moléculas de água através de poros seletivos para a água, formados por proteínas integrais de membranas como as aquaporinas.

### Capilaridade:

$$h = \frac{1,49 \cdot 10^{-5} (m^2)}{raio(m)}$$

<b>raio do capilar (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>altura (cm)</b>
1	149
100	1,49
1000	0,149
capilar típico (75 $\mu\text{m}$ )	2



## Difusão:

$$1^{\text{a}}. \text{ Lei de Fick} \Rightarrow J_s = - D_s \frac{\Delta C_s}{\Delta x}$$

*Derivada a partir da 1ª. Lei de Fick:*

$$T_{c_{1/2}} = \frac{(\text{distância})^2}{D} \cdot K$$

D = coef. de difusão

K = constante

### Exemplo da difusão da sacarose em água:

Distância intracelular (50  $\mu\text{m}$ ;  $D= 10^{-9} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ ):

$$T_{c_{1/2}} = \frac{(50 \cdot 10^{-6} \text{ m})^2}{10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}} = 2,5 \text{ s}$$

Para uma distância de 1 m (altura de uma planta):

$$T_{c_{1/2}} = \frac{(1 \text{ m})^2}{10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}} = 10^9 \text{ s} \approx 32 \text{ anos}$$

Difusão para gases (vapor de água):

$$T_{c_{1/2}} = \frac{(10^{-3} \text{ m})^2}{2,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}} = 0,042 \text{ s}$$

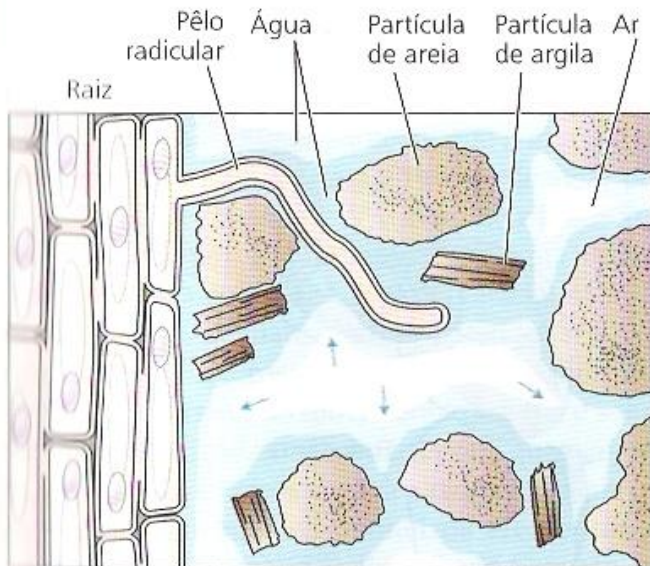
### Fluxo em massa:

$$\text{Lei de Poiseulli} \Rightarrow \text{TFV} = \frac{\pi r^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x} \text{ (m}^3 \text{ s}^{-1}\text{)}$$

Dividindo-se a equação **TFV** por  $\pi r^2$  (área da seção transversal do tubo), temos a *velocidade de fluxo* (**Jv**):

$$\mathbf{Jv} = \frac{r^2}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x} \text{ (ms}^{-1}\text{)}$$





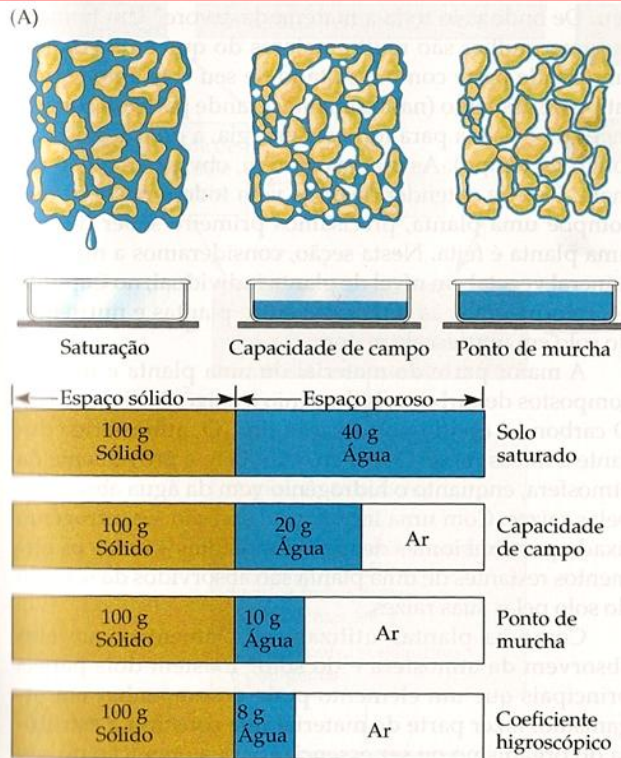
**FIGURA 4.2** Pêlos radiculares fazem um contato íntimo com as partículas do solo e amplificam grandemente a área de superfície que pode ser utilizada para a absorção de água pela planta. O solo é uma mistura de partículas (areia, argila, limo e material orgânico), água, solutos dissolvidos e ar. A água é adsorvida à superfície das partículas do solo. À medida que a água é absorvida pela planta, a solução do solo retrocede para pequenos compartimentos, canais e fissuras entre as partículas do solo. Nas interfaces ar-água, esse recuo faz com que a superfície da solução do solo desenvolva um menisco côncavo (interfaces curvas entre ar e água, marcadas na figuras por flechas), desenvolvendo uma tensão (pressão negativa) na solução por meio da tensão superficial. À medida que mais água é removida do solo, meniscos mais agudos são formados, resultando em tensões maiores (pressões mais negativas).

## Pressão hidrostática ( $\Psi_p$ ):

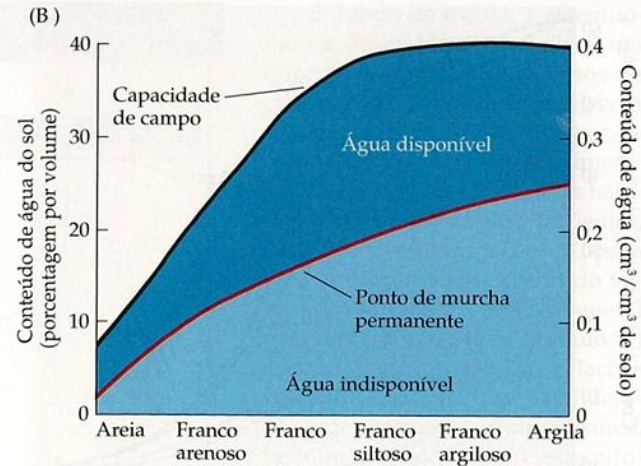
$$\Psi_p = - 2 T / r$$

T = Tensão superficial

r = raio de curvatura ar/água



**Figura 4.9** (A) Solo franco siltiloso na saturação, na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, mostrando suas partículas e seus poros preenchidos com água e/ou ar. Na saturação, o solo está retendo toda a água que consegue acomodar, e a água vai drenar do solo devido à gravidade. Na capacidade de campo, uma quantidade considerável de água foi removida do solo (mostrada no béquer abaixo do solo) e, no ponto de murcha, ainda mais água foi removida. O gráfico de barras a seguir mostra as quantidades relativas de partículas sólidas, água e ar no solo para cada um desses estados. Uma redução adicional na umidade do solo é alcançada no coeficiente higroscópico, quando a água é retida principalmente pelos colóides do solo e é indisponível por completo às plantas (Buckman e Brady, 1969). (B) Conteúdo de água do solo (em base volumétrica, expresso tanto em porcentagem por volume quanto em  $\text{cm}^3$  água/ $\text{cm}^3$  solo) na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente para solos com diferentes texturas, mostrando as quantidades relativas de água disponível e indisponível (segundo Kramer, 1983).

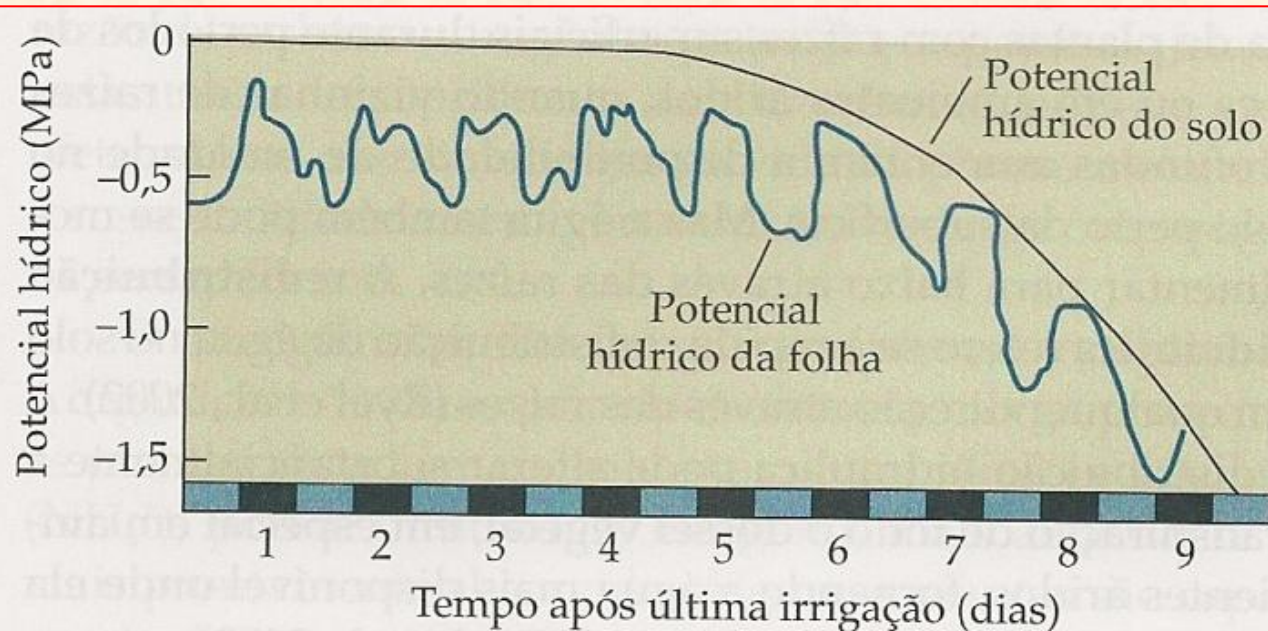


água através desses poros vazios, mas apenas quantidades pequenas podem ser transportadas desta maneira. Cada dia, à medida que as plantas transpiram e o solo progressivamente seca, o potencial hídrico das plantas é reduzido (torna-se mais negativo), e a cada noite, quando os estômatos se fecham, o potencial hídrico das plantas sobe até certo ponto, à medida que as plantas entram em equilíbrio com o solo (Figura 4.10).

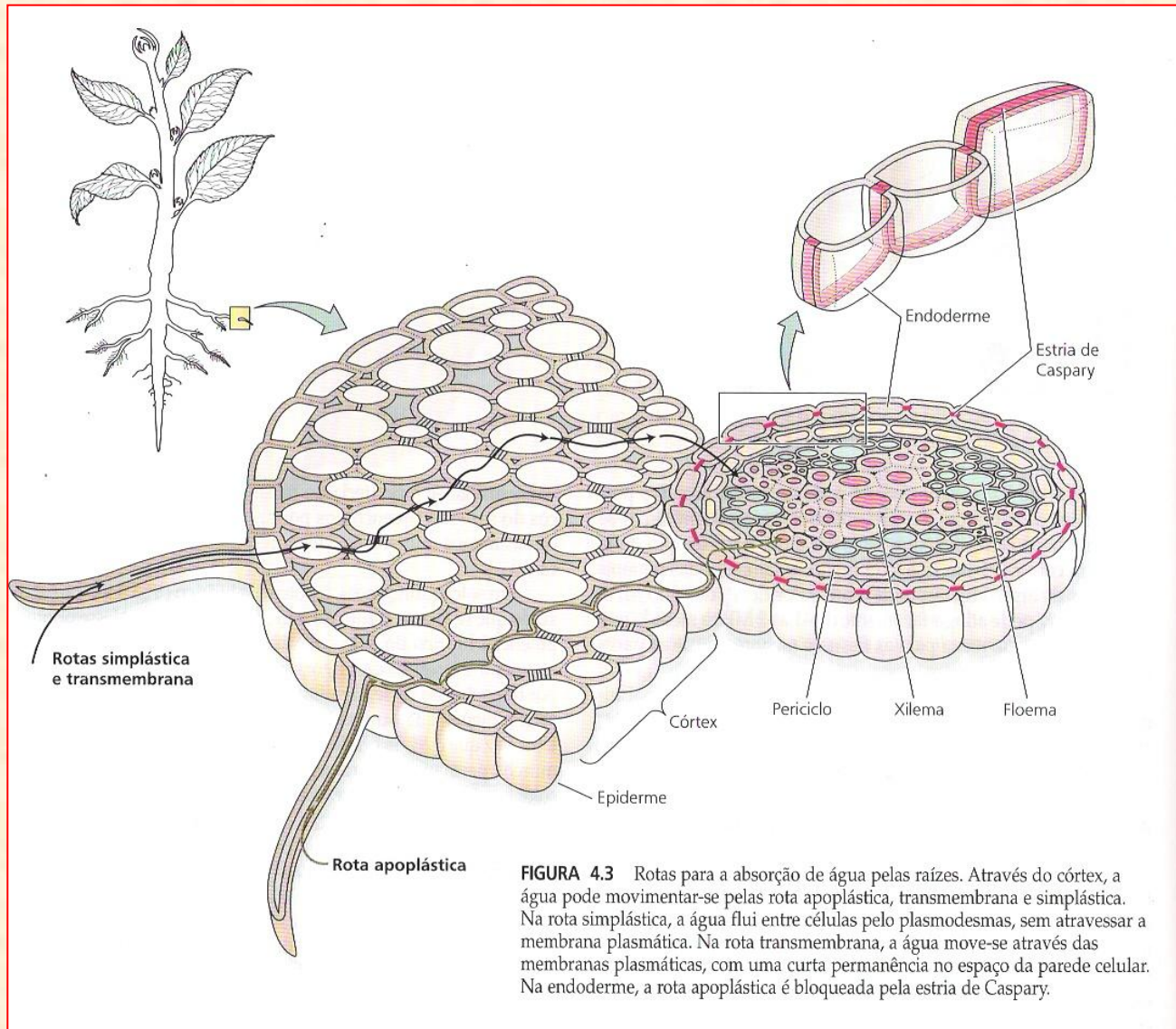
Quando o solo atinge um potencial hídrico de cerca de  $-1,5$  MPa, a maioria das plantas méricas não consegue mais extrair água dele, passando à condição de murcha permanente, prestes a morrer. Esse estado é denominado **ponto de murcha permanente** do solo, e o conteúdo de umidade do solo nesse ponto é denominado **coeficiente de murcha** do solo. No entanto, as plantas adaptadas a ambientes secos podem continuar a remover água de solos ainda mais secos. A quantidade (por volume ou peso) de água retida no solo em qualquer ponto nessa curva de secamento irá variar bastante com a textura do solo e também com a proporção de matéria orgânica deste (Figura 4.11).

A água move-se no solo tanto para cima quanto para baixo. À medida que a água evapora da superfície do solo,





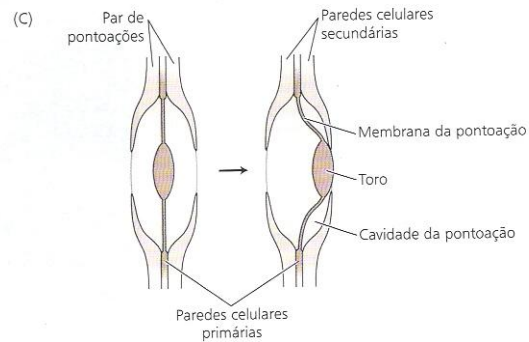
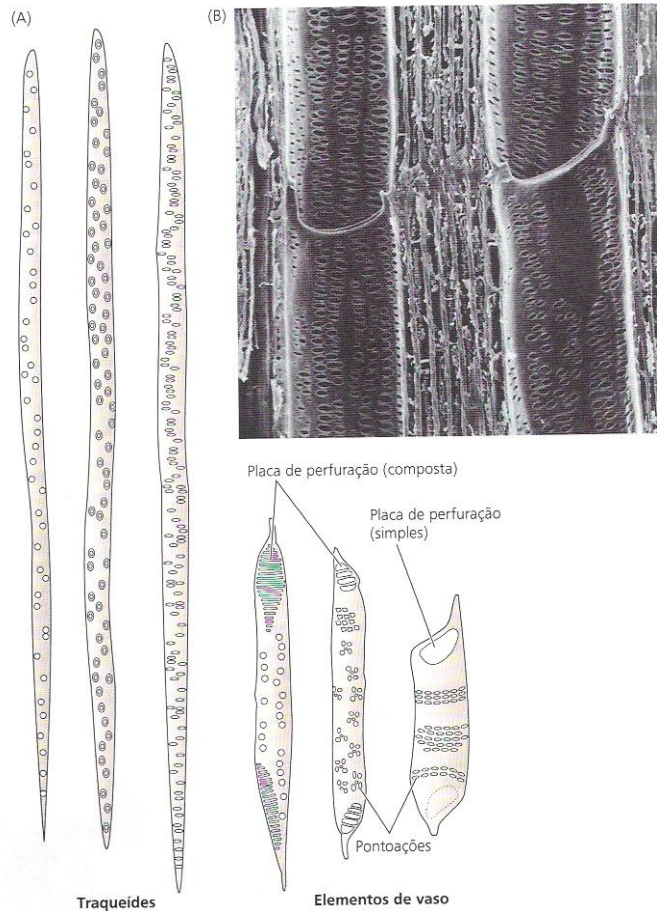
**Figura 4.10** Mudanças diárias no potencial hídrico do solo e da folha para uma planta cultivada que cresce em um solo franco argiloso ao longo de nove dias e nove noites, após receber irrigação. As porções escuras da barra no eixo  $x$  indicam condições noturnas; porções azuis indicam período diurno (segundo Etherington, 1982).



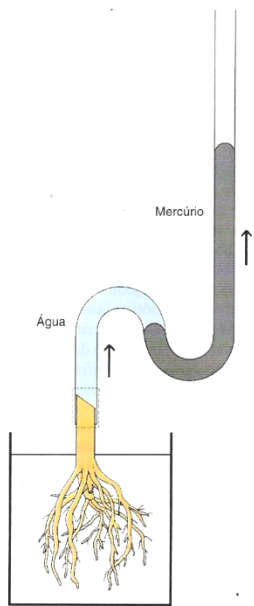
**FIGURA 4.3** Rotas para a absorção de água pelas raízes. Através do córtex, a água pode movimentar-se pelas rota apoplástica, transmembrana e simplástica. Na rota simplástica, a água flui entre células pelo plasmodesmas, sem atravessar a membrana plasmática. Na rota transmembrana, a água move-se através das membranas plasmáticas, com uma curta permanência no espaço da parede celular. Na endoderme, a rota apoplástica é bloqueada pela estria de Caspary.



# Vasos do xilema



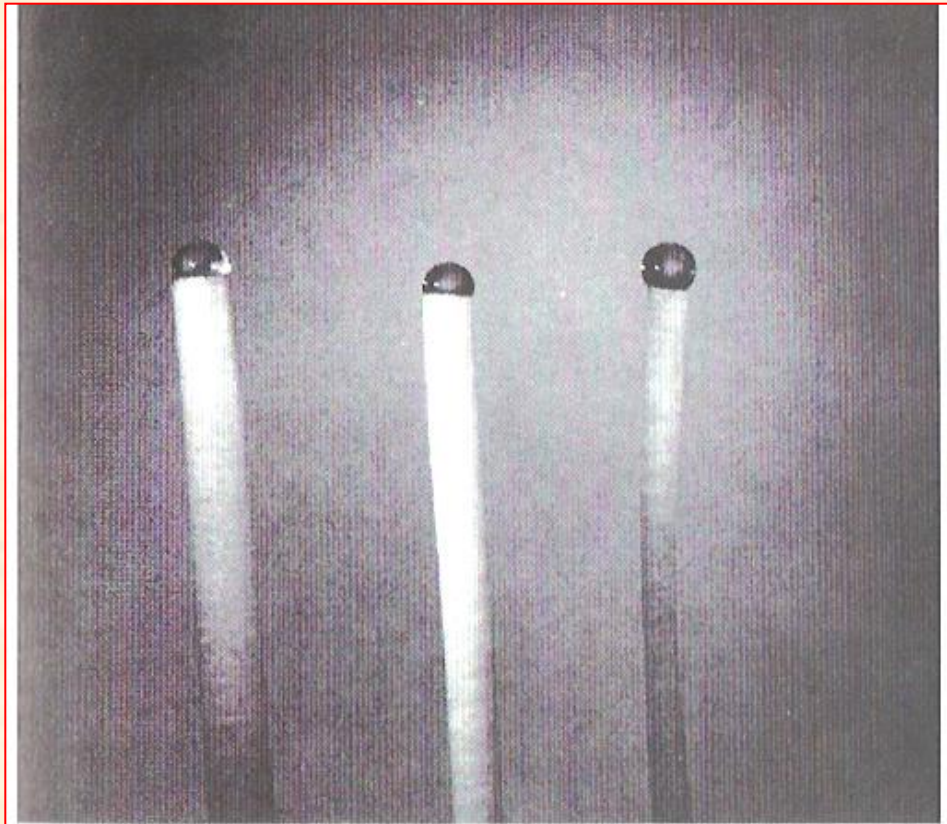
# Pressão radicular:



31.14  
Demonstração da pressão da raiz de uma planta cortada. A absorção de água pelas raízes da planta acarreta a ascensão do mercúrio na coluna. Pressões de 0,3 a 0,5 megapascal têm sido demonstradas por este método.

## Origem:

1. Absorção ativa de ânions;
2. Absorção dependente de energia de cátions (balanço elétrico);
3. Absorção passiva (por osmose) de água (balanço hídrico).



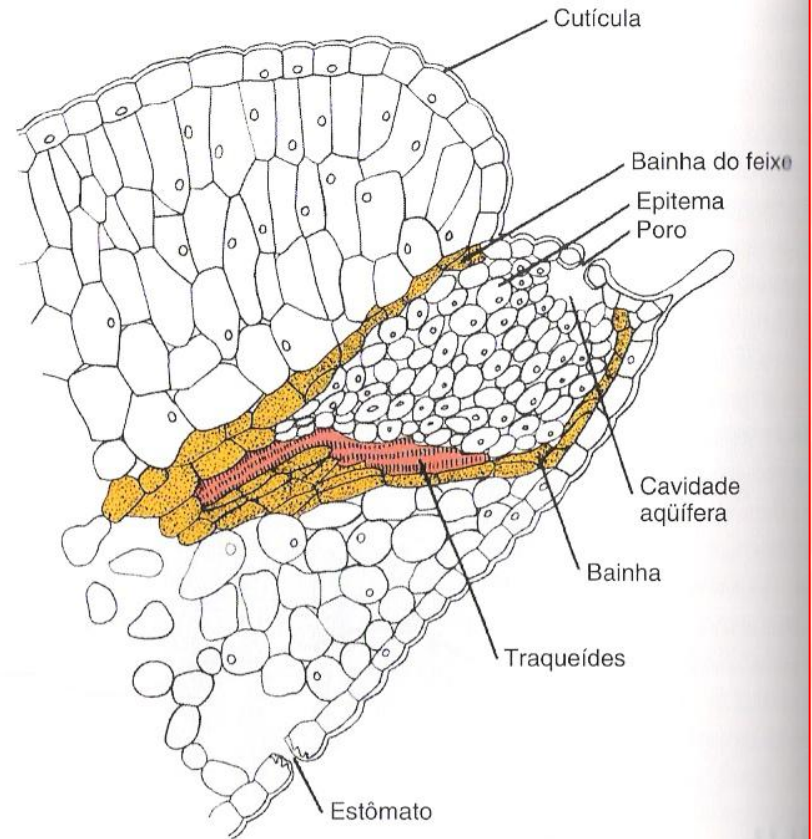
**Figure 4.6** Exudation from cut stems of zucchini (left), soybean (center), and cucumber (right). The photograph was taken about 30 minutes after excision of the zucchini and soybean stems and about 15 minutes after excision of the cucumber stem. The exudation is a manifestation of the positive pressure (referred to as root pressure) in the xylem of such plants. (From Cosgrove 1987, © Springer-Verlag.)





### 31.15

Gotículas de gutação nas margens da folha de *Achemilla vulgaris* também demonstram a presença da pressão da raiz. Estas gotículas não são originadas da condensação do vapor d'água existente no ar circundante; ao contrário, elas são forçadas a sair através da abertura de estruturas nas pontas e nas margens das folhas chamadas de hidatódios (ver Fig. 31.16).



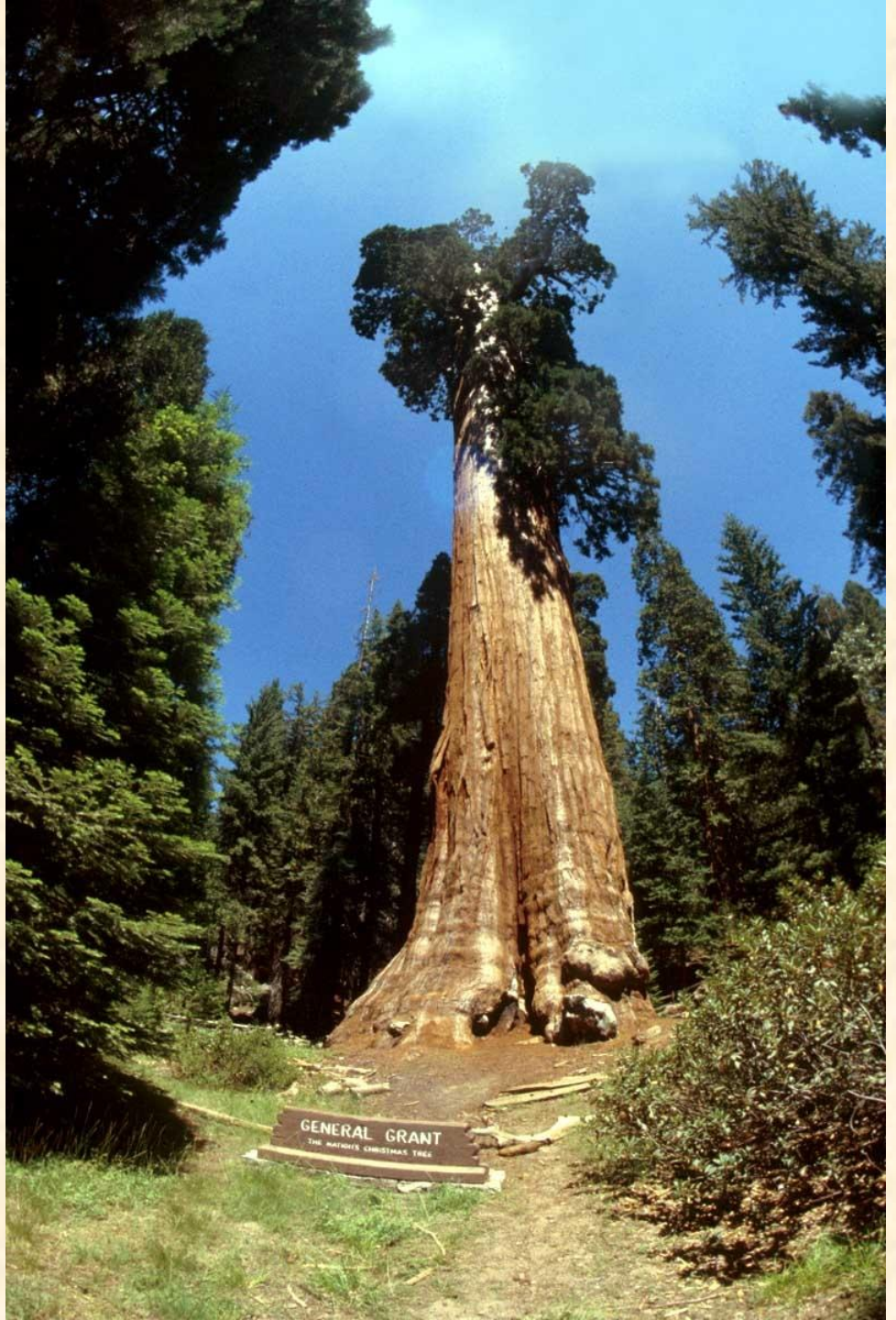
### 31.16

Vista longitudinal de um hidatódio da folha de *Saxifraga lingulata*. O hidatódio consiste em traqueídes de um feixe terminal, parênquima com células de paredes delgadas (o epitema) com numerosos espaços intercelulares e um poro epidérmico. As traqueídes estão em contato direto com o epitema, o qual preenche com água a cavidade atrás do poro. Os poros epidérmicos são comumente estômatos que perderam a capacidade de abertura e fechamento.





**Figure 5-1** The Dyerville Giant (*Sequoia sempervirens*) located in Humboldt Redwood State Park, California. The tree is so tall and surrounded by so many other trees that two photographs had to be combined to show it. (Photographs by Frank B. Salisbury.)





### Fluxo em massa:

$$\text{Lei de Poiseulli} \Rightarrow \text{TFV} = \frac{\pi r^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x} \text{ (m}^3 \text{ s}^{-1}\text{)}$$

Dividindo-se a equação **TFV** por  $\pi r^2$  (área da seção transversal do tubo),  
temos a *velocidade de fluxo* (**Jv**):

$$\mathbf{Jv} = \frac{r^2}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x} \text{ (ms}^{-1}\text{)}$$

## Gradiente de pressão ( $\Delta P$ ) mínimo para ascensão da coluna de água no xilema:

Dividindo-se a  $TFV$  por  $\pi r^2$  (área da seção transversal do tubo), obtêm-se a velocidade de fluxo ( $J_v$ ):

$$[TFV = \frac{\pi \cdot r^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x}] \div [\pi r^2] \Rightarrow J_v = \frac{r^2}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x}$$

Para um arbusto de 1 m, temos:

$$J_v = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$$

$$\eta = 10^{-3} \text{ Pa s}$$

$$r = 40 \text{ } \mu\text{m}$$

$$J_v = \frac{r^2}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x} \Rightarrow 4 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1} = \frac{(40 \cdot 10^{-6} \text{ m})^2}{8 \cdot 10^{-3} \text{ Pa s}} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x} \Rightarrow$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta x} = \frac{0,000032 \cdot \text{ms}^{-1} \text{ Pa s}}{1,6 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2} \Rightarrow \frac{\Delta P}{\Delta x} = 20.000 \text{ Pa m}^{-1} \Rightarrow \frac{\Delta P}{\Delta x} = \mathbf{0,02 \text{ MPa/m}}$$

Para uma árvore de 100 m:

$$0,02 \text{ MPa} \times 100 \text{ m} = 2 \text{ MPa}$$

$$0,01 \text{ MPa} \times 100 \text{ m} = 1 \text{ MPa} *$$

Total = 3 MPa

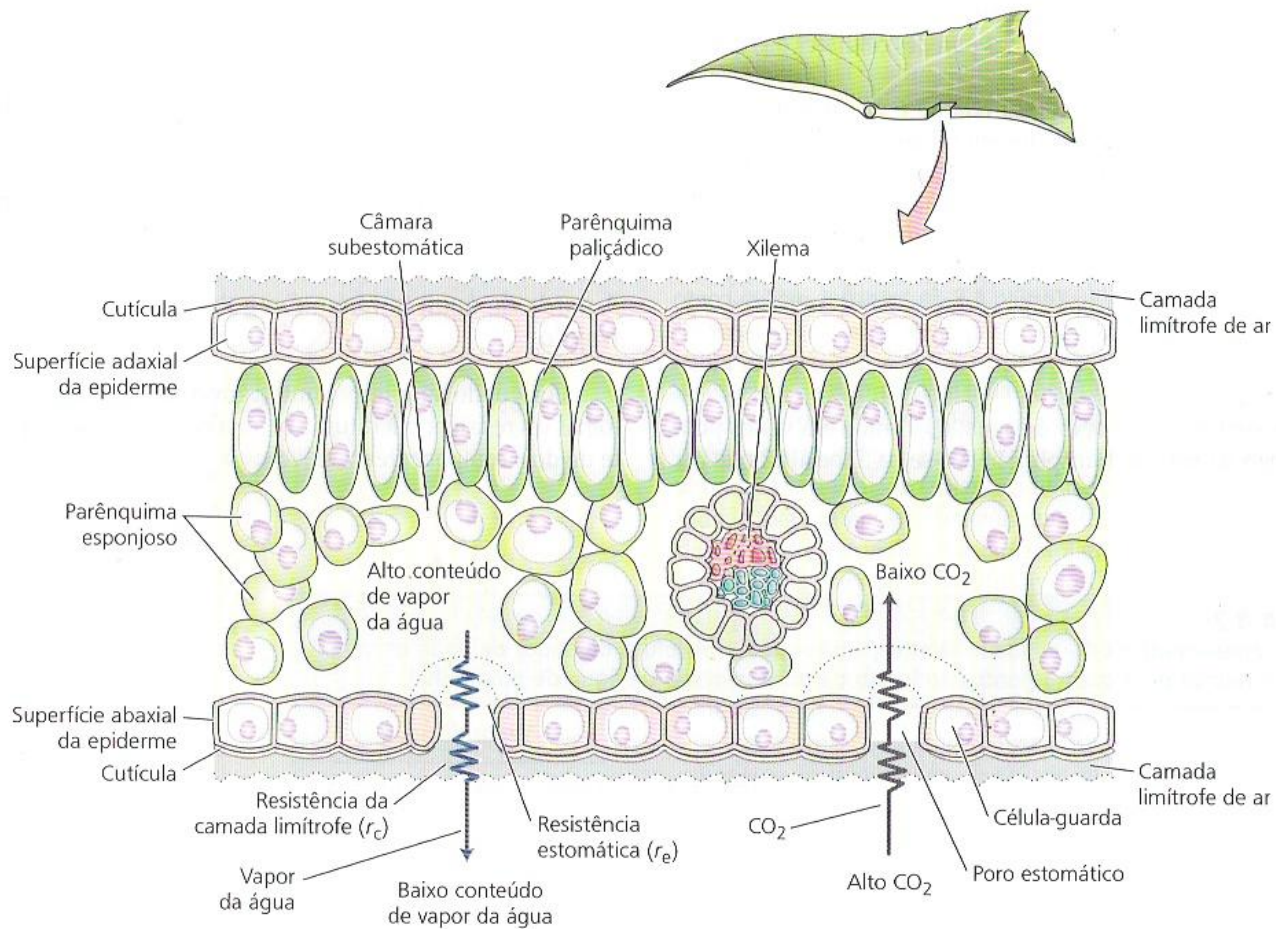
\*Peso da coluna de água (pressão hidrostática) equivalente a  $0,01 \text{ MPa m}^{-1}$  (adicionado para árvores acima de 10 m de altura)

## **Teoria de Dixon e Joley (1895)**

*(Teoria tenso-coeso-transpiratória, teoria da tensão-coesão)*

### **Modernamente essa teoria propõe que:**

- *a água encontra-se no estado líquido dos capilares das raízes até os terminais do xilema no mesófilo;*
- *as perfurações no xilema permitem evaporação da água (formação de bolhas de vapor de água) mas impedem a penetração de ar externo (devido à hidratação dos vasos do xilema);*
- *as colunas persistem no xilema por coesão (atração entre moléculas de água) e por adesão (atração pelas paredes do tubo);*
- *a energia para o processo é a evaporação da água nas folhas (gradiente absoluto de concentração de vapor d'água), não havendo gasto energético para que o processo ocorra (processo passivo).*



**FIGURA 4.10** Trajetória da água pela folha. A água é puxada do xilema para as paredes celulares do mesófilo, de onde evapora para os espaços intercelulares dentro da folha. O vapor da água difunde-se, então, pelos espaços intercelulares da folha, através do poro estomático e da camada limitrofe de ar parada situada junto à superfície foliar. O CO<sub>2</sub> difunde-se na direção oposta, ao longo de seu gradiente de concentração (baixa no interior, mais alta no exterior).

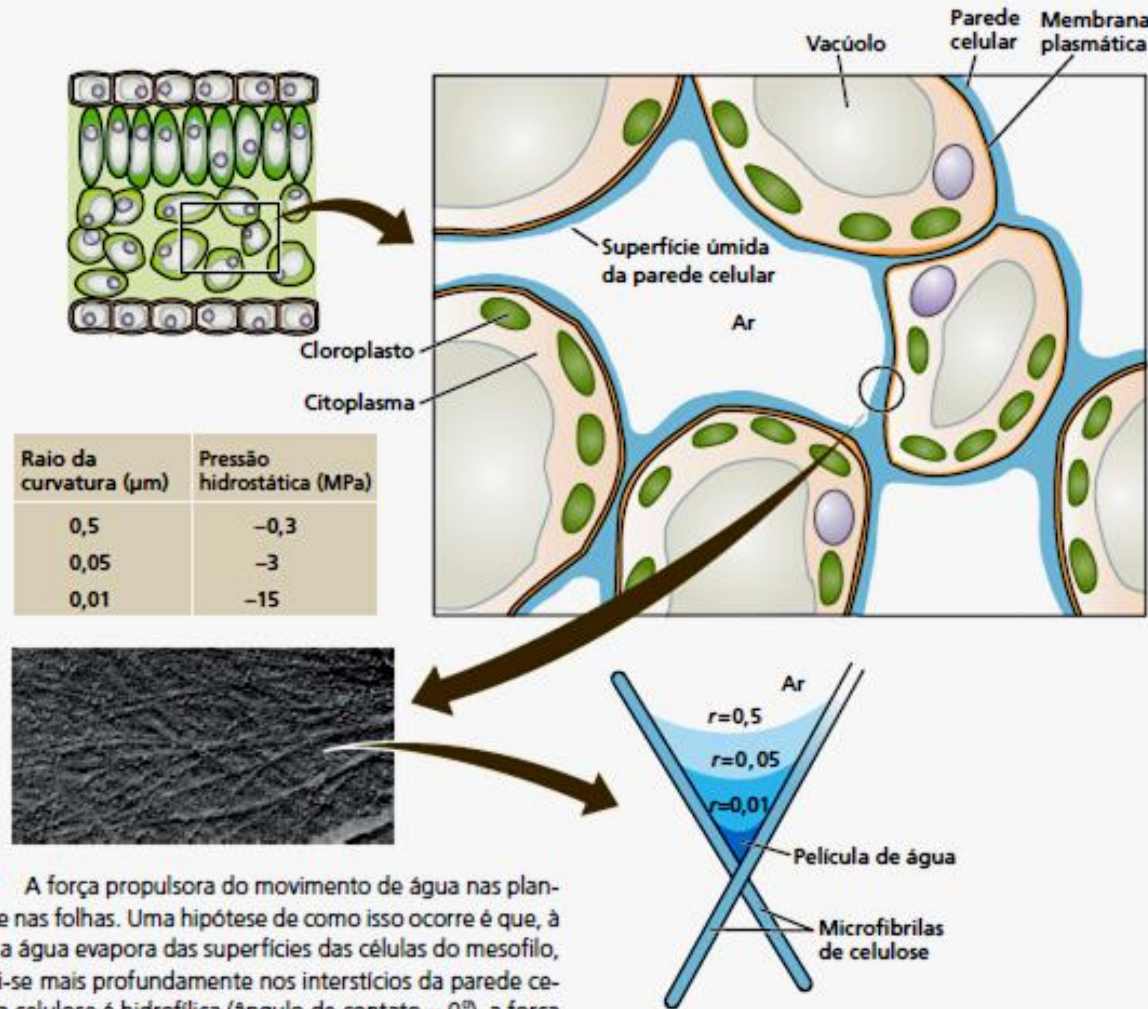


# Pressão Hidrostática

$$\Psi_p = - 2T/r$$

Quanto mais agudo é a angulação da água, maior é a pressão hidrostática

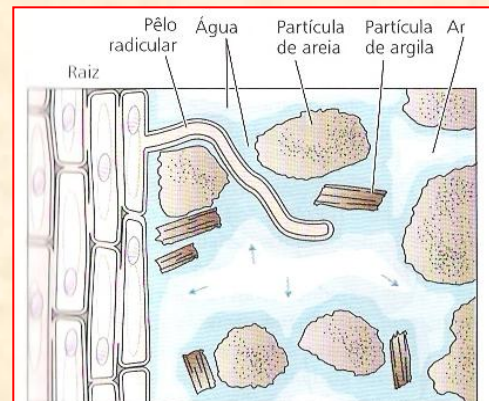
## Força de Sucção da Copa



**Figura 4.8** A força propulsora do movimento de água nas plantas origina-se nas folhas. Uma hipótese de como isso ocorre é que, à medida que a água evapora das superfícies das células do mesófilo, a água retrai-se mais profundamente nos interstícios da parede celular. Como a celulose é hidrofílica (ângulo de contato = 0°), a força resultante da tensão superficial causa uma pressão negativa na fase líquida. À medida que o raio da curvatura dessas interfaces ar-água decresce, a pressão hidrostática torna-se mais negativa, conforme calculado na Equação 4.1. (Micrografia de Gunning e Steer, 1996.)

acalorados. A principal controvérsia gira em torno de uma seguinte questão: as colunas de água no xilema podem suportar as grandes tensões (pressões negativas) ne

## No solo



Pressão Hidrostática:  $\Psi_p = -\frac{2T}{\text{raio}}$  onde:

T = Tensão superficial da água ( $7,28 \times 10^{-8}$  MPa . m)

$$\Psi_p = -\frac{2 \times (7,28 \times 10^{-8})}{\text{raio}} = \Psi_p = -\frac{1,456 \times 10^{-7}}{\text{raio}} \text{ MPa} . \text{ m}$$

Se raio de curvatura de **0,5  $\mu\text{m}$** :

$$\Psi_p = -\frac{1,456 \times 10^{-7} \text{ MPa} . \text{ m}}{0,5 \times 10^{-6} \text{ m}} \Rightarrow \Psi_p = -0,291 \text{ MPa} \Rightarrow \Psi_p = -0,3 \text{ MPa}$$

Se raio de curvatura de **0,05  $\mu\text{m}$** :

$$\Psi_p = -\frac{1,456 \times 10^{-7} \text{ MPa} . \text{ m}}{0,05 \times 10^{-6} \text{ m}} \Rightarrow \Psi_p = -2,91 \text{ MPa} \Rightarrow \Psi_p = -3,0 \text{ MPa}$$

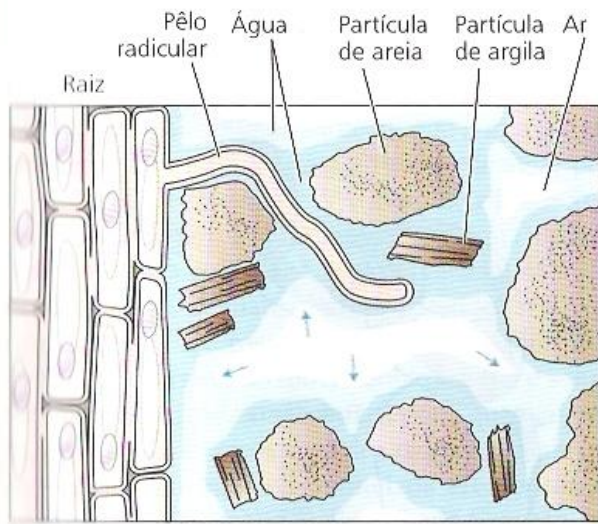
Se raio de curvatura de **0,01  $\mu\text{m}$** :

$$\Psi_p = -\frac{1,456 \times 10^{-7} \text{ MPa} . \text{ m}}{0,01 \times 10^{-6} \text{ m}} \Rightarrow \Psi_p = -14,56 \text{ MPa} \Rightarrow \Psi_p = -15,0 \text{ MPa}$$

Quanto mais agudo é a angulação da água, maior é a pressão hidrostática

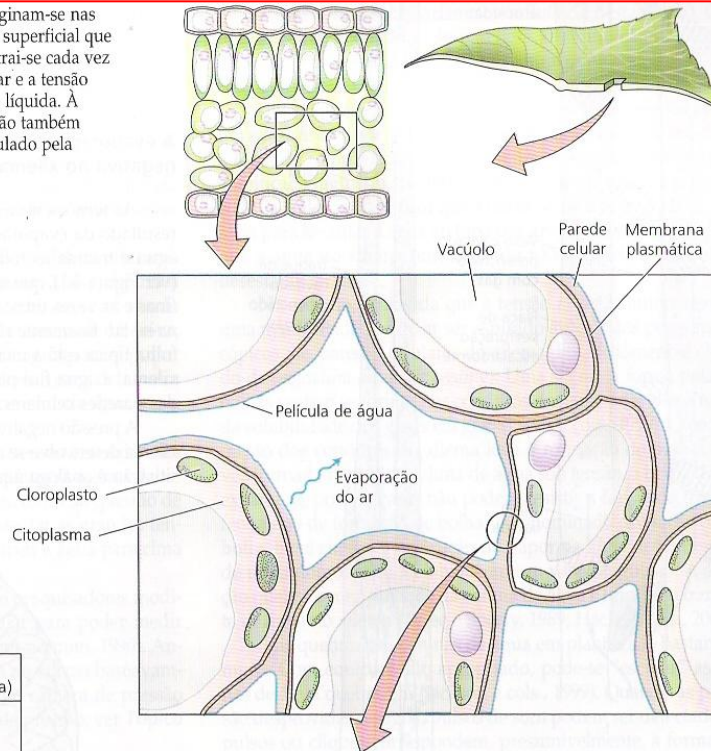
**Força de Sucção da Copa**





**FIGURA 4.2** Pêlos radiculares fazem um contato íntimo com as partículas do solo e amplificam grandemente a área de superfície que pode ser utilizada para a absorção de água pela planta. O solo é uma mistura de partículas (areia, argila, limo e material orgânico), água, solutos dissolvidos e ar. A água é adsorvida à superfície das partículas do solo. À medida que a água é absorvida pela planta, a solução do solo retrocede para pequenos compartimentos, canais e fissuras entre as partículas do solo. Nas interfaces ar-água, esse recuo faz com que a superfície da solução do solo desenvolva um menisco côncavo (interfaces curvas entre ar e água, marcadas na figuras por flechas), desenvolvendo uma tensão (pressão negativa) na solução por meio da tensão superficial. À medida que mais água é removida do solo, meniscos mais agudos são formados, resultando em tensões maiores (pressões mais negativas).

**FIGURA 4.9** Tensões ou pressões negativas originam-se nas folhas. À medida que a água evapora da película superficial que cobre as paredes celulares do mesofilo, a água retrai-se cada vez mais para dentro dos interstícios da parede celular e a tensão superficial provoca uma pressão negativa na fase líquida. À medida que o raio da curvatura decresce, a pressão também decresce (torna-se mais negativa), conforme calculado pela Equação 4.1.

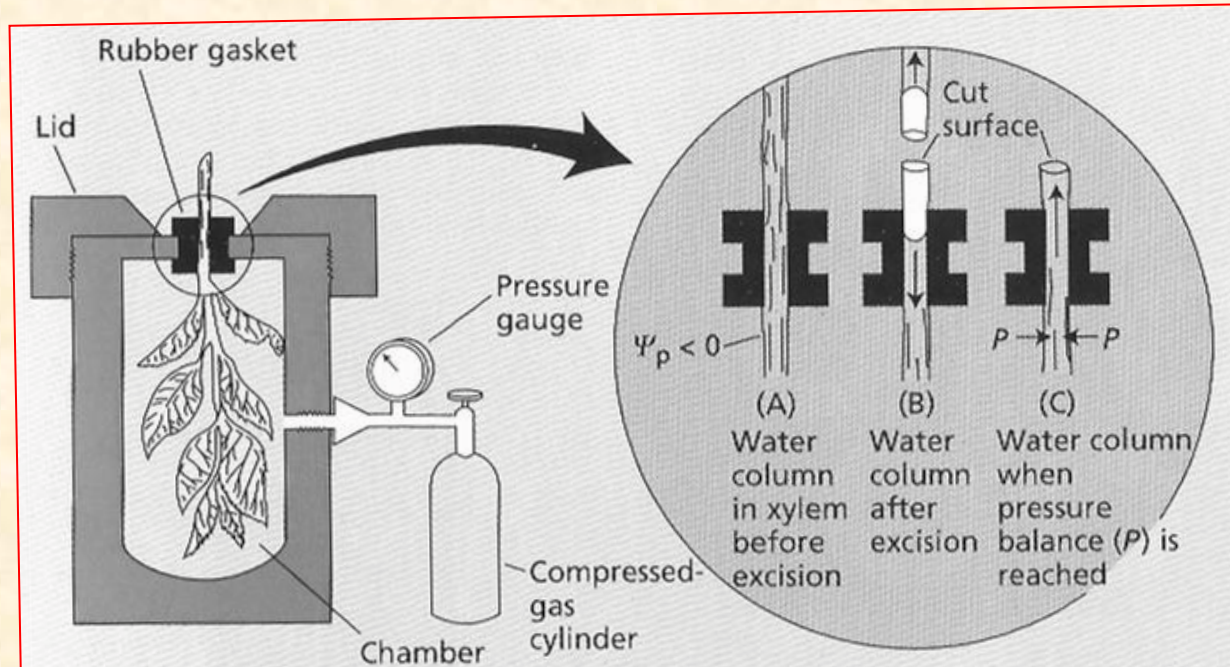


	Raio de curvatura ( $\mu\text{m}$ )	Pressão hidrostática (MPa)
(A)	0.5	-0.3
(B)	0.05	-3
(C)	0.01	-15

A mesma força de retenção da água que resulta no ponto de murcha permanente é responsável pelo estabelecimento da força de sucção da copa!

(pressão hidrostática)  

$$(\Psi_p = - 2T/r)$$



**Figure 3** The pressure chamber method for measuring plant water potential. The diagram at left shows a shoot sealed into a chamber, which may be pressurized with compressed gas. The diagrams at right show the state of the water columns within the xylem at three points in time: (A) The xylem is uncut and under a negative pressure, or tension. (B) The shoot is cut, causing the water to pull back into the tissue, away from the cut surface, in response to the tension in the xylem. (C) The chamber is pressurized, bringing the xylem sap back to the cut surface.



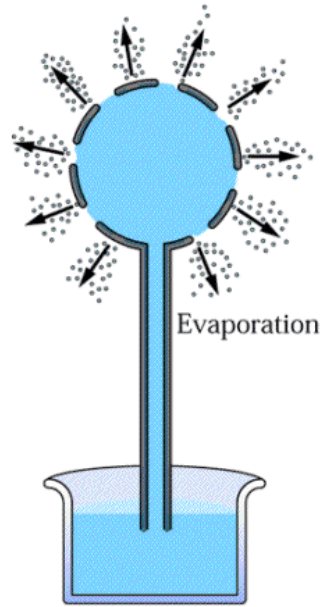
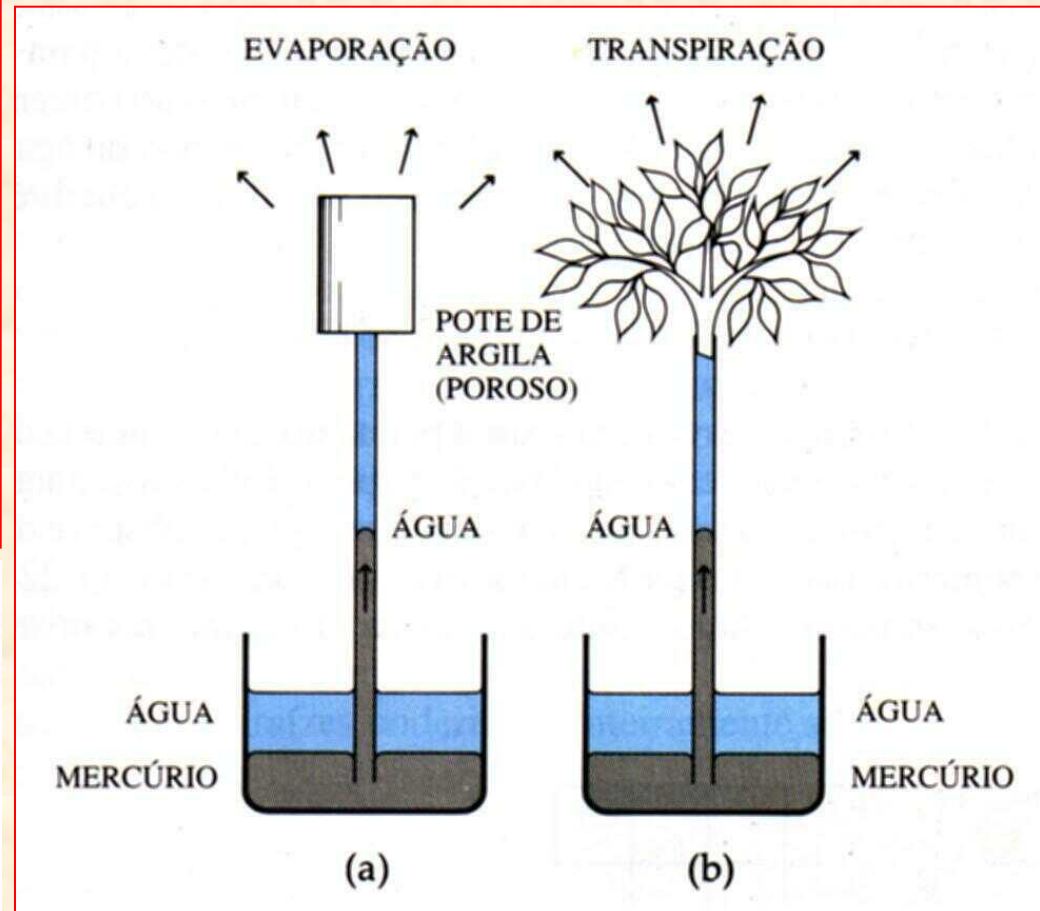


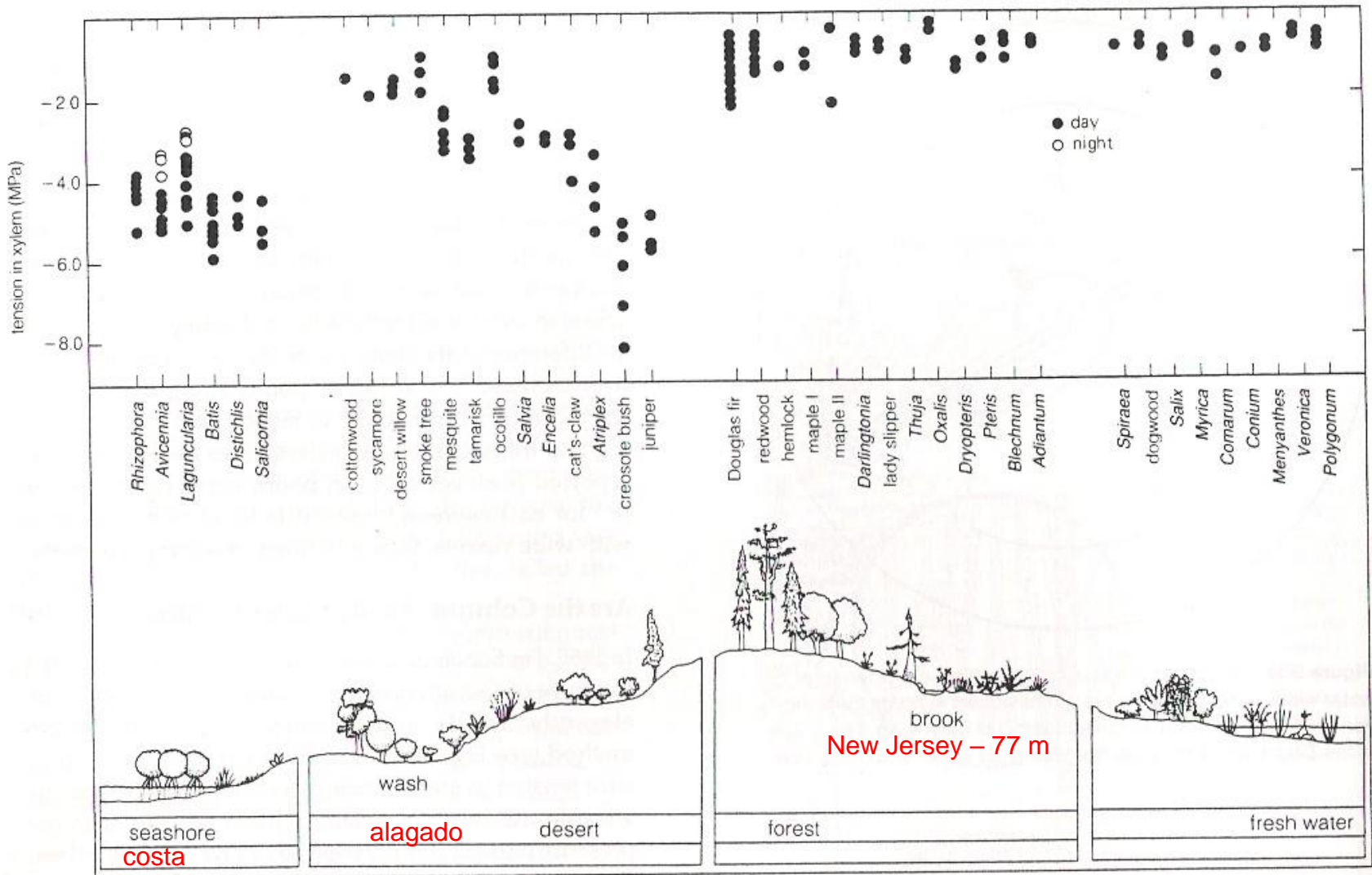
Figure 15.15  
A working model of the cohesion-tension mechanism of water movement in the xylem, represented as a porous ceramic cup atop a capillary tube.



28.7

(a) Um sistema físico simples que demonstra a teoria da tensão e coesão. Um pote de argila é preenchido com água e fixado na extremidade de um tubo de vidro longo e fino, também preenchido com água. Este tubo é colocado com sua extremidade inferior dentro de um volume de mercúrio contido em um béquer. À medida que a água evapora pelos poros do pote, ela é repostada pela água "puxada" através do tubo numa coluna contínua. Quando a água sobe, o mercúrio ascende pelo tubo para substituí-la. (b) A transpiração das folhas resulta em perda de água suficiente, de modo a criar uma pressão negativa similar.



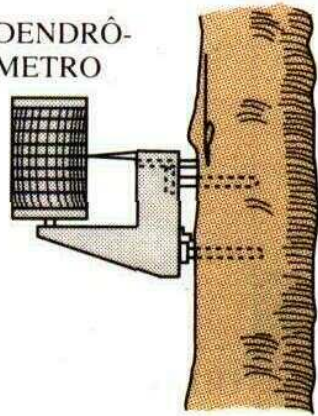


Plantas aquáticas água doce

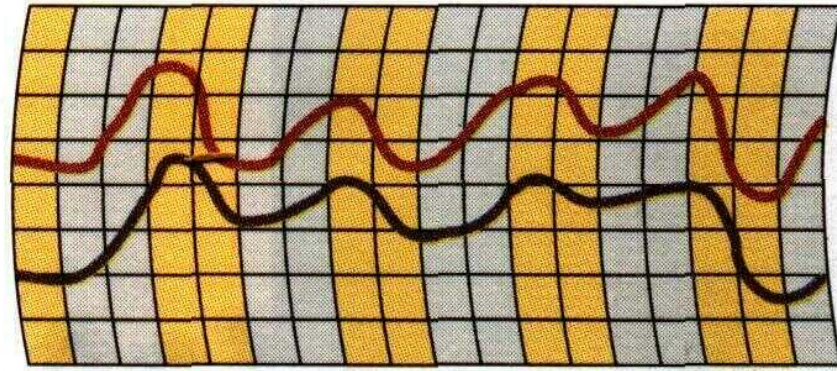
**Figure 5-15** Negative sap pressures in a variety of flowering plants, conifers, and ferns. Most measurements were taken with a pressure bomb during the daytime in strong sunlight. Night values in all cases are likely to be several tenths of a megapascal higher (less negative). (From Scholander et al., 1965; used by permission.)



DENDRÔ-  
METRO



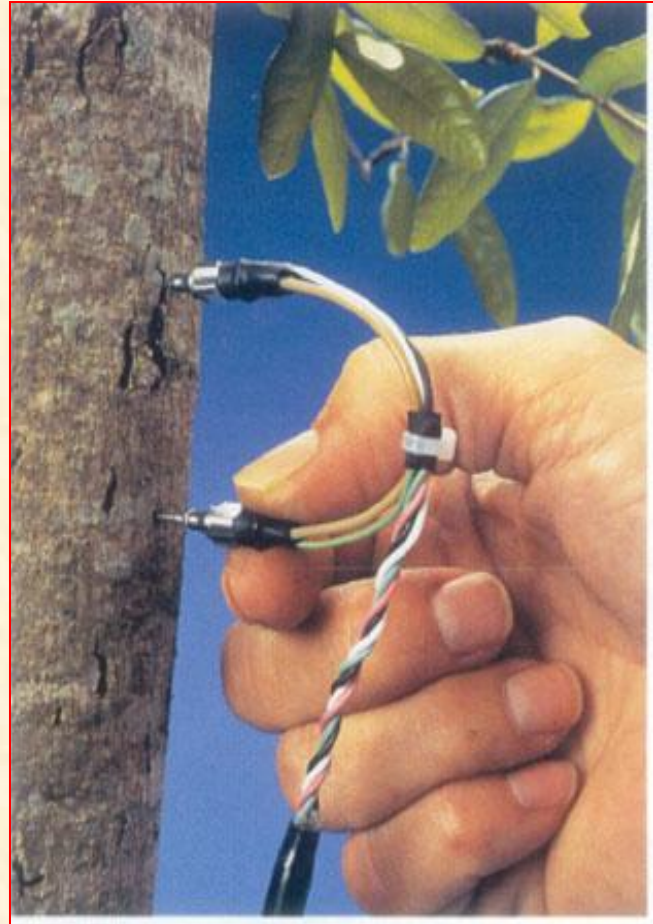
AUMENTO DE DIÂMETRO

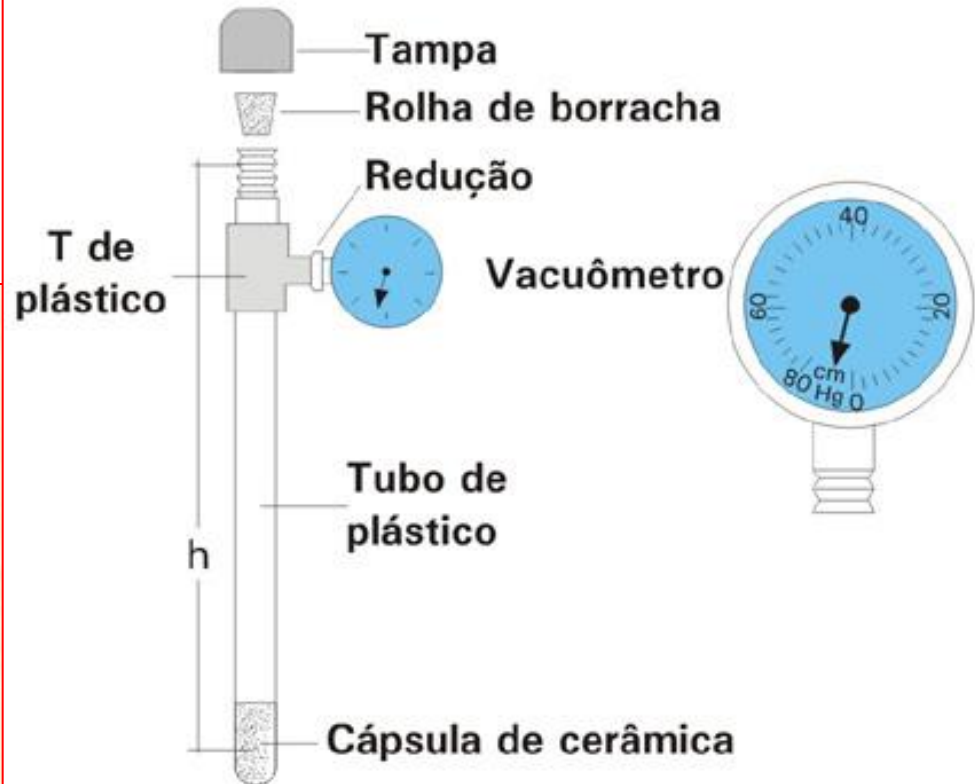


QUARTA-FEIRA QUINTA-FEIRA SEXTA-FEIRA SÁBADO











# A HORA DE IRRIGAR

## O momento exato é indicado pelo tensiômetro superficial

Cultura	Raízes (profundidade em cm)	Período crítico (1)	Nº de tensiômetros por local de observação (2)	Comprimento de tubo de polivinil (cm)	Profundidade de instalação		Hora de irrigar	
					Tensiômetro superficial (cm)	Tensiômetro profundo (cm)	Período crítico (cm/Hg)	Outros períodos (cm/Hg)
Alface	20- 30	Formação da cabeça à colheita	1	25	15	—	32	48
Alho	20- 40	Crescimento do bulbo	1	25	15	—	32	40
Arroz de sequeiro	40- 60	Início da primórdia floral ao florescimento	2	30/ 60	20	50	25	44
Banana	50- 80	Primeira parte do período vegetativo, florescimento e formação de cacho	2	30/ 70	20	60	25	116 <sup>(3)</sup>
Batata	40- 60	Floração e tuberação	2	30/ 60	20	50	25	40
Beterraba	40- 60	Primeiro mês após emergência	2	30/ 60	20	50	33	48
Brócolis	30- 50	Floração e crescimento da cabeça	1	30	20	—	37	48
Cana-de-açúcar	120-200	Estabelecimento da cultura e alongação do colmo	2	40/110	30	100	22	26
Café	150-300	Florescimento à fase de frutos "chumbinho"	2	40/110	30	100	49	49
Cebola	30- 50	Desenvolvimento do bulbo	1	30	20	—	37	44
Cenoura	45- 75	Primeiro mês após emergência	2	25/ 55	15	45	36	51
Couve-flor	30- 60	Do plantio à colheita	2	25/ 50	15	40	48	55
Ervilha	60- 90	Florescimento a enchimento de grãos	2	30/ 60	20	50	25	40
Feijão	40- 60	Florescimento a enchimento de grãos	2	30/ 60	20	50	25	33
Laranja	120-160	Florescimento e pegamento de frutos	2	40/110	30	100	18	79
Limão	120-160	Florescimento e pegamento de frutos	2	40/110	30	100	49	49
Melão	75-120	Florescimento à colheita	2	35/110	25	100	26	64
Milho	80-130	Florescimento e enchimento de grãos	2	35/110	25	100	33	56
Morango	25- 50	Desenvolvimento de fruto e maturação	1	25	15	—	17	25
Repolho	40- 50	Crescimento da cabeça e maturação	1	30	20	—	48	56
Soja	60-130	Florescimento e formação de grãos	2	35/110	25	100	41	116 <sup>(3)</sup>
Tomate	30- 90	Florescimento e formação de grãos	2	25/ 60	15	50	25	63
Trigo	40- 80	Início do emborrachamento ao espigamento	2	30/ 60	20	50	33	48
Uva	100-200	Período vegetativo (principalmente na alongação de raízes) e florescimento	2	40/110	30	100	33	41

(1) Período em que a planta mais precisa de água. (2) Geralmente dois locais de observação são suficientes. (3) O tensiômetro só vai até 76 cm/Hg. No caso, ou o agricultor irriga quando o tensiômetro indica o valor máximo ou ainda esperara uns três ou quatro dias para dar água à planta.

Fonte: IAPAR.







Sol Pleno



Sombra





### TABELA 4.2

Valores representativos de umidade relativa, concentração absoluta de vapor de água e potencial hídrico para quatro pontos ao longo da rota de perda de água de uma folha

Localização	Umidade relativa	Vapor de água	
		Concentração (mol m <sup>-3</sup> )	Potencial (MPa) <sup>a</sup>
Espaços intercelulares (25°C)	0,99	1,27	-1,38
Imediatamente dentro do poro estomático (25°C)	0,95	1,21	-7,04
Imediatamente fora do poro estomático (25°C)	0,47	0,60	-103,70
Ar (20°C)	0,50	0,50	-93,60

Fonte: Adaptado de Nobel, 1999.

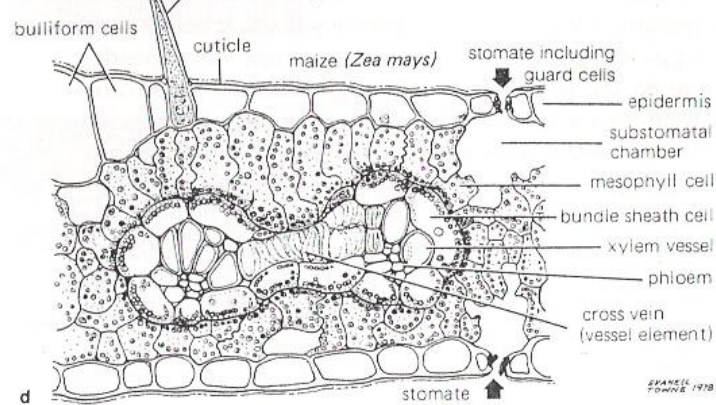
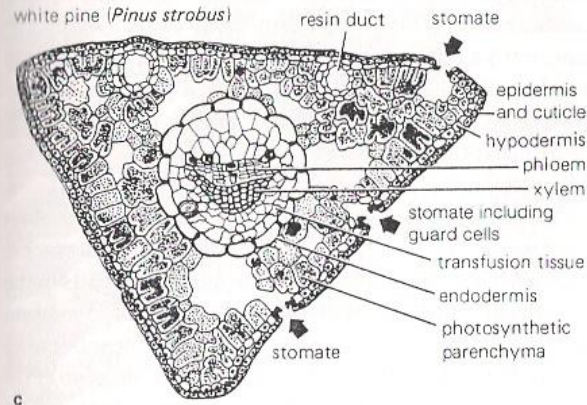
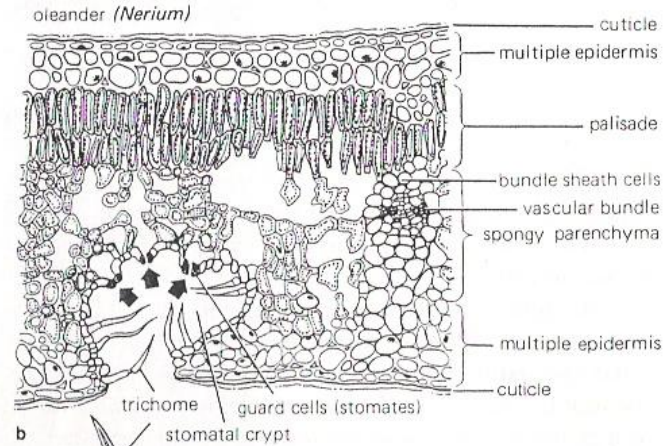
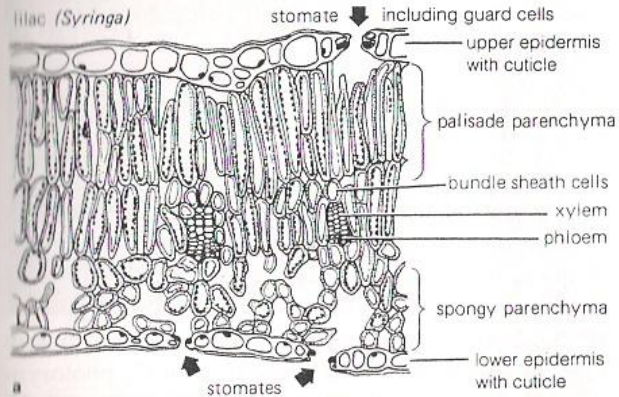
Nota: Ver Figura 4.10

<sup>a</sup> Calculado usando Equação 4.5.2 no **Tópico 4.5 da Internet**; com valores para  $RT/V_w$  de 135 MPa a 20°C e 137,3 MPa a 25°C.

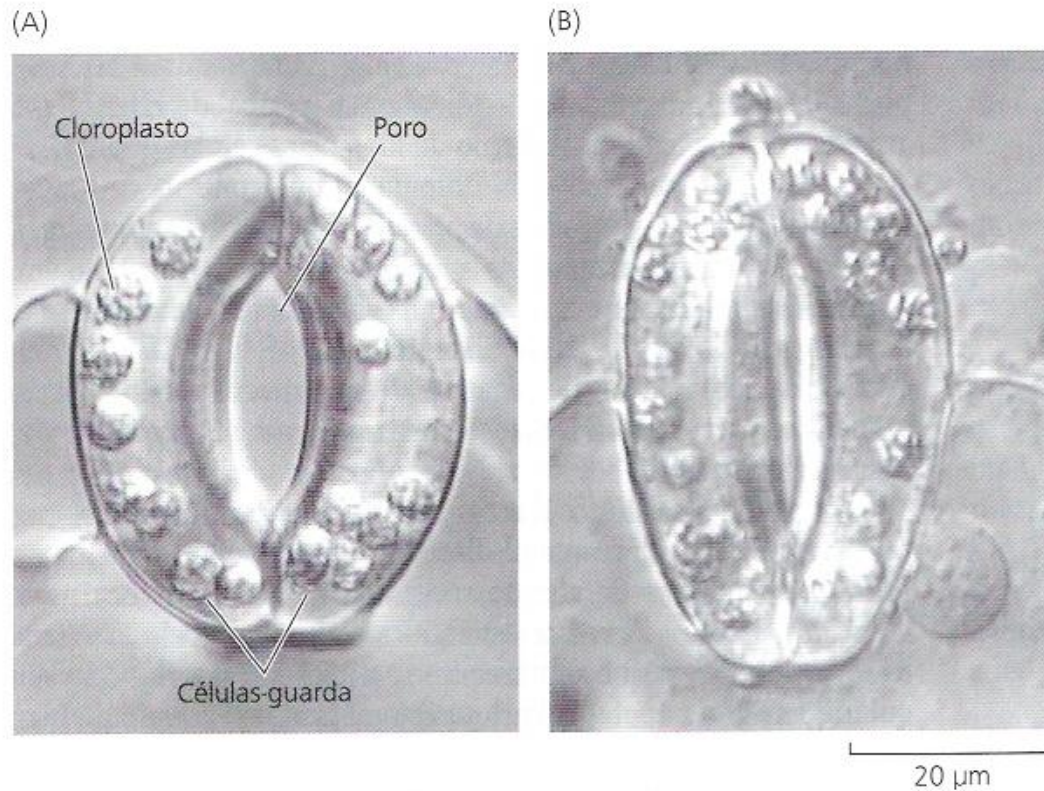
***Difusão para gases (vapor de água):***

$$T_{c\ 1/2} = \frac{(10^{-3}\ m)^2}{2,4 \cdot 10^{-5}\ m^2\ s^{-1}} = \mathbf{0,042\ s}$$





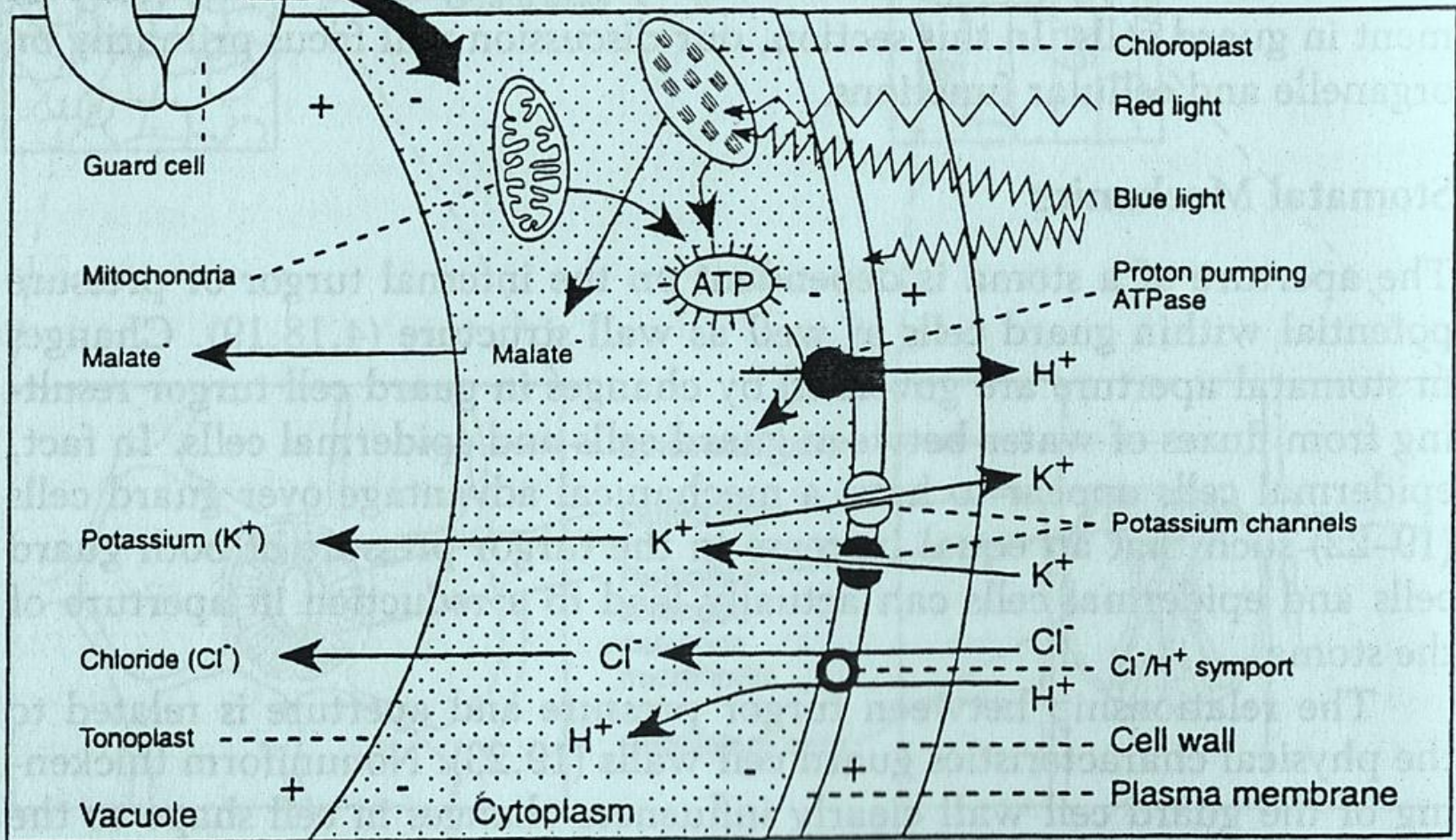
**Figure 4-4** Cross sections through four representative leaves, one with "normal" stomates (**a**), one with stomates deeply sunken in a stomatal cavity (**b**), one a pine needle (leaf) with slightly sunken stomates (**c**), and one a grass leaf with about equal numbers of stomates on both surfaces (**d**). Arrows point to the stomatal pores, but the stomates include the guard cells. Spongy parenchyma and palisade parenchyma (as in **a** and **b**) collectively form the mesophyll. Note details of differing leaf anatomy; pine and grass leaves do not have a palisade layer, for example. Bulliform cells of maize (**d**) shrink in response to water stress, causing the leaf to roll into a cylindrical shape.



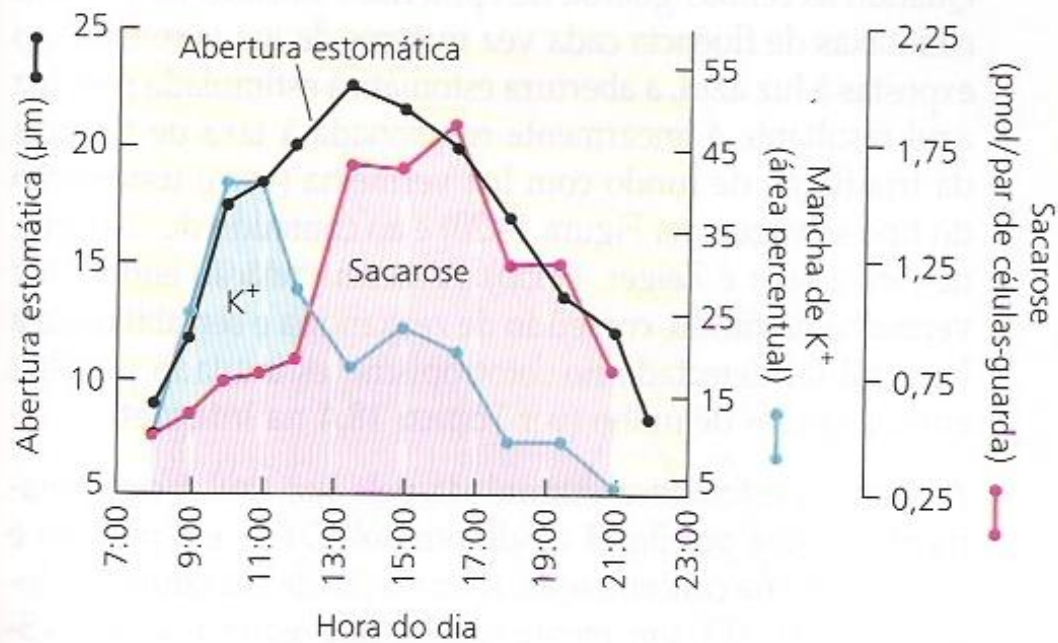
**FIGURA 18.8** Abertura estomática estimulada pela luz em epiderme isolada de *Vicia faba*. O estômato aberto após tratamento com luz (A) é mostrado no estado fechado, após tratamento no escuro (B). A abertura estomática é quantificada por meio da medição microscópica da abertura do poro estomático (cedida por E. Raveh).



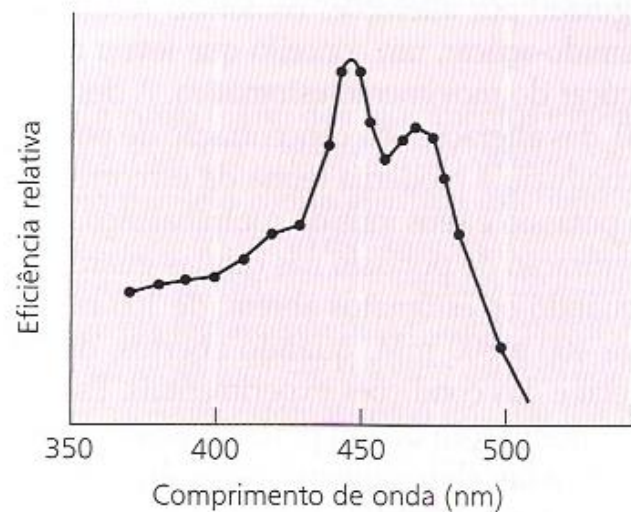
## Abertura estomática em plantas $C_3$ , $C_4$ e CAM = $C_3$



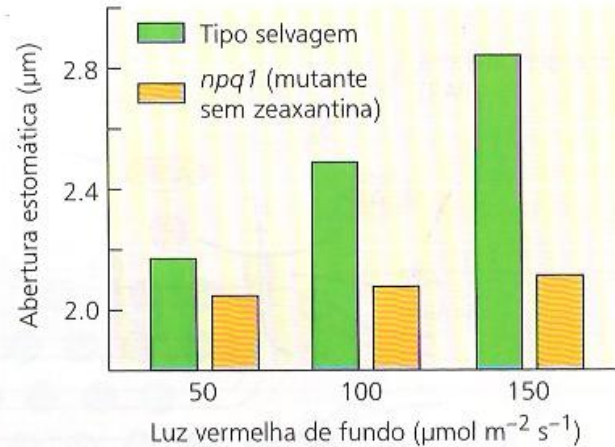
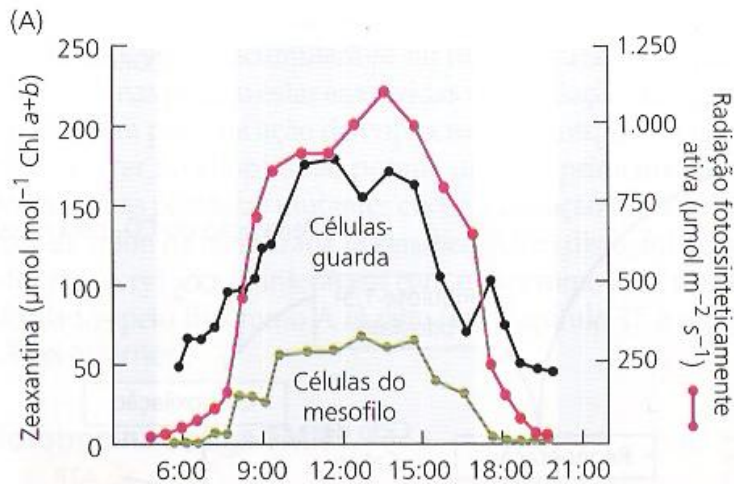




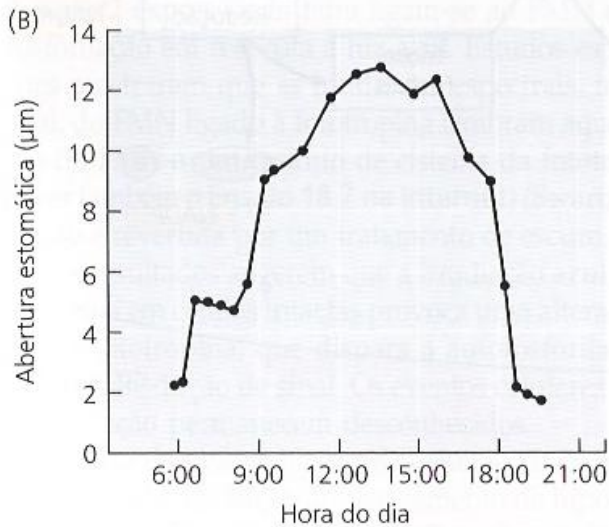
**FIGURA 18.16** Curso diário das mudanças na abertura estomática e nos conteúdos de potássio e sacarose, das células-guarda de folhas intactas de *Vicia faba*. Os resultados obtidos indicam que as alterações no potencial osmótico, necessárias para a abertura estomática pela manhã, são mediadas pelo potássio e seus contra-íons, enquanto as mudanças que ocorrem à tarde são mediadas pela sacarose (Talbot e Zeiger, 1998).



**FIGURA 18.11** Espectro de ação para a abertura estomática estimulada pela luz azul (sob luz de fundo vermelha) (Karlsson, 1986).

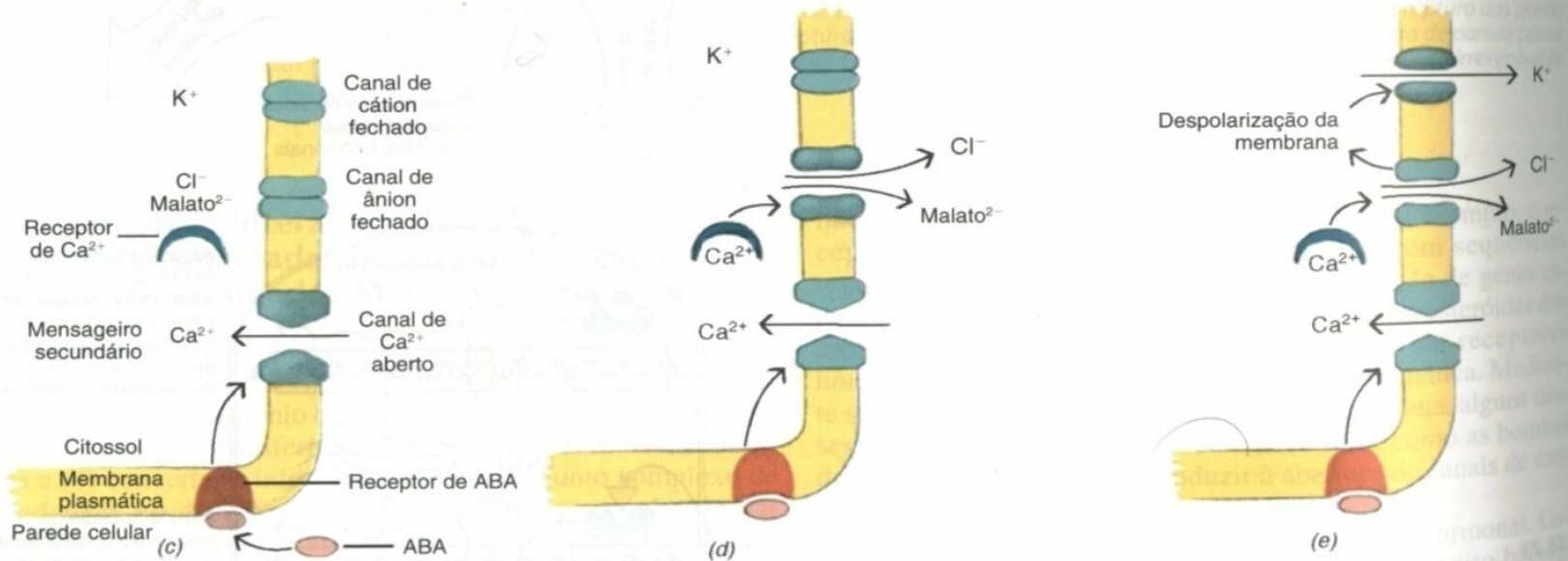
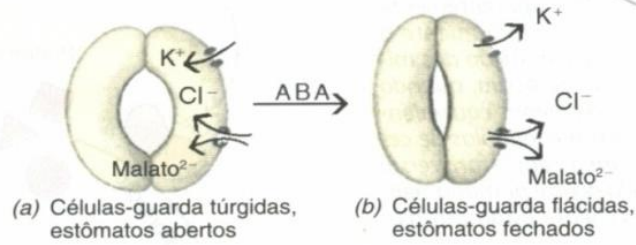


**FIGURA 18.20** Respostas estomáticas à luz azul nos tipos selvagem e *npq1*, um mutante de *Arabidopsis* que não apresenta zeaxantina. Estômatos de epiderme isolada foram irradiados com luz vermelha por duas horas, e  $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de luz azul foram adicionados por uma hora adicional. A abertura estomática no tipo selvagem é proporcional às taxas de fluência da luz vermelha de fundo. Por outro lado, os estômatos do *npq1* não têm esta resposta e mostraram uma abertura reduzida sob luz azul e vermelha, provavelmente mediada pela fotossíntese das células-guarda (Frechilla e cols., 1999).



**FIGURA 18.18** O conteúdo de zeaxantina das células-guarda segue de perto a radiação fotossinteticamente ativa e as aberturas estomáticas. (A) Curso diário da radiação fotossinteticamente ativa que atinge a superfície da folha e do conteúdo de zeaxantina das células-guarda e células do mesofilo de folhas de *Vicia faba* cultivadas em casa de vegetação. As áreas brancas dentro do gráfico salientam a sensibilidade contrastante do ciclo da xantofila nos cloroplastos do mesofilo e das células-guarda sob as baixas irradiâncias que prevalecem no início e no final do dia. (B) Aberturas estomáticas nas mesmas folhas utilizadas para a medição do conteúdo celular de zeaxantina (Srivastava e Zeiger, 1995a).

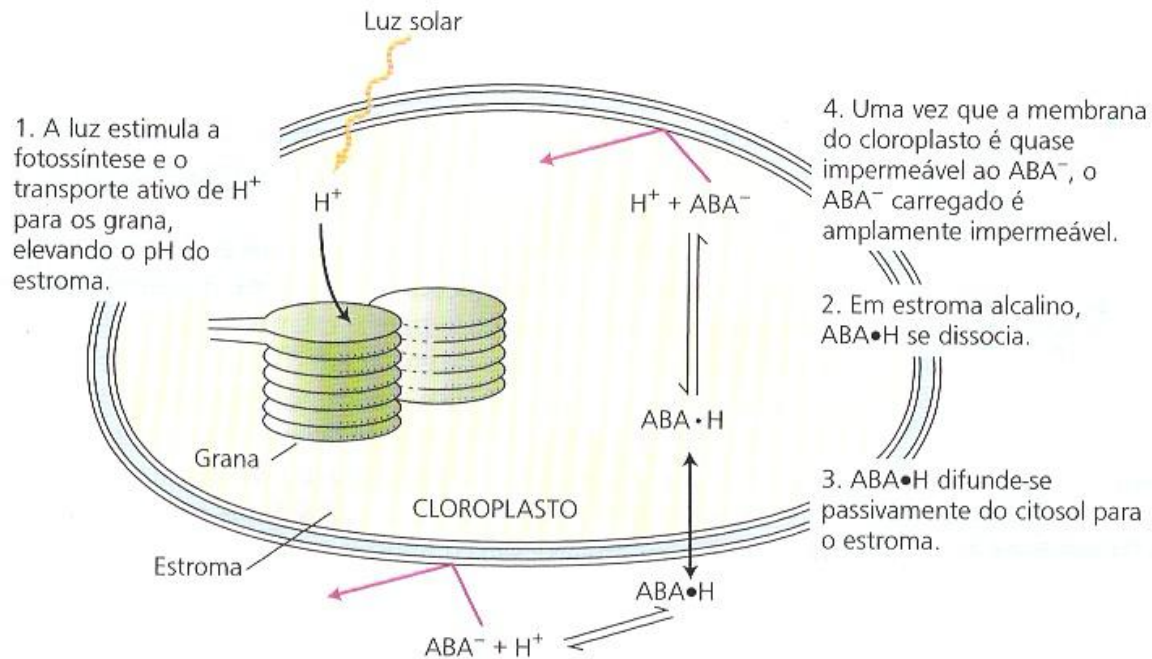




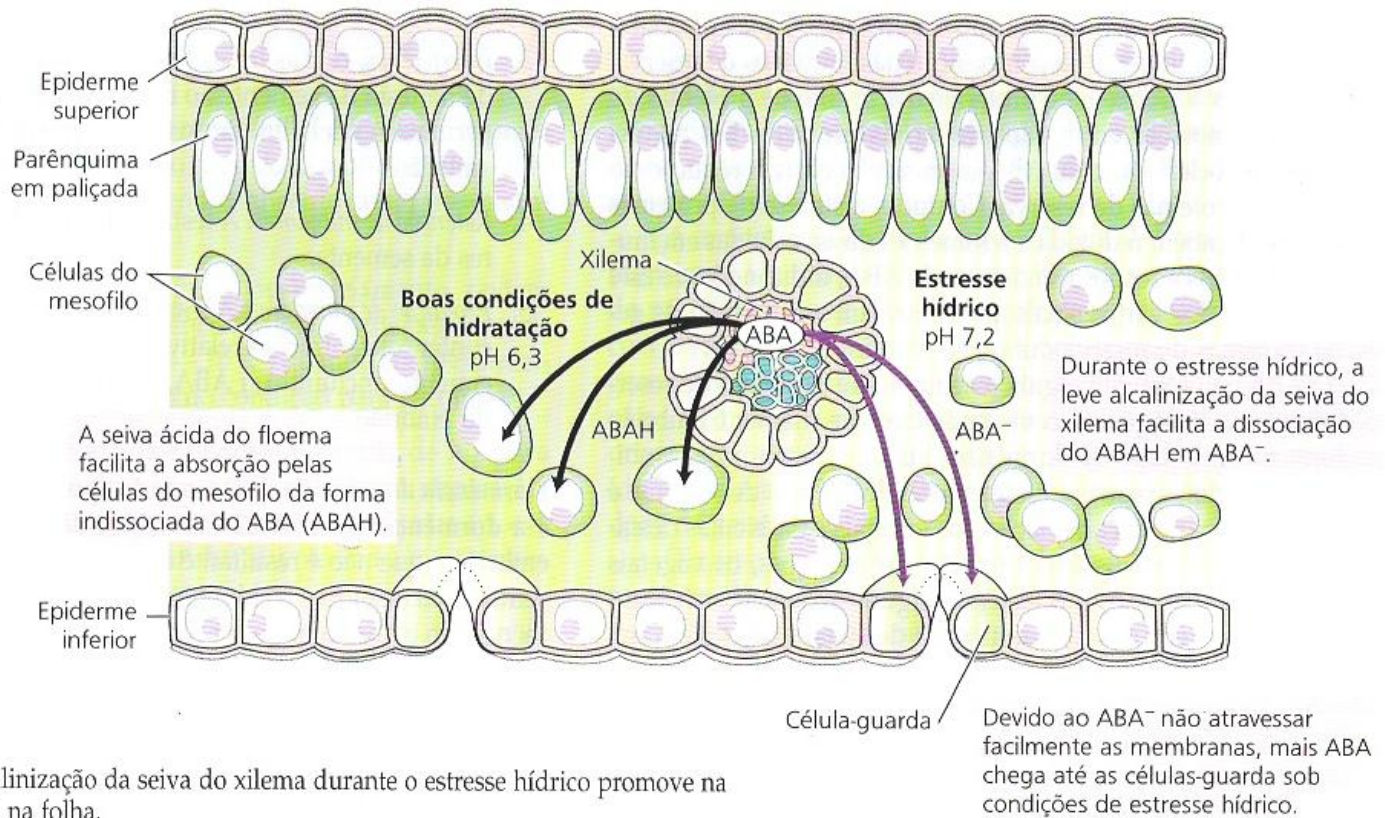
### 28.24

Regulação do movimento dos estômatos. (a) A pressão de turgor causada pela alta concentração de solutos nas células-guarda que bordejam o poro estomático mantém o poro aberto. (b) A liberação de solutos em resposta ao ABA reduz a pressão de turgor nas células-guarda, resultando no fechamento do poro estomático. A seqüência de eventos que conduz ao fechamento dos estômatos mediado por ABA envolve canais de íons através da membrana plasmática das células. Nesse modelo, (c) a ligação do ABA ao seu receptor na membrana plasmática causa a abertura dos canais de  $\text{Ca}^{2+}$ . (d) A liberação de  $\text{Ca}^{2+}$  dentro do citossol age como um mensageiro secundário para abrir canais de ânions através dos quais os íons  $\text{Cl}^-$  e o  $\text{malato}^{2-}$  difundem-se do citossol para a parede celular. (e) A queda resultante no potencial elétrico (despolarização da membrana) através da membrana plasmática abre os canais de  $\text{K}^+$  e permite a liberação de  $\text{K}^+$  dentro da parede celular. O fluxo de solutos do citossol para a parede celular resulta num decréscimo na pressão de turgor nas células-guarda, causando o fechamento do estômato.



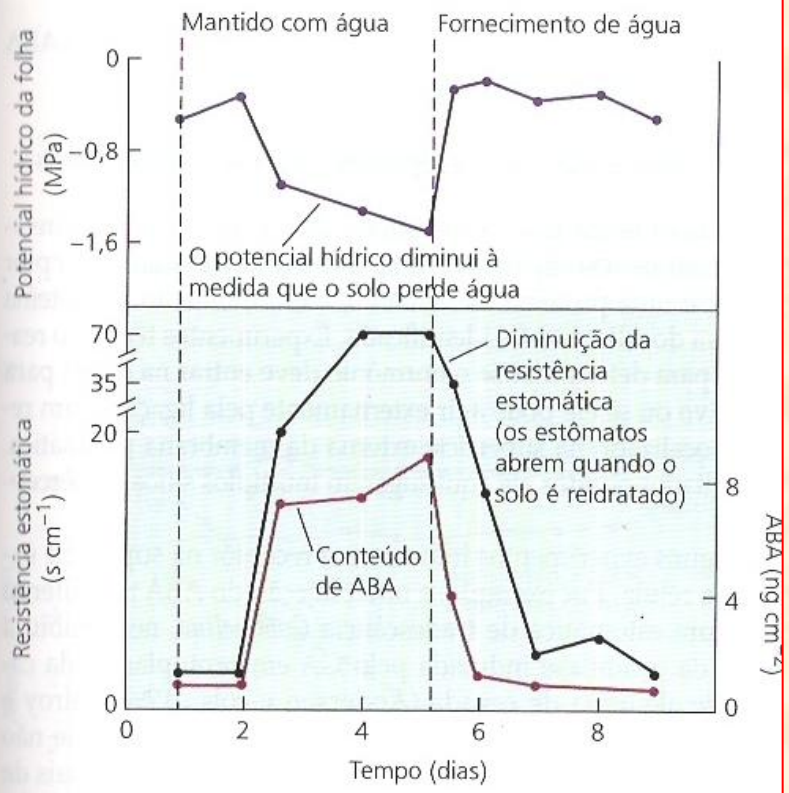


**FIGURA 25.3** Acumulação de ABA por cloroplastos na luz. A luz estimula a entrada de prótons nos grana, tornando o estroma mais alcalino. O aumento da alcalinidade causa a dissociação do ácido fraco  $ABA \bullet H$  em  $H^+$  e o ânion  $ABA^-$ . A concentração de  $ABA \bullet H$  no estroma fica abaixo da concentração no citosol, diferença de concentração que aciona a difusão passiva de  $ABA \bullet H$  através da membrana do cloroplasto. Ao mesmo tempo, a concentração de  $ABA^-$  no estroma aumenta, mas a membrana do cloroplasto é quase impermeável ao ânion (setas vermelhas), que, assim, permanece aprisionado. Esse processo continua até que as concentrações de  $ABA \bullet H$  no estroma e no citosol sejam iguais. Mas desde que o estroma permaneça mais alcalino, a concentração total de ácido abscísico ( $ABA \bullet H + ABA^-$ ) no estroma ultrapassa em muito a concentração no citosol.

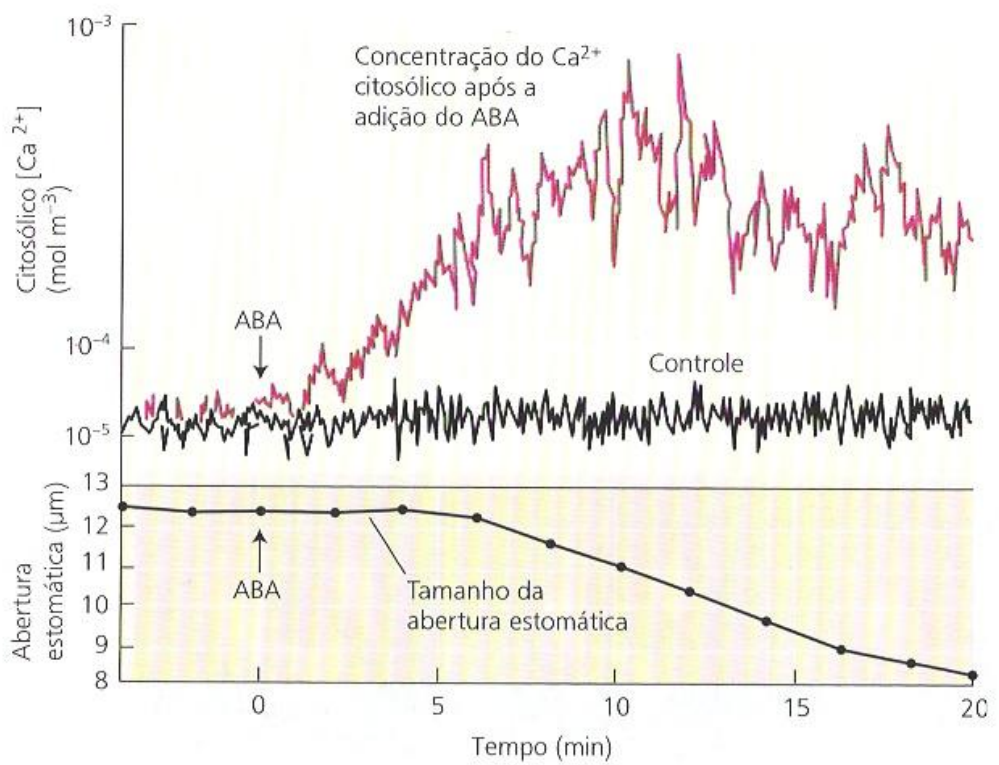


**FIGURA 23.4** A alcalinização da seiva do xilema durante o estresse hídrico promove na redistribuição do ABA na folha.



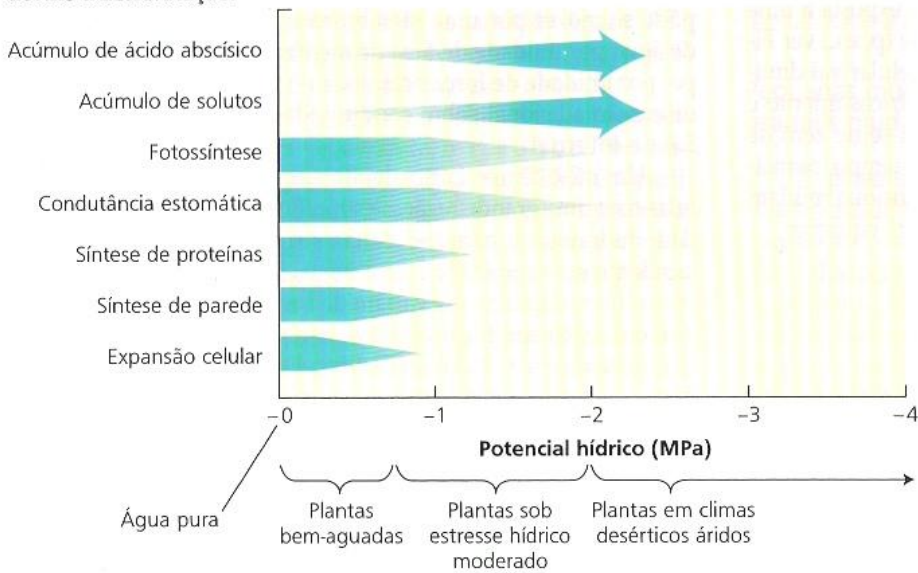


**FIGURA 23.5** Alterações no potencial hídrico, na resistência estomática (o inverso da condutância estomática) e no conteúdo de ABA em milho, em resposta ao estresse hídrico. À medida que o solo perde água, o potencial hídrico das folhas decresce e aumenta tanto o conteúdo de ABA quanto à resistência estomática. O processo foi revertido pela rega (Beardsell e Cohen, 1975).



**FIGURA 23.9** Aumento das concentrações do  $Ca^{2+}$  citosólico induzido pelo ABA nas células guarda (parte superior do gráfico) e da abertura estomática induzida pelo ABA (parte inferior do gráfico) ao longo do tempo (Mansfield e McAinsh, 1995).

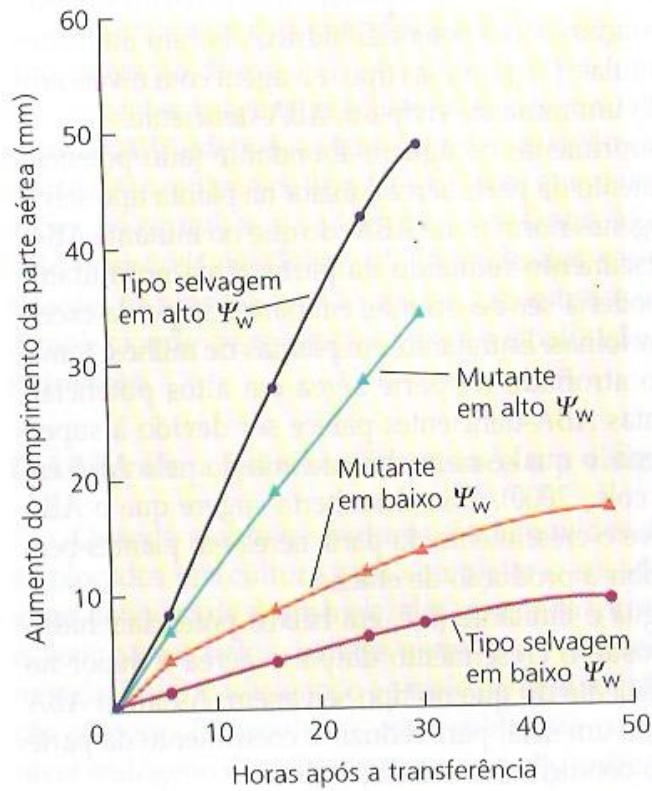
**Mudanças fisiológicas  
devido à desidratação:**



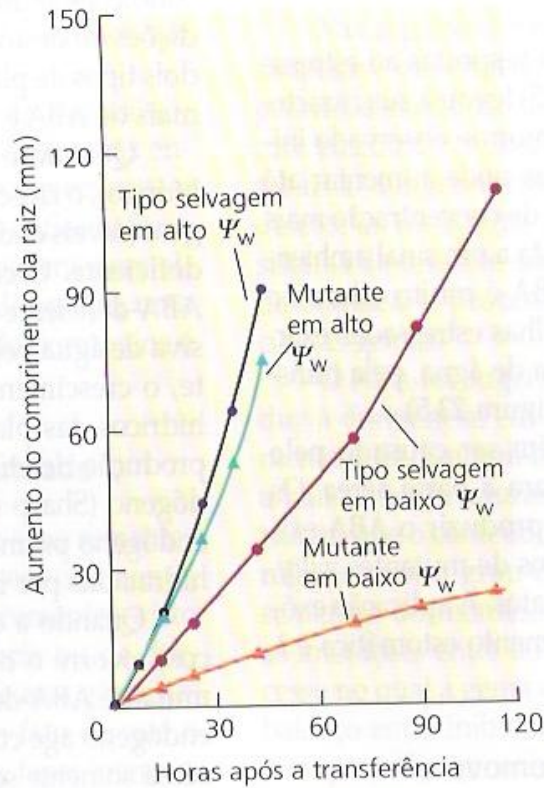
**FIGURA 3.12** Potencial hídrico de plantas sob várias condições de crescimento e sensibilidade de vários processos fisiológicos ao potencial hídrico. A intensidade da coloração da barra corresponde à magnitude do processo. Por exemplo, a expansão celular decresce à medida que o potencial hídrico cai (torna-se mais negativo). O ácido abscísico é um hormônio que induz o fechamento estomático durante o estresse hídrico (ver Capítulo 23) (Hsiao, 1979).



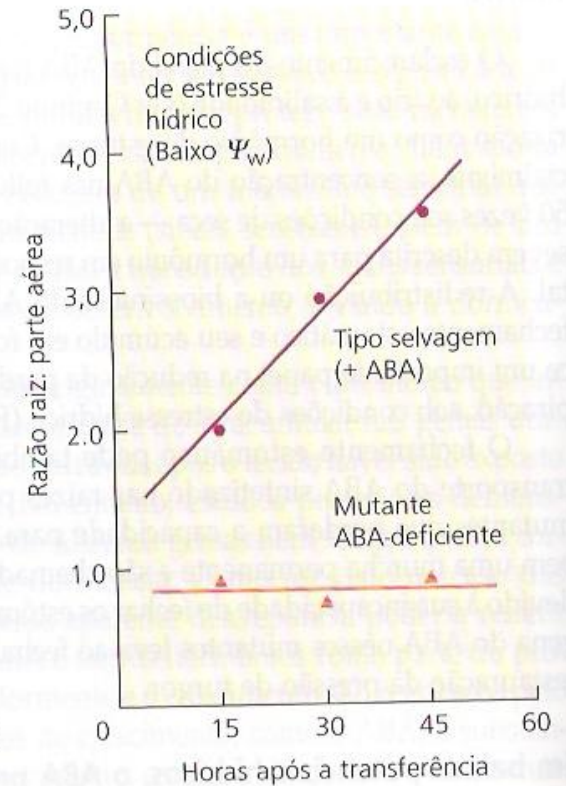
(A) Parte aérea



(B) Raiz



(C) Razão raiz: parte aérea



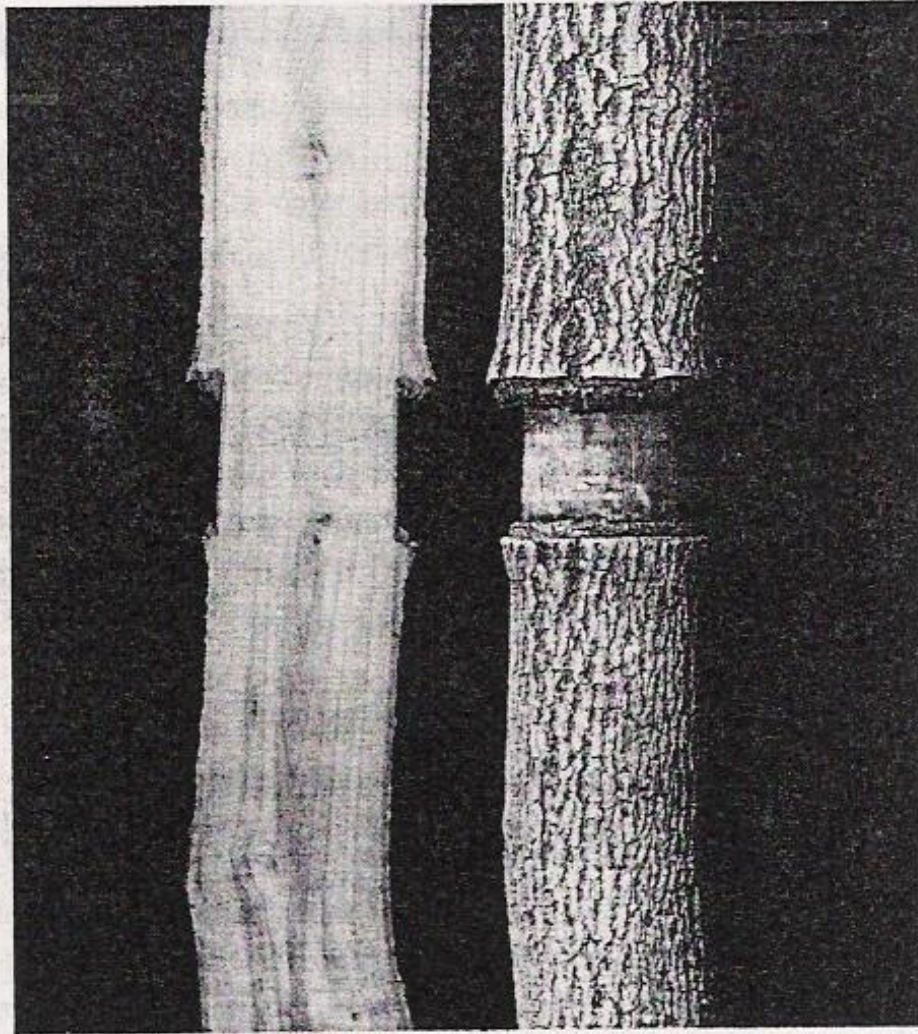
**FIGURA 23.6** Comparação do crescimento das partes aéreas (A) e das raízes (B) de plantas normais de milho em comparação com mutantes ABA-deficientes (vivíparos) crescidas em vermiculita e mantidas em alto potencial hídrico ( $-0,03$  MPa) ou em baixo potencial hídrico ( $-0,3$  MPa em A e  $-1,6$  MPa em B). O estresse hídrico (baixo potencial hídrico) diminui o crescimento tanto das raízes quanto das partes aéreas comparado com os controles. (C) Observe que sob estresse hídrico (baixo  $\Psi_w$ ), a taxa de crescimento da raiz, comparada com a da parte aérea, é muito maior quando o ABA está presente (i. é, no tipo selvagem) do que quando ele está ausente (no mutante) (Saab e cols., 1990).

# **Mobilização e Transporte de Assimilados**



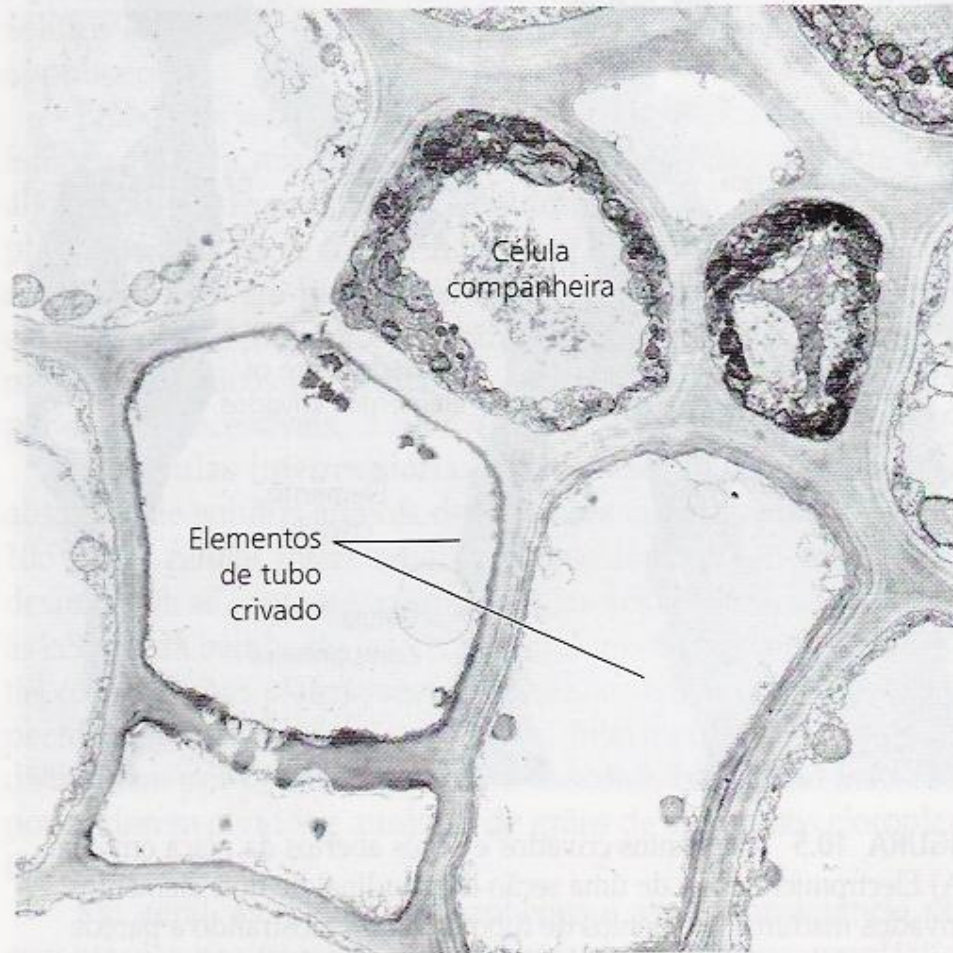


*Marcello Malpighi*  
(1628-1694)

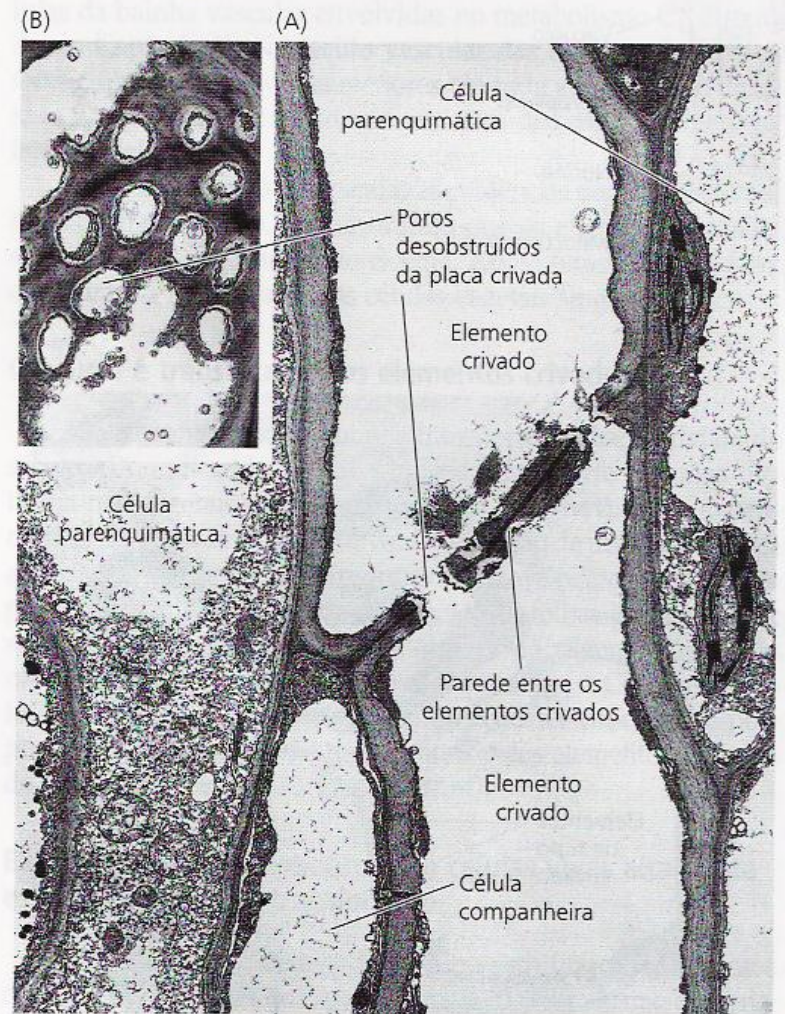


**Figure 8-1** The effects of girdling the trunk of a tree by removing bark from around the circumference. Note the swelled bark above the girdle compared with that below. The trunk has been cut to reveal the annual growth rings. Note that an entire year's growth was laid down above the girdle but not below. (Specimen courtesy of Herman Wiebe.)



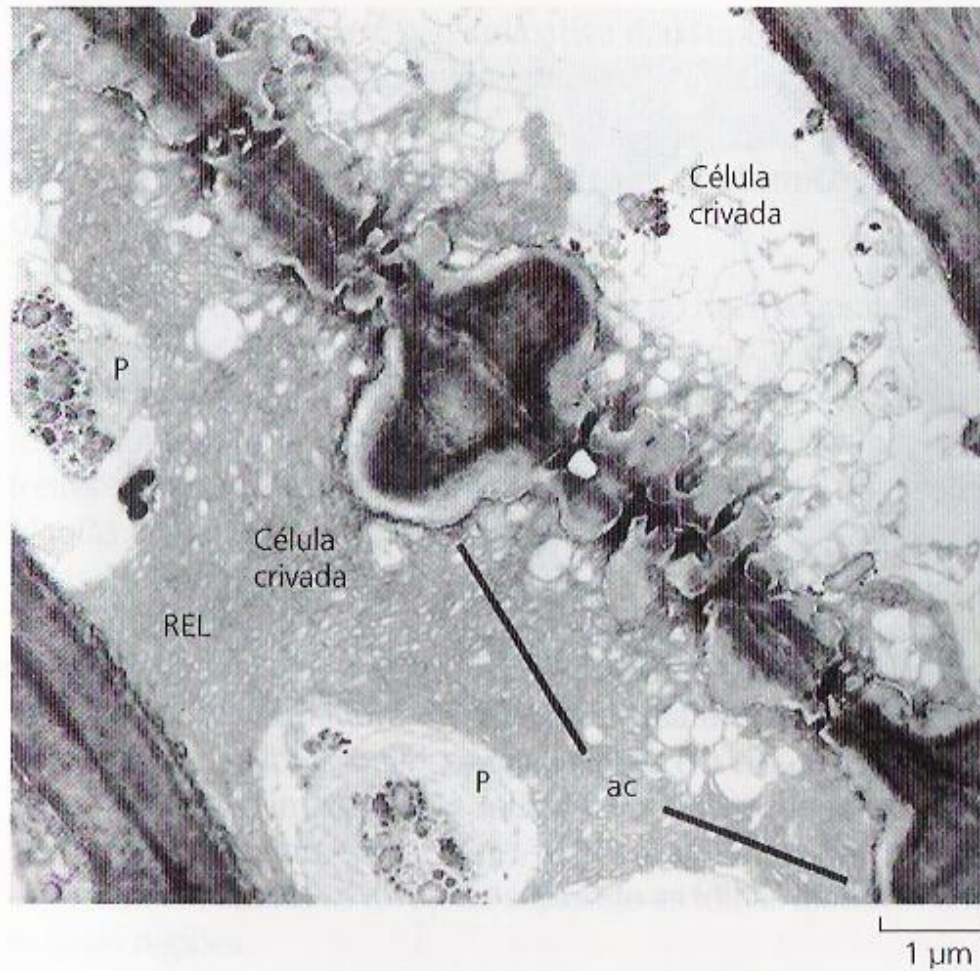


**FIGURA 10.4** Electromicrografia de uma seção transversal de células companheiras ordinárias e elementos de tubo crivado maduros (3.600x). Os componentes celulares são distribuídos ao longo das paredes dos elementos de tubo crivado (Warmbrodt, 1985).

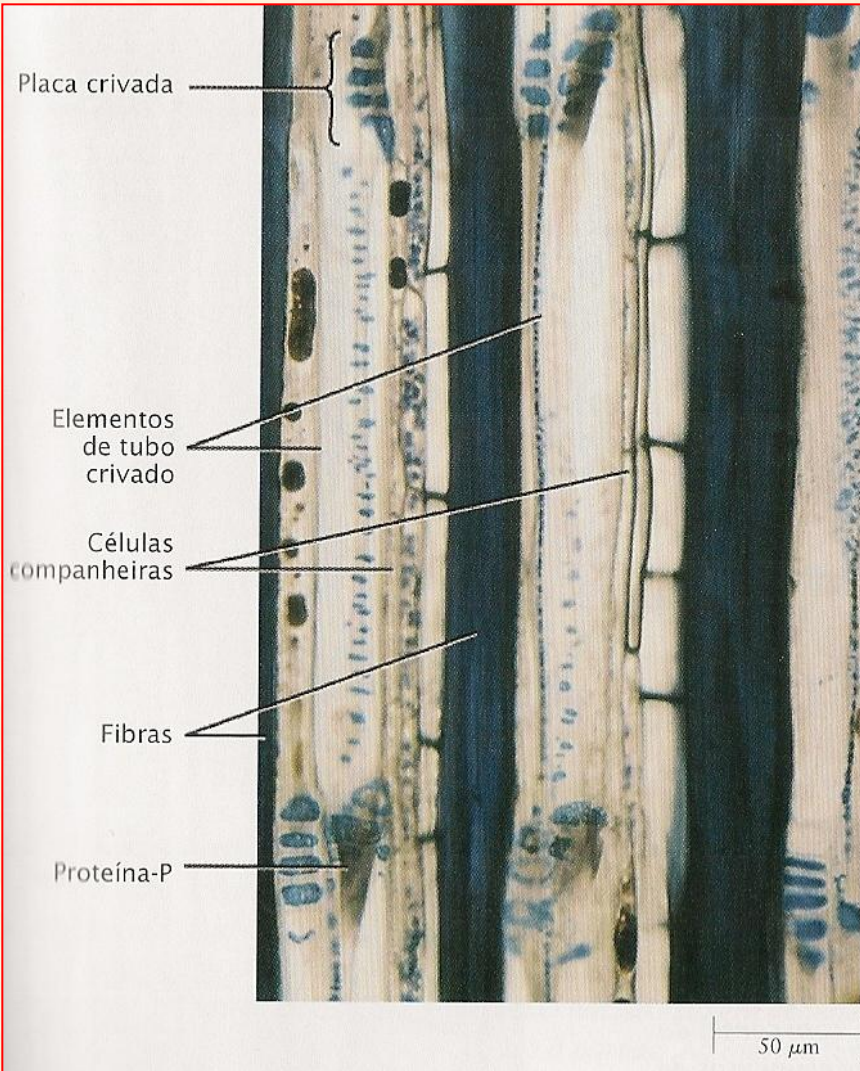


**FIGURA 10.5** Elementos crivados e poros abertos da placa crivada. (A) Electromicrografia de uma seção longitudinal de dois elementos crivados maduros (elementos de tubo crivado), mostrando a parede entre os elementos crivados (denominados uma placa crivada) no hipocótilo de abóbora (*Cucurbita maxima*) (3.685x). (B) O detalhe mostra os poros de uma placa crivada na visão frontal. (4.280x). Em ambas as imagens, A e B, os poros da placa crivada estão abertos — isto é, não-obstruídos pela proteína-P (Evert, 1982).





**FIGURA 10.6** Electromicrografia ilustrando uma área crivada (ac) ligando duas células crivadas em conífera (*Pinus resinosa*). O retículo endoplasmático liso (REL) recobre a área crivada em ambos os lados e é também encontrado nos poros e na cavidade mediana. Os plastídeos (P) são circundados pelo REL (Schulz, 1990).

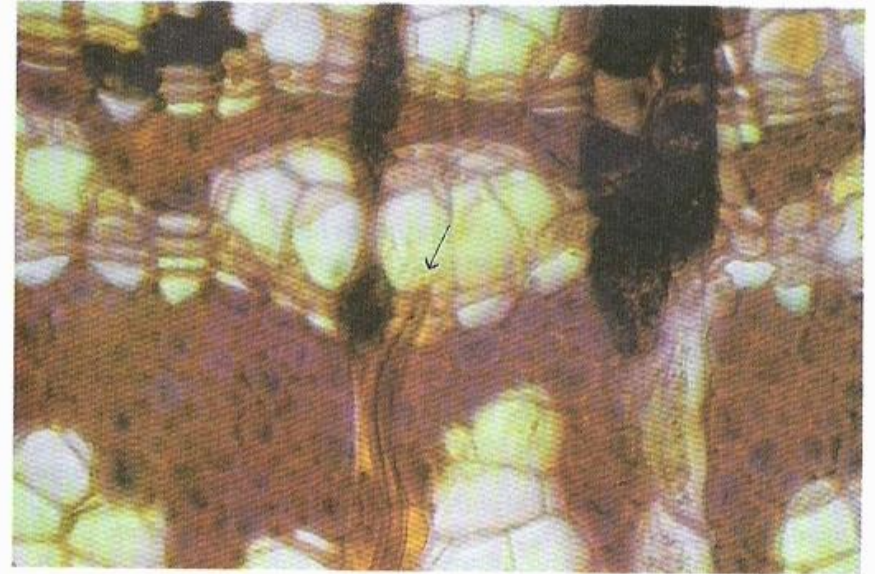


**23.19 Elementos de tubos crivados** Seção longitudinal (radial) do floema secundário de tília (*Tilia americana*), mostrando elementos de tubo crivado com áreas crivadas e grupos conspícuos de fibras de paredes espessadas. As células parenquimáticas especializadas, conhecidas como células companheiras (ver no texto, adiante), estão caracteristicamente associadas aos elementos de tubo crivado. A proteína-P, um componente característico dos elementos de tubo crivado das magnoliídeas e eudicotiledôneas, acumulou-se nas placas crivadas desses elementos.





(a)



(b)

20  $\mu\text{m}$

11.24

(a) Afídeo (*Longistigma caryae*) alimentando-se no caule da tília (*Tilia americana*). Uma gotícula de "secreção açucarada" pode ser vista saindo do afídeo.  
(b) Uma fotomicrografia mostrando parte da estrutura bucal modificada (estiletes) do afídeo em um tubo crivado do floema secundário do caule da tília. Uma seta indica as pontas dos estiletes.

## Composição da Seiva do Floema

<b>Componente</b>	<b>Concentração (mg mL<sup>-1</sup>)</b>
Açúcares	80,0-106,0
Aminoácidos	5,2
Ácidos orgânicos	2,0-3,2
Proteínas	1,45-2,20
Potássio	2,3-4,4
Cloreto	0,355-0,675
Fosfato	0,350-0,550
Magnésio	0,109-0,122



(A) Açúcares redutores, que não são normalmente translocados no floema

Os grupos redutores são os grupos aldeídos (glicose ou manose) e os grupos cetona (frutose).

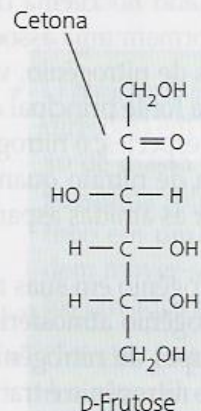
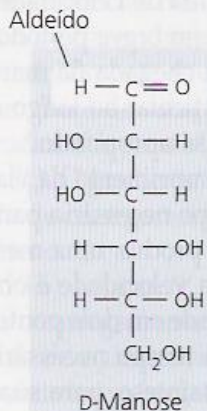
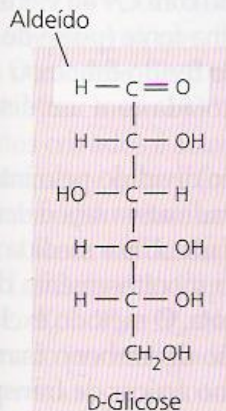
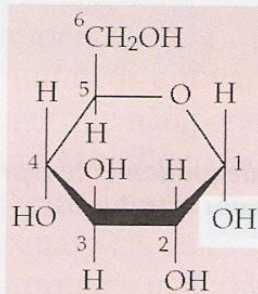
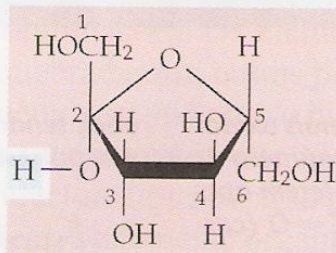


FIGURA 10.9 Estrutura dos compostos que não são normalmente translocados no floema (A) e daqueles normalmente translocados (B).

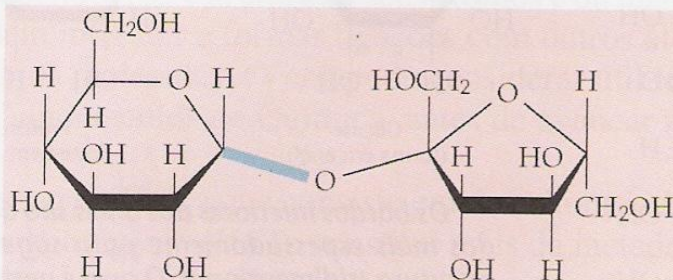
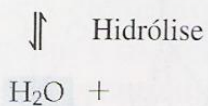
alfa-Glicose



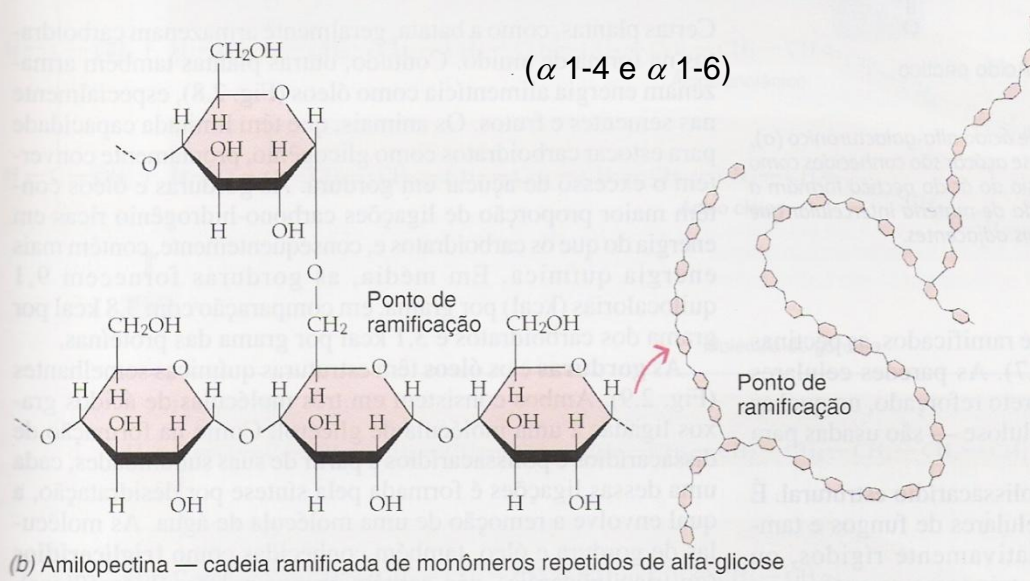
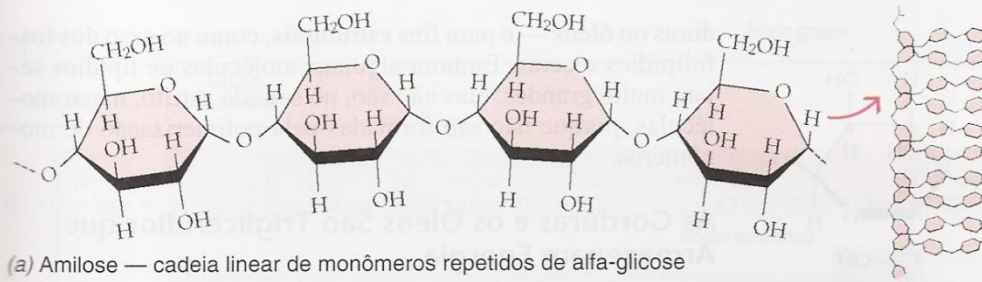
beta-Frutose



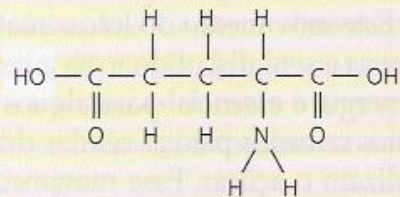
Síntese por desidratação



Sacarose ( $\alpha 1 \beta 2$ )

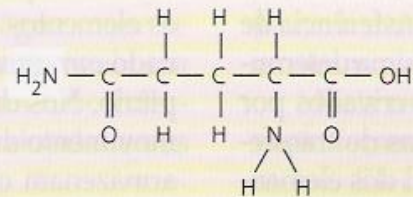


O ácido glutâmico, um aminoácido, e a glutamina, sua amida, são compostos nitrogenados importantes no floema, além do aspartato e da asparagina.



Ácido glutâmico

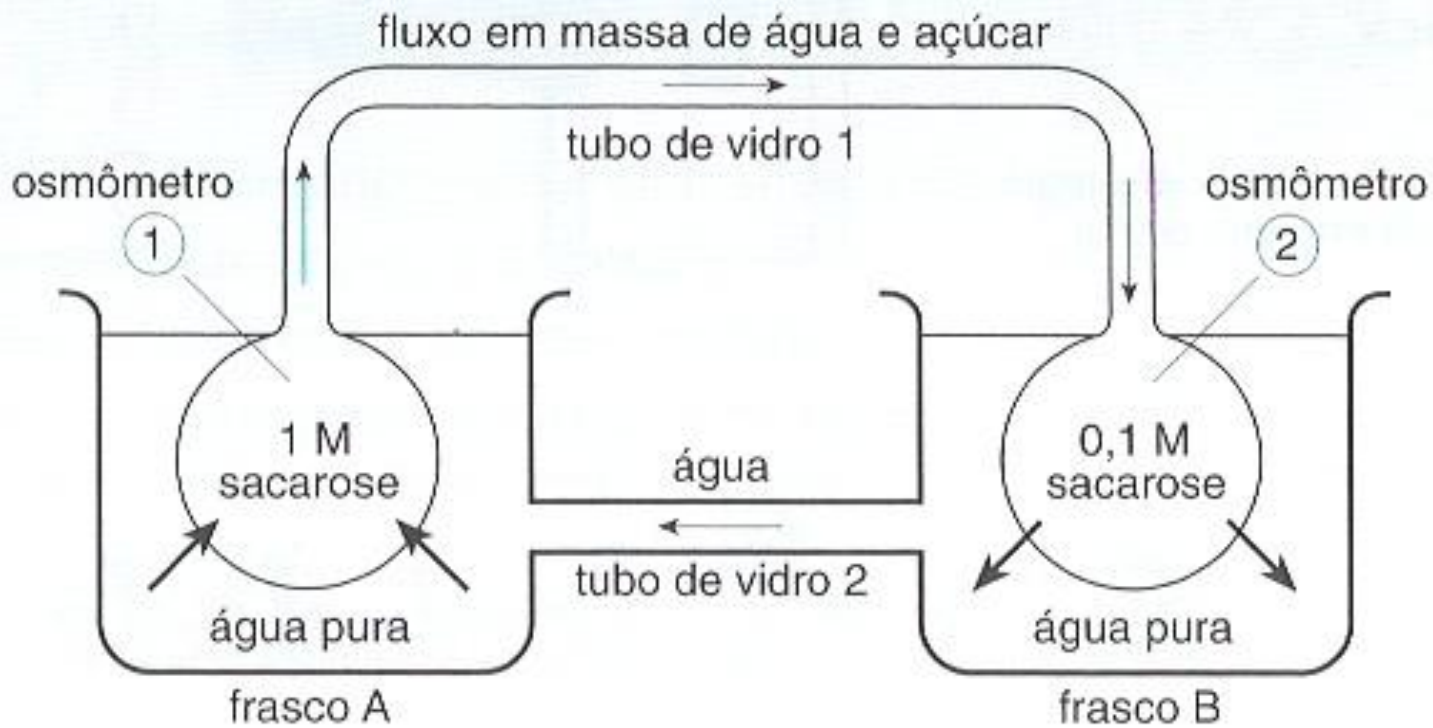
**Aminoácido**



Glutamina

**Amida**



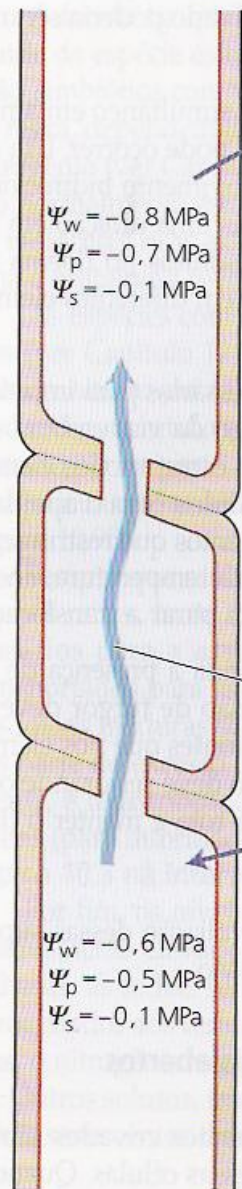


Modelo para a hipótese de Münch.

### Elemento de vaso do xilema

### Elementos crivados do floema

### Célula companheira

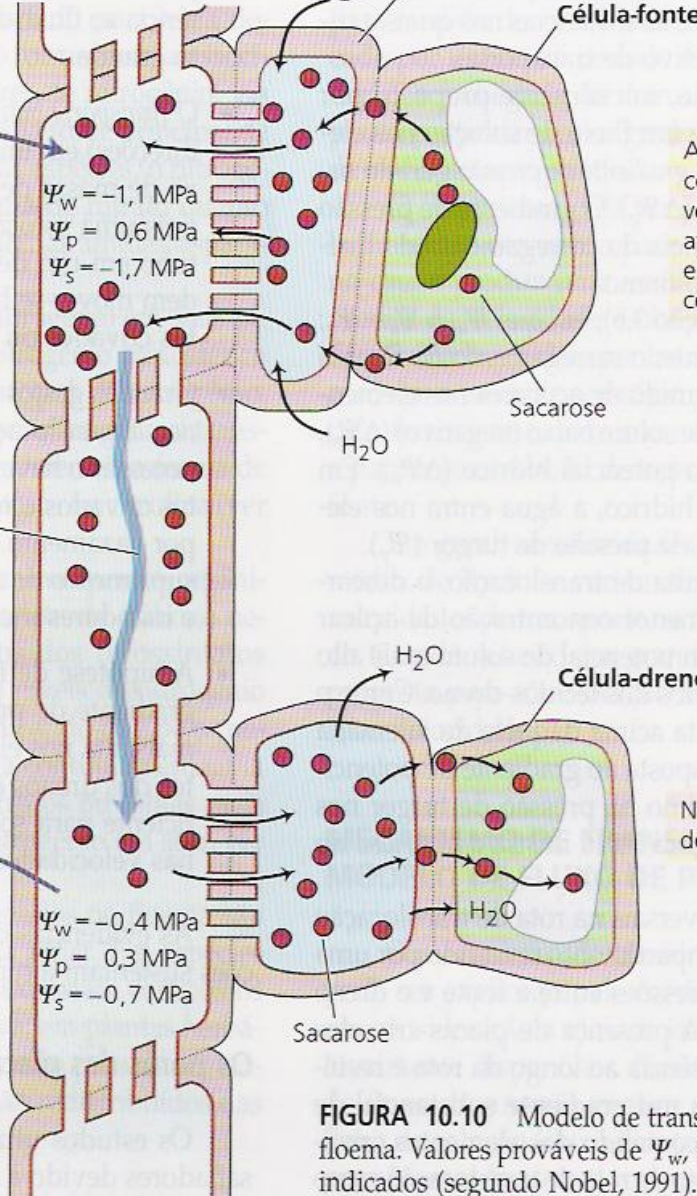


O carregamento ativo do floema para os elementos crivados causa diminuição do potencial de soluto, a água entra, resultando em alta pressão de turgor.

Fluxo de massa da água e de soluto gerado por pressão, da fonte para o dreno

Corrente de transpiração

O descarregamento ativo do floema aumenta o potencial de soluto, a água sai, resultando em pressão de turgor mais baixa.



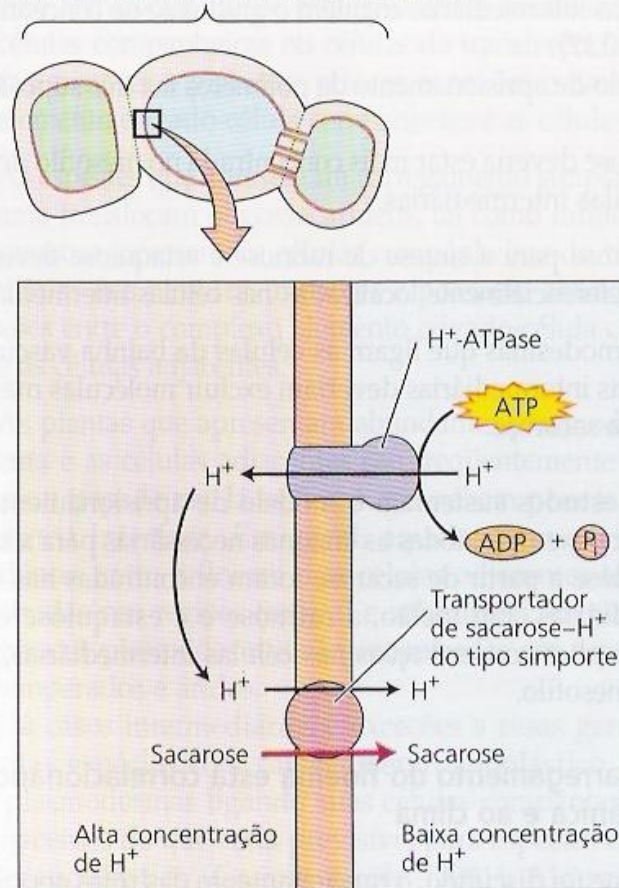
Açúcar na fonte, aqui ilustrado como sacarose (esferas vermelhas), é carregado ativamente no complexo elementos de tubo crivado-célula companheira.

No dreno, os açúcares são descarregados.

**FIGURA 10.10** Modelo de translocação por fluxo de pressão no floema. Valores prováveis de  $\Psi_w$ ,  $\Psi_p$  e  $\Psi_s$  no xilema e no floema estão indicados (segundo Nobel, 1991).



Complexo elemento crivado-célula companheira



**FIGURA 10.16** Transporte de sacarose ATP-dependente no carregamento do elemento crivado. No modelo do co-transporte do carregamento da sacarose para o simplasto do complexo elemento crivado-célula companheira, a ATPase da membrana plasmática bombeia prótons para fora da célula no apoplasto, estabelecendo uma alta concentração de prótons extracelular. A energia neste gradiente de prótons é, então, utilizada como motriz para o transporte de sacarose para o simplasto do complexo elemento crivado-célula companheira via transportador de sacarose- $H^+$  do tipo simporte.

## Força da Fonte = tamanho x atividade

$$\text{Força da Fonte (g/dia)} = \text{Área foliar (dm}^2\text{)} \times \text{TAL}^* \text{ (g/dm}^2\text{/dia)}$$

*\*TAL = Taxa assimilatória líquida*

## Força do Dreno = tamanho x atividade

$$\text{Força do Dreno (g/dia)} = \text{Peso do fruto (g)} \times \text{TCR}^* \text{ (g/g/dia)}$$

*\*TCR = Taxa de crescimento relativo*



## Colony Size of *Tuberolachnus salignus* (Gmelin) in Relation to Mass Transport of <sup>14</sup>C-labelled Assimilates from the Leaves in Willow

By

A. J. PEEL and L. C. HO

Department of Botany, The University, Hull, England

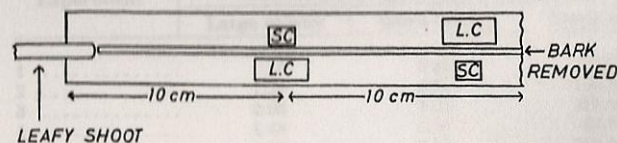
(Received January 12, 1970)

### Abstract

Willow cuttings were used in which a narrow, longitudinal strip of bark was removed commencing from the base of the leafy shoot. Aphid colonies of different sizes were then sited on the stem either side of the strip, 10 cm below the base of the shoot. The leaves were allowed to assimilate <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>, and the dry weight and total activity of the honeydew from each colony was measured over a given period of time.

It was found that not only did the total activity from the large colony exceed that of the small colony, but that the specific activity of the honeydew from the large colony was higher than that from the small colony. This has been taken as evidence that neighbouring pierced sieve tubes do not act independently of each other; mutual interference occurs. Increasing the distance between pierced sieve elements by dispersing the members of the large colony over a greater area of stem, did not apparently reduce interference effects.

The results are explained in relation to the magnitude of the contributory length (Peel and Weatherley 1962), of individual sieve tubes pierced by the large, as opposed to the small colony.



*Physiol. Plant.*, 23, 1970

Figure 1. The experimental procedure employed. L.C, large colony, S.C, small colony.

Table 1. The effect of colony size on the specific activity of honeydew.

Experiment	Mean rate of honeydew production, dry weight, mg/h		Specific activity of honeydew, cpm/mg	
	Large colony	Small colony	Large colony	Small colony
1	1.27	0.40	46,200	24,200
2	0.61	0.29	24,900	13,100
3	0.86	0.18	449,500	285,000
4	0.62	0.19	69,000	4,000
5	0.32	0.18	26,400	8
6	0.37	0.17	124,000	700
7	0.09	0.02	6,500	200
8	3.67	0.74	209,500	3,700
9	2.17	0.76	213,000	1,300

*Physiol. Plant.*, 23, 1970

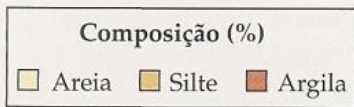
Colônia grande: 4 - 5 indivíduos  
Colônia pequena: 15 - 20 indivíduos





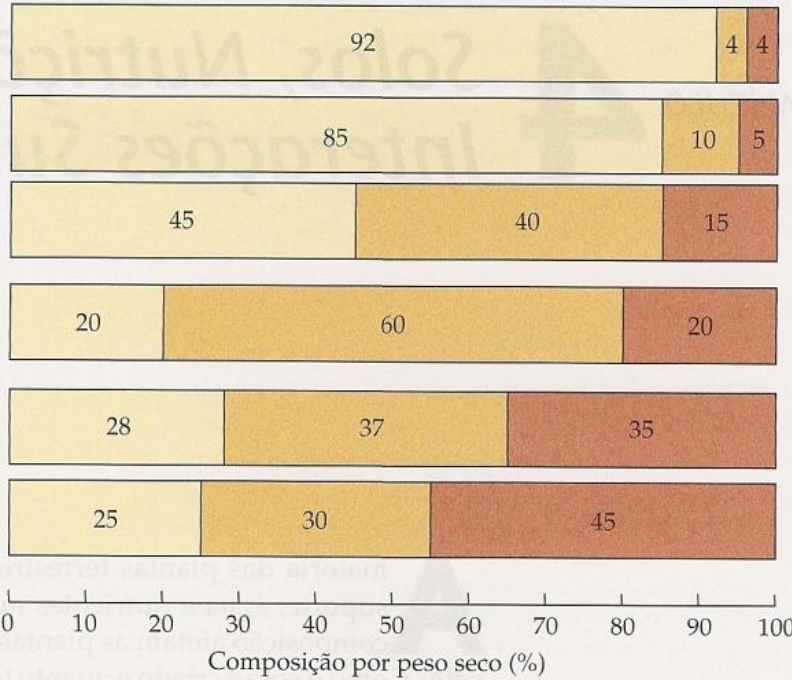
# Nutrição e Metabolismo Mineral de Plantas

(A)



Textura do solo

**Figura 4.1** A textura do solo é determinada pelas proporções relativas das partículas de diferentes tamanhos que compõem o solo. (A) Exemplos de distribuições dos tamanhos de partículas do solo de diversas classes texturais diferentes de solo.



Matacões > 200 mm



Calhaus 200 a 20 mm



Cascalho 20 a 2 mm



Areia grossa 2 a 0,2 mm



Areia fina 0,2 a 0,02 mm

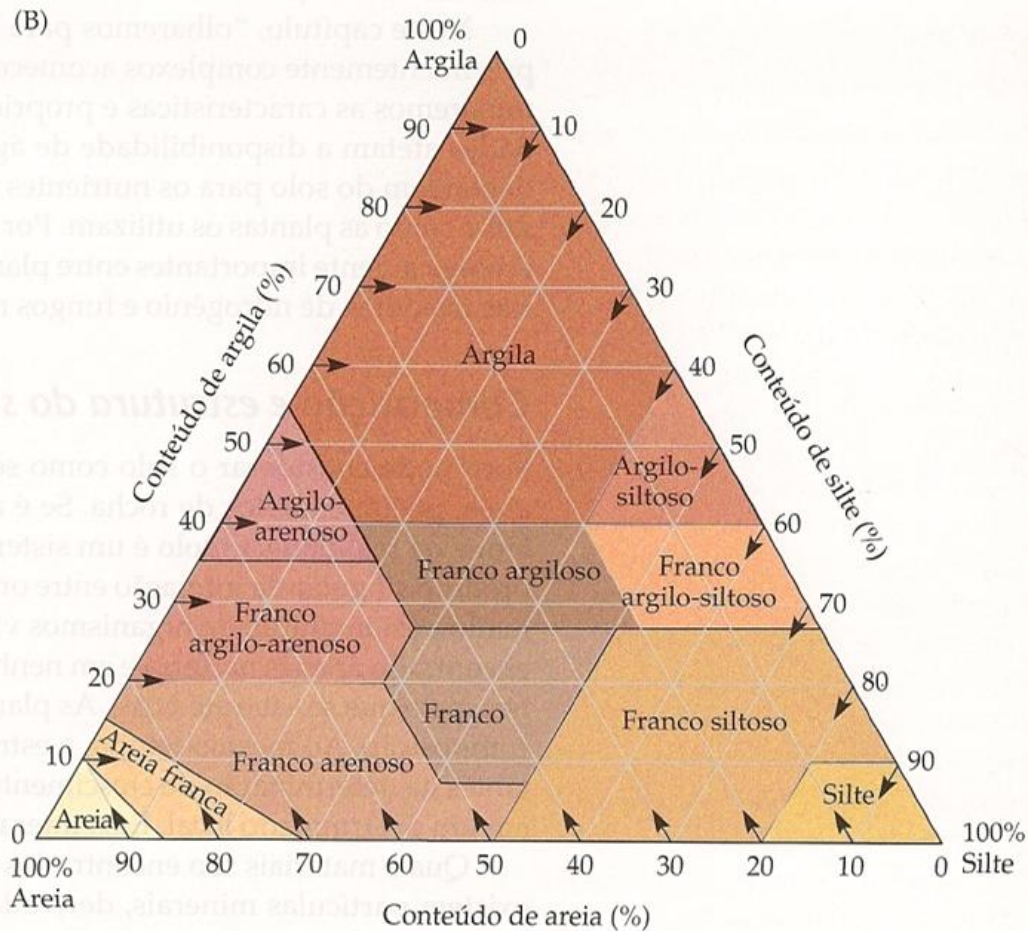


Silte 0,02 a 0,002 mm



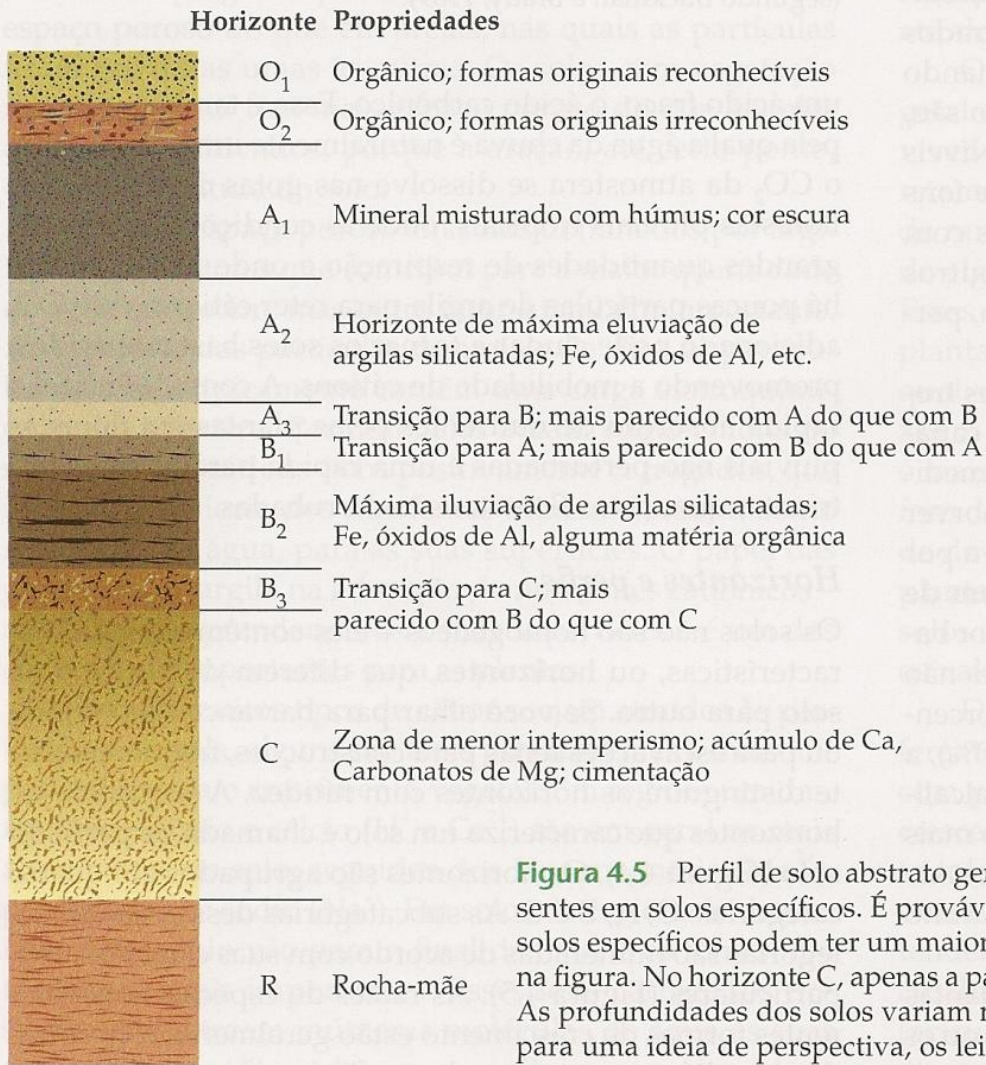
Argila < 0,002 mm



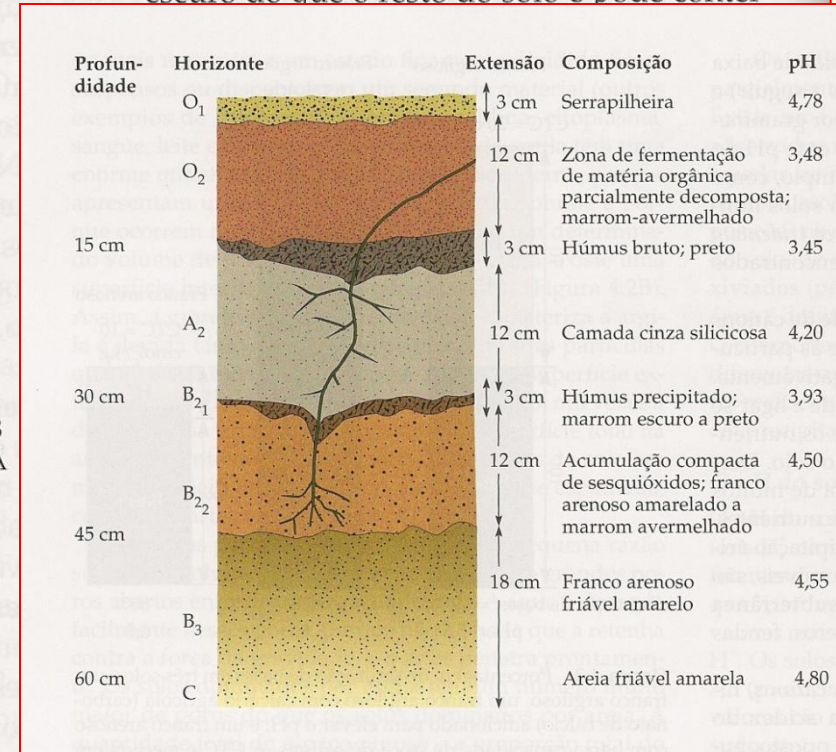


**Figura 4.1** A textura do solo é determinada pelas proporções relativas das partículas de diferentes tamanhos que compõem o solo. (A) Exemplos de distribuições dos tamanhos de partículas do solo de diversas classes texturais diferentes de solo. (B) Triângulo de textura do solo, que mostra como os solos são classificados de acordo com a porcentagem de areia, silte e argila que eles contêm (por peso seco). As linhas de grade, representando valores para argila, são desenhadas paralelas ao lado da areia do triângulo, as para o silte são paralelas ao lado da argila e aquelas para a areia são paralelas ao lado do silte. Os pontos na grade onde as três linhas se cruzam definem o tipo de solo; por exemplo, as linhas de grade para um solo com 20% de argila, 40% de areia e 40% de silte cruzam na região que mostra um solo com esta composição particular: um solo franco.



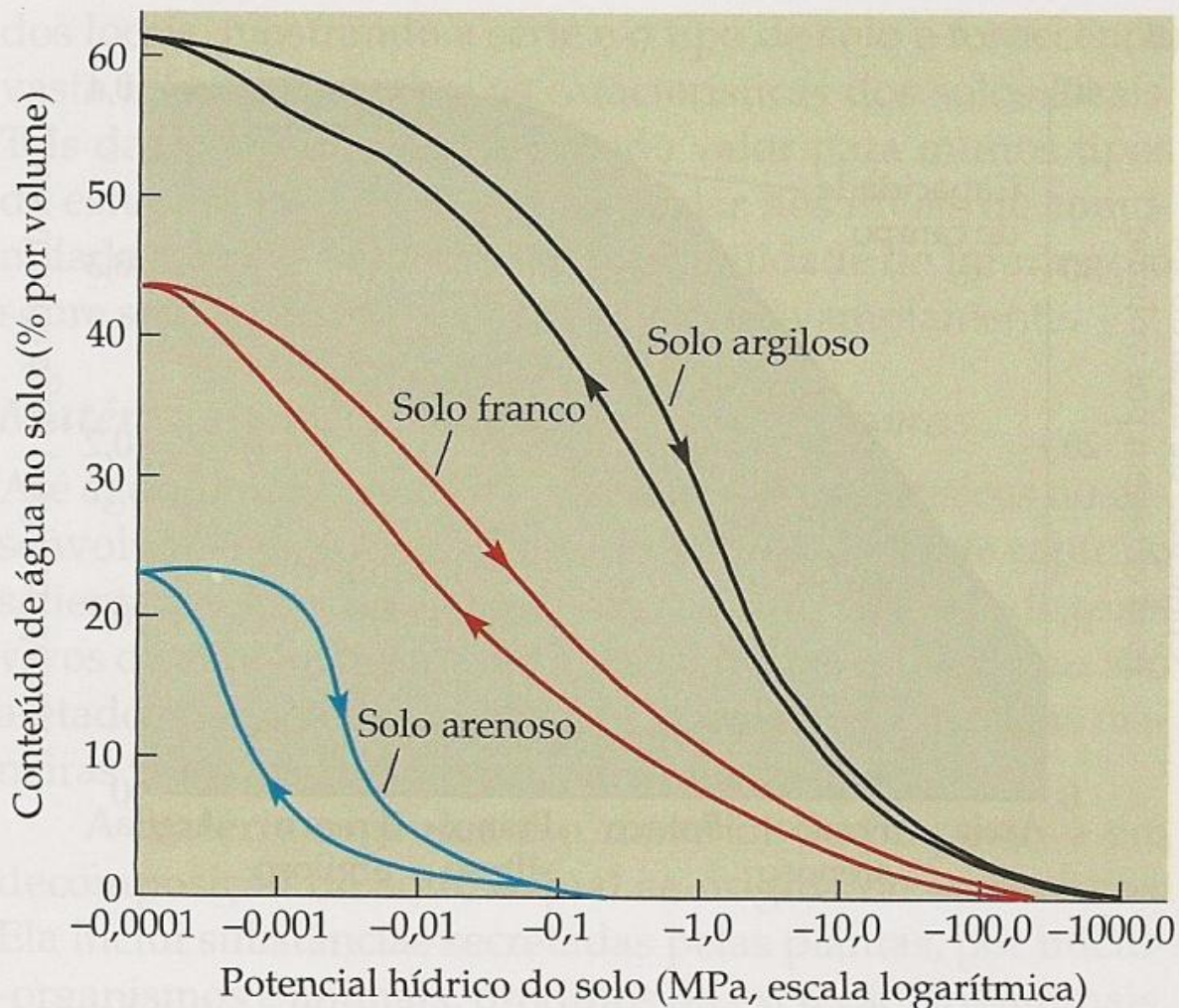


horizonte A superior, o A<sub>1</sub>, e, em geral, mais escuro do que o resto do solo e pode conter



**Figura 4.5** Perfil de solo abstrato geral mostrando os principais horizontes que podem estar presentes em solos específicos. É provável que nenhum solo tenha todos os horizontes mostrados, e solos específicos podem ter um maior desenvolvimento de sub-horizontes do que o representado na figura. No horizonte C, apenas a parte superior é considerada parte do solo propriamente dito. As profundidades dos solos variam muito de acordo com a localização e natureza do solo, mas, para uma ideia de perspectiva, os leitores podem visualizar este perfil ilustrado como medindo cerca de um metro de profundidade até a rocha-mãe (segundo Buckman e Brady, 1969).





**À medida que o solo resseca:**

Um solo **argiloso** retém a água com muito mais força do que um solo **arenoso**!

É mais difícil extrair água do solo **argiloso**!

**Figura 4.11** Ilustração das relações gerais entre o conteúdo de água no solo (porcentagem por volume) e o potencial hídrico do solo (MPa), para um solo argiloso, um franco e um arenoso. Essas curvas diferem, dependendo se o solo foi medido quando o conteúdo de água estava aumentando ou diminuindo (a direção da mudança é mostrada por setas) (segundo Rendig e Taylor, 1989).

# Critérios de Essencialidade:

- Na ausência do elemento a planta não completa o seu ciclo de vida;
- O elemento não pode ser substituído por nenhum outro;
- O elemento tem efeito direto na vida da planta e não exerce apenas o papel de, com a sua presença no meio, neutralizar efeitos físicos, químicos ou biológicos desfavoráveis para o vegetal.



TABELA 30-1

## Elementos Essenciais para a Maioria das Plantas Vasculares e Concentrações Internas Consideradas Adequadas

Elemento	Símbolo Químico	Forma Disponível para as Plantas	Massa Atômica	Concentração Adequada em Tecido Seco		Número de Átomos Relativos ao Molibdênio
				mg/kg	%	
<b>Micronutrientes</b>						
Molibdênio	Mo	$\text{MoO}_4^{2-}$	95,95	0,1	0,00001	1
Níquel	Ni	$\text{Ni}^{2+}$	58,71	?	?	?
Cobre	Cu	$\text{Cu}^+$ , $\text{Cu}^{2+}$	63,54	6	0,0006	100
Zinco	Zn	$\text{Zn}^{2+}$	65,38	20	0,0020	300
Manganês	Mn	$\text{Mn}^{2+}$	54,94	50	0,0050	1.000
Boro	B	$\text{H}_3\text{BO}_3$	10,82	20	0,002	2.000
Ferro	Fe	$\text{Fe}^{3+}$ , $\text{Fe}^{2+}$	55,85	100	0,010	2.000
Cloro	Cl	$\text{Cl}^-$	35,46	100	0,010	3.000
<b>Macronutrientes</b>						
Enxofre	S	$\text{SO}_4^{2-}$	32,07	1.000	0,1	30.000
Fósforo	P	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , $\text{HPO}_4^{2-}$	30,98	2.000	0,2	60.000
Magnésio	Mg	$\text{Mg}^{2+}$	24,32	2.000	0,2	80.000
Cálcio	Ca	$\text{Ca}^{2+}$	40,08	5.000	0,5	125.000
Potássio	K	$\text{K}^+$	39,10	10.000	1,0	250.000
Nitrogênio	N	$\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$	14,01	15.000	1,5	1.000.000
Oxigênio	O	$\text{O}_2$ , $\text{H}_2\text{O}$ , $\text{CO}_2$	16,00	450.000	45	30.000.000
Carbono	C	$\text{CO}_2$	12,01	450.000	45	35.000.000
Hidrogênio	H	$\text{H}_2\text{O}$	1,01	60.000	6	60.000.000

Adaptado de P. R. Stout, *Proceedings of the Ninth Annual California Fertilizer Conference*, páginas 21-23 (1961).



**TABELA 5.2**

Classificação dos nutrientes minerais das plantas de acordo com a função bioquímica

Nutriente mineral	Funções
<b>Grupo 1</b>	<b>Nutrientes que fazem parte de compostos de carbono</b>
N	Constituinte de aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, nucleotídeos, coenzimas, hexoaminas, etc.
S	Componente da cisteína, cistina, metionina e proteínas. Constituinte do ácido lipóico, coenzima A, tiamina pirofosfato, glutatona, biotina, adenosina-5'-fosfossulfato e 3-fosfoadenosina.
<b>Grupo 2</b>	<b>Nutrientes que são importantes na armazenagem de energia e na integridade estrutural</b>
P	Componentes de fosfato açúcares, ácidos nucleicos, nucleotídeos, coenzimas, fosfolipídeos, ácido fítico, etc. Tem papel central em reações que envolvem ATP.
Si	Depositado como sílica amorfa em paredes celulares. Contribui para as propriedades mecânicas das paredes celulares, incluindo rigidez e elasticidade.
B	Complexos com manitol, manans, ácido polimanurônico e outros constituintes das paredes celulares. Envolvido no alongamento celular e no metabolismo de ácidos nucleicos.
<b>Grupo 3</b>	<b>Nutrientes que permanecem na forma iônica</b>
K	Requerido como cofator de mais de 40 enzimas. Principal cátion no estabelecimento do turgor celular e manutenção da eletroneutralidade celular.
Ca	Constituinte da lamela média das paredes celulares. Requerido como cofator por algumas enzimas envolvidas na hidrólise de ATP e de fosfolipídeos. Atua como mensageiro secundário na regulação metabólica.
Mg	Requerido por muitas enzimas envolvidas na transferência de fosfatos. Constituinte da molécula de clorofila.
Cl	Requerido para as reações fotossintéticas envolvendo a evolução de O <sub>2</sub>
Mn	Requerido para a atividade de algumas desidrogenases, descarboxilases, quinases, oxidases e peroxidases. Envolvido com outras enzimas ativadas por cátions e na evolução fotossintética de O <sub>2</sub>
Na	Envolvido na regeneração do fosfoenolpiruvato em plantas C <sub>4</sub> e CAM. Substitui o potássio em algumas funções.
<b>Grupo 4</b>	<b>Nutrientes que estão envolvidos em reações redox</b>
Fé	Constituinte de citocromos e ferro-proteínas não-heme envolvidas na fotossíntese, fixação de N <sub>2</sub> e respiração.
Zn	Constituinte da álcool desidrogenase, desidrogenase glutâmica, anidrase carbônica, etc.
Cu	Componente da ácido ascórbico oxidase, tirosinase, monoamina oxidase, uricase, citocromo oxidase, fenolase, lacase e plastocianina.
Ni	Constituinte da urease. Em bactérias fixadoras de N <sub>2</sub> , é constituinte de hidrogenases.
Mo	Constituinte da nitrogenase, nitrato redutase e xantina desidrogenase.

Fonte: Segundo Evans e Sorger, 1966, e Mengel e Kirkby, 1987.



### Quadro 27.1 Exemplos de análises inorgânicas de plantas

Elemento	Concentração do Elemento		
	Alfafa	Milho <sup>†</sup>	Carvalho Branco <sup>**</sup>
<b>Macronutrientes</b>			
Nitrogênio	3,12%	2,81%	2,19%
Potássio	2,77	1,86	0,85
Cálcio	1,70	0,40	0,82
Fósforo	0,35	0,28	0,19
Magnésio	0,41	0,27	0,36
Enxofre	0,29	0,18	0,13
<b>Micronutrientes</b>			
Ferro	190 ppm <sup>†</sup>	110 ppm	126 ppm
Cloro	8800	3100	43
Cobre	9	6	8
Manganês	62	80	572
Zinco	57	27	22
Molibdênio	1,40	1,03	6,21
Boro	35	14	38
<b>Elementos Essenciais para Algumas Plantas ou Organismos</b>			
Sódio	4300 ppm	127 ppm	210 ppm
Cobalto	0,21	0,16	—

\* Apenas ramos; grãos não foram incluídos na análise.

\*\* Folha e ramos produzidos por ano.

† Abreviação para parte por milhão; o ppm é igual a unidades de peso de um elemento por milhões de unidades de material vegetal seco em forno, 1% equivale a 10.000 ppm.





-N



- P



- K



- Ca



- Mg

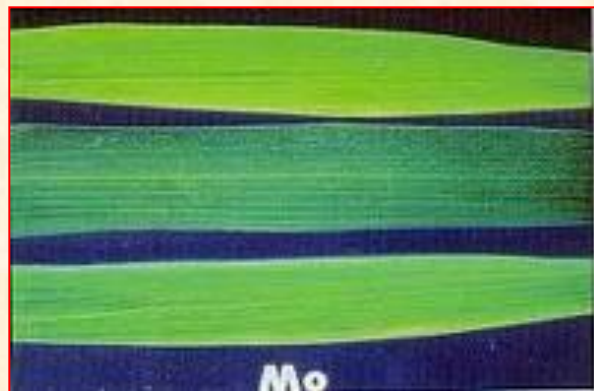
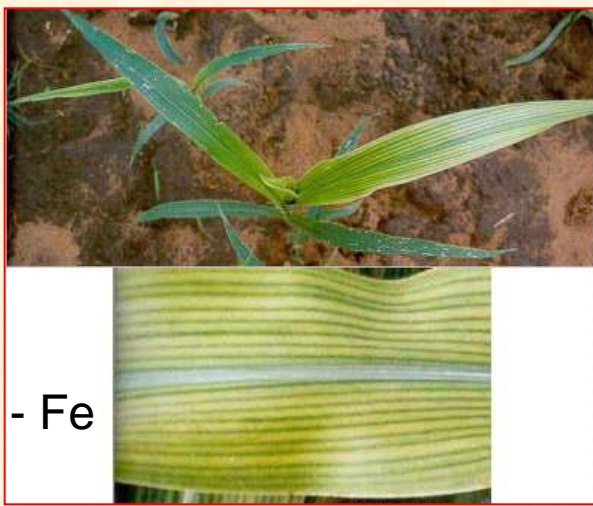


- S



- S









**NIVEIS UTILIZADOS PARA INTERPRETAÇÃO DE FERTILIDADE DO SOLO (PROFERT – MG)**

Características	Classificação					
	Unidades	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Cálcio (Ca)	cmolc/dm <sup>3</sup>	-	0,0 a 1,5	1,6 a 4,0	> 4,0	-
Magnésio (Mg)	cmolc/dm <sup>3</sup>	-	0,0 a 0,5	0,6 a 1,0	> 1,0	-
Alumínio (Al)	cmolc/dm <sup>3</sup>	-	0,0 a 0,3	0,4 a 1,0	> 1,0	-
Potássio (K)	mg/dm <sup>3</sup>	-	0 a 45	46 a 80	> 80	-
Fósforo (P) – Text.Argilosa	mg/dm <sup>3</sup>	-	0 a 5	6 a 10	> 10	-
Textuta Média	mg/dm <sup>3</sup>	-	0 a 10	11 a 20	> 20	-
Textura Arenosa	mg/dm <sup>3</sup>	-	0 a 20	21 a 30	> 30	-
Acidez Potencial (H+Al)	cmolc/dm <sup>3</sup>	-	0,0 a 2,5	2,6 a 5,0	> 5,0	-
Soma de Bases (SB)	cmolc/dm <sup>3</sup>	-	0,0 a 2,0	2,1 a 5,0	> 5,0	-
CTC Efetiva (t)	cmolc/dm <sup>3</sup>	-	0,0 a 2,5	2,6 a 6,0	> 6,0	-
Saturação de Al (m)	%	-	0 a 20	21 a 40	41 a 60	> 60
CTC a pH 7,0 (T)	cmolc/dm <sup>3</sup>	-	0,0 a 4,5	4,6 a 10,0	> 10,0	-
Saturação de Bases (V)	%	0 a 25	26 a 50	51 a 70	71 a 90	> 90
Matéria Orgânica (M.O.)	dag/kg	-	0,0 a 1,5	1,6 a 3,0	> 3,0	-
pH em água (1:2,5)	<b>Acidez elev</b> < 5,0	<b>Acidez média</b> 5,0 a 5,9	<b>Acidez fraca</b> 6,0 a 6,9	<b>Neutro</b> 7,0	<b>Alcal. fraca</b> 7,1 a 7,8	<b>Alcal.elev.</b> >7,8

mg/dm<sup>3</sup> = antigo ppm

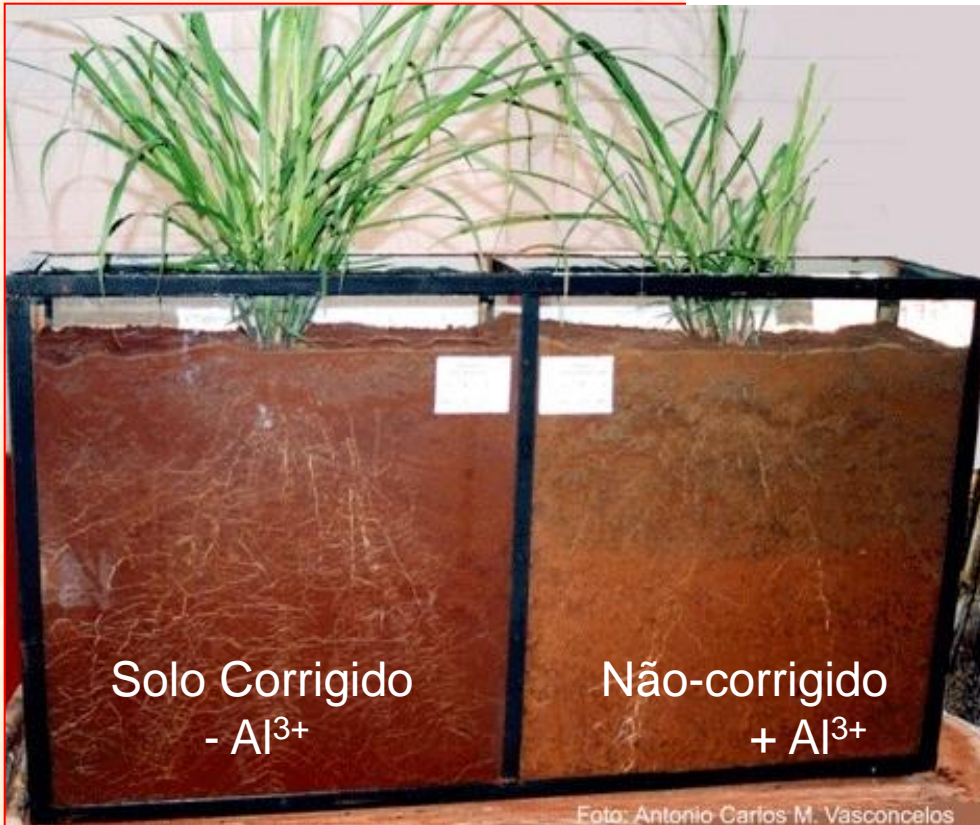
cmolc/dm<sup>3</sup> = antigo meq/100 cm<sup>3</sup>

dag/kg = antigo %





## Calagem

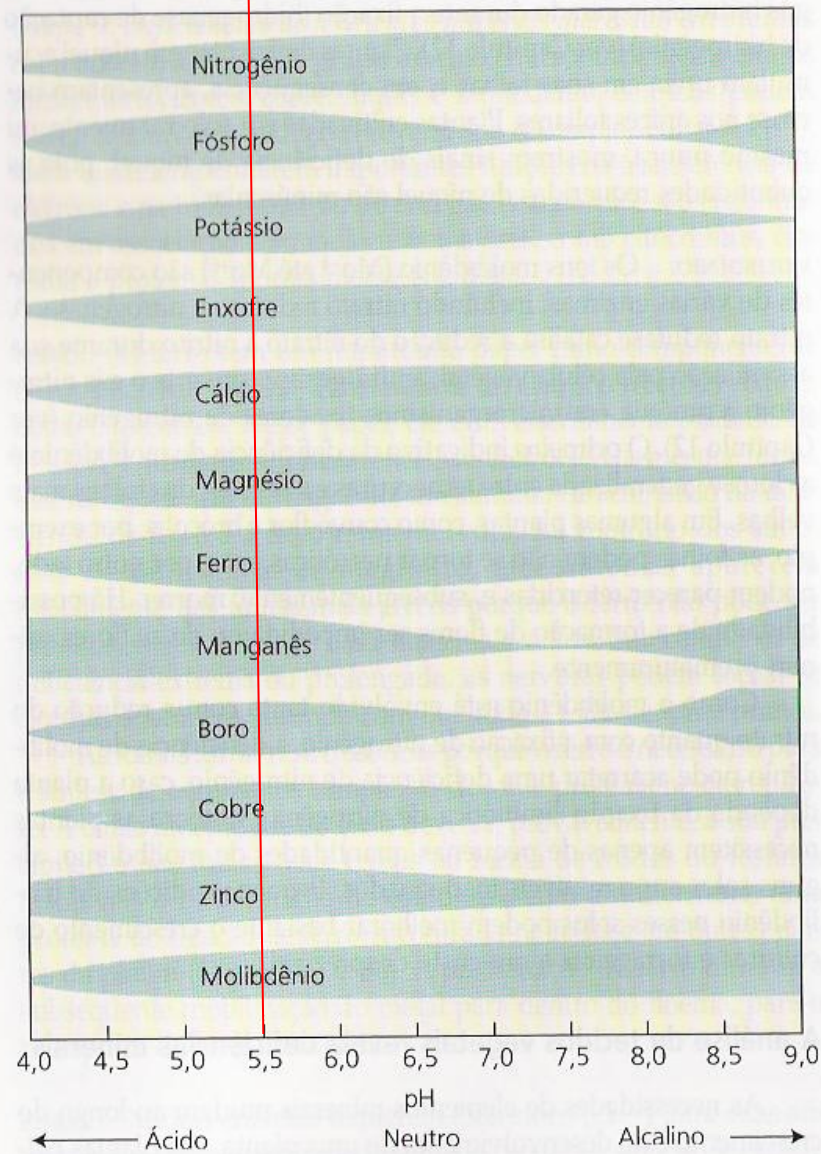






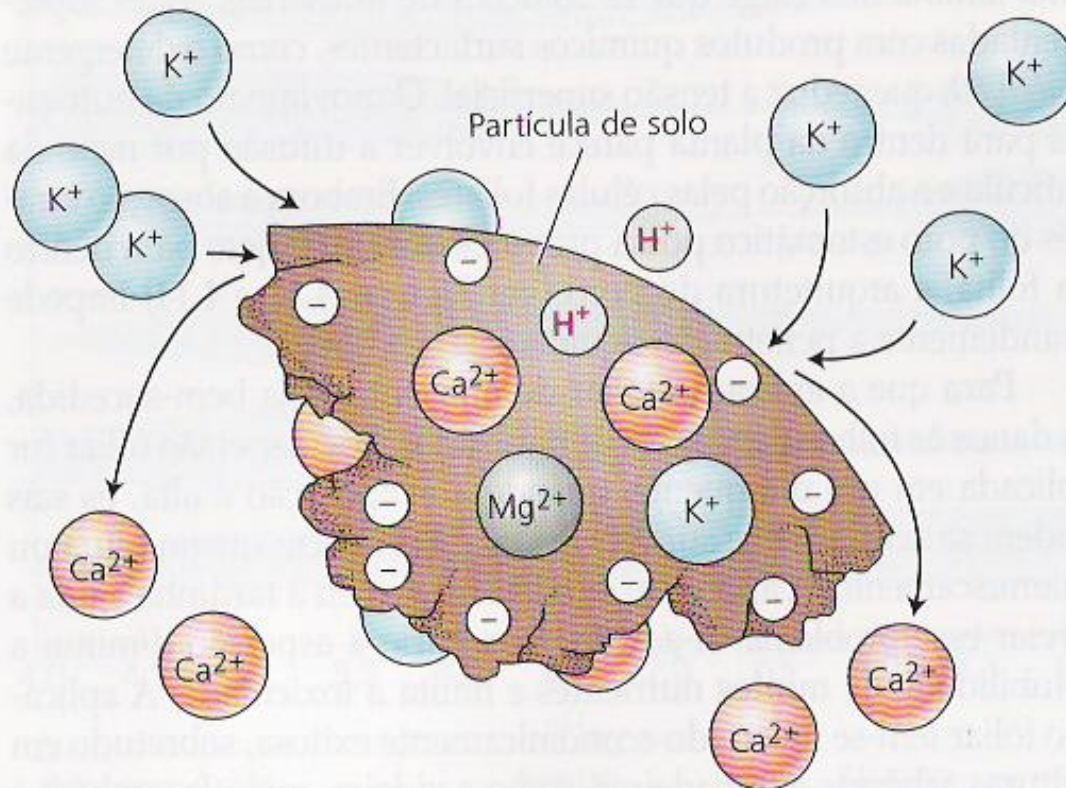
## Técnicas de Adubação



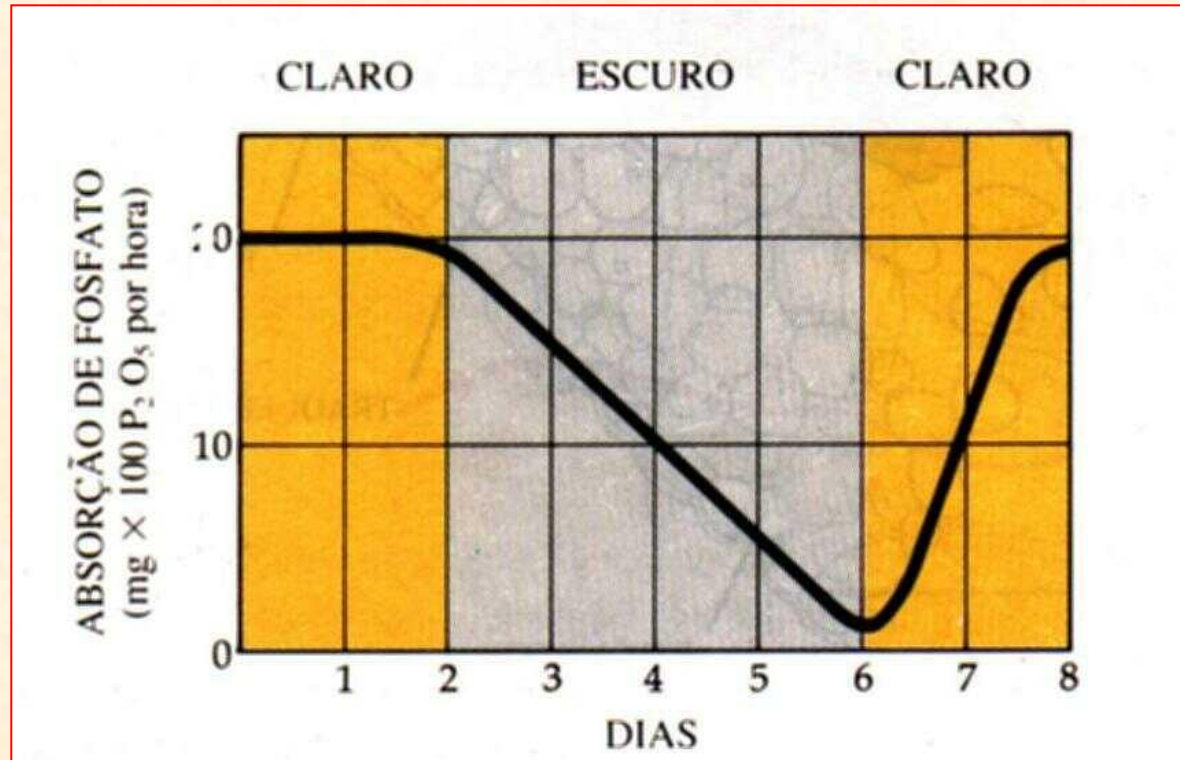


**FIGURA 5.4** Influência do pH do solo na disponibilidade de nutrientes em solos orgânicos. A espessura das áreas sombreadas indica o grau de disponibilidade do nutriente para a raiz do vegetal. Todos esses nutrientes estão disponíveis na faixa de pH de 5,5 a 6,5 (Lucas e Davis, 1961).





**FIGURA 5.5** O princípio da troca de catiônica na superfície de uma partícula de solo. Os cátions são ligados à superfície das partículas do solo porque a superfície é carregada negativamente. A adição de um cátion como o potássio ( $K^+$ ) pode deslocar outro cátion como o cálcio ( $Ca^{2+}$ ) de sua ligação na superfície da partícula de solo e torná-lo disponível para a absorção pelas raízes.

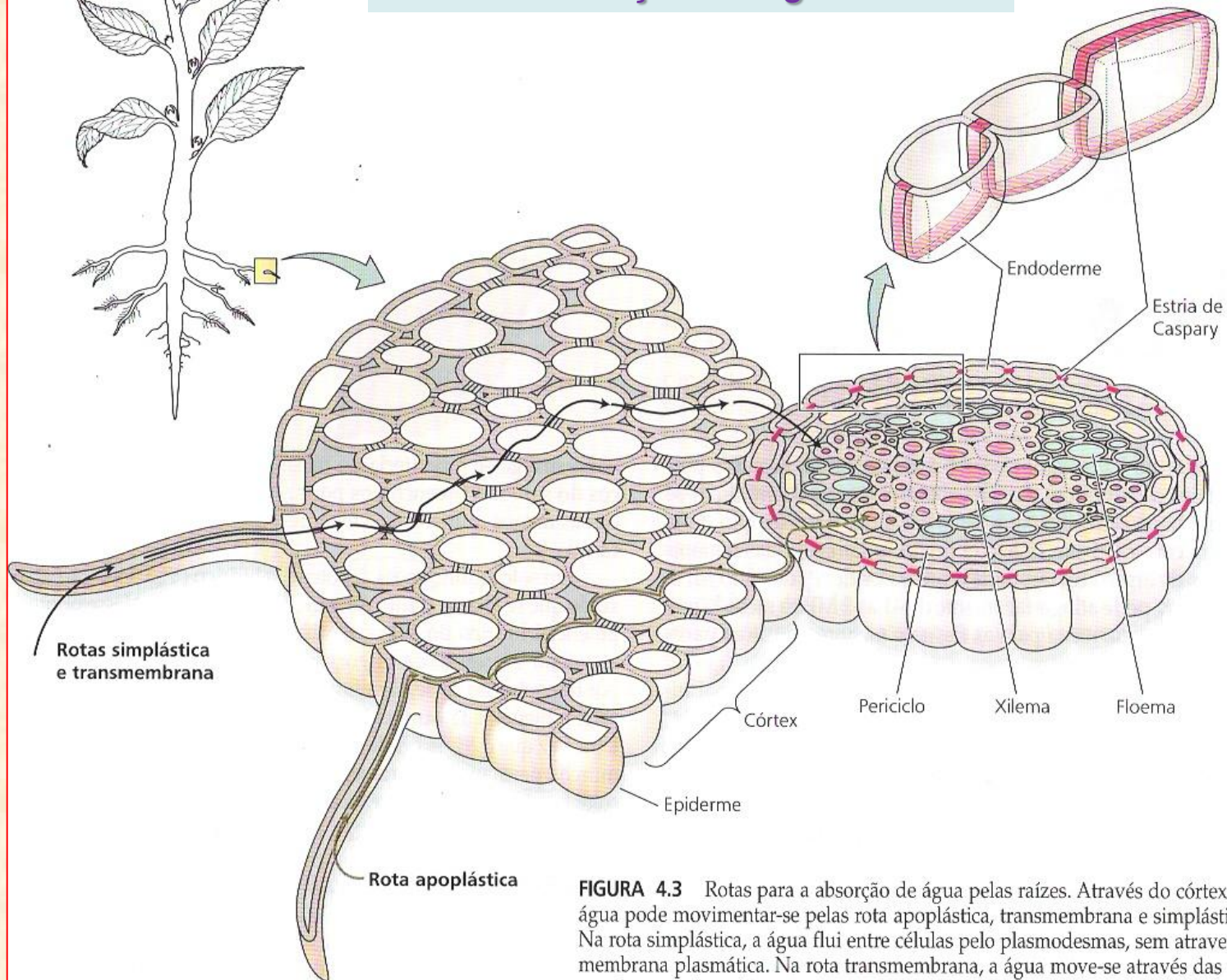


28.17

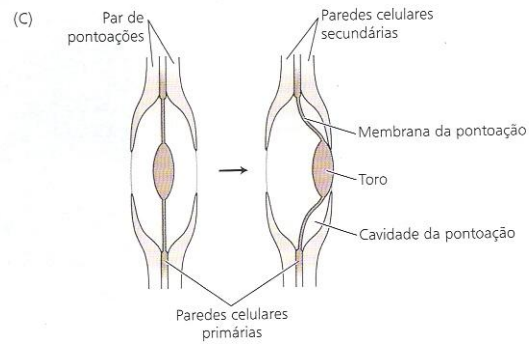
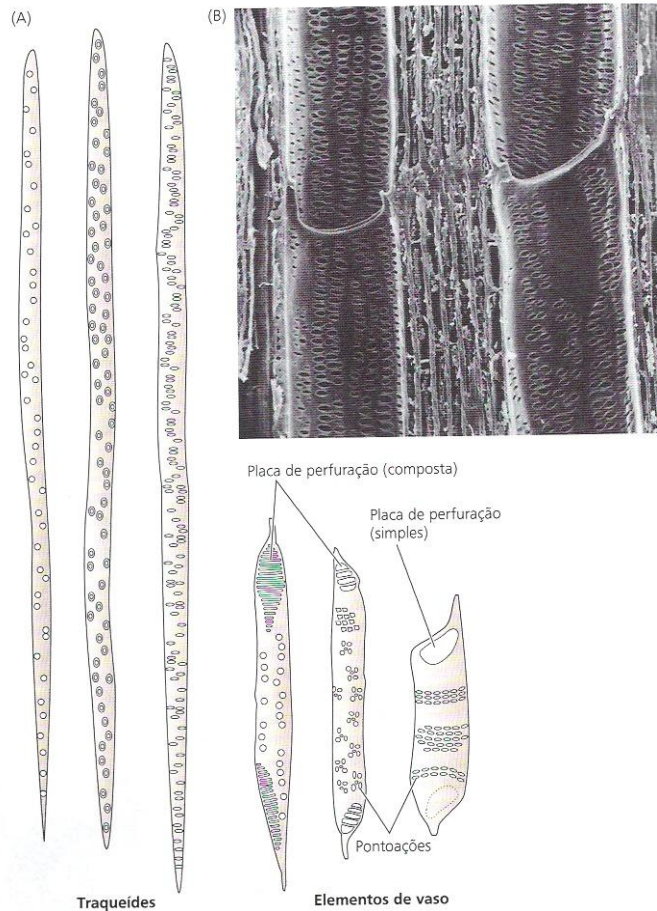
*A taxa de absorção de fosfato (quantificado como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; ver Cap. 23) em plantas de milho (Zea mays) cai próximo a zero após quatro dias de escuro contínuo. A taxa começou a elevar-se quando as plantas voltaram a ser iluminadas. Estes e outros dados indicam que a absorção de íons minerais é um processo que requer energia.*



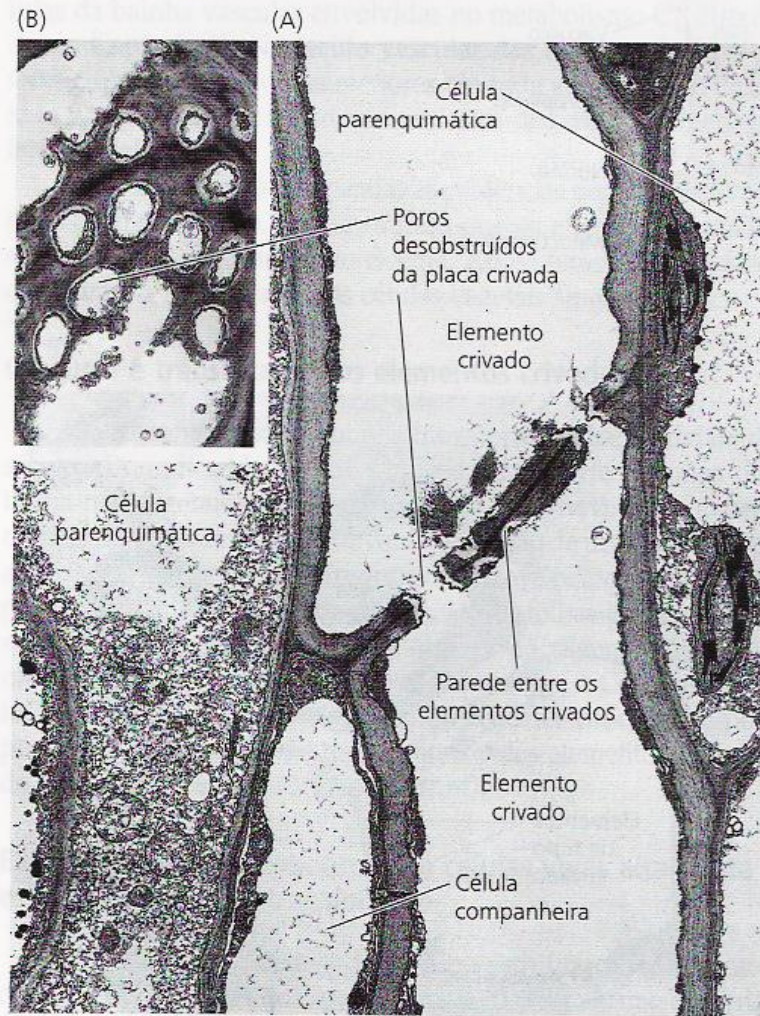
## Rota de absorção de água e íons



**FIGURA 4.3** Rotas para a absorção de água pelas raízes. Através do córtex, a água pode movimentar-se pelas rota apoplástica, transmembrana e simplástica. Na rota simplástica, a água flui entre células pelo plasmodesmas, sem atravessar a membrana plasmática. Na rota transmembrana, a água move-se através das membranas plasmáticas, com uma curta permanência no espaço da parede celular. Na endoderme, a rota apoplástica é bloqueada pela estria de Caspary.







**FIGURA 10.5** Elementos crivados e poros abertos da placa crivada. (A) Electromicrografia de uma seção longitudinal de dois elementos crivados maduros (elementos de tubo crivado), mostrando a parede entre os elementos crivados (denominados uma placa crivada) no hipocótilo de abóbora (*Cucurbita maxima*) (3.685x). (B) O detalhe mostra os poros de uma placa crivada na visão frontal. (4.280x). Em ambas as imagens, A e B, os poros da placa crivada estão abertos — isto é, não-obstruídos pela proteína-P (Evert, 1982).

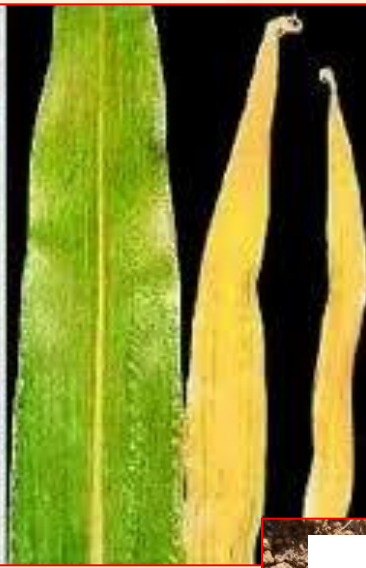
## Redistribuição dos Íons no Floema:

- O pH e concentração do floema reduzem a solubilidade de certos elementos:
- **Elementos químicos móveis no floema (floema-móvel):** *sintomas de deficiência ocorrem primeiro nas partes mais velhas (folhas velhas) da planta; o elemento pode ser desmobilizado e transportado, através do floema, para as regiões de crescimento. Exemplos: nitrogênio, fósforo, potássio*
- **Elementos químicos imóveis no floema:** *O cálcio forma complexos insolúveis, precipitando na forma de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ou de  $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$ . O boro forma complexos do tipo cis-diol, também insolúveis no floema. Sintomas de deficiência aparecem primeiro nas partes novas (meristemas) das plantas; solo ou solução nutritiva não possuem os elementos em concentração suficiente e os mesmos não podem ser transportados das partes mais velhas das plantas; os meristemas ficam deficientes nesses elementos que apresentam participação na estrutura, na integridade das membranas e na composição da parede, provocando necroses e morte dos brotos apicais (die back)*
- **Mobilidade Intermediária:** *ferro, manganês, zinco, cobre e molibdênio*





- N



- P



- Ca



- B



# Cultivo de Plantas em Soluções Nutritivas

**TABELA 5.3**

Composição de uma solução de Hoagland modificada para cultivo de plantas

Composto	Peso molecular	Concentração da solução-estoque	Concentração da solução-estoque	Volume de solução-estoque por volume final de solução	Elemento	Concentração final do elemento	
						g mol <sup>-1</sup>	MM
<b>Macronutrientes</b>							
KNO <sub>3</sub>	101,10	1.000	101,10	6,0	N	16.000	224
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	236,16	1.000	236,16	4,0	K	6.000	235
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	115,08	1.000	115,08	2,0	Ca	4.000	160
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	246,48	1.000	246,49	1,0	P	2.000	62
					S	1.000	32
					Mg	1.000	24
<b>Micronutrientes</b>							
KCl	74,55	25	1,864	2,0	Cl	50	1,77
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	61,83	12,5	0,773		B	25	0,27
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	169,01	1,0	0,169		M	2,0	0,11
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	287,54	1,0	0,288		Zn	2,0	0,13
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	249,68	0,25	0,062		Cu	0,5	0,03
H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> (85%MoO <sub>3</sub> )	161,97	0,25	0,040		Mo	0,5	0,05
NaFeDTPA (10%Fe)	468,20	64	30,0	0,3-1,0	Fe	16,1-53,7	1,00-3,00
<b>Opcional<sup>a</sup></b>							
NiSO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O	262,86	0,25	0,066	2,0	Ni	0,5	0,03
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O	284,20	1.000	284,20	1,0	Si	1.000	28

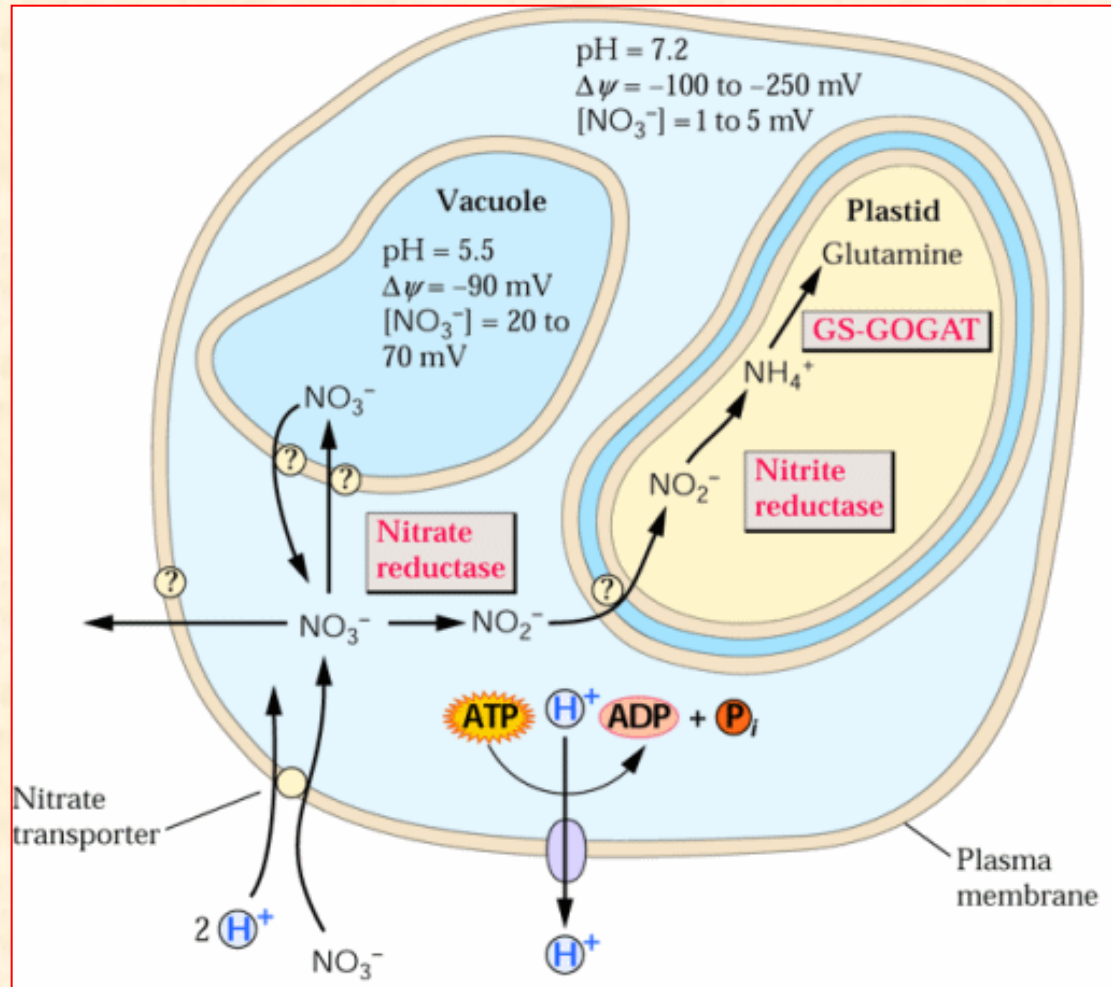
Fonte: Segundo Epstein, 1972.

Nota: Os macronutrientes são adicionados separadamente a partir das soluções-estoque para impedir a precipitação durante o preparo da solução-nutritiva. Uma solução estoque mista é preparada contendo todos os micronutrientes, exceto o ferro. O ferro é adicionado como dietilenotriaminapentacetato férrico de sódio (NFeDTPA, nome comercial Ciba-Geigy Sequestreno 330 Fe; ver Figura 5.2); algumas plantas, como o milho, requerem os níveis mais elevados de ferro mostrados na tabela.

<sup>a</sup>O níquel está usualmente presente como contaminante de outros produtos químicos, de forma que ele pode não precisar ser aplicado de forma explícita. O silício, se incluído, deveria ser adicionado primeiro e, então, ajustado o pH com HCl para impedir a precipitação de outros nutrientes.



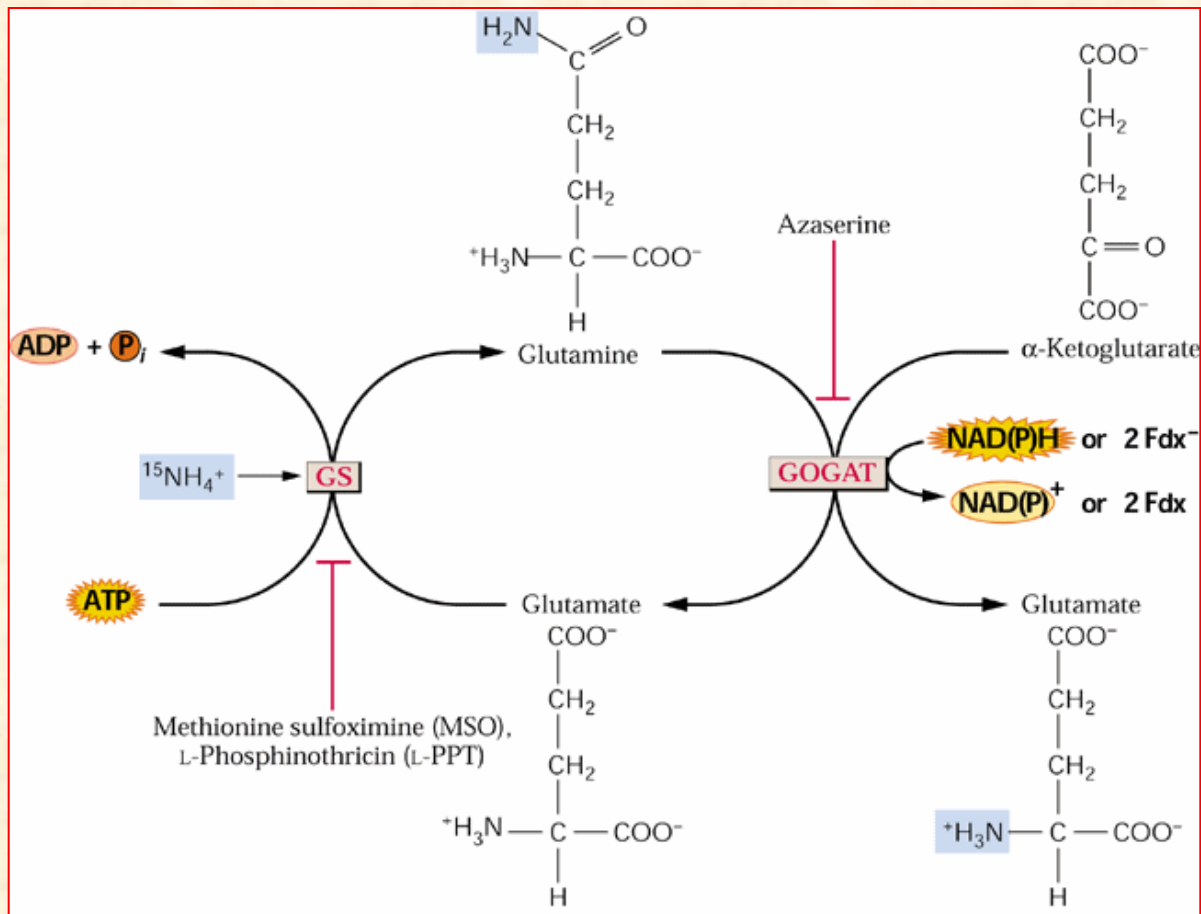




**Figure 16.34**

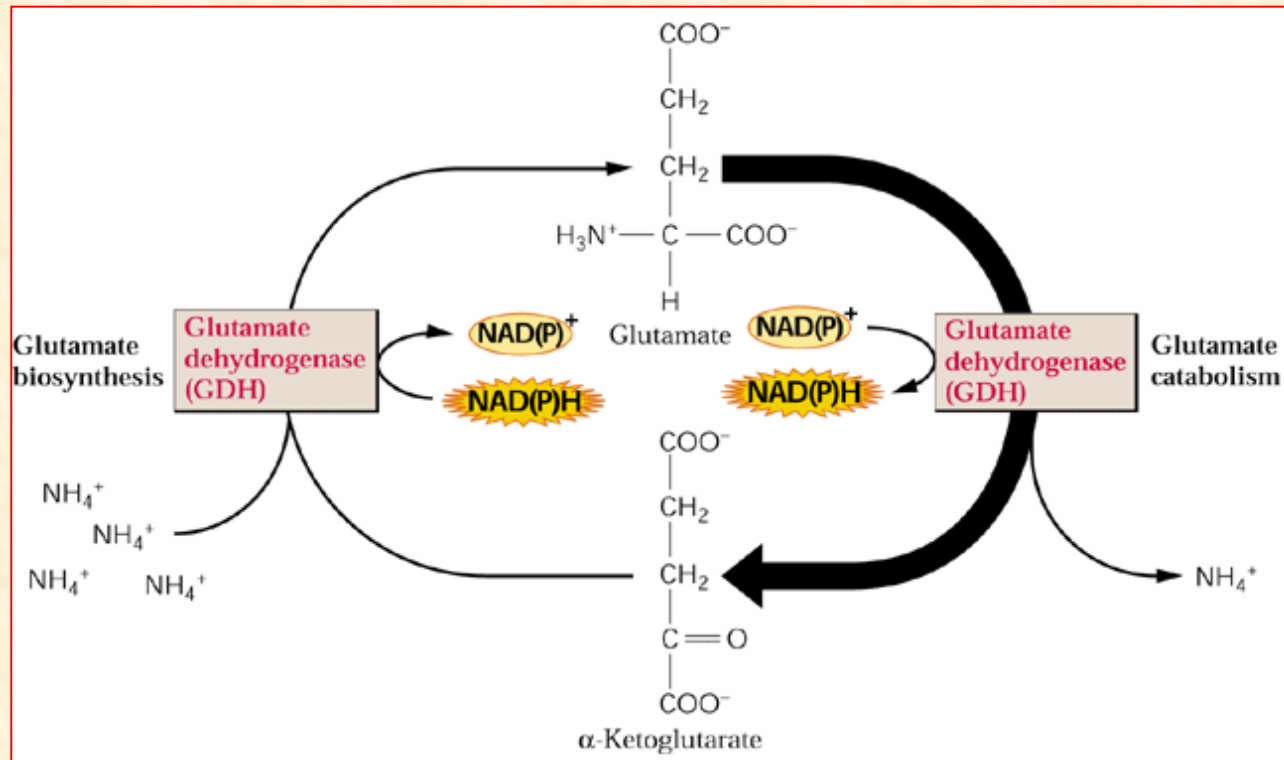
Nitrate assimilation by plant cells involves transport of nitrate across the plasma membrane and then reduction to ammonia in a two-step process.





**Figure 8.5**

The glutamine synthetase-glutamate synthase (GS/GOGAT) pathway is thought to be the principal mechanism of primary and secondary ammonium assimilation.

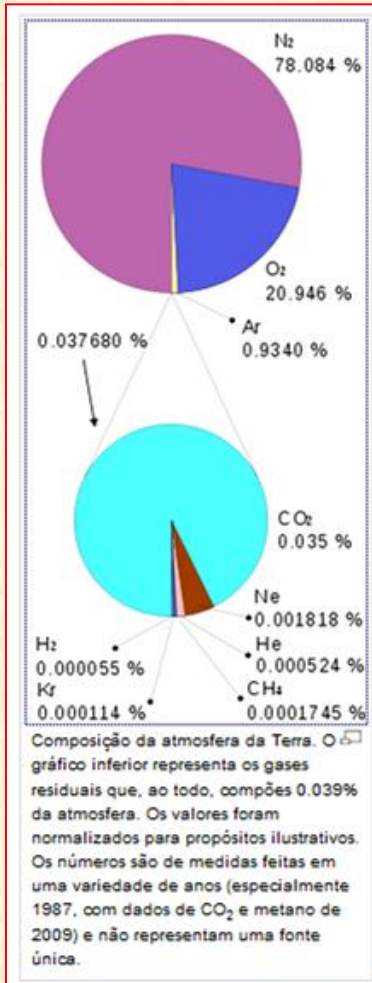


**Figure 8.13**

GDH is thought to function primarily in glutamate catabolism (deamination) but can also assimilate inorganic nitrogen into glutamate when ammonium concentrations are high.



# Fixação Biológica do Nitrogênio (N<sub>2</sub>):

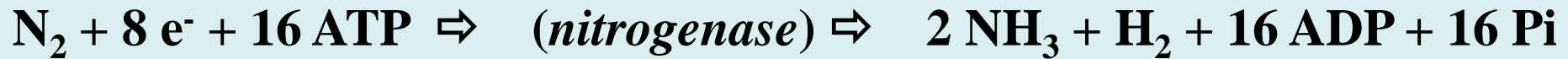


**Composição do ar seco, por volume<sup>[2]</sup>**

ppmv: partes por milhão por volume (nota: a fração volumétrica somente é igual à fração molar para gases ideais)

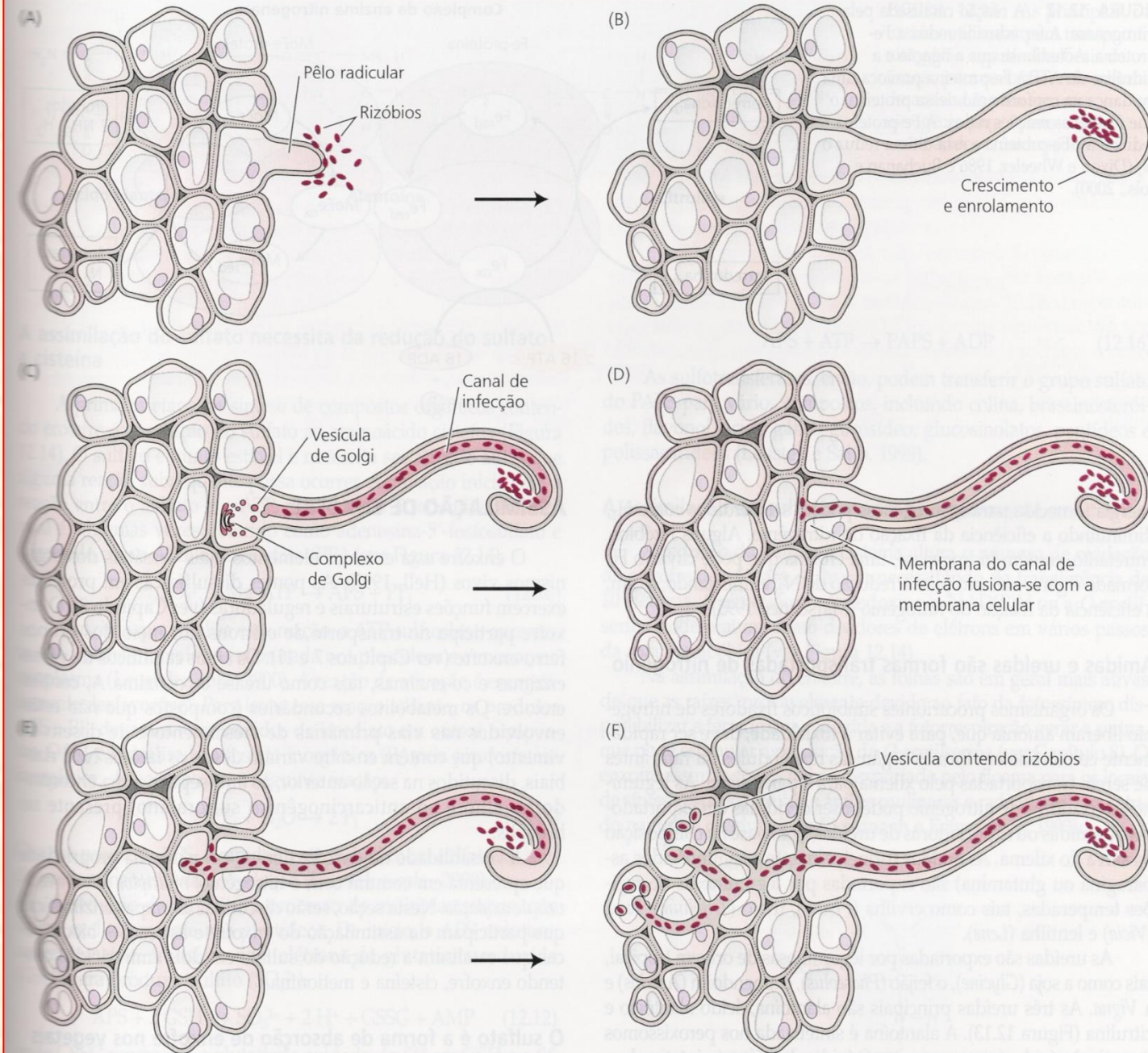
Gás	Volume
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	780.840 ppmv (78.084%)
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	209.460 ppmv (20.946%)
Argônio (Ar)	9.340 ppmv (0.9340%)
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	380 ppmv (0.0380%)
Neônio (Ne)	18,18 ppmv (0.001818%)
Hélio (He)	5,24 ppmv (0.000524%)
Metano (CH <sub>4</sub> )	1,79 ppmv (0.000179%)
Criptônio (Kr)	1,14 ppmv (0.000114%)
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	0,55 ppmv (0.000055%)
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	0,3 ppmv (0.00003%)
Xenônio (Xe)	0,09 ppmv ( $9 \times 10^{-6}$ %)
Ozônio (O <sub>3</sub> )	0,0 to 0,07 ppmv (0% to $7 \times 10^{-6}$ %)
Dióxido de nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	0,02 ppmv ( $2 \times 10^{-6}$ %)
Iodo (I)	0,01 ppmv ( $1 \times 10^{-6}$ %)
Monóxido de carbono (CO)	0,1 ppmv (0.00001%)
Amônia (NH <sub>3</sub> )	traços
<b>Não incluído na atmosfera seca acima:</b>	
Vapor de água (H <sub>2</sub> O)	~0,40% na atmosfera toda, tipicamente 1%-4% na superfície

## Fixação Biológica do Nitrogênio (N<sub>2</sub>):

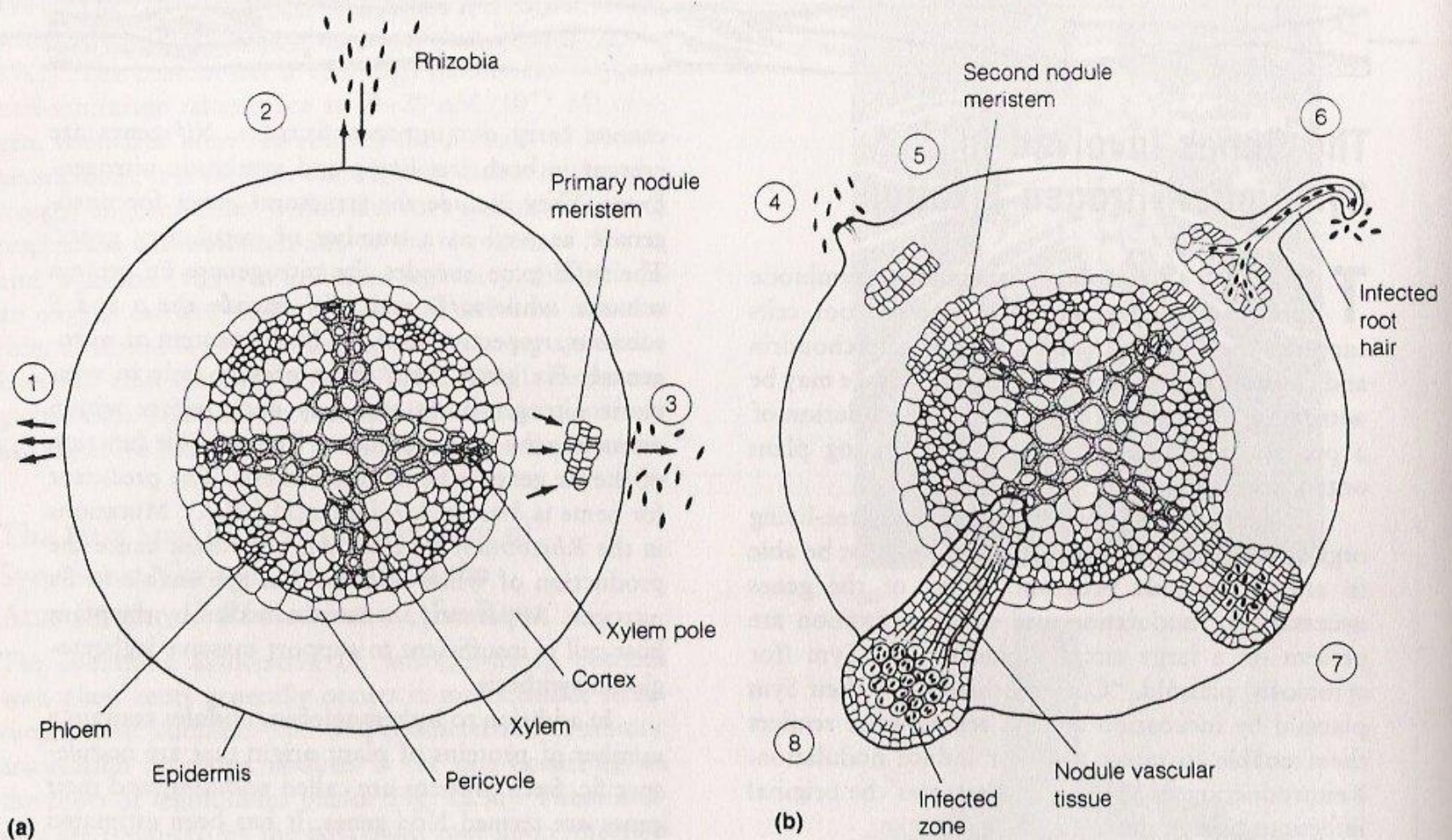


- A enzima *nitrogenase* é sintetizada pelos genes *nif* presentes no material genético da bactéria fixadora do N<sub>2</sub>
- Algumas bactérias também sintetizam enzimas *hidrogenases* que quebram o H<sub>2</sub>, aumentando a eficiência do processo de fixação biológica do N<sub>2</sub> (*estirpes "up<sup>+</sup>"*)



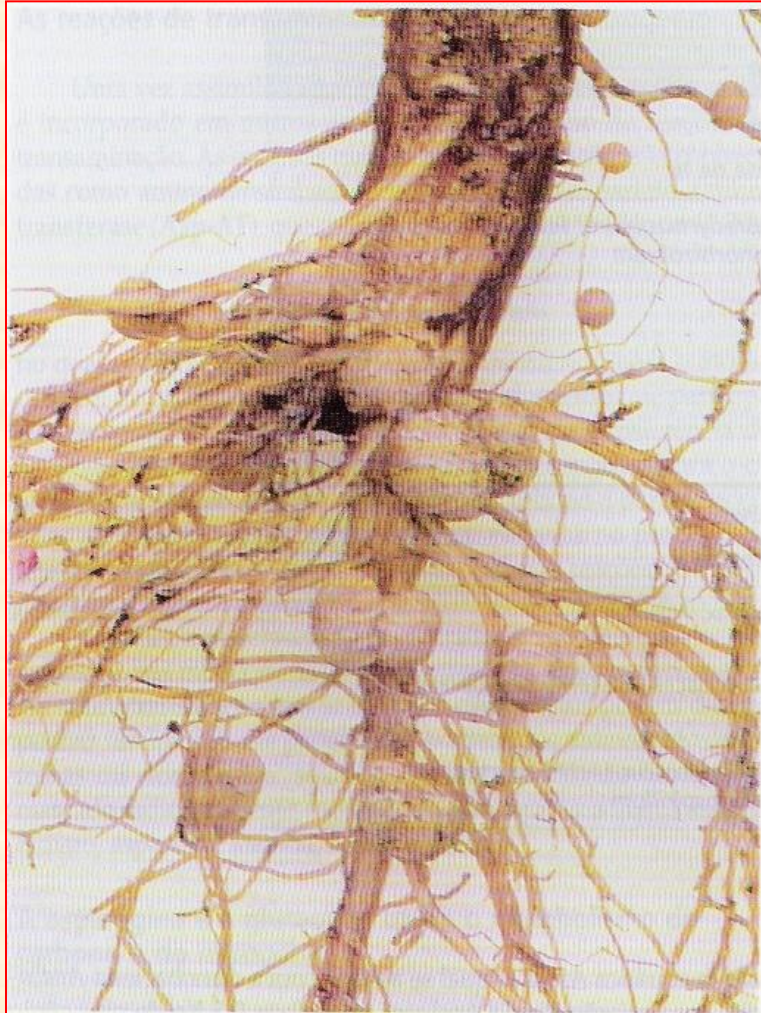




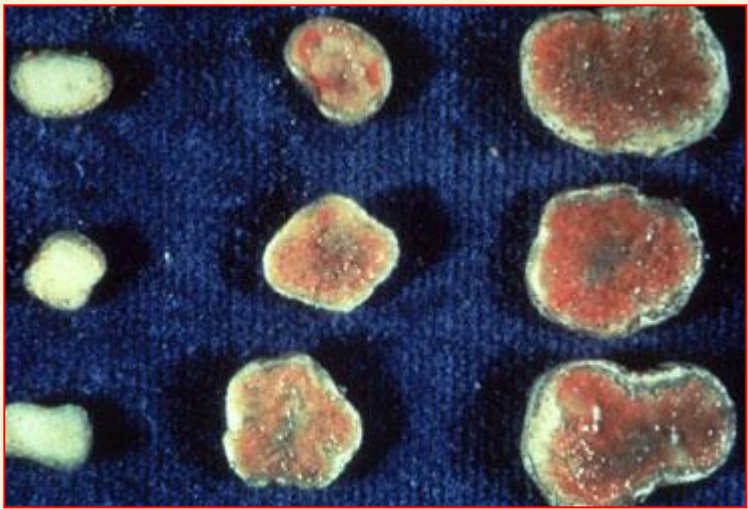


**FIGURE 12.4.** Stages in the initiation and development of a soybean root nodule. (a) Events involved in the initiation of the nodule: (1) the root excretes substances; (2) these substances attract rhizobia and stimulate them to produce cell-division factors; and (3) cells in the root cortex divide to form the primary nodule meristem. (b) Stages of infection and nodule formation: (4) bacteria attach to the root hair; (5) cells in the pericycle near the xylem poles are stimulated to divide; (6) the infection thread forms and extends inward as the primary nodule meristem and the pericycle continue to divide; (7) the two masses of dividing cells fuse into a single clump while the infection thread continues to grow; and (8) the nodule elongates and differentiates, including the vascular connection to the root stele. Bacteroids are released into the cells in the center. (From Rolfe and Gresshoff, 1988.)

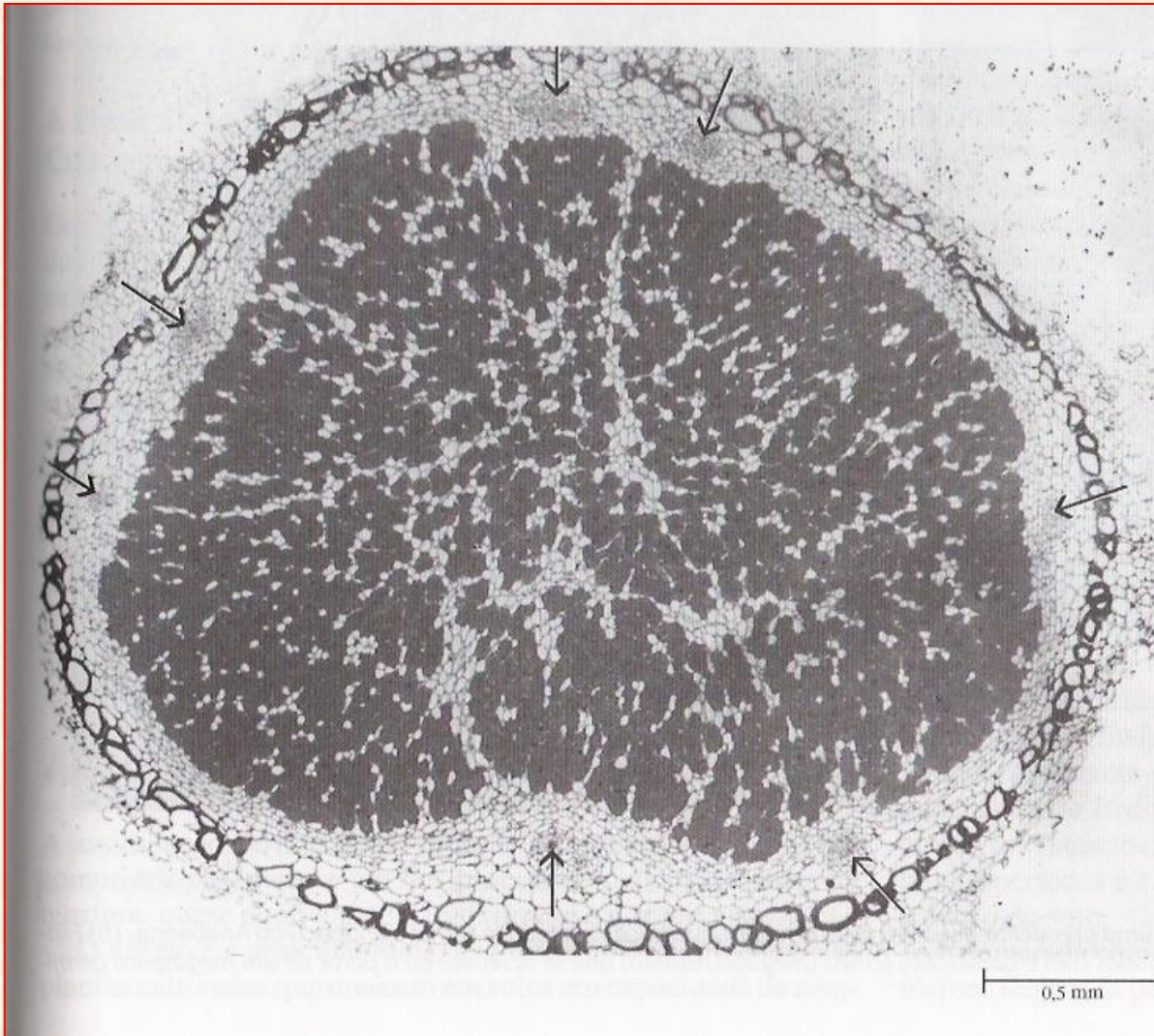




**FIGURA 12.8** Nódulos em raiz em soja. Os nódulos são o resultado da infecção por *Rhizobium japonicum* (© Wally Eberhart/Visuals Unlimited).







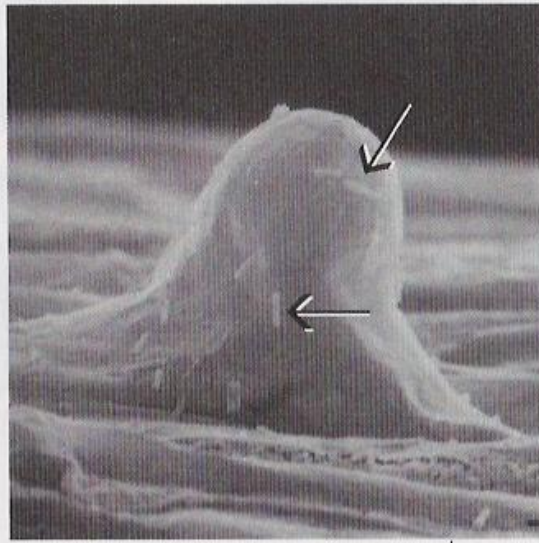
**30.10**

*Seção através de um nódulo de raiz de soja maduro. Células não infectadas vacuoladas podem ser vistas entre as células infectadas contrastadas em escuro na zona central do nódulo. O córtex do nódulo contendo feixes vasculares e uma camada de células de esclerênquima contrastadas em escuro circunda a zona central.*

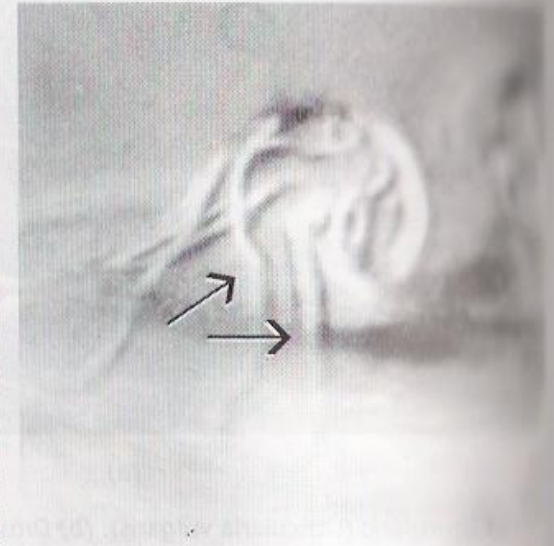


### 30.9

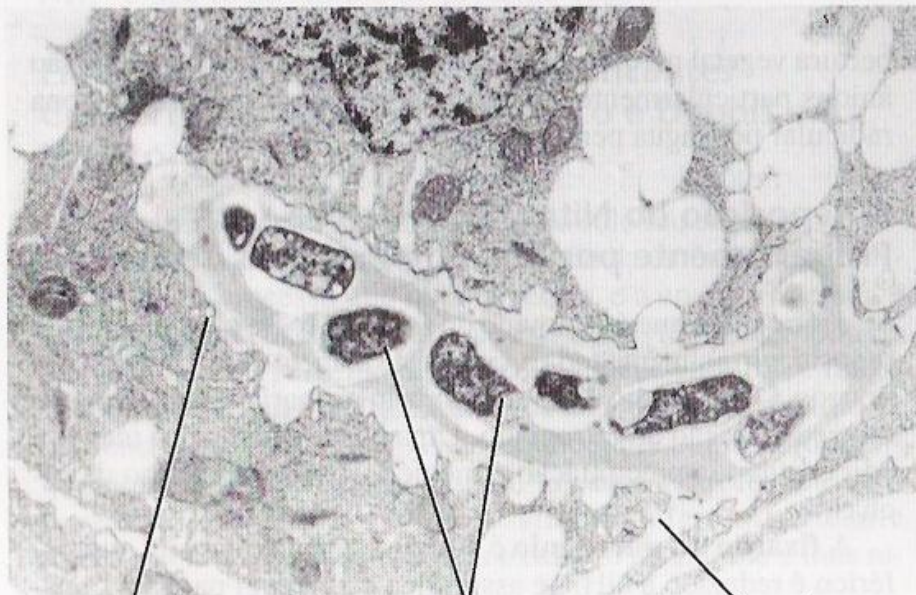
Eventos da infecção da soja por *Bradyrhizobium japonicum*. (a) Micrografia eletrônica de varredura mostrando rizóbios (setas) presos a um pêlo radicular que emergiu recentemente. (b) Fotomicrografia de contraste de interferência diferencial mostrando um pequeno pêlo radicular curvado contendo múltiplos canais de infecção (setas). (c) Elétron-micrografia de um canal de infecção contendo rizóbios. A membrana plasmática e a parede celular da célula da raiz estão contíguas ao canal de infecção. Cada rizóbio está circundado por um halo de polissacarídeos capsulares. (d) Elétron-micrografia de grupos de bacterióides, cada qual circundado por uma membrana derivada da célula do nódulo de raiz infectada.



(a)



(b)

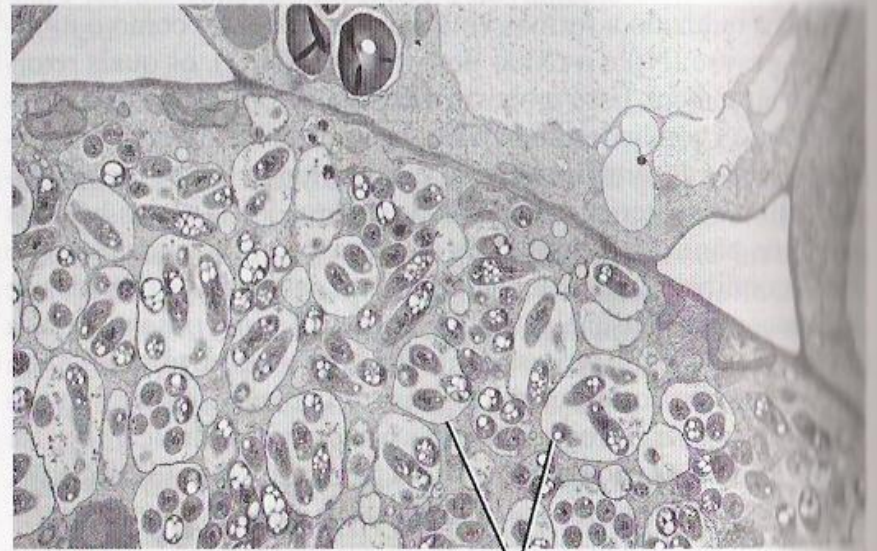


Canal de infecção

Rizóbios  
(c)

Parede celular

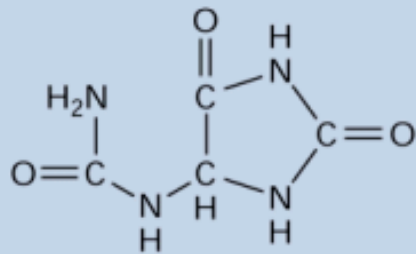
1 μm



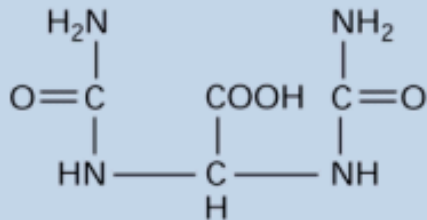
(d)

Bacterióides circundados por membranas

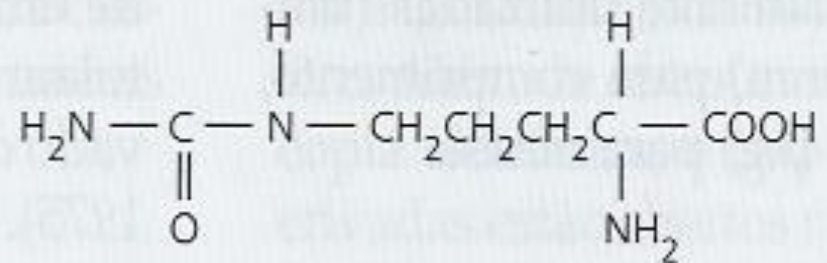




**Allantoin**



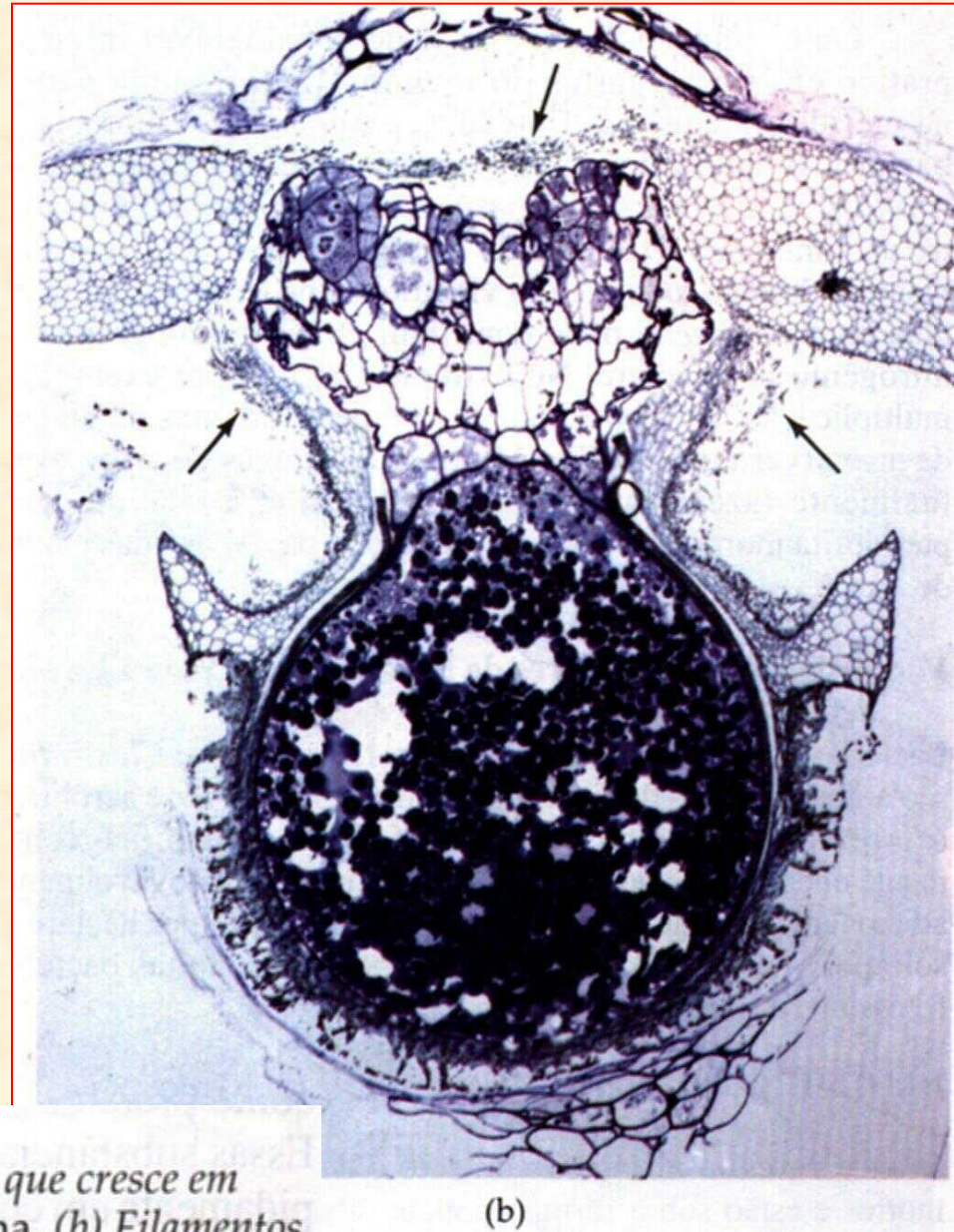
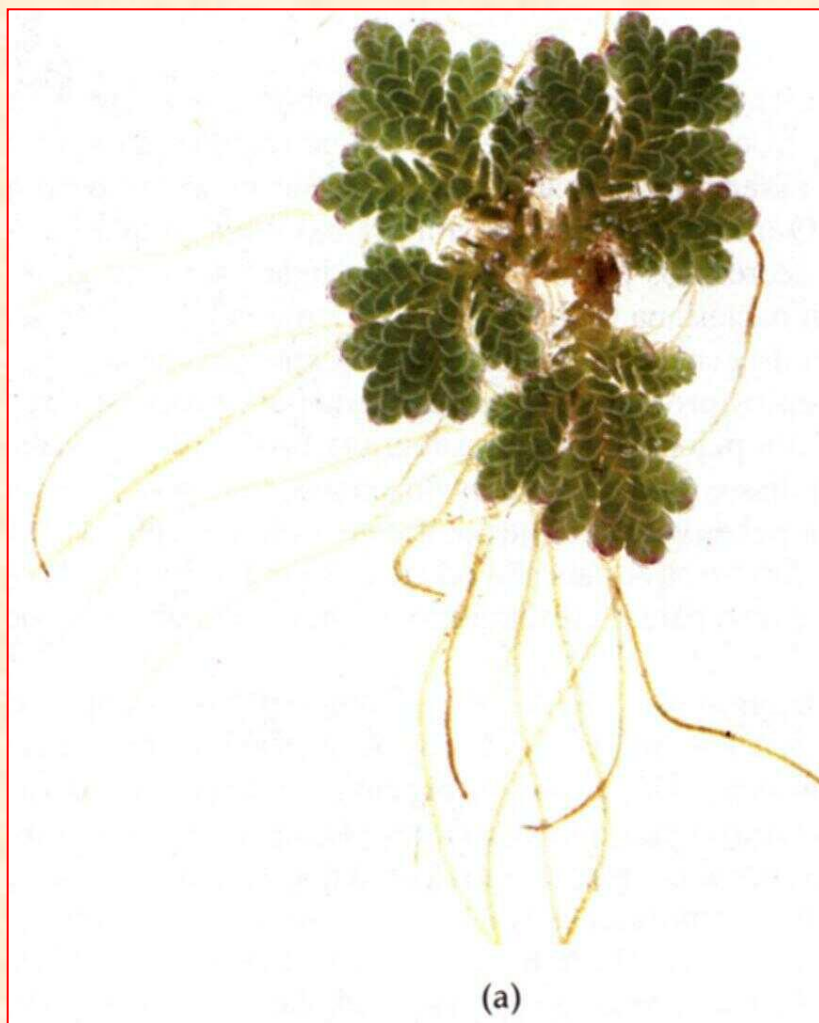
**Allantoic acid**



**Citrulina**

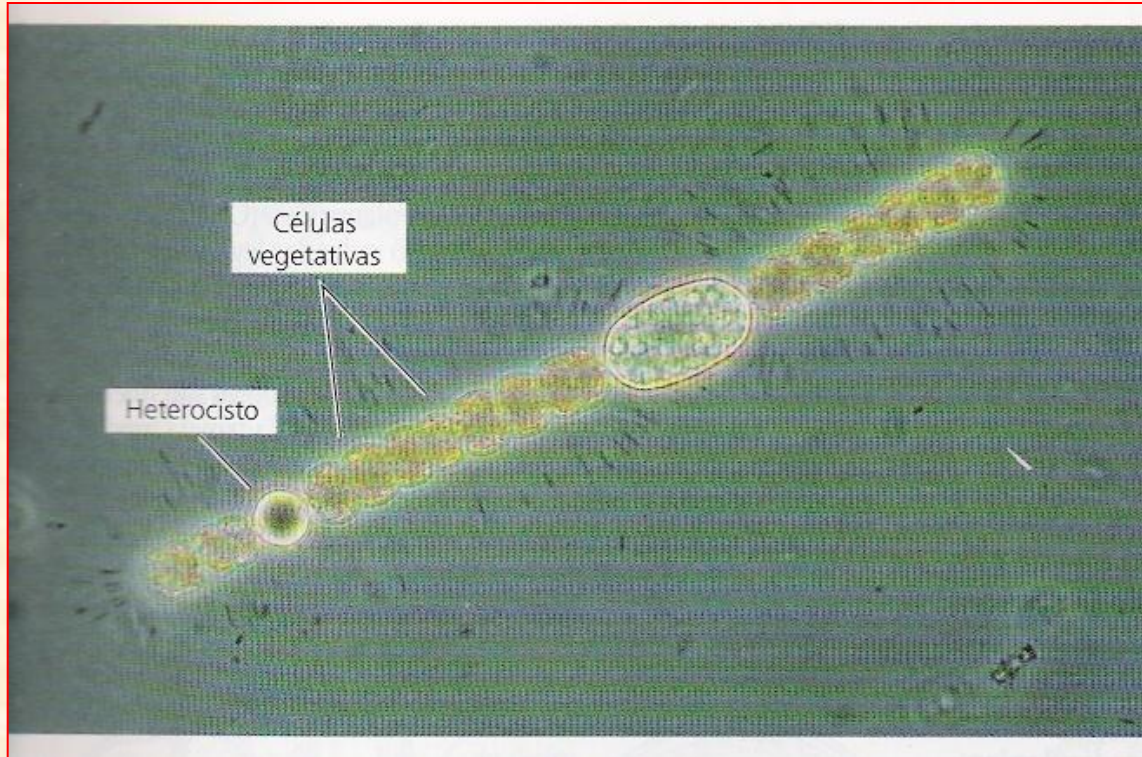
**Figure 1.42**

Ureides are nitrogen-rich compounds formed in the root nodules of some legumes that form symbiotic associations with rhizobial bacteria.



27.15  
(a) *Azolla filiculonides*, uma pteridófita aquática que cresce em associação simbiótica com a cianobactéria *Anabaena*. (b) Filamentos da *Anabaena* podem ser vistos (setas) associados com o gametófito feminino (megagametófito) que se desenvolveu a partir de um megásporo germinado de *Azolla*.





**FIGURA 12.9** Um filamento de cianobactéria fixadora de nitrogênio (*Anabaena*) com um heterocisto. O heterocisto com paredes espessas, intercalado entre as células vegetativas, possui um ambiente interno anaeróbico que permite à cianobactéria fixar nitrogênio em condições aeróbicas (© Paul W. Johnson/Biological Photo Service).

## Fixação Simbiótica do Nitrogênio:

### Planta hospedeira:

### Organismo simbiótico:

Legumes: Leguminosas e *Parasponia*

*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium*,  
*Photorhizobium*, *Sinorhizobium*

Actinorrízicas: *Alnus* (árvore), *Ceanothus* (arbusto),  
*Casuarina* (árvore), *Datisca* (arbusto).

*Frankia* (actinomiceto)

*Gunnera*

*Nostoc*

*Azolla* (pteridófita aquática)

*Anabaena*

Cana-de-açúcar

*Acetobacter*

Gramíneas tropicais

*Azospirillum* (actinomiceto)



## Fixação Não-Simbiótica do Nitrogênio (fixadores de vida livre):

**Tipo:**

**Gêneros:**

Cianobactéria (alga verde azulada):

*Nostoc, Anabaena, Calothrix*

**Outras bactérias:**

*Aeróbicas:*

*Azotobacter, Derxia, Azospirillum, Beijerinckia*

*Facultativas:*

*Bacillus, Klebsiella*

*Anaeróbicas:*

Não fotossintetizante:

*Clostridium*

Fotossintetizante:

*Rhodospirillum*

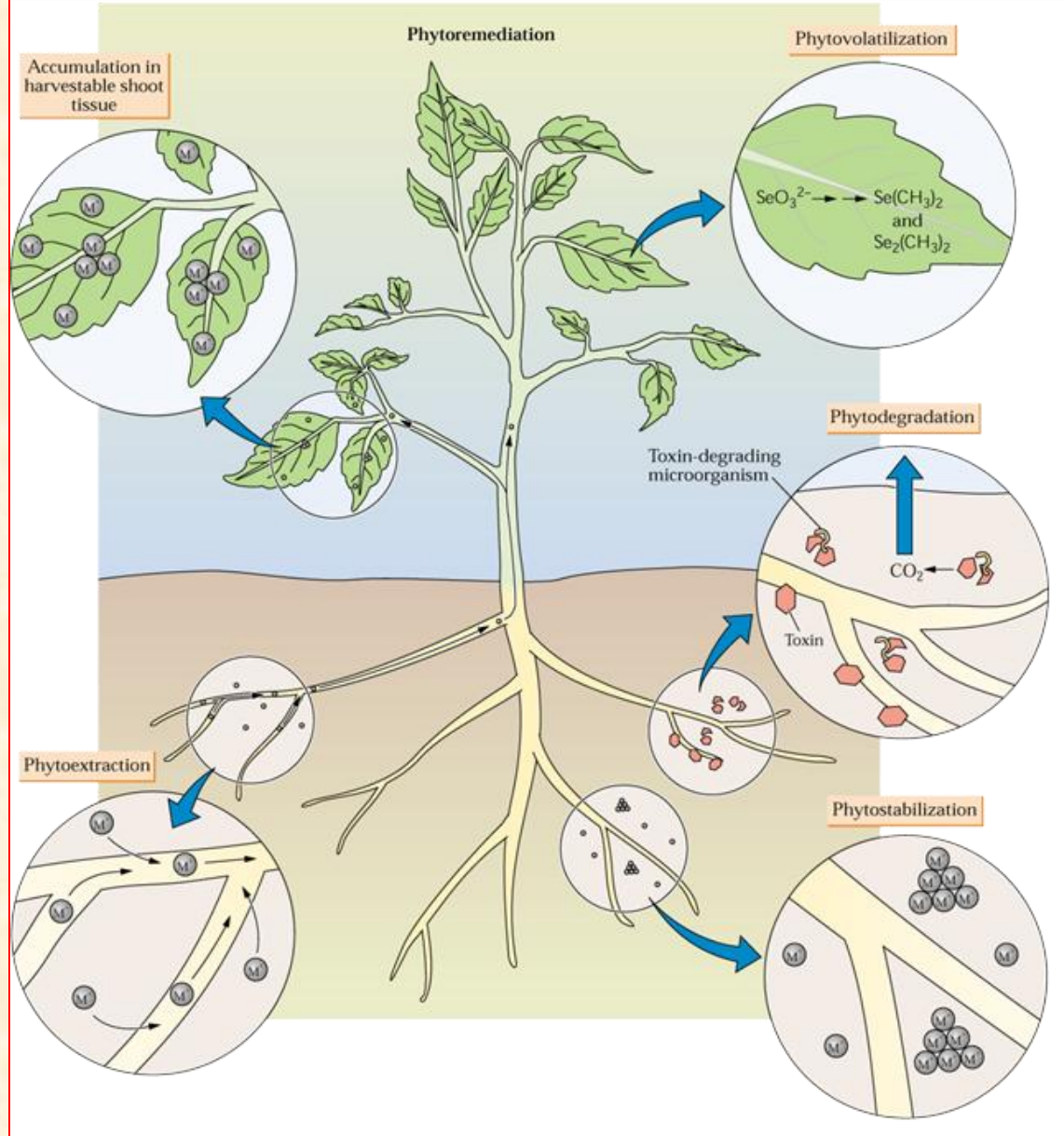
## Associação entre plantas hospedeiras e o Rizóbio:

Planta hospedeira	Rizóbios simbiotes:
<i>Parasponia</i> (não leguminosa, anteriormente denominada Trema)	<i>Bradyrhizobium</i> sp.
Soja ( <i>Glycine max</i> )	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> (crescimento lento) <i>Sinorhizobium fredii</i> (crescimento rápido)
Alfafa ( <i>Medicago sativa</i> )	<i>Sinorhizobium meliloti</i>
<i>Sesbania</i> (aquática)	<i>Azorhizobium</i> (forma nódulos nas raízes e no caule; no caule se desenvolvem raízes adventícias)
Feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	<i>Rhizobium leguminosarum</i> bv. <i>phaseoli</i> ; <i>Rhizobium tropicii</i> ; <i>Rhizobium etli</i>
Trevo ( <i>Trifolium</i> )	<i>Rhizobium leguminosarum</i> bv. <i>trifolii</i>
Trevo doce	<i>Sinorhizobium meliloti</i>
Ervilha ( <i>Pisum sativum</i> )	<i>Rhizobium leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i>
<i>Aeschenomene</i> (aquática)	<i>Photorhizobium</i> (rizóbios fotossintética-mente ativos, que formam nódulos no caule, provavelmente associados a raízes adventícias)





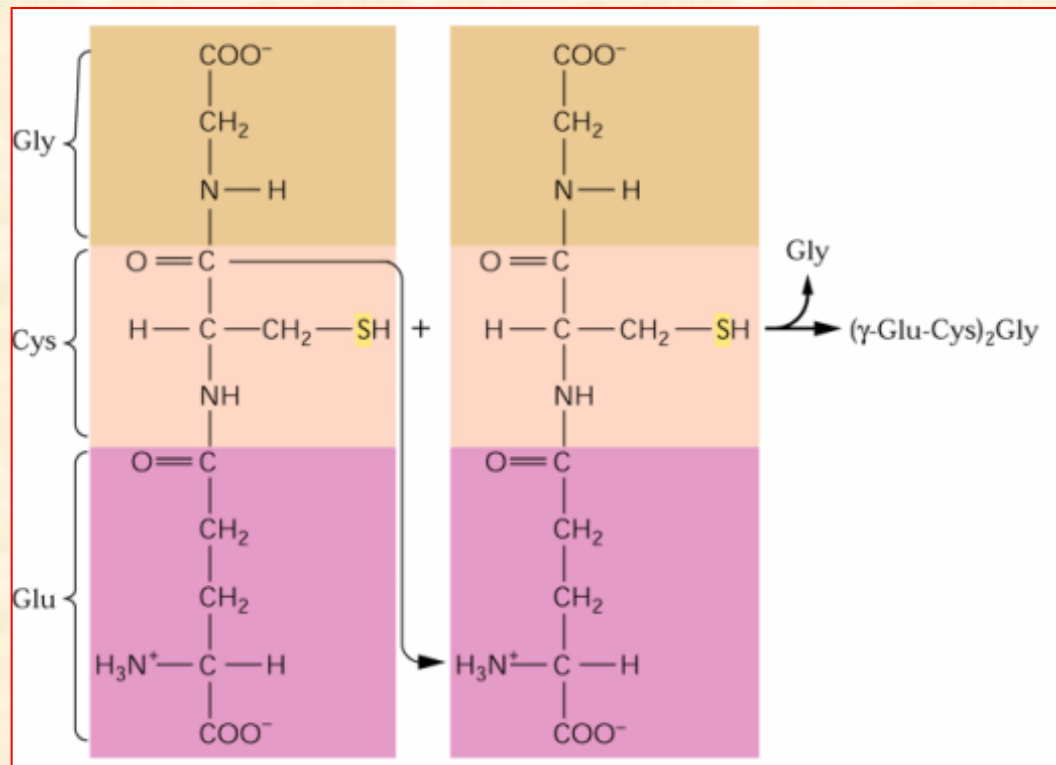
# Fitorremediação



## Box 23.3

The conceptual basis for phytoremediation, the use of plants to clean contaminated soils, came from identifying plants that hyperaccumulate metals.





**Figure 16.68**

Phytochelatin synthase catalyzes the transpeptidation reaction of glutathiones to produce  $(\gamma\text{-Glu-Cys})_n\text{Gly}$  ( $n = 2$  to  $11$ ).

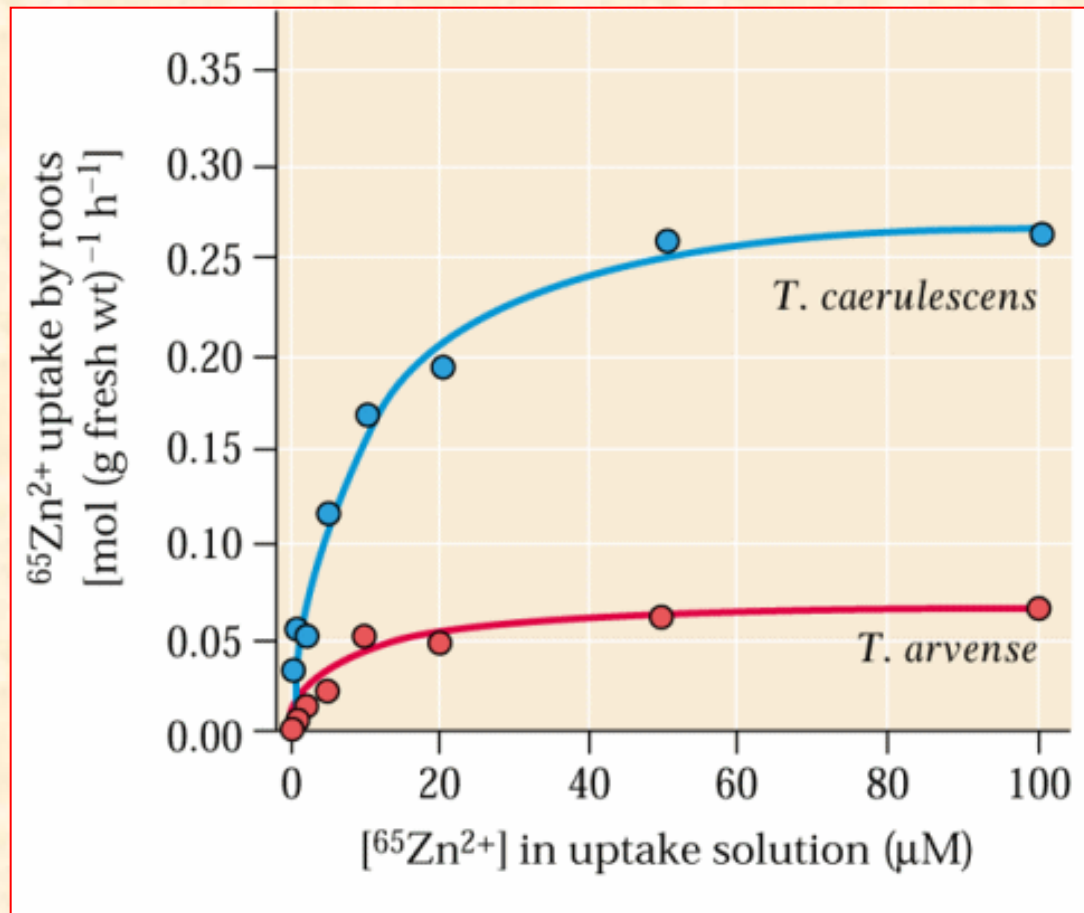
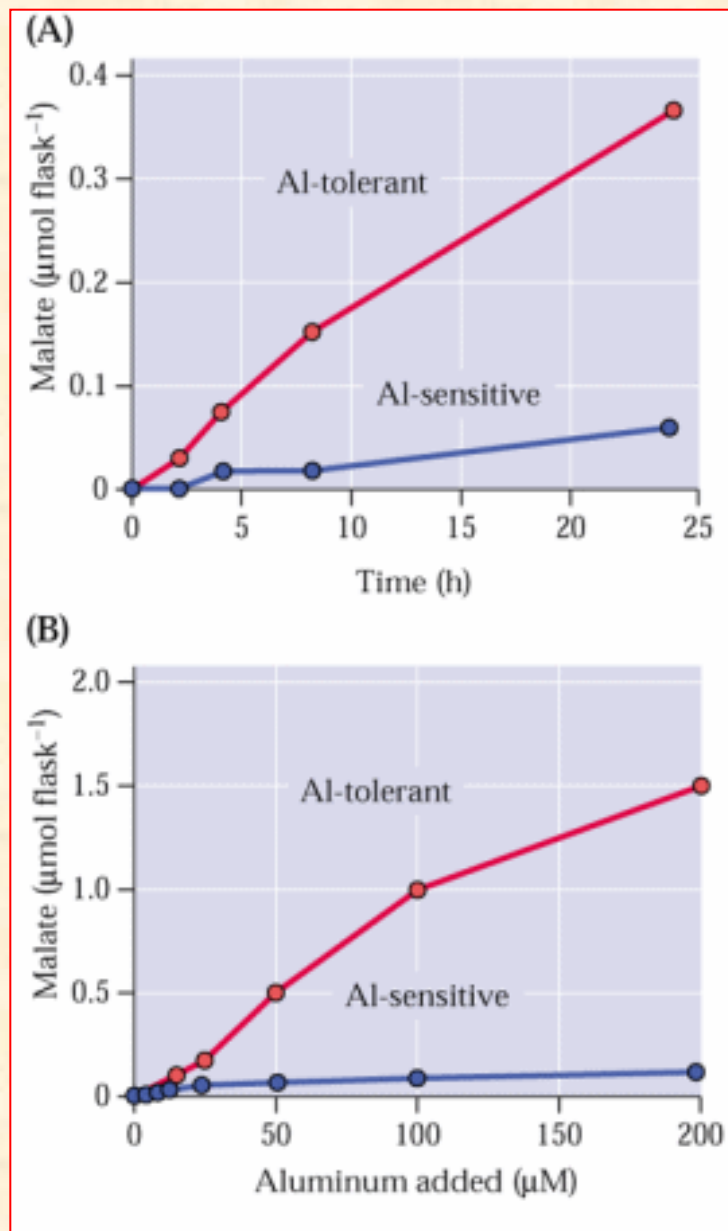


Figure 23.32

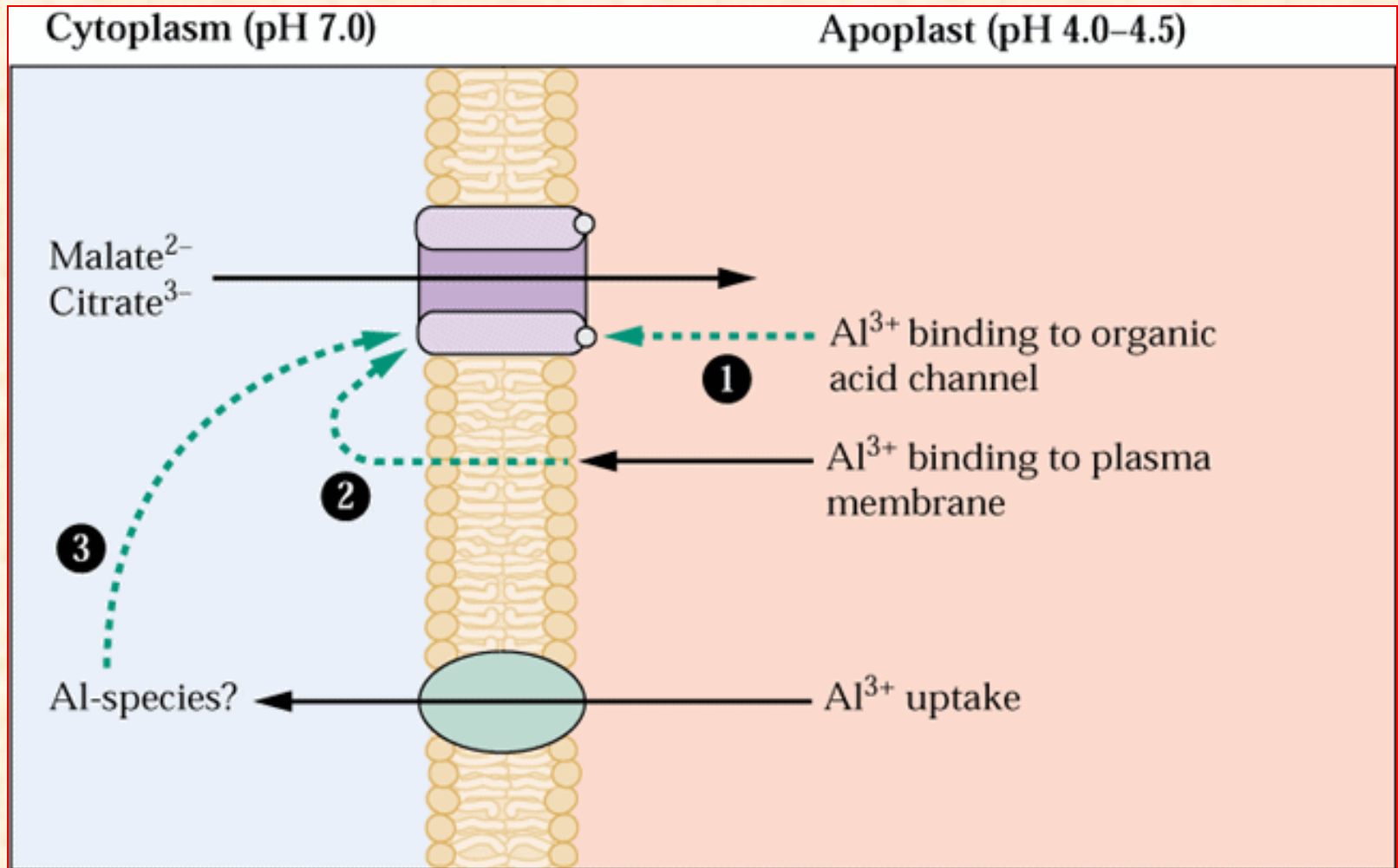
Concentration-dependent kinetics of  $^{65}\text{Zn}^{2+}$  influx into roots of the Zn/Cd hyperaccumulator, *Thlaspi caerulescens* (blue) and the nonaccumulator, *T. arvense* (red).





**Figure 23.35**

Aluminum-inducible release of malate from roots of Al-tolerant and Al-sensitive isolines of wheat.



**Figure 23.36**  
 Model of a proposed mechanism of Al tolerance: Al<sup>3+</sup>-induced efflux of organic acids by way of an Al-gated anion channel in the plasma membrane (PM) of cells of the root apex.



# Plantas Halófitas

Deposição de sal



FACE SÚPERIOR (ADAXIAL) DA FOLHA

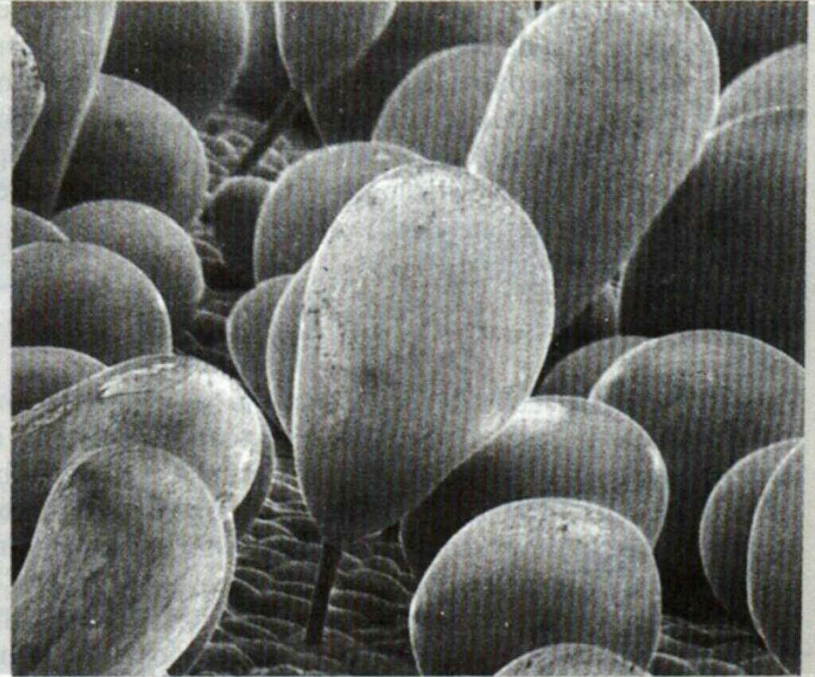
Glândulas de sal em uma  
espécie Halófitas







(a)



(b)

100  $\mu\text{m}$

(a) *Atriplex* é uma das várias halófitas, sendo considerada como uma planta cultivada em potencial. (b) A superfície da folha de *Atriplex*. O sal é bombeado do tecido foliar através de pequenas células em haste para grandes células vesiculares com capacidade de expansão.





Figura 2. *Atriplex nummularia* irrigada com o rejeito da dessalinização de água salobra, com um ano de idade



Salicornia

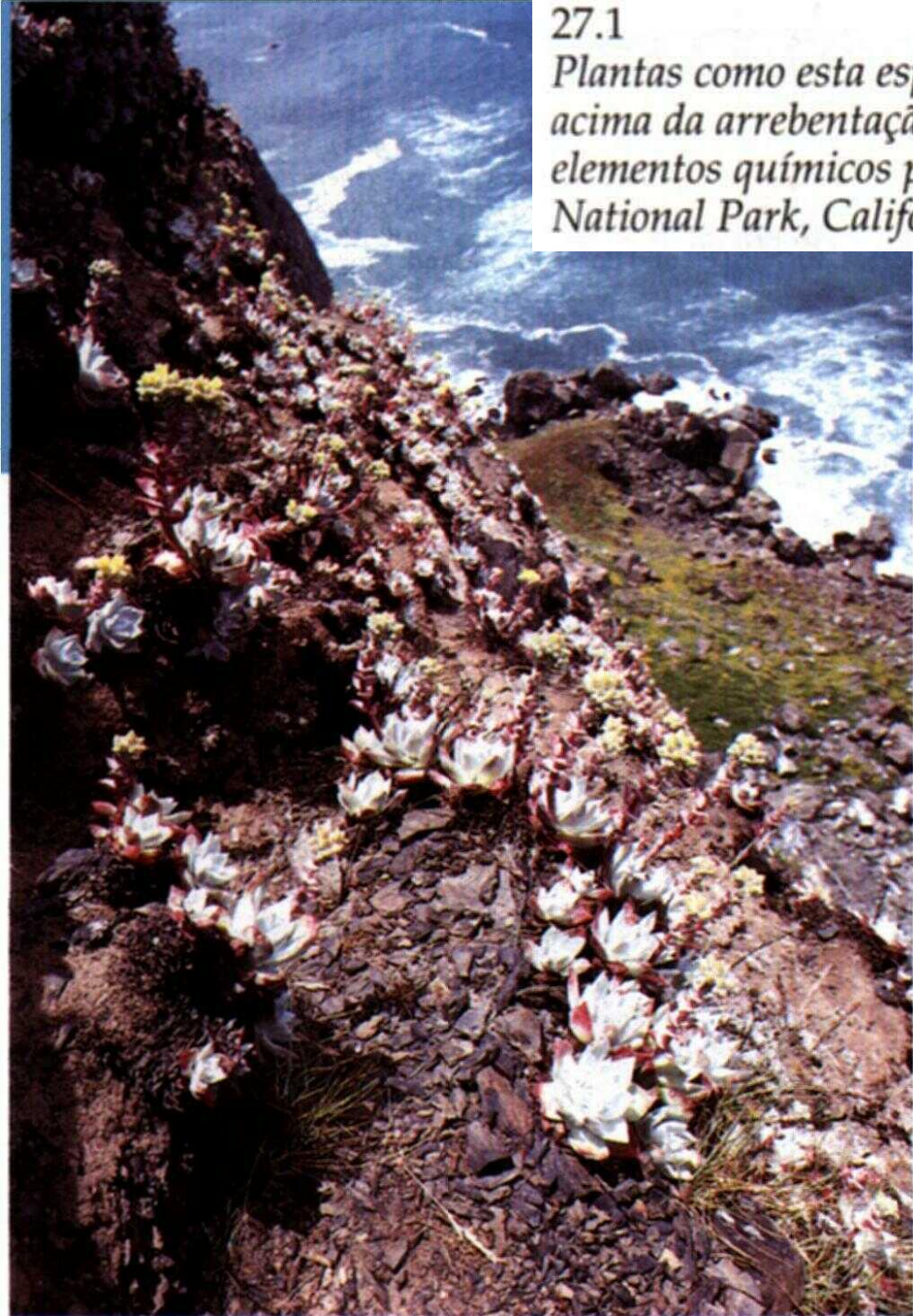


Morganheira das praias

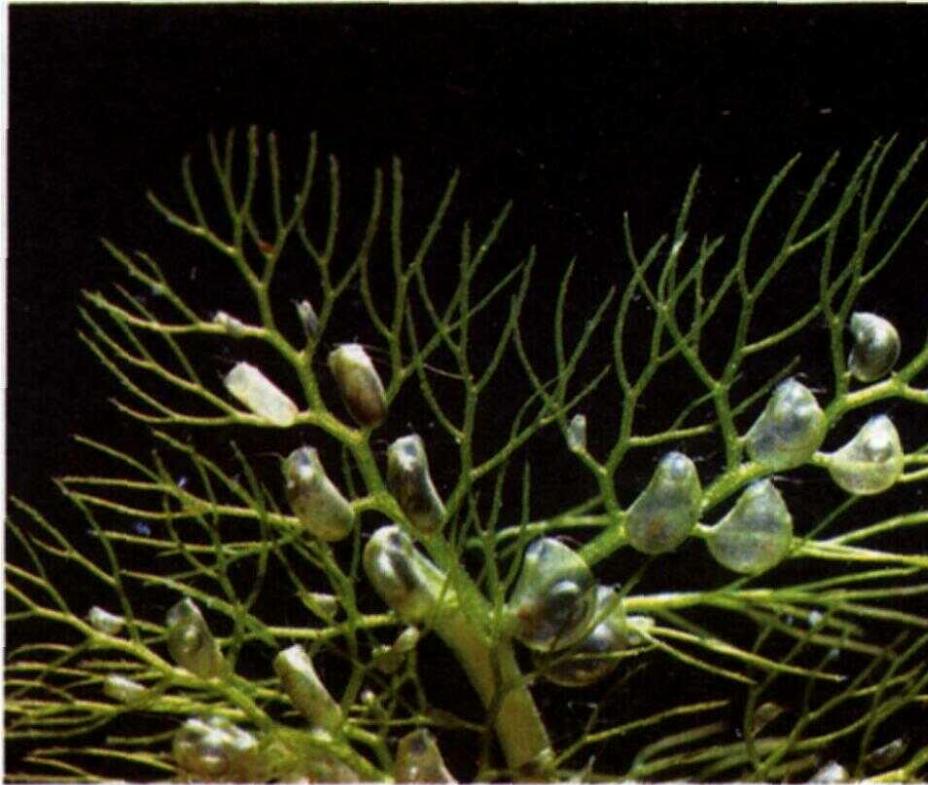


27.1

*Plantas como esta espécie de Sedum vista aqui, crescendo em recifes acima da arrebentação, requerem pouco mais que luz, água e certos elementos químicos para manter a vida. Fotografado em Redwood National Park, Califórnia.*







(a)



(b)

27.16

As plantas carnívoras aprisionam suas presas de vários modos. (a) *Utricularia vulgaris* é uma planta aquática livre-flutuante. As armadilhas são lâminas em forma de pêra, pequenas e achatadas. Cada lâmina tem uma armadilha fechada por uma "porta suspensa". O mecanismo de captura consiste em quatro cerdas duras próximo à borda livre inferior da "porta". Quando um pequeno animal entra em contato com essas cerdas, os pêlos distorcem a borda inferior da porta, fazendo-a abrir rapidamente. A água então entra rapidamente na lâmina, carregando o animal para dentro, e a "porta" é fechada atrás dele. Uma série de enzimas secretadas pela parede interna das lâminas vegetais e por uma população de bactérias nelas residentes digerem o animal. Os minerais e compostos orgânicos produzidos são absorvidos através das paredes celulares da armadilha. Os exoesqueletos não digeridos permanecem dentro das lâminas. (b) *Drosera rotundifolia* é uma planta muito pequena, frequentemente com apenas poucos centímetros de seção transversal, com tricomas em forma de clava na superfície superior das folhas. As pontas desses tricomas glandulares secretam um líquido claro e pegajoso, ou mucilagem, que atrai insetos, como a libélula mostrada aqui. Quando um inseto é capturado na mucilagem, os tricomas dobram-se para dentro até que a folha finalmente se curva ao redor do inseto. Os tricomas secretam pelo menos seis enzimas, as quais, junto com as enzimas produzidas pelas bactérias, especialmente quitinase, digerem o inseto. Nutrientes liberados pela presa na mucilagem são reabsorvidos pelas mesmas glândulas que secretam as enzimas digestivas.