



# **Anatomia e Fisiologia Vegetal**



# **Anatomia e Fisiologia Vegetal**

Gabriela Marcomini de Lima  
Lia Chaer

© 2018 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

**Presidente**

Rodrigo Galindo

**Vice-Presidente Acadêmico de Graduação e de Educação Básica**

Mário Ghio Júnior

**Conselho Acadêmico**

Ana Lucia Jankovic Barduchi

Camila Cardoso Rotella

Danielly Nunes Andrade Noé

Grasiele Aparecida Lourenço

Isabel Cristina Chagas Barbin

Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

**Revisão Técnica**

Francisco Ferreira Martins Neto

Isabella Alice Gotti

**Editorial**

Camila Cardoso Rotella (Diretora)

Lidiane Cristina Vivaldini Olo (Gerente)

Elmir Carvalho da Silva (Coordenador)

Leticia Bento Pieroni (Coordenadora)

Renata Jéssica Galdino (Coordenadora)

---

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

L732a Lima, Gabriela Marcomini de  
Anatomia e fisiologia vegetal / Gabriela Marcomini de  
Lima, Lia Chaer. – Londrina : Editora e Distribuidora  
Educacional S.A., 2018.  
192 p.

ISBN 978-85-522-1080-1

1. Estrutura vegetal. 2. Fisiologia vegetal. 3. Ação hormonal vegetal. I. Lima, Gabriela Marcomini de. II. Chaer, Lia. III. Título.

CDD 580

---

Thamiris Mantovani CRB-8/9491

2018

Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza

CEP: 86041-100 – Londrina – PR

e-mail: editora.educacional@kroton.com.br

Homepage: <http://www.kroton.com.br/>

# Sumário

<b>Unidade 1   Introdução à anatomia vegetal</b> _____	<b>7</b>
Seção 1.1 - Fundamentos da anatomia vegetal _____	9
Seção 1.2 - Histologia vegetal _____	23
Seção 1.3 - Estruturas vegetativas e reprodutivas _____	41
<b>Unidade 2   Relações metabólicas e hídricas nos vegetais</b> _____	<b>59</b>
Seção 2.1 - Transporte através das membranas _____	61
Seção 2.2 - Movimento e absorção de água e solutos na planta e no solo _____	74
Seção 2.3 - Água na planta: mecanismo estomático, transpiração e gutação _____	88
<b>Unidade 3   Fotossíntese e respiração</b> _____	<b>103</b>
Seção 3.1 - Introdução à fotossíntese e a respiração vegetal _____	105
Seção 3.2 - Fotossíntese: conversão de energia luminosa em energia química _____	118
Seção 3.3 - Respiração vegetal _____	131
<b>Unidade 4   Crescimento e desenvolvimento vegetal: hormônios e     estímulos ambientais</b> _____	<b>147</b>
Seção 4.1 - Crescimento e desenvolvimento vegetal _____	149
Seção 4.2 - Hormônios vegetais e reguladores do crescimento _____	164
Seção 4.3 - Estímulos ambientais para o crescimento e desenvolvimento vegetal _____	177



# Palavras do autor

Bem-vindo, aluno! Vamos agora adentrar na Anatomia e Fisiologia Vegetal. Esta disciplina tem como foco o estudo das plantas, suas células, tecidos e organização dos tecidos em diferentes órgãos. A compreensão da anatomia vegetal dá embasamento para o estudo da fisiologia vegetal, que se aprofunda no funcionamento do organismo das plantas.

A biotecnologia tem estado cada dia mais presente no mundo, e a preservação da biodiversidade e a produção agrícola se apresentam como áreas de importância crescente, ocupando espaço central na sociedade. Assim, a compreensão da forma e função nos vegetais é essencial para o desenvolvimento e otimização de tecnologias envolvidas na produção vegetal, como a criação de transgênicos, clonagem, sequestro de carbono, redução no uso de recursos hídricos, produção de alimentos, fármacos, celulose e de biomassa, por exemplo.

Dessa forma, fica evidente a importância e a aplicação do estudo da anatomia e fisiologia vegetal, um assunto tão amplo e complexo, que envolve diversas áreas de conhecimento biológico, como a bioquímica, microscopia e a biologia molecular.

Para tanto, na primeira unidade de ensino são apresentados os fundamentos da anatomia vegetal, destacando a importância e a aplicação de seu estudo; descrevendo a estrutura e componentes da célula vegetal e como elas se originam e se especializam para realizar funções determinadas na planta. Posteriormente será aprofundado o conteúdo de histologia, que caracteriza a anatomia e fisiologia dos tecidos nas plantas. Conheceremos também alguns órgãos vegetais, como raiz, caule, folha, flor, fruto e semente, além dos aspectos estruturais e evolutivos envolvidos na fertilização das flores. Dessa forma, você irá conhecer as células, tecidos e órgãos que compõem os vegetais, suas funções e os processos que permitem a reprodução e perpetuação das espécies vegetais.

Na Unidade 2 serão estudadas as relações metabólicas e hídricas nos vegetais, que descrevem os processos envolvidos na absorção de água, nutrientes e minerais e seu transporte pelo organismo vegetal. Assim, será possível reconhecer as relações hídricas nas

células vegetais por meio da determinação do conteúdo relativo de água em folhas de espécies vegetais.

Na Unidade 3 serão estudados os processos de fotossíntese e respiração, permitindo o reconhecimento de sua importância para o ciclo de vida de um vegetal.

A Unidade 4 utilizará o conhecimento construído até o momento para embasar o estudo do crescimento e desenvolvimento dos vegetais e do papel de hormônios no processo. Tal conhecimento fornece a base para a realização de recomendações técnicas sobre a aplicação de hormônios utilizados para o crescimento e clonagem vegetal.

Vamos juntos mergulhar no universo das plantas, adquirindo conhecimento para a aplicação em áreas como a biotecnologia, produção vegetal e meio ambiente, evidenciando a sua importância como área central não apenas na biologia, mas na ciência e na sociedade como um todo. Bons estudos!

# Introdução à anatomia vegetal

## Convite ao estudo

Caro aluno, a unidade inicial apresenta os fundamentos da anatomia vegetal. Seu estudo permitirá a compreensão da importância e a aplicação dos conhecimentos ao descrever a estrutura e componentes da célula vegetal e evidenciar como as células são originadas e sofrem diferenciação. Ao longo da unidade também estudaremos a anatomia e classificação dos tecidos vegetais, os meristemas primário e secundário, tecidos fundamentais, dérmico e condutor, além das estruturas secretoras internas e externas. A introdução à anatomia vegetal será concluída com o aprofundamento em estruturas vegetativas e reprodutivas em vegetais, descrevendo a anatomia da raiz, caule, folha, flor, fruto e semente, além dos aspectos estruturais e evolutivos envolvidos na polinização e fertilização das flores.

Dessa forma, será permitido o desenvolvimento de competências básicas, como conhecer as células, tecidos e órgãos que compõem os vegetais, suas funções, e os processos que permitem a reprodução e perpetuação das espécies vegetais.

Para lhe auxiliar no processo de aprendizagem, imagine que você foi selecionado para trabalhar como especialista em botânica em uma empresa que atua prestando serviços de consultoria e assessoria ambiental para órgãos públicos e privados. Dentre os diversos serviços prestados pela empresa, destacam-se os levantamentos florísticos, fitossociológicos e serviços ligados a herbários e viveiros de produção de mudas, além de atividades educativas.

Você compreende a importância de identificar os

diferentes tipos de células e estruturas dos vegetais? Entende a necessidade de conhecer as plantas para sua devida identificação, reconhecimento e preservação? Vamos juntos conhecer todos os detalhes e conceitos que auxiliarão em sua atividade de especialista em vegetação.

Como você já deve ter notado, os conhecimentos da área de anatomia e fisiologia vegetal constituem a base sobre qual se apoiam importantes ramos, como a sistemática vegetal, utilizada na identificação de plantas. Tais conhecimentos são aplicados na preservação da biodiversidade, na produção de alimentos, fármacos e biocombustíveis, na arborização urbana e paisagismo e na educação ambiental, entre outros. O investimento em pesquisa nestas áreas permite conciliar o crescimento econômico e a conservação do meio ambiente, visando a sustentabilidade.

# Seção 1.1

## Fundamentos da anatomia vegetal

### Diálogo aberto

O crescimento populacional impõe ao homem a necessidade de ampliar as áreas agricultáveis e o crescimento econômico, pois muitas vezes pode parecer incompatível com a preservação de ecossistemas e da biodiversidade. No entanto, é importante ressaltar que a consciência ambiental vem crescendo e se desenvolvendo na sociedade, e muito vem sendo investido em pesquisa, visando a otimização na produção vegetal, uso da água e também na redução da aplicação de agrotóxicos que prejudicam os seres vivos e o meio ambiente. Além disso, a manutenção de áreas verdes para preservação da fauna, flora e sequestro de carbono vem sendo exigidas por órgãos ambientais. Aliada a estas questões, a educação ambiental também atua como um fator de incentivo a mudanças de hábitos, de forma a promover a sustentabilidade.

Dentro desta perspectiva, empresas de consultoria e assessoria ambiental estão a cada dia mais presentes no mercado, realizando licenciamento e gestão ambiental para adequar empreendimentos. Tais empresas exigem a atuação de profissionais experientes e de elevado nível técnico, como engenheiros florestais e agrônomos.

Relembrando a nossa situação hipotética em que a empresa na qual você trabalha executa diagnóstico e monitoramento ambiental, planos de manejo e licenciamento ambiental. Como especialista em botânica, você deve estar apto a realizar levantamentos florísticos, fitossociológicos e serviços ligados a herbários e viveiros de produção de mudas, além de atividades de educação ambiental.

A equipe com a qual você trabalha foi designada por uma empresa de papel e celulose para realizar atividades educativas em escolas municipais da região. Este tipo de atividade é parte das exigências feitas por órgãos ambientais para que a empresa atue com responsabilidade e participe ativamente em atividades sociais que promovam a sustentabilidade e a educação ambiental na área de atuação. Nesse sentido, sua função será elaborar uma aula aos

alunos no ensino fundamental a respeito da origem e fabricação do papel. No meio da aula os alunos lhe questionam: "Por que o papel vem das árvores? Quais as características das células vegetais?"

Os conteúdos que estudaremos a seguir constituem o alicerce para o estudo da anatomia e fisiologia vegetal, sem eles não será possível construir um conhecimento sólido a respeito dos vegetais e seus desmembramentos. Para conhecer um pouco mais a respeito das características deste importante reino, te convidamos a adentrar no estudo da anatomia e fisiologia vegetal. Portanto, utilize-se de todo o seu empenho e dedicação ao debruçar-se sobre o assunto.

Bons estudos!

## Não pode faltar

Você consegue imaginar o mundo sem os vegetais? As plantas estão por toda parte, e constituem a base da cadeia alimentar por produzirem carboidratos a partir da energia proveniente da luz solar por meio da fotossíntese. Assim, os vegetais produzem alimento não somente para os herbívoros, mas para todos os animais. E não é apenas na alimentação que os vegetais são importantes. Eles estão presentes em utensílios e móveis construídos por seres humanos, na construção civil, nos tecidos de algodão, no papel de seu caderno, em cosméticos e biocombustíveis, medicamentos, venenos e pesticidas. Os vegetais compõem ecossistemas, abrigando a fauna e a flora e mantendo o clima e a umidade adequados para a vida. Estes são apenas alguns exemplos das aplicações e importância dos vegetais.

Assim, deve ficar clara a importância do estudo da anatomia vegetal, fornecendo subsídios a todos que trabalham com vegetais para compreender a estrutura e funcionamento de células, tecidos, órgãos e do organismo como um todo, além das relações filogenéticas entre os grupos vegetais e as estratégias adaptativas para as plantas sobreviverem em diferentes ambientes.

O conhecimento existente a respeito da botânica e as tecnologias desenvolvidas até hoje ocorreram graças às gerações de pesquisadores e estudiosos que se dedicaram ao assunto.

Na presente disciplina estudaremos a forma e a função em organismos vegetais, nos debruçando sobre as características de suas células, sua organização em tecidos e órgãos e a importância

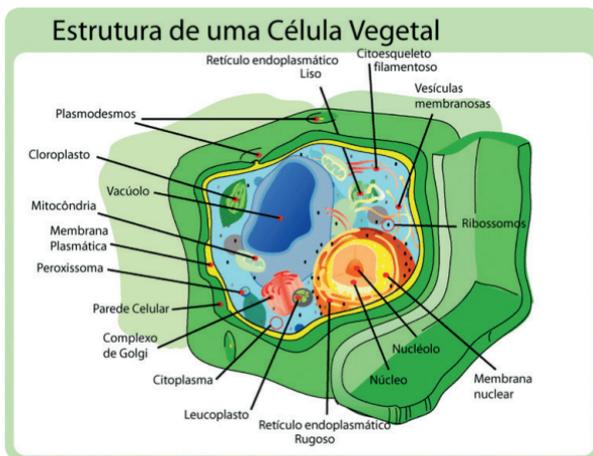
de um sistema de transporte e comunicação para o funcionamento metabólico adequado.

Partindo, portanto, da menor unidade estrutural e funcional da vida, iniciaremos o estudo da citologia vegetal.

A célula vegetal é constituída de uma parede celular que envolve a membrana plasmática, que por sua vez envolve o citoplasma e o núcleo da célula. O citoplasma é composto por uma matriz aquosa denominada citosol, onde estão imersas as organelas, que podem ser membranosas ou não membranosas. O citosol, ou hialoplasma, é um composto líquido e viscoso formado por água, íons e substâncias dissolvidas, que favorece o transporte de substâncias e a ocorrência de reações químicas.

As células vegetais se distinguem de células animais por apresentarem a parede celular, os cloroplastos e compartimentos internos, ou vesículas, denominadas vacúolos. Além destas estruturas, as células vegetais (Figura 1.1) apresentam também retículo endoplasmático, mitocôndrias, aparelho de Golgi, peroxissomos e citoesqueleto.

Figura 1.1 | Representação da estrutura de uma célula vegetal



Fonte: adaptada de <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plant\\_cell\\_structure\\_fr.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plant_cell_structure_fr.svg)>. Acesso em: 22 mar. 2018.

Ao observar a ilustração de uma célula ou uma micrografia, geralmente o núcleo se destaca como uma estrutura mais densa e proeminente no protoplasto. O núcleo da célula eucariótica é

envolto por uma membrana com poros chamada de carioteca, ou envoltório nuclear, que protege e contém o DNA nuclear. O núcleo controla também a atividade celular ao determinar quais proteínas serão produzidas.

O cloroplasto, cromoplasto e leucoplasto são tipos de plastídeos existentes nas células vegetais, que estão envolvidos não apenas com a produção de energia, mas também com a armazenagem. Os plastídeos são formados por pilhas de sacos membranosos achatados que compõem os tilacóides, imersos em uma matriz chamada de estroma, que é envolvido por uma membrana. Dependendo do pigmento existente na membrana dos plastídeos eles podem ser classificados como cloroplasto, o cromoplasto e o leucoplasto.

Os cloroplastos são plastídeos que apresentam os pigmentos clorofilas e carotenoides, responsáveis pela coloração das folhas e pela fotossíntese.

Outra organela muito importante para as células é a mitocôndria (Figura 1.2). Assim como os plastídeos, ela apresenta duas membranas, sendo que a membrana interna apresenta uma série de invaginações que formam as cristas mitocondriais. As mitocôndrias são responsáveis pela respiração celular. Neste processo, moléculas orgânicas são oxidadas ocorrendo a liberação de energia que é armazenada em moléculas de ATP (adenosina trifosfato), principal fonte de energia de células eucarióticas.

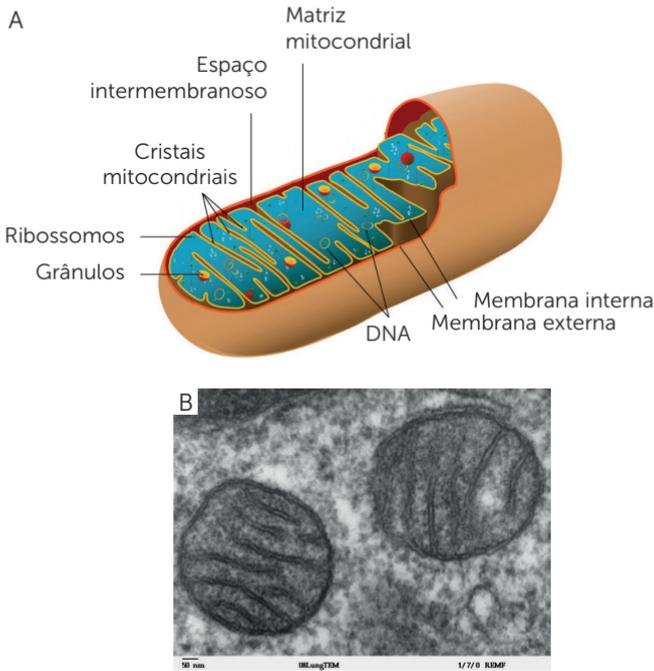


### Assimile

Toda energia produzida no processo de oxidação orgânica é armazenada na forma de ATP, um composto químico constituído adenina e ribose, que forma o composto denominado adenosina, juntamente com três ligações de fosfatos. Para que a planta possa utilizar a energia armazenada, é necessário que a enzima ATPase realize a quebra da última ligação molecular do ATP.

Por estar diretamente relacionada à produção de energia, a quantidade de mitocôndrias na célula se associa à sua atividade metabólica e demanda energética.

Figura 1.2 | (A) Esquema indicando os componentes da mitocôndria e (B) Micrografia eletrônica de mitocôndrias



Fonte: adaptada de <<https://commons.wikimedia.org/wiki/Mitochondrion>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

Os peroxissomos são pequenas vesículas membranosas com conteúdo granular formado por proteínas. Os peroxissomos participam o processo de fotorrespiração e de conversão de lipídeos em glicose para mobilização de reservas energéticas durante a germinação de sementes.

Os vacúolos são organelas membranosas semelhantes a grandes vesículas. Sua membrana tem origem no retículo endoplasmático, enquanto o suco vacuolar, contido em seu interior, é oriundo do aparelho de Golgi, sendo constituído por água, íons inorgânicos, açúcares, aminoácidos e ácidos orgânicos. Tal organela apresenta importante função no armazenamento de substâncias e manutenção do conteúdo osmótico no interior da célula. Além disso, os vacúolos retêm substâncias tóxicas, como metabólitos secundários que poderiam prejudicar a célula e que podem desempenhar papel na defesa da planta contra a herbivoria. Cristais de oxalato

de cálcio são comumente armazenados no interior dos vacúolos e também podem atuar na defesa da planta contra a ação de animais herbívoros. Muitos acidentes causados pela ingestão de plantas tóxicas se devem ao fato dos cristais de oxalato de cálcio, com a forma de microscópicas agulhas, se acumularem no interior de células de vegetais, como as popularmente chamadas de comigo-ninguém-pode, espada-de-São-Jorge e copo-de-leite, entre outras plantas comumente empregadas na ornamentação. A ingestão das folhas de plantas como estas causam edema e queimação na boca e na língua, podendo resultar na inflamação da glote, impedindo respiração e podendo resultar em asfixia.

Certos pigmentos, como as antocianinas, também são armazenados nos vacúolos e fornecem a bela coloração vermelha, azul e violeta de folhas e flores, que atrai animais polinizadores ou espanta herbívoros por sinalizar a presença de substâncias tóxicas.

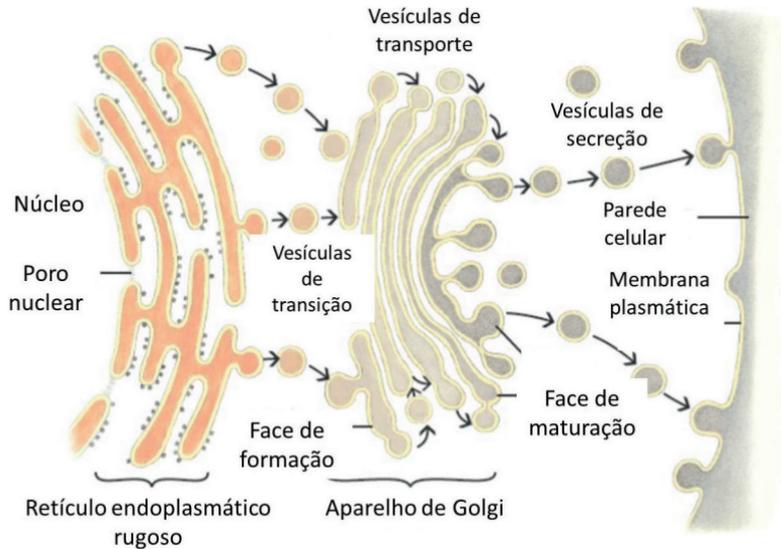
O aparelho de Golgi é uma organela membranosa composta por bolsas achatadas empilhadas, chamadas de cisternas ou vesículas. As proteínas produzidas no retículo endoplasmático rugoso são armazenadas no interior de vesículas membranosas, chamadas de vesículas de transição, e encaminhadas para o aparelho de Golgi. A membrana das vesículas de transição se funde com a membrana do aparelho de Golgi liberando as proteínas em seu interior, onde ocorre sua maturação e posterior liberação no interior de vesículas na face oposta da organela (Figura 1.3). Em células vegetais, o aparelho de Golgi produz polissacarídeos importantes, como a hemicelulose que compõe a parede celular, a pectina que faz parte da lamela média, além de enzimas que participam da digestão intracelular no interior do vacúolo.

A organela membranosa retículo endoplasmático se situa adjacente à membrana nuclear e apresenta papel importante na biossíntese de substâncias na célula. Aderidos à membrana do retículo endoplasmático, ou livres no citoplasma, se situam pequenos grânulos chamados de ribossomos. Os ribossomos são constituídos de moléculas de RNA e proteínas e são essenciais no processo de síntese de proteínas.

O retículo endoplasmático é uma organela constituída por membranas dobradas formando canais achatados e túbulos cilíndricos. Graças à presença de ribossomos aderidos em suas

membranas, a principal função do retículo endoplasmático rugoso é a síntese de proteínas. Diversas proteínas têm sua síntese iniciada no retículo endoplasmático rugoso e são enviadas para o aparelho de Golgi para finalização.

Figura 1.3 | Associação entre o retículo endoplasmático rugoso, o aparelho de Golgi e a membrana celular



Fonte: Evert e Eichhorn (2014, p. 138).

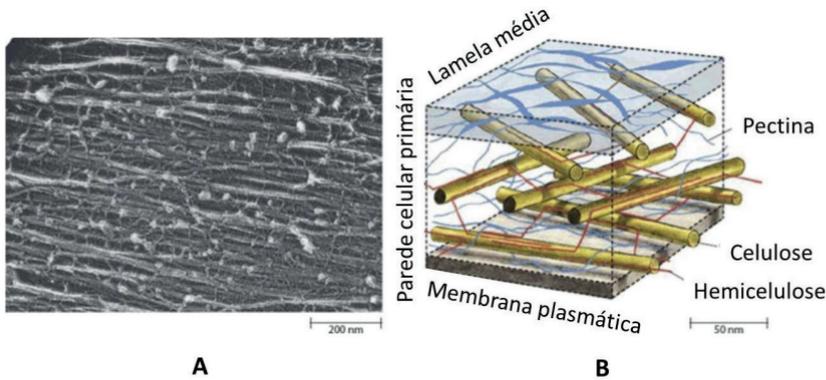
A parede celular é o componente da célula vegetal que melhor diferencia células vegetais dos animais. Situada externamente à membrana plasmática, a parede celular protege a célula e limita sua expansão dando-lhe forma e resistência.

A parede celular (Figura 1.4) é constituída principalmente por celulose, um polissacarídeo formado por monômeros de glicose. Longas moléculas de celulose se entrelaçam formando microfibrilas que se enrolam em resistentes filamentos aos quais se associam outros polissacarídeos como hemicelulose e pectinas. As paredes celulares também podem conter glicoproteínas, como extensinas, que enrijecem sua estrutura, além de suberina e lignina.

A composição da parede celular permite que as células vegetais sejam utilizadas na fabricação de produtos como o papel, tábuas de madeira ou tecidos e cordas de fibra vegetal. Isso ocorre devido

à resistência das paredes vegetais, conferida pela composição e disposição das moléculas de celulose e polissacarídeos associados.

Figura 1.4 | Parede celular (A) Micrografia eletrônica da parede celular de uma célula de cenoura e (B) esquema ilustrando a interligação de moléculas de celulose, hemicelulose e pectinas



Fonte: Evert e Eichhorn (2014, p. 147).

Como você pode perceber, as células apresentam em seu interior um maquinário que lhes permite executar diversas funções. Não é à toa que as células são as menores unidades estruturais e funcionais da vida. Existem organismos compostos por apenas uma célula, pois em seu interior existem órgãos (as organelas), que possibilitam produzir energia e substâncias vitais, excretar e também se reproduzir. No entanto, em organismos multicelulares as células apresentam elevados graus de especialização e se organizam em tecidos e órgãos responsáveis por funções diversas como a produção de moléculas orgânicas e energia, síntese e secreção de substâncias, transporte e absorção, por exemplo. Os diferentes tipos de células e tecidos que permitem que os vegetais tenham atingido tamanho sucesso evolutivo e diversidade deram estudos adiante.

Você já se perguntou como as plantas podem viver por tanto tempo e manter seu crescimento enquanto tiverem a disposição recursos vitais como luz, água e substrato com nutrientes? Existem árvores com mais de cinco mil anos, como é o caso da árvore da espécie *Pinus longaeva* (com 5.067 anos) e vive na Califórnia (EUA).

O que ocorre com os vegetais é que eles apresentam uma fonte da juventude em seu organismo. Isso mesmo, há locais dos vegetais

onde ocorre a constante produção de novas células, possibilitando seu crescimento e desenvolvimento independentemente da idade do restante das plantas. Estas regiões são chamadas de meristemas.

Mas vamos começar esta história do começo: após a fecundação, o zigoto inicia suas divisões celulares dando origem ao embrião. Nas fases iniciais, todas as células do embrião se dividem, porém, com seu desenvolvimento, os locais de divisão celular passam a se restringir a determinadas regiões, que mantem suas características embrionárias, sendo chamados de meristemas. As células meristemáticas geralmente são pequenas, apresentam parede celular delgada e plastídeos não diferenciados, seu citoplasma é denso e o núcleo ocupa grande parte do citosol.

Todas as células de um organismo vegetal são originadas dos meristemas. Os meristemas apicais são chamados de meristema apical caulinar, quando se situa no ápice de um caule, ou meristema apical radicular, localizado no ápice de raízes. Meristemas são locais onde ocorre atividade mitótica, que resulta em células meristemáticas indiferenciadas que, dependendo do estímulo, sofrerão diferenciação.

A diferenciação celular é o processo através do qual uma célula torna-se especializada em determinada função, podendo compor um tecido que fará parte de um órgão na planta, por exemplo. Existem células situadas na raiz que são especializadas na absorção, células do sistema vascular especializadas no transporte, células da epiderme foliar especializadas na captação de gás carbônico utilizado na fotossíntese, entre muitas outras funções. Embora este pareça um assunto complexo, ele será abordado com maior detalhamento adiante.

Assim, as células meristemáticas são semelhantes a células tronco em animais, pois apresentam-se indiferenciadas e são chamadas de totipotentes, podendo se especializar em qualquer outro tipo de célula, dependendo do estímulo. Esta característica é utilizada na biotecnologia vegetal para a realização da propagação vegetativa ou micropropagação de plantas, que define a multiplicação de plantas sem envolver a reprodução cruzada. A propagação vegetativa pode se dar ao utilizar um ápice meristemático como explante (fragmento de tecido ou órgão utilizado para iniciar uma cultura in vitro), ele poderá originar novas plantas clonadas quando há o estímulo adequado.

Outra vantagem da utilização de meristemas para a micropropagação de plantas é a chamada limpeza clonal, ou seja, pode-se clonar plantas que estão doentes, afetadas por vírus, por exemplo, dando origem às plantas saudáveis, pois dificilmente a doença afetará as novas células originadas nos meristemas.

A micropropagação de plantas é um exemplo de aplicação dos conhecimentos de anatomia vegetal na biotecnologia e, conseqüentemente, na sua área de atuação. Neste momento pode parecer ainda um pouco complexo, mas fique tranquilo que esse assunto é explorado de maneira mais aprofundada na disciplina de biotecnologia vegetal.



### Refleta

Diferente dos animais, que nascem com órgãos praticamente prontos e sofrerão apenas alterações em suas dimensões ao longo do tempo, os vegetais apresentam desenvolvimento contínuo, com a formação de novos tecidos e órgãos ao longo de sua vida. Qual as características das células vegetais que permitem essa forma de desenvolvimento? De que forma o conhecimento a respeito destas células pode favorecer a propagação vegetativa dos vegetais?



### Exemplificando

As características das células vegetais, como suas organelas e atividade metabólica, sua origem, diferenciação e especialização, são conteúdos aplicados na produção vegetal. Geralmente laboratórios de clonagem e multiplicação de plantas utilizam segmentos de tecido vegetal para cultivo *in vitro*, estimulando divisões celulares e a diferenciação de células e tecidos, com a formação de caules e raízes que formarão plantas completas idênticas à planta original. Assim, ao conhecer as características da célula vegetal e a atividade meristemática é possível escolher o explante adequado para cultivo e clonagem vegetal.

Além da aplicação dos conhecimentos advindos da anatomia vegetal na produção de plantas através da micropropagação, ou clonagem, há diversas outras importantes utilidades para o seu estudo. A anatomia vegetal fornece subsídios às práticas de fitotecnia, realizadas por profissionais da Agronomia, ao apresentar as

características de células e tecidos e órgãos das plantas. A fitotecnia tem como objetivo desenvolver e aprimorar a produção de culturas, exigindo conhecimentos da área de produção de sementes, tratos culturais, adubação, irrigação, colheita e pós colheita e, para tanto, são essenciais os conhecimentos advindos da anatomia vegetal.

Para o profissional da área de Engenharia Florestal, conhecimentos advindos da anatomia vegetal também se fazem essenciais por possibilitarem a identificação e taxonomia de vegetais que serão preservados ou extraídos para utilização da madeira.



### Pesquise mais

O site desenvolvido pela Universidade de São Paulo (USP) apresenta uma animação tridimensional de uma célula vegetal, na qual podem-se selecionar organelas para visualização de suas estruturas.

Disponível em: <<http://cbme.usp.br/playercbme/celulasvirtuais/know/vegetal.html>>. Acesso em: 3 maio 2018.

## Sem medo de errar

Caro aluno, na primeira situação problema proposta, a empresa de consultoria ambiental para a qual você trabalha é contratada por uma empresa de celulose para realizar atividades educativas em escolas. Dessa forma você, especialista em botânica, é encarregado de apresentar uma aula para alunos do ensino fundamental a respeito da origem e fabricação do papel. Durante a aula, os alunos lhe questionam qual a diferença entre uma célula vegetal e uma célula animal e porque as árvores são utilizadas na fabricação do papel.

Para elucidar tais questões é importante explicar que as células vegetais apresentam características que as distinguem de células animais, como a presença de parede celular, de vacúolo e de cloroplastos. A parede celular é a parte constituinte da célula vegetal que permite que seja produzido o papel e para compreender o porquê disso precisamos conhecer a sua composição.

Ela se localiza externamente à membrana plasmática e é composta por um carboidrato, ou seja, um açúcar. Trata-se da celulose, que é constituída por um polímero de moléculas de glicose que fornece forma e resistência às células vegetais.

É graças à parede celular que as células vegetais não sofrem lise em meio hipotônico, seu crescimento é controlado e meio intracelular é preservado. Além disso, as características da parede celular e do polissacarídeo celulose permitem que vegetais possam ser utilizados para a produção de papel, além de tecidos e também da aplicação da madeira para mobiliário e construção civil.

## Avançando na prática

### Plantas tóxicas

#### Descrição da situação-problema

Ao fazer uma trilha por uma propriedade que presta serviços de turismo rural, uma mulher coletou as folhas de uma planta e as consumiu, pensando se tratar da planta alimentícia não convencional, popularmente conhecida como taioba. No entanto, a ingestão do vegetal causou graves edemas nos lábios, boca e língua da mulher. O caso ganhou repercussão e uma reclamação formal foi feita à propriedade, cobrando medidas educativas e de segurança para evitar outros acidentes semelhantes. Dessa forma, a equipe encarregada por sinalizar as trilhas educativas e realizar atividades de educação ambiental o chamou para analisar o caso e esclarecer as características e formas de identificação de plantas tóxicas. Perguntaram a você o que pode ter causado os edemas na boca da mulher que ingeriu as folhas da planta tóxica e o porquê de determinadas plantas apresentarem tais propriedades. Como você, especialista em botânica e agrônomo responsável pela propriedade, faria a orientação?

#### Resolução da situação-problema

Você deve explicar que os vegetais são organismos sésseis, que não apresentam formas de fugir de seus predadores, os herbívoros. Assim, determinados vegetais desenvolveram evolutivamente certas defesas, de forma a inibir a herbivoria. Uma estratégia de defesa que ocorre em células vegetais consiste no acúmulo de substâncias tóxicas no interior de organelas membranosas, os vacúolos. Os vacúolos são semelhantes a grandes vesículas e o suco vacuolar contido em seu interior apresenta água, íons inorgânicos, açúcares, aminoácidos e ácidos orgânicos. Porém, o que pode causar danos a quem ingerir o

vegetal são os cristais de oxalato de cálcio armazenados no interior dos vacúolos. Por apresentarem o formato de agulhas microscópicas, os cristais de oxalato de cálcio perfuram o tecido dos lábios, boca e língua do herbívoro e podem resultar no fechamento da glote e morte por asfixia. Por este motivo, é muito importante sinalizar as trilhas e informar aos visitantes do parque que os vegetais não devem ser ingeridos sem conhecimento ou orientação de um especialista.

## Faça valer a pena

**1.** As células animais e vegetais compartilham uma série de características entre si, como a presença de núcleo e mitocôndrias. Todavia, é possível encontrarmos uma série de estruturas e organelas que nos permitem identificar a qual desses dois reinos determinada célula eucarionte pertence.

Dentre os itens abaixo, assinale a alternativa cuja organela está presente apenas nas células vegetais:

- a) Complexo de Golgi.
- b) Ribossomos.
- c) Retículo endoplasmático.
- d) Cloroplastos.
- e) Peroxissomos.

**2.** Quando pensamos em uma célula, logo vem a nossa cabeça as diversas organelas que podemos encontrar em seu interior, e suas variadas funções. Sabemos que existem diferenças que nos permitem reconhecer se uma determinada célula é vegetal ou animal, e entre estas diferenças podemos citar a presença de parede celular, cloroplastos e vacúolo celular nas células vegetais.

Qual das alternativas abaixo apresenta funções da parede celular, cloroplastos e vacúolo celular respectivamente?

- a) Síntese proteica, fotossíntese e reserva de substâncias.
- b) Resistência, fotossíntese e respiração celular.
- c) Fotossíntese, resistência e reserva de substâncias.
- d) Resistência, Fotossíntese e regulação osmótica.
- e) Síntese proteica, respiração celular e regulação osmótica.

**3.** Quando retiramos uma muda de uma planta através de um fragmento como um broto, pedaço de caule, rizoma ou outra estrutura do vegetal que não seja uma semente, podemos dizer que estamos realizando um processo de clonagem, pois obtemos uma planta geneticamente idêntica à planta mãe. Todavia, este processo costuma ter o inconveniente de gerar um número limitado de novos indivíduos. Por este motivo, para a produção de plantas geneticamente idênticas em larga escala costuma-se utilizar técnicas de cultura de tecidos meristemáticos.

No processo de clonagem vegetal utilizam-se tecidos meristemáticos das plantas-mãe pois estes:

- a) Possuem células mais jovens, que darão origem as futuras sementes.
- b) São os tecidos mais fáceis de se obter devido a sua localização no caule das plantas.
- c) Possuem células indiferenciadas que tem o potencial de se multiplicar e gerar todos os diferentes tecidos e estruturas de uma planta.
- d) São encontrados em todas as plantas, permitindo que um mesmo método de clonagem possa ser usado para a multiplicação de diversas espécies.
- e) Apresenta menos impurezas, e conseqüentemente gera um menor número de contaminações nos meios de cultura utilizados.

# Seção 1.2

## Histologia vegetal

### Diálogo aberto

Caro aluno,

No início desta unidade, você foi inserido em um contexto em que foi selecionado para trabalhar no cargo de analista ambiental especializado em botânica, em uma empresa prestadora de serviços para setores privados e órgãos públicos. Uma de suas atribuições, enquanto parte do quadro de funcionários da empresa, é atuar na educação ambiental e, neste contexto, na primeira seção, você foi designado a elaborar uma aula para alunos de ensino fundamental, sobre a origem do papel e os aspectos fisiológicos e morfológicos dos vegetais envolvidos. Nesta seção, durante a avaliação das espécies utilizadas na arborização urbana municipal e o local onde foram plantadas, foi constatada a presença de espécie de grande porte sob a rede elétrica, fato que pode ocasionar curto circuito, queda de energia, dentre outros conflitos com a infraestrutura urbana. Diante desta situação, a prefeitura municipal solicita que você, como analista ambiental, faça uma palestra aos funcionários municipais, visando elucidar os seguintes questionamentos: que aspectos estão relacionados ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais? Qual é o papel dos meristemas no crescimento vegetal? Qual é a importância da poda correta de espécies arbóreas e arbustivas, utilizadas na arborização urbana, para evitar o seu crescimento indevido? Para conduzir a sua palestra de forma a responder adequadamente estes questionamentos, utilize principalmente os conteúdos sobre meristemas, apresentados ao longo desta seção. Vamos lá? Bons estudos!

## Não pode faltar

Na Seção 1.1 você iniciou os seus estudos da disciplina Anatomia e Fisiologia Vegetal, adentrando no universo microscópico dos vegetais. Nela, você conheceu algumas particularidades das organelas celulares que, em conjunto, trabalham para a manutenção da homeostase e vitalidade das plantas. O conhecimento da funcionalidade das organelas e a compreensão de que elas estão organizadas no interior das células é o ponto de partida para que você entenda como o corpo dos vegetais está morfológicamente organizado, bem como os processos fisiológicos que ocorrem em seu interior.

Partimos, em nosso estudo, de uma visão micro para uma visão macro e, neste contexto, é importante que você saiba que um conjunto de células (estruturas microscópicas) que apresentam similaridades estruturais e funcionais, organizam-se para formar os tecidos. A formação, organização e função dos tecidos vegetais são objetos de estudo da Histologia Vegetal, à qual será dedicada esta seção.

O tecido meristemático é formado por células vivas, com alta taxa mitótica e indiferenciadas, ou seja, aquelas que são capazes de gerar células de outros tecidos, que por sua vez passarão pelo processo de diferenciação. Fazendo uma analogia, os meristemas poderiam ser comparados às células tronco dos animais, no entanto, os primeiros permanecem ativos nos vegetais durante toda a sua vida.



### Exemplificando

Devido à existência dos meristemas as plantas crescem continuamente ao longo de sua vida, mesmo quando partes de seu corpo são retiradas. Daí a necessidade de realização de podas constantes em árvores, localizadas em áreas urbanas, por exemplo. Essa é uma das principais diferenças entre o desenvolvimento de plantas e animais, já que os primeiros cessam o seu crescimento em algum momento da vida, enquanto que as plantas podem ter crescimento indeterminado. Esta característica é uma compensação pela falta de mobilidade das plantas, conferindo a elas plasticidade de desenvolvimento, ou seja, a capacidade de modificarem a sua estrutura corporal para aproveitarem

melhor os recursos do ambiente, tal como água e luz, por exemplo. Entretanto, é importante lembrar que em alguns casos, os meristemas podem paralisar temporariamente a sua mitose, em uma fase de repouso. É o que ocorre nas gemas axilares de plantas perenes, que podem permanecer dormentes no inverno.

Neste momento você deve estar se perguntando: de onde vem estes meristemas? Como eles são formados? A vida de uma nova planta se inicia a partir da fecundação, processo que pode variar em diferentes grupos vegetais. A partir da formação da primeira célula, o zigoto, ocorrerão sucessivas divisões celulares mitóticas, em um processo denominado embriogênese, quando resultarão em uma massa celular – o embrião. Neste estágio, todas as células são indiferenciadas, ou seja, apresentam características meristemáticas e poderão originar qualquer tecido vegetal. A atividade dos meristemas também ocorre após o término da embriogênese, na vida adulta da planta, por meio da ação dos meristemas apicais e laterais.

Os meristemas apicais são responsáveis, principalmente, pelo crescimento do corpo da planta em comprimento. Eles são encontrados no ápice dos caules e raízes e nos nós e gemas laterais dos caules. Já os meristemas laterais, são responsáveis pelo crescimento em espessura; entre eles estão o câmbio vascular, que realiza a renovação dos vasos condutores e o felogênio (ou câmbio da casca), responsável pela substituição do súber (casca) de plantas lenhosas.



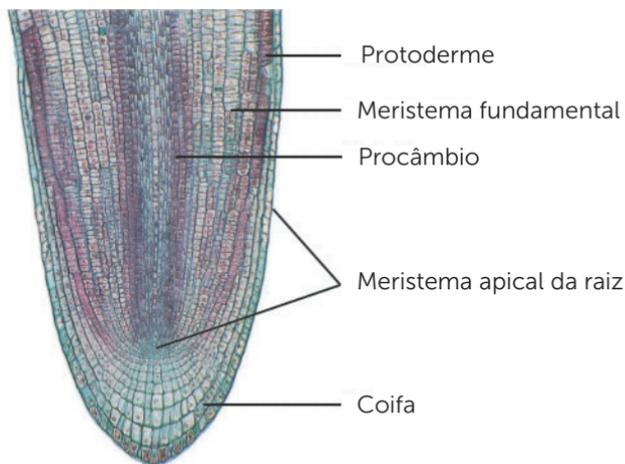
### Assimile

O meristema possui um tipo de célula denominada inicial, que é a responsável pela manutenção de uma fonte contínua de novas células. Ela se divide por mitose e uma das células-irmãs formada permanece como inicial enquanto a outra, que chamamos derivada, passará pelo processo de diferenciação.

A atividade dos meristemas apicais, ainda durante a embriogênese, dará origem aos meristemas primários: protoderme, meristema fundamental e procâmbio, tecidos parcialmente diferenciados que, por sua vez, darão origem aos tecidos primários, respectivamente aqueles que compõem o sistema dérmico ou de revestimento

(protoderme), o sistema fundamental (meristema fundamental) e o sistema vascular (procâmbio). Este crescimento em comprimento, determinado pela presença do meristema apical, é o crescimento primário, responsável pelo desenvolvimento do corpo primário da planta.

Figura 1.5 | Meristemas apicais da raiz



Fonte: Evert e Eichhorn (2016, p. 539).

Em alguns casos, as células diferenciadas de determinados tecidos como o parenquimático, por exemplo (que estudaremos mais adiante nesta seção), podem passar por um processo de desdiferenciação e readquirir a capacidade de se dividir por mitose. Neste caso, trata-se do meristema secundário.

Ao longo de sua leitura, você se deparou algumas vezes com o termo "diferenciação". Neste momento vamos nos dedicar à compreensão do que é este processo e de como ele é importante para a formação dos tecidos adultos que compõem o corpo do vegetal.

A diferenciação é uma das etapas do desenvolvimento vegetal, juntamente com o crescimento e a morfogênese. Durante o processo de crescimento, ocorre um aumento do corpo vegetal, pela combinação de fatores como a divisão celular (aumento no número de células), e a expansão celular (aumento do volume das células). A morfogênese é a etapa em que o corpo vegetal adquire

uma forma específica. Já o processo de diferenciação é aquele em que as células que apresentam constituição genética idêntica à das células meristemáticas das quais tiveram origem tornam-se diferentes, levando à formação de células com características distintas, que por sua vez se agrupam em tecidos.

Observe que o processo de diferenciação é uma etapa fundamental para que a organização interna do corpo da planta aconteça. É a partir dela que teremos a formação dos sistemas de tecidos, que constituem um agrupamento de um ou mais tecidos distintos em três unidades maiores, sendo elas: o sistema dérmico (ou de revestimento), o sistema fundamental e o sistema vascular, conforme mencionamos anteriormente. Os tecidos formados por um único tipo de célula são chamados simples; é o caso dos tecidos que formam o sistema fundamental. Quando há dois ou mais tipos de células, o tecido recebe o nome de complexo, como ocorre com os tecidos formadores dos sistemas dérmico e condutor.

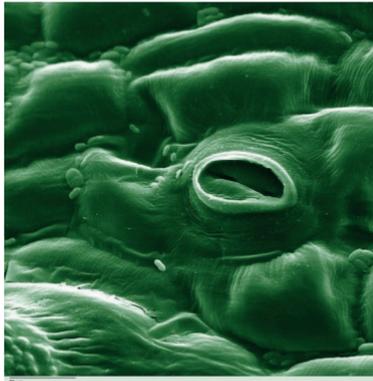
O sistema dérmico ou de revestimento, como o próprio nome indica, é responsável por fazer o revestimento externo do corpo do vegetal. É formado por dois tipos de tecidos: a epiderme e a periderme ou súber (em plantas com crescimento em espessura).

A epiderme reveste frutos, sementes, folhas, partes florais e caules que apresentam crescimento primário. É um tecido geralmente uniestratificado (embora haja exceções), com células achatadas e justapostas. Estas características aliadas à presença de cutícula (uma camada que recobre a epiderme de alguns órgãos vegetais, tais como as folhas), conferem proteção contra a desidratação, mecânica e invasão de agentes patogênicos. Conforme visto anteriormente, a epiderme tem origem na protoderme, um meristema primário oriundo do meristema apical. Estruturalmente e funcionalmente, suas células são bastante diversificadas, muitas delas apresentando especializações importantes para a sobrevivência dos vegetais. Veja, a seguir, a função dos anexos epidérmicos:

- **Estômatos:** são aberturas localizadas em lâminas foliares e que também podem ser encontrados em menor número em caules jovens, pecíolos, partes florais, frutos e sementes. São responsáveis pela troca de gases e água entre o meio interno do vegetal e o ambiente, sendo formados por duas células-guardas ou estomáticas, que apresentam cloroplastos e face

côncava entre as quais estão a abertura, chamada de ostíolo ou fenda estomática. A abertura e fechamento dos estômatos são responsáveis por controlar a saída de água na forma de transpiração, nos vegetais. Portanto, em condições mais áridas ou em determinados períodos do dia, os estômatos tendem a permanecer com o ostíolo fechado por um período para evitar a desidratação da planta.

Figura 1.6 | Estômato visto ao microscópio



Fonte: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tomato\\_leaf\\_stomate\\_1-color.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tomato_leaf_stomate_1-color.jpg)>. Acesso em: 27 abr. 2018.

- **Tricomas:** são apêndices de origem epidérmica, classificados em glandulares e não-glandulares. Os primeiros, estão envolvidos na secreção de substâncias e podem ser encontrados, por exemplo, em algumas espécies de plantas carnívoras e em urticantes. Os não glandulares (ou pelos) apresentam como uma de suas atribuições a absorção de nutrientes e água, como é o caso dos encontrados na zona pilifera das raízes.

Figura 1.7 | Tricomas em *Drosera tentaculata*



Fonte: <<https://goo.gl/LpAKpB>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

- **Acúleos:** semelhante aos tricomas, são estruturas de origem epidérmicas envolvidas na proteção de plantas contra predadores. Um exemplo clássico são os acúleos presentes nas roseiras, muitas vezes confundidos com espinhos.

Figura 1.8 | Acúleos



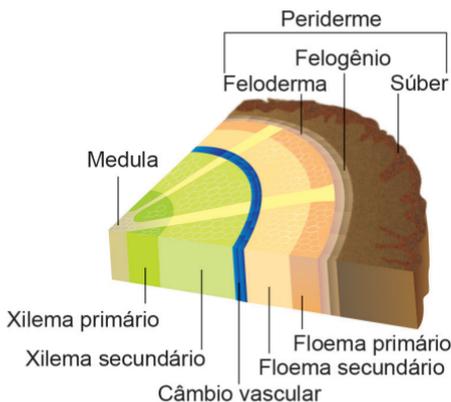
Fonte: Pixabay.

Além dos anexos mencionados, outras células especializadas na epiderme são: suberosas e silicosas (apresentam parede celular suberificada e corpos silicosos no lume, respectivamente); buliformes (envolvidas no mecanismo de enrolamento e desenrolamento de folhas); papilas (conferem aspectos aveludados às pétalas de flores); litocisto (contém cristais de carbonato de cálcio).

A periderme ou súber, popularmente conhecida como “casca”, está presente em plantas com crescimento em espessura, em raízes

e troncos de plantas adultas. Tem como função fazer a proteção dos vegetais e atuar como isolante térmico. Devido à impregnação por um material lipídico denominado suberina, formam-se camadas de células mortas externamente. A renovação periódica da periderme ocorre graças à atividade do felogênio, conforme estudamos anteriormente nesta seção.

Figura 1.9 | Esquema da estrutura interna de um caule com crescimento secundário, mostrando a periderme



Fonte: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Periderme\\_intro.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Periderme_intro.png)>. Acesso em: 27 abr. 2018.

Agora que você já conheceu o sistema dérmico, enfocaremos os nossos estudos nas características do sistema fundamental. Como o próprio nome diz, esse sistema é importantíssimo para a sobrevivência dos vegetais, já que seus tecidos estão envolvidos em uma série de funções importantes. Ele é formado por três tipos de tecidos fundamentais: o parênquima, o colênquima e o esclerênquima. Vejamos algumas características de cada um deles.

O termo parênquima significa "espalhado ao lado de", uma referência à uma das funções deste tecido, o preenchimento de espaços. Ele é formado a partir do meristema fundamental, no ápice de caules e raízes e suas células são vivas, abundantes no corpo da planta (podendo ser encontrado em quase todos os órgãos), com formas e tamanhos variados e com potencialidade para se tornarem meristemáticas. A retenção da capacidade de divisão celular, torna estas células importantes na regeneração e cicatrização de lesões e no sucesso de enxertos. A grande variedade

apresentada pelas células, conferem a este tecido funções variadas, entre elas: fotossíntese, reserva de substâncias, secreção, excreção e transporte. Por isso, classificamos o parênquima em três tipos básicos: clorofiliano, de preenchimento e de reserva.

- Parênquima clorofiliano (ou clorênquima): formado pelos parênquimas paliçádico, lacunoso, regular, plicado e bráquiforme, é dotado de cloroplastos, exercendo como função a realização de fotossíntese.
- Parênquima de preenchimento: com células de formatos variados, este tecido, também conhecido como parênquima fundamental, é encontrado no córtex e na medula de caules, raízes, pecíolo e nervuras das folhas. Apresenta como função o preenchimento de espaços entre outros tecidos.
- Parênquima de reserva (ou armazenamento): tem como principal função o armazenamento de substâncias provenientes do metabolismo da planta. Dentre os tipos de parênquima desta natureza estão: o amilífero (reserva amido, substância nutritiva. Por exemplo: batata-inglesa, mandioca, batata-doce, entre outros); o aquífero (armazena água; ocorre em plantas adaptadas a ambientes áridos); o aerífero ou aerênquima (armazena ar entre suas células; encontrados em plantas aquáticas).

O colênquima é um tecido de sustentação, formado por células vivas na maturidade, alongadas, dispostas na forma de feixes com uma aparência brilhante. Apresentam parede celular espessa, o que confere certa resistência ao esmagamento, apesar de ser, contudo, flexível. De acordo com o tipo de espessamento da parede celular, o colênquima pode ser classificado em angular (a parede se espessa na seção longitudinal e nos ângulos); lamelar (com espessamento em todas as paredes externas e internas); lacunar (espessamento nos locais de delimitação entre parede celular e espaços intercelulares) e anelar (paredes celulares com espessamento uniforme).

Por ser um tecido envolvido na sustentação de órgãos jovens em crescimento e de vegetais não lenhosos que sofrem pouco ou nenhum crescimento secundário, o colênquima é encontrado sob a epiderme, nos caules de plantas em estágio primário de desenvolvimento, nos pecíolos, nas nervuras ou margeando alguns tipos de folhas, nas flores, frutos e raízes.

Assim como o colênquima, o esclerênquima (palavra derivada do grego *skleros*, que significa duro) é um tecido de sustentação, no entanto, também está envolvido na resistência de partes das plantas que não estão se alongando. Isso ocorre porque, diferente do observado no colênquima típico, as células do esclerênquima, que não são vivas na maturidade, apresentam parede celular secundária espessa e uniforme, podendo ser lignificada na maioria dos casos, ou seja, é uma estrutura rígida que faz com que as partes do corpo do vegetal que a contenham não apresentem flexibilidade. Além disso, a presença da lignina confere um revestimento que protege o vegetal contra o ataque de predadores, de patógenos e substâncias químicas.

Este tecido apresenta dois tipos de células: as fibras e os esclereídes. As primeiras são células alongadas dispostas em feixes ou em cordões, e tem como principal função fornecer sustentação à diferentes partes do corpo primário da planta. Em algumas espécies de plantas, tais como o cânhamo e o linho, estas fibras possuem valor econômico e são exploradas comercialmente. Os esclereídes são células curtas, encontradas isoladas ou agrupadas, que possuem paredes celulares espessas, bastante lignificadas e com pontuações (perfurações de comunicação na parede secundária).

O esclerênquima pode ser encontrado em raízes, caules, folhas, pecíolos, sementes e eixos florais.

O último sistema de tecido que estudaremos – não menos importante que os demais – é o sistema vascular ou condutor, que tal como nos animais vertebrados, é responsável por realizar o transporte de substâncias, neste caso pelo corpo da planta. O surgimento deste sistema ao longo do processo evolutivo dos vegetais foi um passo importante para a conquista definitiva do ambiente terrestre e para o aumento do porte de plantas, já que permitiu uma movimentação eficiente de água e nutrientes para as suas diversas partes.

O sistema vascular é formado por dois tipos de tecidos condutores: o xilema e o floema, cada qual com as suas particularidades, seja de estrutura ou de função, as quais veremos com mais detalhes a seguir.

O xilema apresenta como função principal o transporte de água e sais minerais (que em conjunto denominamos seiva bruta ou mineral) em plantas vasculares. Além disso, também está envolvido no armazenamento de substâncias e na sustentação. Didaticamente,

este tecido condutor está dividido em xilema primário (formado a partir do procâmbio e presente em plantas com crescimento primário) e xilema secundário (desenvolvido em plantas com crescimento secundário, a partir do câmbio vascular).

Este tecido é formado por diferentes tipos celulares, entre eles: as fibras que conferem sustentação e podem armazenar substâncias em casos eventuais; células parenquimáticas que armazenam substâncias e elementos traqueais, responsáveis pela condução de água e sais minerais e subdivididos em elementos de vasos e traqueídes.

Os elementos de vasos são células sem protoplasto na maturidade, alongadas, com parede celular secundária apresentando perfurações (formando placa de perfuração no final da extremidade) e dispostos na forma de colunas contínuas ou tubos. Esta disposição aliada à presença da placa de perfuração torna o elemento de vaso mais eficiente na condução de água que as traqueídes. Estas, assim como os elementos de vasos, são células sem protoplasto na maturidade, alongadas e com parede celular secundária, no entanto, não apresentam perfurações.

As células do xilema secundário que perderam o seu protoplasma e que, portanto, assumiram a função de transporte de água e sais minerais, apresentam-se mais claras no tronco em corte longitudinal. Esta região é chamada de alburno. Quando as células do alburno se tornam inativas, elas passam a constituir o cerne, uma região mais escura do tronco, devido à presença de resinas, óleos e outras substâncias.



### Assimile

O tronco de algumas espécies pode apresentar camadas concêntricas ao redor da medula (anéis de crescimento), que são formados a partir da atividade do câmbio vascular que não é contínua, devido à fatores externos e endógenos. Todas as vezes que o câmbio retorna a sua atividade após uma interrupção, forma-se uma faixa celular que em conjunto fornece a idade de uma árvore, uma vez que representam a atividade anual do câmbio vascular. Porém, é importante salientar que condições climáticas intensas, como períodos prolongados de seca ou chuva, podem forçar a interrupção das atividades do câmbio vascular, favorecendo a formação de uma faixa a mais no decorrer de um ano.

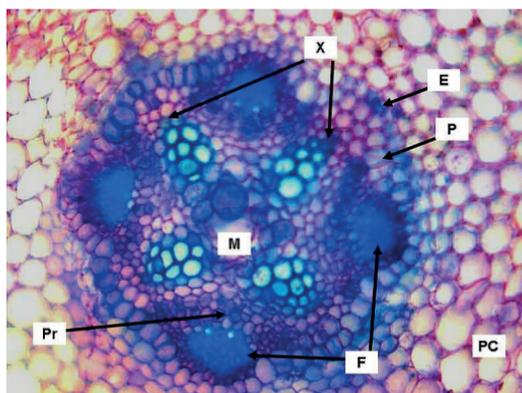
Tais condições são comuns nos trópicos e, por isso, a contagem de anéis de crescimento para determinar a idade de tais espécies, pode ser imprecisa.

O floema é o tecido responsável pelo transporte de substâncias orgânicas (seiva elaborada ou orgânica), micronutrientes, lipídios, aminoácidos, hormônios e proteínas, dentre as quais incluem-se as sinalizadoras, que carregam informações para as diversas partes das plantas. Quanto à sua composição, ele é formado por células do esclerênquima, que realizam a sustentação do tecido e em alguns casos também armazenam substâncias; parênquima, que atua no armazenamento de substâncias; e elementos crivados, que são as células condutoras, encarregadas do transporte de substâncias orgânicas e sinalizadores à longas distâncias. Diferentemente das células condutoras do xilema, os elementos crivados apresentam protoplasto vivo na maturidade, porém, não possuem núcleo.

O termo "crivado" é uma referência à presença de poros que interligam o protoplasto dos elementos crivados adjacentes. É possível reconhecer no floema dois tipos de elementos crivados:

- Células crivadas: são alongadas e delgadas, apresentando poros estreitos e uniformes ao longo de toda a área crivada, localizada na porção terminal da célula.
- Elementos de tubo crivado: possuem placas crivadas, localizadas geralmente nas paredes terminais da célula, portadoras de poros maiores em comparação aos observados nas células crivadas. Estão associados à uma célula parenquimática chamada companheira, à qual acredita-se ter a função de liberar substâncias para a manutenção dos elementos de tubo crivado.

Figura 1.10 | Cilindro vascular em corte transversal da raiz primária de feijão (*Phaseolus* sp.)



Legenda: PC (parênquima cortical ou córtex); E (endoderme); P (periciclo); X (xilema); F, (floema); Pr (procâmbio); M (medula).

Fonte: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cilindro\\_vascular.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cilindro_vascular.jpg)>. Acesso em: 27 abr. 2017.



Pesquise mais

Quer saber como é a morfologia dos tecidos estudados, a partir de uma visão microscópica? Então não deixe de acessar o **Álbum didático de Anatomia Vegetal**.

Disponível em: <[http://www.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Botanica/album\\_didatico\\_de\\_anatomia\\_vegetal.pdf](http://www.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Botanica/album_didatico_de_anatomia_vegetal.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2018.

Além dos tecidos mencionados nesta seção, as plantas contam ainda com células especiais que chamamos de secretoras, cuja função primordial é a formação e armazenamento de substâncias em compartimentos para posterior liberação no corpo vegetal, nos espaços extracelulares ou na superfície externa do vegetal. As substâncias secretadas podem incluir néctar, mucilagem, água, soluções salinas, óleos, resinas, gomas, entre outros. Tais substâncias são secretadas por células específicas, entre elas: os hidatódios (estão na margem das folhas e secretam água e solutos orgânicos e inorgânicos provenientes da gutação); nectários (secretam néctar a partir de várias partes da planta); glândulas de sal (presente em plantas de ambiente salino, secretam o excesso

de sal); hidropótios (transporta água e sais em plantas de ambientes aquáticos de água doce); glândulas digestivas (encontradas em folhas de plantas carnívoras, secretam enzimas digestivas); tricomas urticantes (produzem secreções que causam reações alérgicas); laticíferos (presente em diversos órgãos de algumas espécies, são responsáveis pela secreção de látex).



### Refleta

De que forma o estudo da histologia vegetal pode contribuir para a sensibilização social quando à preservação das espécies vegetais? Que papel você pode assumir neste processo, enquanto futuro profissional? Reflita sobre estas questões.

Chegamos ao final de nossa segunda seção da Unidade 1. Não deixe de reler o material anotando as suas dúvidas e os pontos de destaque.

Bons estudos!

## Sem medo de errar

Prezado aluno, no início desta seção você foi apresentado à uma situação em que, foi procurado pela prefeitura municipal de sua cidade para elucidar, por meio de uma palestra aos funcionários municipais, as seguintes questões: que aspectos estão relacionados ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais? Qual é o papel dos meristemas no crescimento vegetal? Qual é a importância da poda correta de espécies arbóreas e arbustivas, utilizadas na arborização urbana, para evitar o seu crescimento indevido? O motivo da palestra foi a constatação da presença de árvores urbanas em contato com a rede elétrica.

Observe que o tema central de sua palestra deve ser o papel dos meristemas no crescimento vegetal, aspecto que está intimamente relacionado a necessidade de podas regulares as árvores. Primeiramente torna-se necessário uma conceituação de meristemas, visto que a existência deste tecido pode não ser conhecido por todos os participantes da palestra.

Os meristemas são tecidos vegetais com totipotencialidade, ou seja, capazes de, por meio de mitoses seguidas de diferenciação

celular, originarem qualquer tecido do corpo da planta. Estes tecidos com características embrionárias, permanecem durante a fase adulta do vegetal, em alguns locais, como gemas laterais e ápices de raízes e caules.

Outro aspecto interessante a ser inserido na palestra é a diferenciação entre meristema apicais e laterais. Os meristemas apicais são responsáveis, principalmente, pelo crescimento do corpo da planta em comprimento. Eles são encontrados no ápice dos caules e das raízes e nos nós e gemas laterais dos caules. Já os meristemas laterais, são responsáveis pelo crescimento em espessura; entre eles estão o câmbio vascular, que realiza a renovação dos vasos condutores e o felogênio (ou câmbio da casca), responsável pela substituição do súber (casca) de plantas lenhosas.

Por fim, é necessário deixar claro que graças à presença dos meristemas apicais, a planta tem um crescimento indeterminado, fato que torna necessário sua poda constante. Esta característica é uma compensação pela falta de mobilidade das plantas, conferindo a elas plasticidade de desenvolvimento, ou seja, a capacidade de modificarem a sua estrutura corporal para aproveitarem melhor os recursos do ambiente, tal como água e luz, por exemplo. Entretanto, é importante lembrar que em alguns casos, os meristemas podem paralisar temporariamente a sua mitose, em uma fase de repouso. É o que ocorre nas gemas axilares de plantas perenes, que podem permanecer dormentes no inverno.

## Avançando na prática

### Resolvendo o mistério da praga

#### Descrição da situação-problema

Você, um renomado especialista em histologia vegetal, foi procurado por um grupo de fazendeiros, curiosos sobre a situação de sua plantação. Eles observaram que há um certo tempo, as plantas apareciam com suas folhas com aspecto amarelado e alguns dias depois morriam. Um agrônomo foi contratado e constatou que se trata da ação de uma praga que interrompe o transporte de substâncias orgânicas pela planta, por meio da sucção de açúcares diretamente dos vasos e que algumas espécies

apresentam mecanismos de defesas em seu sistema dérmico, contra este ataque. Os fazendeiros, então, solicitaram a você as seguintes explicações: à que “vasos” o agrônomo se referia? Qual é a sua importância dele para a planta? O que é o sistema dérmico? Como ele pode proteger a planta do ataque de pragas?

### Resolução da situação-problema

Observe que a curiosidade dos fazendeiros faz muito sentido, visto que os termos botânicos utilizados pelo agrônomo podem não ser familiares para todas as pessoas. Os vasos a que o profissional se referiu são os vasos condutores, que fazem parte do sistema de condução da planta, que tal como os vasos sanguíneos dos vertebrados, tem como função fazer o transporte de substâncias pelo corpo do vegetal. Neste caso, como trata-se de sucção de açúcares diretamente do vaso, o agrônomo referiu-se ao floema, mais especificamente. Com relação ao sistema dérmico, ele é o responsável por fazer o revestimento externo do corpo da planta, tal como a pele nos seres humanos, por exemplo. É um tecido geralmente uniestratificado, com células achatadas e justapostas. Essas características aliadas à presença de cutícula, conferem proteção contra a desidratação, além de conferirem proteção mecânica e contra a invasão de agentes patogênicos.

### Faça valer a pena

**1.** Algumas espécies vegetais apresentam o sistema dérmico bem desenvolvido, com presença de especializações epidérmicas que conferem ao vegetal características particulares, que podem garantir a sua sobrevivência, em alguns casos. Analise as situações a seguir, e na sequência, marque a resposta correta.

1. Em dias mais ensolarados e com a umidade do ar relativamente baixa as plantas tendem a manter os seus estômatos com ostíolo aberto por um longo período, para conseguir captarem o máximo de umidade que conseguirem.
2. Um anexo epidérmico muito comum em plantas carnívoras é o acúleo, que além de atuarem na secreção de enzimas digestivas, realizam a proteção do corpo do vegetal contra predadores.
3. A cutícula consiste numa camada que recobre a epiderme de alguns órgãos vegetais, e que auxiliam na proteção contra a desidratação,

além de conferirem proteção mecânica e contra a invasão de agentes patogênicos.

Após a análise das assertivas, marque a alternativa que contém a resposta correta.

- a) Apenas 2 e 3 estão corretas.
- b) Apenas 1 está correta.
- c) Apenas 1 e 3 estão corretas.
- d) Apenas 3 está correta.
- e) Apenas 1 e 2 estão corretas.

**2.** O sistema fundamental é um tecido de extrema importância para a sobrevivência do vegetal, uma vez que está envolvido em uma série de funções. Ele é formado por três tipos de tecidos: o parênquima, o colênquima e o esclerênquima. Levando em consideração a principal função e composição destes tecidos, associe a primeira coluna com a segunda e em seguida, marque a resposta correta.

COLUNA 1

- 1. Esclereíde.
- 2. Parênquima paliádico.
- 3. Colênquima.
- 4. Fibra.

COLUNA 2

- A. ( ) Célula alongada disposta em feixes ou em cordões e apresenta como principal função fornecer sustentação.
- B. ( ) Apresenta células vivas na maturidade, alongadas, dispostas na forma de feixes com uma aparência brilhante; apresentam parede celular espessa, o que confere certa resistência ao esmagamento.
- C. ( ) Possui cloroplastos, exercendo como função a realização de fotossíntese.
- D. ( ) Célula curta, encontrada isolada ou agrupada, que possui paredes celulares espessas, bastante lignificadas e com pontoações.

Assinale a alternativa que apresenta a associação correta entre as colunas.

- a) A – 3; B – 2; C – 1; D – 4.
- b) A – 4; B – 3; C – 2; D – 1.
- c) A – 1; B – 3; C – 2; D – 4.
- d) A – 4; B – 3; C – 1; D – 2.
- e) A – 2; B – 3; C – 1; D – 4.

**3.** O sistema vascular ou condutor é responsável por realizar o transporte de substâncias pelo corpo da planta. Tão importante é a sua importância que o seu surgimento, ao longo do processo evolutivo está relacionado ao aumento do porte dos vegetais e à conquista definitiva do ambiente terrestre. Sobre o sistema vascular, julgue as sentenças em (V) para verdadeiro e (F) para falso.

1. ( ) Caso a planta venha a sofrer uma interrupção do transporte de seiva mineral pelos vasos condutores, é possível que este problema esteja relacionado ao xilema.
2. ( ) O procâmbio é um meristema primário, originário do meristema apical e que originará o xilema primário.
3. ( ) Os elementos de tubo crivado fazem parte da composição do floema e possuem poros estreitos e uniformes ao longo de toda a área crivada, localizada na porção terminal da célula.
4. ( ) Células crivadas estão associadas à uma célula parenquimática chamada companheira, à qual acredita-se ter a função de liberar substâncias para a sua sobrevivência.

Após julgar as sentenças, assinale a alternativa que contém a sequência que preenche corretamente e respectivamente as lacunas.

- a) V – V – F – F.
- b) V – V – V – F.
- c) F – V – V – F.
- d) F – V – F – F.
- e) V – V – F – V.

# Seção 1.3

## Estruturas vegetativas e reprodutivas

### Diálogo aberto

Prezado aluno, na primeira seção desta unidade, você foi inserido em um contexto em que passou a ocupar o cargo de analista ambiental especializado em botânica, em uma empresa prestadora de serviços para setores privados e órgãos públicos. Como parte de suas atribuições, você foi designado a elaborar uma aula para alunos de ensino fundamental, sobre a origem do papel e os aspectos fisiológicos e morfológicos dos vegetais envolvidos.

Na segunda seção, você foi solicitado pela prefeitura municipal para proferir uma palestra aos funcionários municipais, explicando os aspectos relacionados ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais.

Nesta terceira e última seção, imagine que uma das atividades frequentemente realizada por empresas de consultoria ambiental é o levantamento florístico em determinada região, como parte da composição do relatório de impacto ambiental de empreendimentos. Com o relatório de impacto ambiental em mãos, o órgão ambiental responsável pode analisar o caso e autorizar ou não uma supressão da vegetação. Por vezes, o órgão responsável, como medida mitigadora, determina a modulação (transposição de um indivíduo vegetal de um local para outro) das espécies do local de supressão ou a compensação por meio do plantio de espécies em outro local.

Neste contexto, você foi delegado para auxiliar uma equipe técnica, em um trabalho de campo que tem como objetivo fazer a introdução de espécies vegetais em uma área com solo erodido, como medida compensatória à supressão vegetal autorizada pelo órgão ambiental. As plântulas que serão introduzidas na área, tiveram a sua germinação e crescimento inicial realizados em estufas. Porém, antes da saída a campo, os técnicos precisaram responder a um questionário que serviria de base para a elaboração de um relatório técnico, que será enviado ao órgão ambiental. Para isso, eles precisaram consultá-lo com os seguintes questionamentos:

o tipo de raiz das espécies escolhidas poderia, de alguma forma, influenciar na recuperação de solos erodidos? Que cuidados devem ser tomados com as raízes no momento de fazer o replantio? Caso ocorra um dano à raiz, quais são as consequências e medidas que podem ser tomadas? Por que raízes de plantas de espécies diferentes possuem espessuras diferentes? As respostas a estas perguntas serão importantes para o trabalho dos técnicos em campo e para a base de construção do relatório.

Bom trabalho!

## Não pode faltar

Ao longo desta unidade você estudou os fundamentos básicos da anatomia vegetal, com enfoque para a estrutura da célula vegetal, bem como a forma em que elas se organizam para formar os tecidos. Nesta seção, finalizaremos a unidade apresentando a anatomia dos órgãos vegetativos e reprodutivos.

Nas seções anteriores, você aprendeu, portanto, que as células vegetais estão estruturalmente organizadas para o atendimento das necessidades vitais dos vegetais. Tais células, apesar de trabalharem individualmente, só conseguem exercer de forma efetiva o seu papel quando agrupadas em tecidos. Estes, por sua vez, estão organizados em unidades estruturais maiores, os sistemas de tecidos, que juntos irão formar os órgãos vegetais reprodutivos e vegetativos.

Você saberia descrever quais são os órgãos vegetativos de uma planta? E os reprodutivos? Basicamente, um órgão vegetativo é aquele que está relacionado com a sobrevivência do vegetal. São eles a raiz, o caule e as folhas. Já o órgão reprodutivo, como o próprio nome indica, está relacionado à perpetuação da espécie, já que engloba as estruturas relacionadas diretamente com a reprodução: flores, frutos e sementes. Vale lembrar que esta classificação se refere ao grupo das **angiospermas**, pois, dentre as divisões dos vegetais, estas são as únicas a apresentarem flores e frutos.

Iniciaremos os nossos estudos tratando de um dos mais importantes órgãos vegetais: **a raiz**. Tão importante é a sua relevância, que durante o processo de germinação da semente, é a primeira estrutura a emergir, possibilitando à plântula se fixar ao solo e absorver a água e os íons em soluções presentes nele. Além de promover a fixação

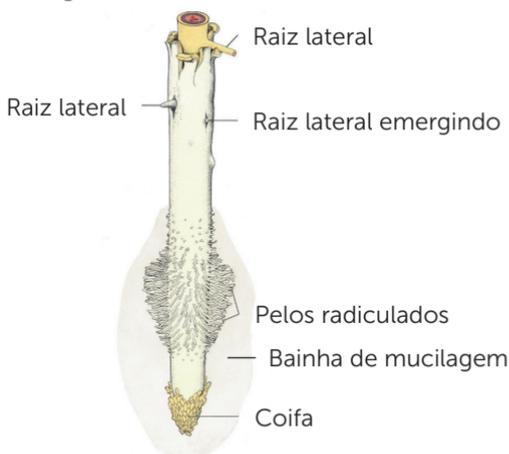
do vegetal ao solo e atuar na absorção de nutrientes, a raiz também pode participar da condução de seiva para outras partes da planta, realizando o armazenamento de substâncias (raízes tuberosas).

Para que todas estas funções sejam desempenhadas, a organização morfológica da raiz conta com algumas estruturas:

- **Coifa:** conjunto de células parenquimáticas que protegem o meristema apical e facilitam a penetração da raiz no solo.
- **Pelos radiculares:** realizam a absorção de água e nutrientes presentes no solo. Quando os pelos mais velhos, localizados nas porções superiores, morrem são substituídos por novos pelos, que nascem na região inferior.
- **Raízes laterais:** atuam na fixação da planta no solo.

A Figura 1.11 esquematiza a morfologia externa da raiz. Observe que as estruturas mencionadas anteriormente encontram-se distribuídas em regiões: a coifa, por exemplo, localiza-se na zona meristemática; entre esta região e a zona pilífera (ou zona de maturação, que contém os pelos radiculares e consiste no local onde se inicia a maturação dos tecidos primários) há a zona lisa (ou de crescimento), que está envolvida com o alongamento da raiz; a zona de ramificações (ou suberosa) é o local em que se encontram as raízes laterais e que tem esse nome devido à presença de manchas de súber, formadas quando os pelos radiculares morrem.

Figura 1.11 - Morfologia externa da raiz



Fonte: Raven, Evert e Eichhorn (2014, p. 561).

Para que esta morfologia externa básica da raiz seja desenvolvida, há um processo de crescimento envolvido, que pode ser primário (estrutura primária da raiz) ou secundário (estrutura secundária). Estudaremos ambos os crescimentos com enfoque nas modificações que ocorrem internamente, no corpo vegetal. A partir de agora, utilizaremos muitos dos conhecimentos adquiridos na Seção 1.2. Caso você não se lembre dos conceitos de histologia vegetal, é interessante que releia a seção anterior.

Em comparação a outros órgãos das plantas, a raiz possui uma estrutura simples, sem a presença de folhas, nós e entrenós (observados nos caules). Muitas espécies vegetais apresentam apenas crescimento primário, ou seja, não há um crescimento em espessura. Neste caso, as suas raízes apresentam uma estrutura primária ao longo de toda a vida.

A estrutura primária da raiz origina-se a partir do meristema apical, mais precisamente das células iniciais, localizadas em uma região capaz de originar todos os tecidos da raiz, o promeristema. A partir dele, são formados os três sistemas de tecidos principais: epiderme (sistema dérmico), córtex (sistema fundamental) e o cilindro vascular (sistema vascular).

A epiderme é o tecido de revestimento formado por células alongadas, justapostas, com parede celular fina e sem cutícula, para facilitar a entrada de água. Os pelos radiculares, especializados na absorção de água e sais minerais em solução, são extensões das células da epiderme. Por serem muito finos, os pelos radiculares podem ser perdidos durante um processo de transplantação vegetal, por exemplo. Por isso, a importância do replantio ser realizado com cuidado e mantendo boa parte do solo que se encontra no entorno do sistema radicular. Caso ocorra dano aos pelos radiculares, a poda das partes aéreas pode ser uma medida compensatória, já que reduz as atividades metabólicas da planta.

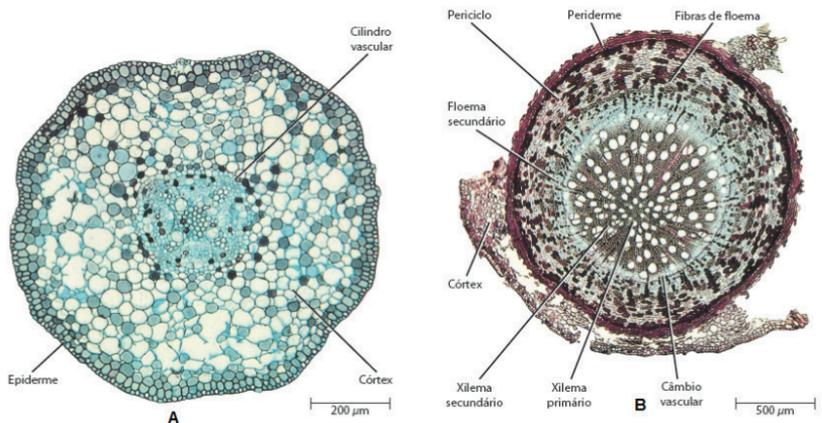
O córtex, que representa o sistema fundamental nas raízes, constitui a maior parte de sua estrutura primária. Ele é geralmente formado por células parenquimáticas e apresenta uma região mais externa com células espaçadas, que formam espaços intercelulares importantes para a aeração da raiz. Internamente possui uma camada, a endoderme, formada por células compactadas, com presença de estria de Caspary. Esta estrutura é uma faixa impermeável à

passagem de água e íons, devido à presença de células com parede celular espessa e com presença de suberina. Dessa forma, acredita-se que a função das estrias de Caspary seja forçar a passagem das substâncias pelo protoplasma das células da endoderme.

O cilindro vascular, originado do procâmbio, é formado pelos tecidos vasculares primários (xilema primário e floema primário) e o periciclo, uma camada de tecido parenquimático não vascular que envolve os tecidos vasculares, além de originar as raízes laterais. O xilema primário consiste, inicialmente, de protoxilema, que se diferencia em metaxilema, o que ocorre também com o floema, com a formação inicial do protofloema e posteriormente do metafloema.

Em plantas com crescimento secundário (em espessura), ocorre a formação de periderme e de tecidos vasculares secundários (xilema secundário e floema secundário). A periderme é um tecido de revestimento que se forma a partir do felogênio e uma de suas características é a presença de súber (ou felema). Os tecidos vasculares secundários se formam a partir do câmbio vascular, que mantém alguma atividade meristemática. Podemos observar esses aspectos na Figura 1.12.

Figura 1.12 | Esquema da morfologia interna de raízes com crescimento primário e secundário



Fonte: adaptada de Raven, Evert e Eichhorn (2014, p. 571).



A arquitetura de um sistema radicular pode apresentar variações quanto, por exemplo, à disposição das raízes laterais. A raiz primária cresce para baixo e origina raízes laterais, formando o chamado sistema radicular pivotante. Pode ainda a raiz primária ter vida curta e morrer, dando lugar a raízes adventícias de origem caulinar. Neste caso, temos um sistema radicular fasciculado. A superficialidade de crescimento do sistema radicular fasciculado e a capacidade de agregarem partículas de solo, faz com que as plantas que o tenham sejam apropriadas para prevenção de erosão do solo (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2014). Devido a estas características, a raiz é um órgão que precisa ser cuidadosamente analisado antes da realização de projetos de arborização urbana, visto que, muitas vezes, o sistema radicular pode ser muito desenvolvido e causar rachaduras nas vias.

Outra estrutura vegetativa observada nos vegetais é o caule, que geralmente é um órgão aéreo que apresenta como funções sustentar as outras partes aéreas da planta (como folhas, flores e frutos, por exemplo) e conduzir substâncias produzidas nas folhas para as partes inferiores (via floema) e água e íons minerais absorvidos pelas raízes para as folhas (via xilema).

Em comparação às raízes, a estrutura do caule é mais complexa e externamente formada pelos nós (locais de inserção das folhas), entrenós (espaço entre dois nós), gemas apicais e laterais (regiões de meristemas primários, envolvidos no crescimento da extensão do caule) e colo (região de transição entre caule e raiz).

Assim como as raízes, os caules podem apresentar estrutura primária ou secundária, dependendo do tipo de crescimento que desenvolvem. A estrutura primária do caule sofre variações entre diferentes espécies vegetais, entretanto, na maioria deles, podem-se observar três sistemas de tecidos: sistema dérmico (epiderme), sistema fundamental (córtex e medula) e sistema vascular (cilindro vascular).

A epiderme, originada do meristema apical, é formada por uma camada única de células recobertas por uma cutícula e, nos caules fotossintetizantes, pode apresentar estômatos. Abaixo dela, encontra-se o córtex, formado em sua maior parte por células do parênquima, além de colênquima e, em alguns casos, esclerênquima. O parênquima cortical pode conter cloroplastos (clorênquima) e possuir

células especializadas na estocagem de substâncias, tais como amido, cristais, resinas, entre outras. Na região central do cilindro vascular encontra-se a medula, tecido que faz parte do sistema fundamental, formada por células parenquimáticas lignificadas.

O procâmbio, que origina o cilindro vascular, se diferencia, inicialmente, em protoxilema e protofloema e posteriormente em metaxilema e metafloema, tal como ocorre no desenvolvimento da estrutura primária das raízes. A forma como os feixes vasculares estão organizados, dá origem à três tipos básicos de organização caulinar interna: o sistema vascular forma um cilindro contínuo, com a medula na parte interna e o córtex externamente. Os tecidos vasculares podem estar dispostos na forma de feixes, separados por região interfascicular, com córtex externamente e medula internamente. Já os feixes vasculares ficam dispersos por todo o tecido fundamental.

O crescimento secundário do caule sofre influência do meristema apical e dos meristemas laterais: o câmbio vascular (origina xilema e floema secundários) e felogênio ou câmbio da casca (produz súber e feloderma). Após o início da produção do xilema e floema secundários, ocorre a formação da periderme, um tecido de revestimento que substitui a epiderme nas plantas com crescimento secundário. Este tecido é formado pelo felogênio (ou câmbio da casca), meristema responsável por sua formação; pelo súber (ou felema) que consiste em um tecido de proteção que fica externamente ao felogênio e à feloderme.



### Exemplificando

A madeira que utilizamos na fabricação de móveis é um exemplo de uso do xilema secundário. Tecnicamente, elas podem ser classificadas em hardwood (proveniente das angiospermas) e softwood (madeira de gimnospermas, como coníferas, por exemplo). A diferença entre elas está na presença de vasos condutores nas hardwood, além da ocorrência de maior quantidade de parênquimas e outros tecidos. E quanto à resistência da madeira? Dois parâmetros utilizados para descobrir o quão resistente é uma madeira são a sua densidade e a massa específica.

Figura 1.13 | Corte de caule de planta lenhosa



Fonte: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Taxus\\_wood.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Taxus_wood.jpg)>. Acesso em: 11 mai. 2018.

Observe o xilema, que é formado internamente (parte escura) pelo cerne e externamente (parte clara) pelo albarno.

O súber apresenta células dispostas compactamente e com a presença de suberina, sendo, portanto, impermeável à entrada de água e gases. Para que as trocas de gases ocorram, existem aberturas no caule denominadas lenticelas, que constituem porções da periderme que apresentam espaços intercelulares.



### Pesquise mais

Caules podem passar por modificações que alterem as funções que exercem e, desta forma, podem assumir diferentes classificações. Para conhecer sobre os tipos de caules, veja:

ALMEIDA, Marcilio de; ALMEIDA, Cristina Vieira de. **Morfologia do caule de plantas com sementes**. Coleção Botânica. Piracicaba: ESALQ/USP, 2014. v. 2. Disponível em: <[http://www.lcb.esalq.usp.br/sites/default/files/publicacao\\_arq/978-85-86481-33-8.pdf](http://www.lcb.esalq.usp.br/sites/default/files/publicacao_arq/978-85-86481-33-8.pdf)>. Acesso em: 23 abr. 2018.

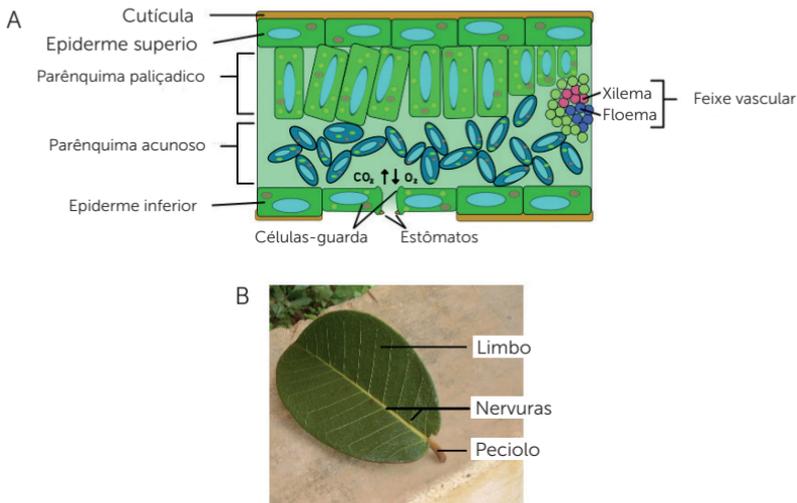
Neste material, dedique-se à leitura da "Classificação dos caules de acordo com o habitat", em especial das páginas: 60, 61, 64, 66, 68, 69, 70, 76, 82, 84, 99, 100, 103, 107 e 110.

O caule juntamente com as folhas formam o sistema caulinar. Para se ter uma ideia de quão importante é a relação entre estes dois órgãos, a atividade do meristema apical, presente no ápice do sistema caulinar, é responsável por formar os primórdios foliares, que se desenvolverão na folha madura. A partir de cada nó presente no caule, feixes vasculares são desviados do feixe do caule, atravessam o córtex e entram nas folhas, formando os traços foliares. Além disso, a forma como as folhas estão organizadas nos caules obedecem a padrões. A esta disposição damos o nome de filotaxia.

Nesta seção nos ateremos a tratar dos aspectos morfológicos e estruturais das folhas adultas, que apesar de apresentarem algumas variações, possuem uma estrutura básica, formada por: limbo ou lâmina (parte principal da folha, com superfície achatada e ampla); pecíolo (pedúnculo que liga a lâmina ao caule); estípulas (dilatações que se formam na base das folhas) e bainha (expansão na base da folha, que a liga ao caule). É importante esclarecer que nem todas as folhas apresentam pecíolo, estípula e bainha. As folhas sem pecíolo, por exemplo, são denominadas folhas sésseis.

Se pegássemos uma minúscula fatia do limbo da folha e levássemos ao microscópio, veríamos que ela apresenta, de fora para dentro, os seguintes tecidos: cutícula (camada que recobre a epiderme e que oferece proteção), epiderme superior ou adaxial (formada por células justapostas, organizadas em uma única camada, em que pode ser observada a presença de especializações, como tricomas e pelos), mesófilo (região de tecido fundamental, constituído principalmente de parênquima paliçádico, rico em cloroplastos, e parênquima lacunoso, com espaços intercelulares por onde circulam substâncias), tecido vascular (xilema e floema, que formam a venação – conjunto de nervuras – no limbo) e epiderme inferior ou abaxial (onde podem ser encontrados os estômatos). A Figura 1.14 apresenta a morfologia externa e interna do limbo de uma folha.

Figura 1.14 | Esquema da anatomia interna (a) e externa (b) de uma folha



Fonte: adaptada de <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anatomia\\_da\\_folha.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anatomia_da_folha.svg)>. Acesso em: 23 abr. 2018; <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FolhaGameleira.JPG>>. Acesso em 13 jun. 2018.

Tão importante quanto a parte vegetativa de uma planta, são os órgãos reprodutivos, e a flor é um deles. Presente apenas no grupo das angiospermas, o surgimento da flor representa um marco evolutivo importante para o grupo dos vegetais, uma vez que suas cores, perfume e presença de néctar favoreceram a atração de agentes polinizadores, contribuindo para a perpetuação das espécies nas mais diversas partes do planeta.

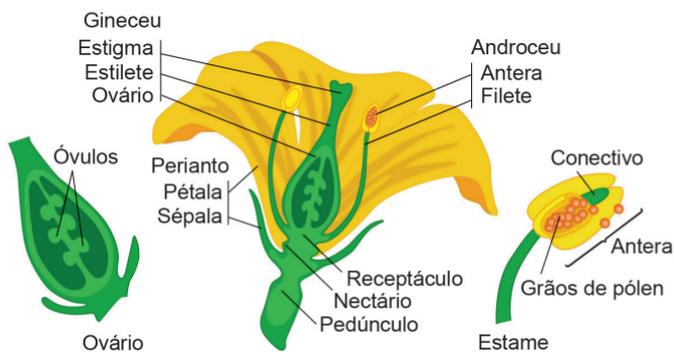
A polinização e a fertilização serão objetos de nossos estudos nesta seção, mas antes de adentarmos neste assunto, é importante que você compreenda a morfologia das flores. Vamos lá?

A flor (Figura 1.15) é formada a partir de um conjunto de folhas modificadas, que quando completa, apresenta o pedúnculo (haste que sustenta a flor), o receptáculo (local onde se inserem os verticilos florais) e os verticilos florais (cálice e corola - que juntos formam o perianto - e androceu e gineceu, que correspondem à parte fértil da flor).

O cálice é o verticilo floral mais externo e corresponde ao conjunto de sépalas, que geralmente possuem cor verde. A corola é o conjunto de pétalas, estruturas geralmente coloridas que se diferem das sépalas pelo tamanho, forma e posição que ocupam.

O androceu é a parte masculina da flor e refere-se ao conjunto de estames, que por sua vez é formado por: antera (local de produção dos grãos de pólen), filete (haste que sustenta a antera) e conectivo (tecido que une as duas partes da antera). O gineceu representa o aparelho reprodutor feminino, que é formado por pistilos, compostos por: estigma (possui abertura por onde entra o grão de pólen), estilete (haste que sustenta o estigma e o liga ao ovário) e ovário (região dilatada na base do estilete, e responsável pela produção do óvulo). É relevante ressaltar que nas plantas com flores, o óvulo não é o gameta feminino e sim as oosferas, que se localizam no interior dele. O gameta masculino é o núcleo espermático, que está localizado no interior do grão de pólen.

Figura 1.15 | Morfologia externa de uma flor completa



Fonte: adaptada de Ruiz (2007), via Wikimedia Commons. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mature\\_flower\\_diagram-es.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mature_flower_diagram-es.svg)>. Acesso em: 23 abr. 2018.

Agora que você conhece a anatomia de uma flor, fica mais fácil compreender como ocorre a sua reprodução. Tudo se inicia com a polinização, que consiste na transferência de pólen da antera de uma flor até o estigma de outra. O grão de pólen aí depositado se desenvolverá, formando uma estrutura denominada tubo polínico, que transporta o núcleo espermático (gameta masculino) até a oosfera (gameta feminino), penetrando no ovário por meio de uma abertura denominada micrópila. O encontro dos dois gametas é o que chamamos de fertilização, evento que culminará com a formação do zigoto e posteriormente do embrião, abrigado no interior da semente. Nas angiospermas ocorre uma dupla fertilização: uma dará origem ao embrião e a outra dará origem ao endosperma, tecido nutritivo localizado no interior da semente.

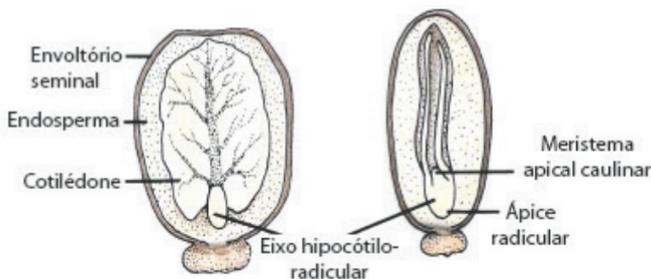


Você consegue imaginar de que forma a extinção de agentes polinizadores poderia afetar a estrutura morfológica e sobrevivência dos vegetais? E que consequências isso traria direta e indiretamente para a vida do ser humano? Reflita sobre este assunto!

E por falar em semente, ela corresponde a outra estrutura reprodutiva que merece atenção, uma vez que apresenta duas funções de extrema importância para a sobrevivência das espermatófitas (gimnospermas e angiospermas): a proteção e nutrição do embrião. Se por um lado, o surgimento do tubo polínico foi uma inovação evolutiva que permitiu que as plantas conquistassem definitivamente o ambiente terrestre (**briófitas** e **pteridófitas**, sendo que grupos vegetais anteriores, dependem da água para o transporte de gametas), as sementes garantiram a sobrevivência do embrião em ambientes desfavoráveis.

Anatomicamente, a semente (Figura 1.16) é formada por um tegumento ou casca (envoltório protetor), pelo endosperma (reserva nutritiva para o embrião) e pelo embrião, que quando maduro, é formado por cotilédone, meristemas apicais, um sistema caulinar acima do cotilédone (epicótilo), um abaixo do cotilédone (hipocótilo) e uma radícula.

Figura 1.16 | Morfologia da semente de mamona (*Ricinus communis* L.)



Fonte: Raven, Evert e Eichhorn (2014 p. 531).

Nas angiospermas, a semente (óvulo fecundado e desenvolvido) está abrigada no interior de um fruto (ovário maduro, que pode conter partes florais persistentes), que além de proteger a semente,

atrai agentes dispersores. Basicamente, um fruto carnosos é formado pelo pericarpo (epicarpo, mesocarpo e endocarpo) e pela semente. O epicarpo é a porção mais externa (casca), originada da epiderme externa do ovário. O mesocarpo é a porção intermediária (polpa), originada do parênquima do ovário. E o endocarpo é oriundo da epiderme interna do ovário e corresponde à parte mais interna do pericarpo (reveste a cavidade em que está alojada a semente).

Figura 1.17 | Morfologia dos frutos



Fonte: Raven, Evert e Eichhorn (2014 p. 492).

Após todas as explicações sobre a anatomia dos frutos, você provavelmente tentou imaginar o que seria um fruto carnosos. Trata-se de uma das categorias de frutos, que podem ser classificados de acordo com a disposição dos carpelos em: (1) simples (um ou mais carpelos unidos, por exemplo a abóbora), (2) agregados (carpelos separados em uma mesma flor, como exemplo cita-se a framboesa); (3) múltiplos (vários ovários de mais de uma flor; por exemplo: abacaxi); (4) partenocárpicos (são originados sem fecundação e, portanto, não apresentam sementes; exemplo: banana). Os frutos simples podem ser classificados:

- Quanto à consistência do mesocarpo: carnosos (com pericarpos suculentos) e secos (sem pericarpo suculento).
- Quanto à deiscência: deiscentes (abrem-se para a liberação da semente) e indeiscentes (não abrem para a semente ser liberada).

Chegamos ao final da Unidade 1 e, para darmos continuidade aos nossos estudos, é importante que você releia as seções, anotando as dúvidas e os pontos mais relevantes.

Bons estudos!

Caro aluno, no início desta seção foi apresentada uma situação em que você foi delegado para auxiliar uma equipe técnica em um trabalho de campo, visando a introdução de espécies vegetais em uma área, como medida compensatória à supressão vegetal autorizada pelo órgão ambiental, concedida à um empreendimento. Porém, antes da saída a campo, os técnicos precisaram responder a um questionário que serviria de base para a elaboração de um relatório técnico, que será enviado ao órgão ambiental. Sendo assim, eles lhe procuraram com os seguintes questionamentos: o tipo de raiz das espécies escolhidas poderia, de alguma forma, influenciar na recuperação de solos erodidos? Que cuidados devem ser tomados com as raízes no momento de fazer o replantio? Caso ocorra um dano à raiz, quais são as consequências e medidas que podem ser tomadas? Por que raízes de plantas de espécies diferentes possuem espessuras diferentes?

Inicialmente, é importante que fique claro aos técnicos que as raízes possuem duas funções primordiais: absorção de água e íons em solução (presentes no solo) e sustentação para as partes aéreas das plantas. Existem vários tipos de raízes, no entanto, a disposição das raízes laterais poderia ser um fator que influenciasse na recuperação de solos erodidos, uma vez que as raízes pivotantes possuem uma raiz principal que alcança regiões mais profundas do solo, de onde partem as raízes laterais.

As raízes com sistema fasciculado tiveram a sua raiz principal substituída por adventícias de origem caulinar. A superficialidade de crescimento do sistema radicular fasciculado e a capacidade de agregarem partículas de solo fazem com que as plantas que o tenham sejam apropriadas para prevenção de erosão do solo.

Uma das técnicas envolvidas no reflorestamento é o replantio de plântulas que tiveram a sua germinação e crescimento inicial realizados em estufas. Neste processo é necessário cuidado ao fazer a retirada da plântula de seu local de origem para a inserção no solo, pois pode ocorrer danos aos pelos radiculares, que são finos e apresentam como função a absorção de água e íons em solução presentes no solo. Caso esses pelos radiculares sejam muito danificados, esta função será comprometida e a planta poderá não

se desenvolver adequadamente por deficiência na absorção de nutrientes. Neste caso, torna-se importante que parte do solo ao redor das raízes também seja transferida juntamente com a planta e, caso um dano seja feito e verificado, pode-se realizar podas da parte aérea, uma vez que isso reduz o consumo de nutrientes até que os pelos radiculares danificados sejam repostos.

Os técnicos observaram que raízes de espécies diferentes podem ter espessuras diferentes. Isso se deve, entre outros fatores, ao tipo de crescimento da planta. Em vegetais que apresentam crescimento primário, a raiz é denominada primária e apresenta uma determinada estrutura, o que ocorre com gramíneas, por exemplo. Em plantas lenhosas, que exibem crescimento em espessura, o crescimento é dito secundário e a planta possui uma raiz secundária. Neste último caso, ocorre a substituição de vasos lenhosos por xilema e floema secundários, e da epiderme pela periderme, entre outros aspectos.

## Avançando na prática

### Essa madeira já pode ser vendida?

#### Descrição da situação-problema

Imagine que você foi procurado por um agricultor que acabou de fazer um plantio de eucalipto para a venda de madeira para serraria. Sabe-se que eucalipto é um nome genérico para um grupo de espécies pertencentes às angiospermas e que para a finalidade descrita, possui um tempo médio de corte de 12 anos. No entanto, o agricultor gostaria que você o auxiliasse, explicando se ele poderia reduzir o tempo de corte pela metade e que parâmetros estão envolvidos na avaliação da resistência da madeira. Baseando-se na anatomia do caule, como você explicaria estas questões ao agricultor?

#### Resolução da situação-problema

Para que você consiga explicar ao agricultor por que a madeira não teria a qualidade desejada é necessário que ele fique ciente de que a madeira é proveniente do xilema secundário, ou seja, é necessário que a planta desenvolva o corpo secundário para que

a madeira comercial seja produzida e, portanto, ele deve respeitar o tempo de amadurecimento do vegetal. A madeira produzida por uma angiosperma é tecnicamente denominada hardwood e apresenta boa resistência. No entanto, para se ter noção do quão resistente ela é, é necessário fazer o cálculo de sua densidade e massa específica.

## Sem medo de errar

**1.** Analise o texto a seguir e, posteriormente, responda a questão.

No processo de polinização, o \_\_\_\_\_(A)\_\_\_\_\_ é levado \_\_\_\_\_(B)\_\_\_\_\_ de uma flor até \_\_\_\_\_(C)\_\_\_\_\_ de outra. Ao chegar nesta região, forma-se \_\_\_\_\_(D)\_\_\_\_\_

Assinale a alternativa com os termos que preenchem corretamente as lacunas:

- a) A = grão de pólen; B = do estigma; C = a antera; D = o tubo polínico.
- b) A = tubo polínico; B = da antera; C = o estigma; D = o grão de pólen.
- c) A = grão de pólen; B = do estigma; C = a antera; D = o tubo polínico.
- d) A = tubo polínico; B = da antera; C = o estigma; D = o grão de pólen.
- e) A = grão de pólen; B = da antera; C = o estigma; D = o tubo polínico.

**2.** Os órgãos reprodutivos da planta apresentam uma função importante para a perpetuação das espécies. Em angiospermas identificamos três órgãos envolvidos na reprodução: a flor, o fruto e a semente. A respeito destas estruturas, julgue (V) para verdadeiro e (F) para falso.

( ) A semente é o ovário maduro, que tem como principal função abrigar o embrião, fornecendo-lhe nutrientes até que possa germinar.

( ) O fruto carnoso é formado pelo pericarpo (epicarpo, mesocarpo e endocarpo) e pela semente. O mesocarpo é a porção que contém a polpa e é originada do parênquima do ovário.

( ) O cálice é o conjunto de pétalas de uma flor, trata-se de estruturas geralmente coloridas, que se diferem das sépalas pelo tamanho, forma e posição que ocupam.

( ) A flor completa apresenta pedúnculo, receptáculo e verticilos florais.

Após julgar os itens, assinale a alternativa que contém a sequência que preenche respectivamente as lacunas:

- a) F – V – F – V.
- b) F – F – V – V.

- c) V – V – F – V.
- d) F – V – V – V.
- e) V – F – V – F.

**3.** Em vegetais adultos, é possível verificar a presença de órgãos vegetativos e reprodutivos. Os órgãos vegetativos são aqueles envolvidos nas atividades vitais das plantas e englobam a raiz, o caule e as folhas.

A respeito dos órgãos vegetativos e suas características, analise as assertivas a seguir.

I. A absorção de água e sais minerais pela raiz é realizada por meio de pelos radiculares, que se encontram na zona suberosa deste órgão. O transporte dessas substâncias é feito por meio dos vasos condutores, mais especificamente pelo xilema.

II. No crescimento secundário do caule o câmbio vascular dará origem ao xilema e floema secundários e o felogênio ou câmbio da casca formará a periderme. O xilema secundário tem importância comercial, já que representa a madeira da árvore.

III. A folha, vista ao microscópio, apresenta entre as suas regiões o mesófilo, formado principalmente por parênquima, tratando-se da região da folha com a maior produção fotossintética, devido à abundância de cloroplastos.

Após a análise das assertivas, marque a alternativa que apresenta a resposta correta.

- a) As assertivas I, II e III estão corretas.
- b) Apenas as assertivas I e II estão corretas.
- c) Apenas as assertivas II e III estão corretas.
- d) Apenas as assertivas I e III estão corretas.
- e) Apenas a assertiva III está correta.

# Referências

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, Beatriz; CARMELLO-GUERREIRO, Sandra M. **Anatomia Vegetal**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006.

CUTTER, Elizabeth G. **Anatomia Vegetal – Parte I: Células e Tecidos**. 2. ed. São Paulo: Roca, 2002.

\_\_\_\_\_. **Anatomia Vegetal – Parte II: órgãos**. São Paulo: Roca, 2002.

KERBAUY, Gilberto B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2008.

NABORS, Murray W. **Introdução à Botânica**. São Paulo: Roca, 2012.

RAVEN, Peter H.; EVERT, Ray F.; Eichhorn, Susan E. **Biologia Vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

TAIZ, Lincoln.; ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. São Paulo: Artmed, 2016.

# Relações metabólicas e hídricas nos vegetais

### Convite ao estudo

Caro aluno, você conseguiria imaginar um mundo sem água? Pensando nas atividades que você realiza em seu dia a dia, é fácil responder a esta pergunta. Assim como esse elemento químico é imprescindível para a nossa existência, a água também é essencial para a sobrevivência dos vegetais. Ela participa do processo de germinação, atua na expansão celular durante o crescimento vegetal, além de estar envolvida nos processos metabólicos mais importantes. É graças a ela que os vegetais conseguem absorver nutrientes do solo.

Pensando na relevância deste elemento químico para a vitalidade dos vegetais, a Unidade 2 será dedicada à compreensão dos fenômenos envolvendo as relações metabólicas e hídricas nos vegetais e, ao final dela, você será capaz de analisar a influência do estresse hídrico na absorção de nutrientes do solo e seu papel no desenvolvimento vegetal. Na Seção 2.1 estudaremos as funções da água em plantas, como ela é transportada até o interior das células e as consequências do déficit hídrico. Na Seção 2.2 vamos aprofundar nos conceitos sobre a absorção de água pelas células radiculares, buscando explicitar a dinâmica da absorção e os fatores que a influenciam. Na Seção 2.3 serão apresentados os conceitos relativos a perda de água por transpiração e gutação, bem como as suas consequências e os mecanismos envolvidos no controle da transpiração. Para que os objetivos desta unidade sejam alcançados, propomos a você que a seguinte situação: uma indústria de papel e celulose acabou de instalar uma filial em uma cidade localizada no interior de São Paulo. Sabe-se que a missão desta indústria é oferecer produtos de qualidade e obtidos de forma sustentável, a partir da utilização

de tecnologias de ponta, buscando gerar benefícios sociais, econômicos e ambientais, contribuindo com a qualidade de vida das pessoas. Para que esta missão seja cumprida, a indústria conta com um setor de produção madeireira e gestão ambiental que reúne engenheiros (florestais e ambientais), agrônomos e biólogos, em que você acaba de ser contratado. Dentre as suas atribuições está a elaboração e o acompanhamento da execução de projetos de reflorestamento, o monitoramento do desenvolvimento das mudas, a realização de análises do solo e o desenvolvimento de projetos na área de educação ambiental. Cada ação realizada precisa ser registrada e, por isso, periodicamente uma de suas atribuições é elaborar um relatório informando os procedimentos que foram realizados até aquele momento. Estas ações ocorrerão ao longo das três seções, em que você deverá elucidar questões como: como ocorre a absorção de água pela raiz? Que fatores a afetam? Quais são as consequências macroscópicas e microscópicas do déficit hídrico? Ao final de seus estudos desta unidade, você será capaz de responder criticamente a estas e outras questões a respeito da relação da água com os vegetais.

Seja muito bem-vindo à nossa segunda unidade!

Bons estudos!

## Seção 2.1

### Transporte através das membranas

#### Diálogo aberto

Caro aluno, no início desta seção você foi contratado para trabalhar no setor de produção madeireira e gestão ambiental de uma indústria de papel e celulose, recém-instalada. Entre as suas atribuições está a elaboração e o acompanhamento da execução de projetos de reflorestamento, monitoramento do desenvolvimento das mudas, realização de análises do solo e desenvolvimento de projetos na área de educação ambiental.

Em seu primeiro trabalho, você foi designado para liderar uma equipe de estagiários que irá realizar o monitoramento do desenvolvimento vegetal das espécies de eucalipto. Tal monitoramento será composto por três visitas de campo em que serão registrados problemas encontrados no crescimento das mudas. Como recém-contratado para o cargo, você precisou se familiarizar com algumas características desta natureza. O fato que mais lhe chamou a atenção foi o consumo de água, que chega a ser 300 litros por metro quadrado superior à de espécies nativas da região.

Na primeira atividade de campo você observou que em uma área de aproximadamente 10 metros quadrados as mudas estavam com a folhagem murcha e, em alguns casos, o caule apresentava-se bastante flácido. Foi constatado que a irrigação ocorria normalmente, apesar de estar em uma época do ano de clima predominantemente seco. Você solicitou que fosse feita uma análise da salinidade do solo, e que a folha de uma das mudas fosse analisada microscopicamente no laboratório. Um estagiário acompanhando todo o trabalho lhe questionou: o que pode acontecer caso a análise de solo demonstre que ele está salino? E sobre as folhas analisadas no microscópio, como estariam as suas células? Qual é a explicação para isso? As respostas formuladas para o estagiário também deverão ser redigidas no relatório que será entregue ao final desta seção. Para responder a estas perguntas, é importante que você se dedique ao estudo do transporte de

água através da membrana plasmática e ao estado da célula ao ser submetida em meios hipertônico, isotônico e hipotônico. Esses assuntos serão abordados nesta seção.

Bom trabalho!

## Não pode faltar

A presença de água, principalmente em seu estado líquido, é condição fundamental para que haja vida em um planeta. Quimicamente classificada como uma substância composta, formada por duas moléculas de hidrogênio e uma de oxigênio ( $H_2O$ ), apresenta diversas propriedades físico-químicas que a torna uma das substâncias mais importantes que existem. As moléculas de água estão arranjadas em uma estrutura mais ou menos organizada por meio de pontes de hidrogênio, as quais se modificam de acordo com o estado físico em que ela se encontra (sólido, líquido ou gasoso). A mudança de estado físico faz com que as pontes se quebrem e as moléculas se reorganizem.

A atração entre duas moléculas de água é denominada força de coesão e a atração entre as moléculas de água em estado líquido e um meio sólido, como os vasos do xilema de uma planta, é chamada força de adesão. Esta interação entre as moléculas ocorre não só pela presença das pontes de hidrogênio, mas também por influência das forças de van der Waals, que explica a existência de uma atração eletrostática entre os elétrons de uma molécula e o núcleo da molécula adjacente.



### Assimile

A teoria da adesão-coesão justifica a formação de uma coluna contínua de água no interior da planta que parte desde a raiz, de onde é absorvida, até as partes mais altas, por meio do xilema. Este movimento sofre influência da transpiração; quanto mais ocorre a liberação do vapor de água para a atmosfera, mais intensa precisa ser a absorção de água pela raiz, para suprir a demanda.

As pontes de hidrogênio, bem como a coesão entre as moléculas de água, também contribuem para outras duas propriedades: viscosidade e tensão superficial. A viscosidade refere-se à resistência de um fluido (no caso, a água) ao escoamento; a tensão superficial é um efeito que ocorre devido à coesão das moléculas de água, formando uma espécie de membrana na superfície, na interface ar-água (Figura 2.1).

Figura 2.1 | Exemplo da tensão superficial de uma gota de água



Fonte: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dew\\_2.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dew_2.jpg)>. Acesso em: 1 maio 2018.

Outra propriedade da água de grande importância para compreendermos a sua relação com as plantas é a capacidade de dissolver um grande número de substâncias presentes no planeta. Essa característica a consagrou como solvente universal.

A partir do conhecimento de todas estas propriedades, fica fácil compreender como a água se comporta no interior dos vegetais. Esta relação é vital, uma vez que a água carrega consigo íons dissolvidos que serão utilizados em reações metabólicas, realiza a manutenção da turgescência (aumento do volume celular para sustentação da planta), atua na regulação térmica do vegetal (resfriando e distribuindo calor), e está envolvida na germinação e em vários outros processos vitais que ocorrem no corpo da planta.

Para que estas funções sejam exercidas, a água precisa ser absorvida pela planta. Nesta seção, nos dedicaremos à compreensão dos mecanismos envolvidos no transporte de água e soluto pela célula vegetal, para na seção posterior, conhecermos a dinâmica envolvida na absorção radicular.

Os pelos radiculares, localizados na zona pilífera da raiz, são responsáveis pela absorção de água e substâncias dissolvidas presentes no solo. Para que você entenda como a água se movimenta do solo para raiz, penetrando em suas células, precisamos relembrar como é a estrutura celular vegetal (estudada na Seção 1.1), principalmente a da membrana plasmática e parede celular.

A estrutura mais aceita para a membrana plasmática é a que segue o modelo mosaico-fluido. Nele, a membrana é formada por uma dupla camada de lipídios, com cabeça hidrofílica e cauda hidrofóbica, além de proteínas "incrustadas". Essa estrutura confere à membrana permeabilidade seletiva, ou seja, algumas substâncias vão passar facilmente por ela; outras precisarão atravessar por meio de canais proteicos. Existem ainda as que não conseguirão atravessar a barreira. Para cada uma destas situações, temos um tipo de transporte diferente.

Já no caso da parede celular, não existe uma restrição à passagem de substâncias, uma vez que ela apresenta poros, entre eles os plasmodesmos, que realizam a comunicação célula a célula.

Durante o processo de absorção, as raízes não retiram apenas água (solvente) do meio, mas também substâncias (solutos) que se encontram dissolvidas nela. Para que essa solução (combinação entre solvente e soluto) se movimente do solo para o interior das células radiculares, é preciso ocorrer três processos básicos: o fluxo de massa, a osmose e a difusão.

O fluxo de massa refere-se à movimentação da água de um local para outro, obedecendo ao potencial hídrico, ou seja, a energia que a água possui para realizar algum trabalho. A água se move de um local em que o potencial hídrico é maior para o local de menor potencial hídrico, seja por meio da gravidade ou da pressão.



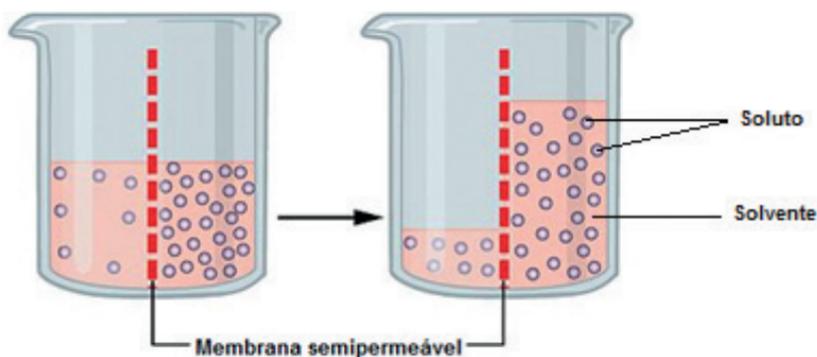
### Exemplificando

Um exemplo que ilustra o movimento da água de um local de maior potencial hídrico para um de menor potencial hídrico, em resposta a gravidade, é o escoamento de água em uma montanha. Se observarmos a movimentação da água por meio de uma tubulação iremos perceber que muitas vezes ela "sobe" o encanamento, desafiando a gravidade. Neste último caso, temos um movimento influenciado pela pressão. O

fluxo de massa causado pela pressão é um dos mecanismos envolvidos no transporte de seiva elaborada a longas distâncias, por meio do floema, assunto que estudaremos na próxima unidade.

Agora que você já conhece o conceito de fluxo de massa, fica fácil compreender o que é a osmose (Figura 2.2). Trata-se do movimento de água (solvente) presente em uma solução, do local de maior potencial hídrico para o de menor potencial hídrico, atravessando uma membrana seletivamente permeável. O local de menor potencial hídrico é o que apresenta a maior concentração de soluto e, portanto, o menor potencial osmótico (tendência de movimento da água influenciada pelos efeitos do soluto no potencial hídrico). Este fato deve-se à redução do potencial hídrico causado pela presença de soluto. Isso quer dizer que se no interior das células radiculares houver uma concentração de soluto mais alta do que no solo e, conseqüentemente, um potencial hídrico mais baixo, as moléculas de água presentes no solo irão atravessar a membrana plasmática das células da raiz.

Figura 2.2 | Esquema do transporte de água através da membrana (osmose)



Fonte: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:0307\\_Osmosis.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:0307_Osmosis.jpg)>. Acesso em: 1 maio 2018.

A água tende a atravessar a membrana plasmática até que os potenciais hídricos se tornem iguais dos dois lados da

membrana, alcançando um equilíbrio. No entanto, a entrada de água pode ser interrompida ao ser aplicada uma pressão, que chamamos de osmótica.

Uma célula que se encontra em um meio com potencial hídrico elevado e com baixa concentração de soluto (meio hipotônico) recebe água e tende a ter o seu protoplasto expandido. Como consequência, haverá distensão da membrana plasmática que, por sua vez, exercerá uma pressão contra a parede celular. Esta pressão recebe o nome de turgor, e a célula, que neste estado chamamos de túrgida, só não se rompe devido à presença da parede celular rígida, que exerce uma pressão oposta – que denominamos pressão da parede.



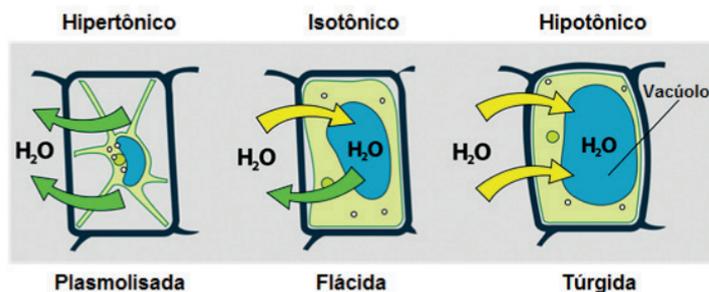
### Assimile

A turgidez das células é importante para o crescimento vegetal, uma vez que a expansão celular ocorre devido, principalmente, à absorção de água que se acumulará no interior dos vacúolos. Além disso, o turgor atua na sustentação de partes não lenhosas de plantas.

Vimos que a célula que se encontra em um meio com potencial hídrico elevado acumulará água em seu interior, ficando túrgida. Se ela for submetida a um meio com potencial hídrico baixo e elevada concentração de soluto (meio hipertônico), o que ocorrerá? Neste caso, a célula perderá água por osmose, de tal modo que ocorrerá uma retração do protoplasto e a membrana plasmática se desgrudará da parede celular. Este processo é denominado plasmólise, e a célula neste estado, plasmolisada.

A Figura 2.3 esquematiza o resultado da exposição da célula vegetal em três meios diferentes: hipertônico, isotônico (concentração equilibrada de solutos no meio interno e externo) e hipotônico.

Figura 2.3 | Esquema da célula plasmolisada (meio hipertônico), flácida (meio isotônico) e túrgida (meio hipotônico)



Fonte: <<https://goo.gl/kwXDNE>>. Acesso em: 1 maio 2018.

O estado plasmolisado da célula (perda do turgor) é um indicativo de que está ocorrendo um desequilíbrio entre a quantidade de água que está sendo absorvida e o volume que está sendo transpirado, o que pode resultar em uma murcha de folhas e caule, e a paralisação do crescimento.

A transpiração é a perda de água da planta para a atmosfera na forma de vapor, influenciada por fatores ambientais, tais como insolação, umidade atmosférica, temperatura do ar e disponibilidade hídrica do solo. Como mencionado anteriormente nesta seção, ela é importante para que o fluxo de água no interior do corpo da planta ocorra. No entanto, a perda excessiva de água pode gerar um déficit hídrico, resultando em impactos negativos no desenvolvimento e crescimento vegetal. O conhecimento das causas e consequências do déficit hídrico é especialmente importante quando se trata de culturas agrícolas, principalmente em regiões que passam por períodos de estiagem.



### Pesquise mais

Para saber mais sobre o déficit hídrico e suas consequências para os vegetais, acesse o artigo *Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas* (SANTOS; CARLESSO, 1998) Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br/revista/v2n3/287.pdf>>. Acesso em: 4 maio 2018.

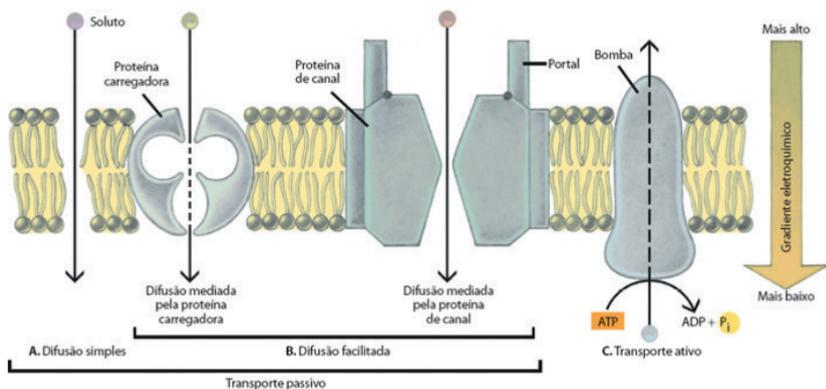
Os vegetais apresentam mecanismos naturais para evitar a perda excessiva de água por transpiração, entre eles, o controle da abertura e fechamento dos estômatos, estrutura que você conheceu na Seção 1.2. Este processo está intimamente ligado ao aumento e diminuição da pressão de turgor, uma vez que quando a célula-guarda está túrgida, o ostíolo se abre para a liberação do vapor de água e o oposto ocorre quando a célula perde a turgidez, culminando com o fechamento do ostíolo. Os mecanismos estomáticos, bem como o aprofundamento dos conceitos relacionados à perda de água por transpiração, serão temas de nossa próxima seção.

Até o momento, estudamos os aspectos relacionados à absorção de água nos vegetais; no entanto, vimos que as plantas absorvem não apenas a água, mas também os solutos que estão dissolvidos nela.

O transporte de solutos não ocorre por osmose, mas sim por meio da difusão, um tipo de transporte simples – que não envolve gasto de energia –, em que substâncias se movem de um local em que estão mais concentradas para um local de menor concentração, ou seja, elas se movem a favor do gradiente de concentração. Esse movimento ocorre até que os íons ou moléculas de uma substância estejam em equilíbrio, igualando suas concentrações.

A difusão (Figura 2.4) pode ser do tipo simples, quando as moléculas ou íons conseguem passar livremente através das camadas fosfolipídicas da membrana, ou do tipo facilitada, quando o transporte é mediado por proteínas carregadoras ou de canal. Tais proteínas facilitam a passagem de moléculas e íons polares, que não conseguem atravessar o interior hidrofóbico da membrana. As proteínas carregadoras, quando se ligam a um soluto, mudam a sua conformação à medida que ele a atravessa. Já as proteínas de canal são poros que apresentam mecanismo de abertura e fechamento que permitem a passagem de alguns tipos específicos de solutos. Pequenas moléculas apolares, como o dióxido de carbono e o oxigênio, são transportadas por difusão simples; já os íons polares, como potássio, sódio, cálcio e cloretos, requerem a difusão facilitada.

Figura 2.4 | Tipos de transportes através da membrana plasmática.



Fonte: adaptada de Raven et al. (2014, p. 83).



## Pesquise mais

Para conhecer uma simulação de como ocorre o processo de transporte através da membrana, acesse o vídeo *Membrana plasmática* (2015).

Disponível em: <<https://youtu.be/mrLIJ2K0QH4?t=271>>. Acesso em: 4 maio 2018.

É importante que você saiba que além da osmose e da difusão, existe outro processo de transporte através da membrana, denominado bomba de sódio/potássio (Figura 2.4). Este transporte ocorre com o auxílio de proteínas, que levam as moléculas contra o gradiente de concentração e, portanto, envolve gasto de energia para a célula – por isso o transporte é ativo. Nele, uma proteína expulsa íons de sódio do interior celular e, ao mesmo tempo, promove o ingresso de íons potássio. Com a concentração baixa de sódio dentro da célula, estes íons tendem a retornar para o interior carregando consigo a glicose, produzida na fotossíntese.

Voltaremos a mencionar este transporte na próxima unidade, em que nos dedicaremos ao estudo da fotossíntese.



De que forma o uso intensivo do solo na agropecuária poderia influenciar na absorção de água e sais minerais pelas plantas? Que práticas de manejo poderiam ser utilizadas para minimizar os impactos negativos advindos deste uso inadequado? Pense sobre o assunto!

Finalizamos a primeira seção da Unidade 2! Para que você obtenha êxito em seus estudos, não deixe de reler a seção anotando os pontos mais relevantes de seu estudo, e sempre que necessário faça uma revisão da unidade anterior.

Bons estudos!

## Sem medo de errar

Prezado aluno, no início desta seção você foi contratado por uma empresa de papel e celulose para compor uma equipe alocada na seção de produção madeireira e gestão ambiental, designado para realizar o monitoramento do desenvolvimento vegetal das espécies de eucalipto. Na realização da primeira atividade de campo, mediante a observação que as mudas estavam com a folhagem murcha e em alguns casos até mesmo o caule apresentava-se bastante flácido, solicitou-se que fosse feita uma análise da salinidade do solo e que a folha de uma das mudas fosse analisada microscopicamente no laboratório. Um estagiário que acompanha todo o trabalho lhe questionou: o que pode acontecer caso a análise de solo demonstre que ele está salino? E sobre as folhas analisadas ao microscópio, como estariam as suas células? Qual é a explicação para isto?

Vimos nesta seção que o déficit de água em um vegetal pode provocar efeitos negativos em seu crescimento e desenvolvimento, podendo inclusive culminar com a morte da planta. Os efeitos descritos, que envolvem folhas e caules murchos, são característicos de plantas com déficit hídrico, porém, foi constatado que a irrigação estava ocorrendo normalmente. A solicitação da análise da salinidade do solo é pertinente, uma vez que de acordo com os conceitos apresentados na seção, o meio com alta salinidade (resultado que se espera encontrar com a análise) é hipertônico em relação à raiz do vegetal. Neste caso, ocorrerá a saída de água do vegetal por osmose.

A osmose é um processo de transporte de água através da membrana em que ocorre a passagem de água do local de maior potencial hídrico para o de menor potencial hídrico. O local de menor potencial hídrico é o que apresenta a maior concentração de soluto, neste caso, o solo. Por isso, podemos inferir que a planta esteja perdendo água para o solo. Ao analisarmos uma folha desta planta ao microscópio, será possível verificar que as células se encontram em estado plasmolisado, caracterizado pela retração do protoplasto e da membrana plasmática, que se desgrudará da parede celular.

## Avançando na prática

### Como a água chega até a folha?

#### Descrição da situação-problema

Você foi procurado em seu escritório de consultoria ambiental, por uma família interessada em contratar os seus serviços para iniciarem um novo plantio na propriedade rural que acabaram de comprar. Enquanto atendia a família e explicava os detalhes de seu trabalho, um jovem, observando um vaso de planta sobre a sua mesa, questionou: se você não colocar água nesta planta, por que ela irá morrer? Como a água que está no vaso chega até as folhas? Por que a água que está subindo não “volta” para o vaso no meio do caminho? Para responder a essas perguntas, utilize os conceitos apresentados nesta seção e procure relacioná-los com fatos da vida cotidiana do jovem. Lembre-se que, apesar de não se tratar do trabalho de consultoria, quanto mais domínio do conhecimento mostrar ao explicar os fenômenos envolvidos no transporte de água, maior será sua credibilidade perante a família.

#### Resolução da situação-problema

Quando privamos um vegetal do recebimento de água, podemos condená-lo a morte, já que ela participa de diversas funções vitais, tais como: carregar consigo íons dissolvidos que serão utilizados em reações metabólicas, realizar a manutenção da turgescência (aumento do volume celular para sustentação da planta), atuar na regulação térmica do vegetal (resfriando e distribuindo calor),

envolver-se na germinação e em vários outros processos. Para que a água chegue até as folhas ela utiliza os vasos do xilema e só consegue subir por ele sem “voltar” para o vaso, devido a uma combinação entre as propriedades da água e a transpiração. Das propriedades da água que participam deste processo estão a coesão (capacidade das moléculas se manterem unidas) e adesão (capacidade das moléculas de água se aderirem a um meio sólido). A transpiração é o processo de liberação de vapor de água para a atmosfera, processo que cria uma sucção de água. Partindo para um exemplo cotidiano seria como fazer a sucção de um líquido por meio de um canudo. O ato de puxar o líquido seria um papel parecido com o da transpiração, e o canudo poderia ser comparado ao xilema; a água forma uma coluna contínua dentro dele, devido à coesão e adere-se à sua parede como consequência da adesão.

### Faça valer a pena

**1.** Um pesquisador decidiu fazer um experimento em seu laboratório: colocou uma folha de alface em um béquer contendo uma solução concentrada de água e sal. Após alguns minutos de repouso, observou um fragmento da folha de alface em um microscópio.

Como resultado do experimento realizado pelo pesquisador, pode-se afirmar que a solução em que a alface foi inserida e o estado em que as suas células se encontram é:

- a) Hipotônica/plasmolisada.
- b) Hipotônica/túrgida.
- c) Hipertônica/plasmolisada.
- d) Hipertônica/túrgida.
- e) Isotônica/flácida.

**2.** A membrana plasmática é o envoltório da célula que tem, entre suas funções, selecionar as substâncias que entram e saem da célula. A entrada e saída de água passando pela membrana plasmática é denominada osmose. A respeito deste processo, analise as assertivas a seguir.

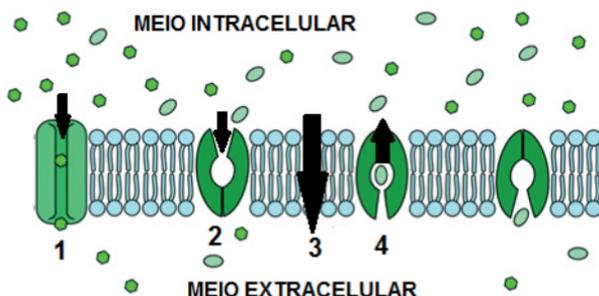
- I. Na osmose ocorre a passagem da água do local de maior potencial hídrico para o de menor potencial hídrico.
- II. O local de menor potencial hídrico é também o local em que está a menor concentração de soluto.

Após a análise das assertivas, marque a alternativa que contém a resposta correta.

- a) I, II e III estão corretas.
- b) Apenas I e II estão corretas.
- c) Apenas I está correta.
- d) Apenas II está correta.
- e) Apenas I e III estão corretas.

**3.** Observe a imagem a seguir e, em seguida, assinale (V) para verdadeiro e (F) para falso.

Figura 2.5 | Transportes através da membrana



Fonte: adaptada de <<https://goo.gl/bZspB9>>. Acesso em: 4 maio 2018.

( ) Pode-se dizer que a imagem representa um meio intracelular hipertônico em relação ao meio extracelular.

( ) O processo 4 está ocorrendo contra o gradiente de concentração, portanto, trata-se de um transporte ativo, que envolve gasto de energia.

( ) Os números 1, 2 e 3 representam o transporte passivo, sendo que o transporte 3 representa a difusão facilitada.

( ) As moléculas de glicose atravessam a membrana pelo processo representado em 1, que esquematiza uma proteína de canal.

Após a análise das assertivas, assinale a resposta que preenche corretamente e respectivamente as lacunas.

- a) V – V – F – V.
- b) V – V – F – F.
- c) F – V – V – F.
- d) F – V – F – F.
- e) V – V – V – F.

## Seção 2.2

### Movimento e absorção de água e solutos na planta e no solo

#### Diálogo aberto

Olá, aluno!

Estamos iniciando mais uma seção de estudo sobre as reações metabólicas e hídricas nos vegetais. Você já estudou como ocorre o transporte através das membranas e agora conhecerá um pouco mais sobre como ocorre a absorção de água e solutos na planta e no solo, por meio das raízes e das folhas. Estudaremos alguns conceitos relacionados à absorção radicular e foliar, quais são os fatores envolvidos nessa dinâmica e quais são as teorias da absorção, conhecendo os fatores que afetam direta ou indiretamente a absorção.

Para isso, vamos retomar o contexto em que você foi contratado para trabalhar no setor de produção madeireira e gestão ambiental de uma indústria de papel e celulose, cuja filial se instalou recentemente no município em que reside. Seu trabalho em campo foi dividido em três visitas, sendo que a primeira, consistiu na observação e resolução de um problema relacionado à murcha de folhas e caule de algumas mudas de eucalipto.

Em sua segunda visita a campo, acompanhado do grupo de estagiários, foi constatado que em uma outra porção da área a ser estudada, apesar de constatado tratar-se de um solo raso, as condições do solo (pH, salinidade, presença de nutrientes) estavam favoráveis ao desenvolvimento dos vegetais, mas haviam mudas que apresentavam suas folhas com aspecto murcho. Neste caso, com as condições do solo normais, porém com umidade atmosférica baixa, como você explicaria o que poderia estar acontecendo para que estes vegetais estivessem neste estado? Que fenômeno fisiológico está sendo afetado em tais condições? O que você poderia propor para tentar solucionar este problema? Em condições normais, como este fenômeno ocorre? Lembre-se que os problemas encontrados

na área e sua explicação devem fazer parte de seu segundo relatório. Para isso, não deixe de atentar para as explicações sobre a dinâmica da absorção e fatores que a afetam, ambos conteúdos abordados nesta seção.

## Não pode faltar

Na Seção 2.1 você conheceu os meios pelos quais a água e as substâncias nela dissolvidas atravessam a membrana celular para entrar nas células. Tais conceitos são importantes para que haja a compreensão da dinâmica de absorção de água e solutos do solo e seu transporte através do corpo do vegetal, objetos de estudo desta seção.

Você sabia que além da absorção radicular as plantas também conseguem absorver água pelas folhas? É a chamada absorção foliar. Antes de apresentar com mais detalhes este tipo de absorção, faremos uma breve retomada de conceitos sobre absorção.

Em botânica, definimos a absorção como o fenômeno que envolve a passagem de água e substâncias dissolvidas do meio para o interior da planta. Ela possui uma importância vital para os vegetais, por ser a forma como ocorre a obtenção de nutrientes e água para as atividades metabólicas (incluindo a fotossíntese), além de promover a regulação térmica de seu corpo.

A absorção de água e íons pode ser realizada por meio das raízes e pelas folhas. A absorção iônica foliar é uma característica “primitiva” que remete evolutivamente ao habitat original do grupo: a água, em que as plantas primitivas retiravam diretamente os seus nutrientes.

Na Unidade 1 estudamos a estrutura anatômica das folhas (se você não se lembra, releia a Seção 1.3) e mencionamos a presença de uma cutícula que recobre a epiderme foliar externamente, representando a primeira barreira de proteção do vegetal. No entanto, esta cutícula não é uma camada contínua, apresentando ao longo de sua estrutura microcanais e rupturas que permitem a passagem de soluções para o interior da folha.

Acredita-se que a absorção foliar é processada em duas etapas: **na primeira**, os nutrientes atravessam a cutícula ocupando o apoplasto foliar, local formado pelos espaços intercelulares e

parede celular. Na **segunda etapa**, ocorre a ocupação do interior celular (simplasto foliar), atravessando a membrana plasmática por transporte ativo (com gasto de energia), pois ocorre contra o gradiente de concentração.



### Exemplificando

O estudo dos mecanismos envolvidos na absorção foliar é especialmente importante na agricultura, para uso eficiente da adubação foliar. Esta prática, disseminada em todo o mundo, tem como objetivos:

- Fornecer micronutrientes para culturas instaladas em solos com deficiência nutricional.
- Distribuir adubo uniformemente.
- Corrigir deficiências nutricionais que eventualmente ocorrem no ciclo de vida do vegetal.
- Aspergir nutrientes com o uso de aviões, quando não há a possibilidade de adubar o solo.
- Fornecer nutrientes diretamente aos frutos, entre outras.

Alguns fatores extrínsecos e intrínsecos afetam a absorção foliar, tais como: umidade relativa do ar (umidade alta favorece a absorção foliar), temperatura (quando amena, facilita a absorção foliar), molhabilidade da superfície foliar (a superfície da folha precisa estar molhada para que o nutriente seja absorvido), composição da solução, características da superfície foliar (cutículas finas e alta presença de estômatos favorecem a absorção foliar), idade da folha (quanto mais jovem, maior a capacidade de absorção), estado nutricional da planta (quando deficientes, têm a absorção aumentada).



### Pesquise mais

Para saber mais sobre a adubação foliar, uma das aplicações do conhecimento sobre a absorção foliar, leia o texto *Nutrição mineral de plantas* (FAQUIN, 2005), especialmente as páginas 62-68.

Disponível em: <<https://goo.gl/hfUAuB>>. Acesso em: 12 maio 2018.

A absorção de água e íons pelas raízes é facilitada pela presença dos pelos radiculares (Figura 2.6), que representam uma enorme superfície de absorção.

Figura 2.6 | Pelos radiculares em uma raiz primária de plântula de rabanete (*Raphanus sativus* L.)



Fonte: adaptado de Raven et al. (2014, p. 717).

A entrada da água pela raiz ocorre diretamente pela epiderme dos pelos radiculares e, a partir daí, movimenta-se através do córtex (passando pela exoderme, camada mais externa, e pela endoderme, camada mais interna), até chegar ao cilindro vascular e adentrar o xilema.

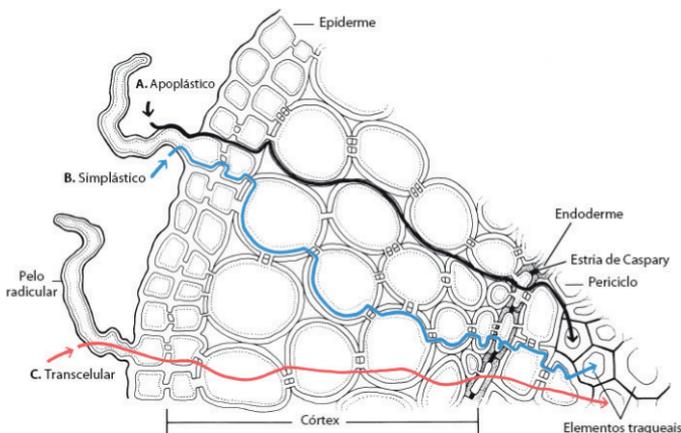
Este caminho, percorrido pela água e pelos solutos pode ocorrer em três circuitos diferentes, os quais denominamos **via apoplasto**, **via simplasto** e **via transcelular**. Vejamos a seguir as características de cada uma destas vias.

No caminho **apoplástico** a água e os íons penetrarão no vegetal e chegarão até o cilindro vascular pelas paredes celulares. Dessa forma, ela contorna externamente as células, sem precisar atravessar a membrana plasmática até chegar à endoderme. Conforme visto na Seção 1.3, a endoderme possui as estrias de Caspary, que são impermeáveis à água, forçando-a a entrar no protoplasto da célula.

Este processo é importante, pois as impurezas e patógenos trazidos do solo são eliminados pela célula antes que a seiva chegue ao xilema. Uma vez que a endoderme é atravessada, a água e os íons retornam para o apoplasto até completarem o seu caminho.

Na **via simplástica** a água e os íons atravessam os tecidos de protoplasto a protoplasto, passando pelos plasmodesmos (canais que conectam as células). Já na via transcelular o transporte ocorre célula a célula, fazendo com que a água e os solutos passem pela membrana plasmática. A Figura 2.7 apresenta um esquema das três vias de passagem da seiva inorgânica.

Figura 2.7 | Movimento de água (e íons) no interior da raiz



Fonte: Raven et al. (2014, p. 718).



## Assimile

Na maioria dos casos o transporte de soluto do meio para o interior da célula, atravessando a membrana plasmática, ocorre juntamente com o transporte de água. No entanto, para os solutos, ocorre gasto de energia para gerar um gradiente eletroquímico que ativa os canais iônicos e as bombas (transporte ativo). Este tipo de transporte, somado à entrada passiva de íons no interior da célula (quase insignificante se comparado ao transporte ativo), torna a entrada de soluto no interior das células independente do transporte de água.

Vimos na Seção 2.1 que a água penetra na raiz por osmose, passando do local em que há menor concentração de soluto para onde há maior concentração, ou seja, do potencial hídrico maior para o menor. Ao penetrar na raiz a água pode mover-se passando por três vias: apoplástica, simplástica e transcelular, até chegar ao cilindro vascular e entrar no xilema. A partir do xilema, a água e os solutos são transportados ascendentemente, contra a gravidade, até as partes mais altas da planta. Mas como isso ocorre? Que forças estão envolvidas neste transporte? Isto é o que veremos a seguir.

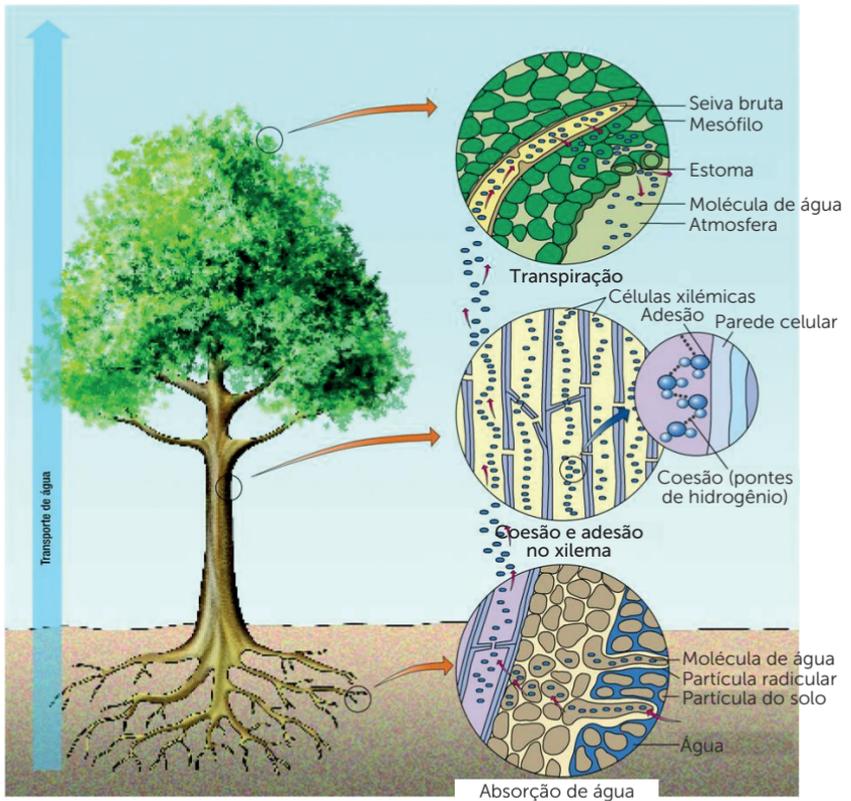
Para que o movimento de água e íons parta do solo em direção às partes mais altas da planta, é necessário uma interação entre o solo, a planta e a atmosfera em um sistema contínuo de transporte. O mesmo é denominado **sistema solo-planta-atmosfera** (SSPA). A existência deste movimento ocorre devido à diferença de potencial hídrico entre estes três meios: o solo apresenta o maior potencial hídrico em comparação com o interior da planta que, por sua vez, apresenta um potencial hídrico maior que a atmosfera. Este fato provoca um transporte de água do solo em direção às folhas à medida que a transpiração ocorre, arrastando consigo uma coluna de água, processo facilitado pelas propriedades da água – que estudamos na Seção 2.1.

Para que você compreenda como esta coluna de água é formada, saiba que à medida que a água evapora pela transpiração, a concentração de solutos no interior das células aumenta e o potencial hídrico diminui. Desta forma, ocorre a formação de um gradiente de potencial hídrico entre uma célula que está saturada de soluto e a sua célula vizinha. Como resposta, a água passa de uma célula com maior potencial hídrico para aquela que tem potencial hídrico menor, com o intuito de dissolver o soluto. Este processo ocorre célula a célula e exerce uma tensão na água de dentro do xilema, fazendo com que ela alcance as folhas.

A união entre os conceitos sobre o movimento da coluna de água contra a gravidade, impulsionada pela transpiração, e as propriedades físico-químicas da água, forneceu as bases para a proposição da teoria da tensão-coesão-adesão (Figura 2.8) para explicar o movimento de água pelo xilema. A tensão seria provocada pela pressão negativa sofrida como consequência da transpiração; a coesão entre as moléculas de água cria condições para que uma

coluna seja criada, com força suficiente para que as moléculas permaneçam unidas durante a ascensão no xilema. Já a adesão é a capacidade que as moléculas de água, que são polares, possuem de aderirem às paredes das traqueídes e elementos de vasos do xilema, ambas polares, tal como as folhas.

Figura 2.8 | Esquema do transporte de água pela planta



Fonte: adaptada de Oliveira, Ribeiro e Silva (2008, p. 136).



## Assimile

Em determinadas condições (incluindo transpiração reduzida ou ausente, observada em períodos noturnos), as plantas conseguem criar uma pressão positiva na raiz e fazer com que a água se mova para dentro do xilema com pressão suficiente para subir por ele, fenômeno

denominado pressão de raiz. Por estar envolvido pelas células da endoderme, o xilema tende a acumular íons em seu interior, tornando-se hipertônico em relação às células corticais e epidérmicas da raiz. A água tende, então, a penetrar pelas células epidérmicas da raiz e se difundirem célula a célula até chegarem ao xilema, forçando uma subida. Os efeitos da pressão da raiz podem ser observados no início da manhã, por meio da formação de gotículas de águas na ponta das folhas (gutação, que estudaremos melhor na próxima seção). Embora seja um mecanismo importante no auxílio da translocação de água no xilema, a "pressão da raiz" não consegue sozinha impulsionar a água para grandes alturas e, portanto, não é suficiente para explicar o transporte de água pelo xilema.

Conforme apresentado ao longo desta unidade, a água exerce um papel fundamental nos vegetais, participando de processos metabólicos importantes. A dinâmica de absorção de água é complexa e envolve uma estreita relação entre o solo, a planta e a atmosfera. Alguns fatores que alterem esta dinâmica, agindo sobre um destes três elementos (ou em todos eles) podem afetar a absorção de água pela planta.

A presença de água no solo é condição fundamental para que ocorra a absorção. Ela pode ser encontrada no solo sob diversas formas, e seu tipo pode influenciar na sua capacidade de retenção. Solos arenosos, por exemplo, possuem boa aeração (condição importante para a sobrevivência das células radiculares), no entanto, possuem baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. Os solos argilosos retêm mais água e nutrientes em comparação aos arenosos, porém, a aeração é menor. A presença de matéria orgânica no solo é outro fator importante para a retenção de água, visto que a matéria orgânica auxilia no aumento do volume e tamanho dos poros no solo, favorecendo o acúmulo de água.

A alteração da estrutura do solo, por meio da compactação, por exemplo, reduz os macro e microporos do mesmo, diminuindo conseqüentemente a sua capacidade de retenção de água, além de dificultar a penetração das raízes. Ainda pensando na estrutura, a sua profundidade (e estratificação) também pode ser um fator condicionante da absorção de água, uma vez que influencia na penetração das raízes e infiltração da água.



## Assimile

É importante esclarecer que mesmo que as condições do solo influenciem na sua capacidade de retenção de água, é necessário que as suas condições sejam previamente analisadas antes de inferir que seja ele o responsável pelo insucesso da sobrevivência de um vegetal, já que a capacidade de absorção de água em diferentes condições edáficas (do solo) pode variar de acordo com a espécie vegetal.

Assim como a estrutura do solo pode influenciar na sua retenção de água e conseqüentemente na água disponível para a absorção, as características dos vegetais também têm papel fundamental na taxa de absorção. Entre eles, podemos destacar a extensão da superfície com pelos radiculares, o tamanho da raiz, a capacidade de retenção de íons pelas células, a taxa de transpiração, entre outros.

Estudamos nessa seção que a transpiração é a força motriz que succiona a água através do xilema, contra a gravidade. Portanto, qualquer fator que a afete (direta ou indiretamente) refletirá também a absorção. Dentre eles, podemos citar a umidade atmosférica, o balanço de energia entre o sol e a folha, a presença de vento, a temperatura do ar, etc.



## Reflita

Nas Seções 1 e 2 desta unidade, discutimos sobre a importância da água para as plantas e os mecanismos envolvidos em seu transporte pelo corpo do vegetal. Porém, você já reparou que algumas espécies podem sobreviver por mais tempo na ausência de água do que outras? Já se perguntou como isto é possível? Você acredita que o uso de plantas transgênicas com capacidade de sobreviverem por mais tempo em períodos de escassez hídrica representa mais vantagens ou desvantagens sob o ponto de vista social e ecológico? Reflita sobre estas questões.

Chegamos ao final de mais uma seção da Unidade 2. Para que você obtenha sucesso em seus estudos, não deixe de reler os assuntos apresentados, anotando suas dúvidas e os pontos mais relevantes.

Bons estudos!

Prezado aluno, no início desta seção você realizou a sua segunda visita a campo, acompanhado dos estagiários, com o objetivo de verificar um problema de murcha em plântulas, apesar de condições do solo (pH, salinidade, presença de nutrientes) favoráveis ao desenvolvimento dos vegetais. Levando em consideração tais condições, foi solicitado que você respondesse aos seguintes questionamentos: como você explicaria o que pode estar acontecendo para que estes vegetais estivessem neste estado? Que fenômeno fisiológico está sendo afetado em tais condições? O que você poderia propor para tentar solucionar este problema? Em condições normais, como este fenômeno ocorre?

Para a resolução deste problema, é importante verificar que, estando as condições de pH, salinidade e nutrientes do solo normais, é preciso também verificar a disponibilidade de água do mesmo para as plantas. Neste caso, poderíamos inferir que o processo de absorção está sendo prejudicado nessas condições.

Em condições normais, a absorção de água pela planta é regida pela teoria da tensão-coesão-adesão, que explica que a transpiração provoca uma tensão no interior dos vasos xilemáticos, além de provocar uma pressão negativa, estimulando a água a penetrar do solo para as células radiculares. A coesão entre as moléculas de água cria condições para que uma coluna seja criada, com força suficiente para que as moléculas permaneçam unidas durante a ascensão no xilema. Por fim, a adesão é a capacidade das moléculas de água, que são polares, aderirem às paredes das traqueídes e elementos de vasos do xilema.

Além disso, em condições especiais (incluindo transpiração reduzida ou ausente, observada em períodos noturnos), há a formação de uma pressão positiva na raiz que faz com que a água se mova para dentro do xilema com pressão suficiente para subir por ele. Este fenômeno é denominado pressão de raiz, e ocorre porque por estar envolvido pelas células da endoderme, o xilema tende a acumular íons em seu interior, tornando-se hipertônico em relação às células corticais e epidérmicas da raiz. A água tende, então, a penetrar pelas células epidérmicas da raiz

e se difundirem célula a célula até chegarem ao xilema, forçando uma subida.

No entanto, vimos nesta seção que diversos fatores podem afetar a absorção de água pela planta, entre eles, aqueles que interferem direta ou indiretamente no solo, na planta e nas condições atmosféricas. O tipo de solo, bem como alterações em sua estrutura, pode influenciar na sua capacidade de retenção de água. Solos arenosos, por exemplo, possuem boa aeração, no entanto, apresentam baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. Os solos argilosos retêm mais água e nutrientes em comparação aos arenosos, porém, a aeração é menor. A presença de matéria orgânica no solo é outro fator importante para a retenção de água, visto que a matéria orgânica auxilia no aumento do volume e tamanho dos poros no solo, favorecendo o acúmulo de água. A alteração da estrutura do solo, por meio da compactação, por exemplo, reduz os macro e microporos do mesmo, diminuindo conseqüentemente a sua capacidade de retenção de água, além de dificultar a penetração das raízes. Ainda pensando na estrutura do solo, a sua profundidade (e estratificação) também pode ser um fator condicionante da absorção de água, uma vez que influencia na penetração das raízes e infiltração da água.

Com relação às características dos vegetais, fatores como a extensão da superfície com pelos radiculares, o tamanho da raiz, a capacidade de retenção de íons pelas células e a taxa de transpiração podem afetar a taxa de absorção de água pelas plantas. Além disso, estudamos que a transpiração é a força motriz que succiona a água através do xilema, contra a gravidade. Portanto, qualquer fator que a afete direta ou indiretamente, afeta também a absorção. Dentre eles, podemos citar a umidade atmosférica, o balanço de energia entre o sol e a folha, a presença de vento, a temperatura do ar, etc.

Uma possível solução para o problema seria um estudo mais detalhado sobre o processo de irrigação que está sendo realizado, para verificar se o volume de água gerado é suficiente para suprir as necessidades hídricas da planta.

### Um novo produto no mercado

#### Descrição da situação-problema

Você foi contratado por uma indústria que fabrica fertilizantes para atuar na área de teste do produto em algumas culturas vegetais. Para realizar este trabalho, você será acompanhado por um técnico, que será responsável pela aplicação do produto. Antes de iniciar os testes, você identificou algumas informações no rótulo do produto: 1) "Este produto deve ser diluído em água e aplicado sobre o vegetal com um pulverizador". 2) "Contém substância que facilita a penetração do produto através da cutícula". Ouvindo as informações lidas no rótulo, o técnico lhe fez as seguintes perguntas: por que este produto será pulverizado e não jogado ao solo? Como a planta fará a absorção de nutrientes neste caso? Quais são as vantagens desta técnica? Que condições climáticas seriam favoráveis para a aplicação do produto?

#### Resolução da situação-problema

A partir das informações contidas no rótulo é possível identificar que o produto a ser testado será utilizado na adubação foliar, uma técnica amplamente utilizada na agricultura, que consiste na aplicação de solução contendo nutrientes sobre as folhas das plantas, para que ocorra a absorção foliar. Esta absorção é possível graças à presença de microcanais e rupturas na cutícula que permitem a passagem de soluções para o interior da folha. Acredita-se que a absorção foliar se processa em duas etapas: na primeira, os nutrientes atravessam a cutícula ocupando o apoplasto foliar, local formado pelos espaços intercelulares e parede celular. Na segunda etapa, ocorre a ocupação do interior celular, atravessando a membrana plasmática por transporte ativo, pois ocorre contra o gradiente de concentração. Entre as vantagens desta técnica destacam-se o fornecimento de micronutrientes para culturas instaladas em solos com deficiência nutricional, a distribuição de adubo uniformemente, a correção de deficiências nutricionais que eventualmente ocorrem no ciclo de vida do vegetal, a aspersão de nutrientes com o uso de aviões,

quando não há a possibilidade de adubar o solo, o fornecimento de nutrientes diretamente aos frutos, entre outras. Algumas condições ambientais favorecem a absorção foliar, dentre elas a umidade relativa do ar, quando alta favorece a absorção foliar, e a temperatura, quando amena facilita a absorção foliar.

## Faça valer a pena

**1.** Realizando uma experiência em laboratório, um pesquisador verificou que ao cortar uma porção do caule de uma planta, deixando-lhes apenas a raiz, o xilema continuou a receber água, mesmo na ausência da transpiração foliar.

Enunciado:

Este fenômeno, observado pelo pesquisador, pode ocorrer graças à:

- a) Pressão de raiz.
- b) Tensão.
- c) Coesão.
- d) Adesão.
- e) Difusão.

**2.** A absorção é um fenômeno importante para a sobrevivência dos vegetais, pois é através dela que ocorre a aquisição de água e nutrientes. Uma prática observada na agricultura e que tem relação com a absorção é a aplicação de soluções nutritivas nas folhas dos vegetais, em um processo denominado adubação foliar.

Este processo de absorção é possível porque:

- a) As membranas celulares das células radiculares são permeáveis à água, mas impermeáveis aos solutos, necessitando que estes sejam inseridos no vegetal por outros mecanismos, diferentes da absorção radicular.
- b) Em locais com temperaturas elevadas, como na faixa equatorial que se destaca ao norte do Brasil, este tipo de absorção é o único que se processa de forma eficiente na nutrição vegetal.
- c) As células cuticulares das folhas apresentam microcanais e rupturas que permitem a passagem da solução de água e íons para o interior da folha.
- d) Muitas regiões do Brasil apresentam escassez hídrica e a absorção foliar representa uma forma de inserção de nutrientes na planta, sem que os mesmos estejam dissolvidos em água.

e) Em muitas espécies de plantas utilizadas na agricultura, a raiz apresenta apenas a função de suporte do vegetal e não de absorção.

**3.** A água que penetra pela epiderme radicular, chega até o xilema podendo tomar três rotas diferentes: a apoplástica, a simplástica e a transmembrana.

A respeito das vias de transporte da água, analise as assertivas.

I. Se uma planta tivesse como rota exclusiva de transporte de água a via apoplástica, a água jamais precisaria entrar para o interior da célula.

II. Na via simplástica, a água é transportada célula a célula via plasmodesmos.

III. Na via transcelular, o transporte ocorre célula a célula devendo a água atravessar a membrana plasmática.

Após a análise das assertivas, marque a alternativa que apresenta a resposta correta.

a) I, II e III estão corretas.

b) Apenas I e II estão corretas.

c) Apenas II e III estão corretas.

d) Apenas I e III estão corretas.

e) Apenas II está correta.

## Seção 2.3

### Água na planta: mecanismo estomático, transpiração e gutação

#### Diálogo aberto

Caro aluno, para que o vegetal realize a fotossíntese, imprescindível que haja dióxido de carbono disponível para o processo. Este gás alcança o mesófilo foliar por meio dos estômatos, que também é a via pela qual as plantas perdem água. Esta seção será dedicada ao estudo dos mecanismos de abertura e fechamento dos estômatos e os fatores envolvidos na transpiração e gutação.

No início da unidade você foi contratado por uma indústria de papel e celulose para atuar no setor de produção madeireira e gestão ambiental. Dentre as suas atribuições está a elaboração e o acompanhamento da execução de projetos de reflorestamento; o monitoramento do desenvolvimento das mudas, realização de análises do solo e desenvolvimento de projetos na área de educação ambiental. Cada ação por você realizada tem sido registrada e, por isso, periodicamente uma de suas atribuições é elaborar um relatório informando os procedimentos que foram realizados. As duas primeiras partes do relatório já foram concluídas nas Seções 2.1 e 2.2.

Nesta seção, que corresponde à sua terceira e última visita a campo, acompanhado do grupo de estagiários, você voltou à área em que verificou a ocorrência de mudas com folhas de aspecto murcho, para verificar se a solução proposta estava dando resultados. Observou que grande parte do problema havia sido resolvido e algumas poucas plantas ainda não havia se recuperado. Aproveitando a área que estavam visitando, você decidiu mostrar um fenômeno ao grupo e, para isso, envolveu uma folha de uma das mudas com um saco plástico transparente e aguardou alguns minutos. Que fenômeno você deseja mostrar aos alunos? O que se espera que ocorra no interior do saco

plástico? Para que os alunos consigam ver o resultado mais rápido, é melhor envolver uma folha com aspecto murcho ou túrgido? Por quê? Lembre-se que a descrição do resultado e explicação do fenômeno mostrado aos alunos também deve fazer parte de seu relatório, que será entregue à empresa. Para isso, não deixe de atentar para as explicações sobre as perdas por transpiração e mecanismos estomáticos, conteúdos abordados nesta seção.

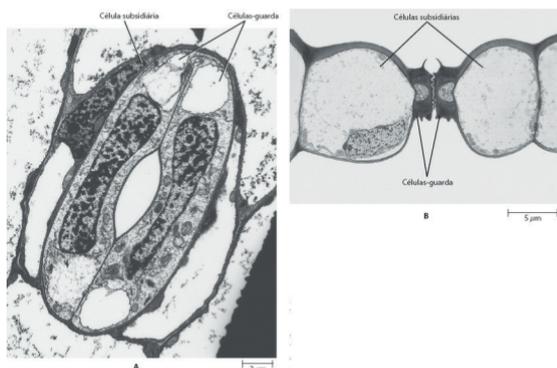
## Não pode faltar

Nas Seções 2.1 e 2.2, foram apresentados, respectivamente, os mecanismos de transporte de água e soluto através da membrana e a dinâmica envolvida na absorção de seiva orgânica do solo, bem como o seu movimento pelo corpo da planta. Nesta seção, serão elucidados os mecanismos envolvidos na abertura e fechamento dos estômatos e a forma como ocorrem as perdas de água pela planta, seja por transpiração ou por gutação.

Antes de iniciarmos os nossos estudos, você se lembra o que são os estômatos? Sabe quais são as suas funções? Os estômatos são estruturas epidérmicas responsáveis pela troca de gases (gás carbônico e oxigênio) e vapor de água entre o meio externo (atmosfera) e os tecidos vegetais. Tais funções estão intimamente ligadas a processos vitais importantes, como a transpiração, a fotossíntese e a respiração e em decorrência disto, a intensidade destes processos está condicionada ao grau de abertura dos estômatos.

Neste contexto, convém relembrarmos como é a estrutura dos estômatos (Figura 2.9), formados por duas células-guardas (células estomáticas), delimitando uma fenda, denominada ostíolo. Além disso, apresentam duas ou mais células subsidiárias adjacentes a uma câmara subestomática, que está interligada aos espaços intercelulares.

Figura 2.9 | Estrutura do estômato



Fonte: Raven et al. (2014).

As células estomáticas possuem cloroplastos e, portanto, são capazes de realizar fotossíntese (diferente do que ocorre com outras células epidérmicas). A localização dos estômatos na folha pode variar dependendo da espécie. Em espécies cujas folhas apresentem os estômatos em ambas as faces da folha (epiderme adaxial e abaxial) damos o nome de anfiestomáticas. Nas folhas hipoestomáticas, os estômatos são encontrados principalmente na epiderme abaxial e em espécies que apresentam folhas flutuantes principalmente na parte adaxial (epiderme superior) da folha e, portanto, recebem o nome de folhas epiestomáticas.

O conhecimento da anatomia dos estômatos é importante para a compreensão do mecanismo de abertura e fechamento da estrutura, que influenciará na taxa de transpiração do vegetal.

Você aprendeu na Seção 2.2 que a transpiração é um dos fenômenos que ocorre no corpo da planta, e podemos analisar este processo sob dois vieses: no primeiro como uma solução importante para o transporte de água a longas distâncias através do xilema, pois cria uma força de sucção ao favorecer a criação de uma pressão negativa no topo da planta. Além disso, o gás carbônico, essencial para a realização da fotossíntese, penetra na célula por difusão e solubilizado, já que a membrana plasmática é quase impermeável a sua entrada. Esta solubilização ocorre graças à ocorrência da transpiração e a entrada de dióxido de carbono dá-se através dos estômatos.

Na segunda perspectiva temos o problema da perda de água pela planta, que ocorre por meio deste mesmo mecanismo e,

conforme apresentado na Seção 2.1, a água é fundamental para diversos processos vitais que ocorrem no corpo do vegetal e a sua perda excessiva pode gerar consequências danosas às espécies.



### Refleta

Você conheceu algumas das principais e mais importantes funções da transpiração para os processos fisiológicos dos vegetais. E quanto à vida dos seres humanos e demais animais, como ela é afetada pela transpiração vegetal? Reflita sobre o assunto.

Para equilibrar a necessidade de dióxido de carbono (essencial para que a fotossíntese ocorra) e a perda excessiva de água (uma consequência da abertura estomática), os estômatos podem controlar a sua abertura, num processo denominado condutância estomática, que envolve a atuação das células-guarda e das células subsidiárias, seja por influências de fatores endógenos (por exemplo, atuação hormonal) ou exógenos (condições ambientais).



### Pesquise mais

A condutância estomática foliar pode ser utilizada como indicador da deficiência hídrica e, para isso, utiliza-se um aparelho denominado porômetro. Para conhecer mais sobre a relação entre a condutância estomática e a deficiência hídrica, acesse o artigo de **Oliveira; Fernandes; Rodrigues (2005)**.

Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v25n1/24874.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2018.

A abertura do estômato ocorre devido à entrada de soluto nas células-guarda, tornando o seu meio mais concentrado e consequentemente com potencial osmótico mais negativo. Esta entrada ocorre em decorrência do bombeamento de íons, principalmente o cloreto, potássio e malato (um composto de carbono sintetizado pelas células-guarda). Com o meio mais concentrado, ocorre uma tendência de entrada de água através da membrana, em direção ao interior da célula estomática. Isto torna a célula túrgida, promovendo a abertura do estômato (exposição do ostíolo).



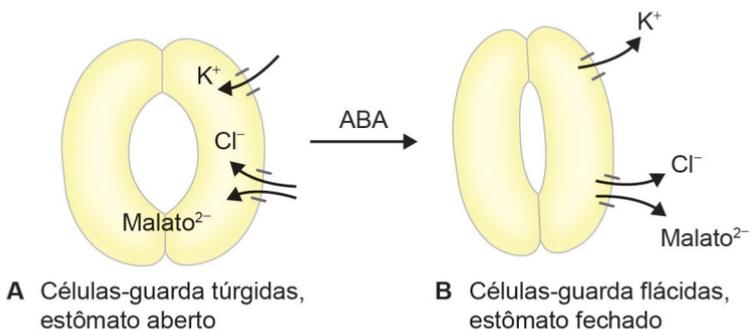
A estrutura da célula-guarda tem um papel muito importante nos movimentos estomáticos. A disposição das microfibrilas (formadas por moléculas de celulose) presentes nas paredes das células-guarda em arranjo radial permite o alongamento da célula, sem que a mesma expanda lateralmente.

Estudos indicam que o fitormônio ácido abscísico possui um receptor na membrana plasmática das células-guardas e que ao se ligar a ele, promove a abertura dos canais de cálcio que, uma vez no citosol, atua abrindo os canais iônicos pelos quais os íons cloreto e o malato saem da célula. Com a saída dos íons, o meio intracelular se torna menos concentrado, ocorre a perda de água pela célula-guarda e, com isso, ela perde a sua turgidez (ocorre redução da pressão de turgor). Este processo resulta no fechamento do estômato.

Quando o ácido abscísico se desconecta de seu receptor, o seu sinal é perdido e, lentamente, a célula passa a bombear os íons novamente para o seu interior, através da bomba de prótons ( $H^+$ -ATPase) presente na membrana plasmática.

A Figura 2.10 esquematiza o processo de abertura e fechamento do estômato, provocadas, respectivamente, pela entrada de íons potássio, cloreto e malato nas células guarda e saída dos mesmos de seu interior.

Figura 2.10 | Esquema da abertura e fechamento dos estômatos



Fonte: Raven et al. (2014).



Para visualizar como ocorre o mecanismo de abertura e fechamento do ostíolo dos estômatos, não deixe de assistir ao vídeo *Estômatos e transpiração* (2007).

Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=dTzjr-kKO34>>.  
Acesso em: 24 maio 2018.

Conforme mencionado no início dessa seção o grau de abertura dos estômatos influencia em processos vitais importantes, como a transpiração, a fotossíntese e a respiração, também podendo ser influenciado por fatores ambientais como intensidade de luz, concentração de dióxido de carbono e disponibilidade de água.

Em condições em que a intensidade luminosa está alta a tendência é que os estômatos se abram para captação de dióxido de carbono, já que é um período favorável à realização da fotossíntese. Em períodos noturnos, por exemplo, em que a taxa fotossintética é muito baixa ou ausente, os estômatos tendem a permanecer fechados, uma vez que não há a necessidade de captação de dióxido de carbono e a sua abertura envolve perda de água, neste caso, desnecessária.

A presença de dióxido de carbono no mesófilo foliar é uma condição em que ocorre o fechamento do ostíolo do estômato, pois se há a presença deste gás no interior do vegetal, não há necessidade de realizar a sua captação. Caso ocorra o oposto, ou seja, se faltar dióxido de carbono no mesófilo, automaticamente a planta necessita que seus estômatos se abram, para que o gás seja captado e a fotossíntese tenha condições de ocorrer.

Nos casos de escassez hídrica, em que não há suprimento de água no solo para absorção, o estômato tende a se fechar para economizar a água presente no vegetal. Quando as condições ambientais mudam e passa a ocorrer precipitação, a água infiltrada no solo fica disponível para as raízes e os estômatos se abrem para a captação do dióxido de carbono, sem que a perda de água cause desidratação severa ao vegetal.

Portanto, a evolução da anatomia foliar privilegiou a ocorrência da fotossíntese em detrimento da necessidade de economia de água pela planta. Em contrapartida, favoreceu o

desenvolvimento de um controle de abertura estomática que mantivesse uma taxa fotossintética máxima, com uma taxa de transpiração mínima. A relação entre a taxa fotossintética e a taxa de transpiração varia de acordo com a espécie vegetal, denominada eficiência no uso da água.



### Exemplificando

Um trabalho conduzido por Junior et al (2008), mostra que a mamoeira, apesar de apresentar uma produtividade diminuída sob déficit hídrico, demonstrou alta eficiência no uso da água, uma vez que se verificou a alta produção de fitomassa, indicando eficiência elevada na transformação da água consumida em matéria seca.

De acordo com o conteúdo estudado até aqui, a perda de água do vegetal para atmosfera na forma de vapor, fenômeno que conhecemos como transpiração, é uma consequência da abertura dos estômatos, já que a maior parte da água presente no corpo da planta sai para o meio desta forma. Porém, uma pequena fração da água perdida para o ambiente também pode ocorrer pela cutícula, na transpiração cuticular. Vejamos a seguir, como ocorrem estes dois tipos de transpiração.

A água pode evaporar de toda a superfície da planta que está em contato com a atmosfera, seja atravessando a cutícula, pelos estômatos ou por meio das lenticelas (aberturas presentes em regiões suberizadas da planta, como o caule lenhoso, por exemplo). É um processo importante para o vegetal, por permitir o transporte de água a longas distâncias e solubilização de dióxido de carbono, conforme relatado anteriormente nesta seção, além de promover o resfriamento do vegetal e atuar no crescimento vegetal (por meio da turgescência).

A transpiração ocorre em duas etapas: evaporação e difusão. A evaporação ocorre a partir da passagem de água das células do mesófilo (que estão frouxamente dispostas) para os espaços intercelulares e se difunde para a atmosfera via estômatos. Ocasionalmente pode ocorrer a passagem direta pela cutícula, quando os estômatos estão fechados. Ao passar para a atmosfera, próximo à superfície foliar, forma-se uma pequena camada de ar com alta concentração de vapor de água, que rodeia a folha. Esta

camada é denominada “camada-limite”. Quando a concentração de vapor d’água na camada limite é maior que a do ar no entorno desta camada, ocorre a perda de água na forma de vapor.

O processo de transpiração é condicionado pela influência de fatores ambientais, como a umidade e temperatura do ar, o vento, a energia entre o sol e a folha e a disponibilidade hídrica no solo. Tais fatores são capazes de alterar o gradiente de vapor de água entre a camada-limite e o ar que a envolve.

Você sabia que além da transpiração estomática e cuticular, a planta pode perder água por um processo denominado gutação? Trata-se de um fenômeno em que a água sai da planta em estado líquido (diferente do que ocorre na transpiração, em que a água está na forma de vapor), por meio de estruturas denominadas hidatódios.

Os hidatódios são estruturas parecidas com estômatos modificados, contendo poros aquíferos por onde são liberados água, além de soluções contendo íons inorgânicos ou substâncias orgânicas. Estão localizados na margem das folhas (Figura 2.11).

Na gutação formam-se gotículas de água nas margens (ou ápice) da folha (Figura 2.11) devido à pressão da raiz, apresentada na Seção 2.2. Esta pressão ocorre quando a transpiração está lenta ou ausente e, neste caso, a raiz secreta íons para o interior do xilema para forçar a entrada de água em seu interior. Como consequência, a água é forçada para fora das folhas.

Figura 2.11 | Gutação



Fonte: <<https://goo.gl/uQpfzL>>. Acesso em: 24 maio 2018.

A perda de água por transpiração é inevitável, visto que se trata de uma consequência da necessidade dos organismos vegetais e de absorção de dióxido de carbono. Porém, se ocorrer em excesso nos dias quentes e ensolarados, pode provocar uma murcha passageira nos períodos mais quentes do dia (ao meio-dia, por exemplo) ou causar murcha permanente e morte por desidratação, caso o solo não receba um suprimento adequado de água (por chuva ou irrigação).

A murcha pode provocar paralisação do crescimento do vegetal, uma vez que a turgescência da célula gera uma pressão na membrana celular que estimula o alongamento da célula.



### Assimile

Para minimizar a perda de água por transpiração, além do controle da abertura e fechamento dos estômatos, estudados no início desta seção, a planta conta com a presença da cutícula, que possui em sua composição a cutina (macromolécula de ácidos graxos) que é mais ou menos impermeável, recobrendo a sua epiderme foliar. A presença de tricomas nas folhas auxilia na redução de sua temperatura e, conseqüentemente, da evaporação da água (caso não se lembre o que são os tricomas, releia a Seção 1.2). Alguns vegetais que vivem em ambientes com constante estresse hídrico (plantas xerófitas) apresentam ainda folhas modificadas em espinhos para reduzir a superfície disponível para a transpiração.

Chegamos ao final de mais uma unidade, e para que o seu aprendizado seja efetivo é importante que você retome a leitura da seção, anotando as suas dúvidas e informações mais relevantes.

Bons estudos!

Nesta seção você realizou a sua terceira e última visita a campo, em que observou que grande parte do problema de murcha observado em uma área visitada na seção anterior, havia sido resolvido e algumas poucas plantas ainda não haviam se recuperado. Aproveitando a área que estavam visitando, você resolveu envolver uma folha de uma das mudas com um saco plástico transparente e mostrar para os alunos um fenômeno que estaria ocorrendo naquele momento. Que fenômeno mostrar aos alunos? O que se espera que ocorra no interior do saco plástico? Para que os alunos consigam ver o resultado mais rápido, é envolver uma folha com aspecto murcho ou túrgido? Por quê?

O fenômeno que deseja mostrar aos alunos é a transpiração, que corresponde à liberação de água na forma de vapor do interior da planta, que pode ocorrer via estômatos (via pela qual ocorre a maior parte da transpiração) ou passando através da cutícula. O primeiro caso, chamamos de transpiração estomática, e no segundo caso tem-se a transpiração cuticular.

Uma vez que a folha foi envolvida com um saco plástico, espera-se que a transpiração se processe em seu interior, resultando no acúmulo de vapor de água no interior do plástico.

O processo pode ser melhor observado durante os períodos de maior luminosidade e em folhas que estejam túrgidas, uma vez que esta condição indica que existe suprimento de água no solo para absorção e, portanto, o estômato tende a se abrir para a captação do dióxido de carbono, sem que a perda de água cause desidratação severa ao vegetal. Esta abertura do estômato intensifica a transpiração. Isto quer dizer que existe relação entre a disponibilidade hídrica para o vegetal e a transpiração.

Com esta última visita, o seu relatório tem a terceira parte e pode ser finalizado. Lembre-se que para entregá-lo ao responsável pelo seu setor, deverá conter as observações realizadas nos três dias de visita.

### Ácido abscísico para falta de água

#### Descrição da situação-problema

Você foi convidado para acompanhar a produção de mudas em uma estufa que tem como objetivo o cultivo de plantas para reflorestamento. Em determinado período de seca, a estufa precisou realizar um racionamento de água, e a irrigação das mudas ficou prejudicada. Como medida de emergência, você solicitou a aplicação de ácido abscísico nas plantas. Dessa forma, a equipe que irá realizar o procedimento faz os seguintes questionamentos: qual é o objetivo desta medida? Que processo fisiológico ocorrerá na planta que provocará economia de água?

#### Resolução da situação-problema

O ácido abscísico é um fitormônio que apresenta, entre suas várias atribuições, atuação no fechamento dos estômatos. Isto ocorre porque, ao se ligar à um receptor específico na membrana plasmática, o fitormônio promoverá a abertura dos canais de cálcio que, uma vez no citosol, abrirá os canais iônicos pelos quais os íons cloreto e o malato saem da célula. Com a saída dos íons, o meio intracelular se torna menos concentrado e, então, ocorre a perda de água pela célula-guarda. Como resultado, a célula perderá a sua turgidez, ocasionando o fechamento do ostíolo e interrompendo a transpiração.

## Faça valer a pena

**1.** Em períodos em que a luminosidade está ausente, a absorção sofre a atuação da pressão de raiz, processo em que a raiz secreta íons para o xilema, forçando a entrada de água em seu interior. Como consequência, a água é forçada para fora das folhas.

A respeito do processo descrito no texto, marque a alternativa correta.

a) Trata-se da transpiração cuticular, com liberação de vapor de água pela cutícula.

- b) Trata-se da transpiração estomática, com liberação de vapor de água pelo estômato.
- c) Trata-se da gutação, com liberação de vapor de água pelo hidatódio.
- d) Trata-se da gutação, com liberação de água líquida pelo hidatódio.
- e) Trata-se da gutação, com liberação de água líquida pela cutícula.

**2.** A transpiração é o processo pelo qual ocorre a eliminação de água da planta na forma de vapor. A respeito deste processo, analise as assertivas a seguir:

- I. O processo de transpiração ocorre unicamente através dos estômatos, por isso, é denominada transpiração estomática.
- II. A luminosidade pode afetar o mecanismo de controle de abertura do estômato e, conseqüentemente, a transpiração. Em casos em que a luminosidade está alta, os estômatos tendem a fechar para economizar a água da planta.
- III. A transpiração ocorre em duas etapas: evaporação e difusão. A evaporação ocorre a partir da passagem de água das células do mesófilo, que estão frouxamente dispostas, para os espaços intercelulares e, posteriormente, se difunde para a atmosfera.

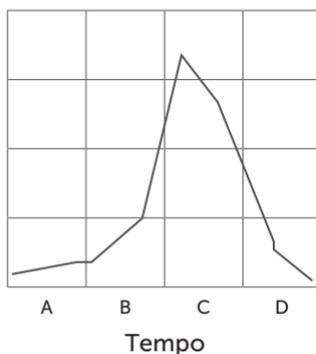
Após a análise das assertivas, marque a alternativa que contém a resposta correta.

- a) As assertivas I, II e III estão corretas.
- b) Apenas as assertivas I e II estão corretas.
- c) Apenas as assertivas I e III estão corretas.
- d) Apenas a assertiva III está correta.
- e) Apenas as assertivas II e III estão corretas.

**3.** O gráfico a seguir mostra a relação entre a quantidade de água transpirada e o tempo (representado pelos períodos A, B, C e D), em uma planta em ambiente com temperatura de 25 °C, durante o período de 24 horas.

Figura 2.12 | Transpiração vegetal

### Quantidade de água eliminada na transpiração



Fonte: adaptado de FUVEST (2005).

A respeito do gráfico, analise as assertivas a seguir:

- I. Pode-se dizer que a luminosidade no período A é maior que a luminosidade no período C.
- II. Pode-se dizer que no período C está ocorrendo grande quantidade de captação de dióxido de carbono pelos estômatos.
- III. De A para B houve um aumento na quantidade de água eliminada pela transpiração.

Enunciado:

Após a análise do gráfico e das assertivas, marque a alternativa que contém a resposta correta.

- a) Apenas II e III estão corretas.
- b) Apenas I e III estão corretas.
- c) Apenas I e II estão corretas.
- d) Apenas III está correta.
- e) I, II e III estão corretas.

# Referências

- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. *Anatomia vegetal*. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006.
- BARROS JUNIOR, Genival; GUERRA, Hugo O. C.; CAVALCANTI, Mario L. F. Consumo de água e eficiência do uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 350-355, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n4/v12n04a03.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2018.
- CUTTER, Elizabeth. *Anatomia vegetal – parte I – células e tecidos*. 2. ed. São Paulo: Roca, 2002.
- EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. Raven. *Biologia vegetal*. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
- KERBAUY, Gilberto B. *Fisiologia vegetal*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- NABORS, Murray W. *Introdução à Botânica*. 1. ed. São Paulo: Roca, 2012.
- PIMENTEL, Carlos. *A relação da planta com a água*. Rio de Janeiro: Edur, 2004.
- RAVEN, Peter H.; EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. *Biologia vegetal*. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
- TAIZ, Lincoln.; ZEIGER, Eduardo. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. São Paulo: Artmed, 2016.
- UZUNIAN, A.; BIRNER, E. *Histologia vegetal*. São Paulo: Harbra, 2014.



# Fotossíntese e respiração

## Convite ao estudo

A fotossíntese é o processo biológico que sustenta a vida no planeta. Graças a ela, a planta utiliza a energia do Sol e seu aparato biológico para captar o  $\text{CO}_2$  atmosférico e convertê-lo em compostos orgânicos. Parte da energia armazenada nestes compostos é utilizada pela planta para o seu desenvolvimento e o restante é disponibilizado para a cadeia alimentar. Se não bastasse a importância que a fotossíntese representa para o fornecimento de energia e matéria-prima para a formação da biomassa vegetal, ela produz o oxigênio como subproduto das reações. Este gás é utilizado pelos seres aeróbios (inclusive as próprias plantas), na respiração celular. Dessa forma, fotossíntese e respiração mostram a sua interdependência: a primeira libera o oxigênio que é utilizado como matéria prima para a segunda; e a segunda, por sua vez, libera – como subproduto de suas reações – o  $\text{CO}_2$  que é empregado pela primeira. E são elas, fotossíntese e respiração, o assunto desta unidade.

Para que consiga aplicar os conhecimentos adquiridos, suponha que você acabou de se graduar e foi contratado por uma empresa de consultoria e assessoria em processos agrícolas e agricultura de precisão que presta serviços na área de inventário florestal, topografia, licenciamento ambiental, outorga de direito de uso de recursos hídricos, além de elaborar perícias e laudos agrônômicos e prestar auxílio a fazendeiros que desejam melhorar a produtividade de suas plantações. Como funcionário desta empresa, além de realizar tais atribuições, você também poderá ser enviado como consultor a diversas partes do país, já que uma das visões da empresa é prestar atendimento a todos os estados brasileiros no patamar de 10 anos. Para desenvolver as atividades dentro da empresa, você foi

inserido em um grupo de trabalho composto por engenheiros ambientais, florestais, agrônomos e biólogos, especializados na prestação de serviços para pequenos agricultores rurais. Dessa forma, você deverá auxiliar um agricultor que apresenta problemas com a produtividade de seus cultivares e deseja, além de solucionar o problema, compreender quais são as suas causas. Para isso, o seu trabalho será desenvolvido ao longo de três visitas à propriedade, e para auxiliar o agricultor na compreensão dos fenômenos envolvidos na produtividade dos vegetais, será necessário o conhecimento sobre o processo de fotossíntese e da respiração celular. Neste aspecto, deverá responder a questões como: o que é a fotossíntese e qual a sua relação com a produtividade? O que ocorre em cada uma das fases da fotossíntese? O que diferencia a fotossíntese nas plantas C3, C4 e CAM? Que relação existe entre a fotossíntese e a fotorrespiração? Em que consiste o processo respiratório nos vegetais? Qual é a sua importância e que fatores o afetam? Para que você consiga analisar os fatores que influenciam na fotossíntese e na respiração vegetal, a Unidade 3 tratará sobre os principais conceitos relacionados a estes dois processos, bem como as fases que os compõem.

# Seção 3.1

## Introdução à fotossíntese e a respiração vegetal

### Diálogo aberto

Caro aluno, no início desta seção você foi inserido em uma situação em que foi contratado por uma empresa de consultoria ambiental para integrar uma equipe responsável por prestar consultoria e assessoria a pequenos produtores rurais. Sua primeira atividade com o grupo consiste em auxiliar um agricultor que apresenta problemas com a produtividade de seus cultivos e deseja, além de solucionar o problema, compreender quais são as suas causas.

Em sua primeira visita à fazenda, o agricultor relatou que está enfrentando problemas com o crescimento de uma nova cultura que decidiu introduzir em sua propriedade: a aveia. Acrescentou ainda que a sua produção de milho está normal, apesar de serem oferecidas às mesmas condições para as duas plantações. Como primeira medida, o seu grupo de trabalho realizou a análise do solo, além de realizar medições da umidade do ar e da insolação na fazenda. A partir do resultado das análises foi constatado que o solo apresenta características físicas, químicas e biológicas favoráveis ao crescimento da planta. No entanto, a umidade relativa do ar encontra-se baixa e a planta tem recebido altos índices de insolação. Um dos membros da equipe solicitou a você que, como uma medida mais aprofundada de investigação do caso, pesquisasse a taxa fotossintética líquida. Para isso, quais fatores precisam ser considerados para a obtenção da taxa fotossintética líquida? Qual é a relação entre a fotossíntese e a produtividade? A via de conversão do carbono na aveia poderia ser um fator de interferência na produtividade deste vegetal nas condições ambientais destacadas? Por quê?

Para responder a estas questões, você deverá realizar uma leitura criteriosa da seção, enfocando principalmente nos conteúdos relativos à fotossíntese e vias de fixação e conversão de carbono em plantas C3, C4 e CAM.

Bons estudos!

## Não pode faltar

A sobrevivência dos seres humanos e de outros seres aeróbios está condicionada, entre outros fatores, à existência de um gás incolor e inodoro: o oxigênio. Ele participa da respiração celular aeróbia, processo pelo qual obtemos energia, essencial para o funcionamento do organismo. Além disso, é capaz de reagir com outros compostos presentes em nosso organismo.

Mas você sabe de onde vem o oxigênio que respiramos? Se respondeu que é da fotossíntese, acertou! Acredita-se que o planeta Terra tenha se formado há cerca de 4,6 bilhões de anos e, em seus primórdios, a composição da atmosfera terrestre era basicamente vapor de água, nitrogênio, amoníaco, hidrogênio, monóxido e dióxido de carbono. Esta composição está diretamente relacionada com a intensa atividade vulcânica da época.

Os primeiros seres vivos que habitaram o planeta surgiram há cerca de 3,5 bilhões de anos e eram unicelulares. A partir deles, apareceram os primeiros organismos capazes de utilizar a energia solar, o dióxido de carbono e a água para produzir açúcares, ou seja, surgiram os primeiros seres fotossintetizantes, que se acredita serem os ancestrais das cianobactérias.

O aparecimento da fotossíntese, há cerca de 2,5 bilhões de anos, mudou a vida no planeta Terra, pois permitiu que uma grande quantidade de oxigênio fosse produzida, alterando a composição da atmosfera primitiva e permitindo o surgimento de seres aeróbios.



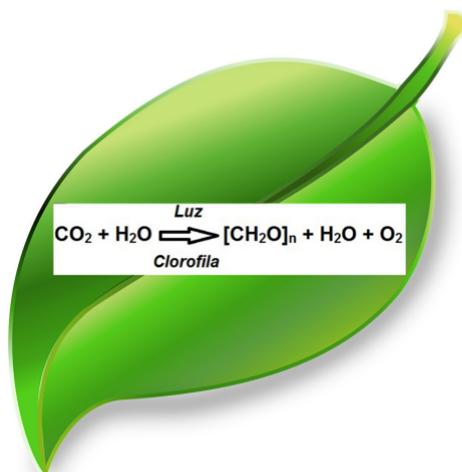
### Refleta

Como você acredita que seriam as formas de vida, caso a fotossíntese não tivesse surgido? E se as plantas parassem de realizar a fotossíntese, quais seriam as consequências para as formas de vida atuais a curto e longo prazo? Reflita sobre o assunto.

Agora que você conheceu brevemente o histórico do surgimento da fotossíntese, trataremos um pouco mais sobre o conceito deste processo e a importância no âmbito da fisiologia dos vegetais e dos ecossistemas terrestres.

A fotossíntese é realizada por plantas, algas e algumas bactérias, geneticamente denominados seres fotossintetizantes. Estes seres são capazes de transformar a energia luminosa em energia química, de acordo com a equação global demonstrada na Figura 3.1.

Figura 3.1 | Equação global da fotossíntese



Fonte: adaptada de Pixabay.

Na equação, é possível verificar que moléculas inorgânicas simples ( $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ ) são utilizadas para a produção de molécula orgânica composto de carbono e hidrogênio, conhecido como carboidrato.



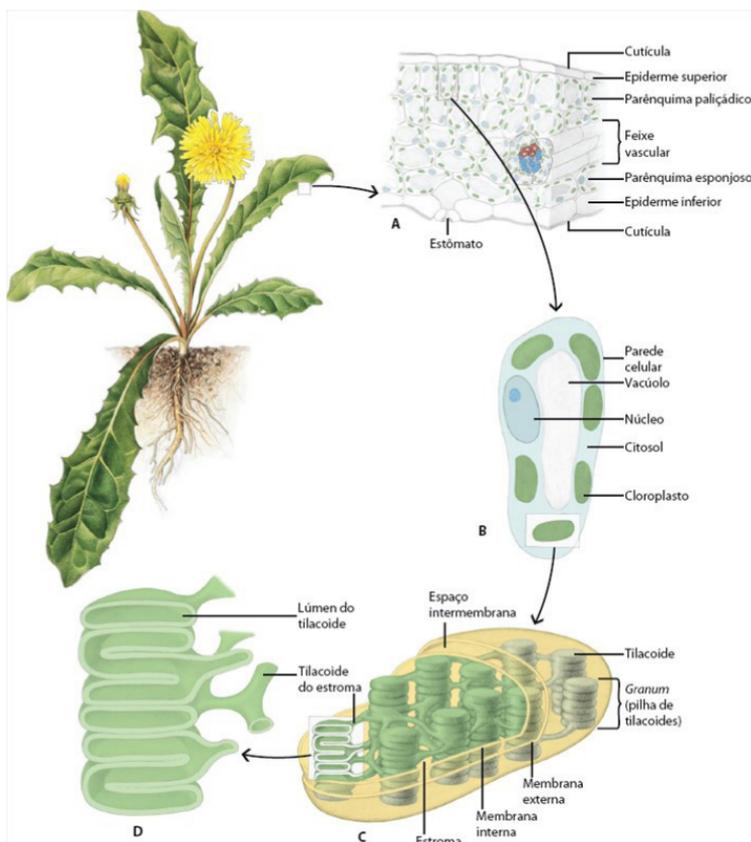
### Assimile

Os carboidratos são macromoléculas formadas por carbono, hidrogênio e oxigênio, cuja principal atribuição é o fornecimento de energia às células. Esta energia é utilizada na forma de glicose, um dos tipos de carboidrato que faz parte do grupo dos monossacarídeos. Além deste grupo, os carboidratos também podem ser classificados em dissacarídeos, que são formados pela união de duas moléculas de glicose (por exemplo, a sacarose) e polissacarídeos, formados pela junção de três ou mais moléculas de glicose (como o amido).

O dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  é obtido a partir da atmosfera e, conforme estudamos na unidade anterior, ele alcança o mesófilo foliar a partir do ostíolo dos estômatos. A água é absorvida do solo por meio dos pelos radiculares e chega até às folhas transportadas pelo xilema.

O processo de fotossíntese ocorre nos cloroplastos, organelas que contêm um pigmento denominado clorofila, cuja estrutura está representada na Figura 3.2.

Figura 3.2 | Estrutura do cloroplasto



Fonte: Raven et al. (2014, p. 128).

Os cloroplastos são formados por um complexo de membranas cujo interior é preenchido pelo estroma, na qual estão os tilacoides (dobramentos da membrana interna do estômato), que formam

estruturas achatadas contendo clorofila e outros pigmentos em seu interior. A clorofila, por sua vez, é um pigmento fotorreceptor de cor verde, isto é, um pigmento capaz de captar a luz solar. As reações em que a energia luminosa capturada é utilizada para a síntese de compostos de carbono ocorrem no estroma.

As reações da fotossíntese são divididas em luminosas e de fixação do carbono. A primeira diz respeito às reações em que a luz é captada e no segundo caso, àquelas que envolvem a conversão do dióxido de carbono em compostos orgânicos. Ambas as reações serão estudadas mais detalhadamente na próxima seção.

Embora a formação do carboidrato nas plantas a partir da fotossíntese seja quase sempre associada à produção de glicose (muitas vezes esta referência é feita inclusive na equação geral da fotossíntese), uma quantidade muito pequena deste carboidrato é gerada livre nas células fotossintetizantes. A maior parte do carbono fixado é convertido em amido (forma de armazenamento) e sacarose (forma de transporte). Culturas agrícolas economicamente relevantes no Brasil, como a mandioca e o milho, por exemplo, são ricas em amido, enquanto a cana-de-açúcar é rica em sacarose.

Nos períodos em que a fotossíntese está mais intensa, grãos de amido são armazenados temporariamente nos cloroplastos para, posteriormente, serem transportados para outras partes da planta na forma de sacarose, onde serão utilizados na síntese de compostos que farão parte do corpo da planta.



### Pesquise mais

Por meio da fotossíntese, os seres autotróficos (como são chamados os fotossintetizantes, pela capacidade de produzirem o próprio alimento) obtêm energia e matéria prima para a formação da biomassa vegetal, que armazena em suas ligações de carbono, parte da energia absorvida da luz solar. Esta energia é utilizada por seres vivos heterotróficos (aqueles que, por não conseguirem sintetizar a sua fonte de energia, deve captá-la alimentando-se de outros seres), e é passada por meio da cadeia alimentar. Além disso, a energia contida nas ligações de carbono pode ser utilizada na produção de energia de biomassa. Para saber mais sobre a produção de energia de biomassa no Brasil e as tecnologias associadas, acesse <<https://goo.gl/3pYEMd>>. Acesso em: 27 jul. 2018.

Resumidamente, a fotossíntese ocorre em uma fase clara e uma fase escura (também conhecida como Ciclo de Calvin). Na fase clara, os fótons de luz solar excitam os elétrons que estão na clorofila, e o final desta fase culmina com a formação de ATP (molécula energética), NADPH e oxigênio.

O ATP e o NADPH formados na fase clara, juntamente com o dióxido de carbono assimilado da atmosfera, serão utilizados nas reações de fixação de carbono que ocorrem no Ciclo de Calvin. Este ciclo, que é independente de luz (mas não acontece necessariamente durante a noite), ocorre em três etapas: fixação do carbono, redução e regeneração.

Na fixação do carbono, uma molécula de  $\text{CO}_2$  combina-se com uma molécula receptora de 5 carbonos (1,5 – ribulose-bifosfato); o composto de 6 carbonos formado se divide em 2 moléculas de 3 carbonos (3-fosfoglicerato) pela ação da enzima rubisco.

Na redução, o ATP e NADPH são usados na conversão de 3-fosfoglicerato em gliceraldeído-3-fosfato. Por fim, na regeneração, algumas moléculas de gliceraldeído-3-fosfato serão utilizadas para a produção de glicose enquanto outras se regenerarão em 1,5 – ribulose-bifosfato (aquela molécula receptora presente na primeira fase do ciclo).

A fase clara da fotossíntese e o Ciclo de Calvin, brevemente descrito, serão melhores estudados na próxima seção. É importante compreendermos superficialmente como ocorre a fase escura neste momento, porque ela é a base para o entendimento de que as plantas podem ser classificadas de acordo com o mecanismo de assimilação de carbono em C3, C4 e CAM (metabolismo ácido das crassuláceas).

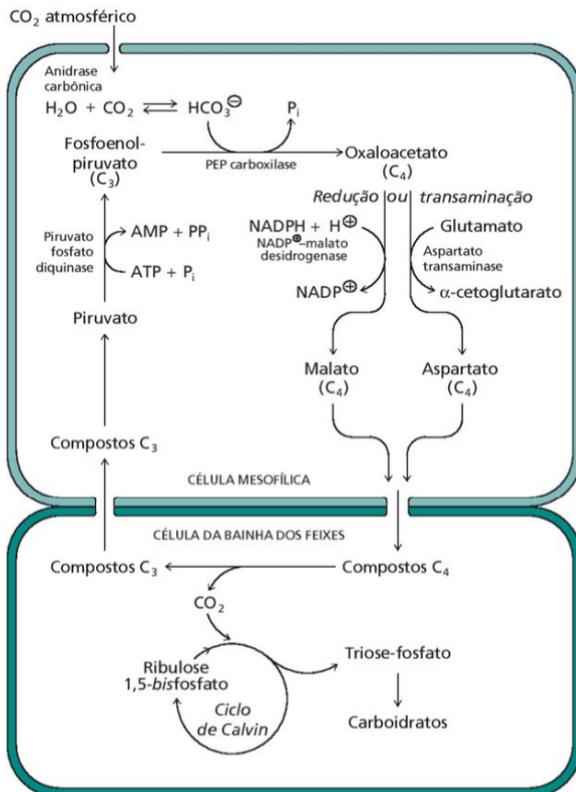
Nas plantas C3, compostas pela maior parte das plantas que conhecemos, o mecanismo de assimilação de carbono ocorre apenas com o ciclo de Calvin, tal como descrito anteriormente, com a incorporação de  $\text{CO}_2$  em uma molécula de 1,5 ribulose-bifosfato, que posteriormente será quebrada em duas moléculas de três carbonos (3-fosfoglicerato).

As plantas que realizam fixação de carbono pela via C4 crescem em elevadas temperaturas e alta intensidade luminosa. Nelas, ocorre a concentração de  $\text{CO}_2$  que, posteriormente, é enviado para as células no interior da folha, local onde ocorre o ciclo de Calvin. Nas C4, ocorre a fixação de  $\text{CO}_2$  e formação do oxaloacetato pela ação da enzima carboxilase do fosfoenolpiruvato (PEP-carboxilase).

Posteriormente o oxaloacetato é convertido a malato ou aspartato (dependendo da espécie), compostos orgânicos com 4 carbonos, por isso plantas C4.

Na segunda etapa ocorre o transporte dos compostos formados (malato ou aspartato) para as células localizadas na bainha do feixe vascular. É lá que se processa a terceira etapa do ciclo, em que ocorrerá a descarboxilação, com liberação de um  $\text{CO}_2$ , produzindo um composto de 3 carbonos que retornará ao mesófilo foliar, formando o piruvato. O  $\text{CO}_2$  liberado entrará no ciclo de Calvin. O esquema da fixação de  $\text{CO}_2$  pela via C4 está esquematizado na Figura 3.3, em que podemos verificar que as reações dependentes de luz ocorrem nas células do mesófilo, enquanto o ciclo de Calvin se processa nas células da bainha dos feixes.

Figura 3.3 | Rota C4

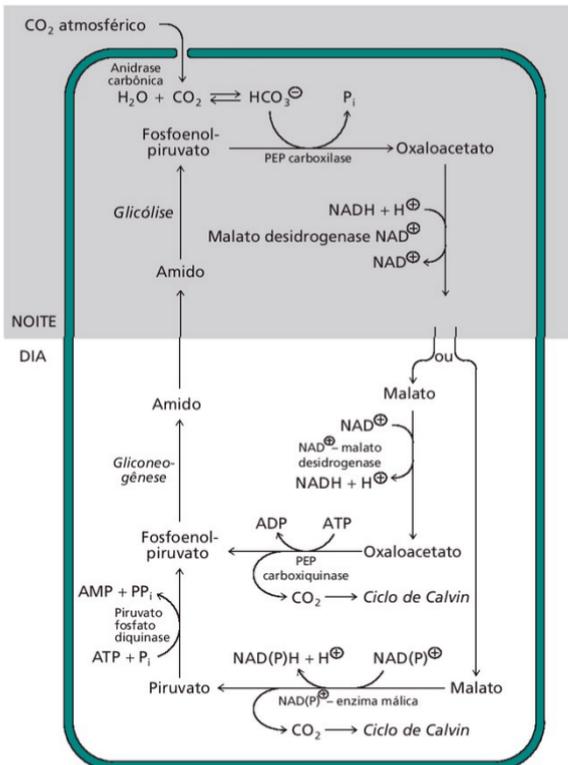


Fonte: Moran et al. (2013, p. 471).

As CAM (metabolismo de ácido das crassuláceas, pois a rota foi descoberta nas crassuláceas) envolvem um grupo de plantas adaptadas a ambientes áridos, portanto, os seus estômatos abrem durante o período noturno para promover economia de água. Neste caso, o que as diferencia das demais plantas é que a fixação do carbono ocorre no período noturno.

Nas CAM, o  $\text{CO}_2$  é fixado pela PEP-Carboxilase, formando o oxaloacetato que é reduzido a malato. Este composto é armazenado no vacúolo e, durante o dia, liberado para sofrer descarboxilação, originando o piruvato, convertido posteriormente em fosfoenolpiruvato. O  $\text{CO}_2$  liberado a partir da descarboxilação entrará no ciclo de Calvin e o fosfoenolpiruvato será convertido em amido. Observe que apesar das pequenas diferenças, a via CAM pode ser considerada análoga à C4, conforme mostrado na Figura 3.4.

Figura 3.4 | Metabolismo de ácido das crassuláceas (CAM)



Fonte: Moran et al. (2013, p. 473).



Espécies como trigo, arroz, aveia e centeio são exemplos de gramíneas C3. Algumas espécies de ervas daninhas, como o milho, a cana-de-açúcar e o sorgo são exemplos de plantas C4. Já as espécies pertencentes ao grupo das cactáceas, das bromeliáceas e das crassuláceas, são exemplos de CAM.

Você percebeu como é complexa a fixação de carbono para a formação de moléculas orgânicas? E esta é apenas uma das fases da fotossíntese. Embora apresentem vários pontos em comum, as diferenças observadas nas vias de fixação de carbono em C3, C4 e CAM têm íntima relação com a realização da fotorrespiração. Veremos a seguir em que consiste este processo e sua relação com a fixação de carbono.

A fotorrespiração é um processo que ocorre na ausência de luz, em que o carbono fixado na fotossíntese é reoxidado a dióxido de carbono, no entanto, sem que haja a produção de ATP e NADPH, sendo, portanto, considerado um processo dispendioso para o vegetal. Mas se a fotorrespiração é prejudicial ao vegetal, por que ela ocorre? Acredita-se que este fato seja uma herança evolutiva, da época em que existia uma baixa concentração de oxigênio na atmosfera, o que garantia que a planta otimizasse a utilização deste gás na respiração.

Um dos pontos centrais da fotorrespiração é a ligação da enzima rubisco ao oxigênio, com o objetivo de formar uma molécula de 3-fosfoglicerato e uma molécula de fosfoglicolato. Por não ser específica para o  $\text{CO}_2$ , a rubisco pode se ligar ao oxigênio, promovendo a competição destes dois gases pelo seu sítio ativo. Isto representa um problema para a realização da fixação de carbono, que ocorre de forma eficiente quando há alta concentração de  $\text{CO}_2$ , mas nem sempre isso acontece.

As vias C4 e CAM representam uma alternativa para contornar este problema. Nestas vias, a PEP carboxilase utiliza o íon  $\text{HCO}_3^-$  (bicarbonato) como substrato e por ter alta afinidade com este composto, não é afetada pela presença do  $\text{O}_2$ , como ocorre com a rubisco. Além disso, a razão  $\text{CO}_2 / \text{O}_2$  nestas vias é maior que na via C3 (que utiliza apenas o ciclo de Calvin), isto quer dizer que a concentração de  $\text{CO}_2$  é maior nas vias C3 e CAM, limitando a fotorrespiração.

No entanto, um aspecto a ser considerado é que há um custo energético maior para a fixação em C4 e CAM em comparação à C3. Enquanto nas duas primeiras para cada molécula de  $\text{CO}_2$  fixada há a necessidade de gasto de 5 moléculas de ATP, nas C3 o custo é de 3 ATP para cada  $\text{CO}_2$  fixado. Apesar disso, a taxa fotossintética líquida (TFL), que corresponde à diferença entre a taxa fotossintética total e a perda devida à fotorrespiração, pode ser duas vezes maior em C4 que em C3, compensando o custo energético. Com a obtenção desta taxa, que sofre influência de fatores como concentração de nutrientes no solo (como o nitrogênio) e da disponibilidade de água e dióxido de carbono, é possível determinar como está a eficiência fotossintética em um vegetal.

Chegamos ao fim desta seção. Para que você otimize os seus estudos, é importante que releia os conceitos aqui apresentados, anotando as dúvidas e os pontos mais relevantes.

Bons estudos!

## Sem medo de errar

Caro aluno, no começo desta unidade, você foi contratado para prestar atendimento a um agricultor que está com problemas na produtividade de suas culturas. Na primeira visita, o grupo foi informado de que havia problemas com o desenvolvimento da cultura de aveia recém-plantada, porém a de milho continuava normal. Foi constatado baixa umidade do ar e alta insolação sobre a cultura. Para aprofundar as análises e chegar a um diagnóstico do problema foi solicitada uma pesquisa sobre a taxa fotossintética líquida, além da resolução das seguintes questões: que fatores precisam ser considerados para a obtenção da taxa fotossintética líquida? Qual é a relação entre a fotossíntese e a produtividade? A via de conversão do carbono na aveia poderia ser um fator que interfere na produtividade deste vegetal nas condições ambientais destacadas? Por quê?

Para responder a estas questões que ajudarão na elucidação do problema, é importante relembrarmos que a fotossíntese é um processo biológico realizado por seres autotróficos, que consiste na utilização de energia solar, na presença de um pigmento denominado clorofila, para converter o dióxido de carbono atmosférico em

moléculas orgânicas. Tais moléculas são fonte para a produção de energia e matéria para a formação da biomassa vegetal. Portanto, fatores que interferem no processo de fotossíntese, automaticamente afetarão o desenvolvimento vegetal (produtividade).

Uma medida para avaliarmos como está o processo de fotossíntese é a quantificação da taxa fotossintética líquida, que considera a taxa de fotossíntese total menos a taxa de fotorrespiração. Assim, é possível dizer que a fotorrespiração é um processo que influencia a taxa fotossintética, uma vez que a enzima rubisco, ao invés de se ligar ao dióxido de carbono no ciclo de Calvin, liga-se ao oxigênio. Acredita-se que este processo se deva a uma herança evolutiva, em uma época em que havia pouca concentração de oxigênio atmosférico.

O ciclo de Calvin é uma das fases da fotossíntese em que ocorre a fixação e conversão do dióxido de carbono. Dependendo da forma como esta fixação ocorre, as plantas podem ser classificadas em C3, C4 e metabolismo de ácido das crassuláceas (CAM).

A aveia é um exemplo de gramínea que faz parte do grupo de plantas que utilizam a via C3, isto quer dizer que o mecanismo de assimilação de carbono ocorre apenas com o ciclo de Calvin e, portanto, pode haver competição entre dióxido de carbono e oxigênio pelo sítio ativo da rubisco, culminando com o aumento da fotorrespiração que, como vimos, interfere na taxa fotossintética líquida, podendo influenciar na redução da produtividade.

## Avançando na prática

### Cactos, fotossíntese e o problema da transpiração

#### Descrição da situação-problema

Você foi convidado a proferir uma palestra sobre fotossíntese e respiração celular para universitários de um curso de agronomia e apresentou como exemplo o milho e o cacto ao longo de sua explicação. No decorrer de sua palestra, um aluno levantou a seguinte questão: “se para a realização da fotossíntese é necessária a presença de luz e dióxido de carbono e o estômato é a via pela qual o dióxido de carbono penetra nas células do mesófilo, a taxa fotossintética

líquida de um cacto é menor que a do trigo, por exemplo, já que o primeiro precisa manter o seu estômato fechado para a economia de água?” De que forma você explicaria esta questão ao aluno?

### Resolução da situação-problema

O motivo citado pelo aluno não é justificativa para uma taxa fotossintética líquida menor, pois como estudado na seção, esta taxa leva em consideração a diferença entre a taxa fotossintética total e a fotorrespiração. Os cactos são plantas que convertem o dióxido de carbono em compostos orgânicos pela via CAM. Isto quer dizer que a fixação do carbono ocorre no período noturno. Nelas o  $\text{CO}_2$  é fixado pela PEP-Carboxilase, formando o oxaloacetato que é reduzido a malato. Este composto é armazenado no vacúolo e, durante o dia, liberado para sofrer descarboxilação, originando o piruvato, convertido posteriormente em fosfoenolpiruvato. O  $\text{CO}_2$  liberado a partir da descarboxilação entrará no ciclo de Calvin e o fosfoenolpiruvato será convertido em amido.

### Faça valer a pena

**1.** A fotossíntese é um processo essencial para garantir a sobrevivência das formas de vida como as conhecemos hoje. Isto ocorre devido a sua atuação integrada com a respiração celular, fornecendo a ela o oxigênio necessário à sua ocorrência. A respeito dos conceitos básicos sobre fotossíntese, analise as assertivas a seguir.

- I. A clorofila é um pigmento localizado no interior de cloroplastos e que apresenta como função a absorção da energia luminosa.
- II. Na fotossíntese moléculas inorgânicas simples são utilizadas para a produção de carboidratos.
- III. A fase escura da fotossíntese é assim denominada por ocorrer durante a noite. Ela também pode ser conhecida como fotorrespiração.

Após a análise das assertivas, marque a alternativa que contém a resposta correta.

- a) Apenas I e II estão corretas.
- b) Apenas I e III estão corretas.
- c) Apenas II e III estão corretas.
- d) I, II e III estão corretas.
- e) Apenas I está correta.

**2.** O processo denominado (1) ocorre na (2) de luz solar e envolve a participação de uma enzima denominada (3) que se liga ao dióxido de carbono. Este processo ocorre em três fases: fixação do carbono, redução e regeneração.

Assinale a alternativa cujos termos preencham corretamente as lacunas.

- a) (1) fotorrespiração; (2) presença; (3) rubisco.
- b) (1) fotossíntese; (2) presença; (3) rubisco.
- c) (1) ciclo de Calvin; (2) ausência; (3) rubisco.
- d) (1) fotorrespiração; (2) ausência; (3) PEP – carboxilase.
- e) (1) ciclo de Calvin; (2) presença; (3) PEP – carboxilase.

**3.** Um aluno do curso de engenharia florestal leu a seguinte informação em um livro: "O dióxido de carbono é fixado pela PEP-Carboxilase, formando o oxaloacetato que é reduzido a malato. Este composto é armazenado no vacúolo e, durante o dia, liberado para sofrer descarboxilação, originando o piruvato".

Assinale a alternativa que contém o processo definido no trecho lido pelo aluno.

- a) Via C3.
- b) Via C4.
- c) Via CAM.
- d) Ciclo de Calvin.
- e) Fotorrespiração

## Seção 3.2

### Fotossíntese: conversão de energia luminosa em energia química

#### Diálogo aberto

A fotossíntese é um dos processos biológicos que sustenta a vida no planeta Terra. Ela é formada por uma série de reações que podem ocorrer ou não na dependência da luz (seja ela natural ou artificial). Nesta seção, abordaremos as duas fases que compõe a fotossíntese: a **fase fotoquímica**, cujas reações necessitam de luz para ocorrer e a **fase química**, independente de luz. Para atingir os objetivos propostos para esta unidade de estudos, na Seção 3.1 você foi inserido em um contexto em que foi contratado por uma empresa de consultoria e assessoria ambiental para atuar na prestação de auxílio a produtores rurais que desejam melhorar a produtividade de suas plantações. Você fará três visitas a uma fazenda e, ao final, entregará um laudo contendo um parecer sobre os problemas e soluções encontradas. Nesta seção, que corresponde a sua segunda visita à fazenda, o agricultor relatou que, por acreditar que a alta insolação que acomete a sua plantação fosse a causa principal da perda de produtividade de tomates, fez uma cobertura com lona preta sobre a plantação, impedindo – desta forma – que a luminosidade entrasse. No entanto, com o passar do tempo percebeu que o problema da perda de produtividade havia aumentado e uma porção maior de sua lavoura foi perdida. Levando em consideração as condições adequadas do solo e de umidade, verificada em análises anteriores, é possível que a cobertura feita pelo agricultor tenha afetado negativamente a produção? Que processo ela poderia estar afetando? Quais fases deste processo estão sendo prejudicadas? Como este fato poderia ser fundamentado? Daria para manter uma cobertura na vegetação que minimizasse esta nova mortandade de vegetais?

Para resolver esta situação, enfoque nos processos que ocorrem na fase fotoquímica da fotossíntese. Lembre-se que ao final desta unidade, você deverá entregar um laudo com os resultados de sua consultoria, portanto, não se esqueça de elaborar a segunda parte do laudo ao final desta seção.

Bom trabalho!

## Não pode faltar

Há anos os cientistas tentam prever o futuro do Sol, a estrela mais importante do nosso sistema solar. E este interesse não surgiu ao acaso: as estrelas possuem um tempo de vida, e a morte do Sol significaria a perda da fonte de aquecimento natural do planeta e da fotossíntese, tema central desta seção.

Vimos na Seção 3.1 que a fotossíntese garante a vida dos seres clorofilados, como algas, plantas verdes e algumas bactérias, além de estar intimamente relacionada à sobrevivência dos organismos aeróbios, uma vez que estes seres dependem do oxigênio, subproduto da fotossíntese no processo de produção de energia.

A complementariedade entre a fotossíntese, que utiliza gás carbônico e libera o oxigênio, e a respiração aeróbia, que precisa do oxigênio como matéria-prima e libera gás carbônico como subproduto, faz parte de dois dos mais importantes ciclos biogeoquímicos do planeta: o ciclo do carbono e o ciclo do oxigênio.



### Assimile

A fotossíntese é um processo físico-químico que ocorre nas células dos organismos fotossintetizantes, no qual a água absorvida do ambiente e o dióxido de carbono captado da atmosfera serão utilizados na produção de moléculas energéticas importantes para a realização dos processos vitais. Portanto, nesta etapa ocorre o que denominamos de fixação do carbono.

Os seres fotossintetizantes, também conhecidos como autótrofos, são clorofilados, o que significa – conforme estudamos na Seção 3.1 – possuem cloroplastos, organelas nas quais ocorre a fotossíntese. Se você não se lembra como é a estrutura desta organela, releia a seção anterior.



### Exemplificando

Como exemplo de seres fotossintetizantes, além dos vegetais, podemos citar alguns organismos aquáticos como as algas e outros organismos que compõem os plânctons. A maior produção de oxigênio para o planeta ocorre pela fotossíntese realizada por esses organismos aquáticos como

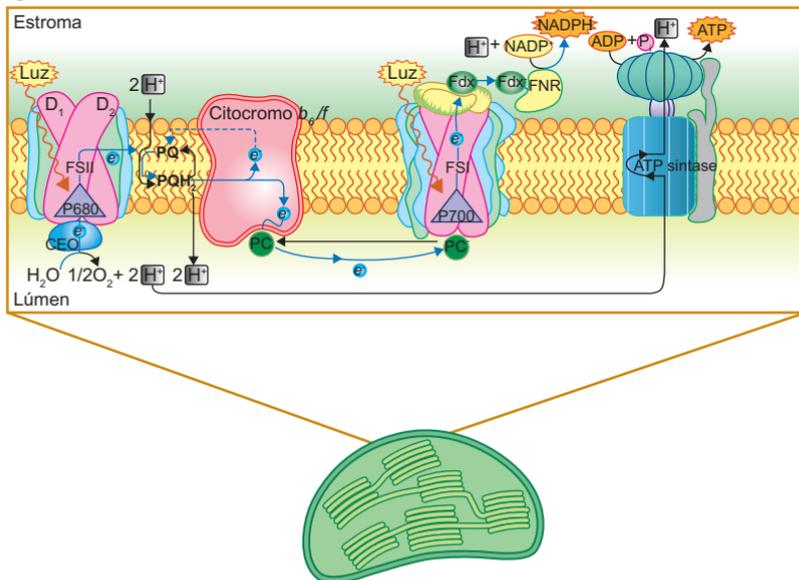
as diversas espécies de algas e organismos que compõem os plânctons e não pelos vegetais. Portanto, os verdadeiros pulmões do mundo são os oceanos e não a Amazônia, como é de conhecimento comum.

A dependência direta da luz solar para a realização da fotossíntese não ocorre durante todo o processo, por isso, ela foi dividida em duas fases: **fotoquímica** (fase clara) e **química** (fase escura).

A fase **fotoquímica**, como o próprio nome indica, envolve reações químicas que ocorrem na presença da luz solar direta. É neste processo que as moléculas de água serão utilizadas como fornecedoras de elétrons, permitindo o armazenamento de energia na forma de ATP e NADPH. Além disso, é a partir destas reações envolvendo as moléculas de água que será produzido o oxigênio, como um subproduto.

As reações da fase fotoquímica ocorrem na membrana plasmática dos tilacoides, localizados no interior dos cloroplastos. Assim como a membrana de outras estruturas celulares, ela possui uma bicamada fosfolipídica, com proteínas e complexos 'incrustados' em sua estrutura (Figura 3.5).

Figura 3.5 | Membrana de um tilacoide



Fonte: Kerbauy (2012, p. 95).

O conjunto dos complexos de proteínas presentes na membrana dos tilacoides recebe o nome de fotossistemas sendo que, dois deles estão envolvidos na fase fotoquímica: fotossistema I (FSI) e fotossistema II (FSII). Ambos possuem milhares de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, clorofila *b*, carotenoides, xantofilas) que auxiliam na captação da energia luminosa, além de um par de moléculas de clorofila localizadas no centro de reação do fotossistema: no FSI este par de moléculas é denominado P700 e no FSII é chamado de P680. Estes pares especiais de clorofila possuem a importante função de fornecer os elétrons que iniciarão a cadeia de transferência de elétrons. A letra P indica que se trata de um pigmento e o número que a acompanha faz referência ao comprimento de onda que ela é capaz de absorver: a P680 absorve luz a 680 nm e a P700 realiza absorção de luz no comprimento de 700 nm.

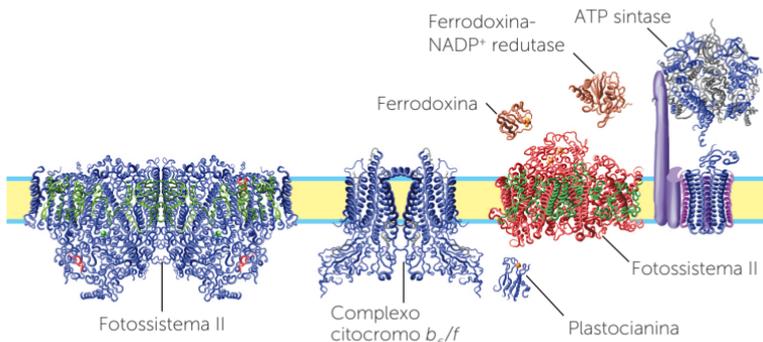


Pesquise mais

Você sabia que os diferentes tipos de pigmentos fotossintéticos absorvem a luz em diferentes comprimentos de onda? Para saber mais sobre o assunto, leia os itens *Natureza da luz* e *Funções dos pigmentos* (capítulo 7: *Fotossíntese, Luz e Vida*) presentes em Raven; Evert; Eichhorn (2014).

A Figura 3.6 esquematiza de forma mais realista como seriam os fotossistemas e demais complexos que participam das reações da fase clara (cujas funções veremos mais adiante nesta seção).

Figura 3.6 | Esquema dos componentes da fase clara da fotossíntese



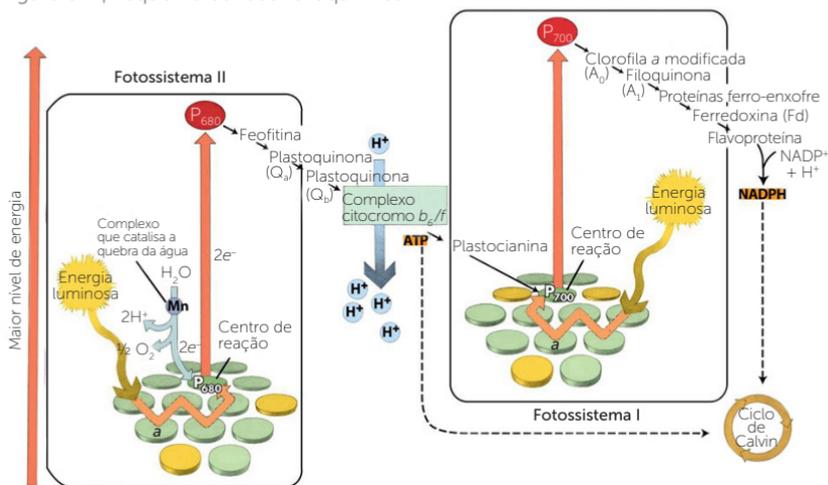
Fonte: adaptada de Raven (2014, p. 134).

Se as clorofilas P680 e P700 são responsáveis por iniciar a transferência de elétrons no fotossistema, qual é a função das demais clorofilas? A resposta é que algumas delas são responsáveis por receber o elétron do par especial e passar à próxima molécula da via. Existem ainda aquelas que captam a energia luminosa e a transfere ao par especial, sendo que, neste caso, estamos tratando das moléculas antenas, que realizam um processo denominado transferência de energia por ressonância, uma vez que ocorre por excitação e vibração não envolvendo o movimento de elétrons.

A partir desta breve explicação sobre a estrutura do fotossistema é possível compreender que o seu funcionamento envolve a transferência de elétrons a partir da absorção de energia luminosa, que chamaremos de fóton (quantum da energia eletromagnética).

Veremos com mais detalhes como ocorre a fase fotoquímica; mas antes, observe a Figura 3.7 que esquematiza as reações que ocorrem nos fotossistemas I e II.

Figura 3.7 | Esquema da fase fotoquímica



Fonte: adaptada de Raven (2014, p.132).

Os fotossistemas I e II trabalham de forma simultânea e contínua, mas estão separados espacialmente: o fotossistema II está localizado nos tilacoides empilhados (*grana*) e o fotossistema I nos tilacoides, que estão no estroma e nas margens dos tilacoides dos *grana*. Porém, representaremos didaticamente estes fotossistemas lado a lado.

No fotossistema II, a energia luminosa (fóton) que atinge o complexo antena (representado pela letra *a* na Figura 3.7) é passada de molécula a molécula (por ressonância) até chegar ao centro de reação e atingir a clorofila P680. Quando ocorre a absorção de energia por uma das moléculas de clorofila do par especial, um de seus elétrons é elevado a um nível mais alto de energia e transferido para uma molécula receptora primária. Em seguida, esta molécula transferirá um de seus elétrons para uma receptora secundária, e assim por diante. Essas moléculas receptoras estão representadas na Figura 3.7 como feofitina, plastoquinona Qa e plastoquinona Qb.

A plastoquinona Qb doa os elétrons que recebeu para o complexo do citocromo b6/f, que transfere os elétrons recebidos à plastocianina (proteína que contém cobre). Neste momento, os elétrons são transferidos para a P700, no centro do fotossistema I.

Para repor estes elétrons que estão sendo transferidos da P680 até a plastoquinona, ocorre a fotólise da água. Tal processo é realizado no complexo de produção de oxigênio, localizado na porção interna da membrana do tilacoide, e culmina com a dissociação da molécula de água, liberando prótons de hidrogênio, oxigênio e elétrons. Este processo contribui para a geração de um gradiente de prótons de hidrogênio do lúmen do tilacoide (local em que são liberados) para o estroma do cloroplasto através da membrana do tilacoide, com a geração de moléculas de ATP (adenosina trifosfato).

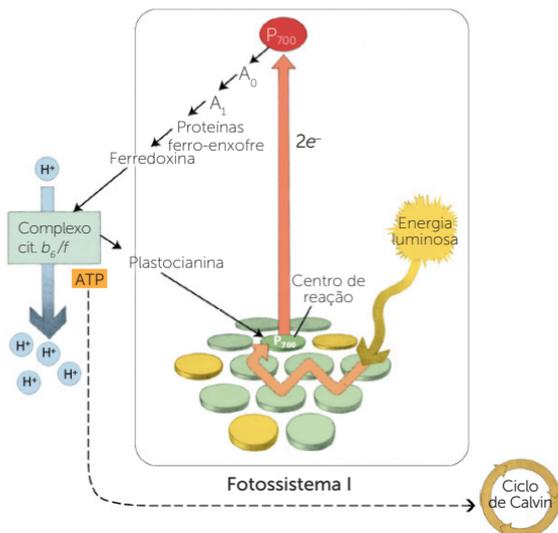
A síntese de ATP ocorre no complexo ATP sintase, inserido na membrana do tilacoide. Neste local, ocorre a fosforilação do ADP (adenosina difosfato) e o Pi (fosfato) e, como a luz fornece a energia necessária para impulsionar a passagem dos prótons pela membrana, este processo é denominado fotofosforilação não cíclica.

No fotossistema I, a molécula P700 que é excitada, transfere o seu elétron energizado para uma receptora primária, que por sua vez passará os elétrons para o receptor secundário e assim por diante, até alcançar a molécula aceptora final de elétrons, a ferredoxina. Esta proteína, composta por ferro e enxofre, transfere elétrons para o **NADP<sup>+</sup>**, resultando na oxidação desta molécula a NADPH, por ação da *ferredoxina - NADP<sup>+</sup> redutase (FNR)*.

O fotossistema I pode trabalhar de forma independente do fotossistema II e assim como ele, produzir ATP. Neste caso, a energia luminosa captada pelo complexo antena é transferida para a P700, que transfere os elétrons energizados para a molécula receptora primária A0 que por sua vez os

transfere à próxima molécula da via, de forma decrescente, até que os elétrons voltem ao centro de reação. Esta movimentação impulsiona o transporte de prótons  $H^+$  pela membrana do tilacoide, fazendo com que o ATP seja gerado em um processo denominado fotofosforilação cíclica (Figura 3.8). Tanto o NADPH produzido no fotossistema I quanto o ATP gerado em ambos os fotossistemas participarão do ciclo de Calvin, a fase escura da fotossíntese.

Figura 3.8 | Esquema da fotofosforilação cíclica



Fonte: Raven (2014, p. 135).

### Exemplificando

Apesar de possuir uma fase independente de luz, não há fotossíntese se a luminosidade não estiver presente. Na construção de estufas, por exemplo, é utilizado um plástico de polietileno em múltiplas camadas, chamado filme agrícola, cujas características permitem a proteção contra a luz solar direta e o aquecimento interno, sem impedir que parte da radiação eletromagnética alcance as plantas.

Até o momento, você conheceu as reações envolvidas na fase fotoquímica (também conhecida como fase clara da fotossíntese), que culminaram com a formação de ATP e NADPH. A partir de

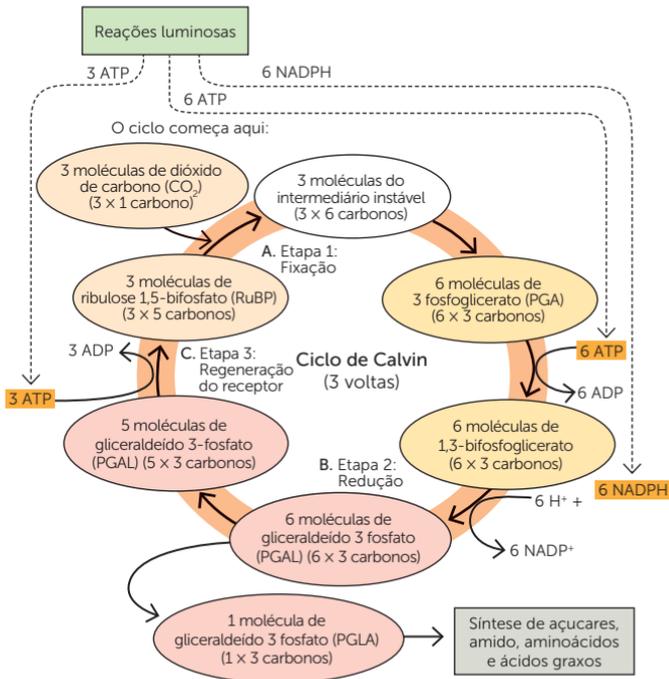
agora, serão apresentadas as reações da fase química ou também chamada de fase escura ou ciclo de Calvin.

É importante salientar que, apesar de conhecida como fase escura, as reações químicas da fotossíntese não ocorrem no escuro (como no período noturno). Este nome se deve à independência direta da luz nesta fase, visto que a energia necessária para que ela ocorra é proveniente da fase fotoquímica. Ambas as fases (fotoquímica e química) ocorrem simultaneamente e, por isso, a denominação 'fase escura' para nomear as reações independentes de luz é um termo controverso na comunidade científica.

Você se lembra do ciclo de Calvin? Ele foi brevemente explicado na Seção 3.1, em que vimos que ele compreende uma série de reações para fixação e redução do carbono (disponível na forma de dióxido de carbono) com o objetivo de sintetizar açúcares.

Para compreender como este ciclo ocorre, inicialmente, observe a Figura 3.9 que esquematiza as reações ocorridas neste ciclo.

Figura 3.9 | Ciclo de Calvin



Fonte: Raven (2014, p. 137).

O ciclo de Calvin, que ocorre no estroma, engloba três etapas: fixação, redução e regeneração do receptor. O ciclo tem início na fase de fixação, em que o dióxido de carbono é combinado com uma molécula de açúcar com 5 carbonos, a ribulose 1,5-bifosfato (RuBP), formando uma molécula com 6 carbonos. O composto formado sofre hidrólise (quebra pela ação da água) gerando 2 moléculas com três carbonos, as quais denominamos 3-fosfoglicerato ou ácido 3-fosfoglicérico (PGA).



### Assimile

As reações de fixação do carbono ocorrem graças à presença de uma enzima, a RuBP carboxilase/oxigenase, também conhecida como Rubisco. Esta enzima também está relacionada à fotorrespiração, apresentada na Seção 3.1.

A segunda etapa do ciclo tem início com a redução do 3-fosfoglicerato a gliceraldeído 3-fosfato ou 3-fosfogliceraldeído (PGAL). Para que este processo ocorra é necessário a energia da quebra do ATP ( $\text{ADP} + \text{P}_i$ ) e do NADPH ( $\text{NADP}^+ + \text{H}^+$ ). Nesta fase, parte do PGAL será utilizado para a síntese de açúcares, amido, aminoácidos e ácidos graxos e outra parte entrará na terceira etapa do ciclo.

Na regeneração, as moléculas de gliceraldeído 3-fosfato são utilizadas na regeneração de ribulose 1,5-bifosfato, a molécula com a qual iniciamos o ciclo. Neste processo também é necessária a energia provida da quebra da molécula de ATP.



### Refleta

Vimos que a fotossíntese é um processo que necessita da presença da incidência solar para produção de energia nos seres clorofilados. Porém, quais são os impactos da ausência da mesma? Todas as espécies reagiriam da mesma maneira? Existem plantas que necessitam de maior incidência solar?

Desta forma, encerramos o processo de fotossíntese e também a nossa seção. Não deixe de rever os conteúdos aqui apresentados, anotando as suas dúvidas e atentando-se à explicação contida no material e aos esquemas representados nas figuras.

Bons estudos!

## Sem medo de errar

Caro aluno nesta seção, você realizou a sua segunda visita a fazenda, em que foi verificado que o agricultor cobriu a sua plantação com uma lona escura a fim de tentar resolver o problema de excesso de insolação sobre a lavoura. No entanto, o que foi verificado pelo agricultor é que a situação da perda da cultura se agravou, mesmo estando as condições do solo e de umidade adequadas para o desenvolvimento vegetal. Neste sentido, as questões a serem respondidas em seu laudo são: é possível que a cobertura feita pelo agricultor tenha afetado negativamente a produção? Que processo ela poderia estar afetando? Quais fases deste processo estão sendo prejudicadas? Como este fato poderia ser fundamentado? Daria para manter uma cobertura na vegetação que minimizasse esta nova mortalidade de vegetais?

Vimos que para que um vegetal se desenvolva é preciso ter além de nutrição e água do solo, uma fonte de luz e de dióxido de carbono. Estes fatores combinados são indispensáveis para que a planta realize a fotossíntese. Uma vez que foi demonstrado que as condições do solo e de umidade estavam favoráveis ao desenvolvimento do vegetal, ou seja, há água e nutrientes, resta agora analisar se a fonte de luz e a quantidade de dióxido de carbono estão adequadas à sobrevivência do vegetal.

Conforme indicado pelo agricultor e observado por você in loco, a cobertura disposta sobre a plantação é uma lona de cor escura, que provavelmente está impedindo a entrada de luz. Sem luz, a fotossíntese, processo essencial para a sobrevivência dos vegetais, fica prejudicada. É por meio da fotossíntese que os vegetais irão obter açúcares importantes para a manutenção de sua vitalidade. Ela é dividida em fase clara (ou fotoquímica) e fase escura (também

denominada de fase química ou ciclo de Calvin). Apenas a fase fotoquímica é dependente da luz direta e, portanto, estaria sendo afetada diretamente pela ausência de luz. No entanto, para que a fase química – independente de luz – ocorra, é necessário que o ATP e o NADPH produzidos na fase fotoquímica participem do processo, já que serão os fornecedores de energia das reações.

Neste caso, pode-se dizer que ambas as fases estão sendo afetadas pela falta de luz; como consequência, não haverá produção de açúcares, e a planta tende a morrer. Caso fosse comprovado que a utilização de uma cobertura sobre a planta minimizaria a mortalidade da lavoura pela diminuição da radiação solar direta, seria possível sua utilização, desde que fosse substituída por uma estufa utilizando filme agrícola.

## Avançando na prática

### Desvendando a baixa produção de açúcar

#### Descrição da situação-problema

Você, coordenador de um grupo de pesquisa de uma universidade, foi procurado por um grupo de alunos buscando uma explicação para o insucesso de um experimento que visava testar o uso de um material acrílico em estufas agrícolas para o cultivo de abacaxi. A partir de análises bioquímicas, foi constatado que a produção de açúcar do fruto estava muito baixa. Neste caso, como você explicaria aos seus alunos que processo estaria sendo afetado? Que fatores ambientais devem ser avaliados antes da realização de um novo experimento? O material acrílico poderia estar ocasionando essa baixa produção de açúcar nas plantas? A elucidação destas questões será importante para o sucesso de sua pesquisa.

#### Resolução da situação-problema

O açúcar é produzido a partir da fotossíntese, mais precisamente no ciclo de Calvin, que não depende da luz diretamente, pois utiliza o dióxido de carbono e moléculas de ATP e NADPH produzidos na fase fotoquímica (dependente de luz). Na fase que depende da luz, água e energia solar são utilizadas na produção

de moléculas de ATP e NADPH. Portanto, pode-se concluir que os fatores ambientais que afetam diretamente a fotossíntese e cuja disponibilidade deve ser avaliada são: água, dióxido de carbono e luminosidade. Neste caso, o material acrílico está interferindo no recebimento da luz pela planta e, conseqüentemente afetando a produção do açúcar.

## Faça valer a pena

**1.** A Adenosina Trifostato (ATP) é uma molécula que armazena energia em suas ligações químicas. Ela participa de uma série de reações no organismo dos seres vivos e, especificamente na fotossíntese, algumas reações do ciclo de Calvin dependem de energia.

O processo que culmina com a formação de ATP no fotossistema I da fotossíntese recebe o nome de:

- a) ATP sintase.
- b) Fotofosforilação acíclica.
- c) Fotofosforilação cíclica.
- d) Ciclo de Krebs.
- e) Ciclo de Calvin.

**2.** Raven (2014) trata a fotossíntese em seu livro *Biologia Vegetal* como “a luz da vida”. O autor faz referência à necessidade dos fótons de luz para que o processo de fotossíntese ocorra. A respeito das fases da fotossíntese, julgue as sentenças a seguir em (V) para verdadeiro e (F) para falso.

- I. ( ) A liberação de oxigênio ocorre na fase fotoquímica, a partir da fotólise da água.
- II. ( ) No fotossistema I, que pode ocorrer independente do fotossistema II ocorre a fotofosforilação cíclica.
- III. ( ) As reações da fase fotoquímica ocorrem na membrana do tilacoide.
- IV. ( ) No complexo antena está presente uma clorofila especial, que no fotossistema II recebe o nome de P680.

Após análise das assertivas, marque a alternativa que contém a sequência correta.

- a) I. V; II. V; III. V; IV. F.
- b) I. V; II. V; III. F; IV. F.
- c) I. F; II. V; III. V; IV. F.
- d) I. F; II. F; III. V; IV. F.
- e) I. V; II. V; III. V; IV. V.

**3.** O ciclo de Calvin, também chamado de fase química, ocorre independente de luz, no estroma do cloroplasto. Estão envolvidas três fases neste processo e, em uma delas, o dióxido de carbono captado da atmosfera será acoplado a uma molécula de 5 carbonos, por meio da atuação da enzima Rubisco.

Assinale a alternativa que contém a fase do ciclo de Calvin, descrita no texto-base.

- a) Redução.
- b) Fixação.
- c) Acoplamento.
- d) Regeneração do receptor.
- e) Síntese.

## Seção 3.3

### Respiração vegetal

#### Diálogo aberto

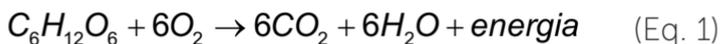
A respiração celular, juntamente com a fotossíntese, constitui os processos bioquímicos mais importantes do planeta. A respiração nos vegetais quebra as moléculas de glicose formadas na fotossíntese, gerando a energia suficiente para a realização dos processos vitais. Esta seção tem como objetivos apresentar os aspectos fisiológicos e bioquímicos envolvidos na respiração celular, bem como os fatores que afetam este processo. Para que você consiga analisar os fatores que influenciam na fotossíntese e na respiração vegetal, no início da unidade você foi inserido em um contexto em que foi contratado por uma empresa de consultoria e assessoria em processos agrícolas e agricultura de precisão para auxiliar um agricultor que apresenta problemas com a produtividade de seus cultivares. Em sua terceira visita à propriedade, verificou que ainda persiste o problema com a alta insolação na plantação, uma vez que o agricultor havia optado pela utilização de uma estufa de vidro. No entanto, ao verificar a construção da estufa, foi identificado que apesar de controlada a insolação, a temperatura no seu interior estava muito elevada e a quantidade de oxigênio disponível era baixa. Neste contexto, você precisa sugerir modificações na estufa e, para isso, como explicaria ao agricultor a influência desses fatores na sobrevivência dos vegetais? Que processo fisiológico pode ser influenciado pela baixa tensão de oxigênio? Em que consiste este processo e quais são os demais fatores que podem causar interferência nele? Para responder a estas questões, você deve voltar a sua atenção aos fatores que afetam a respiração celular e nas fases da respiração. Ao final da consultoria, organize as informações e orientações realizadas até aqui e elabore um parecer sobre seu trabalho.

## Não pode faltar

Todos os dias, a todo instante, realizamos um processo fisiológico crucial para a nossa sobrevivência: a respiração. Embora tenhamos a limitada ideia de que respirar é simplesmente “encher os pulmões de ar”, saiba que a respiração ocorre também a nível celular e em todos os seres vivos, incluindo os vegetais, pois é por meio dela que os organismos obtêm a energia necessária à sua sobrevivência.

Na Seção 3.2 você conheceu os conceitos e as fases da fotossíntese e aprendeu que ela culmina com a formação de açúcares simples (glicose) que são fornecedores de energia para os processos metabólicos dos vegetais. Mas se os vegetais já realizam a fotossíntese para a obtenção de molécula energética, para que precisam da respiração celular? Isto ocorre porque é por meio da respiração celular que a energia presente na glicose produzida na fotossíntese ficará disponível para as células.

Portanto, podemos concluir que a respiração celular nos vegetais é um processo bioquímico que ocorre por meio de reações químicas em que a glicose se combina com o oxigênio atmosférico, gerando energia, além de dióxido de carbono e água como subprodutos. A equação simplificada da respiração celular aeróbia está representada a seguir. Observe que ela é o inverso da equação da fotossíntese, em que o dióxido de carbono e a água se combinam na presença de energia da radiação eletromagnética, para produzir glicose e oxigênio.



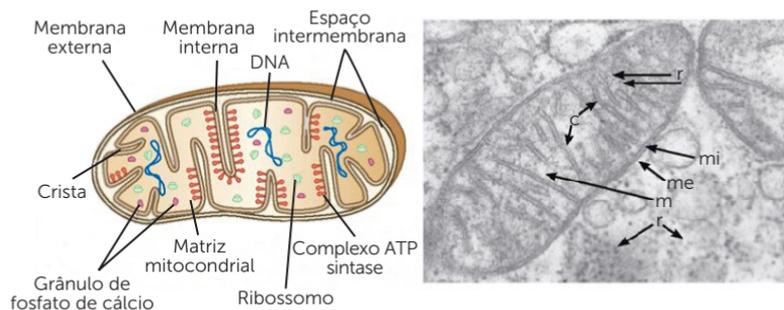
A molécula energética gerada a partir das reações da respiração é a Adenosina Trifostato (ATP), a mesma gerada na fase fotoquímica da fotossíntese e utilizada para a produção de glicose no ciclo de Calvin. O ATP é estruturalmente formado por uma molécula de adenosina (adenina mais ribose) e três grupamentos fosfatos (por isso trifostato). A ligação entre estes grupamentos é altamente energética e a sua quebra, libera a energia para ser utilizada nas atividades metabólicas que dependem dela para ocorrer.

Mas para que cheguemos a este ponto crucial – que é a produção de ATP –, são necessárias algumas reações químicas, das quais muitas ocorrem em uma organela denominada mitocôndria, cuja função você conheceu na Seção 1.1.

As mitocôndrias estão localizadas no citosol das células e a sua quantidade pode variar de acordo com a localização e função do tecido em questão, sendo que aqueles cujas funções envolvem realizar atividades que demandam maior gasto energético irão apresentar uma quantidade maior de mitocôndrias.

Quanto à estrutura, as mitocôndrias apresentam uma membrana externa, que envolve toda a organela e uma membrana interna, que formam saliências internas denominadas cristas. As membranas interna e externa são separadas entre si pelo espaço intermembranoso e o interior da mitocôndria é preenchido pela matriz mitocondrial, dentro da qual estão dispersos ribossomos e DNA mitocondrial. A Figura 3.10 apresenta um esquema da estrutura mitocondrial.

Figura 3.10 | Estrutura da mitocôndria

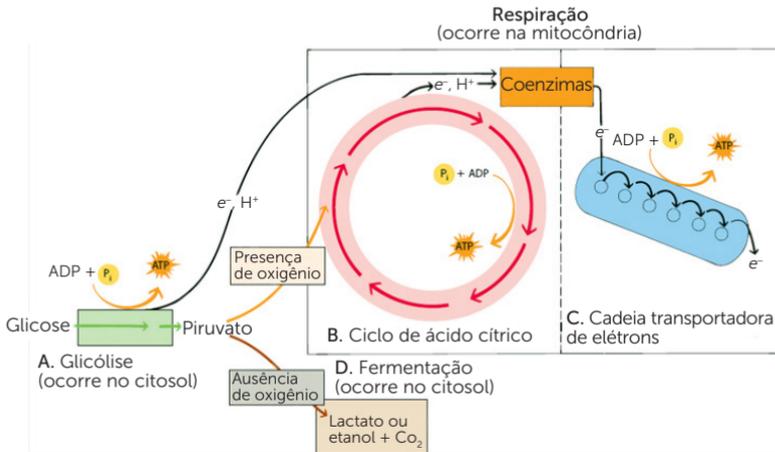


Legenda: à direita uma micrografia em que as setas apontam para as estruturas: ribossomos (**r**), cristas mitocondriais (**c**), membrana externa (**me**), membrana interna (**mi**) e matriz mitocondrial (**m**).

Fonte: adaptada de Carvalho e Recco-Pimentel (2013).

O processo respiratório completo é dividido em três etapas: glicólise (ou via glicolítica); ciclo de Krebs (também chamada de ciclo dos ácidos tricarbóxicos ou ciclo do ácido cítrico) e cadeia de transporte de elétrons ou cadeia respiratória. A Figura 3.11 traz uma visão geral do processo respiratório.

Figura 3.11 | Etapas do processo de respiração



Fonte: Raven (2014, p. 109).

Na glicólise, que ocorre no citosol, a glicose (molécula de seis carbonos) é quebrada em duas moléculas de piruvato, processo que ocorre ao longo de dez etapas. A fase inicial da glicólise é chamada preparatória e engloba cinco etapas. Na primeira etapa, o ATP é utilizado para transferir um de seus grupamentos fosfato para uma molécula de glicose, formando a glicose 6-fosfato e ADP. Na segunda etapa, a glicose 6-fosfato sofre um rearranjo, dando origem à frutose 6-fosfato, que na terceira etapa da glicólise, sofrerá a adição de fosfato de uma segunda molécula de ATP, formando a frutose 1,6 difosfato e ADP. Nas etapas 4 e 5, a molécula de frutose 1,6 difosfato é quebrada, formando duas moléculas de três carbonos: gliceraldeído 3-fosfato e di-hidroxiacetona fosfato, que por sua vez será convertida em gliceraldeído 3-fosfato, de tal forma que ao final da fase preparatória, haja duas moléculas de gliceraldeído 3-fosfato. Nas etapas seguintes, haverá formação de molécula energética (observe que até o momento foram gastas duas moléculas de ATP). As etapas de 6 a 10 envolvem a transformação de gliceraldeído 3-fosfato a piruvato, com a formação de duas moléculas de NADH e quatro moléculas de ATP. Ao final do processo de glicólise, teremos que a partir da conversão de uma molécula de glicose, são formadas duas

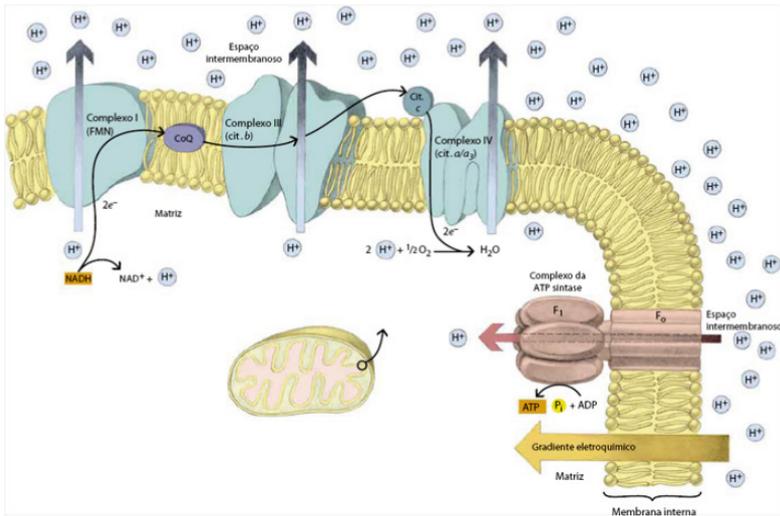
moléculas de piruvato, com rendimento energético de duas moléculas de NADH e duas moléculas de AT. Lembre-se que foram formadas quatro moléculas de ATP, no entanto, gastaram-se duas na fase preparatória.

O piruvato formado na glicólise passa do citosol para a matriz mitocondrial, onde sofre oxidação e descarboxilação, ou seja, as moléculas perdem elétrons e dióxido de carbono, formando dois grupos acetil. Estes grupos se ligam a uma coenzima A, formando o acetil-CoA, que entrará no ciclo de Krebs.

O ciclo de Krebs, também conhecido como ciclo do ácido cítrico ou ciclo dos ácidos tricarboxílicos, se inicia com a combinação dos dois carbonos de acetil-CoA com o oxaloacetato (molécula com quatro carbonos), formando o citrato (composto de seis carbonos). Neste processo, a coenzima A é liberada para se combinar com um novo piruvato que entra no ciclo, e dois carbonos do citrato são oxidados a dióxido de carbono, com a regeneração do oxaloacetato. A cada ciclo, a oxidação dos átomos de carbono gera energia utilizada para a formação de um ATP, três NADH e uma molécula de outro carregador de elétrons, o *FADH<sub>2</sub>*. Até esta etapa, a molécula de glicose está completamente oxidada a dióxido de carbono.

A próxima fase da respiração é a cadeia transportadora de elétrons (Figura 3.12), em que os elétrons presentes no NADH e *FADH<sub>2</sub>* são transferidos por meio de transportadores de elétrons, localizados na membrana interna da mitocôndria, de um nível mais alto de energia, para um nível mais baixo, fazendo com que a energia seja liberada ao longo do transporte. Alguns destes transportadores recebem o nome de citocromos e outros de coenzima Q (CoQ), e estão associados a complexos (bombas transportadoras de elétrons). A energia liberada com o transporte de elétrons é utilizada para bombear prótons pelas cristas, através dos complexos localizados na membrana interna das mitocôndrias, da matriz mitocondrial para o compartimento externo (entre a membrana interna e a externa). Com o excesso de prótons *H<sup>+</sup>* no interior do espaço externo, há uma tendência de que estes prótons retornem à matriz mitocondrial, porém, a membrana da crista é impermeável à eles. Neste caso, os prótons utilizarão uma proteína especial, chamada ATP sintase, para retornar à matriz. À medida que este processo ocorre, há a junção do ADP ao fosfato, formando ATP.

Figura 3.12 | Esquema da cadeia transportadora de elétrons



Fonte: Raven (2014, p. 114, 115).



## Assimile

As reações que fazem parte da respiração celular envolvem a utilização do oxigênio. Porém, em algumas situações em que há ausência de oxigênio, ocorre o processo de fermentação. Na maior parte das células vegetais em condições anaeróbicas, o piruvato sofre redução a álcool etílico e dióxido de carbono, em um tipo de fermentação que recebe o nome de alcoólica.

As reações da respiração ocorrem em todas as células vegetais, no entanto, você sabia que existe uma variação da taxa de respiração em diferentes órgãos vegetais? As células da raiz, por exemplo, respiram intensamente e, quanto mais jovem, maior é a taxa de respiração.

O oxigênio utilizado na respiração das raízes provém do próprio solo ou das partes aéreas do vegetal e a energia produzida no processo é utilizada para realizar a absorção, no acúmulo de nutrientes e no crescimento de estruturas secundárias, quando estas estão presentes. Nos caules, as regiões de respiração mais intensa são aquelas em que há a formação de células novas, como as regiões do câmbio vascular e felogênio.

No caule, o oxigênio é proveniente da difusão pelas células da epiderme (caules com crescimento primário) ou das lenticelas (caules com crescimento secundário). A folha, entre todos os órgãos vegetais, é a que realiza a maior troca gasosa com o ambiente, devido a presença de estômatos, sendo que a taxa respiratória neste órgão é maior nas folhas jovens e em crescimento.

Durante o processo de floração, a respiração é mais intensa devido à necessidade de formação dos tecidos florais. Já nos frutos, o amadurecimento promove uma intensa e rápida taxa respiratória. Nas sementes, a germinação é uma etapa que requer um aumento da taxa respiratória e o oxigênio disponível para as reações da respiração provém do solo.



### Pesquise mais

Para saber mais sobre a respiração nos diferentes órgãos vegetais, acesse o tópico *Respiração nos tecidos e órgãos* (p. 159-161) disponível na Biblioteca Virtual:

KERBAUY, Gilberto Barbante. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

A manutenção de uma taxa respiratória mais ou menos constante é importante para que haja um suprimento contínuo de energia para as células. No entanto, alguns fatores como a disponibilidade de carboidratos, concentração de oxigênio, temperatura e lesões no corpo da planta podem interferir na taxa respiratória.

Um dos substratos necessários para que a produção e energia ocorra é a glicose, pois conforme mencionado ao longo desta seção, é a partir dela que serão sintetizadas as moléculas energéticas durante a respiração celular. No entanto, há períodos em que a produção de glicose em um vegetal cessa, interrompendo o suprimento direto desse substrato para a célula. Para contornar este problema, grande parte da glicose produzida na fotossíntese é armazenada na forma de amido no parênquima dos vegetais. Na medida em que há necessidade, este carboidrato é mobilizado para a cadeia respiratória, processo que pode ser observado por meio do quociente respiratório.



## Assimile

A relação existente entre a quantidade de dióxido de carbono liberado a partir da oxidação da glicose na respiração e a quantidade de oxigênio requerido para este processo é chamado quociente respiratório (QR). O quociente respiratório para a degradação da glicose é igual a 1, pois de acordo com a reação da respiração, para uma molécula de glicose são consumidas seis moléculas de oxigênio e geradas seis moléculas de dióxido de carbono. Quando o QR é inferior a 1, dizemos que há um número de átomos de oxigênio inferior ao dióxido de carbono formado. Tal fato ocorre nos casos do uso de proteínas e lipídios como substrato para a respiração. Um QR maior que 1 indica um substrato rico em oxigênio ou a ocorrência de respiração anaeróbia (neste caso não há consumo de oxigênio).

O oxigênio é um gás indispensável para que as reações que envolvem a respiração celular aeróbia ocorram. A baixa concentração de oxigênio atmosférico pode reduzir a taxa respiratória, uma vez que se limita a difusão deste gás para o interior dos vegetais a partir dos estômatos. Para amenizar esta situação, as plantas são capazes de estocar oxigênio em espaços intercelulares, como uma rota de difusão deste gás para o interior das mitocôndrias.



## Exemplificando

A limitação de difusão de oxigênio na fase aquosa pode ser um dos fatores de interferência na respiração celular. Em plantas que são cultivadas hidroponicamente, por exemplo, é necessário que o meio seja suprido constantemente com oxigênio, por meio de aeradores, para que altos níveis de  $O_2$  sejam mantidos nas raízes. Em plantas que crescem em solos compactados, a taxa respiratória nas raízes pode ficar prejudicada, uma vez que é necessário que haja bolsas de ar no solo para fornecimento de oxigênio para as raízes. O mesmo problema pode ser observado em plantas que crescem em solo muito úmidos ou alagados, pois como mencionado, a difusão de oxigênio na fase aquosa pode ser limitada. Para conseguirem sobreviver nas condições descritas, algumas plantas desenvolveram adaptações, como a presença de pneumatóforos, estruturas encontradas nas raízes e que se projetam

para fora da água para captar oxigênio e aerênquimas, um tipo especial de parênquima presente em plantas que vivem em ambientes alagados, responsável por armazenar ar. As espécies encontradas nos mangues apresentam pneumatóforos e plantas que podem crescer em ambientes alagados, como o arroz, apresentam aerênquimas.

A temperatura é outro fator que afeta a taxa respiratória. Quanto maior a temperatura, maior tende a ser a taxa de respiração celular e o oposto acontece em temperaturas baixas. Este fato deve-se à menor difusão de oxigênio nos tecidos vegetais em temperaturas reduzidas. No entanto, temperaturas acima de 40 °C podem diminuir a eficiência respiratória por provocar a desnaturação de algumas enzimas envolvidas nas reações da respiração. A temperatura de armazenamento de estocagem de frutas, verduras e leguminosas é um fator que deve ser observado, uma vez que temperaturas mais elevadas podem favorecer o brotamento de alguns tubérculos, por exemplo, e temperaturas muito baixas podem reduzir a respiração e provocar a produção de substâncias que conferem sabor indesejado. É importante salientar que para cada espécie é necessário investigar a faixa de temperatura ideal para que nenhuma das situações indesejadas mencionadas ocorra.



### Reflita

Frequentemente a mídia anuncia constatações da comunidade científica de que a temperatura média do planeta está aumentando, fenômeno conhecido como aquecimento global. De que forma este fenômeno poderia influenciar processos bioquímicos importantes, como a respiração celular? Reflita sobre este assunto.

Danos mecânicos e ataques de microrganismos podem afetar a taxa respiratória em vegetais. Um aumento da respiração é observado em decorrência do processo de cicatrização de feridas ou na produção de substâncias de defesa contra agentes patogênicos.



## Pesquise mais

Para saber mais sobre os fatores que afetam a respiração celular, acesse o tópico *Controle da respiração nas plantas por fatores internos* (p. 161-163) disponível na Biblioteca Virtual:

KERBAUY, Gilberto Barbante. **Fisiologia vegetal**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

Chegamos ao fim desta seção e de mais uma unidade de estudos! Até aqui você pôde conhecer as características e etapas da respiração e da fotossíntese, dois dos processos fisiológicos mais importantes para os vegetais e que estão intimamente inter-relacionados, sendo um dos requisitos para a proposta de ações que garantam um maior rendimento e produtividade de culturas agrícolas.

Não deixe de reler os conteúdos da seção, anotando as dúvidas e os pontos de maior relevância.

Bons estudos!

## Sem medo de errar

Caro aluno, nesta seção você fez a sua terceira e última visita à propriedade rural na qual está prestando uma consultoria com o objetivo de auxiliar um produtor com o baixo rendimento de sua colheita. Você observou que a estufa de vidro construída pelo produtor apresenta problemas como baixa quantidade de oxigênio disponível e temperatura elevada. Neste contexto, você precisa sugerir modificações na estufa e, para isso, como explicaria ao agricultor a influência dos fatores na sobrevivência dos vegetais? Que processo fisiológico pode ser influenciado pela baixa tensão de oxigênio? Em que consiste este processo e quais são os demais fatores que podem causar interferência nele?

A respiração é um processo bioquímico que ocorre por meio de reações químicas em que a glicose se combina com o oxigênio atmosférico, gerando energia, além de dióxido de carbono e água como subprodutos. Ou seja, a glicose produzida na fotossíntese será oxidada para a geração de ATP, que é a molécula energética utilizada pelas células. Esta energia é utilizada para o crescimento,

reprodução e atividades metabólicas dos vegetais. Sem esta energia, as plantas não conseguem sobreviver.

Ambos os fatores observados no interior da estufa (baixa quantidade de oxigênio disponível e temperatura elevada) influenciam na taxa de respiração celular. Além deles, a quantidade de glicose disponível e a presença de danos mecânicos nos vegetais também pode influenciar na taxa respiratória.

O oxigênio, quando em baixa concentração, pode reduzir a taxa respiratória, uma vez que ele é utilizado na reação de oxidação da glicose para a formação de dióxido de carbono e água. Na ausência de oxigênio, a célula dos vegetais realiza a fermentação alcoólica, que tem como resultado a formação de álcool etílico e dióxido de carbono. Para amenizar a baixa quantidade de oxigênio atmosférico, as plantas são capazes de estocar oxigênio em espaços intercelulares, como uma rota de difusão desse gás para o interior das mitocôndrias.

No caso da temperatura, quanto maior a temperatura, maior tende a ser a taxa de respiração celular e o oposto acontece em temperaturas baixas. No entanto, temperaturas acima de 40 °C podem diminuir a eficiência respiratória por provocar a desnaturação de algumas enzimas envolvidas nas reações da respiração. Portanto, controlar a temperatura no interior da estufa, para que não exceda a faixa de temperatura ideal, é importante para a sobrevivência dos vegetais.

Além do oxigênio e da temperatura, outros fatores podem influenciar a taxa de respiração celular, no entanto, sem que eles estejam diretamente ligados ao fato das plantas estarem em uma estufa. São eles a glicose e danos mecânicos no corpo da planta; a glicose é um dos substratos necessário para que a produção de energia ocorra, pois é a partir dela que serão sintetizadas as moléculas energéticas durante a respiração celular. No entanto, há períodos em que a produção de glicose em um vegetal cessa, interrompendo o suprimento direto de glicose para a célula. Para contornar este problema, grande parte da glicose produzida na fotossíntese é armazenada na forma de amido no parênquima dos vegetais.

No caso de danos mecânicos um aumento da respiração é observado em decorrência do processo de cicatrização de feridas.

A partir da resolução desta situação e orientação ao produtor, sua consultoria deve ser encerrada. Para isso, reúna todas as informações

e orientações realizadas e elabore um parecer contendo informações sobre os fatores que têm influenciado a baixa produtividade na propriedade visitada para ser entregue ao produtor rural.

## Avançando na prática

### Solucionando o problema da hidroponia

#### Descrição da situação-problema

Você tornou-se proprietário de uma empresa que presta consultoria na área agrônômica e foi procurado para realizar o seu primeiro trabalho, que consiste em prestar auxílio para um produtor que deseja melhorar a produtividade em sua cultura hidropônica de brócolis. Ao procurá-lo o produtor informou que a cultura não está se desenvolvendo bem, e ao visitar a propriedade você constatou que existe problemas com a baixa concentração de oxigênio na água. Ao repassar esta diagnose ao produtor, o mesmo relata algumas dúvidas, como qual é a relação entre a baixa produtividade e a quantidade de oxigênio na água? Que alternativa você, profissional, poderia propor?

#### Resolução da situação-problema

O oxigênio é um gás indispensável para que as reações que envolvem a respiração celular aeróbia ocorram, e é por meio da respiração que as plantas obterão a energia necessária para crescer, se desenvolver e se reproduzir.

A baixa concentração de oxigênio atmosférico pode reduzir a taxa respiratória, uma vez que se limita a difusão deste gás para o interior dos vegetais a partir dos estômatos. A limitação de difusão de oxigênio na fase aquosa pode ser um dos fatores de interferência na respiração celular. Em plantas que são cultivadas hidroponicamente é necessário que o meio seja suprido constantemente com oxigênio, por meio de aeradores, para que altos níveis de  $O_2$  sejam mantidos nas raízes.

Neste caso, pode ser indicado ao produtor que utilize um aerador para injetar oxigênio nas raízes que estão submersas e, desta forma, resolver o problema com a baixa quantidade de oxigênio.

## Faça valer a pena

**1.** O processo respiratório completo é dividido em três etapas: glicólise (ou via glicolítica), ciclo de Krebs (também chamada de ciclo dos ácidos tricarbóxicos ou ciclo do ácido cítrico) e cadeia de transporte de elétrons ou cadeia respiratória. A glicólise é a primeira das etapas e pode ocorrer na ausência de oxigênio.

Das opções abaixo marque aquela que contém os produtos finais da etapa de glicólise.

- a) ATP, piruvato e NADH.
- b) ATP, NADH e oxigênio.
- c) Piruvato, ATP e gliceraldeído 3-fosfato.
- d) ATP,  $FADH_2$  e NADH.
- e) Gliceraldeído 3-fosfato, ATP e piruvato.

**2.** Em uma das fases da respiração, os prótons passam através dos complexos localizados na membrana interna das mitocôndrias, da matriz mitocondrial para o compartimento externo. Com o excesso de prótons  $H^+$  no interior do espaço externo, há uma tendência de que estes prótons retornem à matriz mitocondrial, por meio de uma proteína especial para retornar à matriz.

O processo descrito no texto culmina com a formação de:

- a) NADH.
- b) ATP.
- c)  $FADH_2$ .
- d) Glicose.
- e) Piruvato.

**3.** A respiração celular nos vegetais é um processo bioquímico que ocorre por meio de reações químicas em que a glicose se combina com o oxigênio atmosférico, gerando energia, além de dióxido de carbono e água como subprodutos. A respeito deste processo e suas fases, analise as assertivas a seguir.

- I. Na glicólise, que ocorre no citosol, o gliceraldeído 3-fosfato é convertido a piruvato, com a formação de duas moléculas de NADH e quatro moléculas de ATP.
- II. No ciclo de Krebs, a cada ciclo, a oxidação dos átomos de carbono gera energia utilizada para a formação de ATP, NADH e  $FADH_2$ .
- III. Na cadeia transportadora de elétrons, os elétrons presentes no NADH e  $FADH_2$  são transferidos por meio de transportadores de elétrons, localizados na membrana interna da mitocôndria, de um nível mais alto de energia, para um nível mais baixo.

Após analisar as assertivas, marque a alternativa que contém a resposta correta.

- a) Apenas I e II estão corretas.
- b) Apenas I e III estão corretas.
- c) Apenas II e III estão corretas.
- d) I, II e III estão corretas.
- e) Apenas I está correta.

# Referências

CARVALHO, Hernandes F.; RECCO-PIMENTEL, Shirley M. **A célula**. 3. ed. Barueri, SP: Manole, 2013.

KERBAUY, Gilberto B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

MORAN, A. Laurence; HORTON, H. Robert; PERRY, Marc D. **Bioquímica**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

RAVEN, Peter H.; EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.



# Crescimento e desenvolvimento vegetal: hormônios e estímulos ambientais

## Convite ao estudo

O ciclo de vida da maior parte das plantas envolve a germinação do embrião, que está no interior da semente, o seu estabelecimento no ambiente, crescimento, desenvolvimento, reprodução e morte. O conhecimento das características biológicas de cada fase desse ciclo apresenta importância na área de pesquisa e desenvolvimento do setor agrícola, industrial e do ensino.

A Unidade 4 será dedicada a apresentação dos processos envolvidos no crescimento e desenvolvimento vegetal, bem como os fatores intrínsecos e externos que os afetam. Na Seção 4.1 trataremos da dormência da semente, germinação, floração e frutificação; a Seção 4.2 abordará alguns dos mais importantes hormônios vegetais e sua atuação no corpo da planta, e a Seção 4.3 contemplará a interação do vegetal com o ambiente, enfocando os fatores externos que agem favoravelmente ou desfavoravelmente no desenvolvimento vegetal.

Para que este resultado seja aplicado, você está inserido em um contexto, em que foi contratado para trabalhar em uma grande propriedade rural dedicada à produção de laranja para exportação. Nesta propriedade, você atuará juntamente com uma equipe composta por engenheiros florestais, agrônomos e biólogos, e deverá utilizar os seus conhecimentos em botânica para prestar auxílio aos encarregados pelo viveiro de mudas, plantio, manutenção da plantação, colheita e pós-

colheita. O seu trabalho será realizado em três fases e, ao final de cada uma delas, você deverá redigir um parecer que irá compor o relatório final. A partir deste trabalho, você será capaz de elucidar questões como: o que é a dormência da semente? De que forma ela pode ser quebrada? Que aspectos estão envolvidos na germinação? Que fatores podem afetar a floração e a frutificação? De que forma os fitormônios atuam no corpo da planta? Quais são os fatores externos que afetam o desenvolvimento do vegetal?

Ao longo de toda a unidade, serão apresentados conteúdos que possibilitarão que você responda a estas e a outras questões, além de proporcionar condições para que você analise as respostas fisiológicas e hormonais das plantas em relação às variáveis ambientais.

Bom trabalho!

# Seção 4.1

## Crescimento e desenvolvimento vegetal

### Diálogo aberto

No início desta unidade, você foi contratado para trabalhar em uma grande propriedade rural que tem como atividade econômica a produção de laranjas para exportação. O seu primeiro ciclo de atividade está dividido em três partes, sendo que na primeira delas, você foi designado para auxiliar na resolução de dois problemas diferentes.

No primeiro deles, a propriedade na qual está trabalhando, necessita aumentar a sua área de reserva legal e para isso, você foi designado para atuar na produção de um banco de sementes e na produção de mudas para o viveiro. Para desempenhar esta atividade, foi-lhe entregue uma lista contendo as espécies presentes na reserva atual das quais deverão ser coletadas as sementes para posteriormente realizar a germinação. Na frente de cada espécie descrita, encontra-se um procedimento que deve ser realizado para possibilitar a sua germinação:

Quadro 4.1 | Espécies e procedimento de germinação

ESPÉCIE	TRATAMENTO
Jatobá ( <i>Hymenaea courbaril</i> L.)	Abrasão com o uso de lixa
Fava-barbatimão ( <i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville)	Uso de água ambiente por 12h
Pau ferro ( <i>Caesalpinia leiostachya</i> (Benth.) Ducke)	Uso de ácido sulfúrico

Fonte: elaborado pelo autor

Para que esta atividade seja concluída, você deve elucidar as seguintes questões em seu relatório: é possível que quando for a

campo, algumas das sementes das espécies em questão não sejam encontradas? Quais são as condições para que haja a formação da semente? Por que há necessidade de passagem pelo tratamento antes da germinação? O que esta condição significa para a planta? Os tratamentos de abrasão com o uso de lixa, de água e de ácido sulfúrico correspondem a que tipos de quebra de dormência? Que condições ambientais devem ser observadas para o sucesso da produção das mudas no viveiro?

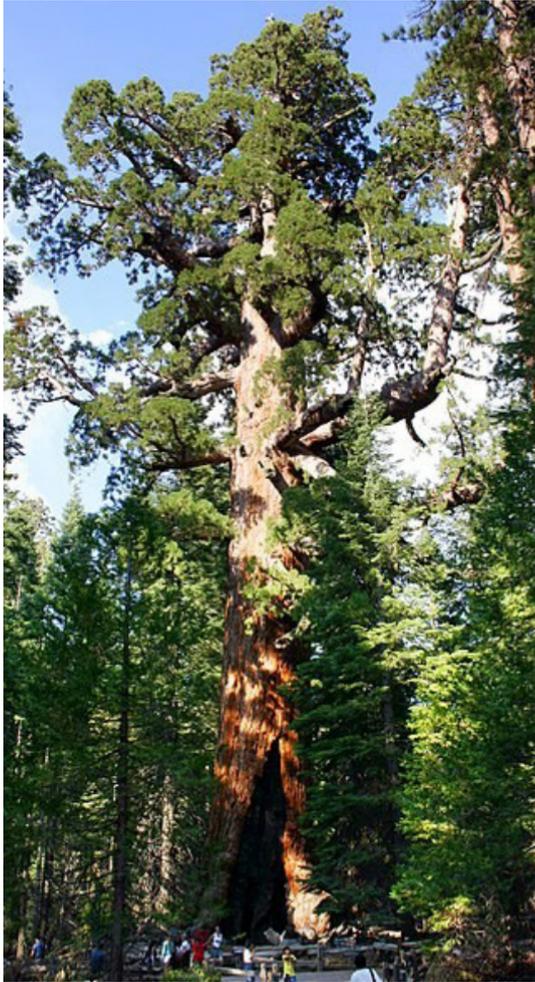
Enquanto trabalhava no viveiro de mudas, você foi convocado para uma reunião com o proprietário da fazenda. A pauta desta reunião envolvia a chegada das novas mudas de uma variedade de laranja que o proprietário deseja passar a cultivar na fazenda. Juntamente com a muda havia uma informação que dizia: período da fase juvenil: oito anos. O proprietário, então, lhe fez as seguintes perguntas: o que significa a fase juvenil? Em termos econômicos (colheita dos frutos) isso é bom ou é ruim? Há alguma possibilidade para reduzir este tempo?

Lembre-se que tanto a atividade do viveiro de mudas quanto as discussões feitas na reunião deverão ser registradas em seu relatório.

## Não pode faltar

As plantas apresentam diversidade nos mecanismos envolvidos em seu desenvolvimento, ditados por fatores intrínsecos (como os fitormônios) e fatores externos (presença de nutrientes no substrato, fonte de água e iluminação). Algumas plantas levarão milhares de anos para completar o seu ciclo de vida (Figura 4.1), outras o fará em poucos meses.

Figura 4.1 | Sequoia-gigante (*Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) J. Buchholz) no Parque Nacional Yosemite, nos Estados Unidos.



Fonte: <<https://goo.gl/e7nS6w>>. Acesso em: 7 mar. 2018.

A sequoia demonstrada na Figura 4.1 faz parte do grupo vegetal das gimnospermas, que juntamente com as angiospermas (plantas com flores) integram o *taxón* das espermatófitas, as únicas plantas do reino vegetal que possuem semente. O espécime representado na imagem é uma das atrações principais do parque, com 63 m de altura, 28 m de circunferência e com idade estimada de mais de 2.000 anos.

A semente é, portanto, uma das grandes inovações reprodutivas do reino vegetal, uma vez que são responsáveis por abrigar o embrião da planta, fornecendo-lhe proteção (pelo tegumento ou casca) e nutrição (pelo endosperma ou albúmen) até que as condições ambientais sejam favoráveis para a germinação.

O tempo em que a semente permanece viável antes da germinação pode variar de acordo com a espécie e sofrer influência de fatores ambientais (ou exógenos), como água, oxigênio e temperatura. Porém, em alguns casos, mesmo que as condições ambientais necessárias à germinação sejam satisfeitas, a semente pode permanecer viável no ambiente, mas sem germinar devido a fatores fisiológicos e morfológicos, que denominamos fatores endógenos. Este estado é chamado de dormência.

A dormência, de acordo com Taiz et al. (2017, p. 515) “é um bloqueio temporal intrínseco ao término da germinação que fornece um período adicional para a dispersão da semente a distâncias geográficas maiores”. O estado de dormência também pode se instalar quando a condição ambiental se torna desfavorável ao desenvolvimento do vegetal, maximizando a sobrevivência da plântula. Esta condição é importante para a sobrevivência da espécie, uma vez que aumenta o tempo de vida do embrião, permitindo que ele seja dispersado em maior distância da ‘planta-mãe’ e dificultando que o embrião germine em condições desfavoráveis a sua sobrevivência.

Em relação aos mecanismos envolvidos na dormência, ela pode ser classificada em fisiológica, morfológica, morfofisiológica, química ou física. Na dormência fisiológica, a inibição da germinação ocorre devido a mecanismos relacionados ao metabolismo do embrião ou dos tecidos adjacentes a ele. Na morfológica, por não estar completamente diferenciado, o embrião precisa passar por um período de maturação no interior da semente e, por isso, permanece sem germinar até que esteja desenvolvido. A dormência morfofisiológica combina fatores morfológicos e fisiológicos atuando na inibição da germinação da semente. Já a química ocorre devido à produção de compostos químicos produzidos por frutos ou sementes, que atuam como inibidores do desenvolvimento do embrião. Na dormência física, é observada a impermeabilidade dos envoltórios que protegem frutos ou sementes, restringindo a penetração da água e/ou oxigênio para o interior da semente.

As sementes cujos embriões têm o seu desenvolvimento inibido por fatores endógenos, precisam passar pela quebra de dormência. Esta quebra pode ocorrer de forma natural ou artificial. Em situações naturais, a indução da germinação da semente dormente pode ocorrer pela ação de fatores abióticos e bióticos. A alteração da quantidade de luz que chega ao solo pode promover uma oscilação de temperatura, diminuindo a resistência do tegumento à penetração de substâncias. A chuva 'lavando' substâncias inibidoras do desenvolvimento do embrião e as altas temperaturas provocadas pelo fogo, também podem quebrar a dormência de algumas espécies, sendo este último um elemento importante no bioma cerrado, pelo papel ecológico que desempenha.

Microrganismos e insetos presentes no solo podem produzir substâncias químicas que favorecem a quebra da dormência de sementes. O mesmo pode ser observado a partir da ingestão de sementes por aves, cujo ácido presente no estômago pode quebrar quimicamente a dormência das sementes, além de favorecer a dispersão em locais distantes.

Em se tratando de quebrar a dormência artificialmente, diversos mecanismos estão envolvidos neste processo, dependendo do tipo de dormência exibido. Dentre eles, destacamos os procedimentos de:

- a) **Estratificação:** a semente que geralmente apresenta dormência fisiológica e morfológica passa por um processo de hidratação a baixas temperaturas, variando entre 4 °C e 6 °C.
- b) **Escarificação:** geralmente utilizado para dormências físicas, visa facilitar a difusão de água e gases no interior da semente utilizando, para isto, tratamento por abrasão (uso de lixa), imersão em substâncias ácidas, solventes ou água fervente, perfuração, entre outros.
- c) **Lixiviação:** recomendado para dormências químicas, este procedimento consiste na imersão de semente em água por um determinado período – a depender da espécie.
- d) **Alternância de temperatura:** consiste na submissão das sementes hidratadas em temperaturas alternadas, variando de temperaturas em torno de 30 °C, com temperaturas inferiores, em ciclos cujos números dependerão da espécie.
- e) **Tratamento químico:** neste procedimento, a semente é

embebida em solução contendo alguns tipos de fitormônios (que serão tratados na Seção 4.2), como a giberelina.

- f) **Pós-maturação a seco:** neste procedimento as sementes não hidratadas passam por um tratamento a altas temperaturas (40 °C a 70 °C), cujo número de ciclos e tempo de exposição irão variar de acordo com a espécie.



### Assimile

Diferente do ocorrido em sementes dormentes, em que há um bloqueio endógeno – influenciado por fatores genéticos ao desenvolvimento do embrião – as sementes ditas quiescentes são aquelas em que há limitação externa à germinação, determinada pela ausência ou insuficiência de fatores necessários à ocorrência deste processo.

Uma vez que a dormência da semente é quebrada ou que os fatores ambientais são favoráveis às sementes quiescentes, ocorrerá a germinação, que consiste em uma sequência de atividades metabólicas das quais irá resultar a emergência da radícula, para fixação e nutrição da plântula em desenvolvimento.

Para que a germinação ocorra, a semente que geralmente é encontrada seca no ambiente, precisa passar por um processo de embebição na qual ocorre a sua hidratação facilitada pela permeabilidade do tegumento, que apresenta poros em sua superfície.

A velocidade e quantidade de água necessárias para que ocorra a germinação depende das características genéticas e fisiológicas da espécie, mas também é influenciada pela disponibilidade de água no ambiente e da superfície de contato da semente com ela, da quantidade de poros no tegumento, entre outros.

A água é, portanto, um dos fatores ambientais que afetam a germinação da semente, mas além dela, fatores como a quantidade de oxigênio, temperatura e incidência de luz, também são requisitos para o processo.

A embebição, mencionada anteriormente, é a primeira fase da germinação, e seguida pela segunda fase, que envolve a redução da embebição, expansão do embrião e emergência da raiz. Na terceira fase (pós-germinação), a absorção de água é retomada e ocorre a mobilização das reservas de nutrientes da semente, que fornecerá a

energia necessária para o desenvolvimento da plântula até que ela seja capaz de suprir suas necessidades por meio da fotossíntese.

A Figura 4.2 apresenta um gráfico que resume os eventos que ocorrem nas três fases da germinação, traçando um comparativo com o conteúdo de água da semente e da plântula ao longo do tempo. Observe que nela também estão representados acontecimentos a nível molecular, como o reparo e síntese do material genético (DNA) e transcrição e tradução do RNA mensageiro (mRNA), ambos envolvidos na produção de proteínas.

Figura 4.2 | Fases da germinação da semente



Fonte: Taiz et al. (2017, p. 521).



### Exemplificando

Em algumas situações, a germinação de sementes maduras pode acontecer no interior da 'planta-mãe', em um processo conhecido

como germinação pré-colheita (ou viviparidade). Esta situação pode ser observada em cultura de grãos como o trigo, a cevada, o sorgo, o arroz e o milho, por exemplo. Nestes casos, esse fenômeno não é desejado, pois causa perda da qualidade do grão e, conseqüentemente, prejuízos econômicos. Estudos indicam que este fenômeno sofre influência da ação de fitormônios, como o ácido abscísico (ABA) responsável por inibir a germinação e giberelina (GA), que exerce influência positiva no desenvolvimento do embrião. A determinação da dormência e germinação dependem do balanço destes dois hormônios: nos estágios iniciais do desenvolvimento do embrião, há uma maior sensibilidade ao ABA, favorecendo a dormência, após determinado período a sensibilidade ao ABA declina e ao GA aumenta, favorecendo a germinação. Portanto, culturas vivíparas, quando tratadas com ABA tem a sua germinação precoce retardada.

Uma vez que a dormência da semente é quebrada ou que os fatores ambientais são favoráveis às sementes quiescentes, ocorrerá a germinação, que consiste em uma seqüência de atividades metabólicas das quais irá resultar a emergência da radícula, para fixação e nutrição da plântula em desenvolvimento.

Para que a germinação ocorra, a semente que geralmente é encontrada seca no ambiente, precisa passar por um processo de embebição na qual ocorre a sua hidratação facilitada pela permeabilidade do tegumento, que apresenta poros em sua superfície.

A velocidade e quantidade de água necessárias para que ocorra a germinação depende das características genéticas e fisiológicas da espécie, mas também é influenciada pela disponibilidade de água no ambiente e da superfície de contato da semente com ela, da quantidade de poros no tegumento, entre outros.

A água é, portanto, um dos fatores ambientais que afetam a germinação da semente, mas além dela, fatores como a quantidade de oxigênio, temperatura e incidência de luz, também são requisitos para o processo.

A embebição, mencionada anteriormente, é a primeira fase da germinação, e seguida pela segunda fase, que envolve a redução da embebição, expansão do embrião e emergência da raiz. Na terceira



A respeito do fotoperíodo, a forma como a planta responde fisiologicamente a ele depende de características genéticas da espécie. Desta forma, podemos distinguir plantas que florescem em fotoperíodos inferiores, conhecidas como plantas de dias curtos (PDC) ou noites longas e aquelas que florescem quando a duração do dia excede determinado valor (plantas de dias longos (PDL) ou noites curtas). Existem ainda aquelas plantas cuja floração não é controlada pelo fotoperíodo, as plantas neutras (PDN) e outras em que a influência do fotoperíodo ocorre em determinado intervalo de tempo (plantas de dia intermediário (PDI)). A cebola (*Allium cepa* L.), a videira (*Vitis vinifera* L.) e o amendoim (*Arachis hypogaeae* L.) são exemplos de PDN enquanto a pimenta (*Capsicum annuum* L.) é um exemplo de PDI. A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) exemplifica uma PDL.

Na evocação floral, segunda fase da floração, o meristema que recebeu a sinalização na fase anterior, se reorganizará para formar a flor. Nesta etapa ocorrem alterações fisiológicas e histológicas no ápice vegetativo, que dependem de eventos que ocorrem nas partes vegetativas da planta (raiz, caule e folha).



Antes de se tornarem aptas à floração, as espécies vegetais precisam passar alguns anos em crescimento vegetativo, denominada fase juvenil. De acordo com Kerbauy (2012) a fase juvenil da soja varia de 11 a 33 dias; para o milho, este período vai de 50 a 70 dias. Para o feijão, a fase juvenil dura de 30 a 60 dias. No caso de espécies de *Citrus spp* (laranjeira e limoeiro), da macieira e do cedro-rosa, este período pode levar anos, compreendendo respectivamente de 5 a 8 anos (*Citrus spp*), de 4 a 8 anos (macieira) e 10 anos (cedro). A produção de espécies frutíferas enxertadas reduz o tempo para o florescimento e consequentemente colheita dos frutos, apresentando importância na agricultura comercial.

A última etapa da floração é representada pelo desenvolvimento floral em que se dá a formação da flor por meio de intensas atividades mitóticas. É importante salientar que as gimnospermas não possuem flores, tal como as angiospermas, mas a estrutura

reprodutiva recebe o nome de estróbilo – popularmente conhecido como pinha. Nelas não há formação de fruto envolvendo a semente.



### Pesquise mais

A floração *in vitro* é uma técnica que consiste na indução da formação da flor artificialmente. Para saber mais sobre esta técnica e sua aplicação, leia as páginas 355-356 do seguinte livro:

KERBAUY, Gilberto B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

A partir da formação da flor, um fenômeno ímpar para a reprodução está apto a acontecer: a atração de agentes polinizadores. A polinização, juntamente com a fertilização e outros processos que envolvem divisão e expansão celular, são etapas da frutificação.

Para compreendermos como ocorre a formação dos frutos e da semente abrigada em seu interior, precisaremos relembrar brevemente a estrutura do gametófito masculino (grão de pólen) e do gametófito feminino (saco embrionário).

O gametófito feminino é formado por algumas células, dentre elas a oosfera (gameta feminino) e uma célula com dois núcleos polares. O grão de pólen carrega dentro de si a célula do tubo e as espermáticas (gameta masculino). Na fertilização, o grão de pólen que encontrou o estigma de uma flor, desenvolverá o tubo polínico (a partir da célula do tubo) que servirá de meio de transporte das células espermáticas até o gametófito feminino. Um núcleo espermático fecundará a oosfera enquanto o outro, a célula com os dois núcleos polares, em um processo que chamamos de dupla fecundação.

A fusão da célula espermática com a oosfera dará origem ao zigoto que formará o embrião no interior da semente, enquanto a união entre a célula espermática e a célula com os dois núcleos polares formará o endosperma (tecido nutritivo). Mas e os frutos, como serão formados?

A partir da fertilização, hormônios sinalizadores são liberados para promoverem o desenvolvimento do ovário, por meio de divisões celulares. Portanto, os frutos serão formados a partir do ovário desenvolvido (e algumas vezes outras partes florais), sendo

a parede do ovário a responsável pela origem do pericarpo, que se diferencia em exocarpo, mesocarpo e endocarpo. A semente consiste no óvulo maduro fecundado.

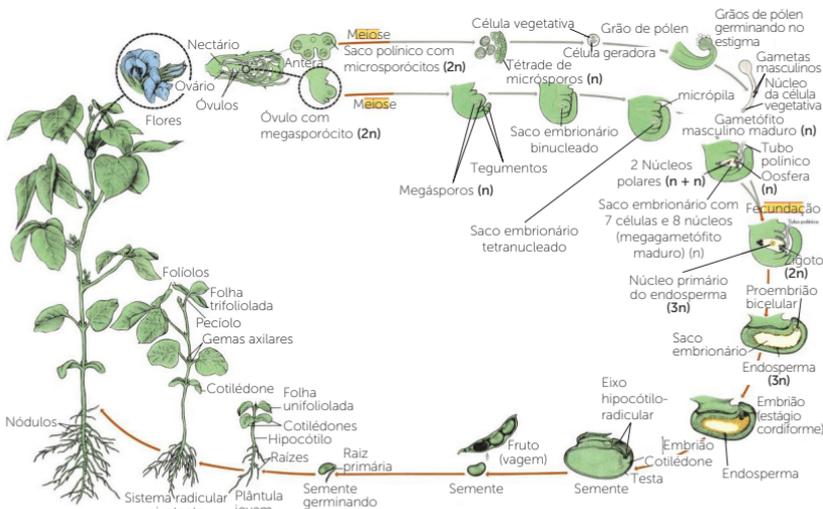
## Pesquise mais

Para saber mais sobre as fases do desenvolvimento do fruto, não deixe de ler os itens *Fases do desenvolvimento do fruto* e *Maturação* do seguinte livro:

KERBAUY, Gilberto B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

O fruto atua como um agente dispersor da semente que está dentro dele que, por sua vez, ao encontrar condições favoráveis germinará, iniciando um novo ciclo de vida. Neste sentido para que a semente e os frutos sejam formados é necessário que haja a floração e, na maioria dos casos, a polinização. Todos estes eventos ocorrem em períodos determinados geneticamente para cada espécie e necessitam de condições ambientais favoráveis. Portanto, nem sempre que se deseja será possível encontrar frutos e sementes de uma determinada espécie no ambiente. A Figura 4.3 esquematiza o ciclo de vida da soja (*Glycine max*).

Figura 4.3 | Ciclo de vida da soja (*Glycine max*)



Fonte: Raven (2014, p. 472-473).



## Refleta

Técnicas de indução da floração e germinação da semente, realizadas de forma artificial, estão sendo amplamente utilizadas em culturas comerciais. Que vantagens e desvantagens econômicas e ecológicas o uso destas técnicas pode promover? Reflita sobre o assunto.

Chegamos ao fim da seção e para que você consiga construir efetivamente o conhecimento acerca do assunto, não deixe de reler o conteúdo apresentado, anotando as suas dúvidas e os pontos mais relentes.

Bons estudos!

## Sem medo de errar

No início desta seção você foi designado para dois trabalhos: o primeiro deles consistiu no auxílio na coleta de sementes de espécies determinadas, para a formação de um banco e plantio destas sementes para o desenvolvimento das mudas. A partir desta atividade, surgiram os seguintes questionamentos: é possível que, quando for a campo, algumas das sementes das espécies em questão não sejam encontradas? Quais são as condições para que haja a formação da semente? Por que há necessidade de passagem pelo tratamento antes da germinação? O que esta condição significa para a planta? Os tratamentos de abrasão com o uso de lixa, de água e de ácido sulfúrico correspondem a quais tipos de quebra de dormência? Que condições ambientais devem ser observadas para o sucesso da produção das mudas no viveiro?

Enquanto trabalhava no viveiro, você foi convocado para uma reunião de discussão sobre a nova variedade de laranja que apresenta duração do tempo juvenil de oito anos, e que o proprietário deseja cultivar na fazenda. Foram levantadas as seguintes discussões: o que significa a fase juvenil? Em termos econômicos (colheita dos frutos) isso é bom ou é ruim? Há alguma possibilidade para reduzir este tempo?

Com relação a primeira atividade, nem sempre será possível encontrar sementes das espécies em questão no campo, isto porque para a formação da semente é necessário que haja polinização e

fecundação. A semente consiste no óvulo maduro que contém o embrião em seu interior; em algumas espécies, mesmo que as condições ambientais estejam favoráveis, ocorre uma inibição da germinação do embrião. Esta condição é denominada dormência, e é importante para a sobrevivência da espécie, uma vez que aumenta o tempo de vida do embrião permitindo que ele seja dispersado em maior distância da 'planta-mãe', e dificulta que o embrião germine em condições desfavoráveis a sua sobrevivência.

Sementes nesta condição necessitam passar por um processo de quebra de dormência, que pode ocorrer de forma natural ou artificial. Na lista recebida, consta o nome da espécie e o tipo de tratamento a que a sua semente precisa passar antes de germinar. Tais tratamentos são conhecidos como escarificação; no caso do tratamento com ácido e com o uso da lixa, este processo geralmente é utilizado para dormências físicas, visando facilitar a difusão de água e gases no interior da semente. Os tratamentos envolvendo água são chamados lixiviação e são recomendados para dormências químicas, consistindo na imersão de semente em água por um determinado período (a depender da espécie). Para que seja possível o sucesso reprodutivo das mudas no viveiro, além dos tratamentos para a quebra da dormência, alguns fatores ambientais precisam ser mensurados, entre eles a disponibilidade de água, a quantidade de oxigênio, temperatura e incidência de luz, por exemplo.

Com relação às questões discutidas na reunião, a fase juvenil de uma planta compreende o período de maturação na qual ela deve passar antes que inicie a floração. No caso em questão, a nova variedade de laranja comprada pelo produtor levará oito anos para florescer. Em termos econômicos, isso quer dizer que após esse período o proprietário conseguirá colher os frutos para comercializá-los, visto que apenas após a floração e polinização é que os frutos e sementes serão formados. Uma alternativa citada na seção que poderia reduzir este tempo é o uso de enxerto.

Lembre-se que todas estas informações farão parte de seu primeiro parecer e deverão compor o relatório final, por isso, inicie-o agora mesmo!

### Árvores que não florescem

#### Descrição da situação-problema

Você foi procurado em seu escritório de consultoria ambiental, pela proprietária de um pequeno sítio localizado próximo à área urbana. Ela relatou que há mais de um ano observa que nenhuma das árvores frutíferas de sua área – que sempre formaram flor na época certa – florescem, e lhe procurou para orientações sobre os fatores que estão envolvidos na floração das plantas e que podem estar influenciando no impedimento da floração de suas culturas. Como você explicaria estas informações a sua cliente?

#### Resolução da situação-problema

Conforme relatado pela cliente, o período em que as plantas estão sem florescer é superior a um ano, e que já houve floração antes. Portanto, esta informação afasta a possibilidade de que não estariam em sua época correta de floração. Neste caso, a proprietária deve estar atenta às condições para que uma planta consiga florescer. Vimos que a floração envolve três etapas: indução, evocação e desenvolvimento floral. Na indução ocorre a sinalização para que o meristema caulinar que produziria um primórdio foliar passe a gerar um primórdio floral. O estímulo para a indução é proveniente de fatores endógenos (hormônios e estado nutricional da planta) e ambientais, como a taxa de radiação solar, fotoperíodo (duração dos dias), disponibilidade de água e temperatura. Isto quer dizer que a interrupção da floração pode estar relacionada com problemas na produção de hormônios, na disponibilidade de nutrientes e água para a planta, na taxa de radiação solar que incide sobre ela, entre outros. Todos estes parâmetros precisarão ser analisados para se chegar a um diagnóstico para solucionar o problema.

## Faça valer a pena

**1.** Em algumas espécies, como o Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), o embrião que está no interior da semente tem o seu desenvolvimento inativo, até mesmo quando os fatores ambientais estão favoráveis.

Assinale a alternativa que apresenta o nome da condição descrita no texto.

- a) Germinação.
- b) Inativação.
- c) Dormência.
- d) Fecundação.
- e) Polinização.

**2.** A floração é uma fase no ciclo de vida do vegetal, em que modificações fisiológicas e morfológicas determinadas por fatores genéticos culminarão com a formação da flor. A respeito deste processo, analise as assertivas a seguir.

- I. Na fase de evocação floral, ocorrerá a liberação de sinalizadores que indicarão que o meristema caulinar deverá dar origem a uma flor e não a folhas.
- II. Antes de estar apta para a floração, a planta necessita atingir a maturidade, passando pela fase juvenil, que pode durar meses ou anos, dependendo da espécie.
- III. O estímulo para a indução da floração é proveniente de fatores endógenos e também ambientais.

Após análise das assertivas, marque a alternativa que apresenta a resposta correta.

- a) I, II e III estão corretas.
- b) Apenas I e II estão corretas.
- c) Apenas II e III estão corretas.
- d) Apenas I e III estão corretas.
- e) Apenas III está correta.

**3.** A quebra da dormência da semente pode ser realizada de forma natural ou artificial. Uma das técnicas consiste em utilizar tratamento de abrasão por meio de lixamento da semente para viabilizar a sua germinação.

Assinale a alternativa que apresenta o nome da técnica descrita no texto.

- a) Escarificação.
- b) Lixiviação.
- c) Estratificação.
- d) Tratamento químico.
- e) Pós-maturação a seco.

## Seção 4.2

### Hormônios vegetais e reguladores do crescimento

#### Diálogo aberto

Caro aluno, no início desta unidade você foi contratado para trabalhar em uma grande propriedade rural que se dedica a produção de laranja para exportação. Como parte de suas atribuições, você atuará juntamente com uma equipe composta por engenheiros florestais, agrônomos e biólogos, e deverá utilizar os seus conhecimentos em botânica para prestar auxílio aos encarregados pelo viveiro de mudas, plantio, manutenção da plantação, colheita e pós-colheita. Na Seção 4.1 você realizou o seu primeiro trabalho, que consistiu em atuar no viveiro de mudas, contribuindo com a produção de mudas e, além disso, participou de uma reunião para esclarecimento de processos envolvidos na quebra de dormência da semente.

Nesta seção, você foi solicitado para atuar na área de colheita e pós-colheita na resolução de duas situações. Em uma delas, o proprietário da fazenda deseja obter lucros mais rápidos com sua plantação de laranjas, necessitando, para isso, aproveitar a boa fase do mercado de exportação do produto. Apesar de as laranjas ainda não estarem maduras, a colheita precisará ser realizada de forma antecipada. Para tentar solucionar o problema, que indicação você daria ao produtor para que as laranjas colhidas estejam aptas a serem comercializadas? Por que sua indicação é uma boa opção? Na segunda situação, você foi alertado sobre um atraso na colheita de um lote de laranjas que irá gerar um problema, uma vez que os frutos de variedade precoce poderão amadurecer antecipadamente, ficando com um aspecto amarelado – não desejável no mercado externo –, além de causar um prejuízo econômico ao agricultor. Neste caso, poderia ser aplicado um fitormônio para retardar o amadurecimento do fruto. Que fitormônio você indicaria nesta situação? Caso seja aplicado no corpo da planta, quais são as ações provocadas? Não se esqueça que as resoluções destes problemas deverão estar presentes na segunda parte de seu relatório.

Bom trabalho!

## Não pode faltar

O crescimento e desenvolvimento dos vegetais são regulados por fatores externos que fazem parte do ambiente em que a planta está inserida, bem como fatores intrínsecos ou internos, relacionados com a genética que determina os aspectos fisiológicos e morfológicos da espécie.

Para que as fases do ciclo de vida de uma planta ocorram harmonicamente, de tal forma que ocorra a regulação e coordenação do metabolismo, do crescimento e da morfogênese, as células, tecidos e órgãos precisam comunicar-se entre si por meio de sinalizadores químicos denominados hormônios vegetais ou fitormônios. Nesta seção, estudaremos os hormônios mais relevantes para os vegetais: as auxinas, as citocininas, as giberelinas, o etileno, e o ácido abscísico.

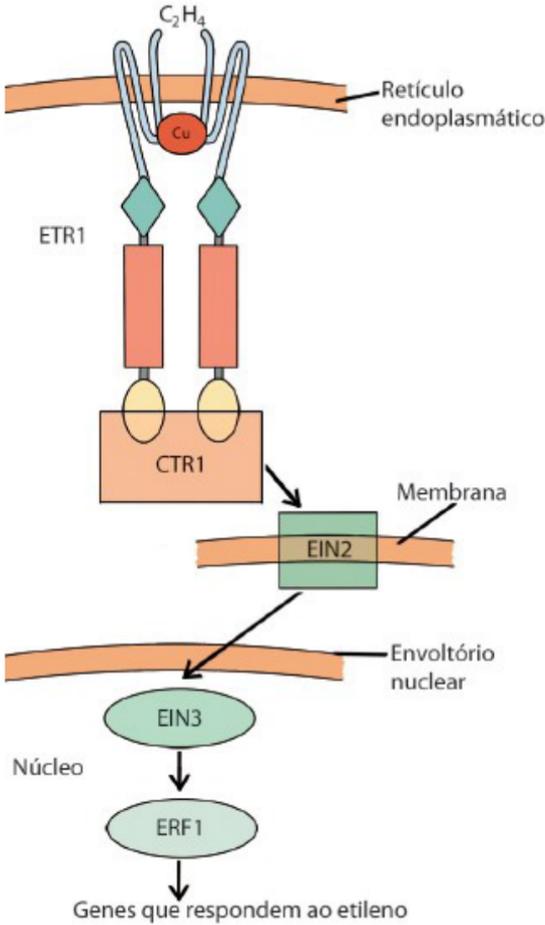
Estes sinalizadores podem ser sintetizados pelo próprio tecido que o utilizará ou em outros tecidos, sendo que neste último caso são transportados até o local de ação. É importante destacar que a ação do fitormônio pode ocorrer mesmo em dosagens muito baixas e um mesmo hormônio pode desencadear respostas diferentes, dependendo do tecido e do período de desenvolvimento do vegetal.

Para que os hormônios vegetais participem do crescimento, diferenciação celular e desenvolvimento do corpo da planta, além de agirem como sinalizadores, podem atuar como estimuladores ou inibidores da expressão gênica. Mas como a expressão gênica está relacionada ao ciclo de vida das plantas?

A resposta para esta pergunta está na síntese de proteínas. O material genético (DNA) presente no núcleo é formado por genes que podem ou não estar expressos. Isto quer dizer que os genes são o 'molde' para a produção de moléculas de RNA mensageiro (mRNA), responsáveis por fazer a transferência das informações presentes no DNA, necessárias à síntese de proteínas.

Para que você compreenda como os hormônios vegetais atuam sobre a expressão dos genes, utilizaremos como exemplo a ação do etileno representada esquematicamente na Figura 4.4, embora cada classe de fitormônio possua o seu próprio mecanismo de ação e receptores específicos.

Figura 4.4 | Simplificação da rede de sinalização do etileno



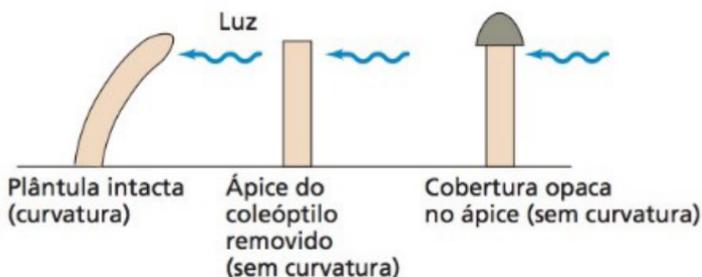
Fonte: Raven (2014, p. 657).

A Figura 4.4 indica a presença de um receptor de etileno ( ), representado pela sigla ETR1, no retículo endoplasmático. Ao se ligar ao seu receptor, o etileno induz a inativação do regulador negativo CTR1, fato que ativa a proteína transmembrana EIN2. Um sinal é enviado ao núcleo da célula e faz com que os fatores de transcrição EIN3 sejam ativados, levando a expressão dos fatores de transcrição ERF1 que, por sua vez, promoverá a produção de novas classes de mRNA. O resultado é a produção de novas proteínas que farão a mediação das respostas hormonais.

Agora que você já sabe como é o mecanismo básico de ação de um hormônio vegetal, conheceremos brevemente as características de cada um dos principais hormônios citados no início desta seção.

A auxina foi o primeiro hormônio vegetal a ser descoberto, no final do século XIX, a partir da observação da movimentação de plântulas por estímulos da iluminação. Utilizando a experimentação, o naturalista Charles Darwin demonstrou que o coleótilo do alpiste (*Phalaris canariensis* L.), ao ser submetido a uma fonte de luz, crescia em sua direção (fototropismo), curvando-se a ela e que o mesmo não é observado se o coleótilo é retirado ou coberto. Tal fato levou o pesquisador a concluir que deveria haver algum sinal produzido no ápice da plântula que estimularia a sua curvatura em direção à luz. O experimento realizado por Darwin está representado na figura a seguir.

Figura 4.5 | Esquema representativo do experimento realizado por Darwin em 1880



Fonte: Taiz et al. (2017, p. 417).

Darwin foi apenas o primeiro a descrever a presença da auxina, cujo nome – que significa crescer ou aumentar – foi atribuído tempos depois a partir de estudos de outros pesquisadores. Atualmente, o termo é utilizado para descrever um grupo de ocorrência natural ou sintética, sendo o ácido 3-indolacético (AIA) a mais abundante auxina de ocorrência natural e, dependendo de fatores ambientais, da idade da planta e de sua espécie, também podem ser encontrados outros representantes do grupo, como o ácido 4-cloroindolil-3-acético (4-cloroAIA), o ácido fenilacético e o ácido indolil-3-butírico (AIB). Dentre as auxinas sintéticas, conhecidas como substâncias reguladoras do crescimento, destacam-se: o ácido  $\alpha$ -naftalenoacético ( $\alpha$ -ANA), o ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), o ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético

(2,4,5-T), o ácido 2-metoxi-3,6-diclorobenzóico (dicamba) e o ácido 4-amino-3,5,5-tricloropicolínico (picloram).

Embora possam ser produzidas em partes maduras da planta, como folhas e ápices radiculares, os centros primários de produção de auxina (AIA) são os meristemas, folhas jovens, frutos em desenvolvimento e semente. Uma vez sintetizado, este hormônio é transportado para outras partes da planta.

Estando no tecido-alvo, a auxina poderá atuar na diferenciação do tecido vascular, na indução da formação das folhas e em sua disposição nos ramos, na promoção de formação de raízes laterais e adventícias, no desenvolvimento de frutos, na inibição da abscisão (queda) de folhas e frutos, no estímulo da floração em algumas espécies e possibilitando a expansão e alongamento das células.



### Assimile

Fitormônios produzidos sinteticamente em laboratório apresentam diversas aplicações na agricultura. As auxinas sintéticas, principalmente o piroclame e o dicamba, são utilizadas como herbicidas e apresentam alto grau de fitotoxicidade e custo relativamente baixo. O resultado de seu mecanismo de ação sobre as plantas daninhas é a epinastia das folhas (crescimento assimétrico e para baixo), interrupção do crescimento de caule e raiz, além do surgimento de tumores e colapso do tecido após alguns dias. Acredita-se que todos estes efeitos sejam decorrentes da ação conjunta entre a auxina, o etileno e o ácido abscísico.

Tal como as auxinas, as giberelinas (ou ácidos giberélicos – AG) são uma das classes mais importantes de fitormônios. Inicialmente descoberta em fungos na década de 1930, apenas cerca de 20 anos depois é que sua ocorrência natural foi detectada em plantas. Os principais locais de síntese das AG são frutos em desenvolvimento, sementes e tecidos vegetativos em crescimento rápido, sendo que, a partir de estudos, constatou-se que esses hormônios são produzidos no próprio tecido de ação ou bem próximo ao tecido-alvo.

A atuação das giberelinas está presente em todos os estágios de desenvolvimento da planta, agindo de forma isolada ou integrada com outros hormônios vegetais. Entre suas ações destacam-se: indução da germinação de sementes, estímulo da floração em

plantas de dia longo, estímulo da divisão celular e alongamento das células, regulação da produção de enzimas em algumas espécies.

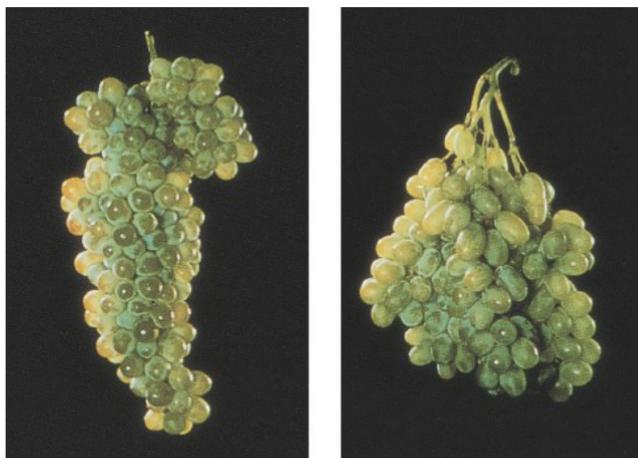
Comercialmente, as giberelinas podem ser aplicadas no período pré-colheita e pós-colheita, de acordo com os efeitos desejados. Em plantas ornamentais, por exemplo, são utilizadas no período pós-colheita – como em buquês de flores – para aumentar o período de duração da coloração verde das folhas. Além disso, em frutas cítricas sua atuação envolve a retenção da coloração verde da casca (com aplicação no fruto no período pré-colheita), permitindo a expansão do tempo de colheita e indução de textura mais uniforme, com a eliminação da presença de manchas e ferrugem. Tanto a melhoria do aspecto estético de frutos, como a manutenção da coloração verde da casca (desejável para o limão, por exemplo), quanto a prorrogação do período de colheita, são características que permitem aos agricultores obter melhores preços em seus produtos.



### Exemplificando

A aplicação das giberelinas em videiras promove a formação de uvas (*Vitis vinifera* cv) maiores e sem semente, com cachos mais soltos. Todos estes aspectos são desejados comercialmente. A Figura 4.6 apresenta um exemplo da ação da giberelina em uvas. Nela é possível observar a diferença entre um cacho não tratado com giberelina (esquerda) e um cacho que recebeu dose do hormônio (direita).

Figura 4.6 | Efeito da giberelina em uva (*Vitis vinifera* cv)



Fonte: Raven (2014, p. 652).

As citocininas (Cks) foram descobertas na década de 1950 a partir de experimentos que visavam descobrir substâncias que atuariam na divisão celular em vegetais, agindo conjuntamente com as auxinas. Evidências indicam que a biossíntese deste hormônio vegetal ocorre principalmente em ápice de raízes, embora também possam ser produzidos em tecidos meristemáticos de ápices caulinares, em sementes frutos e folhas. Estudos mostram que o transporte das citocininas a partir da raiz para outros locais de atuação ocorre via xilema.

Entre as ações das citocininas no crescimento e desenvolvimento vegetal, destaca-se o retardamento da senescência das folhas, processo em que as folhas se tornam amareladas e caem, controle da divisão e diferenciação celular, estabelecimento de drenos para o aporte de nutrientes na formação das gemas, atuação na germinação das sementes e a formação de gemas caulinares.

Por ser considerada essencial para a divisão celular e, conseqüentemente, imprescindível para a formação de tecidos e órgãos vegetais, as citocininas sintéticas podem ser utilizadas para a propagação de tecidos vegetais *in vitro*. Tal prática, amplamente utilizada na biotecnologia, é empregada na micropropagação (clonagem de plantas), produção de plantas transgênicas e obtenção de substâncias importantes a partir do cultivo vegetal em laboratório.



### Assimile

A técnica de micropropagação (ou propagação vegetativa *in vitro*) consiste na formação de plantas geneticamente idênticas a partir do cultivo *in vitro* de células, tecidos ou pequenos fragmentos vegetais, mantidos em condições controladas e em meios enriquecidos com nutrientes e fitormônios como a citocinina. Por meio desta técnica, utilizada em culturas frutíferas, hortícolas e ornamentais, é possível obter material de exemplares que apresentam características desejáveis para a produção de mudas com os mesmos genes, em larga escala e tempo reduzido.

O etileno é um hormônio gasoso cujas evidências da existência ocorreram antes mesmo da descoberta das auxinas, quando na década de 1800 descobriu-se que o gás emitido das lâmpadas das ruas causava a desfolhação das árvores nas proximidades dos postes. Mais tarde, descobriu-se que este composto era o etileno,

também sintetizado naturalmente pelas plantas, com atuação importante no desenvolvimento vegetal.

A biossíntese do etileno ocorre principalmente em tecidos, passando por processo de senescência ou amadurecimento, além de serem produzidos na maioria dos tecidos em resposta ao estresse. Uma vez sintetizado, o etileno pode se difundir para outros locais independentemente do transporte via tecidos vasculares, atuando no amadurecimento dos frutos, principalmente os climatérios (banana e maçã), assim como na abscisão e na senescência de folhas e frutos.

Por ser um hormônio gasoso, o etileno produzido naturalmente pode ser liberado no ambiente, sem risco de ocasionar alteração atmosférica. Porém, em ambientes fechados, pode se acumular, produzindo efeitos fisiológicos nas plantas e, em alguns casos, promovendo prejuízos econômicos com o aceleração da maturação de frutos ou causando a sua abscisão.



### Exemplificando

O etileno exerce papel comercial importante na agricultura. Por ser gasoso e de difícil aplicação, ele é comercializado a partir do composto ácido 2-cloroetilfosfônico, também chamado de Etephon, que quando misturado em água e absorvido pela planta, promove a liberação do etileno em pH fisiológico. Esta técnica é utilizada no estímulo do amadurecimento dos frutos, por exemplo, tomate e maçã e na sincronização do processo de floração em cultivos de abacaxi.

O ácido abscísico (ABA) foi descoberto na década de 1960, e atualmente sabe-se que ele está envolvido em vários processos fisiológicos vegetais importantes. Apesar de seu nome, ele está pouco associado a abscisão, fato que levou alguns autores a afirmarem que a sua denominação seria incorreta.

Este hormônio vegetal pode ser sintetizado em sementes, folhas maduras e raízes, especialmente em resposta ao estresse hídrico que ocorre pela atuação do ABA no fechamento dos estômatos.

O transporte do ácido abscísico para outras partes da planta a partir do tecido em que é sintetizado é feito via floema (a partir das folhas) e pelo xilema (a partir da raiz). No tecido-alvo, além

de atuar na proteção ao estresse hídrico, o ABA também participa principalmente do desenvolvimento da semente, principalmente na última metade da embriogênese e início da maturação, com indução do transporte de produtos da fotossíntese a partir das folhas, na inibição do crescimento vegetativo (dormência de gemas), e ainda na proteção contra injúrias por meio do estímulo à síntese de proteínas envolvidas na cicatrização de ferimentos.

Por se tratar de um fitormônio de rápido metabolismo e suscetível à fotodestruição, as aplicações comerciais do ABA são bastante limitadas. Compostos análogos ao ácido abscísico, como o 8'-acetileno-ABA e 8'-metileno-ABA possuem efeitos semelhantes ao fitormônio natural, podendo ser comercialmente aplicado na proteção ao estresse hídrico e na inibição da germinação.



### Pesquise mais

Além dos hormônios vegetais apresentados nesta seção, outros fitormônios possuem funções relevantes nos vegetais, embora sejam menos significativos que os demais. São eles: os brassinoesteroides, as poliaminas, o ácido jasmônico e o ácido salicílico. Para conhecer mais sobre a ação destes fitormônios na fisiologia vegetal, leia o capítulo 14, *Outros reguladores: brassinoesteroides, poliaminas, ácido jasmônico e ácido salicílico*, do livro *Fisiologia vegetal* (KERBAUY, 2012). O livro pode ser encontrado na Biblioteca Virtual!

Vale ressaltar que, devido à complexidade dos processos envolvidos no crescimento, desenvolvimento e metabolismo vegetal e às amplas possibilidades de aplicação agrícola, a atuação dos fitormônios é objeto de estudos constantes e, novas descobertas sempre podem surgir. Por isso é sempre importante que você busque atualizar-se sobre as novidades nesta área.



### Refleta

Ao longo desta seção foram apresentadas algumas aplicações comerciais dos hormônios vegetais como instrumentos para melhorias da agricultura. Você acredita que o emprego de hormônios sintéticos traga apenas benefícios para a agricultura? Quais são as implicações do uso excessivo de fitormônios nas culturas? Reflita sobre o assunto.

Chegamos ao final de mais uma seção, e para que você construa um conhecimento sólido a respeito dos conceitos apresentados, é importante que releia o conteúdo, anotando as dúvidas e os pontos mais relevantes.

Bons estudos!

## Sem medo de errar

Caro aluno, no início da seção você foi solicitado para auxiliar em duas situações: em uma delas foi solicitado que você apresentasse uma alternativa para antecipar a colheita da laranja, explicando o motivo de sua sugestão representar uma boa escolha. Na segunda situação foi questionado que fitormônio você indicaria para retardar o amadurecimento da laranja colhida, reduzindo o tempo para o amarelamento e quais são as ações que este hormônio vegetal provoca no corpo da planta.

Inicialmente é importante lembrar que os hormônios vegetais sintéticos são amplamente utilizados na agricultura para acelerar ou retardar processos naturais que ocorrem durante o crescimento e desenvolvimento vegetal. Na primeira situação apresentada, você pode apresentar como alternativa a utilização do ethefon, composto à base de etileno, para antecipar a colheita da laranja visando um melhor aproveitamento dos lucros fornecidos pelo mercado externo. O etileno é um hormônio vegetal gasoso, e por ser de difícil aplicação em seu estado físico original – sendo comercializado a partir de composto que quando misturado em água e absorvido pela planta – promove a liberação do etileno em pH fisiológico. Essa técnica é utilizada no estímulo do amadurecimento dos frutos e, por isso, pode ser indicado como uma boa alternativa para solucionar o problema em questão, uma vez que possibilitará a colheita antecipada e, conseqüentemente, reduzir o tempo para a comercialização. Além da aceleração do amadurecimento de frutos, o etileno atua na abscisão de folhas e frutos e na senescência das folhas e flores.

O mecanismo de ação do etileno envolve a ligação em um receptor específico de etileno ( ), no retículo endoplasmático. Ao se ligar ao seu receptor, o etileno induz a inativação do regulador negativo CTR1, fato que ativa a proteína transmembrana EIN2. Um

sinal é enviado ao núcleo da célula fazendo com que os fatores de transcrição EIN3 sejam ativados, levando a expressão dos fatores de transcrição ERF1 que por sua vez promoverá a produção de novas classes de mRNA. O resultado é a produção de novas proteínas que farão a mediação das respostas hormonais.

Na segunda situação, é necessário que o amadurecimento da laranja seja retardado, e que seu amarelamento seja postergado, uma vez que esta característica não é desejável para a comercialização no mercado externo, podendo reduzir o preço dos frutos. Neste caso, poderia ser indicado o uso das giberelinas, hormônio produzido em todos os estágios de desenvolvimento da planta, agindo de forma isolada ou integrada com outros hormônios vegetais. Entre as suas ações destacam-se: indução da germinação de sementes, estímulo da floração em plantas de dia longo, estímulo da divisão celular e alongamento das células, regulação da produção de enzimas em algumas espécies. Em frutas cítricas, como no caso citado, ao ser aplicado direto no fruto, sua atuação envolve a retenção da coloração verde da casca, permitindo a expansão do tempo de colheita e indução de textura mais uniforme, com a eliminação da presença de manchas e ferrugem. Estas informações devem ser reunidas em um parecer técnico que irá compor seu relatório final.

## Avançando na prática

### Controle de ervas daninhas

#### Descrição da situação-problema

Você foi procurado por um agricultor que tem enfrentando problemas para controlar a invasão de ervas daninhas em sua plantação. Como uma medida alternativa, você indicou a utilização de um produto à base de hormônio vegetal, denominado Piroclam. Qual é o fitormônio que faz parte da composição deste produto? Qual é o seu mecanismo de ação como herbicida?

#### Resolução da situação-problema

O piroclam é um herbicida a base do hormônio vegetal auxina, que além de outras atuações no crescimento e desenvolvimento vegetal, também pode ser utilizado comercialmente como

herbicida. Neste último caso, age na epinastia das folhas (crescimento assimétrico e para baixo), interrupção do crescimento de caule e raiz, além de promover o surgimento de tumores e colapso do tecido após alguns dias. Acredita-se que todos estes efeitos sejam decorrentes da ação conjunta entre a auxina, o etileno e o ácido abscísico.

## Faça valer a pena

**1.** Um grupo de cientistas deseja realizar um experimento com hormônios vegetais cujo objetivo é minimizar a perda de água por transpiração. Neste experimento, são testados diferentes concentrações de um fitormônio especialmente envolvido no fechamento de estômatos.

A partir do objetivo da pesquisa, que fitormônio seria indicado para a sua realização?

- a) Ácido abscísico.
- b) Etileno.
- c) Giberelina.
- d) Citocinina.
- e) Auxina.

**2.** Os hormônios vegetais sintéticos podem ser aplicados comercialmente para favorecer o surgimento de características favoráveis na agricultura. Um destes hormônios é especialmente utilizado na cultura de videiras na formação de uvas maiores e sem semente.

Assinale a alternativa que apresenta o hormônio vegetal descrito no texto.

- a) Citocinina.
- b) Etileno.
- c) Auxina.
- d) Giberelina.
- e) Ácido abscísico.

**3.** As citocininas (Cks) foram descobertas na década de 1950 a partir de experimentos que visavam descobrir substâncias que atuariam na divisão celular em vegetais, agindo conjuntamente com as auxinas. A respeito desta classe de hormônio, analise as assertivas a seguir.

- I. As citocininas podem atuar no aceleração da senescência foliar, participando ativamente de sua abscisão.
- II. As citocininas sintéticas podem ser utilizadas para a propagação de tecidos vegetais in vitro.
- III. O controle da divisão e diferenciação celular e o estabelecimento de drenos para o aporte de nutrientes na formação das gemas são atuações atribuídas às citocininas.

Após a análise das assertivas, marque a alternativa que contém a resposta correta.

- a) I, II e III estão corretas.
- b) Apenas I e II estão corretas.
- c) Apenas II e III estão corretas.
- d) Apenas I e III estão corretas.
- e) Apenas a II está correta.

## Seção 4.3

### Estímulos ambientais para o crescimento e desenvolvimento vegetal

#### Diálogo aberto

Caro aluno, no início desta unidade você foi contratado para trabalhar em uma propriedade rural cuja atividade agrícola principal é a produção de laranja para exportação. Como parte de suas atribuições, você atuará juntamente com uma equipe em atividades no viveiro de mudas, na área de plantio, auxiliando na manutenção da plantação, no período de colheita e pós-colheita. O trabalho que você está desenvolvendo foi dividido em três etapas, sendo que, ao final de cada uma delas, será gerado um parecer. Dois de seus pareceres já estão concluídos e nesta se c o; após a realiza o da última atividade, você deverá redigir o último e montar o relatório final.

Na terceira etapa de seu trabalho, você atuará na área de plantio e pós-colheita, e em sua visita em campo, se deparou com algumas situações: em uma área considerável da propriedade não havia planta o de nenhuma cultura, estando este espaço, aparentemente, apenas tomado por plantas daninhas. Você então teve a ideia de aproveitar a área para o cultivo de alguma cultura que pudesse trazer retorno econ mico ao proprietário da fazenda. Para isso, solicitou que fosse feita uma análise do solo, cujo resultado demonstrou que havia condições de umidade e aera o favoráveis ao desenvolvimento vegetal e que o solo se encontra em boas condições nutricionais, exceto pela baixa quantidade de nitrogênio. Neste caso, você poderia sugerir a planta o de alguma espécie comercialmente utilizada na agricultura nas condições atuais do solo, sem que o mesmo precise ser suplementado com adubo nitrogenado? O que permite com que esta cultura sobreviva em um solo com deficiência de nitrogênio? Que benefícios o uso deste tipo de cultura pode trazer para a agricultura? Quanto as plantas daninhas presentes na área,   necessário que elas sejam controladas antes do cultivo? De que forma ela poderia prejudicar a cultura?

Caminhando pela propriedade, você foi solicitado em sua segunda atividade, desta vez na área de pós colheita, onde foi

verificado que as laranjas colhidas estavam apresentando manchas pretas em sua casca, tratando-se de um caso de parasitose. Que prejuízos um parasita (patógeno) poderia acarretar a uma plantação?

Os conteúdos apresentados nesta seção, principalmente aqueles relacionados com a interação entre o vegetal e os fatores bióticos, fornecerão a base para a resolução das questões propostas. Não se esqueça que este será o seu terceiro e último parecer e que após a sua elaboração, você deverá compilar todos os documentos elaborados nas seções desta unidade, para compor o relatório final.

Bom trabalho!

## Não pode faltar

O desenvolvimento das plantas envolve aspectos genéticos, condicionantes de características morfológicas e fisiológicas, que também dependem da interação do vegetal com o ambiente que o cerca. Na Seção 4.2 foi apresentada a forma como os hormônios vegetais, que são fatores internos (ou endógenos), regulam o crescimento e o desenvolvimento vegetal. Nesta seção serão abordados os fatores ambientais que influenciam e/ou determinam a expressão do potencial genético das plantas, por meio das constantes trocas de energia e matéria com o ambiente.

A relação da planta com o ambiente envolve as constantes interações entre elas e os fatores abióticos, aqueles nas quais envolvem os aspectos físicos, químicos ou físico-químicos, tal como a temperatura, luz, umidade, oxigênio, entre outros, e também os fatores bióticos, como as interações com outros seres vivos, como agentes polinizadores, predadores, etc.

A ecofisiologia vegetal é a ciência responsável pelo estudo da interação da planta com o seu meio, buscando elucidar toda a complexidade que envolve os processos fisiológicos dos vegetais, quando submetidos a determinados ambientes.

Quando o ambiente oferece algum estímulo ou sofre alguma alteração, as plantas podem responder de diferentes formas, incluindo mudanças em seu desenvolvimento para melhor se integrar ao seu ambiente. Esta capacidade de mudança é denominada plasticidade fenotípica e consiste na junção entre a plasticidade do desenvolvimento (mudanças no desenvolvimento, que podem

ocorrer em semanas, meses ou anos) e a plasticidade fisiológica (mudanças na fisiologia, ocorrendo em curto prazo, em intervalo de minutos ou dias). É importante salientar que a capacidade fenotípica pode variar de acordo com a espécie e até mesmo em diferentes indivíduos da mesma espécie.



## Assimile

Tropismos são exemplos de movimentações que ocorrem em plantas em resposta a diferentes agentes ambientais sendo:

- **Fototropismo** é o crescimento do corpo da planta direcionado à fonte de luz.
- **Escototropismo** a planta cresce em direção ao lado menos iluminado.
- **Gravitropismo** (ou geotropismo) é o crescimento vegetal que ocorre orientado pela gravidade, podendo este ser negativo se ocorrer contra ela (crescimento do caule, por exemplo) ou positivo se o crescimento se orientar a favor da gravidade (por exemplo, no crescimento das raízes).
- **Hidrotropismo**, há o crescimento direcionado ao local em que apresenta maior gradiente de umidade.
- **Tigmotropismo** é o crescimento orientado pelo contato físico.
- **Quimiotropismo** há uma resposta de crescimento em relação ao gradiente de substâncias químicas presentes no meio.

Em algumas situações, as mudanças ambientais podem provocar uma condição de estresse, em que agentes externos são responsáveis por causar uma perturbação no organismo, que a responderá de alguma forma. As respostas dependerão da intensidade dos fatores ambientais, das condições fisiológicas da planta e da história evolutiva e ecológica da espécie. O estresse pode comprometer processos fisiológicos importantes da planta, como a reprodução, podendo – inclusive – leva-la à morte, dependendo do estágio de desenvolvimento em que ela se encontra.

Cabe ressaltar que as instabilidades no ambiente, denominadas ruídos ambientais, quando em pequenas intensidades, podem atuar como fonte de organização no corpo da planta e contribuir para a sua adaptação no ambiente. Plantas que sobrevivem em condições ambientais extremas, que poderiam leva-las à morte, adquirem novo estado fisiológico, tornando-as capazes de se desenvolverem em condições adversas. Este processo é denominado aclimatação.



### Exemplificando

A presença de folhas modificadas em espinhos, como as observadas em espécies de cactáceas (Figura 4.7), exemplifica uma adaptação ao ambiente árido, já que neste formato, a evapotranspiração pelas folhas é reduzida, impedindo a perda excessiva de água e mantendo um balanço hídrico menos desfavorável no interior da planta. Este é um caso de evitância, que consiste na utilização de um conjunto de mecanismos para impedir que a planta entre em contato com alguma perturbação ambiental que pode lhe causar estresse, que neste caso seria a escassez hídrica.

Figura 4.7 | Presença de folhas modificadas em espinhos na *Carnegiea gigantea* (Engelm.) Britton & Rose



Fonte: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Saguaro\\_cactus\\_fruits\\_with\\_bird.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Saguaro_cactus_fruits_with_bird.jpg)>. Acesso em: 23 jul. 2018.

Um exemplo de aclimatação é observado em cafeeiros formados por plantas jovens que, quando submetidas a vários ciclos de escassez

hídrica, de tal forma em que há o fechamento estomático, passam a acumular mais biomassa e ter a floração intensificada quando as condições do campo são reestabelecidas.

Algumas espécies, ou mesmo um determinado organismo que apresenta mutação que o torna melhor adaptado ao ambiente, pode apresentar resistência ou tolerância às modificações do meio em que vivem. Dizemos que um vegetal é resistente quando realiza mecanismos ou processos que contrapõem a perturbação ambiental, como ajustes osmóticos quando há escassez de água, por exemplo. Já a tolerância consiste em mecanismos ou processos que permitem que a planta suporte determinadas condições ambientais, como a presença de glândulas que eliminam o excesso de cloreto e sódio em plantas de ambientes salinos.

Tão importante quanto à interação das plantas com o seu meio abiótico é a relação que elas estabelecem com outros seres vivos, incluindo aqueles de sua própria espécie por meio da competição. Embora possa parecer um aspecto negativo competir por recursos necessários e limitados, é importante sob o ponto de vista evolutivo, uma vez que atua selecionando aqueles indivíduos que estão melhores adaptados ao ambiente em que vivem. Plantas que conseguem sobreviver à competição, seja com seres de sua espécie ou com organismos de espécies diferentes que utilizam os mesmos recursos, têm melhores desempenhos em seu desenvolvimento, pois conseguem utilizar os recursos que seriam destinados a seus competidores.

Como não possuem a capacidade de se movimentarem tal como fazem os animais, as plantas dependem dos recursos que estão a sua volta. Mesmo quando a disponibilidade de nutrientes e água estão adequados à sobrevivência de todas as espécies que habitam determinada localidade, as plantas podem competir por luz, tornando-se este, um fator limitante. Em regiões de florestas, por exemplo, em que a densidade populacional de espécies arbóreas é grande, àquelas árvores que possuem copas mais altas naturalmente estarão captando maior luminosidade em suas folhas e deixando as competidoras ao seu redor na sombra. Conforme estudamos na Seção 3.2 a luminosidade é essencial para que ocorra a fotossíntese e esta, por sua vez, garante a sobrevivência das plantas.



A competição entre espécies é um assunto de interesse para a agricultura, especialmente em se tratando de espécies de plantas daninhas, que podem competir por água, luz, nutrientes e espaço com a planta cultivada, além de causar prejuízos ao seu crescimento, desenvolvimento, produtividade e até mesmo depreciar a qualidade do produto colhido. Além disso, algumas espécies de plantas daninhas podem produzir substâncias químicas alelopáticas, inibindo o desenvolvimento das culturas ou serem hospedeiras alternativas de insetos-praga e nematoides parasitas que causam danos às plantações. A inibição do crescimento por meio da liberação de substâncias químicas (inibidores aleloquímicos) pode afetar membros de uma mesma espécie ou de espécies diferentes e, assim como as plantas daninhas podem inibir o crescimento de plantações, o oposto também pode ocorrer. O sorgo, por exemplo, pode produzir substâncias químicas que impedem a proliferação de plantas daninhas.

Em um ambiente em que se estabelecem diversas relações entre os seres vivos que ocupam uma cadeia trófica, as plantas estão susceptíveis a serem predadas (condição denominada herbivoria) ou sofrerem a ação de agentes patogênicos. Tanto a predação quanto as patologias, apesar de serem processos naturais e importantes para o equilíbrio ecológico, são relações que podem causar prejuízos econômicos às culturas agrícolas, necessitando em muitos casos ser evitados e controlados.

Espécies de bactérias, fungos e vírus podem atuar como agentes fitopatogênicos, embora as doenças causadas por fungos sejam mais frequentes em plantas. A antracnose, causada por espécies do gênero *Colletotrichum sp*, a ferrugem do cafeeiro que tem como agente causador a espécie *Hemileia vastatrix* (Figura 4.8) e a pinta preta (ou mancha preta) causada por *Guignardia citricarpa* são exemplos de fungos que causam prejuízos em culturas agrícolas. A antracnose que afeta o feijão, a lentilha e a soja, pode provocar necrose do pecíolo, mancha nas folhas e morte de plântulas. A ferrugem do cafeeiro seca ramos, promove a queda das folhas e prejudica a produção de frutos; já a pinta preta, observada principalmente em culturas de frutas cítricas, provoca manchas pretas em folha e frutos, causando prejuízos estéticos na casca,

tornando-a indesejável no comércio de frutas frescas. No entanto, podem ainda ser aproveitadas na produção de sucos, já que não há alteração do sabor.

Figura 4.8 | Ferrugem-do-café



Fonte: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Ferrugem-do-café%C3%A9#/media/File:Hemileia\\_vastatrix.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ferrugem-do-café%C3%A9#/media/File:Hemileia_vastatrix.jpg)>. Acesso em: 23 jul. 2018.



### Pesquise mais

Com o passar do tempo, sob influência da predação e do ataque de agentes patogênicos, algumas espécies de plantas desenvolveram mecanismos de defesa para garantirem a sua sobrevivência. Entre eles, a produção de espinhos e a produção e liberação de substâncias químicas tóxicas, que podem atuar diretamente no patógeno e provocar a sua morte ou afugentar um predador. A presença de taninos, compostos fenólicos produzidos pela planta, pode ser observada em várias partes dos vegetais, incluindo folhas, frutos e sementes. O seu papel é fazer proteção contra a herbivoria, por meio da alteração de sabores e provocando indigestão. Provavelmente você já teve a desagradável experiência de comer uma banana que não estava madura. A sensação de adstringência na língua e no palato deve-se a presença dos taninos. Isto nada mais é do que uma defesa da espécie contra a predação de seu fruto antes que a semente esteja madura o suficiente para ser dispersa no ambiente.

Quer saber mais sobre os mecanismos de defesa desenvolvidos pelas plantas contra os fitopatógenos? Não deixe de ler as páginas 20 a 35 do livro:

STANGARLIN, J. R. et al. A defesa vegetal contra fitopatógenos. **Scientia Agraria Paranaensis**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 18-46, jan. 2011. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/viewFile/5268/3929>>. Acesso em: 6 ago. 2018.

A predação e o parasitismo apresentados nesta seção são exemplos da interação entre a planta e o meio biótico, que podem culminar com prejuízos ao vegetal. No entanto, a interação entre as plantas e outros seres vivos também pode ocorrer de forma harmônica e trazer benefícios ao desenvolvimento do vegetal, como nos casos de polinização, dispersão de sementes e associações com fungos e bactérias, por exemplo.

A relação entre agentes polinizadores e as plantas é complexa e resultado de adaptações morfológicas e comportamentais em ambos os envolvidos. Algumas espécies 'coevoluíram' de tal forma que a polinização se tornou um processo específico entre uma determinada planta e seu agente polinizador. Nestes casos, a extinção de uma das espécies envolvidas pode acarretar no desaparecimento da outra, ou em novos mecanismos adaptativos.



**Refleta**

As plantas evoluíram ao longo do tempo, visto as necessidades de se adaptarem às novas condições impostas pelo ambiente. Uma vez que o processo de predação, bem como as patologias são importantes para a manutenção do equilíbrio natural, será que os eles se modificaram ao longo do tempo (evoluíram)? Reflita sobre isso!

É por meio da polinização que insetos e aves, por exemplo, obtêm néctar e outras substâncias de interesse produzidas pelas plantas e em contrapartida, transportam o pólen para outras flores, favorecendo a fecundação e formação de sementes e frutos. Portanto, este processo tem significativa importância para a produção de alimentos, apresentando inclusive valorização

econômica, resultado do cálculo entre a produção anual de cada cultura e sua dependência por polinização.

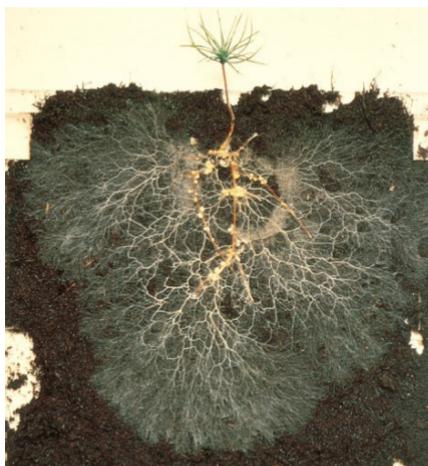


## Assimile

O desaparecimento de agentes polinizadores em função da destruição de habitat e uso de agrotóxicos é um problema que tem afetado a produção mundial de alimentos. Para tentar amenizar economicamente as perdas para a agricultura, as empresas têm investido na produção comercial de abelhas e em alguns casos utilizam-se técnicas de polinização artificial, que também é aplicada em casos de culturas que ficam abrigadas em estufas e em áreas urbanas, em que a presença de polinizadores é escassa. Na polinização artificial, são utilizados sopradores ou a transferência de pólen de uma flor a outra manualmente.

As plantas podem se associar benéficamente em relações com fungos e outros insetos além dos polinizadores. As micorrizas (Figura 4.9) são associações entre fungos e raízes de muitas espécies vegetais, que ocorrem de forma obrigatória, ou seja, a sobrevivência de ambos os seres depende da interação entre eles. Nesta relação, a presença do fungo permite que a planta absorva uma maior quantidade de nutrientes do solo, principalmente os de baixa mobilidade, como o fósforo, o cobre e o zinco, além de estar associado ao aumento da tolerância a elementos tóxicos e ao estresse hídrico.

Figura 4.9 | Corte de solo mostrando micorriza em plântula de *Pinus contorta*



Fonte: Raven (2014, p. 313).



Por todos os benefícios que trazem aos vegetais, as micorrizas apresentam grande interesse para a agricultura. Para conhecer mais sobre o assunto, acesse:

SOUZA, Vênia C. de et al. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 612-618, dez. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbeaa/v10n3/v10n3a11.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2018.

A associação entre raízes de plantas leguminosas pode ocorrer com bactérias fixadoras de nitrogênio (rizóbios), capazes de converter o nitrogênio atmosférico em formas que podem ser utilizadas pelas plantas. Um caso especial de associação ocorre nas raízes da soja, fornecendo à planta matéria-prima para a produção de proteínas necessárias em grande quantidade para o desenvolvimento da cultura. Além disso, a fixação biológica do nitrogênio pode trazer outros benefícios para os cultivos agrícolas, como redução do uso de adubos nitrogenados, fornecimento de nitrogênio para o solo, melhorando suas propriedades físicas, químicas e biológicas, além do aumento de produtividade.

Chegamos ao final de mais uma seção e com ela, encerramos a Unidade 4, dedicada ao estudo dos fatores que afetam o crescimento e desenvolvimento vegetal. Não deixe de reler esta seção anotando as suas dúvidas e pontos mais relevantes. Para que o seu aprendizado seja satisfatório, busque associar os conteúdos aprendidos em todas as unidades apresentadas, e não se esqueça de buscar por fontes complementares de informação.

Bons estudos e sucesso!

## Sem medo de errar

Caro aluno, na presente seção você foi solicitado a realizar a terceira atividade na propriedade rural em que trabalha. Nela, você atuou nas áreas de plantio e pós-colheita, em que se deparou com duas situações diferentes. Na área de plantio, avaliou um terreno tomado por plantas daninhas e com baixa quantidade de nitrogênio, na intenção de aproveitá-lo para o cultivo de planta comercial.

Neste contexto, precisou elucidar as seguintes questões: você poderia sugerir a plantação de alguma espécie comercialmente utilizada na agricultura nas condições atuais do solo, sem que ele precise ser suplementado com adubo nitrogenado? O que permite com que esta cultura sobreviva em um solo com deficiência de nitrogênio? Que benefícios o uso deste tipo de cultura pode trazer para a agricultura? Quanto às plantas daninhas presentes na área, é necessário que elas sejam controladas antes do cultivo? De que forma ela poderia prejudicar a cultura? Na segunda situação você foi solicitado na área de pós-colheita, em que foi constatado presença de frutos com uma parasitose que provoca manchas pretas. Neste sentido, foi questionado: que prejuízos um parasita (patógeno) poderia acarretar a uma plantação?

Para elucidar estas questões, você precisa estar atento às relações estabelecidas entre as plantas e os fatores bióticos presentes no meio em que vivem. Na primeira situação, o problema com a baixa quantidade de nitrogênio do solo pode influenciar no desenvolvimento de plantas, já que eles são necessários para a formação de proteínas. Porém, leguminosas podem estabelecer relação com bactérias (rizóbios) associadas às suas raízes e, que são capazes de realizar a fixação do nitrogênio atmosférico convertendo-o em uma forma que é assimilada e utilizada pela planta para o seu desenvolvimento. Poderia ser sugerido o cultivo da soja, que realiza associação com estas bactérias e poderia ser uma fonte de renda adicional para o proprietário. A fixação biológica do nitrogênio traz benefícios não só para a planta, mas para a agricultura de forma geral, pois pode resultar na redução do uso de adubos nitrogenados, fornecimento de nitrogênio para o solo, melhorando suas propriedades físicas, químicas e biológicas, além do aumento de produtividade. Antes da introdução da soja, é necessário que as plantas daninhas sejam controladas, já que elas atuam como competidoras por nutrientes, umidade e espaço com as culturas, podendo inclusive liberar substâncias químicas que inibem o crescimento de outras plantas ou serem hospedeiras alternativas de patógenos.

Em relação à atividade desenvolvida na área pós-colheita. Os prejuízos acarretados por patógenos às plantações podem ser apenas de natureza estética ou provocar outros problemas como necroses, queda de folhas, prejuízos à frutificação e morte de

plântulas. Os efeitos dependerão do tipo de patógeno de que se trata e, em qualquer uma das situações citadas, podem ocorrer perdas econômicas ao agricultor.

A partir da finalização desta seção e, conseqüentemente, do terceiro parecer, não se esqueça de que é o momento de concluir o seu relatório final para ser entregue ao produtor rural, em que analisou-se as respostas fisiológicas e hormonais das plantas em relação às variáveis ambientais.

## Avançando na prática

### Avaliando o problema com frutificação

#### Descrição da situação-problema

Você, integrante de uma equipe que presta consultoria em fazendas, foi procurado por um agricultor que está tendo problemas com a produção de seu tomateiro, mantido no interior de uma estufa. Ele relatou que os frutos não estão nascendo, mas quando isso acontece, são pequenos e não formam sementes, o que tem comprometido a qualidade de sua plantação e reduzido o retorno financeiro. Você solicitou uma série de análises das condições abióticas no interior da estufa e constatou que nutrientes, umidade e insolação estão favoráveis ao desenvolvimento normal dos tomateiros. No entanto, observou que não há insetos ou corrente no interior da estufa. A partir dos dados apresentados, qual é o fator mais provável que esteja causando a ausência de frutificação? O que poderia ser sugerido ao agricultor como alternativa para o problema?

#### Resolução da situação-problema

Culturas que são mantidas em estufas podem apresentar problema na frutificação devido à ausência de agentes polinizadores. Neste caso, poderia ser o fator mais provável visto que as condições do meio abiótico estavam favoráveis ao desenvolvimento do tomateiro, no entanto, não foi observada a presença de insetos e de corrente de ar, que poderiam estar atuando como agentes polinizadores. Uma alternativa que poderia ser indicada neste caso é a polinização artificial que pode ser realizada manualmente ou com o auxílio de sopradores de ar, por exemplo.

## Faça valer a pena

**1.** O responsável por uma estufa, por descuido, deixou com que um vaso em que estava plantada uma muda tombasse. Após alguns dias ele retornou ao local e percebeu que a planta que estava no vaso inverteu a sua posição de crescimento, e passou a se desenvolver para cima.

A inversão do crescimento da planta relatada no texto se deve principalmente ao:

- a) Fototropismo.
- b) Tigmotropismo.
- c) Hidrotropismo.
- d) Geotropismo.
- e) Quimiotropismo.

**2.** O fato de não possuírem a mesma mobilidade que os animais, exige que as plantas adquiram mecanismos que as auxiliem a sobreviverem com os recursos presentes à sua volta. No entanto, alguns agentes externos podem causar perturbações no organismo, exigindo que ele responda de alguma forma.

Assinale a alternativa que contém o nome da perturbação provocada por um agente externo da qual o texto se refere.

- a) Tolerância.
- b) Estresse.
- c) Resistência.
- d) Evitância.
- e) Plasticidade.

**3.** A relação da planta com o ambiente envolve as constantes interações entre elas e os fatores abióticos e bióticos. A respeito da relação dos vegetais com outros seres vivos, analise as assertivas a seguir.

- I. A antracnose é uma fitopatologia provocada por um fungo, que pode levar plântulas à morte.
- II. Damos o nome de micorriza à associação entre bactérias capazes de fixar o nitrogênio atmosférico e disponibilizá-lo em uma forma utilizável pela planta.

III. Com o passar do tempo, sob influência da predação e do ataque de agentes patogênicos, algumas espécies de plantas desenvolveram mecanismos de defesa para garantirem a sua sobrevivência, como a produção de espinhos e a liberação de substâncias químicas tóxicas.

Após a análise da assertiva, marque a alternativa correta.

- a) Apenas I e III estão corretas.
- b) Apenas I e II estão corretas.
- c) Apenas II e III estão corretas.
- d) Apenas I está correta.
- e) I, II e III estão corretas.

# Referências

- KERBAUY, Gilberto B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.
- KIMATI, H. et al. **Manual de fitopatologia**: Doenças das plantas cultivadas. São Paulo: Ceres, 1997.
- RAVEN, Peter H.; EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. **Biologia Vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
- TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017.



ISBN 978-85-522-1080-1



9 788552 210801 >