

# LICENCIATURA EM BIOLOGIA



1ª edição

## BOTÂNICA GERAL E COMPARADA II



FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS



EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA

# BOTÂNICA GERAL E COMPARADA II



---

---

## SOMESB

Sociedade Mantenedora de Educação Superior da Bahia S/C Ltda.

**Presidente** ♦ Gervásio Meneses de Oliveira  
**Vice-Presidente** ♦ William Oliveira  
**Superintendente Administrativo e Financeiro** ♦ Samuel Soares  
**Superintendente de Ensino, Pesquisa e Extensão** ♦ Germano Tabacof  
**Superintendente de Desenvolvimento e  
Planejamento Acadêmico** ♦ Pedro Daltro Gusmão da Silva

## FTC - EaD

Faculdade de Tecnologia e Ciências - Ensino a Distância

**Diretor Geral** ♦ Reinaldo de Oliveira Borba  
**Diretor Acadêmico** ♦ Roberto Frederico Merhy  
**Diretor de Tecnologia** ♦ Jean Carlo Nerone  
**Diretor Administrativo e Financeiro** ♦ André Portnoi  
**Gerente Acadêmico** ♦ Ronaldo Costa  
**Gerente de Ensino** ♦ Jane Freire  
**Gerente de Suporte Tecnológico** ♦ Luís Carlos Nogueira Abbehusen  
**Coord. de Softwares e Sistemas** ♦ Romulo Augusto Merhy  
**Coord. de Telecomunicações e Hardware** ♦ Osmane Chaves  
**Coord. de Produção de Material Didático** ♦ João Jacomel

---

---

---

---

EQUIPE DE ELABORAÇÃO/PRODUÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO:

♦ **PRODUÇÃO ACADÊMICA** ♦

**Gerente de Ensino** ♦ Jane Freire  
**Autor** ♦ Rosely Oliveira Andrade Cruz  
**Supervisão** ♦ Ana Paula Amorim  
**Coordenação de Curso** ♦ Tatiane Lucena

♦ **PRODUÇÃO TÉCNICA** ♦

**Revisão Final** ♦ Carlos Magno

**Equipe** ♦ Alexandre Ribeiro, Cefas Gomes, Clauder Filho, Delmara Brito, Diego Doria Aragão, Diego Maia, Fabio Gonçalves, Francisco França Júnior, Hermínio Vieira, Israel Dantas, Lucas do Vale, Marcio Serafim, Mariucha Ponte, Ruberval da Fonseca e Tatiana Coutinho.  
**Editoração** ♦ Francisco França Junior  
**Ilustração** ♦ Francisco França Júnior  
**Imagens** ♦ Corbis/Image100/Imagensource

---

---

copyright © **FTC EaD**

Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei 9.610 de 19/02/98.  
É proibida a reprodução total ou parcial, por quaisquer meios, sem autorização prévia, por escrito,  
da FTC EaD - Faculdade de Tecnologia e Ciências - Ensino a Distância.

[www.ftc.br/ead](http://www.ftc.br/ead)

# SUMÁRIO



## CRESCIMENTO, DESENVOLVENDO E RELAÇÕES HÍDRICAS DAS ANGIOSPERMAS



### CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO. . . . . 07

- Propagação vegetativa e biotecnologia. . . . . 07
- Reprodução sexuada. . . . . 09
- Embriogênese, Dormência e Germinação de sementes. . . . 15
- Fitormônios. . . . . 23



### RELAÇÕES HÍDRICAS. . . . . 37

- Estrutura e propriedades físico-químicas da água. . . . . 37
- Água no solo e movimento ascendente de água no xilema. 40
- Transpiração e fisiologia dos estômatos. . . . . 46
- Nutrição mineral. . . . . 51



## FLUXOS DE ENERGIA DA ANGIOSPERMAS



### FOTOSSÍNTESE. . . . . 57

- Luz, Cloroplastos e Fotossistemas. . . . . 57
- Reações luminosas- Fotofosforilação acíclica e cíclica. . . . 62

■ Reações de fixação de carbono, fotorrespiração, Plantas C <sub>4</sub> , e plantas CAM	64
■ CAM	67

■ Translocação de solutos



RESPIRAÇÃO	70
------------	----

■ Etapas e mecanismo	71
■ Fermentação	74
■ Controle da respiração por fatores internos	75
■ Ecofisiologia e respiração	76
Atividade Orientada	80
Glossário	82
Referências Bibliográficas	84

## **Apresentação da Disciplina**

### **Caro(a) estudante;**

A formação do biólogo deve contemplar um entendimento integrado sobre os seres vivos e as relações que estes mantêm com o meio. Um estudo mais aprofundado e direcionado aos processos fisiológicos dos vegetais, ou seja, como os vegetais conseguem crescer, desenvolver, produzir seus alimentos, respirar e todos os demais processos vitais, é o que propõe a disciplina Fisiologia Vegetal.

Iniciaremos nosso trabalho enfocando a germinação das sementes e sua fisiologia. Após a emissão das radículas e das folhas, a plântula já é capaz de absorver e conduzir água, sais minerais e fotossintetizar. Produzidas todas as moléculas necessárias à sua manutenção e sobrevivência, o vegetal deve promover meios pelos quais todos esses produtos sejam distribuídos para as suas partes do vegetal que não realizam fotossíntese, aproveitando-os ou armazenando-os em seguida. Podemos, assim, observar como é possível “transformar” o que inicialmente foi produzido pelos próprios vegetais em outras substâncias necessárias a algum processo específico dentro de um mesmo vegetal.

O verdadeiro aprendizado, por sua vez, só é alcançado quando o estudante se torna capaz de integrar os processos fisiológicos básicos; de aplicar e associar estes conhecimentos a situações concretas e simples do cotidiano; quando ele é capaz de formular hipóteses e buscar novos conhecimentos a partir dos fundamentos aprendidos em seu curso básico de Fisiologia Vegetal. Sendo assim, parto com a seguinte proposta: Vamos caminhar juntos nessa nova etapa da nossa formação?

**Profa. Rosely Oliveira Andrade Cruz**







# CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E RELAÇÕES HÍDRICAS DAS ANGIOSPERMAS



## CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO

Os vegetais são seres autótrofos e, como tal, possuem a capacidade de produzir seus alimentos necessitando para isso apenas de água, luz, nutrientes e CO<sub>2</sub>. A falta da possibilidade de locomoção torna-os seres com significativa capacidade de adaptação, pois sem essa ficaria impossível manter sua sobrevivência em condições adversas.

Apesar de eficientes na manutenção de sua vida, ainda se faz necessário que esses seres disponham de outros mecanismos para garantir sua sobrevivência em qualquer que seja o ambiente no qual estiverem adaptados.

A reprodução é um desses mecanismos, próprio dos seres vivos, serve assim, como garantia de sobrevivência para esse grupo. Pode ser realizada por meio da produção de gametas (sexuada) ou por partes de uma planta inteira que originará outra planta (vegetativa ou assexuada).

Entretanto, a forma como o processo reprodutivo ocorrerá, dependerá:

- da espécie e;
- das suas características evolutivas.

Sendo assim, teremos:

Tipos de Reprodução nos vegetais:

- Vegetativa (assexuada);
- Sexuada.

## ■ PROPAGAÇÃO VEGETATIVA E BIOTECNOLOGIA

Nesse tipo de reprodução, partes de diferentes órgãos de uma planta poderão originar outras com as mesmas características genéticas das que lhe deram origem.

Na natureza, esse tipo de reprodução ocorre quando as condições ambientais são favoráveis ao desenvolvimento da espécie. Dessa forma, há *ganho de tempo no processo favorecendo a perpetuação da espécie e não haverá elevado gasto energético como ocorre no processo de reprodução sexuada.*

Considera-se, então, que a Propagação Vegetativa pode acontecer por dois diferentes meios:

### a) Meios naturais

Os mecanismos de reprodução vegetativa nas angiospermas, possuem um nível de variedade muito alto, pois podem acontecer por meio de todos os órgãos da planta, dependendo apenas das características evolutivas da espécie.

- estolões (ex. morangos),
- rizomas (ex. gramíneas e erva-daninha),
- tubérculos (ex. batata-inglesa),
- folha (ex. *Kalanchoë daigremontiana*),
- raiz (ex. amora, cereja, maçã, framboesa),
- embrião da semente / **apomixia** (embrião produzido assexuadamente pela planta-mãe) (ex. dente-de-leão),
- algumas flores e inflorescências podem modificar estruturas e passar a funcionar como órgão de reprodução vegetativa.

### b) Meios artificiais

Cultura asséptica de tecidos por meio de diferenciação de calos (clonagem ou micropropagação).

O termo *Clonagem* tem sido muito divulgado principalmente após o surgimento da ovelha Dolly. O processo vem levantando uma série de soluções para tratamento definitivo de algumas doenças mas, infelizmente, também vem trazendo à tona algumas preocupações de cunho ético.

Nos vegetais, entretanto, esse tipo de reprodução é extremamente valioso, não só pelo fato da melhoria da produção e qualidade de algumas culturas, como pelo fato de garantir que espécies que já estão adaptadas possam manter uma produção em largas escalas.

## Mas, o que é clonar?

*Clonar significa*: formar indivíduos geneticamente idênticos a partir de células ou fragmentos de uma determinada matriz (Camargo e Castro et al, 2002).

## Para que serve?

### Importância - Ecológica / Econômica

Esse meio de reprodução possibilita à agricultura uma maior e melhor condição de aperfeiçoamento da produção vegetal nos seus aspectos qualitativos e quantitativos. Surgiu entre outras necessidades, da rápida produção de vegetais cujo ciclo de vida é longo e que possui características de adaptação apropriadas.

Dessa forma, a clonagem *in vitro* ou micropropagação tornou-se indispensável na atualidade, pois garante que essas espécies tenham seu processo de perpetuação em condições ambientais favoráveis num menor espaço de tempo.

## Qual a relação da Clonagem ou Micropropagação com a Biotecnologia?

A Biotecnologia é o ramo da Biologia que consiste exatamente no desenvolvimento dessas técnicas que vieram a tornar possível o avanço de algumas áreas inclusive da agricultura e, conseqüentemente, das melhores condições de sobrevivência dos vegetais e para toda a cadeia alimentar a eles vinculada. É possível a produção de plantas com as

características que estejam mais compatíveis com as demandas do mercado interno e externo (Camargo e Castro, et al, 2002).

Nessa forma de reprodução artificial, podem ser utilizadas culturas de células, tecidos e órgãos ou através da engenharia genética quando o DNA nuclear, mitocondrial ou do cloroplasto são manipulados.

Esse tipo de reprodução também apresenta aspectos positivos bem como alguns negativos. Entre as vantagens podemos citar:

- ⇒ Produção da espécie durante todo o ano;
- ⇒ Propagação de clones que na forma de reprodução usual teriam dificuldades em se reproduzir por meio da produção de sementes;
- ⇒ Diminuição significativa do tempo para a propagação da espécie;
- ⇒ Eliminação dos riscos de infecção

#### **Como desvantagens, podemos evidenciar:**

- Como todos os indivíduos possuem o mesmo genótipo, caso as condições ambientais favoráveis sofram alguma alteração existe a possibilidade de eliminação dos indivíduos da espécie;

- A sua distribuição é bastante limitada, pois as plantas-filhas geralmente se desenvolvem próximas à planta-mãe.

#### **Curiosidade:**

*Poucas são as espécies que usualmente se reproduzem assexuadamente. Dentre elas temos: bananeiras (*Musa acuminata*), cará (*Dioscorea batata*), batata (*Ipomoea batatas*)*

**Ferri, 1986**

## **■ REPRODUÇÃO SEXUADA**

A reprodução assexuada ou vegetativa não necessita da produção de gametas masculinos e femininos para garantir a perpetuação da espécie. Já a Reprodução sexuada depende dessa produção e das formas que podem impedi-la ou contribuir para que aconteça, como é o caso dos agentes polinizadores, temperatura, água entre outros

Se falarmos em reprodução sexuada nos vegetais, que tipo de estrutura, de órgão vegetal nos vem à mente?

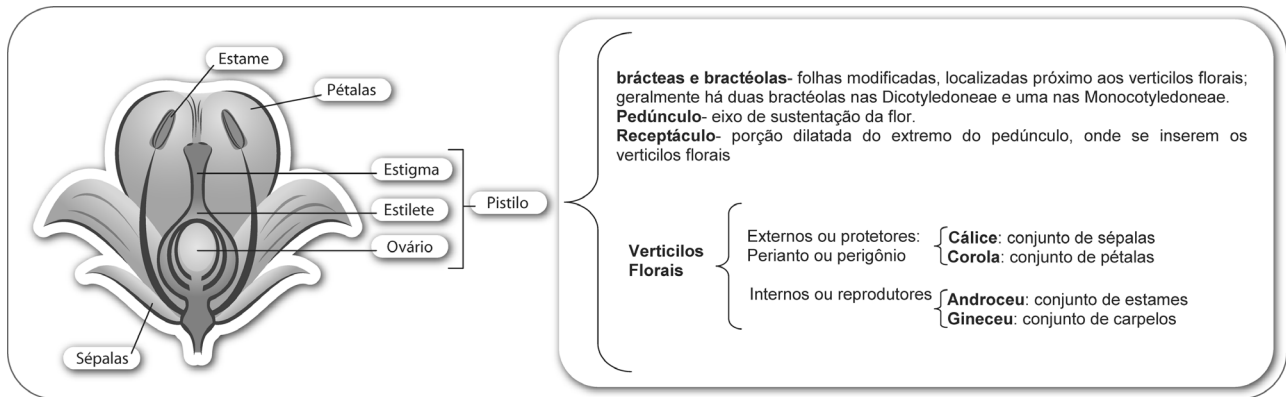
#### **Exato. AS FLORES**

Elas são responsáveis pelo processo reprodutivo sexuado, pois além de servirem como atrativo para os agentes polinizadores, servem também como proteção das estruturas que desempenharão papéis no processo reprodutivo como é o caso dos ovários e dos grãos-de-pólen entre outros.

Vamos recordar alguns aspectos morfológicos desse órgão.

A flor é um ramo altamente modificado constituído de uma haste, o *pedicelo*, que geralmente possui uma porção terminal dilatada (*receptáculo*) de onde surgem os apêndices modificados: sépalas, pétalas, estames e carpelos (Apezzato-da-Glória e Guerreiro, 2003).

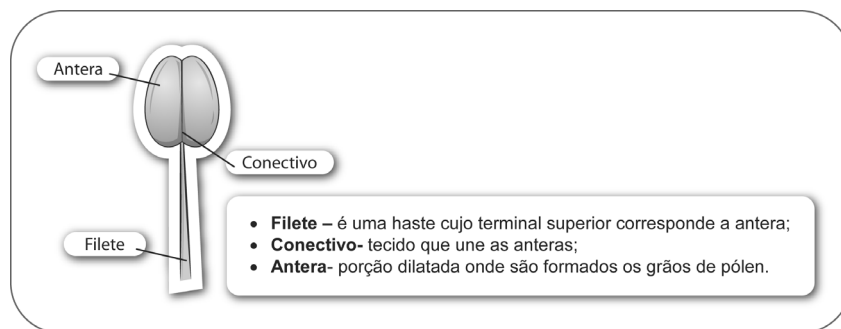
Temos, assim, segundo Vidal e Vidal, 2004, as seguintes partes constituintes de uma flor completa:



## O Androceu

O androceu corresponde ao conjunto de estames, e estes são os órgãos reprodutores masculinos que produzem os grãos de pólen dos quais se originaram os gametas masculinos.

Os estames são formados por três partes:

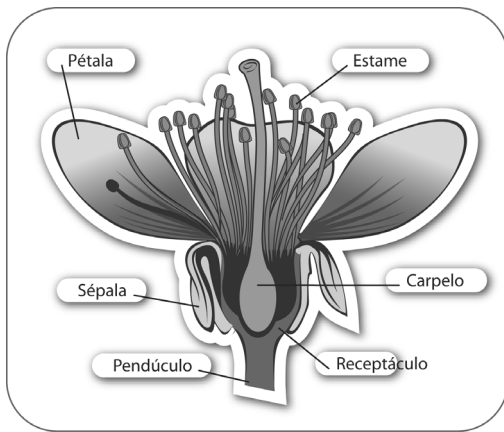


## O Gineceu

Formado por um conjunto de carpelos, que são os órgãos femininos da flor os quais formarão um ou mais pistilos.

Segundo Vidal e Vidal, 2004, o pistilo é formado pelas seguintes partes:

- **Ovário** – base dilatada do pistilo onde encontram-se os **óvulos**;
- **Estilete** – parte tubular geralmente alongada que dá continuidade ao ovário até a parte superior servindo para a passagem do tubo polínico;
- **Estigma** – parte superior do pistilo com papilas cuja função é receber o pólen.



Alguns vegetais possuem órgãos reprodutores femininos e masculinos na mesma flor (monóico) outros, entretanto, só apresentam um tipo ou outro de aparelho reprodutor (dióicos), nesse caso, a reprodução acontecerá entre diferentes flores da mesma planta ou de flores de plantas distintas. Processos fundamentais para garantir a variabilidade genética fundamental para a evolução das espécies.

## A Floração

O processo da floração inclui aspectos fisiológicos que devem ser considerados:

### a) Sincronização da floração

Simultaneidade na passagem da fase vegetativa para a reprodutiva.

Ocorre em algumas espécies promovendo assim altos índices de polinização cruzada. Essa sincronização possibilita a formação de sementes em condições ambientais não favoráveis para posterior germinação quando essas forem amenizadas.

As causas para essa organização ainda não são completamente conhecidas, mas acredita-se que seja consequência de vários fatores ambientais associados a vários outros endógenos.

### b) Fotoperiodismo

Na primavera nos deparamos com uma variedade muito grande de espécies vegetais florescendo ao mesmo tempo. Alguns frutos só podem ser encontrados em determinadas épocas do ano e nos perguntamos: como é possível que somente nessas épocas determinados vegetais possam ser apreciados? Como podem os vegetais ser tão organizados? Que tipo de controle eles possuem para que “verifiquem” mudanças que na maioria das vezes nos passa despercebidas.

Atualmente observamos, entretanto que a maior parte das espécies que antes eram consideradas **sazonais** já podem ser encontradas para consumo em qualquer época do ano. Como é possível?

A agricultura é uma das áreas que mais utiliza os conhecimentos da fisiologia vegetal para melhorar a disponibilidade e a produção de várias culturas, sem depender estritamente das condições ambientais como aconteceria se não houvesse a intervenção **antrópica**.

Sabe-se que vários fatores endógenos e exógenos estão envolvidos na regulação da fisiológica vegetal seja para a floração, frutificação ou qualquer outro processo fisiológico. Na floração um dos mais estudados é o *Fotoperiodismo*.

Esse processo corresponde a resposta dos vegetais em decorrência da duração do dia e da noite. Não ocorrem apenas em vegetais, muitos animais também exibem esse tipo de resposta.

As plantas podem ser classificadas em função dessas respostas. Temos assim a seguinte classificação:

- *Plantas de dias curtos (PDC)* – grupos de plantas cuja resposta fotoperiódica para floração ocorre em dias com menor duração de horas, ou seja, precisam de um tempo

maior de exposição ao escuro. Florescem somente ou mais rapidamente quando iluminadas por um período menor do que o período crítico;

## Botânica Geral e Comparada II

- *Plantas de dias longos (PDL)* – essas plantas exibem resposta fotoperiódica em dias cuja duração é maior, ou seja, precisam de uma menor exposição ao escuro. Florescem quando expostas à luminosidade por um período maior do que o período crítico;

- *Plantas de dias neutros (PDN)* – nessas plantas a duração do dia ou da noite parece não controlar a floração, ou seja, elas independem do estímulo fotoperiodismo para florescer, a sua regulação para a floração é autônoma;

- *PDLC* – Plantas que necessitam de período longo de luminosidade seguido de um curto;

- *PDCL* – Plantas que necessitam de um período curto de luminosidade seguido de um longo).

Após a constatação das respostas fotoperiódicas, vieram outras questões, como: o tipo de indução, as partes da planta responsáveis pela indução, a forma como essa indução é transportada pela planta.

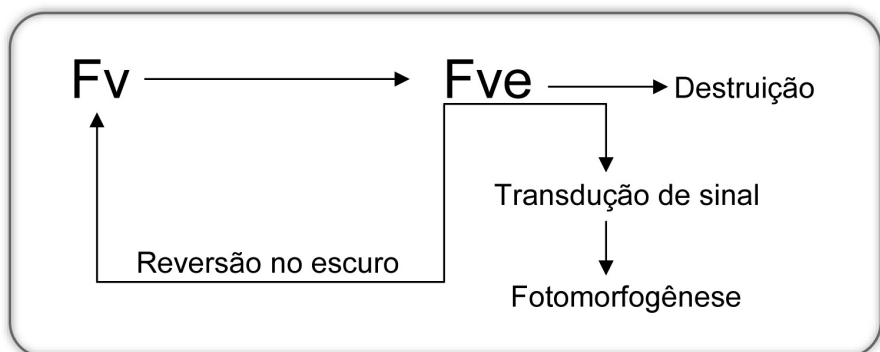
Segundo Ferri, 1986 o fotoperíodo é usualmente percebido pelas folhas constatação feita em 1936, através de experimentos feitos por um fisiologista russo chamado, Chailakyan. Em algumas espécies entretanto, a percepção é feita As observações demonstraram que o estímulo de DC era percebido pelas folhas da parte basal e translocado, provavelmente como um hormônio, para o **meristema apical** da parte superior desfolhada, onde induzia a formação de flores.

Inicialmente, acreditava-se que tais respostas estivessem diretamente ligadas à fotossíntese, portanto teriam dependência da produção do pigmento de *clorofila*. Observou-se, entretanto, que mesmo em plantas aclorofiladas a resposta fotoperiódica acontecia. Isolaram os pigmentos e encontraram os *Fitocromos*. Sabe-se atualmente que existem mais outros dois fotorreceptores: os *Fotorreceptores UV-B*, e os *Criptocromo*.

## Fitocromo

É o fotorreceptor mais estudado nos vegetais. É uma cromoproteína e foi inicialmente encontrado em tecidos meristemáticos aclorofilados. Absorve luz no comprimento de onda do vermelho curto (660nm) e vermelho longo (730nm) do espectro luminoso.

Apresenta-se sob duas formas: Fv (forma fisiologicamente inativa presente em todos os vegetais e produzida no escuro) e Fve (forma fisiologicamente ativa presente apenas se ativada através dos comprimentos de onda em torno de 730nm).



Representação esquemática da fotoconversão entre as duas formas do fitocromo. Fonte: adaptado de Kerbauy, 2004

Pode sofrer fotoconversão que é a propriedade pela qual o fitocromo inativo Fv quando em presença do comprimento de onda no vermelho é convertido na sua forma fisiologicamente ativa, a Fve. Essa forma ativa será a responsável pela tradução do sinal luminoso para as células sensíveis ou competentes em responder ao estímulo.

Seus efeitos reguladores da luz podem ser observados em dois estágios do desenvolvimento vegetal: na germinação (fotoblastismo) e no desenvolvimento da planta além de atuar na transição entre a fase vegetativa e a de floração (fotoperiodismo).

## Ritmo Circadiano e Floração

Ritmo circadiano - possibilita aos organismos determinar a hora do dia em que um certo evento molecular ou bioquímico ocorre. Pode ser um aumento no nível de RNAm, a expressão de alguns genes. No caso da floração, o relógio circadiano parece ter uma atuação como regulador permissivo da eficiência da forma vermelho extremo do fitocromo, por exemplo. Muitas evidências já existem também a nível genético demonstrando que mutantes tendem a apresentar a sensibilidade ao comprimento do dia e da noite alterada.

### ⇒ Fatores ambientais que influenciam a floração

Vários são os fatores que podem afetar a floração e dessa forma tornar possível ou impossível a Reprodução sexuada nas angiospermas.

#### - Temperatura

A depender da espécie, haverá uma requisição para temperaturas mais altas ou mais baixas. As temperaturas ótimas dependerão da idade da planta e do seu estado fisiológico.

Algumas espécies necessitam de baixas temperaturas para induzir a floração. A esse processo dá-se nome de:

*Vernalização* – Consiste no tratamento do vegetal com frio, a fim de acelerar a floração. Segundo Ferri, 1986, em 1948 Melchers e Lang, através de experimentos com enxertia, postularam a existência de uma substância que era ativada sob baixas temperaturas, a qual deram o nome de Vernalina. Sabe-se hoje que essa substância encontra-se presente nos meristemas.

O resultado da vernalização é mantido durante todo desenvolvimento da planta. Em plantas bianuais como repolho, beterraba, aipo e etc, é necessário a vernalização e a fotoindução para que ocorra iniciação floral.

Existe, porém, a condição de que os efeitos da vernalização sejam eliminados através de procedimentos de *Desvernalização* que podem ser:

- em sementes germinadas, mantê-las em condições anaeróbicas;
- em plantas inteiras, expô-las a temperaturas altas ou períodos de baixa intensidade luminosa.

Algumas espécies do cerrado necessitam de temperaturas mais elevadas para que muitas de espécies tenham as gemas florais estimuladas a floração. Acredita-se que exista um relação com a liberação de alguns gases os quais induziriam a ação de alguns fitormônios relacionados à floração.

## - Água

A disponibilidade de água principalmente para as espécies de regiões áridas ou tropicais é um fator decisivo para o crescimento e conseqüentemente desenvolvimento das plantas.

Segundo Alvin, 1960 citado por Ferri, 1986 as plantas de café devem ser submetidas previamente a um déficit hídrico nas folhas, para que ocorra o rompimento de gemas florais.

## - Fatores endógenos

A transição da fase vegetativa para a reprodutiva, envolve muitas modificações também a nível **endógeno**.

Alterações no que se refere às quantidades de sacarose, fitormônios e nutrientes podem contribuir de forma decisiva na transição da fase vegetativa para a reprodutiva.

Cada etapa do desenvolvimento vegetal terá suas necessidades de acordo com a fisiologia própria a cada período. O que significa afirmarmos que durante a fase vegetativa os vegetais apresentam necessidades de determinadas substâncias que possibilitarão um perfeito aproveitamento dessas sem que haja demanda energética para outras finalidades que não as mais imediatas. Além disso, é certo que muitos são os fatores ambientais e endógenos envolvidos na transição.

Não é correto atribuímos a um ou outro fator as respostas que os vegetais exibem. É fundamental visualizarmos a fisiologia como resultado de vários eventos simultâneos e muitas vezes, sinérgicos ou até mesmo antagônicos.

## A Fecundação nas Angiospermas

O processo da floração descrito brevemente acima culminará na formação da semente a qual, na reprodução sexuada, é a garantia de que a espécie poderá ser disseminada posteriormente em ambientes que apresentem condições favoráveis a retomada de crescimento e ao desenvolvimento do embrião mesmo que em regiões distantes da planta-mãe.

Para compreendermos como a semente é formada devemos lembrar alguns pontos fundamentais da gametogênese:

O grão de pólen possui 1 núcleo reprodutivo (ou micronúcleo ou núcleo germinativo) e outro vegetativo (ou nutritivo ou macronúcleo). O núcleo reprodutivo sofre uma divisão mitótica e forma dois (2) *núcleos espermáticos*.

Ao se projetar pelo estilete o núcleo vegetativo dará origem ao tubo polínico e um dos núcleos espermáticos se fundirá à oosfera originando o embrião da semente. O outro núcleo espermático irá fundir-se com os núcleos polares originando o **albume** (tecido de reserva de natureza triploide). O que ocorre não é uma fecundação simples, mas sim uma *dupla fecundação* onde como produtos teremos:

A semente formada por: Embrião (tecido diplóide -  $2n$ )  
Albume (tecido triploide -  $3n$ )

Dessa forma temos então a formação de um embrião com características genéticas próprias, pois foi resultante da união dos gametas masculino e feminino, o que lhe conferiu a *Variabilidade genética*.

## **Para refletir...**

**Os frutos verdadeiros são originados do desenvolvimento do ovário após a fecundação.**

Podemos considerar as vantagens desse tipo de reprodução sob dois aspectos:

- Aspectos genéticos – garantem a diversidade genética das populações;
- Aspectos fisiológicos - com a formação da semente é raro ocorrer a disseminação de vírus.

## ■ **EMBRIOGÊNESE, DORMÊNCIA E GERMINAÇÃO DE SEMENTES**

### **Embriogênese**

Prosseguindo o nosso estudo, vamos a partir de agora verificar como o embrião que foi formado irá se desenvolver até chegar no estágio em que seu crescimento será interrompido garantindo dessa forma a retomada do crescimento e desenvolvimento no momento em que as condições ambientais forem favoráveis.

#### **Como se organizam os tecidos vegetais**

A célula-ovo formada após a fecundação, estabelecerá dois padrões sobreposto no sistema de tecidos:

Os padrões de tecidos durante a embriogênese são determinados geneticamente e a formação do embrião começa com uma divisão assimétrica e transversal. Essa divisão estabelece uma polaridade onde ficam determinados dois pólos:

Um Pólo superior (calasal) e um Pólo inferior (micropilar) que consiste numa grande célula basal e produz uma estrutura mais alongada, o suspensor (metabolicamente ativo em angiospermas, tem vida curta c/ morte programada), que ancora o embrião na micrópila (ver figura acima).

O estabelecimento da polaridade determina o eixo estrutural no qual os apêndices laterais serão dispostos.

Nas angiospermas a polaridade é estabelecida na oosfera e no zigoto, nestes o núcleo e uma maior parte das organelas localizam-se na parte superior da célula, enquanto a inferior contém um grande vacúolo.

### **Meristemas Primários**

São os meristemas apicais da raiz e do caule formados durante a embriogênese. Esse tipo de tecido formará o corpo da raiz ou caule além de os regenerar por toda a vida do vegetal. Sua característica embrionária pode ser retida indefinidamente, pois nem todas as suas células sofrem diferenciação, essas são então chamadas de **células-tronco**.

### **Meristemas Secundários**

Tecidos com estrutura semelhante ao Meristema primário, porém são desenvolvidos na etapa pós-embrionária.

Aqui estão incluídos os Meristemas axilares, os Meristemas intercalares, os Meristemas de raízes laterais, o Câmbio vascular e o Felogênio.

#### Estágios de Desenvolvimento

Nas angiospermas ocorrerá uma modificação no que se refere a organização inicial dos tecidos o que certamente determina a disposição posterior dos tecidos de reserva em cada grupo.

Nas eudicotiledôneas o padrão se organizará da seguinte maneira:

Globular  $\Rightarrow$  cordiforme  $\Rightarrow$  torpedo

Nas monocotiledôneas o padrão será:

**Globular  $\Rightarrow$  cilíndrica torpedo (monocotiledôneas)**

É durante a transição do estágio globular e a emergência dos cotilédones, que o padrão apical/basal torna-se discernível com a divisão do eixo em meristema do ápice caulinar, cotilédone, hipocótilo, raiz embrionária e meristema radicular.

No estágio de torpedo ocorre alongamento dos cotilédones e do eixo, durante o alongamento o embrião permanece reto ou curva-se.

### Dormência

Segundo Ferri, 1986, corresponde ao período em que o crescimento do embrião é suspenso ou reduzido; de ocorrência freqüente quando as condições do ambiente são adversas. Ocorre em sementes e alguns órgãos subterrâneos de reserva.

#### - Tipos de Dormência em Sementes

As sementes podem apresentar alguns diferentes tipos de dormência. O que será determinado pelas características da espécie. São eles:

- *Dormência relativa*- comportamento exibido por algumas sementes. A dormência é exibida sob certas condições, mas não sob outras;

- *Dormência secundária* - ocorre quando as sementes que não estavam dormentes são expostas a condições desfavoráveis à germinação.

#### - Causas da Dormência

A dormência pode ser promovida por diferentes fatores. Os mecanismos envolvidos neste processo irão variar em função da espécie, no entanto existem duas categorias básicas, segundo Bryant, 1989:

**a)** Dormência embrionária- nesta categoria, o embrião ainda não apresenta maturidade fisiológica para prosseguir com o seu crescimento e desenvolvimento acarretando assim numa ausência de condições de sobrevivência da nova plantinha.

**b)** Dormência imposta pela testa- essa é a forma mais observada em algumas espécies que apresentam na semente um tegumento mais resistente e na maioria das vezes impermeável, dificultando dessa maneira a entrada da água que corresponderia a primeira etapa da retomada do crescimento do embrião.

## - Quebra da Dormência

Retomar seu crescimento para garantir a perpetuação da espécie em condições que sejam adequadas às suas necessidades. Portanto para que essa nova etapa se inicie é necessário que a dormência seja quebrada. Para tal dependerá de alguns fatores como:

### a) Fatores endógenos

- Imaturidade do embrião - nesse caso o embrião não está fisiologicamente apto a prosseguir com o seu crescimento. Sua condição endógena não é suficiente para garantir a sobrevivência nesse momento de transição.

- Pós-maturação – segundo Bryant, 1989, algumas sementes que se encontram dormentes quando da liberação da planta-mãe perdem sua dormência gradualmente, caso sejam mantidas em condições secas.

### b) Fatores ambientais, como: luz, temperatura baixa e alta, fogo, temperaturas alternadas, água, efeitos gerais do ambiente também são decisivos para essa etapa do desenvolvimento vegetal.

- Permeabilidade da casca (impermeabilidade à água - comum em leguminosas, caesalpineas, Erytrina, outras ainda possuem uma camada de cera à prova de água como o flamboyant; outras possuem uma válvula no hilo para controlar a entrada de água, em alguns a válvula contém uma tampa de suberina.

- Estratificação – necessidade de algumas espécies passarem por um tratamento de frio para que o embrião retome seu crescimento;

- Fotoblastismo – a luz é um fator decisivo para os vegetais. Entretanto, algumas para ter sua dormência quebrada necessitam de luminosidade sendo assim chamadas de fotoblásticas positivas, outras não dependem da luz formando o grupo das fotoblásticas negativas e a maioria se encaixa na classificação de neutras, pois a presença ou ausência de luz parece não ter nenhum tipo de efeito sobre a quebra do dormência;

*É necessário que sempre consideremos as interações entre o ambiente e as condições endógenas. Os organismos normalmente respondem às mudanças ou a permanência de situações ambientais benéficas ou estressantes. Portanto sempre haverá um conjunto de fatores promovendo as respostas, dificilmente encontraremos um fator agindo independentemente.*

## - Germinação

Fenômeno que ocorre nas plantas com sementes, e consiste numa série de eventos que culminam com a emissão da radícula ou da plúmula (epicótilo) ou ainda de ambos (Castro, 2002).

### a) Estrutura da semente:

- Desenvolvidas a partir do óvulo fecundado;
- Contém:

1 embrião que apresenta: 1 eixo semelhante a caule (podendo portar de 1 a 2 cotilédones) que quando encontra-se acima do(s) cotilédone(s) chamamos de epicótilo e quando encontra-se abaixo do(s) cotilédone(s) chamamos de hipocótilo.

- Meristemas apical radicular e caulinar
- Radícula – que encontra-se na extremidade inferior do hipocótilo;
- Endosperma - tecido triplóide, nutritivo do qual dependerá o crescimento do embrião. Encontra-se em variável quantidade a depender da espécie.

## b) Cotilédones

Tem, assim como o endosperma, função nutritiva;

Em monocotiledôneas - ocorre em nº de 1, tem a função de órgão de reserva ou fotossintetizante, no endosperma, absorve os nutrientes digeridos pela atividade enzimática. Nas gramíneas, o embrião possui um cotilédone e esse é maciço e tem função de absorver substâncias de reserva no endosperma é o *escutelo*.

Em dicotiledôneas - são 2 e funcionam como reserva alimentar, normalmente são suculentos e ocupam o maior volume da semente.

## c) Tipos de germinação:

Normalmente se classifica o tipo de germinação em função da diferença do crescimento entre o epicótilo e o hipocótilo.

1- Epígea - crescimento quase exclusivo das dicotiledôneas exceto pela cebola (*Allium cepa L.*);

2- Hipógea - epicótilo cresce mais rapidamente, ficando então o hipocótilo sob o solo. A frequência é idêntica em ambos os grupos (mono e dicotiledôneas).

## d) Aspectos fisiológicos da germinação

A germinação é um processo anfibólico, pois envolve tanto reações catabólicas quanto anabólicas.

A semente, para germinar, passa por três estágios:

- Embebição – etapa fundamental. Promove a hidratação das substâncias bicoloidais e assim possibilita o meio para que ocorra as condições físico-químicas necessárias para as reações iniciais na retomada imediata do crescimento;

- Catabólico – **hidrólise** e degradação das substâncias de reserva que foram formadas junto com o embrião, para que ocorra os primeiros processos de construção e reconstrução das moléculas e também de algumas organelas inclusive membrana plasmática a qual pode apresentar alguns “vazamentos” decorrentes da desidratação sofrida para a suspensão do **metabolismo** do embrião. Nesse estágio todas as moléculas que desidrataram junto ao embrião, serão agora hidratadas e retomarão sua funções. O RNAm de vida longa assume um importante papel, pois consegue manter durante todo o tempo em que o metabolismo foi suspenso, as informações que servirão para a codificação da síntese das primeiras moléculas novas.

- Anabólico – pode acontecer simultaneamente à etapa catabólica. É o momento em que acontece a síntese maciça de materiais formadores de **organelas**, parede celular, assim como de proteínas e de ac. Ribonucléicos, etc. Pode-se dizer que agora, a retomada do crescimento de fato aconteceu.

**e) Fatores que *regulam* o processo germinativo**

- Muitos fatores podem interferir no processo germinativo, percebe-se, entretanto que a presença de hormônios e o equilíbrio entre eles, promotores e inibidores de crescimento, exercem papel fundamental. Demonstrou-se também que a temperatura interage com os hormônios vegetais de modo a alterar seus níveis endógenos e conseqüentemente influenciar na germinação.

**f) Fatores que *afetam* o processo germinativo**

Não são necessariamente iguais aos envolvidos na quebra da dormência:

- Longevidade da semente – para que a germinação ocorra é necessário que a semente possa germinar mesmo que em outra estação, após um tempo relativamente longo. Ela precisa estar viável e com boa vitalidade.

- Água – sem esse fator disponível dificilmente as sementes sofrerão embebição e continuarão com seu anfibolismo.

- Temperatura – algumas sementes para germinar necessitam de temperaturas alternadas, outras precisam de altas temperaturas enquanto outras só germinarão em baixas temperaturas.

- Fogo – sementes típicas de habitats que estão propensos ao fogo normalmente necessitam dele para germinar. É o caso de algumas espécies da família das leguminosas e da família Ericaceae.

**Crescimento e Desenvolvimento**

A partir do momento em que o embrião retoma seu crescimento, observa-se que esse acontecerá, mas de forma organizada, programada. E como podemos afirmar que realmente esse novo vegetal está crescendo, se desenvolvendo? Alguns conceitos são imprescindíveis para ajudar nessa nossa compreensão, Alguns desses conceitos discutiremos abaixo.

- Crescimento x Desenvolvimento

Qual o significado de cada um desses termos que utilizamos constantemente?

Começemos pelo crescimento:

• Na visão morfológica- significa aumento em tamanho, peso ou volume. Em vegetais, para que esse aumento aconteça, se faz necessário a conversão de substâncias inorgânicas em proteínas, carboidratos e gorduras além de mudanças celulares, promovidas pela multiplicação por mitose e alongamento celular.

Em resumo, podemos afirmar que o crescimento de um vegetal corresponde às mudanças quantitativas que ocorrem durante a vida de uma planta.

## E o Desenvolvimento?

Ferri, 1986, afirma que corresponde a:

- Crescimento + mudanças ocorridas através dos padrões de diferenciação (diferenças qualitativas estruturais ou funcionais) e morfogênese (estudo da emergência e da forma dos novos **órgãos** e seu arranjo no espaço).

Conseqüentemente, desenvolvimento seria:

=crescimento + diferenciação + morfogênese

- O ciclo de desenvolvimento de um vegetal

Aconteceria da seguinte maneira:

semente  $\Rightarrow$  germinação  $\Rightarrow$  plântula  $\Rightarrow$  planta  $\Rightarrow$  reprodução

Entretanto, para os trabalhos práticos que desenvolvemos na fisiologia vegetal, é imprescindível que consideremos alguns conceitos sobre *crescimento* vegetal:

- Aumento de tamanho por aumento de peso, volume, área etc;
- Aumento de tamanho por aumento de protoplasma- conversão de reservas em compostos mais funcionais no protoplasma das células formadas (difícil de ser realizada);
- Aumento de tamanho por multiplicação celular, também difícil, pois, a exemplo do gametófito feminino, uma célula grande com vários núcleos onde depois forma-se paredes e os núcleos ficam separados em novas células, fica difícil a compreensão do crescimento que ocorreu;

Com isso é possível mensurar o crescimento através das seguintes medidas:

- Comprimento – pode ser analisado através de medidas de comprimento do organismo ou de órgãos desse organismo;
- Peso fresco – pesa-se órgãos do vegetal assim que retirados do referido organismo. É uma medida, porém, que não preserva a integridade do vegetal ou de suas partes que precisam ser extirpadas.
- Área – para folhas em expansão é bastante utilizada, pois é relativamente fácil e segura de ser realizada;
- Peso seco – um dos mais usados e bastante aconselhável para medidas de biomassa. Como o vegetal passa por um período em estufa para que toda a água seja retirada dos tecidos, o valor de peso que permanecer, corresponderá à produção realizada pelo vegetal;

- Número de células – muito usado em cultura de tecidos;

- Dosagem de uma determinada substância é mais adequado para clorofila ou proteínas em folhas. Medida também muito significativa, pois expressa o real metabolismo exercido pelo vegetal estudado, além de não haver necessidade de se retirar os órgãos em estudo. A medida pode ser realizada diretamente no vegetal que permanecerá inserido em seu hábitat, fato relevante, pois se sabe que não é possível negar a influência do meio na produção do vegetal.

- Processo de crescimento e diferenciação a nível celular

A forma que as células crescem e se diferenciam, irão determinar o tipo de tecido que será formado.

As etapas segundo Ferri, 1986 são:

- 1º. Síntese de protoplasma;
- 2º. Nas células que permanecem meristemáticas, a massa de células dobrará;
- 3º. Células que irão se diferenciar acontecerá alongamento das células devido o aumento de volume, entrada de água, vacuolização e síntese de paredes celulares;
- 4º. Aumento de material citoplasmático em todas as células e
- 5º. A diferenciação propriamente dita, devido a atuação de diferentes enzimas nas células, o que culminará em síntese de substâncias diferentes e conseqüentemente, células com forma e funções diferentes.

*Existe, entretanto algumas partes dos vegetais que continuam a crescer sem sofrer diferenciação imediatamente. Esses centros de crescimento persistentes formados pelos Meristemas e distribuídos de forma restrita a determinadas áreas, tornam os vegetais capazes de crescer durante toda a sua vida.*

- Condições necessárias ao crescimento

Para que o crescimento e desenvolvimento realmente aconteçam a contento no vegetal, é necessário que algumas condições sejam consideradas:

### **Condições endógenas**

- a- É necessário que o tecido esteja num estágio potencial de crescimento;
- b- Capacidade de sintetizar hormônios de crescimento;
- c- Controle genético do crescimento.

### **Condições do meio ambiente**

É necessário que haja equilibrado fornecimento de água, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, nutrientes, temperatura adequada, luz.

- Hormônios reguladores do crescimento (Fitormônios)

O crescimento e desenvolvimento do vegetal são controlados por substâncias que, produzidas de forma equilibrada, promoverão ou inibirão esse crescimento/desenvolvimento.

Essas substâncias são os hormônios vegetais ou fitormônios, substâncias orgânicas produzidas pela planta em pequenas concentrações que atuarão provavelmente em outro local que não o que ele foi produzido.

Podemos citar:

-Auxinas, giberelinas, citocininas, etileno, ácido abscísico

## ■ FITORMÔNIOS

O controle e a organização do crescimento e desenvolvimento depende entre outros fatores, da produção e equilíbrio entre substâncias que atuam como mensageiros químicos comunicando as diferentes partes do vegetal, essas substâncias são os hormônios vegetais ou fitormônios. São efetivos mesmo em pequenas concentrações nas células as quais possuem os receptores que irão interagir com eles garantindo a comunicação intercelular.

Os fitormônios agem em vários fenômenos nos vegetais como crescimento, floração, divisão celular, amadurecimento de frutos, dormência e quebra de dormência, entre outros.

Os grupos mais estudados entre os fitormônios são:

**Auxinas, giberelinas, citocininas, ácido abscísico e etileno.**

### Auxinas

Foi o primeiro grupo de hormônios vegetais descoberto.

A sua principal função é regular o alongamento das células vegetais e as respostas a estímulos como o tropismo. São produzidos principalmente nas regiões apicais e quando transportados para as outras regiões da planta, participam do seu crescimento e desenvolvimento.

Em 1930, dois grupos de pesquisadores descobriram uma auxina natural : O AIA ácido indolil-3-acético que entre as naturais é a mais importante.

Existem algumas auxinas sintéticas que são utilizadas na inibição do crescimento na forma de herbicidas, é o caso do ácido 2,4 diclorofenoxi-acético (2,4 D). As antiauxinas podem competir com o AIA pelos receptores específicos (proteínas específicas que interagem com o fitormônio quando este entra na célula).

- Metabolismo

O metabolismo das auxinas envolve mecanismos que ajudam no controle dos seus níveis. Isso inclui a *síntese, degradação e desativação* do AIA.

#### a) Síntese

Na maioria dos vegetais o AIA (ácido indolilacético) é produzido a partir do aminoácido triptofano seguindo caminhos diferentes. A via mais importante tem como compostos intermediários o ácido 3-indolilpirúvico e o 3-indolilacetaldeído. Os locais de produção são

normalmente os **meristemas** da parte aérea como o ápice do caule e ramos, folhas e frutos em desenvolvimento embora quase todos os tecidos possam sintetizá-lo mesmo que em pequenas concentrações.

O transporte da auxina se dá pelo menos por duas vias:

Transporte polar unidirecional – é mais comum nos coleóptiles e parte aérea que se encontram em crescimento vegetativo. Acontece com gasto energético e é independente da gravidade. Passa célula a célula através do simplasto. A teoria que explica-o é a Quimiosmótica a qual considera a entrada e a saída de AIA nas células dependentes de um gradiente eletroquímico.

Transporte apolar via **floema**.

**b) Degradação**

O AIA, quando em solução aquosa, pode ser degradado por vários agentes entre os quais podemos citar: a luz visível, radiações ultravioletas e ionizantes e ácidos.

**c) Desativação**

Pode ser desativado logo após a ação promotora do crescimento (Kerbauy, 2004). Ocorre por meio da oxidação catalisada pelas peroxidases.

- Mecanismo de ação

<b>Etapa 1:</b>	A resposta inicial dos tecidos vegetais às auxinas é o alongamento da parede celular. É uma fase rápida e não envolve síntese de novas proteínas;
<b>Etapa 2:</b>	A etapa seguinte é desse alongamento exige a síntese de novas proteínas, mais especificamente as enzimas. Acredita-se que essa rápida resposta esteja associada a acidificação que por sua vez promoveria a ativação de enzimas preexistentes causadoras do afrouxamento (quando enzimas estimuladas pelas auxinas rompem e refazem as ligações glicosídicas entre os polissacarídeos da parede celular) da parede celular. Esse afrouxamento torna possível a expansão celular devido o efeito do potencial de pressão que se forma no interior da célula.
<b>Etapa 3:</b>	Alongamento celular.

- Efeitos fisiológicos da auxinas:

São ativas quando estão em pequenas quantidades nos órgãos vegetais, porém quando sua concentração aumenta, tendem a ser prejudicial ao vegetal, podendo inclusive levá-lo à morte.

**a) Divisão celular**

As divisões e as diferenciações sofridas pelas células vegetais, garantem a esses seres vivos, o crescimento e desenvolvimento dos quais necessitam para manterem-se vivos. A maior parte dessas divisões celulares ocorrem nos meristemas, tecidos presentes desde a fase embrionária e que permanece com essa característica por toda a vida do vegetal, porém encontram-se presentes em regiões específicas do organismo vegetal.

A ação das auxinas nessas divisões já é conhecido há bastante tempo e vem sendo comprovada pela culturas *in vitro* onde observou-se que a auxina quando presente isoladamente nessas culturas, aumenta o nível da cinase dependente de **ciclina**. Para ativá-la, entretanto, é necessária a presença de um outro fitormônio: a citocinina. Essa função é bastante utilizada como garantia para o processo de micropropagação na clonagem.

**b) Expansão/alongamento celular**

Para uma célula vegetal crescer em todas as suas dimensões, é necessário que a mesma se expanda, mas como fazer isso se a parede celular é rígida?

As auxinas para realizar essa função atuam “afrouxando” a parede celular para que a célula possa aumentar seu volume. A hipótese aceita para explicar esse mecanismo é a do *Crescimento ácido*, onde a acidificação da parede celular (causada pela extrusão dos prótons) promove o estímulo de algumas enzimas aí presentes que se responsabilizarão pelo rompimento e reconstrução das ligações glicosídicas que mantêm a integridade da parede celular.

**c) Diferenciação celular**

Após as várias divisões celulares, chega o momento no qual as células passam a assumir funções específicas devido às suas novas formas e localização

**d) Desenvolvimento de frutos**

A auxina pode induzir o crescimento de frutos sem sementes, num processo chamado de *Parthenocarpia*, pois existem evidências de que as auxinas produzidas em sementes em desenvolvimento é que promoveriam o crescimento do fruto após a fecundação.

**e) Abscisão Foliar**

Tem sido observado atraso dos estágios iniciais de abscisão e pomoção dos finais mediante a presença do AIA.

**f) Tropismos**

Refere-se ao crescimento da planta ou de uma parte da planta devido um estímulo externo. Esse crescimento unidirecional resulta da distribuição desigual da auxina. A tendência desse fitormônio é de ter sua taxa diminuída em resposta a luz por exemplo. Então quando determinada parte do vegetal é exposta a esse estímulo a tendência é que a auxina aí presente seja direcionada para o lado oposto, onde agora, e maior concentração promoverá um crescimento maior do que o lado que estava inicialmente. O resultado é a ocorrência de curvatura no caule.

## Giberelinas

### - Histórico e ocorrência

Na década de 20, no Japão, rizicultores observaram o crescimento anormal de certas plantas de arroz ao qual eles nomearam de doença das plantinhas doidas, pois elas cresciam muito e de forma desordenada. Fitopatologistas detectaram que o crescimento anormal é causado pelo fungo infectante *Giberella fujikuroi*.

O isolamento do princípio ativo presente no extrato do fungo levou à identificação das giberelinas. Na década de 50, elucidaram a estrutura química do material purificado a partir de filtrados do fungo, denominando-o de ácido giberélico. Nessa mesma época, foram isoladas a partir da giberelina A, três novas giberelinas: A1, A2 e A3 sendo essa última a mais usada. A característica comum entre todas elas é o esqueleto isoprenóide em sua fórmula estrutural. As diferenças consistem na localização das ligações duplas e dos grupos hidroxila. Até o momento já foram encontradas mais de 70 giberelinas algumas das quais podem ser encontradas biologicamente inativas.

Após terem sido encontradas nos fungos, constatou-se sua presença nas plantas e que participam da regulação e crescimento de órgãos vegetais.

### - Biossíntese

Os índices mais altos desse fitormônio é encontrado em sementes e sua síntese parece ser realizada nesse mesmo local, com níveis diferindo em relação ao tecido maternal e o embrião. Nas plantas superiores, tem sido sugerido a existência, de mais dois sítios para a biossíntese das giberelinas: *frutos em desenvolvimento, zona de alongamento da gema apical caulinar e raízes*.

As giberelinas são terpenóides de 20 carbonos sintetizados pela condensação de quatro unidades de isopentenilpirofosfato (IPP).

Foi demonstrado a existência de duas rotas: uma dependente e outra independente do ácido mevalônico.

A primeira, associada à biossíntese do esterol, ocorre no citossol; a segunda, associada à biossíntese de carotenóides e compostos associados, ocorre no citoplasma.

A biossíntese das giberelinas é fortemente regulada por fatores ambientais, como fotoperíodo e temperatura. Até o momento não sabe-se ao certo se existe uma organela específica para a sua síntese, entretanto sabe-se que as enzimas envolvidas no processo podem ser solúveis ou embebidas na camada dupla de lipídios das membranas (Benincasa & Leite, 2002).

### - Conjugação e inativação

As Giberelinas glicosiladas formadas por ligação covalente entre giberelina e um monossacarídeo (normalmente glicose) são as principais formas de conjugação, principalmente em sementes, onde a glicose se liga à giberelina por meio do grupo carboxila formando giberelina glicosilada, ou quando se liga via hidroxila, formando giberelina glicosil éster. (Kerbaudy, 2004).

Giberelinas quando são exogenamente aplicadas às plantas, uma parte se torna glicosilada, o que pode representar uma outra forma de inativação. Quando glicosídeos são aplicados, detectam-se giberelinas livres. Assim, as giberelinas podem ser armazenadas em forma de glicosídeos.

As giberelinas são desativadas por 2 *B* - hidoxilação.

- Transporte

É de natureza não polar, ocorrendo na maioria dos tecidos, incluindo floema e xilema.

As sementes imaturas, folhas jovens e raízes são locais de síntese deste fitormônio. Em plântulas o transporte das giberelinas ocorre pelo floema, nas raízes são transportadas pelo xilema.

- Mecanismos e modo de ação

Segundo Benincasa & Leite 2002, os efeitos desse grupo de fitormônios, podem ser resultantes de um ou de vários mecanismos de ação como:

**a)** efeito no comprimento de caules devido aumento do número e do comprimento de células;

**b)** extensibilidade da parede celular em caules sensíveis à aplicação de auxina;

**c)** produção de enzimas hidrolíticas em sementes de cereais.

Alongamento e divisão celular.

Auxinas e giberelinas promovem o alongamento celular por exercerem efeitos sobre a parede celular.

- Efeitos fisiológicos

**a)** Modificação da juvenilidade

As giberelinas podem afetar essa transição da fase vegetativa para a reprodutiva, alongando ou encurtando esse estágio, vai depender da espécie, por exemplo em *Hedera helix* o AG3 pode causar a reversão de maturidade para juvenilidade, enquanto, em algumas coníferas, o inverso pode ocorrer como resultado do tratamento com AG4 + AG7.

**b)** Florescimento em plantas de dias longos

A aplicação do AG, em plantas, leva ao estímulo da indução floral substituindo os efeitos mediados pelo fotoperíodo e pelas baixas temperatura.

Em plantas monóicas o AG tem efeito sobre a determinação do sexo.

**c)** Efeitos em frutos

As giberelinas pode causar desenvolvimento de frutos partenocárpico.

A maior aplicação comercial é na produção de uvas. A pulverização dos cachos em pós-floração com AG3 permitiu o alongamento da ráquis produzindo frutos grandes, sem sementes, soltos entre si.

**d)** Superação da dormência

As giberelinas não estão associadas ao controle da dormência e, sim, na promoção da germinação. Agem depois que a inibição do ABA tenha sido superada.

A dormência das sementes de algumas espécies pode ser superada por uma combinação de baixas temperaturas, escarificação e aplicação de giberelinas.

## Citocininas

### - Histórico e ocorrência

A história e descoberta das citocininas (CKS) está ligada intimamente ao próprio estabelecimento da técnica da cultura de células, tecidos e órgãos vegetais in vitro. Durante muito tempo, usou-se leite de coco como ingrediente indispensável em culturas de inúmeros tecidos vegetais, após várias investigações chegou-se ao furfuriladenina, que corresponde a um derivado do DNA mais ativo que a adenina na promoção da divisão celular. Embora a descoberta e a conceituação de citocinina tenha ocorrido a partir de uma substância artificial descoberta na década de 50, a primeira citocinina natural em plantas só foi isolada 20 anos mais tarde em extrato de *Zea mays*, denominando-a zeatina.

As citocininas são compostos que, além de serem essenciais à citocinese, também promovem:

- alterações na taxa metabólica;
- atividades enzimáticas;
- indução de formação de órgãos;
- quebra de dominância apical;
- mobilização de nutrientes orgânicos e inorgânicos;
- retardamento da senescência de tecidos e órgãos e formação de cloroplastos.

Para o desenvolvimento integrado e harmonioso das plantas, há a necessidade de que os níveis de seus hormônios sejam controlados. O nível endógeno das citocininas é regulado pela sua taxa de biossíntese.

### - Biossíntese

Os meristemas apicais das raízes são a principal região de síntese desse fitormônios. Após sua síntese, a sua mobilidade até a parte aérea, acontecerá principalmente pelo xilema, juntamente com a seiva bruta.

O nível de CKs endógeno nos tecidos vegetais, é extremamente baixo, o que torna a mensuração das dosagens desses compostos extremamente trabalhosa. As suas moléculas são formadas a partir de derivados das unidades de isopreno, após o metabolismo do ácido mevalônico. Até 2001, o modelo corrente para a biossíntese de CKs previa a adição da cadeia lateral, representada pelo isopentenilpirofosfato à posição N6 da adenosina monofosfato (AMP), reação essa catalisada pela enzima isopentenil transferase(IPT), produzindo a citocinina ribotídeo.

Outra alternativa para biossíntese de citocininas em plantas seria o RNAt;

A maior parte das citocininas biologicamente ativas não ocorre no RNAt. No RNAt predomina a forma cis-Z e não trans-Z.

### - Conjugação e hidrólise

A maior parte do conteúdo endógeno de citocininas nas plantas encontra-se na forma conjugada com moléculas de açúcar.

As moléculas conjugadas de CKs são tidas como fisiologicamente inativas.

Existe uma série de posições nas moléculas de CKs, onde elas podem se ligar a açúcares.

Como as CKs são derivados de nucleotídeos e nucleosídeos, substâncias estas que possuem ribose como parte integrante da molécula, não se costuma considerar as formas ribosídicas como conjugados verdadeiros, mas somente as glicosídicas

### - Transporte

O principal sítio de biossíntese de CKs nas plantas é representado pelas raízes. Essa localização sugere que as CKs podem ser transportadas para a parte aérea através do xilema.

Estudos dos exudados do xilema confirmam a presença das citocininas principalmente na forma ribosídica. Quando chegam às folhas, podem ser convertidos a glicosídeos que terá seu transporte realizado pelo floema.

Em plantas que entram em dormência no inverno o acúmulo de glicosídeos nos vacúolos de folhas senescentes que serão translocados para as gemas são necessários para suprir a CKs necessárias à retomada de crescimento na primavera.

### - Efeitos fisiológicos das citocininas

As respostas dos hormônios são difíceis de serem atribuídas a algum desses compostos, devido o fato de que existem evidências sobre a ação conjunta desses fitormônios. A sensibilidade à aplicação de um ou vários hormônios varia muito de uma espécie para outra.

Quando aplica-se citocininas para observar essas respostas, encontram-se principalmente as seguintes:

#### **a) Divisão e expansão celular**

Um dos principais eventos controlados pelas citocininas é a citocinese ou divisão celular através da regulação da atividade das ciclinas, as quais são proteínas que controlam a divisão celular. A expansão pode acontecer sem que ocorra aumento na quantidade de matéria seca.

#### **b) Diferenciação celular**

As citocininas estão relacionadas ao processo de diferenciação das células, sobretudo no processo de formação de gemas caulinares. Atua em conjunto com a auxina. A razão entre esses dois fitormônios determinará estímulo da parte aérea ou da raiz.

#### **c) Retardamento da senescência foliar**

Os sinais de senescência são: surgimento e o crescimento do amarelecimento resultante da degradação da clorofila, ao mesmo tempo ocorre uma rápida e acentuada diminuição dos teores de proteínas e RNAs, devido a quantidade de açúcares.

A aplicação de cinetina sobre folhas destacadas previne a senescência, mantendo prolongada a coloração verde típica, pois promove a mobilização e acúmulo de solutos de

outras partes da planta ou da folha para a região aplicada. Esse aumento no nível dos nutrientes pode aumentar o metabolismo local o que resultaria num atraso da senescência.

#### d) Fotomorfogênese

A fotomorfogênese sugere que o fotorreceptor envolvido nesse processo, o fitocromo, também seja um alvo primário dessa classe hormonal.

Constatou-se que um dos reguladores de resposta da via de sinalização das citocininas, impediria a reversão da forma ativa do fitocromo B, para a forma inativa.

#### - Modo de ação das citocininas

Sabe-se que esse grupo tem efeito expressivo sobre a produção de proteínas específicas do cloroplasto devido a estabilização dos RNAs mensageiros e sua degradação.

O modo de ação envolve três etapas:

- a percepção do sinal;
- a transdução do sinal percebido;
- os alvos primários da ação hormonal.

A percepção e a transdução do sinal nas citocinas:

O primeiro componente consiste em uma enzima cinase do tipo histidina que percebe a entrada do sinal e de regulador de resposta, já o segundo componente, medeia a saída do sinal.

A via de sinalização se inicia quando a cinase é ativada por citocinina e fosforila seu próprio resíduo de histidina, transferindo esse fosfato para o regulador de resposta que são fatores de transcrição.

Os alvos primários:

São os eventos, os efeitos fisiológicos controlados pelas citocininas já discutidos no tópico 4.3.5.

Como as citocininas podem contribuir para uma interação positiva entre os vegetais e o ambiente?

As citocininas estão envolvidas, a pelo menos, quatro estímulos externos: luz, temperatura, nutrientes e interação com outros organismos.

- Luz – a aplicação de citocininas em plântulas mantidas no escuro tende a mimetizar o efeito da luz na promoção da abertura e expansão dos cotilédones e na inibição da expansão celular exagerada dos caules (estiolamento).

- Nutrientes minerais – um dos principais nutrientes que interagem é o nitrogênio. Como as citocininas são compostos nitrogenados, a deficiência de nitrogênio poderia ter reflexo direto da biossíntese desse hormônio.

- Temperatura – o efeito da temperatura pode atuar sobre o teor das citocininas endógenas;

- Interação com outros organismos – a formação de galhas provocadas por larvas de insetos, fungos e bactérias (ex: *Agrobacterium*) envolve a produção de citocininas. Os fungos que provocam a formação descontrolada de ramos laterais (fasciação) nas chamadas vassouras-de-bruxa, produzem citocininas. Há interações de simbioses benéficas, conforme ocorre em raízes de plantas leguminosas e *Rhizobium* sp., bactéria fixadora de nitrogênio.

## A importância das Citocininas na Biotecnologia

As citocininas são um grupo de fitormônio intensamente ligado à biotecnologia de plantas, já que são pré-requisito indispensável para a divisão celular, possibilitando a multiplicação de células com a formação de tecidos e órgãos *in vitro*.

Entre os processos dependentes da cultura *in vitro*, pode-se destacar a clonagem de plantas (micropropagação), a obtenção de planta haplóides, o cultivo e a fusão de protoplasma, a produção de substâncias comerciais e a produção de plantas transgênicas.

Observa-se, entretanto que sua ação não se dá isoladamente, mas em conjunto com a auxina de forma a definir os meristemas e, conseqüentemente, do tipo de órgão a ser desenvolvido (Kerbauy, 2004).

### Ácido Abscísico

#### - Histórico e descoberta do ABA

A sua nomenclatura ainda reflete a função que inicialmente lhe foi atribuída: abscisão. Atualmente sabe-se que suas funções são desempenhadas em conjunto com outros fitormônios e que a abscisão dos órgãos está relacionada principalmente ao etileno.

Foi descoberto na década de 60 e recentemente as pesquisas revelam que esse fitormônio pode agir a nível molecular, celular e da planta como um todo, transformando em respostas biológicas de proteção os efeitos exercidos pelo ambiente, especialmente a baixa disponibilidade de água, alta salinidade e temperaturas reduzidas (Kerbauy, 2004).

#### - Ocorrência do ABA nas plantas

Nos vegetais, o ABA tem sido encontrado desde o ápice caulinar até o radicular, assim como na seiva do xilema, no **floema**, e nectários. Nas folhas, pode estar distribuído entre seus diferentes compartimentos – **apoplasto**, citossol, cloroplasto e vacúolo. Está presente em todas as plantas vasculares ocorrendo também em alguns musgos, algas verdes e fungos. É sintetizado em quase todas as células que contém cloroplastos ou amiloplastos.

#### - Principais funções

##### a) Proteção ao estresse hídrico

Quando o vegetal encontra-se em situação de estresse hídrico, de salinidade, ou temperatura, observa-se aumento do teor do ABA. A auxina promove alongamento celular em conseqüência do afrouxamento da parede celular causado pela secreção de  $H^+$ , o ABA atua bloqueando a secreção dos íons  $H^+$  o que impedirá o alongamento celular comprometendo também a taxa de crescimento das raízes desse vegetal.

##### b) Dormência de gemas e sementes

Para alguns estudiosos o papel do ABA nas gemas dormentes não está bem definido, pois em algumas espécies, a indução à dormência coincide com elevação no seu teor, entretanto em outras espécies, esse teor poderá ser pequeno. Acredita-se entretanto, que a manutenção da dormência no

##### c) Abscisão e senescência

Ainda existem controvérsias no que se refere a ação desse fitormônio nesses eventos fisiológicos. O ABA promove a senescência, tanto em segmentos foliares como nas folhas

ainda ligadas à planta, porém não ficou constatado seu papel na abscisão, a qual acredita-se estar diretamente ligada a produção de etileno.

**d) Proteção contra injúrias**

Quando os vegetais são feridos, há a facilidade de entrada de alguns patógenos devido os danos provocados ao seu revestimento interno.

**e) Regulação do teor de proteínas**

O ABA regula o acúmulo de proteínas de reserva durante a embriogênese, fator que certamente garante a energia inicial suficiente para a retomada do crescimento do embrião quando as condições lhe forem favoráveis.

- Biossíntese e inativação do ABA

Nos fungos: ocorre através de uma via direta, na qual o precursor é o farnesil pirofosfato (FPP) de 15C.

A sua biossíntese acontece nos cloroplastos e outros plastídios pela via dos terpenóides. Nas plantas vasculares: possui duas vias biossintéticas possíveis para o ABA:

Via direta: o farnesil pirofosfato (FPP) origina o ABA diretamente do composto intermediário xantonina.

Via indireta: o ABA é sintetizado a partir da clivagem oxidativa de carotenóides oxigenados, precursor de 40C como as **xantofilas**.

Segundo Kerbauy, 2004, pode-se dividir a biossíntese do ABA em três etapas:

1. Síntese dos carotenóides não – oxigenados nos plastídios.
2. Síntese e clivagem dos carotenóides oxigenados nos plastídios.
3. Síntese do ABA no citossol.

- Mecanismo de ação do ABA

Provavelmente, esse fitormônio atua diferentemente em diferentes tecidos.

Existem dois tipos de classificação para o mecanismo de ação do ABA:

**1. Resposta rápida:** envolve fluxo de íons e alterações no balanço hídrico, ocorrendo após alguns minutos do aumento no conteúdo endógeno de ABA, como o fechamento dos estômatos.

**2. Resposta lenta:** envolvem alterações na expressão gênica, demorando algumas horas para se manifestarem.

**a) Transdução de sinais**

Mecanismo de ação do ácido abscísico mais estudado, ocorre nas células – guardas onde a abertura e fechamento estomático são dependentes de alterações na turgência dessas células:

- O ABA liga-se ao receptor e ativa canais de efluxo de K<sup>+</sup>.

- A ligação do receptor de ABA estimula o aumento de  $\text{Ca}^+$  presente no citossol, através do influxo ou da liberação desse cátion do estoque intracelular, com participação do  $\text{IP}_3$  e cADPR.

- O aumento do  $\text{Ca}^+$  ativa canais de efluxo de  $\text{K}^+$  e bloqueia aqueles de influxo, promovendo pré-despolarização da membrana.

- Acontece então a liberação dos ânions e cátions do vacúolo e a ativação dos canais de efluxo de  $\text{K}^+$ .

- Com a perda de  $\text{K}^+$ , ocorre a saída de água da célula-guarda, reduzindo sua turgescência e mantendo fechado o estômato.

Esse mecanismo é essencial para a manutenção de espécies em ambientes onde a transpiração ocorre de forma excessiva e a disponibilidade de água não é suficiente para repor o que foi perdido. No caso de plantas que não possuem essa característica, dificilmente se observará a sua permanência nos referidos ambientes.

#### - Expressão gênica

Em condições de estresse hídrico, ocorre uma diminuição do teor de água na célula, tendo como resultado: alterações no metabolismo e processos reguladores através de expressão de genes específicos.

1. ABA insensíveis: genes induzidos por déficit hídrica são indiferentes com o tratamento com ABA exógeno.

2. ABA exigentes: genes associados a proteção e manutenção celular, são expressos somente quando os teores de ABA são elevados.

## Etileno

Esse grupo de hormônio juntamente com o ABA é conhecido como *inibidor de crescimento*.

#### - Histórico e ocorrência

Inicialmente a observação foi feita no florescimento de plantas de abacaxi que ficavam expostas a fumaça da queima de serragem. Passados alguns anos, produtores começaram a utilizar esse artifício para induzir o florescimento dos abacaxis. No século XIX, quando a iluminação era fornecida pela queima de gases, Fahnestock observou que o gás liberado nessa queima danificava as plantas devido a senescência e abscisão que causava. Apenas quando começaram a acontecer danos em plantas que ficaram próximas a um vazamento desse gás é que se constatou a sua ação.

Pode ser produzido por vários organismos desde bactérias até as angiospermas. No ambiente urbano pode-se encontrar esse gás produzido principalmente pelos automóveis, pelo fogo e também pela indústria.

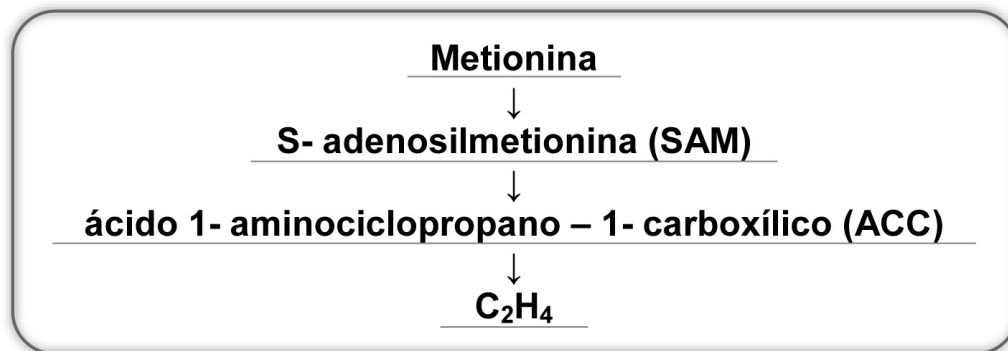
- Estrutura e biossíntese

É um hidrocarboneto simples, de cadeia aberta com dupla ligação.

Apresenta-se na forma gasosa. Normalmente ele é facilmente liberado dos tecidos e se difunde na fase gasosa através dos espaços intercelulares e fora do tecido (Benincasa & Leite, 2002). É extremamente volátil sendo, portanto necessário que sua difusão seja inibida durante o período no qual os frutos precisam ser armazenados para impedir seu rápido amadurecimento.

A sua via biossintética foi elucidada por Adams e Yang (1979).

Tem como precursor a *metionina* que para se converter a esse gás, passa por uma série de reações simplificadas a seguir:



Esquema adaptado de Benincasa & Leite, 2002

Vários são os fatores que estimulam a biossíntese do etileno, como: condições ambientais, outros hormônios, estágio de desenvolvimento, além de injúrias físicas e químicas.

- Efeitos do etileno

**a) Inibição ou promoção da expansão celular**

Na maioria das espécies, o etileno tem efeito inibidor na expansão celular. Ao contrário do seu efeito inibidor na maioria das plântulas, no arroz (e em algumas outras monocotiledôneas), o etileno pode atuar como promotor do alongamento do caule. A sua síntese é diminuída quando no ambiente existe pequena ou nenhuma quantidade de O<sub>2</sub> e o que já existir desse fitormônio nesses solos encharcados, não terá como se difundir livremente acarretando dessa forma um aumento da sua concentração nos referidos solos o que promoverá aumento significativo no alongamento dos caules das plantas submersas.

**b) Amadurecimento dos frutos**

O etileno, quando disponível nos ambientes onde os frutos estão armazenados, acelera o amadurecimento. Em frutos **climatéricos**, o seu efeito tem sido utilizado para fins comerciais.

**c) Abscisão**

Nas folhas, o etileno estimula a ação das enzimas que atuam na dissolução da parede celular o que está diretamente associado a abscisão desses órgãos. Normalmente essa abscisão é controlada por uma interação entre o etileno e a auxina.

**d) Quebra de dormência de gemas e sementes**  
Em algumas espécies (como cereais, por exemplo) o etileno promove a quebra da dormência e aumenta a taxa de germinação.

**e) Formação de raízes e pêlos radiculares**  
Esse fitormônio induz a formação de raízes adventícias em outros órgãos da plantas como em folhas, caule e até mesmo em outras raízes.

**f) Floração**

Na família do abacaxi, observa-se a ação promotora do florescimento desse fitormônio, embora normalmente ele atue inibindo esse evento fisiológico. A sua ação pode também ser observada na alteração do sexo de algumas flores quando essas ainda estão em desenvolvimento.

**g) Defesa**

A função desse fitormônio na defesa do vegetal é complexa. Quando combinado com o ácido jasmônico, ele consegue ativar genes que são responsáveis pela defesa da planta.

- Uso comercial

Devido ao fato de controlar em vários eventos fisiológicos responsáveis pelo crescimento e desenvolvimento dos vegetais, o etileno tem uma ampla utilização na agricultura. A sua aplicação não é fácil devido sua natureza volátil, para isso, entretanto, usa-se compostos que reagindo com o etileno o liberará de forma lenta, o que auxilia nos efeitos do fitormônio.

As altas concentrações de  $\text{CO}_2$  inibem a ação de etileno como promotor do amadurecimento bem como, as taxas baixas de  $\text{O}_2$ . Por esses motivos, nas câmaras de armazenamento, as condições acima são simuladas e estimulam a preservação dos frutos.

- Mecanismos de ação

De uma forma geral, as respostas hormonais ocorrem após o estabelecimento de ligações entre estes e um receptor altamente específico.

Os estudos realizados levam a hipótese de que o etileno interage com um receptor que estaria ligado a um complexo de Golgi ou ao retículo endoplasmático e que contém Zn ou Cu. Acredita-se que o receptor no caso do etileno seja uma proteína da membrana, pois a ligação é extremamente sensível ao calor além de ser inibida por enzimas proteolíticas.

Dentre os efeitos da sinalização desse fitormônio, destaca-se a possibilidade da sua ação na alteração da expressão de vários genes em consequência dos efeitos desse fitormônio nos níveis de RNAm transcrito.



**1.** A reprodução é uma função característica dos seres vivos; como tal, possui aspectos que contribuem para a perpetuação das espécies que dela fazem uso. De maneira objetiva, porém breve, discuta sobre a reprodução assexuada nas angiospermas.

---

---

---

---

**2.** “A flor é um ramo com crescimento determinado que porta esporófilos- folhas produtoras de esporângios” (Raven *et al.*, 2001). É, portanto, o órgão responsável pela

---

---

---

---

reprodução sexuada. Que fatores podem interferir nos processos de floração, e de que forma?

Existem pigmentos envolvidos no processo de floração? Quais, e de que maneira, eles influenciam nessa resposta?

---

---

---

---

**4.** A dormência é um período onde: “Em sementes e alguns órgãos subterrâneos de reserva (gemas) o crescimento é suspenso ou reduzido” (Ferri, 1985). O que pode levar esses órgãos a agirem dessa forma? Como é possível “quebrar” esse período?

---

---

---

---

**5.** Justifique evolutivamente a importância da dormência para os vegetais.

Botânica Geral  
e Comparada II

**6.** O início da germinação é fato, após ter ocorrido a quebra da dormência em sementes. Descreva os aspectos fisiológicos da germinação desde a hidratação até a emissão da radícula, fazendo referência aos fatores que podem afetar esse processo.

**7.** Elabore um roteiro de aula (atividade prática) onde os parâmetros de crescimento e desenvolvimento que você puder, de fato, medir possam ser utilizados num contexto de verificação e/ou comparação de diferenças no crescimento de espécies vegetais próprias da sua região.

Sugestão da seqüência de itens para o seu roteiro:

**ROTEIRO DE PRÁTICA – 01**

1. TEMA DA AULA:

2. INTRODUÇÃO:

3. OBJETIVOS:

4. MATERIAL NECESSÁRIO:

5. PROCEDIMENTO:

6. ESPAÇO PARA DESENHO:

7. QUESTÕES PARA DISCUSSÃO:

8. REFERÊNCIAS

8. Construa um quadro comparativo para os fitormônios onde possa estar resumidamente: seu nome, seus efeitos e sua importância para o vegetal.

---



---



---

## tema 2 RELAÇÕES HÍDRICAS

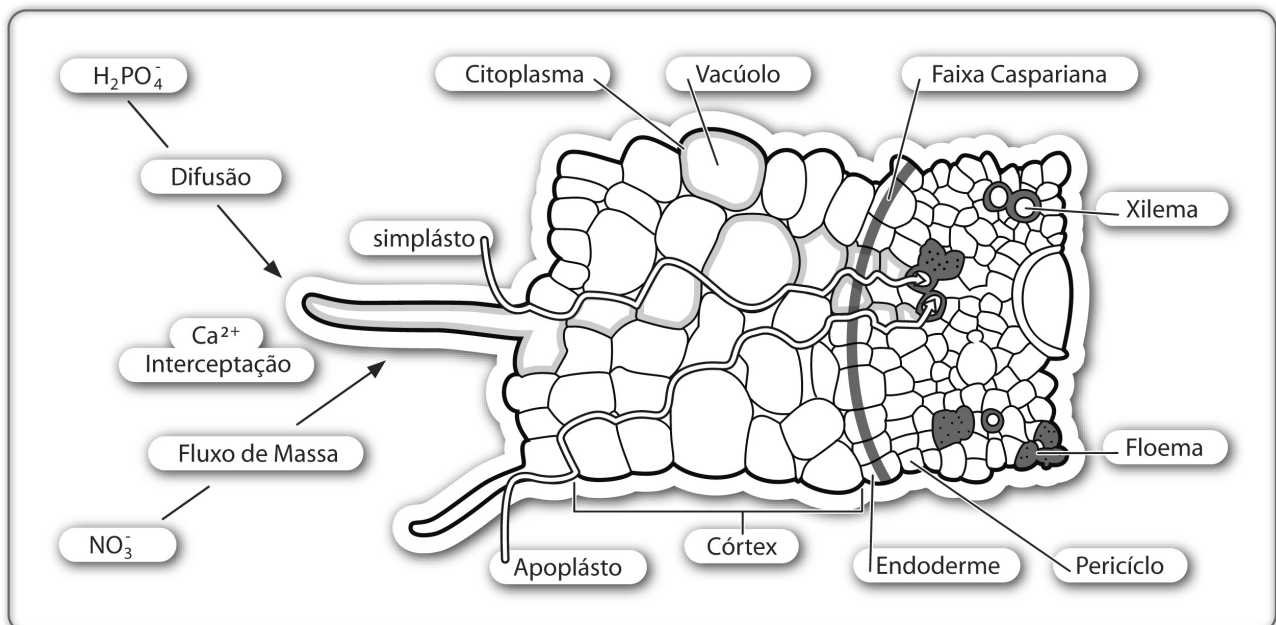
### ■ ESTRUTURA E PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA

#### Estrutura Química da Água

A água é formada por dois elementos químicos: o Hidrogênio (H) e o Oxigênio (O). A forma como esses dois elementos estão ligados quimicamente confere à molécula da água características específicas.

As ligações entre as moléculas de água ocorrem devido às formações de pontes de hidrogênio como consequência da estrutura da molécula. Elas formam um ângulo de 105°.

As ligações de pontes de hidrogênio são fundamentais para atração entre as moléculas da água e outras moléculas. Essa característica garante as capas de hidratação que se formam entre a água e moléculas biologicamente importantes como as de proteínas, ácidos nucleicos e carboidratos.



Além das ligações de pontes de hidrogênio, existem também:

- **ligações covalentes** fortes mas possíveis de serem rompidas e
- **forças de Van der Waals ou de London** que possibilitam interação entre as moléculas adjacentes e afetam o comportamento de gases e líquidos.

## Propriedades da Água

Botânica Geral  
e Comparada II

São ímpares e de extrema importância para os sistemas biológicos. Só são possíveis devido às ligações de pontes de hidrogênio e a sua polaridade.

a) *Calor específico* – alto na água possibilitando assim, estabilidade térmica aos animais e vegetais. A água pode absorver grandes quantidades de energia sem aumentar sua temperatura significativamente.

b) *Calor latente de vaporização e de fusão* – altos, devido à tenacidade da ligação entre as moléculas de H<sub>2</sub>O. É necessário uma grande quantidade de energia para uma molécula de água desligar-se das outras no estado líquido;

c) *Forças de adesão* – força de atração entre as moléculas da água e as superfícies sólidas. Esse tipo de força garante a subida da água através dos vasos com pequeno diâmetro.

d) *Forças de coesão* – relativa a atração molecular que ocorre entre as moléculas da água e que resulta nas pontes de hidrogênio e na tensão superficial da água. É essa tensão que possibilita a formação de gotículas nas superfícies das folhas sem entrar nos estômatos abertos e suportar o peso de insetos que caminham sobre lâminas de água.

e) *Ionização* – dissociação de algumas moléculas de água em [H<sup>+</sup>] e [OH<sup>-</sup>]. A concentração de íons H<sup>+</sup> pode ser expressa pela escala PH e corresponde ao valor absoluto dessa concentração.

## Funções da Água na Planta

Nos seres vivos a água desempenha várias funções sem as quais seria impossível a existência dos mesmos.

São funções da água nos seres vivos:

a) *Constituinte do corpo* – Em algumas herbáceas o peso fresco de suas partes é constituído por aproximadamente 80% de água demonstrando sua importância.

b) *Solvente* – propriedade que permite a entrada e movimentação de gases, minerais e outros solutos entre células.

c) *Reagente* – é **substrato** e reagente em processos como a fotossíntese, hidrólise de amido.

d) *Turgescência* – a água mantém a turgescência o que propicia a manutenção da forma das herbáceas.

e) *Estabilidade térmica* – promovida pelo alto calor específico que a água possui. Sendo essa substância um dos componentes essenciais aos seres vivos, a sua propriedade garante que organismos expostos a altas temperaturas por determinados períodos de tempo, possam sobreviver sem sofrer com a transformação física da água.

## Classificação das Plantas Quanto à Disponibilidade de Água do Ambiente

A quantidade de água determina o tipo de vegetação que será encontrada nas diferentes regiões. A sua disponibilidade promove o processo de seleção natural onde apenas as espécies que exibem características as quais tornam possível a sua permanência e sobrevivência.

De acordo com a disponibilidade de água no ambiente e das características a ela adaptadas, as plantas podem ser classificadas em:

**a) Mesófitas** – aqui estão classificadas a maioria das espécies cultivadas e de região tropical e temperada. Os solos são bem drenados e o ar é moderadamente seco.

**b) Hidrófitas** – espécies que crescem em ambientes aquáticos de modo a ficar total ou parcialmente submersas. Aqui encontramos espécies com adaptações que permitem a sua permanência no referido ambiente sem que sofra danos. É o caso das *halófitas* que conseguem manter-se em condições salinas por meio de adaptações que proporcionam a retirada de água do ambiente.

**c) Higrófitas** – sobrevivem em ambientes que estão constantemente alagados, saturados de água. Apesar de serem submetidas a pouca luminosidade, suas folhas conseguem realizar fotossíntese devido a algumas adaptações.

**d) Xerófitas** – possuem um sistema radicular muito desenvolvido ao contrário de suas folhas, ambos contribuem para uma transpiração controlada, já que o ambiente e que se desenvolvem é normalmente desértico, rochoso com pouca disponibilidade de água.

## Movimento da Água

Quando a água está disponível para a planta significa que ela encontra-se em quantidade suficiente no solo para ser transportada e chegar até a planta. Esse movimento seguirá um padrão físico de movimento onde sairá de um local para outro caso exista diferença de *Energia livre* ou de *Potencial hídrico* entre o local no qual se encontra e outro, ou seja, o movimento sempre ocorrerá no sentido em que o potencial for mais elevado (menos negativo) para o mais baixo (mais negativo).

E o que podemos entender por energia livre ou potencial hídrico? Tem-se afirmado que corresponde a: medida da capacidade das moléculas de água em executar um trabalho ou movimento. O que significa dizer que quanto mais as moléculas de água estiverem sem nenhum outro tipo de substância diluída nela, mais *moléculas livres* existirá para realizar trabalho.

Existem 3 mecanismos gerais para que a água se mova:

**a) Fluxo de massa** – movimento da massa de água entre dois pontos em que há uma diferença de pressão hidrostática. Responsável pela maior quantidade de água absorvida pela planta; a taxa do fluxo de massa depende: viscosidade do líquido ( $\eta$ ), o raio por onde transitará ( $r$ ), a distância do percurso ( $\Delta X$ ) e do gradiente de pressão  $\Delta P$ , podemos mostrar essa relação pela equação de Poiseuille abaixo:

$$\text{Taxa de fluxo} = \frac{\pi r^2}{8\eta} \times \frac{\Delta P}{\Delta X}$$

**b) Difusão** – esse tipo de mecanismo opera a nível molecular, é proporcional à área das aberturas através das quais ela ocorre e resulta da movimentação das moléculas devido a sua própria energia cinética;

c) *Osmose* – mais rápido do que a difusão, ocorre em resposta a uma diferença de potencial da água através de uma membrana.

## Terminologia de Água na Célula

Alguns dos termos abaixo relacionados são atualmente os mais utilizados para ajudar na compreensão do movimento da água pela planta.

a) **Potencial Hídrico  $\Psi_a$**  – indica quanto a energia livre de uma sistema difere daquele do estado de referência. Essa diferença é a soma das forças do soluto ou potencial osmótico  $\Psi_s$ , pressão  $\Psi_p$  e gravidade  $\Psi_g$  agindo sobre a água.

Pode ser resumido na equação abaixo:

$$\left[ \Psi_a = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_g + \Psi_m \right]$$

O *Potencial Osmótico  $\Psi_s$*  corresponde ao efeito do soluto dissolvido sobre o  $\Psi_a$ ; quando diluídos em água, os solutos reduzem a energia livre do sistema pois estarão combinados com as moléculas livres diminuindo assim o número de moléculas disponíveis para outras reações. Normalmente refere-se ao conteúdo nos vacúolos, pois será nesses que os solutos normalmente se acumulam.

O *Potencial de Pressão  $\Psi_p$*  representa a pressão hidrostática dentro das células. Normalmente utilizamos a terminologia: Pressão de turgescência que é produzida quando a água que entra nas células exerce uma força no protoplasto empurrando-o contra a parede celular que é resistente à pressão. É importante no momento em que a planta está transpirando pois é tornada negativa e isso favorece a subida água pelo caule até as folhas. A pressão de turgescência pode ser negativa (plasmólise) quando o protoplasma se desgruda das paredes celulares como no caso de plantas severamente estressadas.

O *Potencial Gravitacional  $\Psi_g$*  quase sempre tem sido desprezado, pois só será significativo em árvores de grandes portes.

O *Potencial Mátrico  $\Psi_m$*  produzido quando moléculas ou substâncias insolúveis em contato com água pura atraem suas moléculas tornando-as indisponíveis para outros contatos, diminuindo o  $\Psi_a$ .

b) **Pressão de vapor relativa** – pressão do vapor da água nos vacúolos e no citoplasma em relação a água pura;

c) **Água ligada** – fração variável da água, em materiais vivos e não-vivos que atuará diferente da água livre. Não pode ser removida facilmente por baixas temperaturas ou por longos períodos sob altas temperaturas. É fundamental para o caso em que há necessidade de tolerância a secagem como nas sementes e algumas plantas superiores.

## ■ ÁGUA NO SOLO E MOVIMENTO ASCENDENTE DE ÁGUA NO XILEMA

### Movimento de Água: Solo-Planta-Atmosfera

a) *O sistema solo-planta-atmosfera* – processos inter-relacionados e interdependentes;

A água que é utilizada pelas plantas para a manutenção do seu metabolismo e para suprir o que foi perdido na transpiração é proveniente do solo. As raízes absorvem a água do solo e a transporta até as folhas estabelecendo uma coluna contínua de água, o que alguns autores costumam se referir como *Continnum água-solo-planta*, o que nos traz uma visão real das inter-relações entre os seres e o ambiente ao qual pertencem, pois todos os aspectos relevantes para um componente, o será também para os outros dois. Não é possível analisarmos uma situação ambiental sem que esses três componentes sejam avaliados de forma conectada.

**b) Controle do movimento de água** – resistência cuticular e estomática na interface folha-ar, transpiração.

A resistência cuticular consiste de um outro aspecto a ser considerado pois essa resistência será uma das responsáveis pelo impedimento de perda excessiva de água da planta para a atmosfera.

A resistência estomática proporcionada pelo controle da abertura dos estômatos representa a outra forma de controle da água que dificulta a perda excessiva de água para o ambiente.

O movimento da água pelo solo e através da planta obedecerá os critérios físicos como Potencial Hídrico, Osmótico etc. No solo, a água para se movimentará de forma a considerar as suas características físico-químicas.

Esse movimento até as raízes, poderá se apresentar sob duas formas diferentes:

- Absorção osmótica-acontece quando o sistema radicular se encontra em solos úmidos, quentes e bem arejados. Esses fatores ambientais promovem um acúmulo de solutos no xilema da raiz o que leve a diminuição do potencial de água do solo. Conseqüentemente, a tendência da água será de “entrar” nas raízes objetivando equilibrar os potenciais hídricos envolvidos no sistema.

- Absorção não osmótica-aqui as condições ambientais são diferentes das citadas acima. O mecanismo osmótico deixa de ser efetivo na absorção a água que essa passa a ser controlada pelo potencial de pressão da seiva do xilema. Isso ocorre quando a transpiração aumenta, pois a pressão exercida pelos vasos xilemáticos promoverá o movimento da água no sentido raiz-folha.

## Água no Solo e na Raiz

### a) Água no solo

O solo:

É formado por frações sólidas (aqui estarão presentes partículas com cargas positivas e negativas, são a argila, areia, material orgânico em decomposição além de microorganismos), líquidas (corresponde a água do solo propriamente dita) e gasosas (fundamental para manutenção de trocas gasosas no sistema radicular).

A proporção do tipo de partículas sólidas levará o solo a exibir características físico-químicas diferentes, as quais por sua vez, contribuirão decisivamente para a movimentação da água no solo e deste para a planta.

O conteúdo de água e sua taxa de movimento no solo dependem em grande parte do tipo e da estrutura do solo.

**Ex:** a areia e a argila

- A água em solos arenosos

Os espaços entre as partículas são tão grandes que a água tende a drenar partículas ou nos interstícios entre essas partículas. Têm uma pequena capacidade de campo (conteúdo de água do solo após ter sido saturado e drenado o excesso de água) se comparado aos solos argilosos. Esse fator favorece um transporte rápido de água através das partículas, porém conseqüentemente a mesma não poderá ser retida tempo suficiente de forma a promover o suprimento de água requerido pelas plantas que nele estão se desenvolvendo. Como resultado teremos plantas que poderão se desenvolver, mas de forma incipiente já que a água transportaria consigo os nutrientes minerais necessários ao metabolismo vegetal.

- A Água em solos argilosos

Os espaços entre as partículas são pequenos o suficiente para que a água não drene livremente dos mesmos, ela é retida mais firmemente. A capacidade de campo é muito maior do que a dos solos arenosos.

Teremos aqui duas conseqüências:

A água ficando retida por mais tempo nesse tipo de solo, a sua disponibilidade para os vegetais ficará mais assegurada, entretanto, no caso de solos com pequena disponibilidade de água, a tendência é de que as partículas desse tipo de solo retenha a água de forma a não garantir o suprimento requerido pela planta.

O tipo de solo necessário para um bom desenvolvimento de vegetais é aquele que exhibe uma proporção de partículas adequadas ao tipo de cultura que se pretende nele desenvolver. No caso de ambientes que não estiverem sofrendo a ação antrópica, certamente as espécies que ali estiverem serão as que apresentam características compatíveis com as condições impostas pelo meio.

**b) Os potenciais envolvidos no processo**

Como vimos, os potenciais são fundamentais para a compreensão do movimento de água no solo e na planta, pois na maioria das vezes as diferenças existentes entre eles é que definem o movimento.

Já falamos sobre eles quando nos referimos a água isoladamente, agora veremos alguns deles atuando diretamente no solo:

**b.1) Potencial mátrico da água do solo  $\Psi_m$**  – corresponde à interação entre a água bipolar e as partículas do solo com cargas que possuem cargas negativas como a argila e o material orgânico em decomposição;

**b.2) Potencial osmótico da água do solo  $\Psi_s$**  – resulta da presença de solutos na água do solo e de sua interação com as moléculas da água. A origem dos solutos definirá a sua possibilidade de interação e conseqüentemente, os possíveis valores que podem ser apresentados pelo  $\Psi_s$ .

**b.3) Potencial da água do solo  $\Psi_w$**  – determinado pelas moléculas de água que se encontram livres no solo, podendo assim interagir com a fase sólida ou não.

**c) A água nas células da raiz**

**c.1) A raiz como superfície de absorção**

Várias são as funções da raiz para a planta:

- Sustentação da planta;
- Absorção de nutrientes e água;
- Armazenamento de reservas nutritivas como é o caso dos tubérculos.

O sistema radicular corresponde à parte da planta que está em contato direto com o solo, portanto podemos inferir que é o principal responsável pela absorção da água do solo para a planta. Algumas espécies apresentam um sistema radicular mais superficial, em outras são mais profundos. Quanto mais desenvolvido for o sistema radicular, melhores são as chances do vegetal absorver a água e os nutrientes dos quais necessitam.

**c.2) Absorção de água pela raiz**

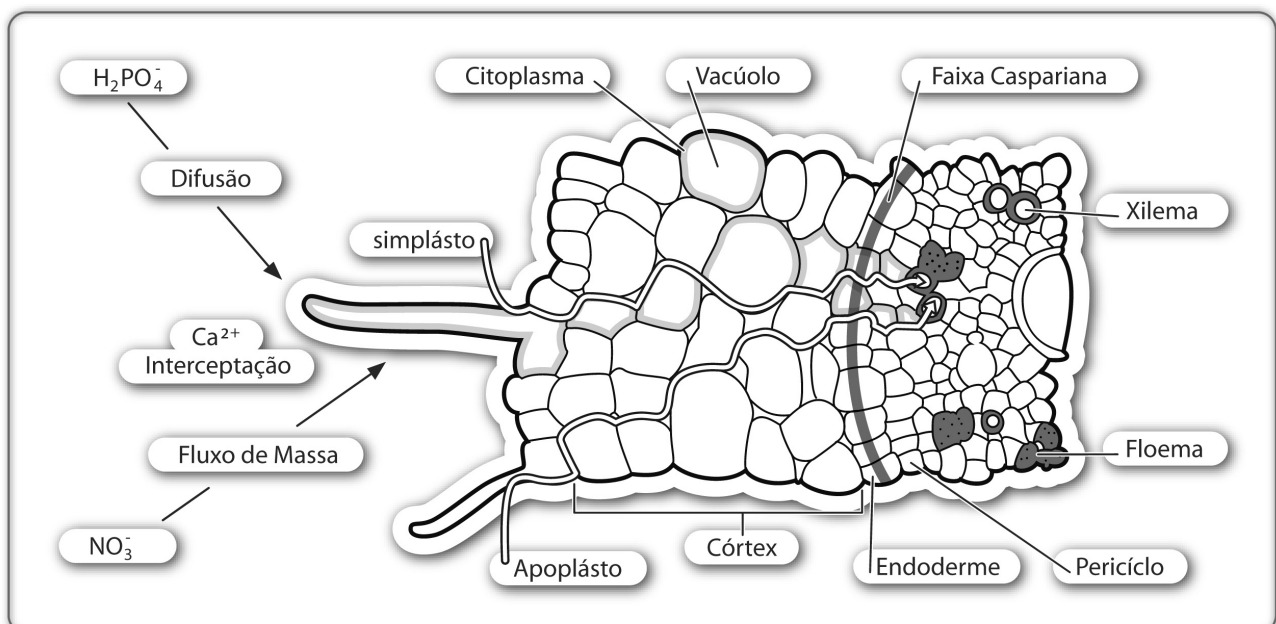
As raízes são órgãos complexos e para entendermos sua dinâmica é necessário considerarmos as suas interações com o solo e todos os seus componentes.

No ápice radicular encontramos maiores valores de absorção de água devido a permeabilidade dessa região

A absorção acontecerá pelas raízes que estão em contato mais íntimo com as partículas que formam o solo, coincide com a zona onde a quantidade de pêlos absorventes (que corresponde a mais de 60% da área superficial) é mais significativa e seguirá o gradiente de  $\Psi_w$ . A taxa de transpiração definirá esse gradiente.

As regiões mais maduras da raiz podem apresentar camadas de tecidos que tornam difícil a absorção de água, porém sabe-se que algumas espécies conseguem realizar absorção significativa de água.

Após ser absorvida pelas raízes, a água se movimentará radialmente de forma a atravessar o córtex para chegar aos elementos de vaso do xilema.



### c.3) Movimento da água na raiz

Após absorvida pelas raízes, nessa, a água poderá seguir 3 rotas:

- Rota Apoplástica - corresponde ao caminho realizado pelas paredes celulares e espaços intercelulares. A água não atravessa nenhuma membrana.

- Rota Transmembrana – nesse caminho a água passará através da parede celular, membrana plasmática, talvez tonoplasto (dependendo da posição do vacúolo) novamente membrana plasmática e parede celular.

- Rota Simplástica – quando o caminho da água nas células radiculares seguem pelas interconexões existentes entre as células chamados de *plasmodesmos*.

### Movimento Ascendente de Água no Xilema

Xilema é um dos tecidos condutores e corresponde, na maioria dos vegetais, a sua mais longa rota de transporte de água. É uma rota simples de baixa resistência (já que suas células são mortas, suas paredes são lignificadas e grossas).

É formado pelos Elementos Traqueais do xilema que são:

- a) Traqueídes** – são células fusiformes, alongadas e organizadas em filas verticais sobrepostas. A água flui entre eles por meio das **pontuações**. Estão presentes nas angiospermas, nas gimnospermas, assim como em pteridófitas e outros grupos de plantas vasculares;

- b) Elementos de vaso** – possuem forma mais larga do que os traqueídes e suas paredes terminais são perfuradas, estabelecendo uma **placa de perfuração**. Estão presentes somente em angiospermas, em um pequeno grupo de gimnospermas chamado *Gnetales* e talvez algumas pteridófitas.

- Teorias sobre o movimento ascendente de água pelo xilema

#### a) Teoria da “pressão da raiz”

Afirma que o transporte no xilema ocorre quando os potenciais hídricos do solo são altos e as taxas de transpiração são baixas, promovendo assim uma ascensão da seiva bruta (água + sais minerais) pelo xilema. A absorção é promovida pelo acúmulo de íons da solução do solo nas raízes. Normalmente as plantas que desenvolvem pressão da raiz produzem gotículas que saem do limbo de suas folhas através de uma estrutura chamada de *hidatódio*, num fenômeno conhecido como *Gutação*. Esse fenômeno muitas vezes é confundido com o *Orvalho* que não passa de uma transformação física do vapor de água da atmosfera quando entra em contato com a superfície foliar.

Quando as taxas de transpiração são altas, a água é tão rapidamente absorvida pelas folhas e perdida para a atmosfera que uma pressão positiva nunca se desenvolve no xilema.

## **b) Teoria da coesão-tensão**

Atualmente é a teoria mais aceita para explicar o transporte de água no xilema apesar das controvérsias (Steudle, 2001).

Para o movimento ascendente acontecer é necessário uma pressão positiva na base da planta ou um estabelecimento de pressões negativas nas folhas. Como a pressão positiva na base da planta não seria suficiente para ascender água até o topo no caso de árvores mais altas, a pressão negativa parece então ser a explicação mais coerente.

Considera as propriedades de coesão da água para suportar grandes tensões (Taiz & Zeiger, 2004). A pressão é mínima já que trata-se de células mortas que oferecerão portanto baixa resistência ao transporte.

- Desafios físicos para o transporte de água no xilema em árvores:

Apesar de oferecer baixa resistência ao transporte da seiva bruta, o xilema enfrenta alguns problemas de ordem física para realizar o referido transporte. Vamos discutir alguns deles:

**a)** Força exercida pela água às paredes internas do xilema pode provocar colapso;

**b)** A água em tais tensões encontra-se num *estado fisicamente metaestável* o que pode ocasionar: 1- a entrada de ar pelas através dos poros das paredes ou 2- devido ao congelamento do xilema, os gases dissolvidos na seiva podem se tornar praticamente insolúveis levando assim, a formação de bolhas de ar num fenômeno chamado de *Cavitação*. Esse fenômeno traz um grande problema para o transporte ascendente nos vegetais, pois favorece a quebra da coluna de água bloqueando a principal rota do transporte levando as plantas à morte devido a desidratação dos tecidos nos quais a água não foi transportada.

# ■ TRANSPIRAÇÃO E FISIOLOGIA DOS ESTÔMATOS

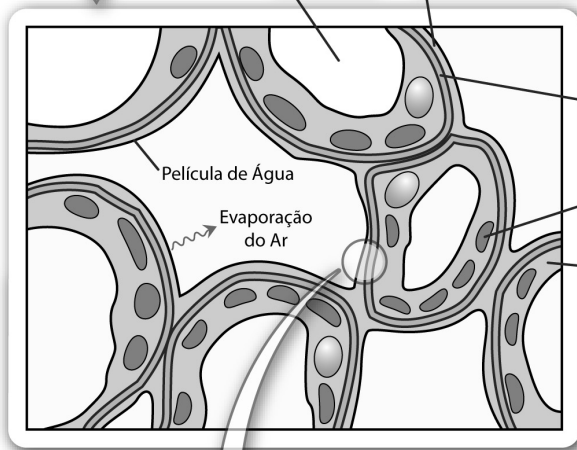
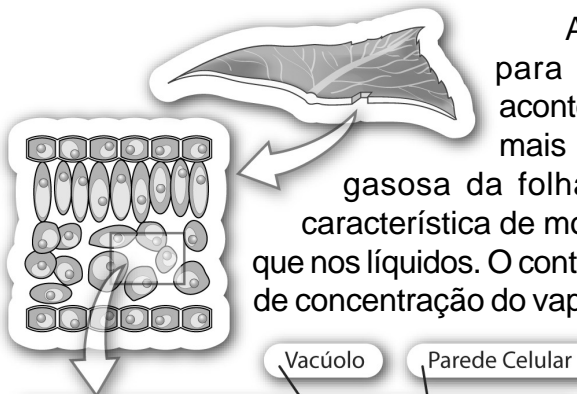
## Transpiração – Transporte de Água da Folha para a Atmosfera

Botânica Geral e Comparada II

⇒ O Processo

A transpiração acontece em decorrência da evaporação da água para a atmosfera que ocorre devido a pressões negativas que se desenvolvem nas células, mais especificamente nas superfícies das paredes celulares. A água adere aos componentes hidrofílicos da parede. As células do mesófilo estão em contato direto com a atmosfera por meio de um sistema de espaços intercelulares. No início a água evapora de um fina película que cobre esses espaços, á media em que a água vai sendo perdida, a água remanescente é deslocada pelos interstícios da parede celular formando interfaces curvadas que induzirá uma tensão ou pressão negativa na água (Taiz & Zeiger, 2004). O raio dessa curvatura vai aumentando e a pressão diminuindo gerando assim a força responsável pelo deslocamento da água do xilema até a atmosfera.

Após a evaporação da água das células do mesófilo para o espaço intercelular, o movimento da água acontecerá principalmente por difusão, pois é o processo mais adequado para mover vapor de água pela fase gasosa da folha, devido ao fato de ser um processo com a característica de movimentar as moléculas mais rápido nos gases do que nos líquidos. O controle da difusão ocorre pela diferença dos gradientes de concentração do vapor de água entre o mesófilo da folha e a atmosfera.

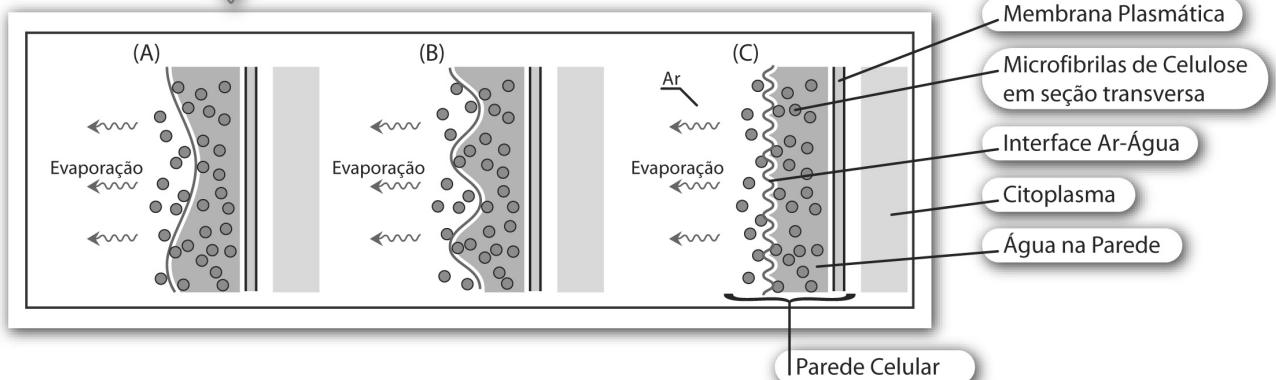


### Vias de transpiração

A transpiração pode ocorrer principalmente, através de duas vias:

**a) Cuticular** – barreira efetiva ao movimento da água formada por uma película constituída por substâncias como cutina ou suberina que reveste algumas partes do vegetal como as folhas;

	Raio de Curvatura (µm)	Pressão Hidrostática (MPa)
(A)	0,5	-0,3
(B)	0,05	-3
(C)	0,01	-15



b) Estomática – representa a principal forma de perda de água pelo vegetal.

## Importância da Transpiração

Apesar da transpiração promover perdas significativas de água pelos vegetais principalmente durante as horas mais quentes e secas do dia, é um processo fisiológico de extrema importância, pois somente através da abertura dos estômatos para a transpiração ocorrer é que acontece a entrada de entrada de  $\text{CO}_2$ , moléculas responsáveis pela produção de carboidratos, lipídeos, fitormônios e outros fotoassimilados indispensáveis ao vegetal, durante a fotossíntese. Sem  $\text{CO}_2$  podemos afirmar: não existiria fotossíntese, conseqüentemente não seria possível a vida. O vegetal consegue através de algumas adaptações que proporciona seu equilíbrio fisiológico, manter os estômatos abertos para entrada de  $\text{CO}_2$  sem que aconteçam perdas excessivas de água o que comprometeria a vida do vegetal. Uma das tentativas de solução é a abertura estomática durante a noite e seu fechamento durante a noite.

⇒ **Fatores dos quais depende a transpiração:**

a) *Diferença de concentração de vapor de água* entre os espaços intercelulares das folhas e a atmosfera externa;

b) *Resistência à difusão* desta rota.

⇒ **Força propulsora para a perda de água:**

A água será transportada através do xilema devido a força que é proporcionada pela diferença da concentração de vapor d'água-  $C_{wv(\text{folha})} - C_{wv(\text{ar})}$ . As características de coesão e adesão, próprias das moléculas de água, contribuem para que esse transporte seja garantido mesmo que por longas distâncias como é o caso das plantas de maior porte.

## Regulação das Perdas de Água por Resistências do Trajeto

Consiste de dois componentes variáveis:

a) Resistência da camada limítrofe ( $r_b$ ) – resistência causada pela camada de ar parada junto à superfície foliar. É determinada: pela velocidade do vento, pelos tricomas, estômatos em cavidade, tamanho e forma de folha.

b) Resistência estomática foliar ( $r_s$ ) – resistência associada à difusão pelo poro estomático que é o local onde ocorre a maior parte da transpiração foliar;

## ■ Fisiologia dos Estômatos - Como Ocorre a Transpiração Estomática

a) Características dos estômatos:

⇒ Os estômatos são estruturas epidérmicas presentes principalmente nas folhas (podem, entretanto, ser encontrado em frutos, flores e caules jovens);

⇒ Formados por 2 células estomáticas (células-guarda), que delimitam uma fenda (ostíolo);

⇒ 2 ou mais células anexas (acessórias, subsidiárias) adjacentes e uma câmara sub-estomática, a qual está em conexão com os espaços intercelulares;

⇒ Possuem cloroplastos e por exibir essa característica, conseguem produzir grande parte da energia necessária ao seu metabolismo;

⇒ As suas células-guarda não apresentam cutícula espessada integralmente, apenas em alguns pontos nota-se o espessamento e as microfibrilas de celulose dispostas no sentido radial para que ocorra o controle da abertura e fechamento do ostíolo.

#### b) Tipos principais:

⇒ Células-guarda típicas de gramíneas e algumas poucas mono como as palmeiras;

⇒ Células-guarda típicas de eudicotiledôneas e muitas monocotiledôneas como gimnospermas, pteridófitas e musgos.

#### c) Tamanho:

⇒ Varia de 3 a 12 mm de largura por 7 a 40mm de comprimento e quando abertos podem ocupar até 100mm quadrados de área foliar total.

#### d) Localização

⇒ A depender da espécie temos a seguinte distribuição:

⇒ *Anfiestomática* –ocorrem em ambas as **epidermes** (em espécies de regiões mais áridas);

⇒ *Hipoestomáticas* –ocorrem principalmente na face inferior (em espécies de regiões úmidas)

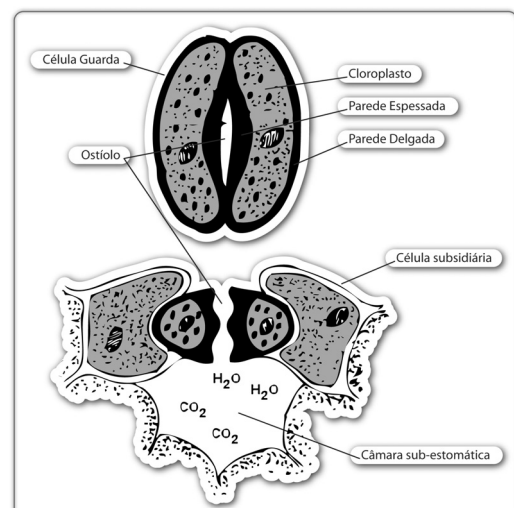
⇒ *Epiestomáticas* - **epiderme** superior (folhas flutuantes de plantas aquáticas).

⇒ Causas da abertura ou fechamento estomático

⇒ Os movimentos estomáticos são devidos, em última análise, às variações de turgescência ( $y_p$ ) sofridas pelas células estomáticas, em decorrência das alterações nas condições de vapor de água presente no ar que circunda as folhas. Essas variações provocam a abertura ou fechamento do ostíolo devido a algumas particularidades das paredes das células guardas. No caso das eudicotiledôneas, a espessura desigual das paredes (mais grossa internamente e mais delgadas externamente), das células estomáticas e também o arranjo das microfibrilas de celulose, provocam o afastamento das células estomáticas quando estão túrgidas, aumentando assim a abertura dos ostíolos.

#### e) Estrutura de um estômato:

Como foi analisado anteriormente, o movimento de abertura e fechamento dos estômatos é induzido por variações na turgescência das células estomáticas, mais especificamente das células-guarda. Se essas absorvem água, tornam-se túrgidas e os estômatos abrem-se, entretanto, se houver perda de água com diminuição da turgidez dessas células, os estômatos fecharão.



## Fatores que Afetam o Mecanismo Estomático

Os principais fatores que podem afetar esse mecanismo são a luz, teor de gás carbônico, a temperatura e o teor de água da folha.

### a) A Luz:

É o sinal ambiental que domina o controle do movimento estomático em folhas de plantas que possuem um bom suprimento de água em ambiente naturais. Essa resposta se dá de tal forma, que com alta intensidade luminosa os estômatos estão amplamente abertos e quando a intensidade cai, eles fecham-se. Devido a diminuição da concentração de  $\text{CO}_2$  intercelular durante as altas taxas de fotossíntese torna-se difícil separar a resposta dos estômatos aos fatores luz e ao  $\text{CO}_2$ . É sempre fundamental para a compreensão da fisiologia vegetal que se perceba a inter-relação entre todos os fatores no metabolismo vegetal. Não acontecerá uma resposta de qualquer natureza, sem que vários fatores estejam envolvidos, sejam de ordem endógena ou exógena.

O efeito da luz no movimento estomático pode ser dividido em dois:

1) Efeito indireto – acontece quando há aumento da fotossíntese, o que gera um aumento do conteúdo de solutos. Nesse caso, teremos diferença nos potenciais osmóticos das células - guarda o que promoverá a entrada de água e conseqüente turgescência das mesmas resultando na abertura do ostíolo;

2) Efeito específico da luz azul – a qual atuará como um mensageiro.

Segundo alguns autores, o movimento de abertura estimulado pela luz é rápido em torno de 5 minutos em muitas espécies, já o movimento de fechamento é mais lento (30 minutos). Em relação a intensidade da luz, os valores são também baixos (sendo necessário aproximadamente de 1% a 2% da luz solar normal para que o estômato se abra). Lembrando que esses valores são próprios para cada espécie, como é o caso de plantas que necessitam de maior intensidade luminosa e até 60 minutos para abrir o estômato. Sabe-se, entretanto que o tipo de luz efetivo no movimento estomático é a azul, cujo comprimento de onda está na faixa da 440 nm. Não se sabe ainda se o fotorreceptor para a luz azul é uma flavina (FAD) ou um carotenóide (Zeaxantina). O fitocromo, não tem efeito na estimulação da abertura estomática, o efeito da luz na faixa do vermelho (700 nm) é indireto através da realização da fotossíntese.

### b) Teor de Dióxido de carbono:

O aumento na concentração de  $\text{CO}_2$  provoca fechamento dos estômatos e abaixamento no teor normal (existe cerca de 0,03% na atmosfera) do  $\text{CO}_2$  no ar, até 0,01%, causa abertura máxima em grande grupo de plantas, mesmo que elas estejam no escuro. Para que a fotossíntese líquida ( $FL =$  diferença entre o ganho de  $\text{CO}_2$  fixado durante a fotossíntese e sua perda na respiração e fotorrespiração) de um vegetal seja positiva, há a necessidade de uma concentração mínima de  $\text{CO}_2$  na atmosfera. Quando  $FL = 0$ , temos o chamado ponto de compensação do  $\text{CO}_2$ . Ao se aumentar a concentração de  $\text{CO}_2$ , a  $FL$  se tornará positiva até um ponto de saturação.

### c) Temperatura:

Verificou-se, em condições controladas, que temperaturas baixas próximo de  $0^\circ$  até  $10^\circ\text{C}$  podem provocar o fechamento estomático em algumas espécies, o mesmo acontecendo com temperaturas muito elevadas.

Tem que ser considerado que temperaturas muito elevadas tem seu efeito no teor interno de água, além de aumentar a respiração e com isso aumentar o teor de  $\text{CO}_2$  dentro da folha. Nesses casos, passa-se a perceber claramente que a influência dos fatores ambientais é resultado da ação desencadeada por cada um dos fatores e por todos conjuntamente.

**d) Teor de água na folha:**

Quando as folhas perdem água e murcham, os estômatos se fecham objetivando uma diminuição significativa dessa perda. Nas horas de maior transpiração (como ocorre nas horas mais quentes do dia), as folhas começam a apresentar um déficit no seu teor interno de água, pois não conseguem absorver água do solo na mesma proporção do que é necessário. As condições do solo nesse momento farão toda a diferença, pois será por meio da sua disponibilidade de água que a planta conseguirá absorver e repor a quantidade de água perdida na transpiração.

**e) Mecanismo de abertura e fechamento estomático**

Como vimos anteriormente, as plantas dispõem de mecanismos que se ajustam às suas necessidades de manutenção da taxa hídrica, já que essa se constitui num fator de sobrevivência por ser componente principal do organismo vegetal e por servir como veículo para as substâncias presentes no solo chegarem até os aparelhos fotossintetizantes.

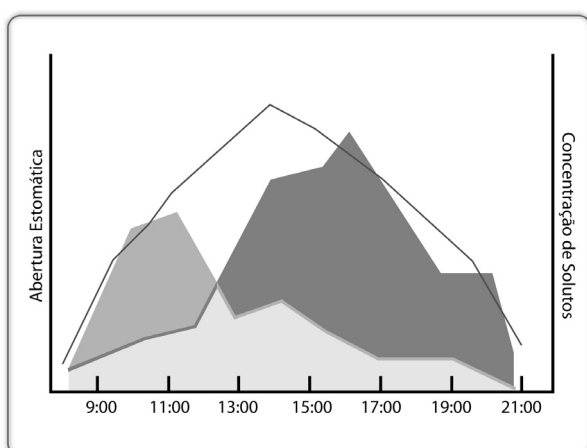
Faz-se então necessário que compreendamos o mecanismo de abertura e fechamento estomático salientando os fatores que o controlam e o influenciam.

As células-guarda não dispõem de um revestimento de proteção à perda excessiva de água para a atmosfera o que resulta em perdas constantes devido apenas às diferenças de potenciais de pressão hídrica entre a planta e o ambiente. No caso dessa perda ser excessiva, os estômatos fecharão em decorrência da flacidez das suas células-guarda. Como não envolve gasto energético, alguns autores referem-se a esse tipo de fechamento como hidropassivo.

O fechamento hidroativo depende do metabolismo e envolve a saída de solutos. Desse modo, a abertura estomática resultará de uma diminuição no  $y_s$  devido à entrada de íons e à biossíntese de compostos orgânicos nas células-guardas. À medida que o  $y_s$  diminui, o  $y_w$  também diminui provocando a entrada de água na célula. À medida que a água entra na célula, o turgor ( $y_p$ ) aumenta e compensa a perda de  $y_s$ . Devido às propriedades da parede celular da célula-guarda, o aumento de pressão de turgor faz com que elas se dilatam abrindo o ostíolo. O processo inverso durante o fechamento estomático.

Acredita-se que o amido encontrado nas células-guarda ao ser degradado em açúcares solúveis, promova a diminuição do potencial osmótico da célula levando a uma entrada de água.

Além da conversão do amido em açúcares solúveis, atualmente descobriu-se um



outro fator que participa do mecanismo estomático: os íons  $\text{K}^+$ . Observou-se que ao longo do dia as quantidades de sacarose (o açúcar solúvel) e de íons  $\text{K}^+$ , exibiam variações em seus valores que estariam relacionadas ao fechamento e à abertura dos estômatos cada um num determinado momento do dia. O conteúdo de  $\text{K}^+$  das células-guarda aumenta em paralelo com a abertura estomática durante a manhã, e no começo da tarde, decresce, sendo que a abertura estomática continua a aumentar. Por outro lado, o conteúdo de sacarose das células-

guarda aumenta vagarosamente durante a manhã, no começo da tarde torna-se o soluto dominante, no final da tarde, o fechamento estomático coincide com uma diminuição significativa no nível de sacarose. Pode-se então concluir devido a essas observações, que a abertura dos estômatos no início da manhã está associada com a entrada de  $K^+$  e o seu fechamento no final da tarde está relacionado com o decréscimo no conteúdo de sacarose.

## ■ NUTRIÇÃO MINERAL

### Os Nutrientes Minerais

Ao absorver água, os vegetais também absorvem os nutrientes minerais presentes no solo e que servirão para a formação dos fotoassimilados, seja como parte integrante das moléculas essenciais e outras funcionais e também como reguladores de várias funções vitais no vegetal. Normalmente são obtidos na forma de íons inorgânicos no solo, são os elementos químicos que estão ali disponíveis devido a intemperismo sofrido pela rocha mãe (Taiz & Zeiger, 2004).

O tipo e a quantidade de nutrientes que o vegetal absorverá dependerá basicamente do solo no qual ele estiver se desenvolvendo. Por esse motivo é que nós dispomos de uma variedade tão magnífica de vegetação compondo os diversos ecossistemas. O fator solo aliado à disponibilidade de água, são determinantes para a realização da seleção natural.

É uma área de estudo muito promissora na biologia, pois visa uma perfeita nutrição do vegetal de forma que todos os nutrientes necessários possam ser ofertados da forma e quantidade que o vegetal possa de fato absorver, muito utilizada para a agricultura e para proteção ambiental.

De todos os elementos disponíveis na natureza (em torno de 109), 89 são naturais e desses mais de 60 já foram encontrados nos vegetais, entretanto apenas 16 são essenciais.

### Critérios da Essencialidade

O que define se um elemento é ou não essencial para os vegetais?

Através de longos anos de estudo, vários elementos foram identificados praticamente um a um como essenciais, pois apresentavam os dois critérios da essencialidade que são:

**a)** Fazer parte de uma molécula que por si mesma já é essencial, podemos citar como exemplo o magnésio (Mg) que corresponde ao átomo central da molécula de clorofila, portanto um solo que não possua disponibilidade de ofertar esse elemento certamente não permitira que os vegetais se desenvolvam já que os mesmos ficariam sem condições de realizar fotossíntese;

**b)** Na sua ausência o vegetal não consegue completar seu ciclo de vida, ou seja, que forme semente viável.

### Classificação dos nutrientes:

Os elementos minerais podem ser classificados de acordo com alguns parâmetros abaixo citados:

**a)** Quanto à forma de obtenção.

Esse tipo de classificação leva em conta apenas a origem dos elementos.

**Botânica Geral e Comparada II**

⇒ Orgânicos- quando os minerais são obtidos a partir da matéria orgânica em decomposição que compõe a fase sólida do solo;

⇒ Minerais- quando são resultado do processo de intemperismo ao qual foi submetida a rocha-mãe, encontram-se **adsorvidos** nas partículas do solo.

**b) Quanto à quantidade requerida pelo vegetal**

É a forma mais comum de se classificar os nutrientes nos vegetais. Apenas considera-se a quantidade requerida de cada nutriente pelo vegetais.

⇒ **Macronutriente**- são assim classificados os nutrientes que normalmente são necessários em maiores quantidades;

⇒ **Micronutriente**- são os nutrientes requeridos em pequenas quantidades.

Elemento	Símbolo	% em matéria seca	Classificação
Carbono	C	45	Macronutriente
Oxigênio	O	45	-
Hidrogênio	H	6	-
Nitrogênio	N	1,5	-
Potássio	K	1,0	-
Cálcio	Ca	0,5	-
Magnésio	Mg	0,2	-
Fósforo	P	0,2	-
Enxofre	S	0,1	-
Cloro	Cl	0,01	Micronutriente
Ferro	Fe	0,01	-
Manganês	Mn	0,005	-
Boro	B	0,002	-
Zinco	Zn	0,002	-
Cobre	Cu	0,0006	-
Molibdênio	Mo	0,00001	-
Níquel	Ni	-	-

Modificada de Salisbury e Ross, 1991

**c) Quanto à sua função bioquímica**

Essa tem sido a forma mais completa de classificação, pois considera que a forma supra citada é de difícil justificativa sob o ponto de vista fisiológico. Por isso, Mengel & Kirkby (1987) propuseram uma classificação que considerasse o papel biológico e a função fisiológica dos elementos essenciais.

Segundo Mengel e Kirkby, 1987 apud Taiz & Zeiger, 2004, Os elementos foram então divididos em 4 grupos básicos:

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

Fonte: Taiz & Zeiger, 2004

**Grupo 1** – Formado pelos compostos orgânicos (com carbono) das plantas. Aqui classificam-se o N (nitrogênio) e o S (enxofre);

**Grupo 2** – Os elementos desse grupo são importantes para as reações de armazenamento de energia ou de manutenção da integridade da sua estrutura;

**Grupo 3** – Estão presentes como íons livres ou ligados a substâncias como ácidos pécnicos, nas paredes celulares. Realizam também funções de cofatores enzimáticos e na regulação de potenciais osmóticos;

**Grupo 4** – Os elementos que formam esse grupo desempenham importantes papéis no transporte de elétrons.

### **"Lei do Mínimo" de Liebig**

De acordo com essa Lei, os elementos essenciais precisam se apresentar em um valor mínimo disponível nos vegetais de forma a não comprometer a produção, pois mesmo se aumentarmos a concentração dos demais nutrientes, não acontecerá mais o aumento na produtividade.

### **Absorção dos Nutrientes Minerais**

Os processos envolvidos para que esses nutrientes cheguem do solo até o xilema são:

a) Difusão – os nutrientes encontrarão a raiz ao passar de uma região onde estejam em maior concentrações para uma de menor concentração dentro da raiz, o que acontece quando os nutrientes que anteriormente foram absorvidos já foram devidamente utilizados.

b) Fluxo de massa – o fator preponderante aqui será o Potencial hídrico. O nutriente será transportado juntamente com a água de uma região onde o Potencial Hídrico seja maior, para outra onde seu valor esteja menor, que normalmente será próximo a raiz. Durante o processo de transpiração, a diminuição do potencial hídrico irá acontecendo célula a célula até que seja refletido nas células radiculares.

c) Interceptação radicular – nesse processo, os fatores que favorecerem ou não o crescimento radicular terão importância ímpar, pois o contato entre o nutriente que está adsorvido às partículas do solo e a raiz acontecerá em decorrência do crescimento.

- A importância do crescimento radicular na absorção de nutrientes

Todos os nutrientes necessários para os vegetais, entrarão no organismo vegetal principalmente por meio das raízes, mas existem atualmente muitos fertilizantes que ao ser colocado em contato com as folhas tornam-se disponíveis de forma ainda mais rápida do que pela absorção radicular. Na agricultura é um processo importantíssimo, pois apesar do investimento mais elevado, a energia envolvida será menor o que certamente se reverterá em produções mais efetivas. Boa opção também para o caso de nutrientes que são pouco móveis no solo ou que não se encontram na forma quimicamente disponível para o sistema radicular absorver. No entanto, alguns cuidados devem ser tomados na sua aplicação para evitar que haja evaporação rápida da água na folha e que os sais minerais que ficam se

acumulem provocando queimaduras, reduzindo dessa forma a área fotossinteticamente ativa da planta. A esse tipo de procedimento chama-se **Adubação foliar**.

A maneira mais comum para obtenção de nutrientes pelos vegetais se dá por meio do sistema radicular. Fatores endógenos ou ambientais que afetem o sistema radicular da planta, certamente levará a uma diminuição do processo de absorção. É necessário também que as variações na taxa de transpiração sejam consideradas, bem como, os fatores que afetam a referida taxa. A zona pilífera em raízes novas como radícula, as raízes secundárias das dicotiledôneas e as raízes seminais e nodais das monocotiledôneas, são as principais regiões de absorção dos nutrientes.

As características da espécie, que determinam o tipo de sistema radicular que apresentarão, também é importante, pois quanto maior o contato desse com os nutrientes no solo, maiores são as possibilidades de absorção, pois a área de contato ficará significativamente maior.

O crescimento radicular é controlado geneticamente e depende de fatores como:

- ⇒ Estímulo hormonal- alguns fitormônios agem diretamente no crescimento e desenvolvimento do sistema radicular;
- ⇒ Disponibilidade de fotoassimilados;
- ⇒ Condições de solo como: textura, pH, umidade, estrutura e nutrientes (Peres & Kerbauy, 2000);
- ⇒ Micorrizas- essa associação assim como melhora a absorção de água, otimiza também a absorção dos nutrientes. Os fungos absorverão os nutrientes e de forma direta os transportará para as células radiculares. Existe, entretanto, a possibilidade dessa relação passar de benéfica para parasita no caso do estado nutricional da planta hospedeira estar em situação de deficiência, pois quando encontra-se bem nutrida a tendência é a supressão da infecção.

#### - A Trajetória raízes-xilema

Para se deslocarem das raízes até o xilema, os nutrientes seguirão as seguintes possibilidades de rotas:

Via **apoplasto** – serão transportados pela parede celular e espaços intercelulares;

Via **simplast** – o transporte acontecerá através dos conjuntos de citoplasmas interligados por plasmodesmas.

#### - Ascensão dos elementos minerais no xilema

Quando os vegetais encontram-se em um ambiente onde a transpiração é favorecida, os nutrientes serão absorvidos juntamente com a água constituindo-se assim, a transpiração uma das suas principais forças motrizes, por esse motivo, existirá uma tendência de acúmulo dos nutrientes nas regiões que transpiram mais. É fundamental que eles realizem a redistribuição desses elementos para que todas as partes da planta, principalmente as mais jovens consigam receber os nutrientes dos quais necessitam.

Se as condições ambientais não forem favoráveis à transpiração, a força motriz passa então a ser a gutação.

#### - O transporte dos nutrientes através da membrana celular

##### a) Vias para o transporte dos nutrientes pela membrana celular.

Dizemos que os nutrientes chegaram até o xilema, quando eles entram nas células desse através dos pêlos radiculares ou pela endoderme. Para que isso aconteça se faz então necessário que utilizem algumas vias como:

⇒ Canais – são poros pelos quais os íons serão transportados através da sua abertura. Para a passagem da água, existe um poro específico chamado de *aquaporina*, apesar de ter passagem livre pelas membranas;

⇒ Carreadores – são substâncias capazes de se ligar ao soluto mudando a conformação da proteína ao chegar no outro lado da membrana, a substância se dissocia do sítio de ligação;

⇒ Bombas - são proteínas que gastam ATP diretamente para transportar solutos e por isso também são denominadas ATPases. Nas plantas existem dois tipos de bombas: as de cálcio e as de prótons.

### **b) O transporte de nutrientes pode ser ativo ou passivo**

A célula é carregada negativamente o que dificulta a entrada dos nutrientes que se encontram em forma de ânions, porém são igualmente necessários, o que leva a gastos energéticos na sua obtenção, ou seja, *transporte ativo*. Outra possibilidade de gasto energético nesse processo aparece quando o nutriente em questão, apesar de exibir essas características químicas, são necessários em quantidades significativas no interior das células. O seu acúmulo seria suficiente para promover a sua saída, no entanto, observa-se que são mantidos dentro da célula mesmo que contra o gradiente de concentração. Os cátions encontram uma relativa facilidade para entrar na célula devido às suas cargas positivas que naturalmente serão atraídas pela composição elétrica das células, dessa forma, pode-se dizer que o transporte para esses nutrientes não envolverá gasto energético, sendo, portanto denominado de *transporte passivo*.

### **c) Capacidade de absorção de nutrientes**

⇒ Varia de acordo com o ambiente e com o estágio de desenvolvimento do vegetal.

#### **- Deficiências nutricionais**

Quando o vegetal não consegue os nutrientes necessários para o seu crescimento e desenvolvimento, começa a apresentar sintomas típicos da deficiência do nutriente em questão devido ao fato de que cada nutriente exerce funções específicas as quais ficarão comprometidas.

Esses sintomas podem ser visuais, porém, sozinhos não são suficientes para a indicação do elemento exato. A maneira mais eficiente de verificar se está existindo de fato deficiência de um determinado elemento é aliar a sintomatologia visual à análise do solo e à de tecidos foliares. Somente através desse conjunto de informações é possível atribuir os danos aos elementos realmente envolvidos.

Existe a possibilidade de que alguns elementos que sejam disponibilizados exageradamente ao vegetal possam inverter suas funções de essenciais para tóxicas.



1. No solo, a água que será absorvida pelas raízes move-se em função das diferenças de potencial hídrico entre as células radiculares e as partículas que formam o solo. Discuta sobre as características do solo que poderão influenciar o movimento de água através de suas partículas.

---

---

---

2. Explique cada uma das rotas possíveis no transporte de água do solo para as raízes.

---

---

---

3. A força motriz para o movimento da água no sistema água-solo-planta é a transpiração. A ascensão acontece em tecido especializado: o xilema. O que leva esse tipo de vaso a ser considerado um trajeto de baixa resistência?

Discuta sobre os fatores que influenciam o mecanismo estomático.

---

---

---

4. Descreva o percurso seguido pelas moléculas de água na corrente transpiratória,

---

---

---

---

---

---

---

5. ~~com~~oçando no solo e terminando na atmosfera fora da folha. Quando se fizer necessário, comente sobre os fatores que, naquela etapa do percurso, estão envolvidos.

---



---



---

6. A transpiração nos vegetais pode acontecer por meio de pelo menos 3 vias: estomática, cuticular e lenticelar. No caso particular dos estômatos, apresentam características que lhe conferem a possibilidade de executar as suas funções. Como você descreve o mecanismo de abertura estomático numa condição climática de: boa luminosidade, pequena  $[CO_2]$ , células-guarda túrgidas ( $y_w$ ) baixo? E o papel dos íons  $K^+$  e do ABA?

Os nutrientes são absorvidos junto com a água que ascende devido à transpiração. Como podemos relacionar tipo de solo, disponibilidade de água e espécie vegetal?

---



---

7.

---



---



---



## FLUXOS DE ENERGIAS DAS ANGIOSPERMAS

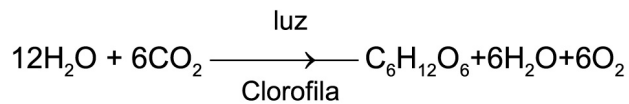


### FOTOSSÍNTESE

#### ■ LUZ, CLOROPLASTOS E FOTOSSISTEMAS

Assim que os vegetais absorvem água e nutrientes do solo, esses são direcionados até os locais da planta que podem realizar fotossíntese. Corresponde a uma de suas características mais marcantes. Para realizar esse processo, o vegetal precisa de água, dióxido de carbono e luz, como produtos acontecerá a formação de  $O_2$  e carboidratos e água.

A equação geral da fotossíntese é:



A água utilizada na fotossíntese será proveniente da sua ascensão devido o processo de transpiração, o dióxido de carbono será proveniente do ar e a luz, da radiação a qual o vegetal estiver exposto. A partir dessas substâncias eles produzem todas as outras das quais necessitam para crescer, se desenvolver e manter seus organismos vivos e saudáveis.

Para entendermos melhor a fotossíntese é necessário compreender um pouco sobre a captação de energia

## 1 – Natureza da Luz

⇒ A luz possui características tanto de partícula (chamados de fótons), quanto de onda (comprimento de onda e freqüência);

⇒ Espectro de absorção – mostra a quantidade de energia luminosa captada ou absorvida por uma molécula ou substância em função do comprimento de onda da luz.

⇒ Quando as moléculas absorvem ou emitem luz, elas alteram seu estado eletrônico, porém só poderão absorver 1 fóton de cada vez e este causará a excitação de apenas 1 elétron.

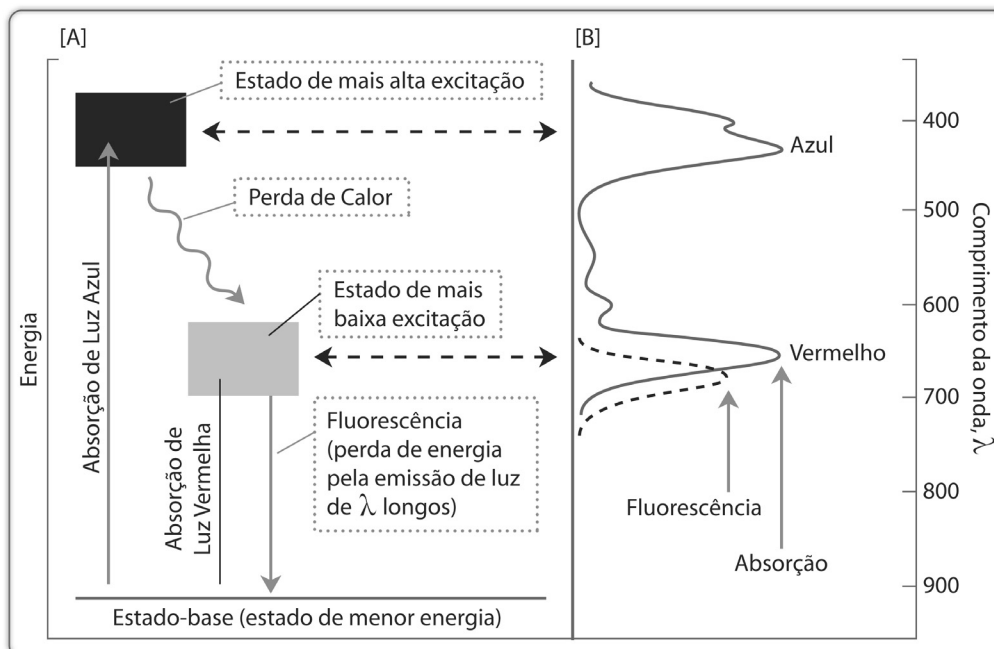
⇒ Quando recebem luz, as moléculas de clorofila passam para um estado energético maior do que o qual se encontrava. Ao retornar para o seu estado de menor excitação (estado basal) as moléculas dos pigmentos liberarão a energia, a qual poderá seguir três diferentes rotas que são:

– fluorescência (liberação de luz e calor simultaneamente);

– calor;

– transferência de energia por ressonância que corresponde ao mecanismo pelo qual a energia coletada pelos pigmentos antena serão canalizadas até o centro de reação.

– o processo fotoquímico (reações extremamente rápidas devido a competição com as outras três fases).



⇒ Espectro de absorção – cada pigmento irá absorver a energia luminosa numa determinada faixa do espectro.

⇒ Apenas 2% da radiação líquida recebida na superfície da terra é utilizada na fotossíntese.

Para absorver luz é necessário que o vegetal disponha de substâncias que possuam essa característica, são os **pigmentos**.

## Os Pigmentos Fotossintetizantes

### - Conceito e características

- ⇒ Substâncias que absorvem luz para que essa seja utilizada pelos organismos vivos;
- ⇒ Todos são encontrados nos cloroplastos;
- ⇒ Nos organismos fotossintéticos encontramos uma mistura de pigmentos, cada um exercendo sua função específica.

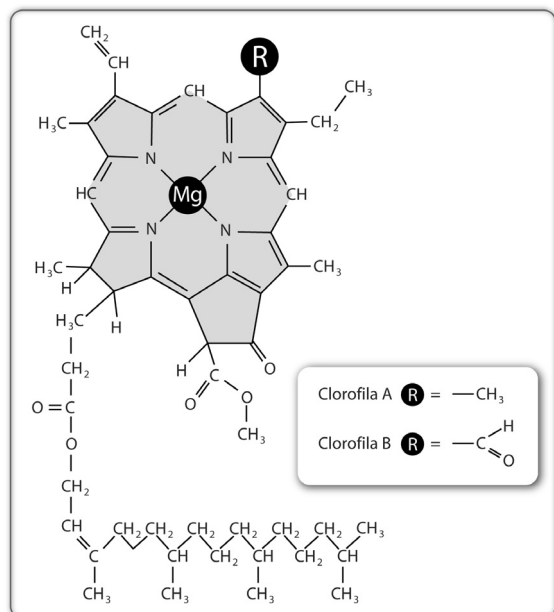
### - Principais tipos

Todos os pigmentos estão envolvidos na fotossíntese, pois cada um irá absorver energia e cedê-la ao processo, porém apenas a clorofila *a* está presente nos centros de reação com a função de enviar os elétrons para a cadeia transportadora.

⇒ **Clorofila A** – estão presentes em todos os vegetais e correspondem aos pigmentos responsáveis pela transferência de energia diretamente para os fotossistemas. Sua cor é verde-azulada e seu espectro de absorção está entre 680 e 700nm.

⇒ **Clorofila B** – presentes nas plantas, algas verdes e euglenas; absorve luz e transfere para a clorofila *a*. Os máximos de absorção desse pigmento correspondem, respectivamente, a 435 e 643 nm nas regiões azul e vermelho

⇒ **Clorofila C** – presentes nos grupos de protistas e nas cianobactérias.



⇒ **Carotenóides** – são pigmentos amarelados ou alaranjados, denominados de pigmentos acessórios, pois apesar de estar presente na fotossíntese sua função é indireta já que absorve energia e a repassa para as moléculas de clorofila *a*. São encontrados em todas as células fotossintetizantes. Normalmente, sua coloração nas folhas é camuflada pela clorofila. Dependendo da fase de vida em que encontrar o vegetal, eles poderão se apresentar de forma mais visível. São solúveis em lipídios, têm espectros de absorção de luz na região entre 400 a 550 nm. Situam-se nas membranas tilacoidais em íntima associação com as clorofilas. Outra função importante desses pigmentos é que eles protegem as moléculas de clorofilas e proteínas contra a fotoxidação sob luz excessiva.

⇒ *Ficobilinas* – são solúveis em água.

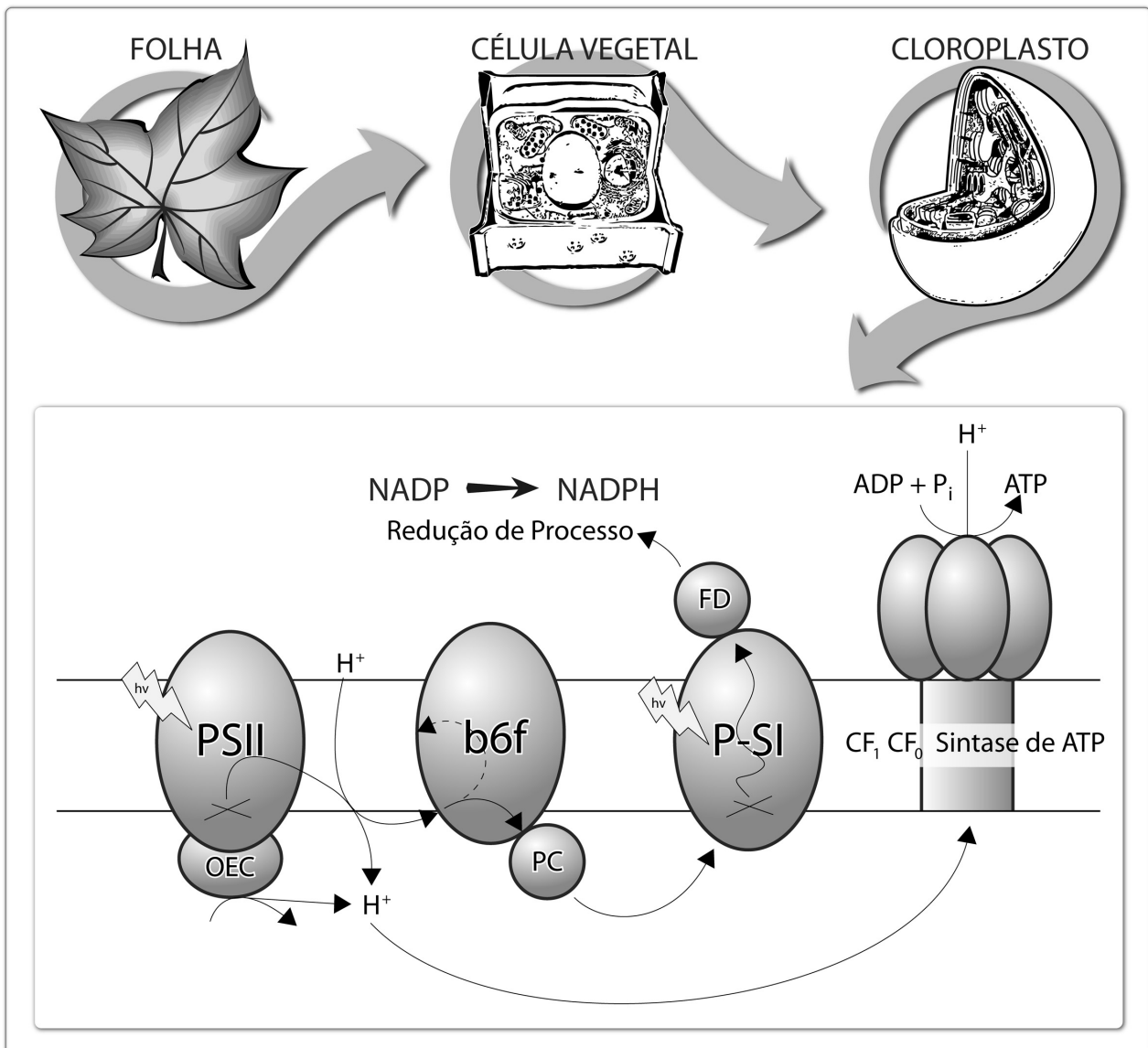
Cada pigmento absorverá luz num determinado comprimento de onda que será efetivo para a sua função.

### Aparelho Fotossintético – Cloroplasto

Os cloroplastos são as estruturas presentes nas células vegetais onde se encontram os pigmentos fotossintetizantes. Possuem DNA, RNA e Ribossomos próprios, facilitando assim a síntese de todas as enzimas das quais necessitam para realizar suas funções.

#### - Estrutura

Externamente é limitado por uma membrana dupla. Na parte interna dessa, apresenta um sistema de membranas chamados de **Tilacóides**, local onde estarão os pigmentos constituindo-se assim, a sede das reações fotossintéticas. Preenchendo todo esse espaço interno encontraremos o *estroma* que é uma solução incolor, viscosa. Os tilacóides podem estar mergulhados individualmente no estroma ou formando pequenas pilhas chamadas *Grannum*. *Grana* é o nome dado ao conjunto de todos os *grannuns* do cloroplasto. A parte interna do tilacóide chama-se lume, que é o local onde acontecerão as reações luminosas.



## Processos Químicos das Reações Luminosas – Os Fotossistemas

Os processos químicos que constituem as reações luminosas são realizados por 4 principais complexos protéicos: o fotossistema I, o II, o complexo citocromo  $b_6f$  e a ATP sintase.

### a) O fotossistema II (P680)

É um complexo formado por um complexo protéico com múltiplas subunidades. Possuem dois centros de reação completos e alguns complexos antena. No núcleo do centro de reação estão 2 proteínas de membrana, a D1 e a D2, além de outras proteínas. Associado a D1 teremos a P680 que atua como um doador primário de elétrons, a feofitina (doador primário de elétrons) e a plastoquinona que transportará os elétrons da  $Q_A$  até o complexo citocromo  $b_6f$ .

A proteína D2 manterá ligada à sua estrutura a plastoquinona  $Q_A$ , que transfere elétrons da feofitina até a  $Q_B$ .

### b) O complexo citocromo $b_6f$

É formado por quatro diferentes polipeptídeos, o citocromo  $b_6$ , o citocromo  $f$ , uma proteína que contém ferro-enxofre (2Fe-2S) e o polipeptídeo IV; cuja função ainda é desconhecida. Esse complexo transfere os elétrons da quinona reduzida até a plastocianina (proteína que contém cobre). Essa quinona fará então a transferência do elétron para a molécula do centro de reação do fotossistema I - a P700.

### c) Fotossistema I (P700)

Formado por um complexo multiprotéico que mantém ligados vários transportadores de elétrons, assim como o fotossistema II. O seu centro de reação, no entanto, contém um dímero de clorofila  $a$  e será abastecido energeticamente através de um complexo antena que possui aproximadamente 200 moléculas de pigmentos. A diferença entre esse centro de reação e o do fotossistema I é que nesses estarão presentes além das 2 moléculas de clorofilas especiais, um complexo antena com aproximadamente 100 clorofilas. Associados a esse fotossistema, teremos aceptores adicionais de elétrons:  $A_0$  (monômero de clorofila  $a$ ), centros ferro-enxofre (proteínas ferro-sulfurosas) ( $FeS_x$ ,  $FeS_A$ ,  $FeS_B$ ) que transferem os elétrons até a ferredoxina solúvel que será responsável pela redução do  $NADP^+$  a  $NADPH$ , o qual será utilizado no ciclo de Calvin.

### d) Complexo ATP síntase

Os componentes acima demonstraram como acontece a síntese de  $NADPH$ . A produção de ATP acontecerá na fotofosforilação acíclica que se dá por uma via conhecida como **mecanismo quimiosmótico**.

O mecanismo quimiosmótico apóia-se no princípio de que as diferenças na concentração de íons e as diferenças no potencial elétrico através das membranas correspondem à fonte de energia livre que pode ser utilizada pela célula. Como o fluxo de prótons acompanhará o fluxo de elétrons que discutimos anteriormente, teremos essas diferenças entre as concentrações no estroma e no lume

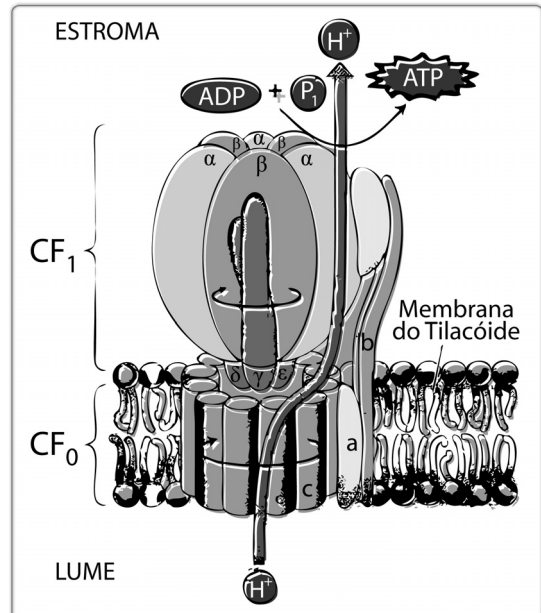
Produz ATP na medida em que os prótons atravessam o seu canal central de volta ao estroma provenientes do lume.

### d.1) Estrutura

Enzima formada por 2 partes:  
 $CF_0$  e  $CF_1$ .

#### $CF_0$

É a parte **hidrofóbica** ligada à membrana do tilacóide, e a  $CF_1$  que é a porção que sai da membrana para dentro do estroma. (ver figura). Formada por 3 tipos de subunidades. São polipeptídeos e encontram-se inseridos na membrana do tilacóide de forma a promover um fluxo de prótons do lume até o estroma, movimento que só é possível devido ao canal protônico que se forma no seu interior.



#### $CF_1$

É formada pelos peptídeos  $\alpha$  e  $\beta$  que se distribuem num arranjo de forma alternada. Os polipeptídeos  $\beta$  são o local onde se encontram os sítios catalíticos. É nessa porção da ATPase que será produzido o ATP.

## ■ REAÇÕES LUMINOSAS, FOTOFOSFORILAÇÃO ACÍCLICA E CÍCLICA

A fotossíntese acontece em duas etapas diferentes: as *Reações Luminosas ou Etapa fotoquímica* e as *Reações de Fixação de Carbono*.

### Reações Luminosas – Etapa Fotoquímica

Corresponde à etapa da fotossíntese que depende diretamente da luz, pois seu objetivo é converter a energia luminosa em energia química. Seus principais produtos são: o NADPH e o ATP. Acontecerão nas membranas dos tilacóides.

Está organizada em dois fotossistemas: o I e o II, ambos encontram-se distribuídos nas membranas tilacoidais. Os fotossistemas correspondem à arrumação das moléculas de pigmentos antena na membrana do tilacóide. Os procariontes apresentam apenas o Fotossistema I e os eucariontes apresentam o Fotossistema I e o II.

A dependência de luz dessa etapa decorre do fato de que a luz constituirá o principal fornecedor de energia devido ao fato de apresentar a natureza de partículas, o que possibilita a sua utilização nas reações fotossintéticas para alterar o estado energético das moléculas que passarão para um estado energeticamente mais elevado.

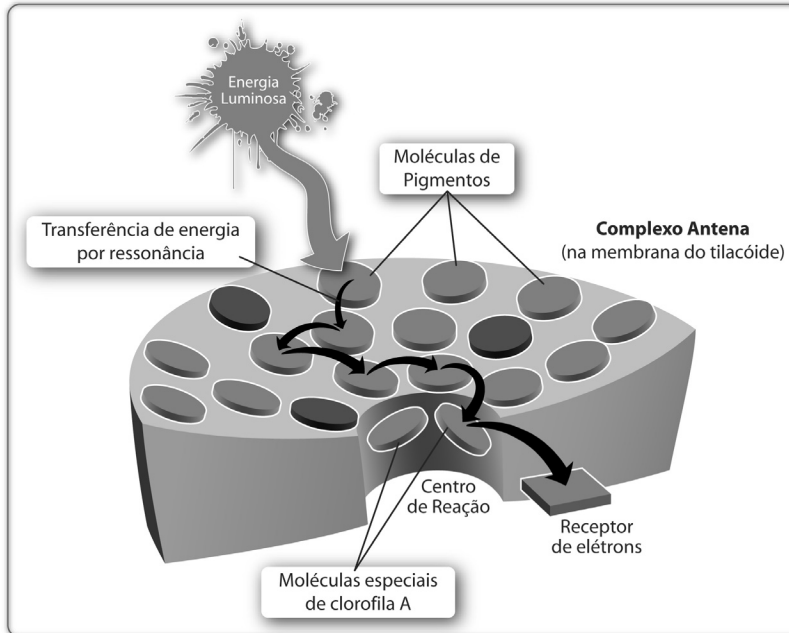
- Os complexos antena e a captação da energia luminosa

Os vegetais conseguem capturar energia através de um conjunto formado por pigmentos acessórios, clorofila *a* e centros de reação que compõem os fotossistemas.

Cada fotossistema é formado por um complexo antena e um centro de reação. A captação de luz será realizada pelos pigmentos que encontram-se organizados em complexos de captação chamados *Complexos antena*. Cada complexo antena é formado por 200 a 300 moléculas de pigmentos variados com um centro de reação formado por duas moléculas de clorofila *a* especiais. A energia absorvida em qualquer ponto do sistema antena, migrará

para as moléculas dos centros de reação promovendo a passagem de 1 elétron para a cadeia transportadora de elétrons.

As clorofilas *a* (duas para cada centro de reação) de cada um dos fotossistemas, absorvem luz em comprimentos de onda diferentes: o fotossistema I (PSI) absorve no comprimento de onda em torno de 700nm. Já o fotossistema II (PSII) absorve luz no comprimento de onda de 680nm. Normalmente, a nomenclatura utilizada será de P680, para o fotossistema I e P700 para o fotossistema II.



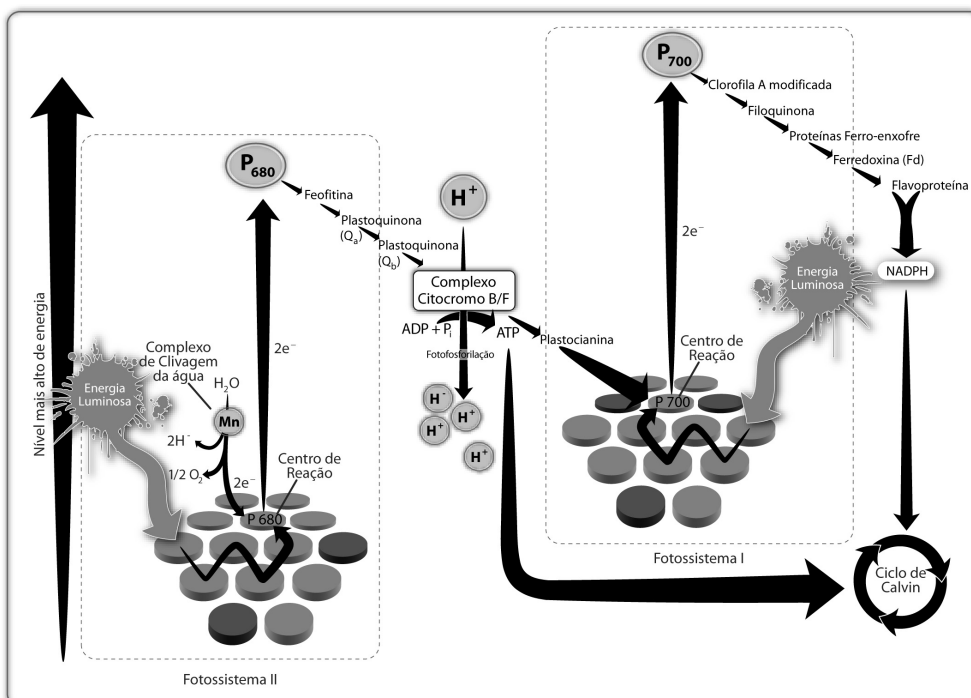
Em resumo, as reações luminosas da fotossíntese acontecem da seguinte forma:

- Fotofosforilação acíclica

Etapa fotoquímica que produzirá ATP e NADPH. Iniciada no fotossistema II quando a molécula P680 recebe energia que migrou do complexo antena e passa para um nível de excitação. Libera então o elétron para a feofitina que transferirá para os aceptores  $Q_A$  e  $Q_B$  (plastoquinonas). Essas plastoquinonas transportam o

elétron até o complexo citocromo  $b_6/f$ , desses o elétron será transportado até a plastocianina que irá repor os elétrons da molécula da P700 reduzindo-a. Essa molécula ao receber luz no seu complexo antena, excita seus elétrons que serão transportados até o receptor primário  $A_0$ , depois para  $A_1$ , proteínas ferro-sulfurosas, ferredoxina até chegar na flavoproteína solúvel chamada ferredoxina-NADP redutase, que irá reduzir o  $NADP^+$  a NADPH o qual será utilizado no ciclo de Calvin. (Ver Figura)

Para repor os elétrons da P680, a molécula de água irá, por **fatólise**, liberá-los bem como os prótons  $H^+$ .



- Fotofosforilação cíclica

Botânica Geral  
e Comparada II

Na etapa acima, observa-se a produção de NADPH e ATP. A quantidade de ATP, entretanto será complementada por essa outra etapa do processo. A absorção de luz excitará os elétrons e depositará dois  $H^+$  no canal do tilacóide. Não haverá produção de NADPH porque o P680 não está envolvido no processo o que caracteriza a não utilização de moléculas de água.

- Produção da etapa fotoquímica

- Formação de um forte agente redutor, o NADPH;
- Liberação de oxigênio como subproduto da dissociação da molécula da água;
- Formação de ATP por meio do complexo ATP-sintase.

## ■ REAÇÕES DE FIXAÇÃO DE CARBONO, FOTORRESPIRAÇÃO, PLANTAS $C_4$ E PLANTAS CAM

### Reações de Fixação de Carbono - Fase Bioquímica da Fotossíntese.

É nessa etapa da fotossíntese que o Carbono (C), captado através do estômatos, será fixado no Ciclo de Calvin promovendo a formação dos produtos básicos para o metabolismo vegetal como sacarose, amido, fitormônios etc.

Para a fixação acontecer serão utilizados o NADPH e o ATP os quais foram produzidos na etapa fotoquímica (reações luminosas) da fotossíntese.

As reações enzimáticas envolvidas no processo foram descobertas por Melvin Calvin (daí nome Ciclo de Calvin) e seus colaboradores, e lhes rendeu o prêmio Nobel de Química no ano de 1961. Atualmente esse ciclo é também chamado de Ciclo  $C_3$  devido ao fato de que o primeiro produto formado e estável é um composto que possui 3 átomos de Carbono, o Ácido fosfoglicérico.

Entretanto, outros pesquisadores, como Hatch e Kortschak, determinaram que algumas espécies de gramíneas como a cana-de-açúcar e milho, além de realizar o ciclo de Calvin, também são capazes de fixar o dióxido de Carbono em compostos de 4 carbonos a exemplo do malato e do aspartato. São chamadas de plantas  $C_4$ .

Algum tempo depois descobriu-se que algumas espécies de regiões áridas só abrem seus estômatos à noite evitando, assim, perdas excessivas de água durante as horas mais quentes. Elas acumulam o  $CO_2$  em seus vacúolos em forma de ácidos orgânicos. São as plantas CAM.

- Etapas do ciclo de Calvin:

A fixação do carbono em plantas  $C_3$  pode ser dividido em 3 fases:

- a) Carboxilação, catalisada pela enzima *Rubisco*;
- b) Redução, onde o NADPH e o ATP serão utilizados;
- c) Regeneração do aceptor de  $CO_2$ ;

a) Etapa da carboxilação ou fase carboxilativa

É chamada dessa forma porque sua característica é a fixação do carbono do ar atmosférico no ciclo.

Inicia-se o ciclo quando o  $\text{CO}_2$  (3 moléculas em cada ciclo) é fixado pela 1,5-bifosfato (RuBP) produzindo um composto intermediário com 6 carbonos mas que é instável.

Consiste de uma fase catalisada por pela enzima *Rubisco* (RuBP carboxilase/oxigenase). Cada molécula de  $\text{CO}_2$  fixada dará origem a duas moléculas de PGA (3-fosfoglicerato 3 carbonos cada), que corresponde ao primeiro composto estável do ciclo de Calvin. Será produzido um composto

Nessa etapa do processo a energia utilizado é proveniente da capacidade redutora do  $\text{NADPH}_2$  e o ATP.

#### b) Etapa de redução

Aqui o PGA (6 moléculas ao todo no ciclo completo) será convertido, após duas reações onde o ATP e o NADPH são utilizados. Inicialmente o ATP será utilizado formando as 6 moléculas de 1,3-bifosfoglicerato (3 carbonos), na segunda reação, o NADPH promove a redução dessa molécula resultante da primeira reação em PGAlD (gliceraldeído 3- fosfato). Esse composto corresponde ao primeiro carboidrato gerado no ciclo  $\text{C}_3$  e 5 das 6 moléculas resultantes retornam ao ciclo para regenerar a RuBP e a outra, servirá de molécula inicial para a formação de açúcares, amido, ácidos graxos e aminoácidos (Raven, 2001).

#### c) Etapa regenerativa

Acontece a partir da formação do 3PGAlD que será convertido em diidroxiacetona – fosfato (DHAP) através da enzima triose-fosfato isomerase. Várias reações enzimáticas seriadas realizam um interconversão açúcar-fosfato de 3, 4, 5 e 6 átomos de Carbono regenerando assim a ribulose-1,5-bifosfato (RuBP), a molécula receptora primária do  $\text{CO}_2$ . Estão envolvidas nessa fase, oito enzimas diferentes que catalisam as 10 reações que integram essa fase.

### Fotorrespiração

A enzima rubisco carboxilase/oxigenase, é responsável pela reação inicial de fixação no ciclo de Calvin e atua neste, exercendo sua função carboxilase. No entanto, o seu sítio ativo não diferencia as moléculas de  $\text{CO}_2$  das moléculas de  $\text{O}_2$ . Quando as condições do ambiente tornam a quantidade de oxigênio maior do que a de  $\text{CO}_2$  (numa situação onde os estômatos se fechem, como estresse hídrico ou que os vegetais estejam muito próximos uns dos outros utilizando grandes quantidades de  $\text{CO}_2$  e liberando muito  $\text{O}_2$ ), a rubisco então, catalisa a condensação do  $\text{O}_2$  com a RuBP formando duas moléculas: uma de 3-fosfoglicerato e outra de fosfoglicolato. Como consequência, nenhum  $\text{CO}_2$  será fixado e uma quantidade significativa de energia será utilizada na produção das moléculas de fosfoglicerato que não é uma molécula útil.

### Plantas $\text{C}_4$

Nessas plantas o ciclo de fixação do  $\text{CO}_2$ , acontece em dois tipos de células fotossintéticas: *as células do mesófilo e as células da bainha perivascular* que são células cujas propriedades bioquímicas, fisiológicas e ultra-estruturais apresentam diferenças notáveis (Kerbaudy, 2004).

São espécies na maioria tropicais e subtropicais. Podemos citar como exemplos a tiririca (*Cyperus rotundus*), o sorgo, a cana-de açúcar, o capim-arroz e o capim-colchão entre outras. A maioria dos seus representantes são as gramíneas e ciperáceas (Kerbaudy, 2004).

Acredita-se que o surgimento desse grupo esteja relacionado a uma combinação entre: diminuição da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera, estresse hídrico e altas temperaturas.

Tais condições impedem quase completamente a aquisição do  $\text{CO}_2$  nas plantas  $\text{C}_3$  o que favorece a fotorrespiração.

- O ciclo

O primeiro produto estável é uma molécula com 4 Carbonos (oxaloacetato e malato). A enzima que atua na fixação é a *PEP-carboxilase* (PEP case) que catalisa a reação irreversível do *ácido fosfoenol pirúvico* (PEP). O produto será o *ácido oxaloacético* (AOA).

A enzima PEP carboxilase utiliza o C (carbono) na forma de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) diferentemente da rubisco (enzima do ciclo de Calvin) que utiliza o C proveniente do  $\text{CO}_2$ .

Divide-se o ciclo  $\text{C}_4$  em 3 fases: carboxilativa, descarboxilativa e regenerativa.

**a) Carboxilativa**

A fixação do  $\text{CO}_2$  acontece no citoplasma das células do mesófilo. através da reação catalisada pela *PEP carboxilase* ele reage com o fosfoenolpiruvato produzindo o ácido oxaloacético que poderá ser metabolizado de duas formas:

- pela redução do cetoácido a hidroxidoácido e a outra
- que ocorre através de uma reação mediada por uma *aspartato aminotransferase*

Após formados, o malato ou o aspartato são exportados para as células da bainha perivascular (o que justifica a importância da anatomia *Kranz*) onde serão submetidos a reações de descarboxilação. A característica de poder ser reduzido a malato ou aminado a aspartato, diferencia as plantas formadoras de malato ou de aspartato.

**b) Descarboxilativa**

O malato ou aspartato serão descarboxilados liberando o  $\text{CO}_2$  e produzindo o piruvato.

Essa etapa terá a ação de três possíveis enzimas dependendo do grupo vegetal em questão.

São elas: a *enzima málica dependente de NADP* (na bainha vascular); a *enzima málica dependente de NAD* (nas mitocôndrias) e a *PEP carboxiquinase* (citoplasmática). Todas as reações aqui envolvidas, são reversíveis.

**c) Regenerativa**

Etapa onde o piruvato produzido durante a descarboxilação, retorna às células do mesófilo onde será convertido em fosfoenolpiruvato. Está assim regenerado o receptor inicial de  $\text{CO}_2$ .

- Origem das  $\text{C}_4$

Muitos estudiosos sugerem que as plantas  $\text{C}_4$  surgiram de uma variação das  $\text{C}_3$  devido a uma diminuição significativa da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera, no final do período Cretáceo. Elas exibem baixa concentração de compensação, não se observa fotorrespiração (o que representa um ganho energético importante para o vegetal), além de possuírem uma eficiência muito alta no uso da água e da capacidade fotossintética se comparada às plantas  $\text{C}_3$ .

**Plantas CAM**

A entrada do  $\text{CO}_2$  ocorrerá durante a noite, pois durante o dia essas plantas mantêm seus estômatos fechados evitando assim perdas excessivas de água para o ambiente.

Esses vegetais possuem além do ciclo  $C_3$ , outra estratégia para realizar a fixação de  $CO_2$  que acontecerá no escuro com a ação da PEP carboxilase no citossol. Inicialmente o oxaloacetato será produzido o qual é imediatamente reduzido a malato que ficará armazenado no vacúolo na forma de ácido málico. Quando as plantas são expostas à luz, esse ácido málico sairá do vacúolo será descarboxilado e aí então o  $CO_2$  poderá ser fixado pela RuBP na mesma célula.

## ■ TRANSLOCAÇÃO DE SOLUTOS

Os vegetais têm como característica a possibilidade de produzir as substâncias das quais necessitam tendo como processo primário a fotossíntese. Após a produção dessas moléculas, agora chamadas de Fotoassimilados, se faz necessária a sua distribuição desde o local onde foram elaboradas (fonte) até os locais onde são requisitadas (dreno) ou armazenados como é o caso dos órgãos de reserva.

### Estrutura do Floema

O tecido condutor responsável por esse transporte é o floema. Para compreendermos melhor como acontece esse transporte, vamos relembrar a estrutura do floema.

O floema é um tecido vascular cuja função principal é o transporte da seiva elaborada, suas células são especializadas e chamadas elementos crivados. Diferentemente do xilema, seus protoplastos são vivos, o núcleo é incipiente e não apresentam tonoplasto. A separação entre citoplasma e vacúolo não é nítida.

É formado pelas seguintes células.

- ⇒ Células companheiras;
- ⇒ Células parenquimáticas;
- ⇒ Fibras e esclereídeos (proteção e sustentação);
- ⇒ Laticíferos (células c/ látex);
- ⇒ Elementos crivados (elementos de tubos crivados e células crivadas).

### O Faminho dos Fotoassimilados

Segue um padrão **fonte-dreno**, onde a fonte será constituída de toda e qualquer parte da planta que realize fotossíntese como as folhas ou que armazene reservas nutritivas, como os órgãos de armazenamento. Como dreno teremos as partes do vegetal que não tem capacidade de produzir seu próprio alimento e precisam importar esses nutrientes.

Esse padrão poderá ser modificado em função do estágio de desenvolvimento em que se encontrar o vegetal. Logo, órgãos de reserva que inicialmente atuam como dreno, podem assumir a função de fonte desde que o vegetal necessite dessa intervenção. Observa-se claramente essa alteração quando o vegetal está em transição da fase vegetativa para a reprodutiva, pois os frutos em desenvolvimento assumem um caráter de monopolizador dos assimilados de todas as folhas que estejam mais próximas.

Em plantas jovens, dizemos que a relação fonte-dreno é direta, pois os cotilédones servem como fonte e as raízes em crescimento atuam como dreno. Já nas plantas mais velhas, as folhas superiores normalmente exportam assimilados, principalmente em direção ao ápice caulinar, enquanto as folhas que ficam na parte inferior do vegetal exportam sua produção para as raízes. As folhas localizadas no centro distribuiriam seus fotoassimilados em ambas as direções: ápice caulinar e radicular.

É guiado por uma pressão de fluxo gerada osmoticamente. Várias explicações tentaram justificar o comportamento dos fotoassimilados durante a sua translocação, porém atualmente a mais aceita é a **Hipótese do fluxo de massa** que envolve um processo ativo chamado de **carregamento do floema**.

**a) Carregamento do floema** - pode acontecer pelas vias apoplásticas ou simplásticas.

A via simplástica é a utilizada pela sacarose das células do mesófilo para os complexos tubos crivados - células-companheiras das nervuras menores, mas eventualmente poderá também ser apoplástica sendo que as conexões entre os plasmodesmos de outros tipos de células que formam as folhas. Já as células-companheiras dos carregadores simplásticos podem ser conectadas com o mesófilo simplástico, via numerosos plasmodesmos.

O carregamento apoplástico parece acontecer devido à força motriz gerada por um gradiente de prótons. Esse movimento tem um custo energético suprido por moléculas de ATP, é chamado de:

### Co-transporte de sacarose e prótons ou simporte

Resulta da ação da bomba de prótons  $H^+$  ATPase presente na membrana plasmática que utiliza a energia desprendida na quebra das moléculas de ATP para o transporte de prótons. O gradiente de prótons será utilizado como um carregador específico de moléculas na membrana plasmática acoplando o retorno de prótons ao simplasto para o transporte de sacarose (Raven, 2001).

**b) Descarregamento do floema** – pode acontecer pelo **apoplasto** e pelo simplasto.

Corresponde ao processo pelo qual os açúcares e outros fotoassimilados saem do floema. Geralmente o movimento de descarregamento nos tecidos acontece pelo apoplasto. Nos órgãos em crescimento vegetativo, geralmente se dá pelo simplasto (Raven, 2001).

Apesar do descarregamento acontecer provavelmente de forma passiva, o transporte depende da atividade metabólica, como é o caso dos órgãos de armazenamento como raízes ou caules onde a sacarose deverá ser acumulado em grandes concentrações que geralmente ficam maiores do que a das células do tubo.

Esse carregamento acontece com os seguintes eventos:

Células do mesófilo enviam sacarose '!' floema (tubos crivados) '!' "!" potencial hídrico no tubo crivado '!' Água que entra na folha pela corrente transpiratória, desloca-se para os tubos crivados por osmose '!' sacarose carregada passivamente pela água para um dreno '!' remoção da sacarose resulta na '!' do potencial hídrico no tubo crivado '!' movimento da água para fora do tubo crivado. A maior parte da água retorna para o xilema e recircula na corrente transpiratória.



1. ● “Para a energia luminosa ser utilizada pelos sistemas vivos, é necessário que ela primeiro seja absorvida” (Raven et al., 2001). A substância responsável por essa absorção é chamada *pigmento*. Em relação a ela responda:

a) A fotossíntese depende de algumas dessas substâncias. Quais são elas e que papel desempenham no processo fotossintético?

---



---



---



---

b) O significado do termo “espectro de ação”

---



---



---



---

2. ● “Os sistemas antena funcionam para enviar energia eficientemente para os centros de reação, com os quais estão associados (Pullerits e Suindström, 1996). Esses sistemas constituem, na verdade, a primeira etapa de captura de energia para o sistema vivo, fornecendo, assim, energia suficiente para desencadear o processo de reações de transdução de energia (reações luminosas), que envolvem dois fotossistemas: I e II. Descreva brevemente, como ocorre a geração de ATP nessa etapa da fotossíntese.

---



---



---



---

3. ● Faça um quadro comparativo com as características do ciclo para a fixação do carbono nas plantas  $C_4$ ,  $C_3$  e CAM.

---



---



---



---

**4.** A enzima rubisco desempenha um importante papel na definição do processo de fixação de carbono. Justifique a afirmativa explicando em que tipos de situação essa enzima tem a função de carboxilase e de oxigenase.

---

---

---

**5.** “A fotorrespiração é um processo do qual dependem os vegetais para sobreviver”. Discuta a frase acima descrevendo o processo.

---

---

---

**6.** Discuta os aspectos positivos e negativos das plantas que realizam fotossíntese  $C_3$ ,  $C_4$  e CAM.

---

---

---

tema **4**

**RESPIRAÇÃO**

Embora não aconteçam separadamente, o fluxo de energia (fotossíntese) e de Carbono (respiração) são estudados em momentos diferentes e costuma-se dizer que um é o inverso do outro.

Os vegetais têm a capacidade de produzir seu alimento, são autótrofos, e deles necessitam para formar e repor suas moléculas e organelas além de desempenharem o papel de fornecedores de energia para manter todas as suas atividades vitais. Assim como os animais, os vegetais precisam então “quebrar” essas moléculas, principalmente as de glicose, para que a energia contida nas ligações dessas moléculas possa ser liberada e utilizada. A essas transformações cujo resultado é a produção energética, damos o nome de RESPIRAÇÃO.

É um processo biológico universal, pois ocorre em plantas e animais que possuam a organela mitocôndria a qual corresponde ao local de processamento e produção de compostos energéticos.

A energia necessária aos organismos vivos é fundamental para a construção das organelas, manutenção das mesmas, formação dos organismos, sua manutenção e relação com o ambiente ao qual pertence.

Vários de seus compostos intermediários também servem para as vias biossintéticas servindo de esqueleto químico para polissacarídeos, ácidos nucleicos, aminoácidos e proteínas e compostos do metabolismo secundário (Kerbaudy, 2004).

## ■ ETAPAS E MECANISMO

Para compreendermos melhor a Respiração celular nos vegetais, vamos falar um pouco sobre alguns aspectos fundamentais a essa compreensão.

Iniciaremos falando sobre os processos de catabolismo e anabolismo e seu significado químico.

### Catabolismo e Anabolismo

Quando os compostos estão sendo degradados com o objetivo de obter energia (oxidação da glicose até dióxido de carbono e água), fala-se em catabolismo. Parte dessa energia toma a forma de calor.

Quando as reações estão acontecendo para produzir matéria orgânica (por exemplo a produção de proteínas) chama-se anabolismo.

Os vegetais armazenam energia em moléculas principalmente de amido ou sacarose. Para que a energia presente nas ligações que formam essas moléculas seja liberada, é necessário que elas sofram uma quebra completa em  $\text{CO}_2$  e água para que fiquem armazenadas em ATP. As substâncias utilizadas para a redução do carbono, normalmente são as moléculas de glicose, mas pode também ser derivadas da sacarose, hexoses fosfato e trioses fosfato, provenientes da degradação do amido e da fotossíntese; ele pode também ser derivado de polímeros que contém frutose e outros açúcares, assim como de lipídeos, de ácidos orgânicos e, ocasionalmente, de proteínas (Taiz & Zeiger, 2004).

Resumindo:

**Catabolismo** – acontece quando as células estão produzindo moléculas, matéria orgânica;

**Anabolismo** – termo utilizado para designar uma etapa do desenvolvimento do ser em que está ocorrendo gasto energético, utilização de substâncias de reserva ou que estiverem sendo produzidas.

Em ambos os processos, a energia referida é mensurada em ATP.

### ATP (Adenosina Trifosfato)

Nucleotídeo trifosfatado muito importante, devido ao fato de participar de várias reações e processos metabólicos relacionados à transferência e conversão de tipos de energia.

Quando tem seu radical fosfato hidrolisado, forma o difosfato de adenosina (ADP) e com isso libera energia livre num valor aproximado de 7,3 Kcal/mol, que corresponde a uma quantidade apropriada para as funções celulares. O seu armazenamento ocorre no hialoplasma e é pequeno, o que requer sua contínua produção, já que correspondem à forma de energia da qual o vegetal dispõe para repor e compor suas moléculas e estrutura. As reações que o produzem, necessitam fosforilar o ADP a ATP.

Para que isso aconteça, dois mecanismos podem estar envolvidos, cada um de acordo com as condições de oferta de oxigênio:

- *na ausência*, a fosforilação pode acontecer quando um composto intermediário transfere um radical fosfato para o ADP, é o chamado metabolismo anaeróbico (a glicólise e a fermentação são exemplos desse tipo de metabolismo);

- *na presença* de oxigênio molecular, o ATP pode ser produzido nas membranas internas das mitocôndrias num processo chamado de metabolismo aeróbico. São várias reações compondo a fosforilação oxidativa.

### NAD e FAD: os carreadores de elétrons

As reações metabólicas que degradam a glicose e obtêm energia para a célula são do tipo oxidação-redução (também denominada oxirredução). A oxidação acontece quando um composto químico (molécula, íon) perde elétron ou hidrogênio. A redução ocorre quando uma espécie química ganha elétron ou hidrogênio.

A maior parte da energia da glicose é retirada por meio de reações de oxirredução. Nestas reações participam substâncias conhecidas como coenzimas. As mais importantes coenzimas carreadoras de elétrons são o dinucleotídeo de nicotinamida-adenina ( $\text{NAD}^+$ ) e o dinucleotídeo de flavina-adenina ( $\text{FAD}^+$ ) suas formas reduzidas são  $\text{NADH}$  e  $\text{FADH}_2$ .

### Organelas onde Acontece a Respiração – Mitocôndrias

Estão presentes em todas as células eucarióticas (animais ou vegetais). Sua atividade está diretamente relacionada ao metabolismo energético das células e com a produção de ATP na respiração aeróbica.

Apresentam DNA próprio além dos ribossomos, o que lhe confere a capacidade de sintetizar proteínas e de se replicar originando outras mitocôndrias a partir das que já existem.

Possui dupla membrana com um espaço entre elas. A externa é lisa e na interna encontram-se as *cristas mitocondriais* que correspondem a pregas. Internamente, é preenchida pela *matriz mitocondrial*. Suas atividades acontecem nos diferentes espaços que possui já que alguns processos se dão nas cristas enquanto outros acontecem na matriz mitocondrial.

Sendo assim, a respiração acontece nas seguintes etapas:

Glicólise, Ciclo de Krebs ou Ciclo do Ácido Cítrico, Cadeia Transportadora de Elétrons e Fosforilação Oxidativa.

- Glicólise ou fase citossólica

Etapa onde ocorre a quebra da molécula de glicose (6 átomos de carbonos) em 2 de piruvato (3 átomos de carbono).

Ocorre no citossol e é realizada em 10 diferentes etapas cada uma catalisada por uma enzima específica.

Acredita-se que esse processo seja mais primitivo, pois acontece em ausência de oxigênio, o que nos leva a crer que já existisse na atmosfera primitiva onde a disponibilidade de oxigênio era inexistente.

A degradação da glicose (normalmente é a hexose utilizada) poderá ocorrer em duas vias:

- a) *Via das Pentoses* que está mais associada à produção de compostos intermediários como a ribose;
- b) *Via glicolítica* relacionada à produção de energia.

## O processo

Na glicólise, a molécula inicial com 6 carbonos será degradada em 2 de 3 carbonos cada (o gliceraldeído 3-fosfato). Nessa etapa gasta-se 2 moléculas de ATP cuja função será a de fornecer seus fosfatos que acabam sendo distribuídos na molécula de frutose 1,6-bifosfato. Essa molécula ao ser fragmentada, produzirá 2 moléculas de gliceraldeído 3-fosfato.

Nessa fase, sempre acontecerá o gasto de 2 ATPs e 4 serão produzidos, totalizando um lucro de 2 moléculas de ATP.

Apesar desse lucro parecer pequeno, existem algumas situações em que essa produção será a fonte de energia mais importante.

- Ciclo dos Ácidos Tricarboxílicos ou ciclo de Krebs

Acontece nas mitocôndrias (matriz mitocondrial) para onde o piruvato é importado logo após ter sido produzido no citossol durante a glicólise.

Neste ciclo, o ácido orgânico será completamente oxidado a  $\text{CO}_2$ .

Segundo Kerbauy, 2004, as funções do ciclo de Krebs, podem ser basicamente duas:

- a) Produção de energia e/ou compostos redutores para a cadeia transportadora de elétrons;
- b) Produção de esqueletos de carbono para todo o metabolismo celular.

## O processo

O piruvato assim que entra na mitocôndria, perde um carbono ( $\text{CO}_2$ ) gerando um radical acetil que se ligará à coenzima A formando a acetil-CoA. Esse composto formará o citrato após a sua união com a molécula de oxaloacetato.

A coenzima A será liberada e combina-se com outro grupoacetil quando outra molécula de piruvato é oxidada. Dos 6 carbonos do ciclo, 2 serão removidos e oxidados a  $\text{CO}_2$  e o oxaloacetato é regenerado reiniciando o ciclo.

Uma parte da energia liberada quando os átomos de carbono são oxidados no ciclo de Krebs, é utilizada para:

- Reduzir  $\text{NAD}^+$  a  $\text{NADPH}$  (maior parte da energia);
- Reduzir  $\text{FAD}$  a  $\text{FADH}_2$ ;
- Converter o  $\text{ADP}$  em  $\text{ATP}$ .

O  $\text{NAD}$  e o  $\text{FAD}$  são as moléculas responsáveis pela captação dos elétrons e prótons removidos na oxidação do carbono.

É o estágio onde os elétrons de alta energia do NADPH e do  $\text{FADH}_2$  serão transportados por uma série de transportadores de elétrons (alguns são os citocromos, proteínas ferro-enxofre, ubiquinonas) de forma gradual até um nível energético mais baixo do oxigênio. Enquanto esse transporte acontece, há liberação de energia que será utilizada na geração do gradiente de prótons o qual promoverá a formação de ATP a partir de ADP e  $\text{P}_i$  (Fosforilação Oxidativa).

No final da cadeia transportadora de elétrons, o oxigênio recebe os elétrons e combinam com prótons para produzir água.

Cada passagem de 1 par de elétrons do NADPH para o oxigênio, bombeia prótons suficientes para gerar 3 moléculas de ATP através da membrana. Quando os elétrons são liberados das moléculas de  $\text{FADH}_2$  os prótons são suficientes para formar 2 moléculas de ATP.

Para cada molécula de glicose oxidada na glicólise e ciclo de Krebs são produzidas no citossol 2 moléculas de NADH e na matriz mitocondrial, surgirão 8 de NADH e 2 de  $\text{FADH}_2$ .

Essa etapa da respiração catalisa um fluxo de elétrons do NADH e do  $\text{FADH}_2$  para o aceptor final de elétrons, o  $\text{O}_2$

A *fosforilação oxidativa* acontece devido o gradiente de prótons gerado através da membrana mitocondrial e do uso da energia potencial armazenada nesse gradiente para formar ATP a partir do ADP e do  $\text{P}_i$ . Esse gradiente é gerado pela energia liberada quando os elétrons caem para níveis de energia mais baixo na cadeia transportadora. A energia então será utilizada pelos complexos protéicos presentes na membrana da mitocôndria para bombear os prótons da matriz mitocondrial até os espaços entre as membranas. Como não podem sair devido a impermeabilidade da membrana a prótons, esses ficam em concentração muito maior do que a encontrada na matriz mitocondrial (o que acaba resultando em energia potencial ou **gradiente eletroquímico**).

O gradiente eletroquímico torna possível um canal que permite o fluxo de elétrons a favor do gradiente de concentração. Esse canal contém a ATP sintase que promoverá a ligação entre o  $\text{P}_i$  e o ADP na síntese de ATP, além de possuir um poro pelo qual os prótons podem atravessar. Como esse processo inclui processos químicos e também transporte através da membrana, normalmente esse mecanismo de síntese de ATP é chamado de **acoplamento quimiosmótico**.

Em resumo as etapas da respiração celular vegetal serão as descritas no esquema abaixo:

Balanço da produção energética da respiração:

Até a década de 1980, admitia-se que a rentabilidade energética da respiração aeróbica seria de 38 moléculas de ATP por molécula de glicose degradada. Entretanto, com a descoberta de que a molécula de NADH produzida fora da mitocôndria origina apenas duas moléculas de ATP, esse valor foi revisto. Hoje, considera-se como correto que uma molécula de glicose produz, na respiração aeróbica, 36 moléculas de ATP.

## ■ FERMENTAÇÃO

Existem algumas situações em que o vegetal encontra-se em condições anaeróbicas, como acontece com as raízes que estão se desenvolvendo em solos alagados ficando

completamente inundadas sem possibilidades de drenagem. Nessas situações, as células não conseguem completar todas as fases anteriores da cadeia transportadora de elétrons (corresponde a fase de maior quantidade de ATP produzido) e conseqüentemente o vegetal terá que realizar a produção energética após o desvio do fluxo de carbono da via glicolítica e o piruvato é reduzido pela enzima desidrogenase do lactato. Essa situação levaria a um acúmulo de lactato o que acidificaria o citossol e culminaria com a morte da célula.

O piruvato então, pode ser descarboxilado a acetaldeído que sofrerá uma redução formando etanol, que provoca danos menos drásticos do que o lactato.

A fermentação pode ser:

- Alcoólica (tipo de respiração que produz álcool etílico e gás carbônico, útil na produção de combustíveis, cerveja, vinho, pães etc.),

- Láctica (ocorre em nossos músculos quando lhes falta oxigênio, havendo produção de ácido láctico, causando a fadiga muscular) ou acética (produzindo ácido acético e gás carbônico).

## ■ CONTROLE DA RESPIRAÇÃO POR FATORES INTERNOS

### Substrato Disponível

Cada espécie possui uma taxa respiratória que lhe é peculiar. A variação da atividade de respiração poderá acontecer até mesmo dentro das cultivares de uma mesma espécie.

A fase de desenvolvimento na qual se encontra o vegetal e o tipo do órgão, também fará requisições próprias do processo respiratório, porém todas obedecerão um limite de variação que estará relacionado às características genéticas da espécie.

Caso algum fator influencie a disponibilidade dos substratos (os principais utilizados na respiração são os carboidratos e lipídeos) que servirão de fonte energética para o processo respiratório, esse ficará comprometido. A estratégia utilizada para minimizar as conseqüências de uma possível indisponibilidade de substratos é o armazenamento de substâncias de reserva em partes específicas do vegetal, para que supram a necessidade no caso da fotossíntese não realizar a produção esperada.

### Temperatura

De uma forma geral observa-se que há um aumento da taxa de respiração em função de aumento na temperatura. Segundo Kerbauy, 2004, na maioria dos tecidos, um aumento de 10°C, na faixa entre 5 e 25°C, dobra a taxa respiratória devido ao aumento na atividade enzimática.

Abaixo de 5°C, há uma diminuição drástica da taxa respiratória enquanto em torno de 30°C ocorre aumento porém não tão rápido quanto na faixa de 5 - 25°C. Esse resultado acredita-se ser em função do fato do O<sub>2</sub> não ser difundido eficientemente nessa temperatura. As temperaturas iguais ou acima de 40°C, diminuem a eficiência da respiração provavelmente em decorrência do comprometimento ou danos aos compostos protéicos e seus derivados (Kerbauy, 2004).

### Fermentos e Lesões

O vegetal tende a aumentar a sua taxa respiratória nos casos em que sofra algum tipo de ataque. Essa atividade respiratória acelerada poderá contribuir com a atividade meristemática para cicatrização e até mesmo com a produção de substâncias de defesa.

## ■ ECOFISIOLOGIA E RESPIRAÇÃO

Quando observamos os seres vivos, fica claro a dependência e interrelações existentes entre eles e entre eles e o ambiente ao qual pertencem.

A ecofisiologia é uma ciência que estuda e descreve os mecanismos fisiológicos que determinam o que se observa na ecologia. Considera quais as ligações entre uma dada resposta e os fatores endógenos que levaram àquela referida resposta. Por isso é imprescindível que seja considerado o vegetal inserido no ecossistema.

Em relação à respiração, estudamos alguns aspectos que são relevantes quando consideramos os valores das suas taxas. Um desses aspectos refere-se a idade do vegetal. Os tecidos jovens apresentam taxa de respiração mais elevada se comparada com partes mais velhas da planta. Tal constatação nos leva a inferência de que os ecossistemas em regeneração apresentariam taxas respiratórias muito elevadas o que conseqüentemente levaria a necessidade de uma taxa fotossintética ainda maior para que seja mantido seu crescimento. Porém, sabe-se também que essas taxas elevadas de fotossíntese e de respiração só poderão atingir o valor máximo permitido por suas características genéticas.

Convém ressaltar que nem sempre os fatores que alteram o processo respiratório são os mesmos que interferem na fotossíntese o que leva a indicação de que cada um desses processos deve ter uma regulação própria. Além do que cada parte da planta irá responder de forma diferente às alterações no ambiente.

- Texto para reflexão:

### A Amazônia é o Pulmão do Mundo

*Nas últimas décadas, a preocupação com o meio-ambiente passou a receber (com razão) um grande destaque na sociedade. Infelizmente, apesar de sua validade e importância, este movimento também ajudou a propagar noções completamente equivocadas e sem base científica. Em meio aos esforços de proteção da floresta amazônica, destacou-se o conceito de que a Amazônia seria o pulmão do mundo: absorvendo dióxido de carbono da atmosfera e convertendo-o em oxigênio através da fotossíntese, suas árvores garantiriam os níveis de oxigênio da atmosfera.*

*Vamos começar com um pouco de biologia básica. Qualquer vestibulando sabe (ou deveria saber...) que os seres vivos produzem a energia necessária para sua sobrevivência através da queima de certas*

*substâncias, principalmente carboidratos (açúcares). Se você já fez dieta, provavelmente aprendeu que um grama de açúcar gera quatro calorias de energia enquanto um grama de gordura produz nove calorias. Esse processo é chamado de respiração celular e pode ocorrer de duas formas, usando oxigênio (respiração aeróbica) ou não (respiração anaeróbica). A respiração aeróbica é muito mais eficiente (produz mais energia) e é a forma predominante na natureza. Apenas alguns tipos de microorganismos dependem exclusivamente da respiração anaeróbica (e alguns nem sobrevivem na presença de oxigênio). Em caso de um suprimento limitado de alimento nós também usamos uma forma de respiração anaeróbica, que gera ácido láctico (um dos responsáveis por aquela dor muscular depois de exercícios*

*muito intensos, onde a demanda de energia supera a capacidade do sistema respiratório de prover oxigênio). A produção de dióxido de carbono ocorre em ambos os tipos de respiração celular, tanto em animais quanto em plantas. A diferença entre os animais e as plantas está na forma como eles obtêm os carboidratos que serão queimados na produção de energia.*

*É aqui que entra a fotossíntese. Enquanto os animais obtêm seus carboidratos (e gorduras e outros nutrientes...) através da ingestão de plantas ou outros animais, a maioria dos vegetais (existem exceções) utiliza um processo mais simples onde água e dióxido de carbono são combinados quimicamente, com a ajuda da luz do sol, produzindo carboidratos e oxigênio. Então realmente, durante a fotossíntese, as árvores da Amazônia absorvem dióxido de carbono e liberam oxigênio. Mas isso é apenas metade da história... afinal de contas, as árvores ainda queimarão os carboidratos produzidos na fotossíntese, produzindo energia e dióxido de carbono, lembra?*

*A respiração celular e a fotossíntese, então, se completam em um ciclo (veja a figura). Mas esse ciclo se equilibra perfeitamente? Todo o oxigênio produzido por uma árvore através da fotossíntese é consumido na obtenção de energia através de sua respiração celular? Na verdade, não. Parte dos carboidratos produzidos pela fotossíntese não são queimados e sim incorporados à estrutura da planta à medida que ela cresce (amido e celulose são carboidratos completos). Em outras palavras, a planta “fixa” parte do carbono que ela remove da atmosfera.*

*O resultado final é que realmente as árvores produzem um excesso de oxigênio, mas - aqui está a pegadinha - enquanto elas*

*estão vivas. Quando uma árvore morre e apodrece, este excesso de oxigênio vai ser consumido pelas bactérias aeróbicas que se alimentam dos restos da árvore, fechando um ciclo cujo efeito final é nulo - nenhum oxigênio produzido pelas árvores (ou por qualquer outro vegetal fotossintético que fique exposto à atmosfera ao morrer) sobra para a atmosfera. Ou seja, todo aquele carbono que havia sido incorporado à estrutura da árvore é transformado de volta em dióxido de carbono e devolvido à atmosfera. E, diga-se de passagem, o efeito é o mesmo, quer a árvore morra e se decomponha naturalmente ou seja queimada.*

*Então quem alimenta a atmosfera de oxigênio? As plantas que **não** ficam expostas à atmosfera quando morrem - principalmente algas e outros organismos fotossintéticos (o chamado fitoplâncton), que vivem próximo à superfície dos oceanos e se depositam no seu fundo ao morrer, onde são decompostos por microorganismos anaeróbicos e ajudam a formar as rochas sedimentares.*

*O transporte de oxigênio e de dióxido de carbono na atmosfera faz parte, na verdade, de uma série de ciclos complexos que têm vários outros participantes além dos seres vivos. Quantidades de oxigênio e dióxido de carbono, por exemplo, são dissolvidas na água dos oceanos ou incorporadas à crosta terrestre na forma de minérios e rochas.*

*Em suma, podemos dar vários motivos para proteger as florestas, mas os níveis de oxigênio e dióxido de carbono da atmosfera não são um deles. Aliás, a própria escolha do termo “pulmão do mundo” já demonstra um certo desconhecimento de biologia. Afinal de contas, nossos pulmões absorvem oxigênio e liberam dióxido de carbono, e não o contrário.*

**Texto de Alexandre Taschetto de Castro  
em 20/04/04**



**1.** • “Nunca devemos dormir num ambiente em que esteja presente uma planta”.  
Com base nos seus estudos e observações sobre respiração, discuta a afirmação acima de forma a explorar os aspectos cientificamente comprovados da respiração aeróbica.

---

---

---

---

**2.** • Estabeleça uma relação entre a fotossíntese e a respiração aeróbica no que se refere às respectivas funções.

---

---

---

---

**3.** • No que contribui a estrutura apresentada pelas mitocôndrias para viabilizar a respiração?

---

---

---

---

**4.** • Elabore um quadro que contemple os eventos que compõem a respiração aeróbica e suas respectivas produções de ATP.

---

---

---

---

**5.** • Fale sobre a necessidade da fermentação.

---

---

---

---

**6.** Relacione os fatores que estão envolvidos no controle da respiração aeróbica e elabore um texto de 30 linhas onde seja discutido o controle da respiração.

---

---

---

---

**7.** Comente sobre o texto “A Amazônia é o Pulmão do Mundo”, de forma a articular o que foi estudado com o que você leu no referido texto

---

---

---

---

# Atividade Orientada



Prezado(a) educando(a)

A atividade orientada corresponde a uma etapa obrigatória da disciplina onde, em 3 diferentes momentos, você, sob a orientação do seu tutor, deverá aprofundar ainda mais os conhecimentos construídos no decorrer do estudo da disciplina. Deverá ser um momento também de reflexão acerca dos fenômenos envolvidos na fisiologia vegetal de modo a você identificar o momento de buscar informações que ampliem ainda mais o seu conhecimento sobre as espécies vegetais que compõem a sua região; conseguindo, dessa forma, fundamentação teórica específica suficiente para lhe dar segurança no momento em que se fizer necessária a sua atuação como cidadão atuante, crítico e fundamentado nas afirmações que realizar.

## *Etapa 1*

Os vegetais possuem duas formas de reprodução: a sexuada e a vegetativa. Em ambos os processos, observa-se que as condições ambientais são determinantes para o sucesso da opção. Selecione 10 espécies vegetais nativas da sua região, pesquise qual o tipo de reprodução que realizam e discuta sobre a interdependência tipo de reprodução-condição ambiental, salientando a importância evolutiva dos dois tipos de reprodução para que o ecossistema em estudo possa apresentar as atuais características.

O estudante deverá iniciar seu estudo selecionando 10 espécies vegetais da sua região pesquisando sua forma de reprodução. Citando esta, deverá conectar as condições do ambiente e o tipo de reprodução realizada pelos vegetais de forma a discutir sobre a evolução do ecossistema em estudo. É fundamental que o aluno consiga fazer uma conexão pautada nas características científicas que ele encontrou na pesquisa.

## *Etapa 2*

A formação da semente possibilita ao embrião retomar o seu crescimento quando o ambiente todas as condições necessárias à quebra de dormência. Nesse momento, iniciam-se várias reações catabólicas e anabólicas com o objetivo de promover e manter o desenvolvimento embrionário até que ele apresente condições para fotossintetizar. Diante do que foi exposto:

**a)** Descreva os eventos fisiológicos que acontecem desde a formação do embrião até o desenvolvimento completo da plântula.

O aluno deverá iniciar sua resposta falando sobre a Embebição e suas características, depois catabolismo evidenciando a quebra das moléculas de reserva e a reconstrução de organelas e moléculas, RNAm de longa vida, por fim, deverá explicar sobre o anabolismo e suas características relacionadas a produção de novas organelas e moléculas.

**b)** Elabore uma aula prática que possa ser desenvolvida no Ensino Fundamental II, cujo tema seja **Crescimento e Desenvolvimento Vegetal**.

Oriente o aluno a utilizar o modelo de roteiro sugerido no capítulo sobre o tema. Ele poderá escolher uma espécie que seja de alguma forma importante na região, escolher quais as medidas que pretende tirar (altura, diâmetro do caule, quantidade de folhas, etc) , por quanto tempo irá observar e para quê. Poderá fazer simulação de ambiente: com ou sem luz, com ou sem água, espécie diferentes, ou seja, pode utilizar variáveis para enriquecer a pesquisa. É fundamental que antes de elaborar a aula, seja discutida a necessidade da revisão bibliográfica sobre o tema que ele pretende desenvolver para aprofundar ainda mais os conhecimentos sobre a espécie.

## *Etapa 3*

Após a germinação, o vegetal terá que produzir os fotoassimilados necessários ao seu crescimento e desenvolvimento. A transpiração, a fotossíntese e a respiração são processos fisiológicos que juntamente com os já discutidos anteriormente, garantirão a referida produção. Suponha que seus alunos do Ensino Médio não tenham acesso a nenhum outro tipo de material e você está trabalhando com eles sobre Fisiologia Vegetal. Diante dessa situação você resolve então: construir um texto apropriado para ser aplicado em séries do Ensino Médio, onde você explicará os acontecimentos próprios a cada um desses processos de forma a interrelacioná-los, simulando assim como ocorrem no vegetal.

O texto deverá ser iniciado com os aspectos da germinação, dormência etc até a etapa em que o vegetal realiza fotossíntese, utiliza a energia através da respiração e entra novamente na fase reprodutiva fechando assim o seu ciclo. Oriente-os a construir esse texto de forma clara e sempre utilizando as conexões necessárias à compreensão de que os fenômenos fisiológicos, assim como qualquer outro da natureza, não se dão de forma isolada entre si nem do ambiente.

# Glossário



Botânica Geral  
e Comparada II

**Albume** – tecido de reserva de natureza triplóide.

**Antrópica** – ação promovida pelo ser humano no ambiente.

**Androceu** – verticilo floral que contém os estames.

**Apomixia** – reprodução sem meiose ou fecundação.

**Apoplasto** – a continuidade da parede celular de uma planta ou órgão vegetal; o movimento de substâncias através das paredes celulares é denominado movimento apoplástico.

**Ciclina** – proteínas reguladoras associadas com cinases, que desempenham um papel fundamental na regulação do ciclo celular.

**Climatéricos** – denominação dada a frutos que ao amadurecer, observa-se um grande aumento na taxa de respiração celular evidenciado pelo aumento do consumo de oxigênio.

**Endógeno** – que se origina de tecidos situados mais profundamente.

**Endosperma** – tecido que acumula reservas, se desenvolve da união do núcleo de um gameta masculino e dos núcleos polares da célula central. Encontrado apenas nas angiospermas.

**Epiderme** – camada celular mais externa da folha, dos caules e raízes jovens. É de origem primária.

**Floema** – tecido condutor de seiva elaborada das plantas vasculares, o qual é composto por elementos crivados, vários tipos de células parenquimáticas, fibras e esclereídeos.

**Fotólise** – a cisão oxidativa das moléculas da água, dependente de luz, que ocorre no fotossistema II das reações luminosas da fotossíntese.

**Gineceu** – conjunto de carpelos na flor de uma planta com semente.

**Hidrofóbica** – porção de uma determinada substância que apresenta afinidade por moléculas de água.

**Hidrólise** – quebra de uma molécula em 2 pela adição de íons  $H^+$  e  $OH^-$  da água.

**Meristema** – tecido indiferenciado de uma planta do qual novas plantas se originam.

**Meristema apical** – o meristema que se encontra no ápice da raiz ou do caule numa planta vascular.

**Metabolismo** – corresponde à soma de todos os processos químicos que ocorrem numa célula ou organismo.

**Organela** – parte especializada da célula revestida por membrana.

**Órgão** – estrutura composta de diferentes tecidos.

**Óvulo** – estrutura das plantas com sementes que contém o gametófito feminino com a oosfera, envolta pelo nucelo e um ou dois tegumentos; após a fecundação, o óvulo transforma-se em semente.

**Pontoações** – cavidades reentrantes da parede celular e onde a parede secundária não se forma.

**Sazonais** – que se refere a produções vegetais em determinadas épocas, em períodos específicos no tempo.

**Substrato** – é o que serve de base para a fixação de um organismo.

**Tilacóide** – estrutura membranosa em forma de sacos presente nas cianobactérias e nos cloroplastos dos organismos eucariotos. Nos cloroplastos quando empilhados formam os *grana*.

**Xantofila** – pigmento da classe dos carotenóides de cor amarela, encontrado nos cloroplastos.

**Xerófitas** – plantas adaptadas a ambientes áridos



# Referências Bibliográficas



BENINCASA, M. P. & LEITE, I. C. **Fisiologia Vegetal**. Jaboticabal: FUNEP. SP, 2002.

BRYANT, J. A. **Fisiologia da Semente**. São Paulo: Ed. Pedagógica e Universitária. Universidade de São Paulo, 1989.

CAMARGO & CASTRO, P. R.; SENA, J. O. A. DE; KLUGE, R. A. **Introdução à Fisiologia do Desenvolvimento vegetal**. Maringá: Ed. Universidade estadual de Maringá. 2002.

DE ROBERTIS, E. D. P. DE ROBERTIS, E. M. F. **Bases da Biologia Celular e Molecular**. 2ª ed. Trad. Waldiane C. Vellutini sob a Supervisão de J. Carneiro. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993.

HALL, D. O. RAU, K. K. **Fotossíntese**. Trad. Antonio Lamnerti. São Paulo: EDUSP. 1978.

RAVEN, P. H. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan S. A. 2002. 726p.

SUTCLIFFE, J. F. **As plantas e a água**. E.P.U: São Paulo. 1979.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Trad. Eliane Romanato Santarém..[et al] 3.ed.- Porto Alegre: Artmed, 2006.







FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS



EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA

[www.ftc.br/ead](http://www.ftc.br/ead)