



# Fisiologia Vegetal

*Luciano Zucuni Pes*  
*Marlon Hilgert Arenhardt*



Colégio Politécnico  
UFSM

**Santa Maria - RS**  
**2015**

Presidência da República Federativa do Brasil  
Ministério da Educação  
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica

© Colégio Politécnico da UFSM

Este caderno foi elaborado pelo Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria para a Rede e-Tec Brasil.

**Equipe de Elaboração**  
Colégio Politécnico da UFSM

**Reitor**  
Paulo Afonso Burmann/UFSM

**Diretor**  
Valmir Aita/Colégio Politécnico

**Coordenação Geral da Rede e-Tec/UFSM**  
Paulo Roberto Colusso/CTISM

**Coordenação de Curso**  
Diniz Fronza/Colégio Politécnico

**Professor-autor**  
Luciano Zucuni Pes/Colégio Politécnico  
Marlon Hilgert Arenhardt/UFSM

**Equipe de Acompanhamento e Validação**  
Colégio Técnico Industrial de Santa Maria – CTISM

**Coordenação Institucional**  
Paulo Roberto Colusso/CTISM

**Coordenação de Design**  
Erika Goellner/CTISM

**Revisão Pedagógica**  
Elisiane Bortoluzzi Scrimini/CTISM  
Jaqueline Müller/CTISM

**Revisão Textual**  
Carlos Frederico Ruviano/CTISM  
Tagiane Mai/CTISM

**Revisão Técnica**  
Rogério de Oliveira Anese/UFSM

**Ilustração**  
Marcel Santos Jacques/CTISM  
Morgana Confortin/CTISM  
Ricardo Antunes Machado/CTISM

**Diagramação**  
Emanuelle Shaiane da Rosa/CTISM

Ficha catalográfica elaborada por Maristela Eckhardt – CRB-10/737  
Biblioteca Central da UFSM

**P472f Pes, Luciano Zucuni**  
**Fisiologia vegetal / Luciano Zucuni Pes, Marlon Hilgert**  
**Arenhardt. - Santa Maria, RS : Universidade Federal de Santa**  
**Maria, Colégio Politécnico, Rede e-Tec Brasil, 2015.**  
**81 p. : il. ; 28 cm**  
**ISBN: 978-85-63573-90-2**

**1. Fisiologia vegetal 2. Nutrição vegetal 3. Água**  
**4. Fotossíntese I. Arenhardt, Marlon Hilgert II. Título.**

**CDU 581.1**

# Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,  
Bem-vindo a Rede e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional de ensino, que por sua vez constitui uma das ações do Pronatec – Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego. O Pronatec, instituído pela Lei nº 12.513/2011, tem como objetivo principal expandir, interiorizar e democratizar a oferta de cursos de Educação Profissional e Tecnológica (EPT) para a população brasileira propiciando caminho de o acesso mais rápido ao emprego.

É neste âmbito que as ações da Rede e-Tec Brasil promovem a parceria entre a Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC) e as instâncias promotoras de ensino técnico como os Institutos Federais, as Secretarias de Educação dos Estados, as Universidades, as Escolas e Colégios Tecnológicos e o Sistema S.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade, e promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes, geograficamente ou economicamente, dos grandes centros.

A Rede e-Tec Brasil leva diversos cursos técnicos a todas as regiões do país, incentivando os estudantes a concluir o ensino médio e realizar uma formação e atualização contínuas. Os cursos são ofertados pelas instituições de educação profissional e o atendimento ao estudante é realizado tanto nas sedes das instituições quanto em suas unidades remotas, os polos.

Os parceiros da Rede e-Tec Brasil acreditam em uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e educação técnica, – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!  
Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação  
Junho de 2015

Nosso contato  
[etecbrasil@mec.gov.br](mailto:etecbrasil@mec.gov.br)



# Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



**Atenção:** indica pontos de maior relevância no texto.



**Saiba mais:** oferece novas informações que enriquecem o assunto ou “curiosidades” e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.



**Glossário:** indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



**Mídias integradas:** sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVEA e outras.



**Atividades de aprendizagem:** apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.



# Sumário

<b>Palavra do professor-autor</b> .....	<b>9</b>
<b>Apresentação da disciplina</b> .....	<b>11</b>
<b>Projeto instrucional</b> .....	<b>13</b>
<b>Aula 1 – Introdução à fisiologia vegetal</b> .....	<b>15</b>
1.1 Considerações iniciais.....	15
1.2 Conceito e importância.....	15
1.3 Aspectos gerais.....	15
<b>Aula 2 – Água na planta</b> .....	<b>23</b>
2.1 Funções da água na planta.....	23
2.2 Absorção de água pela planta.....	24
2.3 Perdas de água pela planta.....	27
2.4 Déficit hídrico.....	30
2.5 Excesso de água.....	33
<b>Aula 3 – Nutrição vegetal</b> .....	<b>35</b>
3.1 Considerações iniciais.....	35
3.2 Avaliação da nutrição das plantas.....	35
3.3 Elementos essenciais.....	38
3.4 Elementos úteis.....	46
3.5 Elementos tóxicos.....	46
3.6 Absorção e transporte de nutrientes.....	47
3.7 Adubação folhar.....	49
<b>Aula 4 – Fotossíntese e respiração</b> .....	<b>51</b>
4.1 Fotossíntese.....	51
4.2 Fotorrespiração.....	57
4.3 Respiração.....	57
4.4 Balanço fotossíntese x respiração.....	61
4.5 Respiração de frutos climatéricos e não climatéricos.....	61

<b>Aula 5 – Crescimento e desenvolvimento vegetal</b> .....	<b>63</b>
5.1 Considerações iniciais.....	63
5.2 Germinação das sementes.....	63
5.3 Crescimento e desenvolvimento.....	66
5.4 Floração.....	68
5.5 Frutificação.....	70
5.6 Fisiologia pós-colheita.....	71
5.7 Senescência.....	72
5.8 Controle hormonal do desenvolvimento vegetal.....	73
5.9 Dormência de plantas frutíferas.....	77
<b>Referências</b> .....	<b>80</b>
<b>Currículo do professor-autor</b> .....	<b>81</b>

## Palavra do professor-autor

A condição indispensável para sermos bons profissionais na área em que atuamos é conhecermos aquilo que estamos fazendo. Sendo assim, os Técnicos em Fruticultura devem estar conscientes de como é a estrutura e o funcionamento geral dos vegetais. Para isso, um dos componentes do currículo deste curso é a disciplina de Fisiologia Vegetal. O nosso enfoque nesta disciplina será o estudo dos fenômenos vitais que acontecem nas plantas.

Em um primeiro momento, podemos imaginar que os vegetais, no caso as frutíferas, nos trazem como principal benefício a produção dos frutos que serão consumidos e/ou comercializados, gerando renda. Entretanto, é fundamental salientar que a vida vegetal propicia o desenvolvimento de outras formas de vida, inclusive a humana. Um dos principais fenômenos vitais que ocorre nas plantas é a fotossíntese. Este fenômeno promove a “produção” de oxigênio, que é um elemento fundamental para a vida humana.

Sendo assim, durante o andamento dos estudos nessa disciplina, veremos os diversos fenômenos vitais das plantas, como eles acontecem, quais são as consequências e como eles podem ser regulados. Todo este entendimento será imprescindível para que possamos tirar o máximo do potencial produtivo das frutíferas.

Espero que nosso convívio e que os estudos sejam agradáveis, para que, ao final da disciplina, nossos objetivos sejam alcançados!

Um grande abraço!

Professor Luciano Zucuni Pes  
Marlon Hilgert Arenhardt



# Apresentação da disciplina

Este material tem como objetivo servir de base para os estudos da disciplina de Fisiologia Vegetal do Curso Técnico em Fruticultura – Modalidade EaD.

Ele foi elaborado a partir da experiência teórica e prática nesta área, pesquisas em livros, revistas técnicas/científicas e resumos publicados em eventos.

Os conteúdos programáticos são conduzidos em várias unidades, começando pelos aspectos gerais da fisiologia vegetal.

Na sequência, são apresentadas as questões relacionadas à água na planta, suas funções, absorção, transporte e relações solo-água-planta.

Na continuação, estudaremos como ocorre a nutrição das plantas, quais são os nutrientes essenciais, como se faz a avaliação do estado nutricional de uma planta e a forma que ocorre a absorção, transporte e redistribuição de nutrientes.

No próximo momento da disciplina, estudaremos a fotossíntese e a respiração, dois fenômenos vitais e que influenciam na vida de outras espécies de seres vivos.

Para finalizar, vamos estudar o crescimento e o desenvolvimento vegetal, as etapas, os hormônios que atuam e como é possível controlar ambientalmente o desenvolvimento de uma planta.



# Projeto instrucional

**Disciplina:** Fisiologia Vegetal (carga horária: 30h).

**Ementa:** Identificar e correlacionar os principais processos fisiológicos que ocorrem durante o crescimento e o desenvolvimento dos vegetais.

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
1. Introdução à fisiologia vegetal	Entender a importância do estudo da fisiologia vegetal. Conhecer a estrutura e o funcionamento geral de uma planta. Entender a influência da genética e do ambiente na produção vegetal. Diferenciar crescimento de desenvolvimento vegetal.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	05
2. Água na planta	Reconhecer as funções fundamentais da água na planta. Entender como ocorre o processo de absorção de água pela planta. Identificar os processos de perda de água pela planta.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	05
3. Nutrição vegetal	Reconhecer os métodos de avaliação do estado nutricional das plantas. Identificar os elementos essenciais, úteis e tóxicos. Entender o processo de absorção e transporte de nutrientes na planta. Identificar as situações em que a nutrição via folhar é aplicável.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	05
4. Fotossíntese e respiração	Reconhecer a importância da fotossíntese e da respiração. Definir a importância dos fatores que interferem na fotossíntese e na respiração. Relacionar os conceitos estudados com a produção de frutas.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	05
5. Crescimento e desenvolvimento vegetal	Conhecer as etapas de desenvolvimento vegetal. Identificar os processos fisiológicos que ocorrem em cada etapa. Relacionar os conceitos com a aplicação prática na fruticultura.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	10



# Aula 1 – Introdução à fisiologia vegetal

## Objetivos

Entender a importância do estudo da fisiologia vegetal.

Conhecer a estrutura e o funcionamento geral de uma planta.

Entender a influência da genética e do ambiente na produção vegetal.

Diferenciar crescimento de desenvolvimento vegetal.

## 1.1 Considerações iniciais

Nessa aula, veremos os conceitos iniciais e as noções gerais da fisiologia vegetal, sendo de fundamental importância o estudo e a compreensão do que será apresentado, pois este conhecimento será imprescindível para o desenvolvimento das demais aulas.

## 1.2 Conceito e importância

A fisiologia vegetal é um ramo da botânica que se dedica ao estudo do funcionamento dos vegetais, ou seja, trata dos processos vitais que ocorrem nas plantas.

A fisiologia vegetal constitui-se na base fundamental do manejo de plantas extensivas de lavoura, plantas forrageiras, plantas frutíferas, plantas olerícolas, plantas ornamentais, plantas florestais e plantas medicinais, na biotecnologia/ engenharia genética e na conservação de produtos de origem vegetal (fisiologia pós-colheita) (FLOSS, 2006).

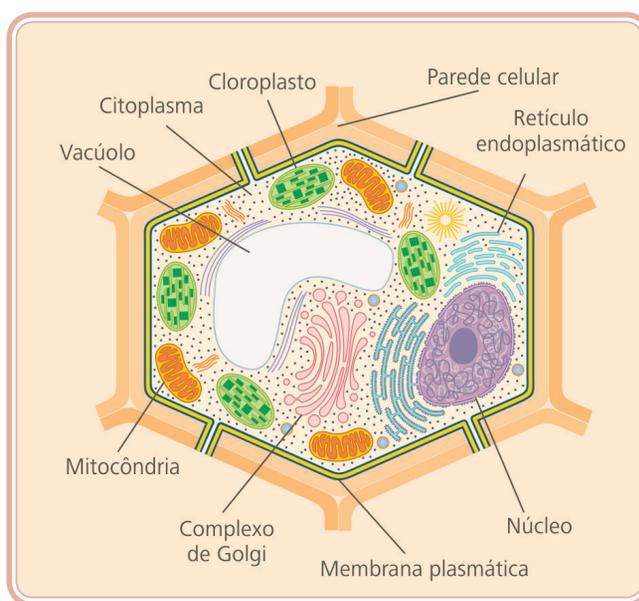
## 1.3 Aspectos gerais

Nos próximos itens estudaremos a estrutura básica das plantas, como é o seu funcionamento geral, a influência das interações entre a genética e o ambiente e as noções iniciais sobre o crescimento e o desenvolvimento vegetal.

### 1.3.1 Célula vegetal

Como todos os processos fisiológicos do vegetal ocorrem na célula, vamos, neste primeiro momento, relembrar as características gerais dela.

De maneira geral, tanto a célula animal quanto a célula vegetal possuem estrutura semelhante, sendo composta por membrana, núcleo e citoplasma. Entretanto, a célula vegetal apresenta **parede celular**, o que lhe confere uma maior rigidez; **cloroplastos**, que são estruturas diretamente relacionadas com a fotossíntese e o **vacúolo** de tamanho maior, cuja principal função é armazenar água e outras substâncias, atuando na regulação osmótica da célula. As estruturas da célula vegetal podem ser visualizadas na Figura 1.1.

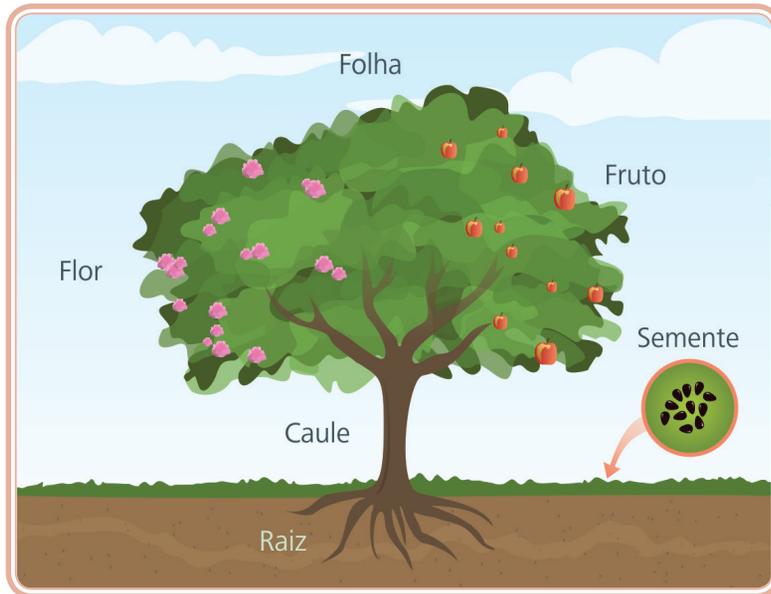


**Figura 1.1: Estrutura da célula vegetal**

Fonte: CTISM

### 1.3.2 Estrutura básica e características das plantas

A maioria das plantas que conhecemos é constituída, basicamente, das seguintes partes: raiz, caule, folha, flor, fruto e semente, conforme demonstrado na Figura 1.2.



**Figura 1.2: Partes principais de uma planta**

Fonte: CTISM

De maneira resumida, estas partes apresentam como principais funções:

- **Raiz** – fixação da planta no solo e absorção de água e nutrientes.
- **Caule** – condução de água e nutrientes da raiz para a parte aérea e dos produtos da fotossíntese da parte aérea para as raízes.
- **Folha** – realização de fotossíntese e transpiração da planta.
- **Flor** – reprodução da planta.
- **Fruto** – proteção da semente e armazenamento de nutrientes.
- **Semente** – propagação da planta.

De acordo com as funções das estruturas descritas anteriormente de maneira breve, pode-se indicar que as plantas possuem as seguintes características (TAIZ; ZEIGER, 2009):

- a) As plantas, por apresentarem clorofilas, que são pigmentos de cor verde, são coletoras de energia solar, que é colhida e convertida em energia química (fotossíntese).

- b)** Com exceção de algumas células reprodutivas (pólen), as plantas são imóveis, característica substituída pela sua capacidade de crescerem a partir de recursos essenciais, como luz, água e nutrientes.
- c)** As plantas terrestres são reforçadas para poder suportar o peso de uma grande massa que busca luz e contra a força da gravidade.
- d)** As plantas terrestres perdem água continuamente através da transpiração e apresentam mecanismos que evitam a dessecação.
- e)** As plantas terrestres apresentam mecanismos capazes de levar água e nutrientes do solo até os órgãos fotossintéticos (folhas) e de crescimento, bem como de transportar os produtos da fotossíntese até os órgãos e tecidos que não realizam fotossíntese.

Também é fundamental considerarmos que os vegetais são classificados como seres vivos **autotróficos**, pois apresentam capacidade de produzir a própria energia necessária para sua manutenção. Esta produção ocorre a partir da energia solar, cujo fenômeno denomina-se **fotossíntese**.



É muito importante salientar que a energia necessária para os processos biológicos dos seres vivos é a ATP (adenosina trifosfato), nome dado à molécula responsável pelo armazenamento da energia.

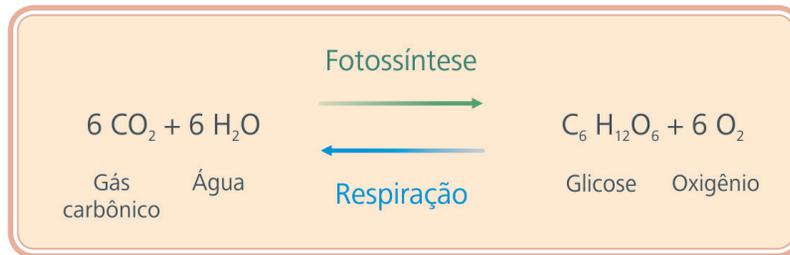
### **1.3.3 Funcionamento geral de uma planta**

A planta desenvolve diversos processos vitais, entre os quais iremos destacar, neste primeiro momento, a **fotossíntese** e a **respiração**.

A fotossíntese é o processo pelo qual as plantas sintetizam compostos orgânicos (glicose) a partir de substâncias inorgânicas (simples), utilizando como fonte de energia a luz solar.

Já a respiração é o processo de obtenção de energia a partir da degradação de compostos orgânicos, como a glicose.

A fotossíntese e a respiração são dois processos que apresentam forte relação, envolvendo o mesmo número de moléculas, porém de sentidos contrários.

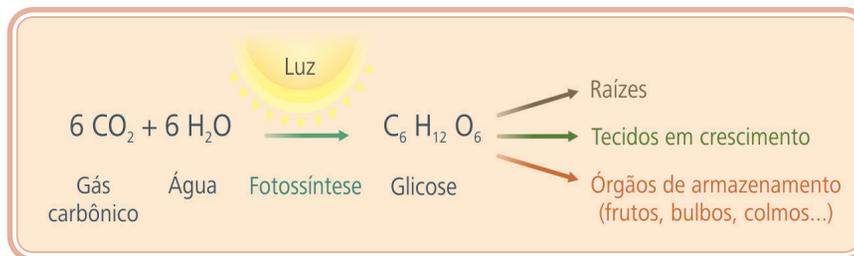


**Figura 1.3: Esquema resumido das reações de fotossíntese e respiração**

Fonte: CTISM, adaptado dos autores

Basicamente, o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) necessário para a fotossíntese é obtido da atmosfera, enquanto que a água (H<sub>2</sub>O) e os nutrientes são retirados do solo a partir das raízes. A fotossíntese irá ocorrer nos tecidos clorofilados (especialmente as folhas), na presença da luz solar.

Os compostos orgânicos obtidos a partir da fotossíntese são denominados de **fotoassimilados**, que são redistribuídos na planta, conforme esquema da Figura 1.4.



**Figura 1.4: Esquema demonstrativo dos destinos dos fotoassimilados**

Fonte: CTISM, adaptado dos autores

O movimento destas substâncias na planta ocorre de duas maneiras:

- **Simplasto** – ocorre através do floema ou vasos liberianos e é responsável pelo transporte lateral e descendente dos fotoassimilados. Também pode ser compreendido como o movimento dos fotoassimilados pelo interior da célula, atravessando as membranas.
- **Apoplasto** – ocorre através do xilema ou vasos lenhosos e é responsável pelo transporte ascendente de substâncias inorgânicas (água e nutrientes), absorvidas pelas raízes. Neste tipo de transporte, os solutos não entram nas células durante seu movimento, sendo transportados por espaços existentes entre as paredes das células.

Nas próximas aulas deste material didático veremos com mais detalhamento os processos comentados até o momento.

### 1.3.4 Genética e ambiente

O conjunto de características observáveis em uma planta é denominado de **fenótipo**, como a cor da flor, a altura da planta, ciclo de desenvolvimento, etc.

O fenótipo é resultado de dois fatores: a genética (genótipo) e o ambiente, bem como da interação entre eles.

Em relação à genética, é conhecido o fato de que a mudança de ambiente altera o conjunto de genes ativos na planta. Sendo assim, o fenótipo observado será outro. Por isso que existe cultivares de uma mesma espécie vegetal que se adaptam melhor a determinadas regiões (ambientes).

Já em relação ao ambiente, é de fundamental importância termos ciência de que todos os processos fisiológicos (germinação, fotossíntese, respiração, transpiração, floração, frutificação e **senescência**) são controlados, em parte, pelos fatores ambientais, como a luz, temperatura, água, gás carbônico, oxigênio, nutrientes, etc. Assim, podemos controlar os processos fisiológicos através da alteração dos fatores ambientais.

#### A-Z

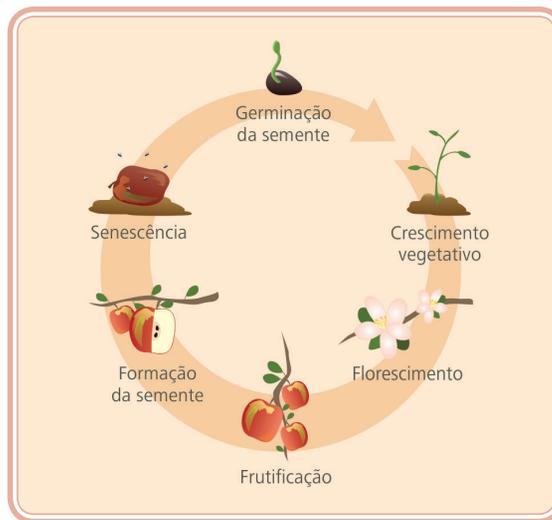
##### senescência

Podemos considerar como sinônimo de envelhecimento. São os diversos processos que estão envolvidos com o envelhecimento de células, tecidos e indivíduo.

### 1.3.5 Crescimento × desenvolvimento

O crescimento vegetal pode ser conceituado como o processo irreversível de aumento da matéria seca da planta. Para que ocorra crescimento é necessário que a taxa de fotossíntese seja maior do que a respiração (FLOSS, 2006).

O desenvolvimento vegetal é caracterizado como o processo de crescimento em que a planta passa pelas diversas fases fenológicas (FLOSS, 2006). O ciclo de desenvolvimento de uma planta pode ser assim esquematizado:



**Figura 1.5: Ciclo de desenvolvimento de uma planta**

Fonte: CTISM

Durante as sucessivas fases de desenvolvimento vegetal, os diferentes órgãos crescem de acordo e em correlação com os restantes. Essa sincronização do crescimento dos diferentes órgãos realiza-se graças a determinadas substâncias químicas, denominadas de fito-hormônios ou hormônios vegetais (FLOSS, 2006). Sendo os principais: auxinas, giberilinas, citocininas, etileno e ácido abscísico.

Neste contexto, os fito-hormônios constituem o controle fisiológico ou interno do desenvolvimento vegetal, enquanto que as condições climáticas, como temperatura, gases, luz, chuva, etc., junto com os fatores do solo, água, nutrientes e oxigênio, constituem o controle ambiental ou ecológico, também chamado de controle externo. Exemplos práticos destes controles:

- **Controle fisiológico ou interno** – aplicação de fito-hormônios para promover, inibir ou induzir o florescimento, enraizamento de estacas, amadurecimento de frutos e a quebra de dormência de sementes e gemas.
- **Controle ambiental ou externo** – indução das plantas ao florescimento através da luz, do calor, do frio ou da irrigação.

Em relação à duração do ciclo de desenvolvimento, as plantas são classificadas em:

- **Anuais** – completam o ciclo em menos de um ano.
- **Bienais** – completam o ciclo em menos de dois anos e em mais de um ano.
- **Permanentes** – ciclo superior a dois anos.

As plantas anuais e bienais são classificadas como monocárpicas, pois produzem frutos apenas uma vez e morrem. Já as plantas permanentes são classificadas como policárpicas e, geralmente, produzem sementes anualmente, como é o caso da maioria das frutíferas.

As plantas permanentes também são classificadas quanto ao comportamento das folhas nas estações de outono/inverno em:

- **Decíduas ou caducifólia** – perdem as folhas no outono/inverno.
- **Perenes ou sempre verdes** – mantém as folhas no outono/inverno.

## Resumo

Estudamos, nesse primeiro momento da disciplina, o conceito e a importância da fisiologia vegetal, bem como vários aspectos básicos que serão imprescindíveis para facilitar o entendimento do que será trabalhado daqui para frente. Relembramos, também, quais são as partes principais de uma planta e foi apresentado como é o funcionamento geral dela. Além disso, foi apresentada uma breve abordagem da influência da genética e do ambiente nas características que uma planta nos apresenta (fenótipo). Os últimos aspectos estudados foram as diferenças gerais entre o crescimento e o desenvolvimento vegetal, como podemos interferir neles e algumas classificações das plantas quanto a estes conceitos.



## Atividades de aprendizagem

1. Qual a importância de se estudar a fisiologia vegetal?
2. Quais são as partes básicas de uma planta?
3. Descrever como é o funcionamento geral de uma planta.
4. Como a genética e o ambiente influenciam na produção vegetal?
5. Diferenciar crescimento de desenvolvimento vegetal.

# Aula 2 – Água na planta

## Objetivos

Reconhecer as funções fundamentais da água na planta.

Entender como ocorre o processo de absorção de água pela planta.

Identificar os processos de perda de água pela planta.

## 2.1 Funções da água na planta

A água é, de todas as substâncias absorvidas pela planta, a necessária em maior quantidade (FLOSS, 2006). Nos próximos itens estudaremos quais são as principais funções que a água desempenha na planta.

### 2.1.1 Parte da constituição da planta

A água é o principal constituinte dos tecidos vegetais, correspondendo, algumas vezes, a 95 % do peso total da massa verde (SUTCLIFE, 1980). Neste sentido, é de fundamental importância para o desenvolvimento de uma planta que seus tecidos apresentem, permanentemente, um alto conteúdo de água (FLOSS, 2006). O alto conteúdo de água está relacionado com a manutenção da **turgescência** dos tecidos, que é particularmente importante para a fotossíntese, floração, frutificação e qualidade de produtos de origem vegetal, como verduras e frutas (FLOSS, 2006).

### 2.1.2 Reagente

A água participa diretamente de diversas reações químicas que ocorrem na planta, como, por exemplo, na fotossíntese:



**Figura 2.1:** Esquema resumido da reação da fotossíntese, indicando a participação da água no processo

Fonte: CTISM, adaptado dos autores

## A-Z

### turgescência

É o aumento de volume de uma célula, causada pela entrada de água no seu interior.

### 2.1.3 Solvente

A água é considerada o “solvente universal” por dissolver a maior variedade de substâncias que qualquer outro líquido. Neste sentido, o transporte de substâncias orgânicas e inorgânicas, no xilema e no floema, só ocorre na presença de água como solvente (SUTCLIFE, 1980). Por essa razão que uma estiagem na fase de enchimento de grãos ou de desenvolvimento de frutos tem efeito significativo na redução do rendimento (FLOSS, 2006).

### 2.1.4 Manutenção da turgescência celular

A manutenção da turgescência celular é fundamental para diversos processos e situações, como:

- **Turgescência folhar** – permite que as mesmas apresentem a máxima superfície exposta para interceptação da luz do sol.
- **Turgescência das pétalas e sépalas** – promove a abertura da flor.
- **Turgescência radicular** – promove o crescimento da raiz e a penetração no solo.
- **Turgescência de frutas e verduras** – importante para a comercialização e preservação da qualidade, pois quando as mesmas perdem a turgescência, apresentam sintomas de murcha.

### 2.1.5 Controle de temperatura

A água atua como um controlador da temperatura na planta por apresentar um elevado **calor específico**. Além disso, a transpiração da planta apresenta um efeito de resfriamento, como é possível observar na sombra de uma árvore, onde observamos uma temperatura mais amena (FLOSS, 2006).

A-Z

**calor específico**

Quantidade de calor necessária para alterar a temperatura de 1 g de uma substância em 1°C.

## 2.2 Absorção de água pela planta

A raiz é o órgão mais importante para a absorção da água. Neste sentido, a eficiência na absorção de água vai depender diretamente do volume de solo explorado por ela. Como o sistema radicular é uma característica genética da espécie, é muito importante darmos condições para o bom desenvolvimento das raízes, observando aspectos como acidez, compactação, disponibilidade de nutrientes, retenção de água, etc.

Também é importante ressaltar que a maior parte da água é absorvida nos pelos radiculares.

Porém, para que a planta absorva, existem dois mecanismos fisiológicos: o passivo e o ativo.

### **2.2.1 Mecanismo de absorção passivo**

Este mecanismo de absorção de água está diretamente relacionado com o processo de transpiração das folhas das plantas. A transpiração é um processo fisiológico da planta, onde a água é perdida na forma de vapor, nas estruturas da folha denominadas de estômatos. Maiores detalhes sobre a transpiração serão descritas em breve, ainda nesta aula.

A evaporação da água no processo transpiratório aumenta a demanda por água nas células dos estômatos. Este aumento de demanda é transmitido de célula a célula, passa pelos vasos do xilema e chega às raízes. Neste sentido, a diferença entre a quantidade de água da solução do solo e a do xilema cria uma tensão (pressão negativa) nos vasos, o que promove um movimento de água principalmente por fluxo de massa.

De maneira comparativa, este mecanismo de absorção de água funciona como beber água com um canudo. A boca, ao sugar no canudo, cria uma tensão (pressão negativa), que passa pela extensão do canudo até chegar à outra ponta, que está dentro da garrafa de água. Neste sentido, a boca seria a atmosfera, o canudo os vasos do xilema, a extremidade inferior do canudo as raízes e a água a solução do solo.

### **2.2.2 Mecanismo de absorção ativo**

Este mecanismo de absorção de água ocorre em situações em que a atividade transpiratória é reduzida. Ele tem importância à noite, quando os estômatos estão fechados, em ambientes com atmosfera saturada (pequena transpiração) e em plantas dormentes (sem ou quase sem folhas) (REICHARDT, 1987).

O funcionamento deste mecanismo é determinado pelo aumento da concentração de sais no xilema, que leva a uma maior demanda por água no xilema, criando uma diferença de concentração com a água da solução do solo. Portanto, esta diferença irá permitir a entrada de água na planta. Para que este mecanismo de absorção ocorra são necessárias algumas condições, como, por exemplo: alta disponibilidade de água, alta concentração de solutos no xilema, ausência de transpiração, ausência de inibidores da respiração, etc.

É importante assinalar que este mecanismo é responsável pelo processo fisiológico da gutação, quando a água é forçada para fora das folhas, devido à pressão radicular.

### 2.2.3 Fatores que influenciam na absorção de água

- a) **Disponibilidade de água no solo** – o conteúdo de água no solo quanto mais próximo estiver da capacidade de campo, maior será sua disponibilidade para as plantas.
- b) **Condutividade hidráulica do solo** – esta característica física do solo será determinada pelo grau de umidade, textura e estrutura do solo. Os solos arenosos conduzem melhor a água que os solos argilosos, quando saturados. Em situação de solo não saturado, os solos argilosos conduzem melhor que os solos arenosos.
- c) **Aeração do solo** – o oxigênio é um elemento fundamental para o desenvolvimento das plantas, como para a respiração das raízes e acúmulo de sais no xilema, influenciando na absorção de água.

A planta, em condições de falta de aeração do solo, apresenta os seguintes sintomas: amarelecimento das folhas, redução no crescimento e aparecimento de raízes adventícias.

- d) **Extensão das raízes** – quanto maior for o volume de solo explorado pelas raízes, maior será a quantidade de água absorvida pela planta. Porém, é importante salientar que quanto mais profundo o sistema radicular e mais finas e ramificadas as raízes, maior será a resistência à períodos de estiagem. Neste sentido, fatores que inibem o crescimento das raízes, como solos compactados e a presença de  $Al^{+3}$  disponível no solo, irão interferir na absorção de água pela planta.

Neste item ressalta-se a importância das micorrizas, que são associações de fungos com as raízes das plantas e que determinam um aumento da superfície de contato das raízes com o solo. Como consequência, aumenta-se também a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas.

- e) **Permeabilidade das raízes** – nas raízes, as maiores quantidades de absorção de água ocorrem na região dos pelos absorventes. Por isso é importante manter as raízes em boas condições de crescimento, para que os pelos absorventes sejam renovados de maneira contínua.
- f) **Temperatura do ar** – a melhor temperatura para a maioria das plantas situa-se entre 20 e 25°C. Baixas temperaturas irão reduzir a permeabilidade das membranas celulares e diminuir a respiração, que causa a redução do

acúmulo de sais, causando menor atuação do mecanismo de absorção ativo. Já altas temperaturas podem causar o fechamento dos estômatos, que interfere no mecanismo de transpiração, cessando o processo de absorção passivo.

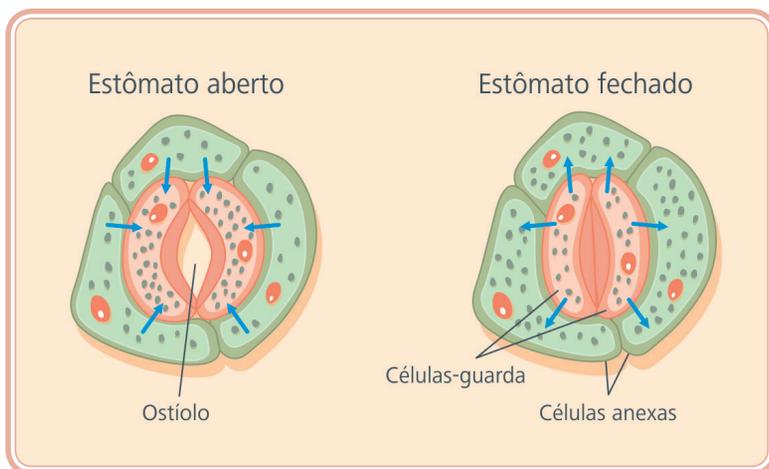
## 2.3 Perdas de água pela planta

Durante o ciclo de desenvolvimento, entorno de 98 % da água absorvida pela planta é perdida, através dos processos da transpiração, gutação (ou sudação) e exsudação.

### 2.3.1 Transpiração

A transpiração é um processo que ocorre principalmente nas folhas, através dos estômatos, onde a água evapora para a atmosfera. Este processo é condicionado por uma diferença de disponibilidade de água entre a folha e o ar atmosférico.

Sobre os estômatos, a maioria das espécies vegetais apresenta estas estruturas em ambos os lados da folha (superior e inferior). Além disso, de 80 a 90 % da transpiração total da planta ocorre através destas estruturas. Também é fundamental sabermos que na maioria das espécies vegetais cultivadas, os estômatos estão abertos durante o dia e fechados durante a noite. Sendo assim, a transpiração da planta vai variar no decorrer do dia, de modo que, durante a noite, quando os estômatos estão fechados, a transpiração será baixa. A taxa transpiratória aumenta rapidamente após o nascer do sol e atinge o máximo entorno do meio-dia, diminuindo após, até retornar às taxas mínimas durante a noite.



**Figura 2.2: Esquema demonstrativo dos estômatos abertos e fechados**

Fonte: CTISM

### 2.3.1.1 Fatores que influenciam na transpiração

- a) **Luz** – a influência da luz na transpiração pode ser direta ou indireta. De maneira direta, a luz participa da abertura dos estômatos, o que irá permitir a saída da água para atmosfera na forma de vapor. Já indiretamente, a radiação luminosa contribui para o aumento da temperatura e, como consequência, da evaporação de água.
- b) **Temperatura** – o aumento da temperatura influencia na transpiração de duas maneiras. A primeira é no sentido de que o aumento da temperatura acarreta um aumento da evaporação de água dos estômatos. Já a segunda diz respeito à influência da temperatura na abertura dos estômatos, pois na medida em que a temperatura do ar aumenta (até aproximadamente 25°C), a abertura dos estômatos também aumenta, para manter a temperatura da planta.
- c) **Gás carbônico (CO<sub>2</sub>)** – nos cultivos agrícolas, as variações na concentração de CO<sub>2</sub> no ar atmosférico são mínimas. Porém, é uma estratégia interessante manter vegetais folhosos em ambientes com alta concentração de CO<sub>2</sub>, pois esta situação manterá os estômatos fechados, reduzindo a transpiração e mantendo a turgidez. Além disso, a maior concentração deste gás aumenta a eficiência da fotossíntese, resultando em maior produção.
- d) **Umidade do ar** – a umidade do ar estará diretamente relacionada com a transpiração, pois quanto maior for a umidade, menor será a taxa de transpiração dos vegetais. Isso ocorre devido à redução da diferença de potencial de água (ou concentração de vapor de água) entre a folha e a atmosfera.
- e) **Disponibilidade de água** – a transpiração da planta será maior, quanto mais elevada for a quantidade de água disponível para a planta. Sendo assim, em situações onde houver redução da absorção de água, causada pela diminuição do potencial hídrico no solo ou em baixas temperaturas, a transpiração também diminui.

Em casos que a falta de água é mais acentuada, os estômatos se fecham. Nesta situação ocorre uma redução ainda maior na transpiração, bem como na fotossíntese, em virtude da diminuição da absorção de CO<sub>2</sub> pela planta.

- f) **Vento** – o vento causa a remoção do vapor de água da superfície da folha, causando um aumento da diferença de concentração de vapor de

água entre a folha e a atmosfera, tendo, como consequência, o aumento da transpiração. Porém, em situações em que o vento é muito forte, a planta pode fechar os estômatos, causando uma redução da transpiração.

### **2.3.1.2 Importância da transpiração**

Existem duas correntes entre os estudiosos em fisiologia vegetal, com pontos de vista distintos em relação à transpiração.

Um grupo entende que o processo transpiratório é um mal necessário e inevitável, já que é indispensável à manutenção dos estômatos abertos para permitir a entrada de CO<sub>2</sub>, fundamental para a fotossíntese.

Já o outro grupo considera o processo transpiratório como sendo benéfico para o desenvolvimento vegetal, pois ele contribui para a nutrição da planta e na redução da temperatura da folha.

### **2.3.2 Gutação ou sudação**

A gutação ou sudação é um processo de perda de água que ocorre nas folhas das plantas através dos hidatódios ou poros aquíferos, que são terminais dos vasos do xilema, localizados no ápice ou na borda das folhas. O resultado desse processo é visto geralmente pela manhã, com a formação de pequenas gotículas nas bordas da folha.

A causa desse processo é a formação de uma pressão interna no xilema, em virtude do acúmulo de sais. Neste sentido, para que o processo ocorra, são necessárias condições que favoreçam a máxima absorção de água e reduzam a transpiração ao mínimo, como a alta disponibilidade de água no solo, alta temperatura, ausência de inibidores da respiração e alta umidade relativa do ar.



**Figura 2.3: Gutação em folha de morangueiro**

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Guta%C3%A7%C3%A3o#mediaviewer/File:Guttation\\_ne.jpg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Guta%C3%A7%C3%A3o#mediaviewer/File:Guttation_ne.jpg)

### 2.3.3 Exsudação

A exsudação é o processo de perda de seiva pela planta, provocada por podas, incisões ou ferimentos causados por insetos ou microrganismos (FLOSS, 2006). Ele é facilmente observado quando podamos uma planta lenhosa ou no caso da extração de látex da seringueira.

A seiva perdida na exsudação apresenta água e sais minerais absorvidos e que seriam transportados para a parte aérea. Neste sentido, é importante que as podas sejam realizadas no período de dormência das plantas, quando o fluxo de seiva é reduzido.



**Figura 2.4: Exsudação em ramo de videira após a poda**

Fonte: Jonas Janner Hamann

## 2.4 Déficit hídrico

A deficiência de água na planta é condicionada por dois fatores: a disponibilidade de água no solo e a diferença entre a quantidade de água transpirada em relação à absorvida.

### 2.4.1 Efeitos do déficit hídrico

- a) **Fechamento dos estômatos** – os estômatos tendem a se fechar quando existe deficiência de água, sendo este o principal mecanismo regulatório do balanço hídrico vegetal.
- b) **Fotossíntese** – diretamente, o fechamento dos estômatos irá causar redução da taxa de fotossíntese, por diminuir a entrada de  $\text{CO}_2$  na planta. Indiretamente, a falta de água provoca murcha das folhas, o que irá reduzir a superfície de absorção de luz, afetando a fotossíntese.
- c) **Respiração** – a taxa de respiração da planta também diminui com a deficiência de água, porém ela é maior, comparada com a taxa de fotossíntese.

- d) Crescimento e desenvolvimento** – a redução do crescimento e desenvolvimento das plantas é uma das principais evidências da deficiência hídrica das plantas (FLOSS, 2006). O crescimento celular somente ocorre quando as células estão túrgidas. Neste sentido, pequenas reduções na quantidade de água podem causar menores taxas de crescimento. Em relação ao desenvolvimento, períodos de estiagem causam antecipação do florescimento e aceleração da senescência, diminuindo o ciclo das culturas.
- e) Germinação de sementes** – para que ocorra a germinação de sementes é necessário o suprimento adequado de água, pois uma das etapas da germinação é a absorção de água. As condições de falta de água no solo dificultam ou até inibem a germinação das sementes.
- f) Florescimento** – o florescimento é uma das fases de desenvolvimento da planta mais sensíveis ao déficit hídrico, influenciando na abertura da flor e na formação das estruturas reprodutivas, podendo levar até ao abortamento de flores.

Como comentado anteriormente, a turgescência das células das pétalas e sépalas é importante para a abertura da flor. Neste sentido, tão importante quanto à abertura da flor é a manutenção dela aberta, para que ocorra a satisfatória polinização.

Geralmente, em anos de estiagem, as plantas produzem menores quantidades de sementes, condição decorrente de problemas de polinização.

- g) Frutificação** – as plantas submetidas ao déficit hídrico, além do abortamento de flores, podem apresentar abscisão de frutos. Esta situação é causada pela maior síntese de ácido abscísico, que é um hormônio vegetal. Maiores informações sobre hormônios vegetais serão apresentadas na sequência da disciplina.

Outra influência da disponibilidade hídrica está no tamanho dos frutos, que tendem a ficar com tamanho menor em condições de restrição hídrica. Isso é explicado porque em condições de déficit hídrico a planta realiza menos fotossíntese, respira mais e tem menor movimento de produtos da fotossíntese.

- h) Nutrição** – a nutrição da planta fica extremamente comprometida em situação de déficit hídrico, sendo explicada por diversos fatores, como

não absorção de água, não transporte de água da raiz para a parte aérea e menor disponibilidade de nutrientes no solo.

- i) **Hormônios** – a planta submetida ao déficit hídrico irá produzir mais ácido abscísico e etileno, hormônios vegetais. Estes dois hormônios aceleram o processo de envelhecimento da planta.

### 2.4.2 Sintomas do déficit hídrico

A planta com deficiência de água apresenta alguns sintomas visuais que são típicos, como murchas, enrolamento de folhas e arqueamento dos ramos em direção ao solo.

- a) **Murcha incipiente** – este tipo de murcha caracteriza o início da deficiência de água nos tecidos, não sendo visível a olho nu, representada pelo fechamento dos estômatos das folhas quando as demais condições ambientais são adequadas (luz, temperatura e CO<sub>2</sub>).
- b) **Murcha transitória** – esta murcha é visível a olho nu, ocorrendo nas horas mais quentes do dia, quando a planta transpira mais água do que absorve. O tempo que as plantas permanecem murchas aumenta de acordo com o aumento da deficiência hídrica. Entretanto, à noite, com a redução da taxa transpiratória, a turgescência das células é restaurada, por isso ela é chamada de transitória.



**Figura 2.5: Sintoma de murcha transitória em morangueiro**

Fonte: Jonas Janner Hamann

- c) **Murcha permanente** – este tipo de murcha ocorre quando a planta não consegue mais recuperar a turgescência, em situações de severo déficit hídrico.

**d) Murcha fisiológica** – esta murcha, ao contrário das três anteriores, não está relacionada à menor disponibilidade de água no solo. Ela decorre da incapacidade de absorção de água causada pela baixa temperatura ou falta de aeração em solos compactados ou inundados.

## 2.5 Excesso de água

É fundamental termos o entendimento de que o excesso de água no solo também é prejudicial para o crescimento e desenvolvimento vegetal, levando à redução no rendimento das culturas.

Relembrando o estudado na disciplina de Solos, o ar e a água ocupam a porosidade do solo, que representa, aproximadamente, 50 % do volume total do solo. As quantidades de ar e água no solo estão em equilíbrio, ou seja, quando o solo está encharcado, os poros estão ocupados por água e, à medida que o solo seca, os poros vão sendo ocupados por ar.

Nos solos encharcados, o oxigênio, componente do ar, não está presente. Dessa maneira, as raízes irão realizar a chamada respiração anaeróbia, que tem por consequência a redução do crescimento radicular e menos absorção de água e nutrientes.

## Resumo

Nessa aula, estudamos um dos componentes mais importantes para o desenvolvimento da vida na Terra, que é a água. Vimos que ela desempenha diversas funções na planta (é o principal constituinte dos tecidos vegetais; participa de diversas reações químicas; é o meio de transporte de substâncias na planta; mantém a turgescência celular e atua no controle de temperatura da planta). Depois, foram descritos os mecanismos de absorção de água (ativo e passivo) e quais são os fatores que afetam esta absorção. Logo na sequência foram apresentados os processos de perda de água pelas plantas (transpiração, gutação e exsudação). Por fim, foram discutidas questões gerais relacionadas a falta (déficit hídrico) e ao excesso de água para o crescimento e desenvolvimento vegetal.



## **Atividades de aprendizagem**

- 1.** Quais são as funções da água na planta?
- 2.** Como as plantas são classificadas quanto à exigência em água?
- 3.** Descrever, brevemente, como ocorre o processo de absorção de água pela planta.
- 4.** Quais são os processos de perda de água pela planta?

# Aula 3 – Nutrição vegetal

## Objetivos

Reconhecer os métodos de avaliação do estado nutricional das plantas.

Identificar os elementos essenciais, úteis e tóxicos.

Entender o processo de absorção e transporte de nutrientes na planta.

Identificar as situações em que a nutrição via folhar é aplicável.

## 3.1 Considerações iniciais

Os nutrientes são componentes ambientais que influenciam diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas. Eles são absorvidos, predominantemente, pelo sistema radicular e, com menor eficiência, pelas folhas. Sendo assim, os nutrientes devem estar disponíveis na solução do solo para que as plantas possam absorvê-los.

É de fundamental importância que o Técnico em Fruticultura conheça quais são as necessidades nutricionais das frutíferas que está trabalhando. Isso quer dizer que devemos saber quais são as quantidades de nutrientes necessárias para cada época de desenvolvimento da planta. A deficiência nutricional pode causar drásticas reduções no rendimento e/ou na qualidade das frutas.

Neste item da disciplina iremos estudar os fundamentos da nutrição vegetal, como os métodos de avaliação do estado nutricional das plantas, a classificação dos elementos químicos absorvidos pelas plantas e como ocorre o processo de absorção e transporte dos nutrientes na planta.

## 3.2 Avaliação da nutrição das plantas

Existem três formas principais de avaliar o estado nutricional das plantas, que é observar os sintomas visuais de deficiência, analisar o solo ou analisar

diretamente os tecidos vegetais. A seguir, veremos detalhadamente cada uma das formas de avaliação.

### 3.2.1 Sintomas visuais

A análise visual é o método mais simples e direto de se avaliar o estado nutricional de uma planta. Entretanto, o método apresenta limitações, como:

- Os sintomas visuais nem sempre claros.
- Na maioria das vezes não ocorre deficiência de apenas um nutriente.
- Muitos sintomas ocorrem em folhas, podendo se confundir com sintomas de doenças, ataques de pragas, falta de água ou temperatura muito baixa ou muito alta.
- Ao aparecer os sintomas visuais, a produtividade já está afetada.

Em geral, a deficiência de nutrientes móveis aparece nas folhas velhas. Já a deficiência dos nutrientes imóveis aparece nas folhas novas. Isso se deve ao processo de redistribuição de nutrientes na planta.

Os sintomas gerais de deficiência nutricional são apresentados no Quadro 3.1.

**Quadro 3.1: Sintomas visuais gerais de deficiência e toxidez de nutrientes**

Órgãos	Sintomas visuais	Desordem nutricional*	
		Deficiência	
Folhas velhas e maduras	Clorose	Uniforme	N (S)
		Internervural (estrias) ou em manchas (mosaico)	Mg (Mn)
	Necrose	Secamento da ponta e margens	K
Folhas novas e ápices		Internervural	Mg (Mn)
	Clorose	Uniforme	Fe (S)
		Internervural (estrias) ou em manchas (mosaico)	Zn (Mn)
	Necrose (clorose)	-	Ca, B ou Cu
	Deformação	-	Mo (Zn, B)
<b>Toxidez</b>			
Folhas velhas e maduras	Necrose	Manchas (mosaico)	Mn (B)
		Secamento de ápice e margens	B, injúrias por sais de pulverização
	Clorose (necrose)	-	Toxidez não específica

\* Símbolos entre parênteses indicam que os sintomas são variáveis.

Fonte: Floss, 2006, adaptado de Marschner, 1986



Para maiores informações e imagens de deficiência e toxidez de nutrientes em diversas culturas, entre no site do IPNI do Brasil: <http://brasil.ipni.net> Clique em "Publicações" e, depois, em "Arquivo do Agrônomo".

### 3.2.2 Análise química de solo

Como já estudamos na disciplina de Solos deste curso, a análise dos atributos químicos do solo é a principal ferramenta que devemos utilizar quando elaborarmos um plano de adubação e calagem do solo de uma área.

Ao relacionarmos com a nutrição vegetal, a análise dos atributos químicos nos indica a disponibilidade de nutrientes de determinado solo no momento da coleta da amostra. Dessa forma, tendo em mãos o Laudo da Análise Química do Solo, podemos identificar quais os nutrientes estão com teores inadequados no solo, ou seja, em níveis que podem causar deficiência ou toxidez.

### 3.2.3 Análise de tecido vegetal

A análise de tecido vegetal é uma importante estratégia de acompanhamento do estado nutricional dos cultivos agrícolas, como os pomares. Ela serve de auxílio à análise de solo, para fins de verificação da fertilidade do solo. Por exemplo, pode ocorrer uma situação em que se tem alta disponibilidade de determinado nutriente no solo, enquanto que a planta apresenta deficiência do mesmo. Assim, devemos investigar as causas desse processo, que pode ser devido à compactação do solo, temperatura inadequada, estresse hídrico, desequilíbrio em relação a outro nutriente, etc.

A análise de tecido também serve para confirmar se a diagnose visual de deficiência e/ou toxidez está correta, verificar a deficiência e/ou toxidez dos nutrientes antes da planta manifestar sintomas visuais e analisar a eficiência da adubação realizada na área.

A folha é considerada a parte que melhor representa o estado nutricional da planta (FLOSS, 2006). Porém, é importante salientar que a concentração de nutrientes na folha varia conforme a idade da planta, com as estações do ano, com a posição da folha na planta e a área de folha da planta.

Ao se realizar a amostragem de tecido vegetal, alguns cuidados devem ser observados (COMISSÃO..., 2004):

- Selecionar a parte da planta a ser coletada, conforme as recomendações específicas dos cultivos.
- Escolher folhas sem doenças e que não tenham sido danificadas por insetos ou por outro agente.



Maiores informações sobre a amostragem e interpretação de análises de solo, consulte o material didático da disciplina de Solos e o Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Ele está disponível na web, no link: [http://www.sbcsnrs.org.br/docs/manual\\_de\\_adubacao\\_2004\\_versao\\_internet.pdf](http://www.sbcsnrs.org.br/docs/manual_de_adubacao_2004_versao_internet.pdf)



Maiores informações sobre a amostragem de tecido vegetal, como a época, metodologia de coleta e interpretação dos resultados, consulte o Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Ele está disponível na web, no *link*: [http://www.sbcsnrs.org.br/docs/manual\\_de\\_adubacao\\_2004\\_versao\\_internet.pdf](http://www.sbcsnrs.org.br/docs/manual_de_adubacao_2004_versao_internet.pdf)

- Limpar as folhas dos resíduos de pulverização e/ou poeira logo após a coleta, por meio de lavagem com água limpa.
- Evitar o contato das folhas coletadas com inseticidas, fungicidas e fertilizantes.
- Colocar a amostra em sacos novos de papel ou em embalagem fornecida pelos laboratórios de análise de tecido; se for solicitada a análise de boro, usar papel encerado, pois o papel comum contamina a amostra com boro.
- Identificar a amostra e preencher o formulário, indicando os elementos a serem determinados.
- Elaborar um mapa de coleta que permita, pela identificação da amostra, localizar a área em que foi feita a amostragem.
- Enviar as amostras o mais breve possível ao laboratório; se o tempo previsto para a amostra chegar ao laboratório for superior a dois dias, é recomendado secar o material ao sol, mantendo a embalagem aberta.

### 3.3 Elementos essenciais

São nutrientes minerais, sem os quais a planta não vive, sendo determinados por critérios diretos e indiretos de essencialidade (FLOSS, 2006).

Em relação aos critérios diretos, o elemento é essencial quando faz parte de um composto essencial à célula vegetal ou quando participa de uma reação, sem a qual a vida da planta é impossível.

Já em relação aos critérios indiretos, o elemento é essencial quando:

- Sua deficiência torna impossível para a planta completar os estádios vegetativos ou reprodutivos do desenvolvimento.
- Tal deficiência é específica, ou seja, ela somente pode ser prevenida ou corrigida pela aplicação do referido elemento.
- O elemento deve estar diretamente envolvido na nutrição da planta.

Seguindo os critérios diretos e indiretos, temos 17 nutrientes essenciais, conforme apresentado no Quadro 3.2.

**Quadro 3.2: Nutrientes essenciais para as plantas**

Nutriente	Símbolo	Tipo
Carbono	C	Macronutriente
Hidrogênio	H	Macronutriente
Oxigênio	O	Macronutriente
Nitrogênio	N	Macronutriente
Fósforo	P	Macronutriente
Potássio	K	Macronutriente
Cálcio	Ca	Macronutriente
Magnésio	Mg	Macronutriente
Enxofre	S	Macronutriente
Ferro	Fe	Micronutriente
Manganês	Mn	Micronutriente
Boro	B	Micronutriente
Zinco	Zn	Micronutriente
Cobre	Cu	Micronutriente
Molibdênio	Mo	Micronutriente
Cloro	Cl	Micronutriente
Níquel	Ni	Micronutriente

Fonte: Autores

A divisão em macro e micronutrientes diz respeito às quantidades de cada nutriente utilizados pelas plantas. No geral, os macronutrientes são necessários na ordem de gramas por quilograma (g/kg) de matéria seca da planta. Já os micronutrientes são necessários na ordem de miligramas por quilograma (mg/kg) de matéria seca da planta.

Observa-se que apenas o carbono, o hidrogênio e o oxigênio não são minerais, sendo os demais nutrientes de natureza mineral. O carbono é obtido a partir do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o hidrogênio a partir da água (H<sub>2</sub>O) e o oxigênio a partir do CO<sub>2</sub> e da H<sub>2</sub>O. Ressalta-se que estes três nutrientes constituem de 90 a 95 % da massa seca da planta, dependendo da espécie.

### **3.3.1 Macronutrientes**

A partir de agora estudaremos os aspectos gerais dos macronutrientes, incluindo sua função e importância para as plantas.

#### **3.3.1.1 Carbono**

Este nutriente entra na planta pelos estômatos, através do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e é assimilado no processo de fotossíntese.

É importante ressaltar que este nutriente constitui de 40 a 45 % da matéria seca da planta, sendo ele o mais abundante e obrigatório nos tecidos vegetais.

### **3.3.1.2 Hidrogênio**

Este nutriente entra na planta pela água, pois o hidrogênio é constituinte da mesma. Sua assimilação ocorre no processo da fotossíntese. A estimativa é de que aproximadamente 5 % do tecido vegetal seja constituído de hidrogênio.

### **3.3.1.3 Oxigênio**

A entrada deste nutriente na planta ocorre de forma indireta, através do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e da água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Sendo assim, conclui-se que ele é obtido do ar atmosférico e do solo. Em média, 45 % da matéria seca da planta é constituída por oxigênio.

### **3.3.1.4 Nitrogênio**

O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maiores quantidades pela maioria das plantas, dentre aqueles absorvidos do solo, constituindo de 2 a 4 % da matéria seca vegetal.

Este elemento é constituinte de proteínas, aminoácidos, pigmentos, hormônios, DNA, RNA e vitaminas.

Conforme estudamos na disciplina de Solos, o N é o nutriente mais difícil de ser manejado, devido às diversas transformações que ele sofre no solo. Este elemento é o principal constituinte do ar atmosférico (em torno de 78 %), sendo que seu aproveitamento pelas plantas pode ocorrer de duas formas: pela Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e pela adubação (mineral e orgânica). A FBN é um processo realizado por algumas espécies vegetais, especialmente as pertencentes à família das leguminosas, em associação com bactérias. Já a adubação nitrogenada pode ser mineral ou orgânica, conforme a origem do adubo utilizado (ver Quadro 3.3). A adubação nitrogenada deve ser realizada de forma criteriosa devido às diversas formas de perdas de N (erosão, lixiviação e volatilização), que podem causar poluição da água, principalmente.

**Quadro 3.3: Composição dos principais fertilizantes nitrogenados**

Fertilizante	Teores (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Nitrato de amônio	34	-	-	-	-	-
Nitrocálcio	27	-	-	5	3	-
Sulfato de amônio	21	-	-	-	-	23
Sulfonitrato de amônio	26	-	-	-	-	15
Nitrato de cálcio	15	-	-	26	-	-
Salitre do Chile	16	-	-	-	-	-
Ureia	45	-	-	-	-	-
Esterco de curral	1	1,5	1	-	-	-
Fosfato monoamônico (MAP)	9	48	-	-	-	-
Fosfato diamônico (DAP)	16	45	-	-	-	-
Nitrato de potássio	13	-	44	-	-	-

Fonte: Adaptado de Floss, 2006

### 3.3.1.5 Fósforo

A quantidade de fósforo (P) na planta pode ser considerada pequena (0,1 a 1 %). Entretanto, os solos brasileiros, em geral, apresentam deficiência de P, além de fixação em formas indisponíveis para as plantas, o que demanda um cuidado especial no manejo deste nutriente nos cultivos agrícolas. Os principais adubos fosfatados utilizados são apresentados no Quadro 3.4.

**Quadro 3.4: Composição dos principais fertilizantes fosfatados utilizados**

Fertilizante	Teores (%)					
	P	N	K	Ca	Mg	S
Fosfato bicálcico	38	-	-	12-14	-	-
Fosfato monoamônico (MAP)	48	9	-	-	-	-
Fosfato diamônico (DAP)	45	16	-	-	-	-
Fosfato natural	4	-	-	23-27	-	-
Fosfato natural reativo	9	-	-	30-34	-	-
Nitrofosfato	18	14	-	8-10	-	-
Superfosfato simples	18	-	-	18-20	-	10-22
Superfosfato duplo	28	-	-	18-20	-	6-8
Superfosfato triplo	41	-	-	12-14	-	-
Termofosfato magnésiano	14	-	-	18-20	7	-

Fonte: Adaptado de Floss, 2006

Tem como funções na planta: participação nos processos de trocas de energia (ATP), na divisão celular (DNA/RNA) e constituição de estruturas dos vegetais.

**A-Z****enzimas**

É um grupo de substâncias orgânicas que tem a função catalisadora, ou seja, de promover reações químicas.

### 3.3.1.6 Potássio

O potássio (K) é um dos nutrientes exigidos em maiores quantidades pelas culturas. Sua principal função na planta é ser um ativador enzimático, atuando em mais de 120 **enzimas**, nos mais diversos processos vitais da planta. Também tem papel importante na regulação da turgidez dos tecidos, resistência à geada, seca e salinidade, abertura e fechamento dos estômatos, resistência a moléstias e resistência ao acamamento.

Pode-se considerar que é um nutriente mais fácil de ser manejado no solo, pois não sofre inúmeras transformações e nem tem diversas formas de perdas, como o N, bem como não apresenta um mecanismo específico e complexo de retenção pelo solo, tornando indisponível para a planta, como o P. Os principais adubos potássicos utilizados são apresentados no Quadro 3.5.

**Quadro 3.5: Composição dos principais fertilizantes potássicos utilizados**

Fertilizante	Teores (%)			
	K	N	Mg	S
Salitre potássico	14	15	-	-
Nitrato de potássio	44	13	-	-
Cinzas de madeira	5	-	2	-
Cloreto de potássio	58	-	-	-
Sulfato de potássio	50	-	-	18
Sulfato de potássio e magnésio	22	-	18	22

Fonte: Adaptado de Floss, 2006

### 3.3.1.7 Cálcio

O teor médio de cálcio (Ca) encontrado na planta varia de 0,3 a 3 %, sendo que é considerado o teor médio geral de 0,5 %.

No solo, sua dinâmica ocorre na forma do cátion  $Ca^{+2}$ , participando, portanto, das atividades de troca de cátions no solo (CTC). Em geral, os solos manejados corretamente não irão apresentar deficiência de Ca, pois o elemento é adicionado ao solo através da calagem. Em solos onde a calagem não é necessária, podemos utilizar o gesso agrícola e outros adubos nitrogenados e fosfatados, apresentados anteriormente nos Quadros 3.3 e 3.4.

Sobre a função do Ca, ele faz parte da estrutura da planta, como da parede celular das células. Também atua como ativador enzimático em reações da fotossíntese. Outras funções são a atuação nas estruturas reprodutivas e raízes da planta.

### **3.3.1.8 Magnésio**

O teor de magnésio (Mg) varia de 0,1 a 0,3 % nos tecidos vegetais.

No solo, sua dinâmica ocorre na forma do cátion  $Mg^{+2}$ , participando, portanto, das atividades de troca de cátions no solo (CTC). Este nutriente também pode ser fornecido ao solo através da calagem, quando utilizamos o calcário dolomítico. Em solos onde a calagem não é necessária, podemos utilizar o sulfato de magnésio (17 % de Mg) e outros adubos nitrogenados, fosfatados e potássicos, apresentados anteriormente nos Quadros 3.3, 3.4 e 3.5.

As principais funções do Mg na planta são de ativação de enzimas em diversos processos fisiológicos vegetais e ser o constituinte central da molécula de clorofila.

### **3.3.1.9 Enxofre**

O enxofre (S) é absorvido pela planta na forma de íon sulfato ( $SO_4^{-2}$ ) e sua disponibilidade no solo está diretamente relacionada com o teor de matéria orgânica, umidade, pH, relação C/S (carbono/enxofre) e a aeração do solo.

Nos últimos anos tem-se observado um aumento na quantidade de solos com deficiência de S, causado, especialmente, pela não utilização de adubos que contenham este nutriente na composição, como pode ser observado nos Quadros 3.3, 3.4 e 3.5.

A principal função do S é de fazer parte da estrutura de aminoácidos e vitaminas. Dessa forma, o S está envolvido em processos fisiológicos como a fotossíntese, respiração e a produção de amido, clorofila e proteínas.

É importante ressaltar que o S contribui para o cheiro característico de alguns produtos vegetais, como da cebola, alho, couve-flor, brócolis e repolho.

## **3.3.2 Micronutrientes**

A partir de agora estudaremos os aspectos gerais dos micronutrientes, incluindo sua função e importância para as plantas.

### **3.3.2.1 Ferro**

O ferro (Fe) é o micronutriente absorvido em maior quantidade pela maioria das plantas. No solo ele pode ocorrer na forma oxidada ( $Fe^{+2}$ ) e/ou reduzida ( $Fe^{+3}$ ), sendo a primeira forma predominante em solos secos, enquanto que a segunda predomina em solos encharcados. Neste sentido, os solos em geral apresentam teores adequados deste nutriente quando o pH está próximo a 6,0.

Este nutriente atua na atividade de várias enzimas da planta, faz parte da constituição de moléculas envolvidas na fotossíntese e respiração e está envolvido no processo de produção de ATP (energia).

### **3.3.2.2 Manganês**

De maneira geral, o manganês (Mn) é o segundo micronutriente utilizado em maiores quantidades pelas plantas. Ele é absorvido em maiores quantidades na forma oxidada ( $Mn^{+2}$ ), predominante em solos ácidos. Sendo assim, em situações de calagem excessiva, pode ocorrer deficiência de Mn decorrente do pH elevado.

O Mn tem função de ser um ativador de enzimas na planta, além de atuar no processo de fotossíntese. Este micronutriente também é fundamental no processo de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) nas leguminosas.

### **3.3.2.3 Boro**

O boro (B) é um micronutriente cuja principal função está relacionada com o crescimento radicular. Além disso, sua presença é fundamental na fase reprodutiva da planta, ou seja, no florescimento, onde sua aplicação via foliar aumenta a frutificação efetiva de macieiras. Além disso, proporciona aumento na coloração vermelha da epiderme de maçãs.

No solo, a matéria orgânica tem importante contribuição para a disponibilização e suprimento adequado deste micronutriente para as plantas. Deve-se tomar cuidado para que não seja elevado excessivamente o pH do solo ao ser realizada a calagem, pois o pH acima de 6,5 diminui a disponibilidade de B para as plantas.

### **3.3.2.4 Zinco**

O zinco (Zn) é absorvido na forma  $Zn^{+2}$ , sendo o terceiro micronutriente mais utilizado pela maioria das plantas.

No solo, as deficiências de Zn são observadas com maior frequência em solos arenosos e/ou com pH elevado (decorrência de calagem excessiva). É importante salientar que a adubação excessiva com fósforo (P) também pode causar deficiência de Zn, pois o P inibe a absorção de Zn.

Na planta, o Zn atua como um ativador de enzimas, que estão envolvidas com diversos processos fisiológicos da planta, como a fotossíntese, produção de amido e de fito-hormônios.

### **3.3.2.5 Cobre**

O cobre (Cu) é absorvido pela planta na forma  $\text{Cu}^{+2}$ . Na planta, tem como principal função a ativação de enzimas que estão envolvidas em diversos processos fisiológicos, como na fotossíntese, respiração, transporte de fotoassimilados, FBN, formação da parede celular, síntese de DNA e RNA e metabolismo de proteínas. Também atua na resistência das plantas às doenças.

No solo, a disponibilidade deste nutriente diminui com o aumento do pH.

### **3.3.2.6 Molibdênio**

O molibdênio (Mo) é absorvido pela planta na forma de molibdato ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ) e é o nutriente absorvido em menores quantidades pelas plantas. Sua disponibilidade no solo aumenta com a elevação do pH. Sendo assim, deficiências de Mo poderão ser observadas em solos ácidos.

A função deste nutriente está relacionada com o metabolismo no N. Neste sentido, o nutriente tem importância destacada para a FBN nas plantas da família das leguminosas.

É importante ressaltar que este é um dos nutrientes indicados para se colocar junto às sementes de algumas espécies vegetais antes de sua implantação, na chamada nutrição via sementes.

### **3.3.2.7 Cloro**

O cloro (Cl) é um elemento que está largamente distribuído na natureza. Em algumas situações poderemos encontrar solos com altos teores de Cl, como aqueles irrigados com água tratada com este elemento e/ou solos que recebem sucessivas adubações com cloreto de potássio (KCl). Dessa forma, é mais provável encontrarmos problemas de toxidez a Cl do que de deficiência.

Este nutriente é absorvido na forma Cl e sua principal função está relacionada com reações necessárias para a fotossíntese. O Cl também influencia no processo de abertura dos estômatos.

### **3.3.2.8 Níquel**

O Níquel (Ni) é absorvido pela planta na forma  $\text{Ni}^{+2}$ . Em geral, nos solos do Brasil, é mais comum ser observada a toxidez de Ni do que a deficiência deste micronutriente.

Sua principal função está relacionada com a ativação de diversas enzimas importantes para o funcionamento da planta. Em leguminosas, o Ni é o ativador de uma enzima indispensável para que ocorra a FBN.

### 3.4 Elementos úteis

São elementos não essenciais, pois a planta pode viver sem eles. Porém sua presença é capaz de contribuir para o crescimento, produção ou para a resistência/tolerância a condições desfavoráveis de meio (clima, pragas e moléstias, compostos tóxicos do solo ou do ar) (FLOSS, 2006). São exemplos de elementos úteis:

- **Cobalto (Co)** – tem atuação direta na FBN, sendo essencial aos organismos fixadores de N atmosférico.
- **Silício (Si)** – tem papel de destaque na prevenção da incidência de pragas e doenças nas plantas, menor suscetibilidade ao acamamento e manutenção das folhas eretas.
- **Sódio (Na)** – auxilia algumas espécies de vegetais a aumentar a eficiência da fotossíntese em condições de baixa concentração de CO<sub>2</sub>. Também em algumas espécies, o Na pode substituir o K, com benefícios para a planta.

### 3.5 Elementos tóxicos

São elementos que prejudiciais às plantas em qualquer quantidade e não se enquadram como elementos essenciais ou úteis.

O principal exemplo de elemento tóxico é o alumínio (Al). Como já estudamos na disciplina de Solos, o alumínio trocável (Al<sup>+3</sup>) é um problema em solos ácidos, especialmente àqueles com pH menor que 5,5. O principal efeito do Al<sup>+3</sup> se manifesta nas raízes, apresentando alteração na anatomia (menor crescimento e engrossamento das raízes), o que irá interferir na absorção e transporte de água e nutrientes. O Al<sup>+3</sup> também interfere negativamente em processos fisiológicos das plantas, como a fotossíntese e a respiração. Além disso, o Al<sup>+3</sup> interfere no metabolismo de nutrientes essenciais, reduzindo os teores de quase todos e interferindo na absorção, transporte e uso de nutrientes como Ca, P, Mg, Cu, Zn, Mn e Fe.

Outros exemplos de elementos tóxicos são cromo (Cr), flúor (F), chumbo (Pb) e bromo (Br).

## 3.6 Absorção e transporte de nutrientes

Relembrando o que foi discutido anteriormente, as plantas absorvem a grande maioria dos nutrientes pelas raízes. Neste sentido, é imprescindível a presença deles na solução do solo para serem absorvidos. Os nutrientes também podem ser absorvidos pelas folhas, mas a participação delas é pequena, ao se comparar com as raízes. As folhas serão a principal porta de entrada do carbono (C), através do CO<sub>2</sub>.

O nutriente que está presente na solução do solo precisa entrar em contato com a raiz para que ele possa ser absorvido. Esse contato pode ocorrer de três formas:

- **Interceptação radicular** – é consequência do crescimento da raiz, atingindo os nutrientes presentes no solo.
- **Fluxo de massa** – movimento dos nutrientes presentes na solução do solo de um local mais úmido para um local mais seco.
- **Difusão** – movimento dos nutrientes de uma região de maior concentração para uma de menor concentração.

A absorção pode ser conceituada como a entrada do elemento, que pode ser nutriente essencial, elemento útil ou elemento tóxico, do solo ou ar, para o interior da planta. Existem dois mecanismos de absorção:

- **Passivo** – é um processo rápido, reversível, não seletivo e sem gasto de energia. O movimento ocorre de um local de maior concentração (solução do solo) para outro de menor concentração (interior da planta).
- **Ativo** – é um processo lento, irreversível, seletivo e com gasto de energia. É o processo de absorção mais importante.

### 3.6.1 Fatores que influenciam na absorção

A absorção de nutrientes pode ser influenciada por fatores externos (ambientais) e fatores internos da planta, sendo os principais:

**Quadro 3.6: Fatores internos e externos que influenciam na absorção de nutrientes**

Fatores externos (ambientais)	Aeração do solo
	Temperatura do ar
	Umidade do solo
	Disponibilidade de nutrientes no solo
	Teor de matéria orgânica do solo
	pH do solo
	Micorrizas
Fatores internos (da planta)	Potencial genético da planta
	Taxa de crescimento da planta
	Atividade metabólica (fotossíntese e respiração)
	Concentração interna de nutrientes
	Taxa de transpiração
Transporte interno de nutrientes	

Fonte: Autores

### 3.6.2 Redistribuição de nutrientes

Após absorvido, o nutriente pode ser deslocado do órgão onde foi assimilado para outro, como da folha para o fruto. Esse deslocamento ocorre principalmente no floema e sua intensidade depende do elemento, conforme o apresentado no Quadro 3.7. Como consequência, sintomas visuais de deficiência de nutrientes móveis ou pouco móveis aparecem nas folhas velhas, enquanto que de nutrientes imóveis aparecem nas folhas novas.

**Quadro 3.7: Mobilidade dos nutrientes na planta**

Nutriente	Símbolo	Mobilidade na planta
Nitrogênio	N	Móvel
Fósforo	P	Móvel
Potássio	K	Móvel
Enxofre	S	Pouco móvel
Cálcio	Ca	Imóvel
Magnésio	Mg	Móvel
Ferro	Fe	Pouco móvel
Manganês	Mn	Pouco móvel
Boro	B	Imóvel
Zinco	Zn	Pouco móvel
Cobre	Cu	Pouco móvel
Molibdênio	Mo	Móvel
Cloro	Cl	Móvel
Níquel	Ni	Pouco móvel

Fonte: Autores

O processo de redistribuição dos nutrientes ocorre especialmente nos seguintes estádios de desenvolvimento dos vegetais: germinação das sementes; fase vegetativa; fase reprodutiva e senescência.

### 3.7 Adubação folhar

Conforme estudamos até o momento, a maneira normal das plantas absorverem os nutrientes é através das raízes. Entretanto, as folhas também possuem capacidade de realizar a absorção de nutrientes. Quando utilizamos esta via, realizamos a chamada adubação folhar.

No geral, a adubação folhar é utilizada com objetivo de corrigir deficiências e/ou complementar a adubação realizada no solo durante o desenvolvimento da planta. Apresenta como vantagens o melhor aproveitamento de alguns nutrientes pelas plantas e a opção de aplicar juntamente com defensivos agrícolas. Sua eficiência vai estar condicionada às condições climáticas, ao estádio de desenvolvimento das plantas, da forma de aplicação, da natureza do fertilizante utilizado, da determinação precisa de qual nutriente está em deficiência, dentre outros (FLOSS, 2006). Os fatores que favorecem esta absorção são:

**Quadro 3.8: Fatores que favorecem a absorção de nutrientes**

Fatores relacionados à folha	Estrutura
	Composição química
	Idade
Fatores relacionados aos nutrientes	Mobilidade
	Velocidade de assimilação
	Interação entre nutrientes
Fatores relacionados à calda aplicada	Solubilidade dos nutrientes
	Concentração da solução
	Mistura de nutrientes
	Utilização de óleo mineral
Fatores externos	pH
	Luz
	Disponibilidade de água no solo
	Temperatura
	Umidade do ar
	Tecnologia de aplicação

Fonte: Autores

De maneira geral, a adubação folhar não pode ser considerada como substituta da adubação do solo, mas sim como complementar para algumas culturas e para determinados nutrientes (FLOSS, 2006). Neste sentido, a adubação folhar

pode ser usada como alternativa em situações específicas, como em solos que possuem baixa disponibilidade de nutrientes; em solos áridos; para aumentar o teor de proteína em grãos de cereais; para compensar o decréscimo da atividade das raízes durante o estágio reprodutivo e para aumentar o teor de Ca em frutas (especialmente na maçã).

## Resumo

Nessa aula, estudamos os diversos aspectos envolvidos na nutrição de plantas. Primeiramente, foram apresentados os métodos para avaliar o estado nutricional das plantas, sendo eles a observação de sintomas visuais de deficiência, análise dos atributos químicos do solo e análise de tecido vegetal. Após, estudamos os elementos essenciais (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, B, Cl, Mo, Mn e Ni), os elementos úteis (Co, Si e Na) e os elementos tóxicos (especialmente o Al), apresentando os critérios para esta classificação. Na sequência, foi apresentado como ocorre o processo e quais são os fatores que influenciam na absorção de nutrientes pela planta, sendo que este se dá preferencialmente pelo sistema radicular. Para finalizar, foram discutidos alguns aspectos envolvidos na adubação via folhar, como os fatores que influenciam este tipo de adubação e quais são as situações em que esta prática pode ser viável.



## Atividades de aprendizagem

1. Quais são os principais métodos de avaliação do estado nutricional das plantas?
2. Quais são as diferenças entre os nutrientes essenciais, os úteis e os tóxicos?
3. Citar quais são os elementos essenciais, os úteis e os tóxicos.
4. Quando o suprimento de nutrientes via folhar é viável?

# Aula 4 – Fotossíntese e respiração

## Objetivos

Reconhecer a importância da fotossíntese e da respiração.

Definir a importância dos fatores que interferem na fotossíntese e na respiração.

Relacionar os conceitos estudados com a produção de frutas.

## 4.1 Fotossíntese

Como as plantas “produzem” o oxigênio ( $O_2$ )? Se as plantas possuem quase 50 % de sua composição em carbono (C), de onde elas retiram esse elemento? Por que a radiação solar é tão importante para a vida na Terra?

Essas perguntas e suas respectivas respostas são fundamentais para entendermos melhor como as plantas obtêm a energia necessária para produzirem massa verde, folhas e frutos. Todos esses processos estão relacionados com a capacidade dos vegetais em realizar fotossíntese.

### 4.1.1 Conceito e importância

A fotossíntese pode ser conceituada como o processo fisiológico que a planta realiza nos tecidos clorofilados, com objetivo de obter substâncias orgânicas (por exemplo, a glicose) a partir de substâncias inorgânicas ( $H_2O$  e  $CO_2$ ), tendo como fonte de energia a luz solar. Em outras palavras, a planta utiliza a luz solar para fixar o C do  $CO_2$  atmosférico em forma de substâncias orgânicas, também chamadas de fotoassimilados. Simultaneamente a este processo ocorre a liberação de  $O_2$ , fundamental para diversas formas de vida na Terra.

Esse processo é de grande importância, pois é a partir da energia contida nos vegetais que todos os outros seres vivos podem obter alimento e se desenvolver sobre a Terra. Além disso, grande parte do  $O_2$  que respiramos é resultante da fotossíntese realizada pelas plantas.

É importante salientar, neste momento, que parte da energia armazenada nos fotoassimilados é transferida, através do processo denominado de respiração,

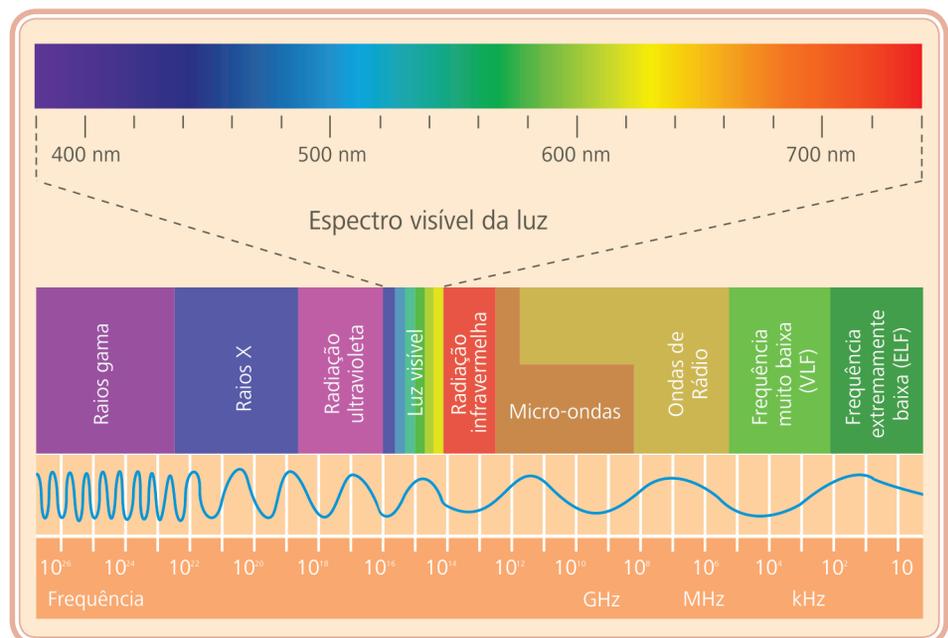
para compostos abundantes em energia química (ATP). Essa energia química, por sua vez, será utilizada para o crescimento e manutenção da planta.

Dessa forma, podemos considerar que a fotossíntese é o processo de produção (fonte) e a respiração é o processo de degradação (dreno) das substâncias orgânicas (fotoassimilados).

#### 4.1.2 Processo fotossintético

A estrutura do aparato fotossintético é constituída, basicamente, de três estruturas: folha, cloroplasto e clorofila e outros pigmentos. A folha tem como função interceptar a energia solar e absorver o CO<sub>2</sub> do ar. O cloroplasto faz parte das células da folha e é considerado o organoide funcional, estrutural e fisiologicamente completo da fotossíntese (FLOSS, 2006). Já a clorofila e outros pigmentos fazem parte do cloroplasto e são responsáveis pela absorção da energia luminosa.

Em relação à energia solar, ela é composta de radiações de diferentes comprimentos de onda, sendo que elas variam de 200 a 4000 nm. Neste contexto, existe a chamada Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA), que é considerada a energia radiante disponível para a fotossíntese. A RFA encontra-se no espectro visível da luz, nas radiações de comprimento de onda entre 400 e 700 nm.



**Figura 4.1: Espectro eletromagnético**

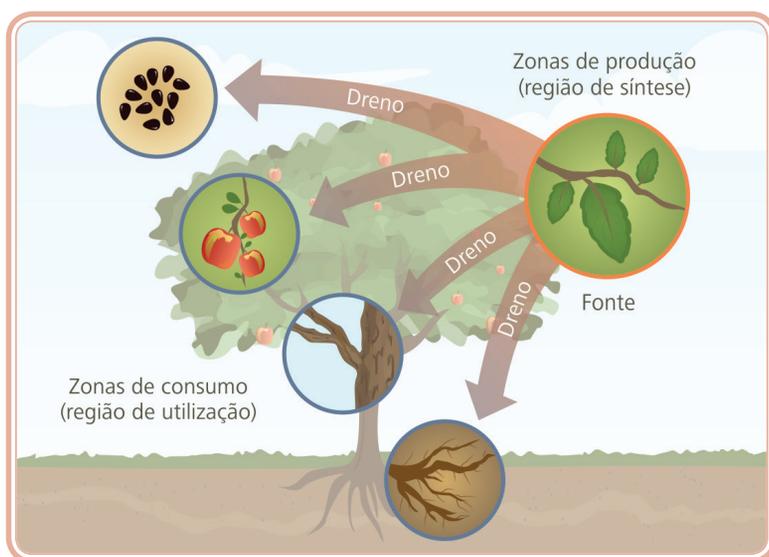
Fonte: CTISM

O processo da fotossíntese é composto por duas fases:

- **Fase clara** – também é chamada de fase fotoquímica e é dependente da presença de luz. A luz é absorvida pelos pigmentos vegetais (clorofila e outros) e convertida em energia química (ATP) e calorífica.
- **Fase escura** – também é chamada de fase bioquímica e é independente da presença de luz. Nesta fase ocorrem as reações de assimilação do C, desde o CO<sub>2</sub> atmosférico até a formação de glicose. Esta fase utiliza a energia gerada durante a fase clara da fotossíntese.

Essa glicose formada na fotossíntese pode ser convertida em várias outras substâncias orgânicas, como amido, proteína, lipídio, celulose, pigmentos, hormônios, vitaminas, lignina, entre outros (FLOSS, 2006).

Os produtos da fotossíntese são constantemente transferidos no interior de uma planta, das folhas e de outros tecidos fotossinteticamente ativos para os locais de consumo ou armazenamento através do floema (FLOSS, 2006). Conforme esquema da Figura 4.2.



**Figura 4.2: Esquema demonstrativo das zonas de produção e consumo de fotoassimilados**  
Fonte: CTISM

### 4.1.3 Fatores que afetam a fotossíntese

Alguns fatores podem ser considerados como determinantes da eficiência da fotossíntese realizada pela planta.

## **a) Luz**

De acordo com o conceito de que a fotossíntese é a transformação de energia luminosa em energia química, devemos considerá-la fator primordial. Neste sentido, a influência da luz pode ser analisada de acordo com a sua intensidade, duração e qualidade.

Sobre a intensidade luminosa, as espécies vegetais apresentam diferentes respostas ao efeito dela. Existem plantas que somente atingem altas taxas de fotossíntese com altas intensidades luminosas. Já existem plantas que vivem à sombra de outras plantas, atingindo a máxima taxa de fotossíntese da espécie, com pouca intensidade luminosa.

Em relação à duração do período luminoso, a insolação varia conforme a época do ano, sendo maior no período do verão, e podendo limitar a produtividade da cultura no período hibernal, onde além de dias mais curtos, temos maior influência de nebulosidade. É importante salientar que as plantas são capazes de realizar fotossíntese durante longos períodos de luz (iluminação sem interrupção por dias consecutivos), sem declínio significativo.

Já sobre a qualidade da luz, ela está relacionada com os diferentes comprimentos de onda da radiação solar. É reconhecida a existência de dois “picos” para a fotossíntese: um próximo a 655 nm (luz vermelha) e outro próximo de 450 nm (luz azul) (FLOSS, 2006). Por isso que o crescimento de plantas sombreadas é baixo (menos luz e de menor qualidade).

Em termos práticos, nas condições de “campo aberto”, somos dependentes das condições meteorológicas. Porém, na propagação em viveiros ou em sistemas de cultivo protegido (estufas), a escolha dos materiais e a estratégia de iluminação artificial devem observar a influência no processo fotossintético.

## **b) Temperatura**

O intervalo de temperatura que os vegetais são capazes de realizar a fotossíntese vai de  $-6^{\circ}\text{C}$  a  $58^{\circ}\text{C}$ , enquanto que nas plantas tropicais a faixa de maior intensidade da fotossíntese está entre  $5^{\circ}\text{C}$  e  $35^{\circ}\text{C}$ .

De modo geral, com o aumento da temperatura, ocorre aumento na taxa fotossintética até  $\pm 35^{\circ}\text{C}$ . Porém, a respiração, com o aumento da temperatura, aumenta mais do que a fotossíntese. Sendo assim, em altas temperaturas, a

produção vegetal sofre redução. Os limites superior e inferior onde começam a ocorrer perdas de produtividade variam conforme a origem da cultura. Assim, plantas oriundas de clima tropical são mais adaptadas a altas temperaturas, enquanto que as de clima temperado toleram um limite menor e, por isso, apresentam perdas em temperaturas mais altas.

O principal efeito da temperatura sobre a fotossíntese é observado pelo aumento expressivo da área folhar (crescimento) quando a temperatura aumenta de 20°C para 30°C (FLOSS, 2006). Isso reflete em maior área para realizar fotossíntese, influenciando diretamente na produção vegetal.

### **c) Água**

O déficit hídrico provoca diminuição da fotossíntese, motivada, principalmente, pelo fato dos estômatos se fecharem e a entrada de CO<sub>2</sub> ser impedida. Além disso, a murcha das folhas provoca redução da superfície de absorção de luz, contribuindo para reduzir a taxa fotossintética.

### **d) Gás carbônico**

Como já estudado, as plantas retiram do ar atmosférico o CO<sub>2</sub> que utilizam na fotossíntese. Sendo assim, a taxa fotossintética pode ser aumentada consideravelmente com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> no ambiente e, como consequência, teremos um aumento da produção vegetal.

Em ambientes protegidos (estufas), essa é uma prática viável. Em geral, eleva-se o teor de CO<sub>2</sub> no ar para 0,1 % (0,04 % é a concentração em ambiente aberto). Entretanto, o CO<sub>2</sub> pode ser tóxico em altas concentrações para as plantas, sendo que a tolerância delas varia conforme a espécie.

### **e) Nutrientes**

A correta nutrição da planta tem relação direta com a taxa fotossintética. Dos 17 nutrientes considerados essenciais, 12 estão diretamente envolvidos com a fotossíntese. A deficiência de nutrientes prejudica a fotossíntese por limitar o crescimento da planta, a renovação de tecidos e, principalmente, a atividade enzimática, que é parte fundamental para que as diversas reações do processo fotossintético possam ocorrer.

#### **f) Oxigênio**

O  $O_2$  desempenha um efeito inibidor da fotossíntese em algumas espécies de plantas devido ao aumento da taxa de fotorrespiração. Assim, nestas espécies, o aumento da concentração de  $O_2$  causa redução na taxa fotossintética. O processo de fotorrespiração será comentado no item 4.2 desta aula.

#### **g) Idade das folhas**

A plena capacidade da folha em realizar fotossíntese ocorre quando ela atinge o máximo de sua expansão, ou seja, até sua maturidade. Após atingir este estágio, a capacidade reduz bastante com a idade da folha.

#### **h) Arquitetura das folhas**

A arquitetura das folhas diz respeito à sua disposição e ângulo de inclinação em relação ao solo. A melhor arquitetura é aquela que permite uma maior penetração de luz e evita o sombreamento de outras folhas da planta. Neste sentido, a distribuição vertical das folhas possibilita satisfazer estes critérios.

#### **i) Índice de área folhar**

Entende-se por Índice de Área Folhar (IAF) a relação entre a área folhar verde da planta e uma determinada área de solo. Num primeiro momento, podemos imaginar que quanto maior o IAF, maior será a atividade fotossintética. Porém, a partir de um determinado IAF, uma área folhar recebe luz e outra fica autossombreada. Essas folhas, além de possuírem baixa capacidade de realizar fotossíntese, mantêm a própria atividade à custa da respiração. Por isso, para cada espécie vegetal, existe um IAF ideal, onde a interceptação da radiação é elevada e o autossombreamento mínimo.

#### **j) Poda da planta frutífera**

A poda da planta frutífera também interfere na fotossíntese, através da disposição dos ramos e folhas na planta. Se não for realizada da forma adequada, alguns ramos e folhas crescerão sombreados por outros, o que acarretará em menor incidência de radiação solar e, conseqüentemente, menor taxa fotossintética.

## 4.2 Fotorrespiração

A fotorrespiração é um processo que ocorre em algumas espécies de vegetais, em condições de baixa concentração de  $\text{CO}_2$  e alta concentração de  $\text{O}_2$  nos cloroplastos da planta, em presença de luz. Além disso, o processo de fotorrespiração não gera energia química (ATP).

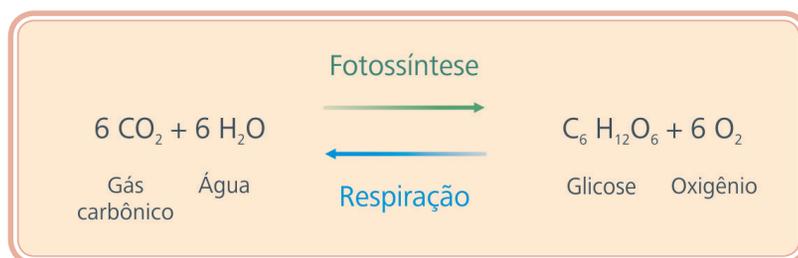
## 4.3 Respiração

Já tivemos no item relacionado à fotossíntese uma breve ideia do que se trata a respiração. Ela se trata do processo inverso da fotossíntese, com objetivo de obter energia química (ATP), que é necessária para os processos fisiológicos de manutenção e crescimento da planta.

Neste item veremos o conceito, a importância, o processo e os fatores que influenciam neste fundamental processo fisiológico vegetal.

### 4.3.1 Conceito e importância

A respiração aeróbica nas plantas pode ser considerada o processo inverso da fotossíntese (Figura 4.3), pois a energia armazenada em compostos orgânicos (glicose, lipídios, proteínas,...) é liberada na forma de ATP e utilizada nos locais onde ela é necessária. Vale ressaltar que o fundamental da respiração é a obtenção de energia química (ATP) para a célula.



**Figura 4.3: Esquema resumido das reações de fotossíntese e respiração**

Fonte: CTISM, adaptado dos autores

Nas plantas, os tecidos que não possuem clorofila (raízes, caules, frutos e flores) tem na respiração a única maneira de obter energia química (ATP), pois os mesmos não possuem capacidade de realizar fotossíntese. Essa energia química é necessária para a manutenção e o crescimento da planta.



### Para relacionarmos

Os seres humanos também obtêm energia através da respiração, consumindo  $O_2$  e liberando  $CO_2$ . Porém, nesse caso, os compostos energéticos foram obtidos através da ingestão de alimentos. Já as plantas primeiramente fixam o carbono e obtêm a energia a partir da fotossíntese e depois deslocam esses compostos para serem utilizados onde é necessário.

### 4.3.2 Processo respiratório

A atividade respiratória ocorre nas células da planta, nas estruturas denominadas de citoplasma e mitocôndria, que são os locais onde se encontram as enzimas catalizadoras das reações. Neste sentido, é importante salientar que a respiração ocorre em todos os órgãos da planta (raiz, caule, folha, flor, fruto e semente). Em relação à fotossíntese, o diferencial é que ela ocorre apenas nos tecidos clorofilados, enquanto que a respiração ocorre nos tecidos não clorofilados e também nos clorofilados, quando esses permanecem na ausência de luz.

Resumidamente, no processo respiratório, as plantas utilizam o  $O_2$  atmosférico para degradar os fotoassimilados, com objetivo de obter energia química (ATP), tendo como produtos finais a  $H_2O$  e o  $CO_2$ .

A energia gerada a partir do processo respiratório pode ser separada em:

- **Respiração de crescimento** – energia utilizada para sintetizar novos tecidos.
- **Respiração de manutenção** – energia utilizada nos processos vitais, sem haver aumento de fitomassa (crescimento).

Nesse contexto, é importante assinalar que o melhoramento genético tem buscado plantas de porte cada vez menor. Em plantas menores, menos fotoassimilados serão necessários para o crescimento, menos energia é necessária para a manutenção e mais fotoassimilados serão convertidos em órgãos de interesse econômico (frutos, sementes, tubérculos,...).

Para concluir, vale reforçar que a respiração é um processo diferente da fotorrespiração, pois neste, não há produção de energia química (ATP).

### 4.3.3 Fatores que influenciam a respiração

#### a) Temperatura

A temperatura é um dos principais fatores que afetam a respiração. Sempre que há elevação de temperatura, a respiração também é aumentada. Porém isso ocorre até aproximadamente 50°C, quando começa a ocorrer danos às enzimas envolvidas no processo e a respiração é inibida. Neste sentido, a máxima respiração é alcançada em temperaturas entre 35°C e 45°C.

O aumento da temperatura promove um aumento maior da respiração do que da fotossíntese; por essa razão, a produtividade diminui a partir de uma determinada temperatura (FLOSS, 2006).

Outro efeito negativo do aumento da respiração por elevação de temperatura ocorre com a elevação das temperaturas noturnas. Durante a noite não ocorre fotossíntese e a respiração realizada significa degradação de fotoassimilados que poderiam ser armazenados e/ou utilizados no crescimento ou na produção.

Por outro lado, a baixa temperatura que atua inibindo a respiração é importante para a conservação de frutas, permitindo o seu armazenamento e transporte, agregando valor ao produto.

#### b) Oxigênio

O O<sub>2</sub> é fundamental para o processo respiratório e, em condições ambientais, não é um fator limitante. Devemos atentar apenas para situações de solos compactados ou saturados de água, onde as raízes poderão sofrer com o déficit de O<sub>2</sub>. Se a situação permanecer por longo período poderá acarretar na morte de células, tecidos ou da própria planta.

#### c) Gás carbônico

O aumento do teor de CO<sub>2</sub> nos tecidos vegetais provoca diminuição da atividade respiratória. Sendo assim, é possível se utilizar o incremento do teor de CO<sub>2</sub> em câmaras de armazenamento de frutas *in natura*, para uma melhor conservação destes produtos vegetais.

#### **d) Água**

A hidratação de sementes causa um aumento acentuado na intensidade respiratória a partir dos 16-17 %, sendo que este aumento é exponencial a partir dos 17 % de umidade na semente (FLOSS, 2006).

Já na parte aérea, quando as folhas ou outros órgãos se aproximam da murcha permanente, observa-se um aumento da taxa respiratória (FLOSS, 2006). Por isso que a estiagem afeta a produtividade de duas formas: reduzindo a fotossíntese e aumentando a respiração.

#### **e) Efeitos mecânicos**

Danos exclusivamente mecânicos nos tecidos vegetais podem causar grandes aumentos na atividade respiratória. Por isso, é fundamental cuidados especiais na manipulação de mudas, flores e frutos, para evitar danos mecânicos. Em nível de campo, devem-se evitar danos causados por pragas, doenças e pelo vento. Isso justifica a necessidade de realizar os tratamentos fitossanitários, a colocação de tutores em mudas recém-transplantadas e a implantação de quebra-ventos nos pomares.

#### **f) Compostos químicos**

Existem compostos químicos que são inibidores da respiração, como o cianeto, o monóxido de carbono, o dinitrofenol, entre outros. Porém, existem produtos que promovem o aumento da taxa respiratória, como o glifosato.

#### **g) Disponibilidade de substrato**

Todos os fatores que promovem um aumento na concentração de fotoassimilados na célula estimula a respiração.

#### **h) Idade dos tecidos**

As maiores taxas respiratórias ocorrem nos tecidos mais jovens (ápices de raízes e caules e sementes em germinação). Tecidos mais velhos, como folhas velhas (amarelado) e frutos maduros, apresentam menor respiração.

## 4.4 Balanço fotossíntese x respiração

Como os processos de fotossíntese e respiração ocorrem simultaneamente, o balanço final entre os dois determinará se haverá produção suficiente para que ocorra acúmulo e, conseqüentemente, uma produção satisfatória de partes comerciais, no nosso caso, de frutos. Neste sentido, podemos descrever a produtividade com sendo:

$$P = F - (R + Fr)$$

Onde: P = produtividade

F = fotossíntese

R = respiração

Fr = fotorrespiração

Dessa forma, precisamos trabalhar para fornecer todas as condições a fim de maximizar a fotossíntese e diminuir a respiração, sem prejudicar a produtividade da cultura.

**Quadro 4.1: Resultado do balanço entre respiração e fotossíntese**

Condição	Resultado
Fotossíntese > respiração	Crescimento
Fotossíntese = respiração	Manutenção
Fotossíntese < respiração	Degradação de reservas

Fonte: Autores

## 4.5 Respiração de frutos climatéricos e não climatéricos

Um dos principais casos de aplicação prática da atividade respiratória é na colheita e armazenamento de frutos climatéricos e não climatéricos.

Os frutos climatéricos são frutos que, mesmo depois de colhidos, apresentam alta taxa respiratória. Este fruto, como consequência, continua amadurecendo. Por causa disso, também são muito perecíveis e precisam de cuidados no armazenamento, bem como de um rápido transporte até o consumidor para diminuir as perdas. São exemplos de frutos climatéricos: maçã, abacate, figo, kiwi, nectarina, pêsego, tomate, ameixa, damasco, banana, jaca, manga, mamão, pera e melancia.

Os frutos não climatéricos são frutos que depois de colhidos tem uma baixa taxa respiratória, por isso, não seguem amadurecendo. Assim, devem ser colhidos já maduros e alguns são mais fáceis de transportar, além de possibilitar transporte a distâncias maiores. Exemplos: amora-preta, cereja, uva, lima, laranja, abacaxi, tangerina, framboesa e morango.

É importante destacar que mesmo respirando em uma taxa baixa, alguns desses frutos são muito sensíveis e estragam rapidamente por outros motivos, como, facilidade de perder água, suscetibilidade a podridões ou maior fragilidade dos tecidos (por exemplo, no caso do morango, amora-preta e da framboesa).

## Resumo

Nessa aula, estudamos dois processos fisiológicos que são vitais para os vegetais, a fotossíntese e a respiração. Podemos considerar que os dois processos estão relacionados, porém com objetivos contrários. A fotossíntese é o processo pelo qual as plantas sintetizam compostos orgânicos (glicose) a partir de substâncias inorgânicas (simples), utilizando como fonte de energia a luz solar. Já a respiração é o processo de obtenção de energia a partir da degradação de compostos orgânicos, como a glicose, produzidos na fotossíntese. Durante a aula, vimos como ocorrem os dois processos e quais são os fatores que os influenciam. No final da aula apresentamos que a produtividade vegetal nada mais é do que o balanço entre a fotossíntese e a respiração. Dependendo do caso, podemos ter crescimento, manutenção ou degradação de reservas da planta.



## Atividades de aprendizagem

1. Onde ocorre a maior parte da fotossíntese realizada pelas plantas?
2. Descreva 2 fatores que influenciam a fotossíntese e como podemos manejá-los na fruticultura.
3. O que é a respiração?
4. Considerando o ponto de colheita e os cuidados no armazenamento, diferencie frutos climatéricos de frutos não climatéricos.

# Aula 5 – Crescimento e desenvolvimento vegetal

## Objetivos

Conhecer as etapas de desenvolvimento vegetal.

Identificar os processos fisiológicos que ocorrem em cada etapa.

Relacionar os conceitos com a aplicação prática na fruticultura.

## 5.1 Considerações iniciais

Nessa aula, estudaremos o crescimento e as etapas de desenvolvimento das plantas, que vão desde a germinação das sementes até os processos fisiológicos da pós-colheita e como os hormônios vegetais controlam esses processos, transferindo informações entre os órgãos das plantas.

## 5.2 Germinação das sementes

O ciclo de vida da maioria das espécies vegetais começa pelas sementes e termina com a formação de novas sementes.

A germinação compreende o início das atividades de degradação de reservas da semente até a formação da plântula e início da atividade fotossintética.

Como estamos falando da semente, é importante considerarmos que existem tipos diferentes de sementes: as sementes quiescentes e as sementes dormentes. As sementes quiescentes apresentam atividade muito reduzida, mas assim que encontram condições favoráveis (disponibilidade de água e temperatura), iniciam o processo de germinação. Já as sementes dormentes precisam ser submetidas a um processo de quebra de dormência, para então serem colocadas em condições favoráveis e iniciar o processo de germinação.

A dormência pode ser causada por:

- Tegumento impermeável.
- Embrião dormente.

- Presença de substâncias inibidoras.

A quebra de dormência pode ser realizada com as técnicas citadas no Quadro 5.1. É importante ressaltar que cada espécie possui uma técnica mais apropriada para quebra de dormência.

#### Quadro 5.1: Técnicas utilizadas para a quebra de dormência

- Escarificação mecânica.
- Escarificação ácida.
- Tratamento com água quente.
- Lavagem em água corrente.
- Secagem prévia.
- Pré-resfriamento.
- Estratificação.
- Exposição à luz.

Fonte: Autores

O processo de germinação é dividido nas seguintes etapas:



**Figura 5.1: Fases do processo germinativo de sementes**

Fonte: CTISM, adaptado dos autores

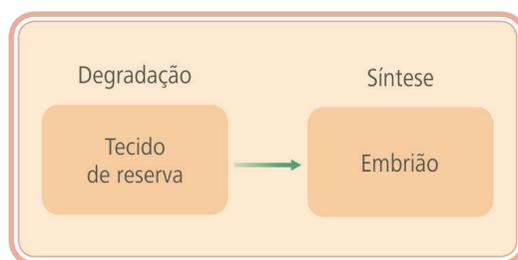
A etapa de hidratação ou embebição é o primeiro processo que ocorre na germinação e corresponde à absorção de água pela semente. A embebição causa um intumescimento (inchaço), rompendo os envoltórios da semente, devido ao aumento da pressão gerada pela entrada de água. Esse rompimento propicia a emissão da radícula e do caulículo, precursores da raiz e do caule. Outra consequência da hidratação é a ativação de uma série de enzimas.

Na maioria das sementes, a água entra naturalmente, passando por partes mais permeáveis da mesma. Entretanto, em algumas sementes, é realizada a quebra da dormência fisicamente, sendo necessário escarificar a casca, ou seja, raspá-la levemente para permitir a entrada de água.

A respiração pode ser descrita como o processo de liberação de energia, que será usada pela plântula para a formação de novos compostos. É importante ressaltar que a respiração de uma semente em fase de germinação é mais ativa do que qualquer órgão de uma planta (FLOSS, 2006). Para que ocorra a respiração são necessárias enzimas respiratórias, que já estão presentes nas sementes secas, sendo ativadas pela hidratação.

Na sequência, inicia-se um processo de translocação de reservas para os pontos de crescimento (radícula e caulículo). Essas estruturas são originárias do embrião da semente, cujas células começam a se expandir e se dividir. Geralmente, a radícula é a primeira estrutura do embrião a ficar saliente. Paralelamente ao crescimento do embrião ocorre a digestão das reservas armazenadas e a translocação dos produtos para os locais de crescimento.

A digestão das reservas significa transformar compostos insolúveis em solúveis, sendo fundamental a atuação de enzimas neste processo. Esses compostos solúveis serão assimilados pelo embrião, dando início a formação das primeiras estruturas da planta.



**Figura 5.2: Esquema indicativo da fonte e o destino dos nutrientes necessários durante o processo germinativo**

Fonte: CTISM, adaptado dos autores

É importante assinalar que após a plântula emergir, receber luz solar e desenvolver tecidos clorofilados, ela torna-se independente, absorvendo água e nutrientes do solo e realizando fotossíntese.

A germinação das sementes é controlada por fatores ambientais, como a água, a temperatura, a luz e a presença de  $O_2$ . Além disso, a germinação também pode ser controlada pela ação dos hormônios vegetais.

## 5.3 Crescimento e desenvolvimento

Estes dois conceitos muitas vezes se confundem, por isso, vamos defini-los novamente.

- **Crescimento** – é o aumento irreversível do tamanho ou volume da planta, geralmente acompanhado do aumento da matéria seca (FLOSS, 2006).
- **Desenvolvimento** – é caracterizado como o processo em que a planta passa pelas diversas fases fenológicas – vegetativa e reprodutiva (FLOSS, 2006).

Os vegetais crescem apenas através de determinados tecidos, denominados de meristemas ou gemas, sendo que o crescimento está baseado em 3 processos:

- **Divisão celular** – as células se multiplicam.
- **Elongação celular** – as células aumentam de tamanho.
- **Diferenciação celular** – as células sofrem mudanças de forma, função e composição, tornando-se especializadas.

O caule possui 2 tipos de crescimento. Existe o crescimento longitudinal, que ocorre nas extremidades, ou seja, tornam os ramos mais compridos e são de responsabilidade dos meristemas terminais. Há também o crescimento em diâmetro, que é responsável pelo “engrossamento” do caule, que é de responsabilidade do câmbio vascular, ou seja, uma faixa de tecidos que se multiplica no meio do caule e que dá origem aos vasos que conduzem a seiva entre as raízes e as folhas.

As raízes também apresentam 2 tipos de crescimento: o crescimento em comprimento, na zona meristemática existente na ponta da raiz e o crescimento vascular, que leva ao espessamento e a formação dos vasos condutores.

Já as folhas crescem a partir das nervuras, pela multiplicação de todas as células, não havendo distinção entre os sentidos de crescimento.

Ao longo do tempo, o crescimento pode ser avaliado pelo aumento da altura da planta, volume e pelo acúmulo de massa (peso) de toda a planta e de algum órgão específico de interesse.

O desenvolvimento considera a planta como um todo e busca caracterizar as fases que a planta passa desde a semente que deu origem a ela até o processo de produção de uma nova semente, que irá dar origem a outras plantas.

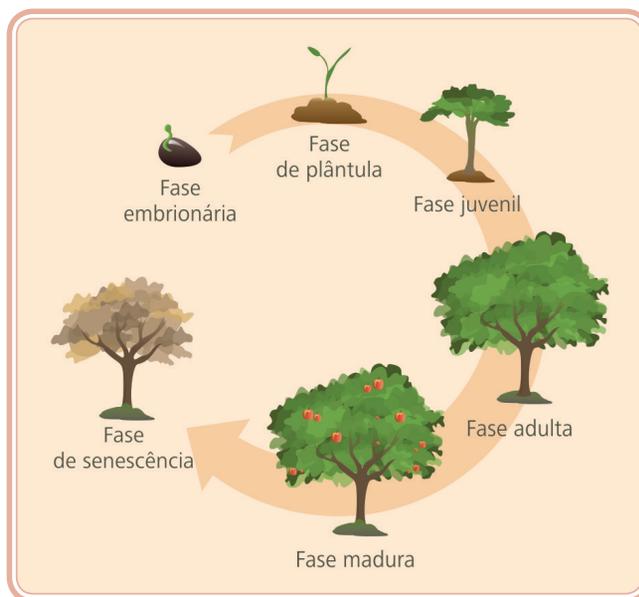
No caso das frutíferas, elas se caracterizam por serem plantas perenes, onde cada planta apresenta o ciclo completo superior a dois anos e depois que atingem o máximo crescimento, repetem o período reprodutivo várias vezes antes da senescência das plantas. Podemos dividir o desenvolvimento dessas plantas em 3 fases fenológicas: fase de crescimento, fase de clímax e fase de senescência.

A fase de crescimento inicia na germinação e vai até a primeira floração. Nessa fase, a planta aumenta de tamanho e inicia o acúmulo de reservas que permitirão produzir frutos e sementes no futuro. Assim, é definida como uma fase de fotossíntese líquida, onde se produz mais através da fotossíntese do que é consumido na respiração.

A fase de clímax é a fase onde tudo o que é produzido na fotossíntese acaba sendo consumido pela planta. Compreende os vários ciclos reprodutivos e não se verifica aumentos na massa da planta.

A fase de senescência ocorre a partir dos últimos ciclos reprodutivos, quando a planta não possui mais condições de produzir na fotossíntese todo o necessário para a manutenção dela. Assim, a planta começa a morrer. No caso de frutíferas, isso pode levar 20-50 anos, enquanto que em cereais, isso acontece alguns meses após a semeadura.

Para resumir, as fases do desenvolvimento vegetal são:



**Figura 5.3: Fases do desenvolvimento vegetal**

Fonte: CTISM, adaptado dos autores

São vários os fatores que controlam o desenvolvimento, entre eles, a genética da planta, com características próprias de cada espécie, a temperatura, seja ela a necessidade de frio (exemplo, frutíferas de caroço, que precisam de horas de frio para florescer) ou o calor, a duração do dia (também chamada fotoperíodo), a presença de água em condições suficientes (ou a falta, como na indução de frutificação em videiras cultivadas no nordeste, após um período de seca forçada), entre outros.

## 5.4 Floração

A floração é o passo inicial para a reprodução das plantas, pois as flores são os órgãos onde ocorrerá a fertilização e a formação da semente. Podemos dividir as flores em dois tipos básicos:

- **Flores perfeitas ou hermafroditas** – possuem os órgãos masculino e feminino na mesma flor. Exemplo: laranjeira.
- **Flores imperfeitas** – possuem apenas órgãos masculinos (androica) ou femininos (ginoica). Exemplo: araucária.

Da mesma forma, as plantas podem ser classificadas de acordo com a presença ou ausência de órgãos masculinos ou femininos, como se segue:

- **Perfeitas** – possuem flores perfeitas ou os dois tipos de flores imperfeitas.
- **Imperfeitas** – são divididas em:
  - **Androicas** – possuem apenas flores imperfeitas com órgãos masculinos.
  - **Ginoicas** – possuem apenas flores imperfeitas com órgãos femininos.

Um exemplo de cultura que precisa de plantas masculinas e femininas é o kiwi. Já a macieira utiliza plantas polinizadoras de outras cultivares, pois a fecundação cruzada é mais eficiente e mais produtiva.

O início da frutificação só acontece quando a planta atinge a fase adulta e quando as condições são favoráveis. Assim, as plantas só iniciarão a floração e, conseqüentemente, a produção de frutos, quando passarem pelo período juvenil (juvenildade). A duração desse período depende das características genéticas de cada cultivar e de cada espécie.

Depois de atingida a maturidade sexual, a planta pode ser induzida à floração através dos seguintes fatores ambientais: luz (fotoperiodismo), temperatura (termoperiodismo), frio (vernalização) e balanço hídrico (hidroperiodismo).

Algumas espécies são muito sensíveis ao fotoperíodo, como por exemplo, a maioria das cultivares de morango, que precisam de dias curtos para florescer. Em resumo, o fotoperíodo refere-se ao número de horas de luz que o dia possui. Ele também engloba os períodos de claridade ao nascer e ao pôr-do-sol. Essa sensibilidade varia para cada espécie, sendo necessário escolher as cultivares de acordo com as características e possibilidades do local onde se pretende cultivá-las.

Outro fator que muito interfere em algumas espécies é a temperatura, fator esse que podemos visualizar nas nossas frutíferas de clima temperado, como pessegueiros e ameixeiras. Essas plantas necessitam de um acúmulo de horas de frio (no inverno), abaixo de sua temperatura crítica, para que iniciem o processo de floração no momento em que as temperaturas subirem (na primavera). A quantidade de horas de luz, bem como a temperatura crítica, varia conforme cada cultivar, existindo algumas mais precoces e outras mais tardias em função dessa necessidade de temperatura.

Já o efeito da água disponível não ocorre com muita intensidade no Rio Grande do Sul, devido ao nosso clima possuir chuvas distribuídas ao longo do

ano, mas é algo utilizado no manejo de videiras no Nordeste. Lá, como chove pouco e a irrigação é necessária, é possível induzir as videiras a florescerem duas vezes ao ano, fazendo-as passar por períodos de deficiência hídrica e logo em seguida disponibilizando água para o florescimento ocorrer.

Todas essas alterações são afetadas e comunicadas entre os órgãos das plantas pelos hormônios vegetais, que serão discutidos ao final desta aula.

## **5.5 Frutificação**

A formação do fruto é um processo onde o ovário cresce para envolver e proteger a semente que está se formando. Assim, a maioria das frutíferas cultivadas necessita que haja a fecundação e a formação da semente para então começar o crescimento do fruto. Neste sentido, após a fecundação do óvulo, inicia-se o processo de formação da semente, constituída de duas fases: desenvolvimento do embrião e acúmulo de reservas.

Entretanto é importante salientar que em algumas espécies ocorre a fixação de frutos sem necessidade de haver polinização no florescimento. Este fenômeno é chamado de partenocarpia e os frutos são chamados de partenocárpicos. Exemplos são a banana e o abacaxi.

É importante lembrar que como estratégia de sobrevivência da espécie, a planta produz muitas flores, que se tornariam vários frutos. Porém muitos são abortados logo no início da formação, para a planta estabelecer condições fisiológicas de sustentar e garantir a maturidade de todas as sementes.

Para a produção de frutos, a planta consome os fotoassimilados produzidos que poderiam ir para o crescimento dos ramos e raízes. Assim, se estabelece uma competição entre os órgãos da planta. Dessa forma, é normal que a planta pare de crescer enquanto está produzindo frutos, retomando o crescimento após a colheita. Além disso, há uma competição entre os frutos, o que faz necessário na maioria das culturas a realização do raleio, ou seja, eliminar parte dos frutos que se formaram, para permitir aos que sobram atingir um tamanho satisfatório para a comercialização. O raleio também é muito útil para evitar a alternância de safras, ou seja, muita produção em um ano e ausência de produção em outros.

O ciclo de desenvolvimento de um fruto inicia com a fertilização dos óvulos da flor e passa pelas seguintes etapas:

- **Crescimento** – multiplicação de células e aumento de volume.
- **Maturação** – tem início quando o desenvolvimento do fruto está completo e não existe um crescimento significativo do tamanho do mesmo.
- **Senescência** – é definida como os processos que levam à morte dos tecidos formadores do fruto.

Depois de colhidos, os frutos continuam vivos, ou seja, em atividade. A fisiologia pós-colheita será discutida na sequência deste material didático.

## 5.6 Fisiologia pós-colheita

Para iniciarmos a discussão deste assunto fundamental em fruticultura, devemos lembrar que mesmo após a maturação, colheita, beneficiamento e armazenamento, os frutos continuam vivos.

Sendo assim, os frutos, mesmo depois de colhidos, continuam respirando e, por isso, acabam se degradando naturalmente. Essa respiração faz com que a maioria das frutas seja colhida um pouco antes do ponto ideal, para que continue maturando no período de transporte e armazenamento, o que possibilita melhores condições de venda. Já as frutas muito sensíveis, como o morango, são colhidas maduras e necessitam de uma venda imediata por não suportarem transporte a longas distâncias e longos períodos de armazenamento.

Além dessa atividade, eles podem sofrer danos mecânicos ou fisiológicos, que poderão acelerar sua degradação, prejudicando a comercialização da produção. Os danos mecânicos sofridos durante a colheita ou armazenamento provocarão incremento na respiração, fazendo com que mais reservas sejam degradadas e proporcionam pontos de ataque aos microrganismos, que podem levar ao apodrecimento. Já os danos fisiológicos causados por altas temperaturas, congelamento, excesso ou falta de umidade, também causam uma aceleração no amadurecimento.

Estratégias de armazenamento envolvem controle de temperatura, para diminuir a respiração, controle de umidade, para evitar transpiração e, de acordo com

o período que se pretende armazenar, controle de gases como CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> na atmosfera da câmara de armazenagem. Algumas vezes também é necessária a eliminação do etileno, que é o hormônio responsável pelo amadurecimento e é produzido naturalmente pelas frutas.

## **5.7 Senescência**

A senescência é um conjunto de processos fisiológicos que conduzem ao envelhecimento e a morte da planta. Este é um processo natural, inevitável e irreversível que ocorre em todos os vegetais onde, a partir de certo ponto da vida desses, a produção realizada pela fotossíntese é insuficiente para satisfazer as necessidades da planta.

Os sintomas da senescência são o declínio do vigor (redução do crescimento em altura e diâmetro, menor crescimento da raiz, aumento da quantidade de ramos mortos) e menor resistência ao ataque de pragas e doenças.

Além do processo natural de senescência ao final da vida das plantas, nas frutíferas caducifólias ocorrem ciclos anuais de senescência de folhas, além da senescência de frutos e flores não fecundadas, sendo importante compreender esse ciclo para manejarmos de forma adequada nosso pomar.

A perda de folhas ocorre naturalmente, pois elas envelhecem e sofrem com as alterações ambientais, principalmente o frio e o estresse hídrico. Ela também pode ser acelerada pelo ataque de pragas e doenças, que provocam alterações no balanço hormonal. É de nosso interesse atrasar ao máximo essa perda, pois quanto mais tempo tivermos folhas verdes, mais fotossíntese e mais reserva será acumulada, o que proporcionará maior produtividade. Nesse caso, o primeiro sintoma é um amarelecimento da folha pela degradação da clorofila e consequente perda da capacidade de fotossíntese.

Quanto às flores, como elas são produzidas em quantidade maior do que a planta poderia suportar de frutos, é natural que a maior parte delas seja perdida. No entanto, em alguns casos, a aplicação de hormônios pode ser interessante para aumentar a chance de que ocorra polinização suficiente e tenhamos uma produtividade de frutos satisfatória.

O mecanismo de senescência de frutos, principalmente de frutos pequenos, deve-se a tentativa da planta de equilibrar a demanda dos novos frutos com a capacidade produtiva existente. No caso da produção comercial, muitas

vezes essa queda não é suficiente para obtermos frutos grandes e de valor comercial. Assim, nossa atuação se dará aumentando essa perda, seja pela ação de hormônios artificiais, aumentando a senescência natural ou pelo raleio manual.

A senescência pode ser induzida pelos seguintes fatores:

- Baixa luminosidade.
- Baixa temperatura.
- Baixa disponibilidade de nutrientes.
- Solos com salinidade e com disponibilidade de elementos tóxicos.
- Déficit hídrico.
- Ataques de pragas e doenças.

É importante ressaltar que a senescência pode ser retardada através do controle hormonal, ou seja, a aplicação de hormônios vegetais em determinadas fases do desenvolvimento da planta. Maiores detalhes serão discutidos no próximo item deste material didático.

## **5.8 Controle hormonal do desenvolvimento vegetal**

Relembrando o que já trabalhamos até agora, o desenvolvimento vegetal é controlado por fatores ambientais, genéticos e hormonais. Neste sentido, entende-se que os fatores ambientais influenciam na produção de hormônios e estes, por sua vez, atuam sobre a expressão da genética da planta.

Todas as fases de desenvolvimento vegetal que estudamos são comandadas pelos hormônios vegetais. Eles atuam na promoção e, algumas vezes, na inibição de determinados processos fisiológicos. Todos os hormônios são compostos orgânicos produzidos naturalmente pelas plantas, mas também existem formas de sintetizá-los artificialmente, sendo chamados de fitorreguladores. Podemos destacar os seguintes grupos de hormônios vegetais: auxinas, giberelinas, citocininas, ácido abscísico e etileno.

### 5.8.1 Auxinas

As auxinas são os hormônios conhecidos como reguladores do crescimento, tendo como o mais encontrado nas plantas o ácido indol-acético (AIA) e o ácido indol-butírico (AIB). Sua principal função é promover o crescimento do caule, folhas e raiz. Além disso, elas atuam no processo de dominância apical, desenvolvimento da flor, crescimento de frutos e abscisão de folhas e frutos.

O principal local de produção das auxinas são os meristemas (tecidos jovens em divisão), sendo a partir daí translocados para os demais tecidos.

As auxinas apresentam atuação destacada nos seguintes processos:

- a) Crescimento de tecidos** – as auxinas atuam no crescimento do caule, promovendo aumento do tamanho das células, no crescimento das folhas, principalmente as mais novas e no crescimento de frutos, principalmente pela sua produção nas sementes. A evidência de sua atuação verifica-se pela alta concentração desse hormônio nos tecidos quando estes estão em pleno crescimento.
- b) Dominância apical** – a presença de auxina na ponta dos ramos faz com que o crescimento ocorra apenas nesse sentido. Assim, quando podamos a haste principal de uma frutífera, essa quantidade de auxina se divide nas demais gemas, que irão crescer, fazendo com que surjam vários brotos laterais, que antes não ocorriam pela dominância da gema apical.
- c) Abscisão (queda) de folhas e frutos** – a presença de auxina inibe a abscisão (queda) de folhas e frutos. Quando esses envelhecem ocorre redução na produção deste fitohormônio, o que causa a queda das folhas. Já no caso dos frutos, em baixas concentrações, a auxina favorece a fixação. Por outro lado, quando em altas concentrações, atua promovendo a queda dos mesmos. Assim, podemos utilizar a aplicação de auxina em altas doses como método de raleio químico de frutíferas, facilitando essa prática de manejo ou utilizar sua aplicação em baixas doses, para manter os frutos na planta, como forma de garantir a produtividade. Esta prática é muito utilizada na produção de maçãs.
- d) Enraizamento de estacas** – as auxinas também atuam promovendo a formação de raízes em estacas lenhosas, sendo, portanto uma alternativa para auxiliar na propagação assexuada de frutíferas, através da estaquia.

### 5.8.2 Giberelinas

As giberelinas apresentam algumas funções semelhantes às auxinas. O principal representante deste grupo é o ácido giberélico. Os principais órgãos responsáveis por sua produção são as folhas novas.

As giberelinas apresentam atuação destacada nos seguintes processos:

- a) Quebra de dormência** – as giberelinas atuam, principalmente, substituindo os fatores ambientais responsáveis pela quebra de dormência, como o frio ou o fotoperíodo. Assim, aplicações de giberelina levam determinadas espécies a brotar e florescer, mesmo que as condições ambientais necessárias não tenham ocorrido. As giberelinas também atuam quebrando a dormência de sementes.
- b) Desenvolvimento de frutos** – as giberelinas atuam induzindo o crescimento de frutos partenocárpicos, quando não ocorrem a fecundação e a formação da semente. Por exemplo, para uvas sem sementes ou para aumentar o tamanho de frutos de morango.
- c) Maturação de frutos** – a aplicação de giberelinas atrasa a maturação de frutos, podendo ser utilizada para escalonar a produção ou para manter os frutos cítricos, como o limão, verdes por mais tempo.
- d) Crescimento do caule** – as giberelinas atuam estimulando o crescimento do caule. Desta forma, existem inibidores da síntese de giberelinas que são aplicados nas plantas frutíferas para reduzir o crescimento vegetativo. Com isso, há ramos mais curtos, o que facilita a poda e melhora a aplicação de tratamentos fitossanitários.

### 5.8.3 Citocininas

As citocininas são responsáveis pela divisão celular, que é a primeira fase do crescimento vegetal. O principal local de produção das citocininas é nas raízes. Sua atuação ocorre nos processos de divisão, alongamento e diferenciação celular. Além disso, atuam retardando a senescência e promovendo a germinação de sementes. Algumas aplicações das citocininas na agricultura são para aumentar a brotação em cana-de-açúcar, retardar a queda de folhas (senescência), quebrar a dormência das sementes de algumas espécies, etc.

### 5.8.4 Ácido abscísico

O ácido abscísico (ABA) é um hormônio que se caracteriza por inibir ou retardar o crescimento e/ou desenvolvimento da planta. Ele pode atuar induzindo a

planta à dormência; provocando a queda de folhas, flores e frutos e inibindo a germinação de muitas sementes. Além disso, o ABA estimula o fechamento de estômatos em condições de déficit hídrico.

Uma informação importante é que o ABA geralmente tem sua concentração aumentada na planta submetida à condição de estresse.

### **5.8.5 Etileno**

O etileno é o único hormônio gasoso e é conhecido como hormônio do amadurecimento, pois sua atuação principal é no estímulo ao amadurecimento dos frutos. Ele é produzido em quase todas as células da planta, ou seja, das raízes, caule, folhas, flores e frutos. Ocorre um estímulo na produção de etileno em locais da planta que sofreram danos mecânicos; em plantas submetidas a condições de estresse; em temperaturas altas (próximas a 30°C) e em condições de alta concentração de O<sub>2</sub>. De maneira geral, sua produção é aumentada por outros hormônios.

Este hormônio atua também na quebra de dormência de gemas e sementes; na inibição do crescimento da raiz, caule e folha e promove a senescência e abscisão de folhas e flores.

Sua aplicação prática na fruticultura pode ser de diferentes formas. Na conservação de frutos busca-se eliminá-lo, para retardar o amadurecimento. Por outro lado, ele pode ser aplicado para uniformizar a maturação e permitir uma única colheita ou acelerar a maturação de frutos colhidos antes do tempo. Um exemplo de bloqueio da ação do etileno acontece na conservação de frutos em câmaras frias, com o uso do 1-MCP (1-Metilciclopropeno – nome comercial: Smart Fresh e Ethylbloc). Este composto é aplicado em frutos, como a maçã e kiwi, para atrasar o amadurecimento e retardar a deterioração. Sua ação impede que o etileno se ligue aos receptores na fruta; assim o amadurecimento é retardado. Seu efeito é temporário, pois com o tempo, o etileno terá acesso a novos receptores sintetizados pela fruta e atuará promovendo o amadurecimento do fruto, mesmo que ele tenha sido tratado com o 1-MCP. Outra forma de manejo do etileno é pela sua remoção do ar de câmaras de armazenamento, através da sua degradação em queimadores catalíticos ou pela absorção por filtros contendo permanganato de potássio.

### Quadro 5.2: Resumo da ação dos hormônios vegetais

Hormônio	Ação
Auxina	Crescimento de tecidos (caule, folhas e frutos); dominância apical da planta; queda de folhas e frutos; enraizamento de estacas.
Giberelina	Crescimento vegetativo, quebra de dormência; desenvolvimento de frutos partenocárpicos; retarda maturação de frutos.
Citocinina	Estimula a divisão, alongamento e diferenciação celular; retarda a senescência; estimula a germinação de sementes.
Ácido abscísico	Inibe/retarda o crescimento e o desenvolvimento; promove a dormência; provoca a abscisão de folhas, flores e frutos; inibe a germinação de sementes; estimula o fechamento de estômatos.
Etileno	Promove o amadurecimento de frutos; atua na quebra de dormência de gemas e sementes; inibe o crescimento da raiz, caule e folha; promove a senescência e abscisão de folhas e flores.

Fonte: Autores

## 5.9 Dormência de plantas frutíferas

A dormência é um período de inibição temporária do crescimento e desenvolvimento vegetal, sendo caracterizada, basicamente, pela redução da atividade metabólica, regulada por fitohormônios e influenciada por fatores externos (condições ambientais).

Em relação aos fatores ambientais, baixas temperaturas constituem importante fator ambiental que leva a planta a entrar em dormência. Após a planta entrar em dormência, a ação contínua de baixas temperaturas em determinado período levará a planta a sair da dormência. Neste sentido, as baixas temperaturas possuem duas funções: induzir e terminar a dormência. Após o término da dormência, a planta inicia nova brotação.

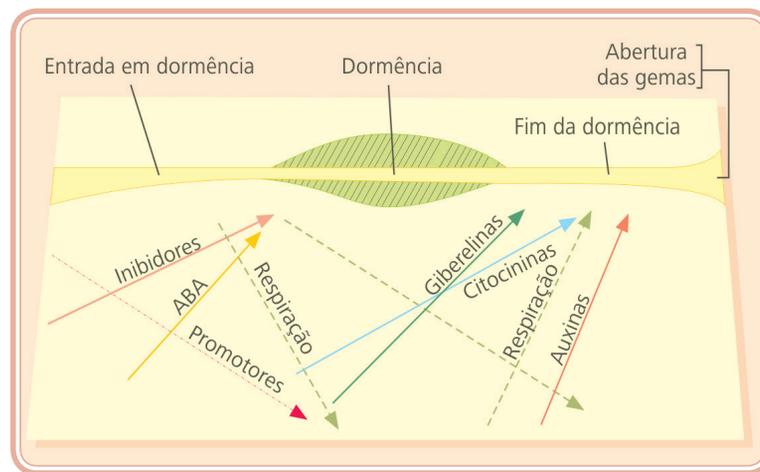
De maneira geral, a medida das necessidades de frio está relacionada com temperaturas abaixo de 7,2°C, sendo este considerado o valor referencial. Temperaturas menores que esta, bem como frio abaixo de 0°C, não aumentam a eficiência de acúmulo de horas de frio. Além disso, é importante ressaltar que temperaturas acima de 21°C podem anular parte do frio acumulado. Sendo assim, o importante para a dormência é a regularidade com que as temperaturas baixas ocorrem. Outros fatores ambientais, além da temperatura, que poderão influenciar na dormência, são a luminosidade e a precipitação pluviométrica.

A entrada e a saída da dormência também estão relacionadas com os fitohormônios. Enquanto o ácido abscísico (ABA) induz à dormência, de maneira geral as giberelinas promovem a quebra da dormência.

A quebra natural da dormência das frutíferas de clima temperado envolve fatores internos (fitohormônios) e externos (temperatura, fotoperíodo e precipitação pluviométrica). O acúmulo de horas de frio durante o inverno é fundamental para que essas espécies possam brotar e florescer normalmente.

A superação ou quebra da dormência pode ser promovida através da utilização de produtos como o óleo mineral e a cianamida hidrogenada, comercializada com o nome de Dormex.

Na Figura 5.4 são apresentadas as relações que ocorrem por ocasião da entrada e saída do fenômeno da dormência em plantas frutíferas.



**Figura 5.4: Representação esquemática das mudanças de reguladores vegetais que ocorrem durante o fenômeno da dormência**

Fonte: CTISM, adaptado de Lavee, 1973

## Resumo

Nessa aula, estudamos os aspectos gerais que envolvem o crescimento e o desenvolvimento dos vegetais, dando ênfase às etapas do desenvolvimento vegetal (germinação, crescimento/desenvolvimento, floração, frutificação e senescência), relacionando-as com os processos fisiológicos que ocorrem em cada etapa. Após isso, estudamos os hormônios vegetais (auxinas, giberelinas, citocininas, ácido abscísico e etileno) e vimos como é possível controlar o desenvolvimento dos vegetais através dos hormônios. Em todos os itens buscamos relacionar os conceitos com a aplicação prática na fruticultura, envolvendo todas as etapas, da produção ao armazenamento de frutos.

## Atividades de aprendizagem



1. Diferencie crescimento de desenvolvimento.
2. Quais são as etapas do desenvolvimento vegetal? Comente sobre cada uma delas.
3. Qual a importância da respiração para o manejo pós-colheita de frutos climatéricos e não climatéricos?
4. Faça um comentário sobre cada um dos principais hormônios vegetais, relacionando com aplicações práticas em fruticultura.

## Referências

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 394 p.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**: o estudo do que está por trás do que se vê. 3. ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2006. 751 p.

LAVEE, S. Dormancy and bud break in warm climates: considerations of growth-regulator involvement. **Acta Horticulturae**, Hague, v. 34, p. 225-234, 1973.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 674 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manale, 1987. 188 p.

SUTCLIFE, J. F. **As plantas e a água**. São Paulo: EPU/EDUSP, 1980. 126 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

## Currículo do professor-autor

O professor **Luciano Zucuni Pes** leciona as disciplinas de Solos e Culturas Anuais no Curso Técnico em Agropecuária do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, bem como a disciplina de Operações de Máquinas em Agricultura de Precisão, no Mestrado Profissionalizante em Agricultura de Precisão, da mesma instituição. Formou-se Técnico Agrícola, com habilitação em Agropecuária, pelo Colégio Agrícola de Santa Maria (atual Colégio Politécnico), graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria, local onde realizou o Mestrado em Engenharia Agrícola e o Doutorado em Ciência do Solo. Possui diversos trabalhos de pesquisa publicados nas áreas de Solos e Agricultura de Precisão. Orienta discentes de Iniciação Científica e no Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão. Atualmente, é chefe do Setor Agropecuário do Colégio Politécnico.



**Marlon Hilgert Arenhardt** é mestrando em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, na área de Microbiologia do Solo, sendo bolsista do projeto Xisto Agrícola, no convênio EMBRAPA/CPCAT/PETROBRAS. Formou-se Técnico em Agropecuária na Escola Técnica Estadual Cruzeiro do Sul, em São Luiz Gonzaga, e Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Santa Maria. Foi bolsista do Programa de Educação Tutorial de 2010 a 2012, atuando em diversas atividades interdisciplinares de Ensino, Pesquisa e Extensão.



