



GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ  
*Secretaria da Educação*

ESCOLA ESTADUAL DE  
EDUCAÇÃO PROFISSIONAL - EEEP  
ENSINO MÉDIO INTEGRADO À EDUCAÇÃO PROFISSIONAL

CURSO TÉCNICO EM MÓVEIS

BOTÂNICA, ANATOMIA E  
SECAGEM DA MADEIRA





**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria da Educação*

**Governador**

Cid Ferreira Gomes

**Vice Governador**

Domingos Gomes de Aguiar Filho

**Secretária da Educação**

Maria Izolda Cella de Arruda Coelho

**Secretário Adjunto**

Maurício Holanda Maia

**Secretário Executivo**

Antônio Idilvan de Lima Alencar

**Assessora Institucional do Gabinete da Seduc**

Cristiane Carvalho Holanda

**Coordenadora da Educação Profissional – SEDUC**

Andréa Araújo Rocha



## SUMÁRIO

<b>1. BOTÂNICA</b> .....	4
1.1 Briófitas .....	6
1.3 Gimnospermas .....	12
1.4 Angiospermas .....	15
<b>2. CÉLULA VEGETAL</b> .....	20
1.5 Parede celular.....	20
1.6 Mitochondrias .....	21
1.7 Peroxisomos.....	22
1.8 Membrana plasmática .....	23
1.9 Plasmodesmos.....	23
1.10 Plastos.....	24
1.11 Citoplasma.....	26
1.12 Vacúolos.....	27
1.13 Ribossomos .....	28
1.14 Retículo endoplasmático .....	28
1.15 Núcleo .....	29
1.16 Complexo de Golgi .....	30
<b>3. HISTOLOGIA VEGETAL</b> .....	30
3.1 Meristemas.....	30
<b>3.1.1 Meristemas apicais ou primários</b> .....	30
3.1.2 <i>Meristemas laterais ou secundários</i> .....	32
<b>3.2 Tecidos Adultos</b> .....	33
3.2.1 <i>Tecidos de Revestimento</i> .....	33
3.2.2 <i>Tecidos de Sustentação</i> .....	36
3.2.3 <i>Tecidos de Condução</i> .....	37
3.2.4 <i>Tecidos de Síntese e Armazenamento (Parênquima)</i> .....	38
3.2.5 <i>Tecidos de Secreção</i> .....	41
<b>4. ÓRGÃOS</b> .....	42
<b>4.1 Raiz</b> .....	42
4.2 Caule .....	50
4.3 Folha .....	61
4.4 Flor.....	65
4.5 Fruto.....	70
<b>5. ANATOMIA DA MADEIRA</b> .....	88

5.1.1	<i>Córtex (L: córtex = casca)</i> .....	90
5.1.2	<i>Alburno (Latin alburnu = branco)</i> .....	91
5.1.3	<i>Cerne</i> .....	92
5.1.4	<i>Medula</i> .....	98
5.1.5	<i>Anéis de crescimento</i> .....	98
5.1.6	<i>Câmbio</i> .....	101
<b>6.</b>	<b>FISIOLOGIA DA ÁRVORE</b> .....	102
6.1	Condução de água nas árvores .....	102
6.2	Crescimento .....	102
6.3	Suporte .....	103
6.4	Armazenamento de substâncias nutritivas .....	103
<b>7.</b>	<b>PLANOS ANATÔMICOS DE CORTE</b> .....	106
<b>8.</b>	<b>PROPRIEDADES ORGANOLÉPTICAS</b> .....	107
8.1	Cor .....	107
8.2	Odor .....	107
8.3	Resistência ao corte manual .....	108
8.4	Sabor .....	108
8.5	Peso específico .....	108
8.6	Grã .....	108
8.7	Figura .....	110
8.8	Brilho .....	110
8.9	Textura .....	111
<b>9.</b>	<b>DEFEITOS DA MADEIRA</b> .....	112
9.1	Tipos de defeitos .....	112
9.1.1	Defeitos de secagem .....	112
9.1.2	Defeitos na estrutura anatômica .....	117
b)	<i>Lenho de reação</i> .....	118
c)	<i>Lenho de compressão</i> .....	119
d)	<i>Lenho de tração</i> .....	121
9.1.3	Danos causados por esforços mecânicos .....	123
9.1.4	Outros defeitos .....	126
<b>10.</b>	<b>SECAGEM DA MADEIRA</b> .....	136
10.1	A água e a madeira .....	136
10.2	Definição, importância e razões para secar a madeira .....	137
10.3	Determinação da umidade da madeira .....	139
10.4	Secagem da madeira ao ar livre .....	142
10.5	Secagem convencional da madeira .....	145

10.6	Ponto de saturação das fibras .....	147
10.7	Teor de umidade de equilíbrio (TUE) .....	148
10.8	Programas de secagem .....	150
10.8.1	<i>Tipos de programas de secagem</i> .....	150
10.8.2	Controle de qualidade .....	162
10.8.3	Armazenamento da madeira .....	164

## SEÇÃO I: BOTÂNICA

### 1. BOTÂNICA

A esta altura você já deve ter ouvido que os seres vivos são divididos em grupos. A divisão, classificação e características destes têm mudado com os anos devido aos avanços nas pesquisas e descobertas da ciência.

A maioria dos organismos macroscópicos (vistos a olho nu) pode ser facilmente classificada no Reino Vegetal ou no Reino Animal. Mas o que dizer os seres microscópicos, de estruturas pequeníssimas e tão peculiares? Assim os cientistas hoje utilizam a classificação em quatro ou cinco Reinos:

- ✓ Reino Animalia (Animais)
- ✓ Reino Fungi (Fungos)
- ✓ Reino Protista (Protozoários)
- ✓ Reino Monera (Bactérias e algumas algas)
- ✓ Reino Plantae (Plantas)

Este último é objeto do nosso estudo. Mas você já sabe algo sobre o Reino Plantae? O Reino Vegetal, conhecido cientificamente como Plantae, é formado por aproximadamente 300.000 espécies conhecidas, sendo que, entre elas, encontram-se muitos tipos de ervas, arbustos, árvores, plantas microscópicas, etc.

Em geral são autotróficos cujas células incluem uma ou mais organelas especializadas na produção de material orgânico a partir de material inorgânico e da energia solar, os cloroplastos. Suas células possuem uma parede celular formada por celulose.

Muitas espécies de plantas que não são capazes de produzir seu próprio alimento, por esta razão, elas agem de forma parasita, extraindo de outras plantas os nutrientes necessários para sua sobrevivência.

*Agora pareceu fácil identificar esses organismos né? Não se engane!*



Lineu definiu o seu Reino Plantae incluindo todos os tipos de plantas "superiores", as algas e os fungos. Depois de se descobrir que nem todas eram verdes, passou-se a definir planta como qualquer ser vivo sem movimentos voluntários.

Já Aristóteles dividia todos os seres vivos em plantas (sem capacidade motora ou órgãos sensitivos), e em animais (classificação que foi usada por muito tempo). Mas o que dizer das sensitivas ou dormideira? É aquela plantinha que fecha os folíolos ao mínimo toque ou ausência de luz. Ela também não é um vegetal? E tem órgãos sensitivos não é?

Hoje é muito utilizada a classificação conhecida como cladística, a qual relaciona as relações evolutivas entre organismos. Assim, o taxon (ou clado) deve ser monofilético, isto é, todas as espécies do grupo devem possuir um antepassado comum. *Tá viajando? Então vamos continuar para ver se você compreende...*

Segundo esta classificação, o Reino Plantae é um grupo monofilético (mesmo antepassado) com as características comuns como organismos eucarióticos que fazem fotossíntese usando clorofilas a e b e armazenam seus produtos fotossintéticos. Outra particularidade do grupo é possuir parede celular constituída principalmente por celulose. *Agora ficou mais claro né!*

Ainda neste contexto, as plantas estão divididas em dois grandes grupos:

- ✓ **Criptógamas (cripto=escondido e gamae=gametas)** são plantas que possuem estruturas produtoras de gametas pouco evidentes como os musgos e samambaias.
- ✓ **Fanerógamas (fânero=visível)** são plantas que possuem as estruturas produtoras de gametas bem visíveis, além disso desenvolvem sementes e por isso são chamadas espermatófitas como pinheiros, mangueiras, roseiras, etc.

As criptógamas ainda dividem-se em:

- **Briófitas** – Não possuem vasos especializados para o transporte de seiva, sendo plantas de pequeno porte. Ex.: musgos e hepáticas.
- **Pteridófitas** – Estas possuem vasos condutores de seiva. Ex.: samambaias e avencas.

## 1.1 Briófitas

Briófitas (do grego *bryon*: 'musgo'; e *phyton*: 'planta') são plantas pequenas, geralmente com alguns poucos centímetros de altura, que vivem preferencialmente em locais úmidos e sombreados.

O corpo do musgo é formado basicamente de três partes ou estruturas:

- ✓ **Rizóides** - filamentos que fixam a planta no ambiente em que ela vive e absorvem a água e os sais minerais disponíveis nesse ambiente;
- ✓ **Cauloide** - pequena haste de onde partem os filóides;
- ✓ **Filóides** - estruturas clorofiladas e capazes de fazer fotossíntese.

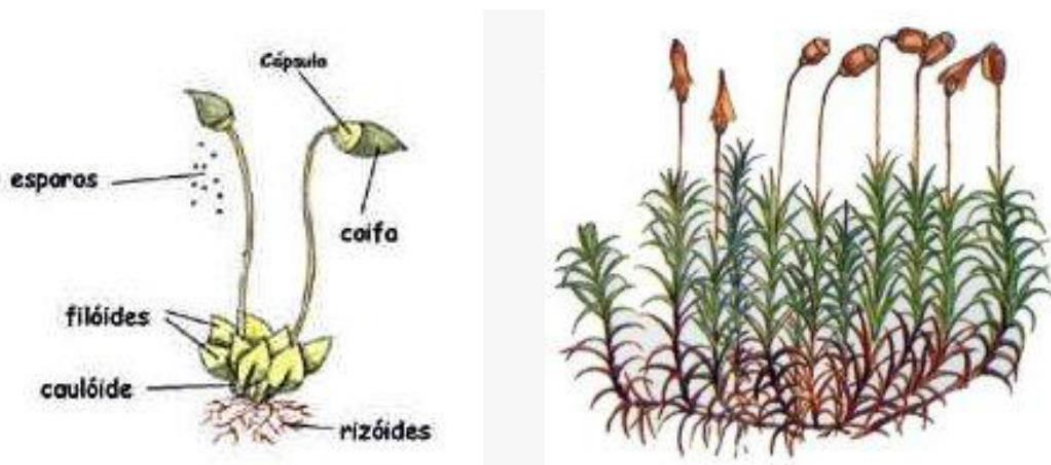


Figura 1 - Estrutura do corpo do musgo.

### Estrutura das briófitas

Essas estruturas são chamadas de rizóides, caulóides e filóides porque não têm a mesma organização de raízes, caules e folhas das plantas que estão presentes a partir das pteridófitas. Faltam-lhes, por exemplo, vasos condutores especializados no transporte de nutrientes, como a água. Na organização das raízes, caules e folhas verdadeiras verifica-se a presença de vasos condutores de nutrientes.

Aliás, uma das características mais marcantes das briófitas é a **ausência de vasos condutores** de nutrientes. Por isso, a água absorvida do ambiente é transportada nessas plantas de célula para célula, ao longo do corpo do vegetal. Esse tipo de transporte é relativamente lento e limita o desenvolvimento de plantas de grande porte. Assim, as briófitas são sempre pequenas, baixas.

*Acompanhe o raciocínio: se uma planta terrestre de grande porte não possuísse vasos condutores, a água demoraria muito para chegar até as folhas. Nesse caso, especialmente nos dias quentes - quando as folhas geralmente transpiram muito e perdem grande quantidade de água para o meio ambiente -, elas ficariam desidratadas (secariam) e a planta morreria. Assim, toda a planta alta possui vasos condutores.*

Mas nem todas as plantas que possuem vasos condutores são altas; o capim, por exemplo, possui vasos condutores e possui pequeno porte. Entretanto, uma coisa é certa: se a planta terrestre não apresenta vasos condutores, ela terá pequeno porte e viverá em ambientes preferencialmente úmidos e sombreados.

Musgos e hepáticas são os principais representantes das briófitas. O nome hepáticas vem do grego *hepathos*, que significa 'fígado'; essas plantas são assim chamadas porque o corpo delas lembra a forma de um fígado.

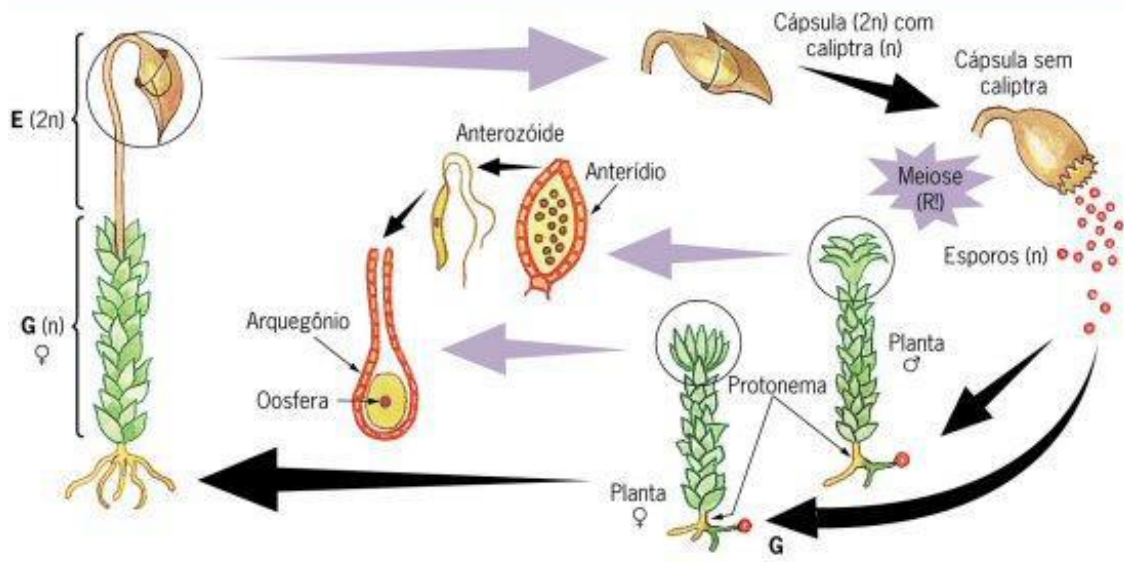


**Figura 2** - Imagem da planta hepática.

Os musgos são plantas eretas; as hepáticas crescem "deitadas" no solo. Algumas briófitas vivem em água doce, mas não se conhece nenhuma espécie marinha.

## Reprodução das briófitas

Para explicar como as briófitas se reproduzem, tomaremos como modelo o musgo mimoso. Observe o esquema:



**Figura 3** - Ciclo reprodutor de um musgo.

Os musgos verdes que vemos num solo úmido, por exemplo, são plantas sexuadas que representam a fase chamada gametófito, isto é, a fase produtora de gametas.

Nas briófitas, os gametófitos em geral têm sexos separados. Em certas épocas, os gametófitos produzem uma pequena estrutura, geralmente na região apical - onde terminam os filóides. Ali os gametas são produzidos. Os gametófitos masculinos produzem gametas móveis, com flagelos: os anterozóides. Já os gametófitos femininos produzem gametas imóveis, chamados oosferas. Uma vez produzidos na planta masculina, os anterozóides podem ser levados até uma planta feminina com pingos de água da chuva que caem e respingam. Na planta feminina, os anterozóides nadam em direção à oosfera; da união entre um anterozóide e uma oosfera surge o zigoto, que se desenvolve e forma um embrião sobre a planta feminina. Em seguida, o embrião se desenvolve e origina uma fase assexuada chamada esporófito, isto é, a fase produtora de esporos.

No esporófito possui uma haste e uma cápsula. No interior da cápsula formam-se os esporos. Quando maduros, os esporos são liberados e podem germinar no solo úmido.

Cada esporo, então, pode se desenvolver e originar um novo musgo verde - a fase sexuada chamada gametófito.

Como você pode perceber, as briófitas dependem da água para a reprodução, pois os anterozóides precisam dela para se deslocar e alcançar a oosfera.

O musgo verde, clorofilado, constitui, como vimos, a fase denominada gametófito, considerada duradoura porque o musgo se mantém vivo após a produção de gametas. Já a fase denominada esporófito não tem clorofila; ela é nutrida pela planta feminina sobre a qual cresce. O esporófito é considerado uma fase passageira porque morre logo após produzir esporos.

## 1.2 Pteridófitas

Samambaias, avencas, xaxins e cavalinhas são alguns dos exemplos mais conhecidos de plantas do grupo das pteridófitas. A palavra pteridófito vem do grego *pteridon*, que significa 'feto'; mais *phyton*, 'planta'. Observe como as folhas em brotamento apresentam uma forma que lembra a posição de um feto humano no útero materno. Antes da invenção das esponjas de aço e de outros produtos, pteridófitas como a "cavalinha", cujo aspecto lembra a cauda de um cavalo e tem folhas muito ásperas, foram muito utilizadas como instrumento de limpeza. No Brasil, os brotos da samambaia-das-roças ou feto-águia, conhecido como alimento na forma de guisados.



**Figura 4** - Cavalinha, pteridófito do gênero *Equisetum*.

Atualmente, a importância das pteridófitas para o interesse humano restringe-se, principalmente, ao seu valor ornamental. É comum casas e jardins serem embelezados com samambaias e avencas, entre outros exemplos.

Ao longo da história evolutiva da Terra, as pteridófitas foram os primeiros vegetais a apresentar um sistema de vasos condutores de nutrientes. Isso possibilitou um transporte mais rápido de água pelo corpo vegetal e favoreceu o surgimento de plantas de porte elevado. Além disso, os vasos condutores representam uma das aquisições que contribuíram para a adaptação dessas plantas a ambientes terrestres.



**Figura 5** - Imagem ilustrativa de uma Samambaia (esquerda) e um Xaxim (direita).

O corpo das pteridófitas possui raiz, caule e folha. O caule das atuais pteridófitas é em geral subterrâneo, com desenvolvimento horizontal. Mas, em algumas pteridófitas, como os xaxins, o caule é aéreo. Em geral, cada folha dessas plantas divide-se em muitas partes menores chamadas folíolos.

A maioria das pteridófitas é terrestre e, como as briófitas, vive preferencialmente em locais úmidos e sombreados.

*Sugestão de atividade: Pesquisar os tipos de pteridófitas mais conhecidas.*

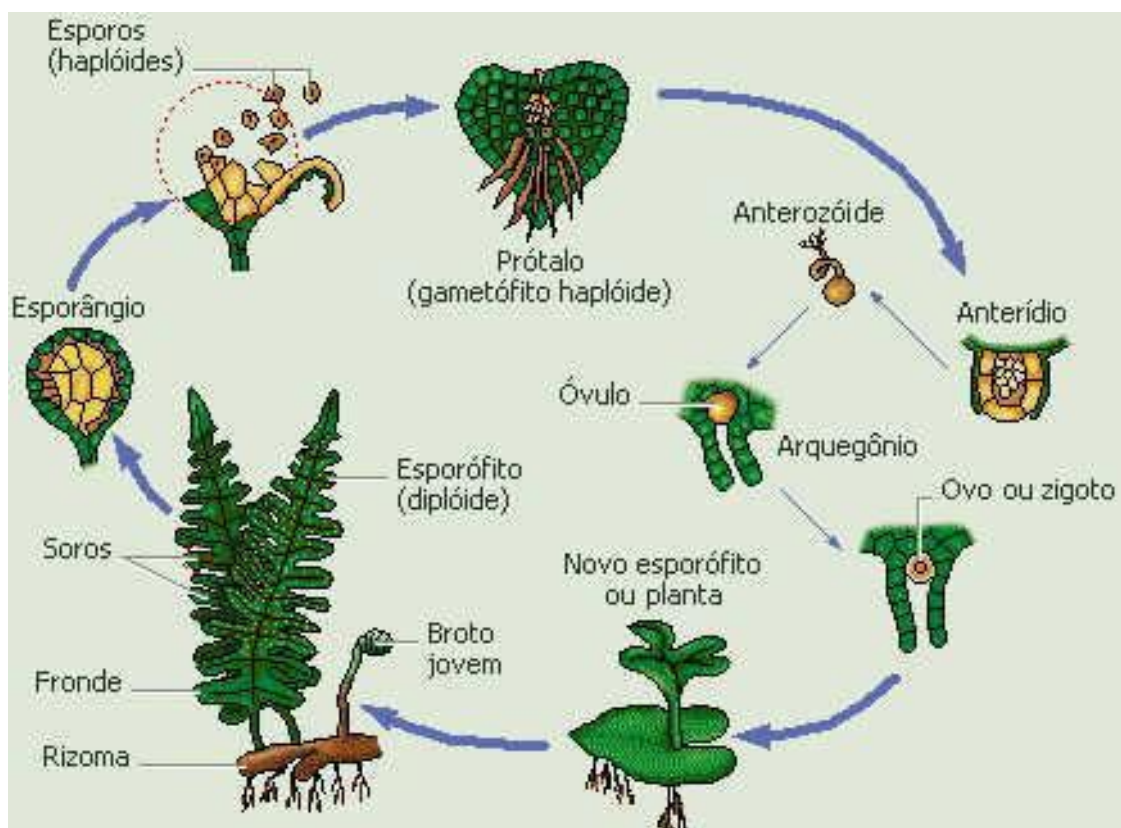
### **Reprodução das pteridófitas - Ciclo haplodiplobionte**

Da mesma maneira que as briófitas, as pteridófitas se reproduzem num ciclo que apresenta uma fase sexuada e outra assexuada. Para descrever a reprodução nas

pteridófitas, vamos tomar como exemplo uma samambaias comumente cultivadas (*Polypodium vulgare*).

A samambaia é uma planta assexuada produtora de esporos. Por isso, ela representa a fase chamada esporófito.

Em certas épocas, na superfície inferior das folhas das samambaias formam-se pontinhos escuros chamados soros. O surgimento dos soros indica que a samambaias está em época de reprodução - em cada soro são produzidos inúmeros esporos. Quando os esporos amadurecem, os soros se abrem. Então os esporos caem no solo úmido; cada esporo pode germinar e originar um protalo, aquela plantinha em forma de coração mostrada no esquema. O protalo é uma planta sexuada, produtora de gametas; por isso, ele representa a fase chamada de gametófito.



**Figura 6** - Ciclo reprodutivo das samambaias.

O protalo da samambaias contém estruturas onde se formam anterozoides e oosferas. No interior do protalo existe água em quantidade suficiente para que o anterozóide se desloque em meio líquido e "nade" em direção à oosfera, fecundando-a. Surge então o zigoto, que se desenvolve e forma o embrião. O embrião, por sua vez, se

desenvolve e forma uma nova samambaia, isto é, um novo esporófito. Quando adulta, a samambaia forma soros, iniciando novo ciclo de reprodução.

Como você pode perceber, tanto as briófitas como as pteridófitas dependem da água para a fecundação. Mas nas briófitas, o gametófito é a fase duradoura e o esporófito, a fase passageira. Nas pteridófitas ocorre o contrário: o gametófito é passageiro - morre após a produção de gametas e a ocorrência da fecundação - e o esporófito é duradouro, pois se mantém vivo após a produção de esporos.

### 1.3 Gimnospermas

As gimnospermas (do grego *Gymnos*: 'nu'; e *sperma*: 'semente') são plantas terrestres que vivem, preferencialmente, em ambientes de clima frio ou temperado. Nesse grupo incluem-se plantas como pinheiros, as sequoias e os ciprestes.

As gimnospermas possuem raízes, caule e folhas. Possuem também ramos reprodutivos com folhas modificadas chamadas estróbilos. Em muitas gimnospermas, como os pinheiros e as sequoias, os estróbilos são bem desenvolvidos e conhecidos como cones - o que lhes confere a classificação no grupo das coníferas.

Florestas de coníferas de regiões temperadas são ricas em árvores do grupo das gimnospermas. No Brasil, destaca-se a Mata de Araucárias do Sul do país.

Há produção de sementes: elas se originam nos estróbilos femininos. No entanto, as gimnospermas não produzem frutos. Suas sementes são "nuas", ou seja, não ficam encerradas em frutos.





**Figura 7** - Araucárias.

### **Reprodução das gimnospermas - Ciclo haplodiplobionte na Coníferas**

Vamos usar o pinheiro-do-paraná (*Araucária angustifolia*) como modelo para explicar a reprodução das gimnospermas. Nessa planta os sexos são separados: a que possui estróbilos masculinos não possuem estróbilos femininos e vice-versa. Em outras gimnospermas, os dois tipos de estróbilos podem ocorrer numa mesma planta.

Existem dois tipos de estróbilos, um grande e outro pequeno e, como consequência, há dois tipos de esporângios e de esporos. Nos estróbilos maiores, considerados femininos, cada esporângio, chamado de óvulo, produz por meiose um megásporo (ou macrósporo). O megásporo fica retido no esporângio, não é liberado, como ocorre com os esporos das pteridófitas. Desenvolvendo-se no interior do óvulo o megásporo origina um gametófito feminino. Nesse gametófito surge arquegônios e, no interior de cada um deles, diferencia-se uma oosfera (que é o gameta feminino).

Nos estróbilos menores, considerados masculinos, cada esporângio - também chamado de saco polínico - produz por meiose, numerosos micrósporos. Desenvolvendo-se no interior do saco polínico, cada micrósporo origina um gametófito masculino, também chamado de grão de pólen (ou gametófito masculino jovem). A ruptura dos sacos polínicos libera inúmeros grãos de pólen, leves, dotados de duas expansões laterais, aladas. Carregados pelo vento, podem atingir os óvulos que se encontram nos estróbilos femininos. O processo de transporte de grão de pólen (não se esqueça que eles

representam os gametófitos masculinos) constitui a polinização, que, nesse caso, ocorre pelo vento.



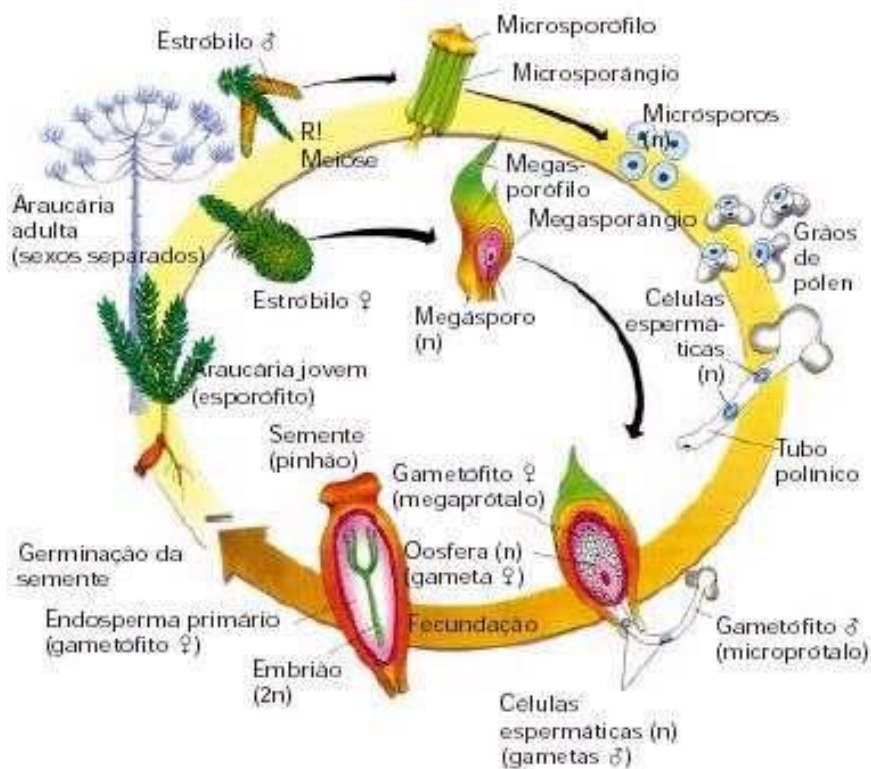
**Figura 8** - Estróbilos.

Cada grão de pólen, aderido a uma abertura existente no óvulo, inicia um processo de crescimento que culmina com a formação de um tubo polínico, correspondente a um grão de pólen adulto (gametófito masculino adulto). No interior do tubo polínico existe dois núcleos gaméticos haploides, correspondentes aos anterozoides das pteridófitas. Apenas um dos núcleos gaméticos fecunda a oosfera, gerando o zigoto (o outro núcleo gamético degenera). Dividindo-se repetidamente por mitose, o zigoto acaba originando um embrião, que mergulha no tecido materno correspondente ao gametófito feminino.

Após a ocorrência da fecundação e da formação do embrião, o óvulo converte-se em semente, que é uma estrutura com três componentes: uma casa (também chamada de integumento), um embrião e um tecido materno haploide, que passa a ser denominado de endosperma (ou endosperma primário), por acumular substâncias de reserva que serão utilizadas pelo embrião durante a sua germinação. A dispersão das sementes, em condições naturais, pode ocorrer pelo vento, no caso do pinheiro comum, ou com ajuda de animais (gralhas-azuis ou esquilos) como acontece com os pinhões do pinheiro-do-paraná.

Portanto, ao comparar gimnospermas coníferas com as pteridófitas, as seguintes novidades podem ser citadas: estróbilos produtores de óvulos (que, depois, serão convertidos em sementes), estróbilos produtores de grãos de pólen, polinização,

diferenciação do grão de pólen em tubo polínico e, por fim, a fecundação independente da água ambiental (esse tipo de fecundação é conhecido por sifonogamia). Perceba que as árvores coníferas representam a geração duradoura, o esporófito, sendo os gametófitos reduzidos e pouco duradouros.



**Figura 9** - Ciclo reprodutivo da Araucária.

## 1.4 Angiospermas

Atualmente são conhecidas cerca de 350 mil espécies de plantas - desse total, mais de 250 mil são angiospermas.

A palavra angiosperma vem do grego (*angio* = 'bolsa' e *sperma* = 'semente'). Essas plantas representam o grupo mais variado em número de espécies entre os componentes do reino *Plantae* ou *Metaphyta*.

As angiospermas possuem raiz, caule, folha, flor, semente e fruto. Considerando essas estruturas, perceba que, em relação às gimnospermas, as angiospermas apresentam duas "novidades": as flores e os frutos. Flores e frutos: aquisições evolutivas.

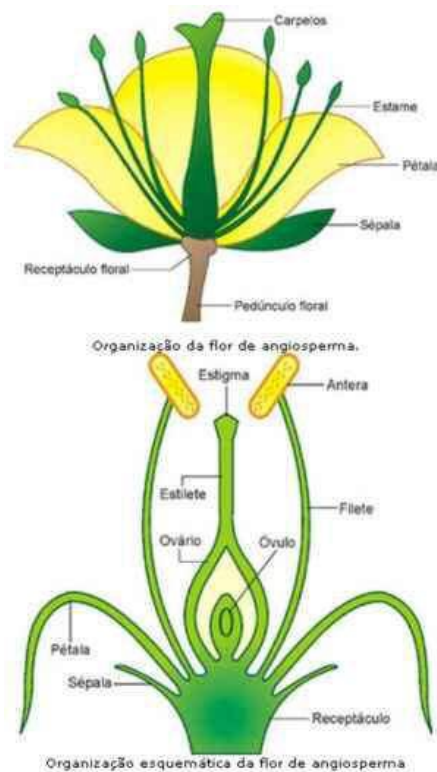


**Figura 10** - Flor (esq.) e o fruto (dir.) do maracujá.

As flores podem ser vistosas tanto pelo colorido quanto pela forma; muitas vezes também exalam odor agradável e produzem um líquido açucarado - o néctar - que serve de alimento para as abelhas e outros animais. Há também flores que não têm peças coloridas, não são perfumadas e nem produzem néctar.

Coloridas e perfumadas, ou não, é das flores que as angiospermas produzem sementes e frutos.

### As partes da flor



**Figura 11** - Organização de uma flor da angiosperma.

- ☞ **Pedúnculo** – liga a flor ao resto ramo;
- ☞ **Receptáculo** – dilatação na zona terminal do pedúnculo, onde se inserem as restantes peças florais;
- ☞ **Órgãos de proteção** – órgãos que envolvem as peças reprodutoras propriamente ditas, protegendo-as e ajudando a atrair animais polinizadores. O conjunto dos órgãos de proteção designa-se perianto. Uma flor sem perianto diz-se nua;
- ☞ **Cálice** – conjunto de sépalas, as peças florais mais parecidas com folhas, pois geralmente são verdes. A sua função é proteger a flor quando em botão. A flor sem sépalas diz-se assépala.
- ☞ **Corola** – conjunto de pétalas, peças florais geralmente coloridas e perfumadas, com glândulas produtoras de néctar na sua base, para atrair animais. A flor sem pétalas diz-se apétala. Se todo o perianto for igual (tépalas), e for semelhante a pétalas diz-se petaloide. Também neste caso, o perianto se designa indiferenciado;
- ☞ **Órgãos de reprodução** – folhas férteis modificadas, localizadas mais ao centro da flor e designadas esporofilos. As folhas férteis masculinas formam o anel mais externo e as folhas férteis femininas o interno.
- ☞ **Androceu** – parte masculina da flor, é o conjunto dos estames. Os estames são folhas modificadas, ou esporofilos, pois sustentam esporângios. São constituídas por um filete (corresponde ao pecíolo da folha) e pela antera (corresponde ao limbo da folha);
- ☞ **Gineceu** – parte feminina da flor, é o conjunto de carpelos. Cada carpelo, ou esporofilo feminino, é constituído por uma zona alargada oca inferior designada ovário, dado que contém óvulos. Após a fecundação, as paredes do ovário formam o fruto. O carpelo prolonga-se por uma zona estreita, o estilete, e termina numa zona alargada que recebe os grãos de pólen, designada estigma. Geralmente o estigma é mais alto que as anteras, de modo a dificultar a autopolinização.

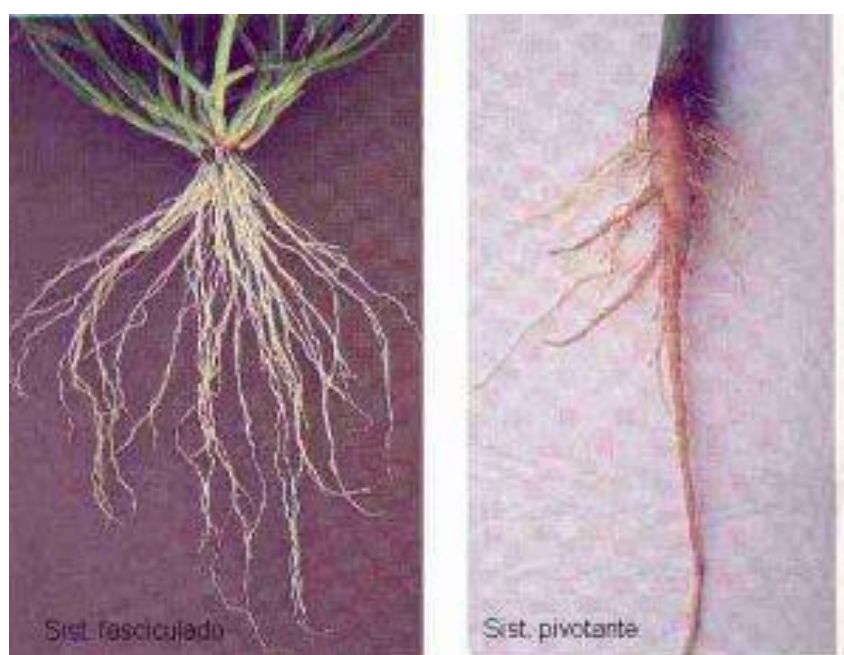
### Os dois grandes grupos de angiospermas

As angiospermas foram subdivididas em duas classes: as monocotiledôneas e as dicotiledôneas.

*São exemplos de angiospermas monocotiledôneas: capim, cana-de-açúcar, milho, arroz, trigo, aveias, cevada, bambu, centeio, lírio, alho, cebola, banana, bromélias e orquídeas.*

*São exemplos de angiospermas dicotiledôneas: feijão, amendoim, soja, ervilha, lentilha, grão-de-bico, pau-brasil, ipê, peroba, mogno, cerejeira, abacateiro, acerola, roseira, morango, pereira, macieira, algodoeiro, café, jenipapo, girassol e margarida.*

Entes as angiospermas, verificam-se dois tipos básicos de raízes: fasciculadas e pivotantes. Como mostra a figura abaixo.



**Figura 12** - Raiz fasciculada à esquerda e raiz pivotante a direita.

**Raízes fasciculadas** - Também chamadas raízes em cabeleira, elas formam numa planta um conjunto de raízes finas que têm origem num único ponto. Não se percebe nesse conjunto de raízes uma raiz nitidamente mais desenvolvida que as demais: todas elas têm mais ou menos o mesmo grau de desenvolvimento. As raízes fasciculadas ocorrem nas *monocotiledôneas*.

**Raízes pivotantes** - Também chamadas raízes axiais, elas formam na planta uma raiz principal, geralmente maior que as demais e que penetra verticalmente no solo; da raiz

principal partem raízes laterais, que também se ramificam. As raízes pivotantes ocorrem nas *dicotiledôneas*.

Em geral, nas angiospermas verificam-se dois tipos básicos de folhas: paralelinérvea e reticulada.

**Folhas paralelinérveas** - São comuns nas angiospermas monocotiledôneas. As nervuras se apresentam mais ou menos paralelas entre si.

**Folhas reticuladas** - Costumam ocorrer nas angiospermas dicotiledôneas. As nervuras se ramificam, formando uma espécie de rede.

Existem outras diferenças entre monocotiledôneas e dicotiledôneas, mas vamos destacar apenas a responsável pela denominação que esses dois grupos de plantas recebem.

O embrião da semente de angiosperma contém uma estrutura chamada cotilédone. O cotilédone é uma folha modificada, associada a nutrição das células embrionárias que poderão gerar uma nova planta.

**Sementes de monocotiledôneas** - Nesse tipo de semente, como a do milho, existe um único cotilédone; daí o nome desse grupo de plantas ser monocotiledôneas (do grego *mónos*: 'um', 'único'). As substâncias que nutrem o embrião ficam armazenadas numa região denominada endosperma. O cotilédone transfere nutrientes para as células embrionárias em desenvolvimento.

**Sementes de dicotiledôneas** - Nesse tipo de semente, como o feijão, existem dois cotilédones - o que justifica o nome do grupo, dicotiledôneas (do grego *dis*: 'dois'). O endosperma geralmente não se desenvolve nas sementes de dicotiledôneas; os dois cotilédones, estão armazenam as substâncias necessárias para o desenvolvimento do embrião.

## 2. CÉLULA VEGETAL

A compreensão da anatomia e da fisiologia das plantas depende, fundamentalmente, do conhecimento sobre a organização e o funcionamento de suas células. As células das plantas vegetais apresentam pelo menos duas características que permitem distingui-las claramente das células animais: possuem um envoltório externo rígido, a parede celular, e um orgânulo citoplasmático responsável pela fotossíntese, o plasto. Além disso, quando adultas, a maioria das células vegetais possui uma grande bolsa membranosa na região central do citoplasma, o vacúolo central, que acumula uma substância aquosa de sais e açúcares.

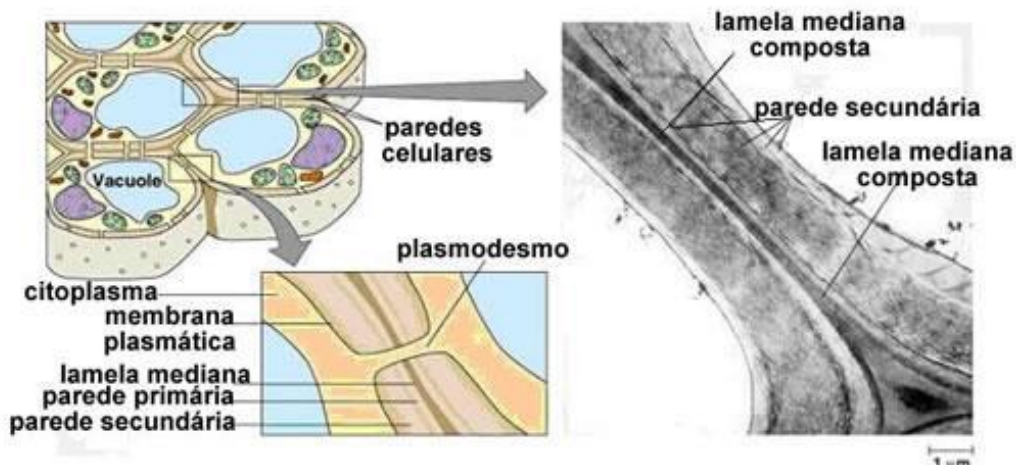


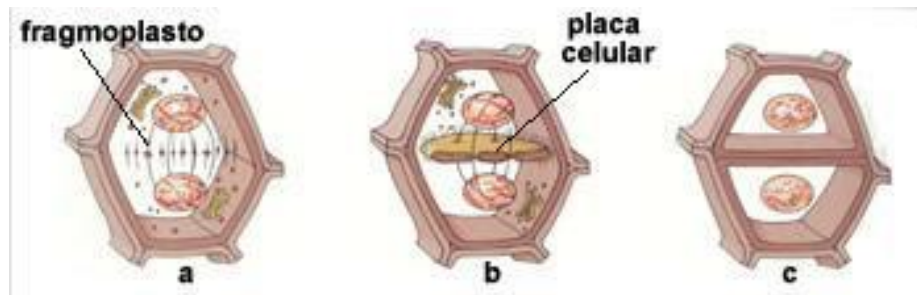
Figura 13 - Esquema de uma célula vegetal.

### 1.5 Parede celular

A parede celular começa a se formar ainda na telófase da mitose que dá origem à célula vegetal. Bolsas membranosas oriundas do aparelho de Golgi, repletas de substâncias gelatinosas denominadas pectinas, acumulam-se na região central da célula em divisão e se fundem, originando uma placa chamada fragmoplasto. Enquanto a telófase avança, o fragmoplasto vai crescendo pela fusão de bolsas de pectina em suas bordas. Durante esse crescimento centrífugo (isto é, do centro para fora), forma-se poros no fragmoplasto, por onde passa fios de hialoplasma, que põe em comunicação os conteúdos das futuras células vizinhas. Essas pontes hialoplasmáticas são os

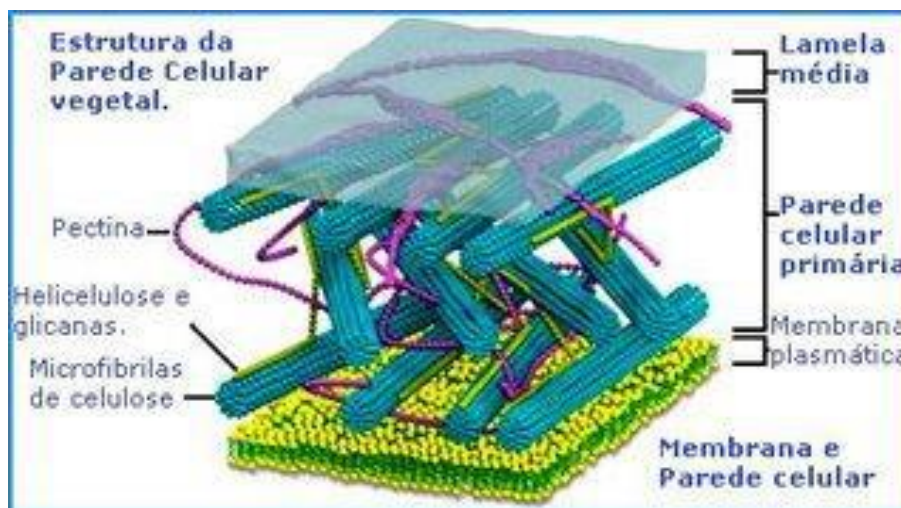


plasmodesmos (do grego *plasmos*, líquido, relativo ao citoplasma, e *desmos*, ponte, união).



**Figura 14** - Parede celular.

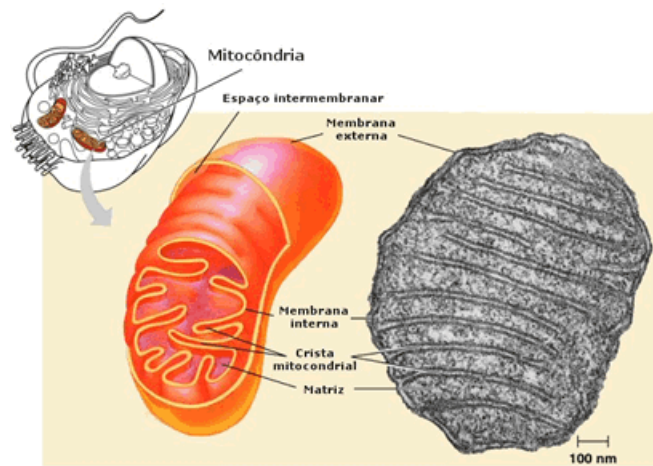
O fragmoplasto atua como uma espécie de “forma” para a construção das paredes celulósicas. Cada célula irmã-secreta celulose sobre o fragmoplasto e vai construindo, de seu lado, uma parede celulósica própria. A camada de pectinas, que foi a primeira separação entre as células-irmãs, atua agora como um cimento intercelular, passando a se chamar lamela média.



**Figura 15** - Estrutura da parede celular vegetal.

## 1.6 Mitochondrias

Organelas constituídas de duas membranas; a interna sofre invaginações, formando cristas mitocondriais que aumentam a superfície de absorção de substâncias existentes na matriz mitocondrial. O papel da mitocôndria é a liberação de energia para o trabalho celular.

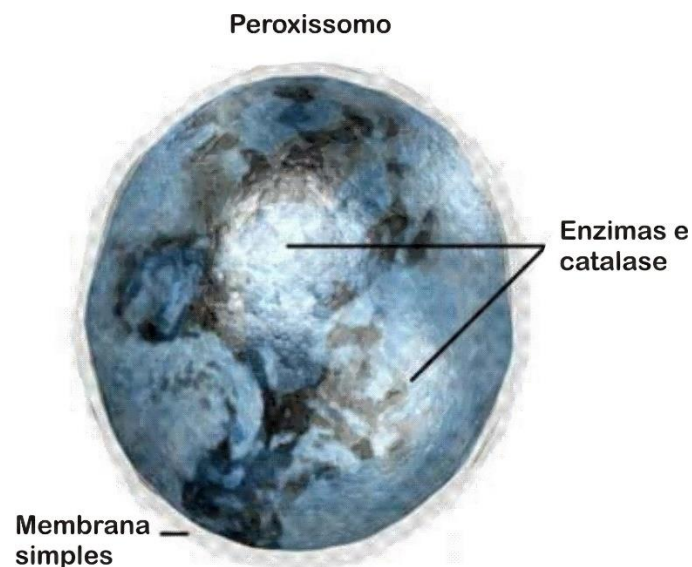


**Figura 16** - Ilustração de uma mitocôndria.

## 1.7 Peroxisomos

Peroxisomos são bolsas membranosas que contêm alguns tipos de enzimas digestivas. Sua semelhança com os lisossomos fez com que fossem confundidos com eles até bem pouco tempo. Entretanto, hoje se sabe que os peroxissomos diferem dos lisossomos principalmente quanto ao tipo de enzimas que possuem.

Os peroxissomos, além de conterem enzimas que degradam gorduras e aminoácidos, têm também grandes quantidades da enzima catalase.



**Figura 17** - Imagem do peroxissomo.

## 1.8 Membrana plasmática

Toda a célula, seja procarionte ou eucarionte, apresenta uma membrana que isola do meio exterior: a membrana plasmática. A membrana plasmática é tão fina (entre 6 a 9 nm) que os mais aperfeiçoados microscópios ópticos não conseguiram torná-la visível. Foi somente após o desenvolvimento da microscopia eletrônica que a membrana plasmática pode ser observada. Nas grandes ampliações obtidas pelo microscópio eletrônico, cortes transversais da membrana aparecem como uma linha mais clara entre duas mais escuras, delimitando o contorno de cada célula.

## 1.9 Plasmodesmos

As células vegetais adjacentes apresentam em suas paredes diversos poros, locais onde não há celulose ou qualquer outro tipo de material. Tais poros são atravessados por inúmeros tubos membranosos finíssimos que possibilitam o contato direto entre o citoplasma de uma célula com o citoplasma das células vizinhas, bem como a troca de moléculas funcionais, estruturais e de informação: os plasmodesmos (do grego, plasma = forma, desma = ligação).

Apenas as células vegetais possuem plasmodesmos, que são formados entre células irmãs durante a citocinese, ao término da divisão celular. Cada um desses canais é constituído de cordões de citoplasma e de uma porção do retículo endoplasmático denominado desmotúbulo, que permite a comunicação entre os retículos de ambas as células interligadas. Os plasmodesmos, geralmente, se localizam no campo primário de pontoação, que é a área mais delgada da parede primária da célula vegetal.

Os plasmodesmos são responsáveis pela condução da seiva elaborada. Esse tipo de seiva, também conhecida como seiva orgânica, é uma solução aquosa de água e carboidratos (principalmente) conduzida a todas as partes da planta por meio dos vasos do floema. Nesse processo, a seiva elaborada flui de uma célula para outra, tendo os plasmodesmos como canais de transporte.

Por meio dos plasmodesmos, as células vizinhas se unem e formam um simplasto único. O simplasto consiste num espaço interno da membrana plasmática de células vegetais pelo qual ocorre o processo de difusão de água e solutos de baixo peso molecular para o interior da célula. Essa constante passagem de substâncias pelos plasmodesmos

recebe o nome de transporte simplástico. Vale ressaltar que somente podem ser transportadas pelos plasmodesmos as substâncias com massa atômica de até 800 u.

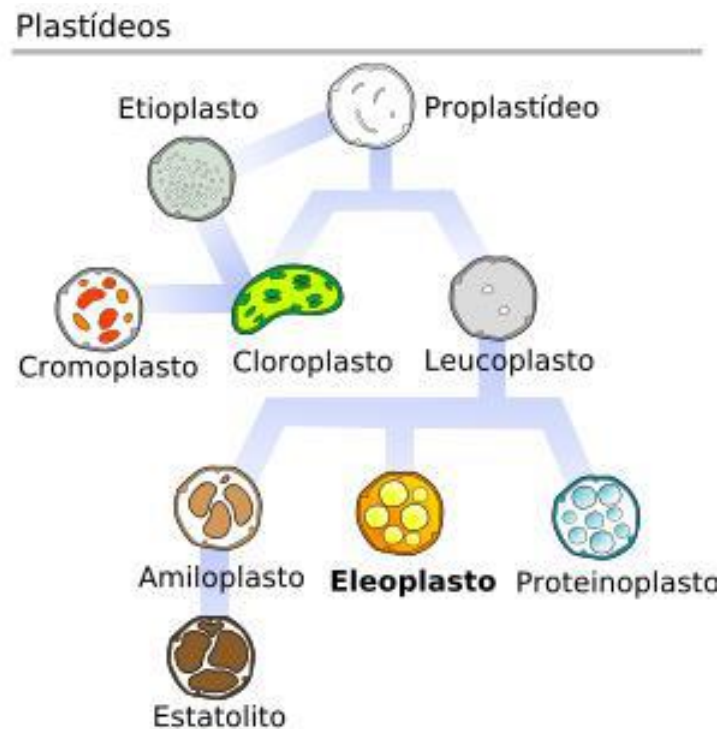
Para os vírus que parasitam células vegetais, os plasmodesmos são de grande importância, uma vez que, é através dessa estrutura que eles conseguem atingir células saudáveis, infectando-as também.

## 1.10 Plastos

Organelas formadas por um envelope de duas membranas unitárias contendo internamente uma matriz ou estroma, onde se situa um sistema de membranas saculiformes achatadas, os tilacóides. Originam-se dos plastídios e contêm DNA e ribossomos.

São divididos em três grandes grupos:

- **Cloroplasto;**
- **Cromoplasto e**
- **Leucoplasto:** estes, por sua vez, originam-se de estruturas muito pequenas, os proplastídios (que normalmente já ocorrem na oosfera, no saco embrionário e nos sistemas meristemáticos). Quando os proplastídios se desenvolvem na ausência de luz, apresentam um sistema especial, derivado da membrana interna, originando tubos que se fundem e formam o corpo prolamelar. Esses plastos são chamados estioloplastos.



**Figura 18** - Ilustração dos tipos de plastídeos.

**Cloroplastos:** Seu genoma codifica algumas proteínas específicas dessas organelas; contêm clorofila e estão associados à fase luminosa da fotossíntese, sendo mais diferenciados nas folhas. Seu sistema de tilacóides é formado por pilhas de membranas em forma de discos, chamado de granus; é nesse sistema que se encontra a clorofila. Na matriz ocorrem as reações de fixação de gás carbônico para a produção de carboidratos, além de aminoácidos, ácidos graxos e orgânicos. Pode haver formação de amido e lipídios, estes últimos em forma de glóbulos (plastoglóbulos).

**Cromoplastos:** Portam pigmentos carotenóides (geralmente amarelos, alaranjados ou avermelhados); são encontrados em estruturas coloridas como pétalas, frutos e algumas raízes. Surgem a partir dos cloroplastos.

**Leucoplastos:** Sem pigmentos; podem armazenar várias substâncias:

- **Amiloplastos:** armazenam amido. Ex.: em tubérculos de batatinha inglesa (*Solanum tuberosum*).
- **Proteinoplastos:** armazenam proteínas.

- **Elaioplastos:** armazenam lipídios. Ex.: abacate (*Persea americana*).

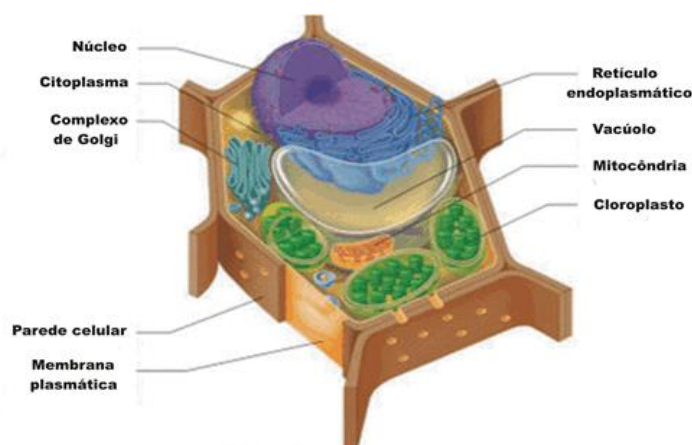
## 1.11 Citoplasma

Os primeiros citologistas acreditavam que o interior da célula viva era preenchido por um fluido homogêneo e viscoso, no qual estava mergulhado o núcleo. Esse fluido recebeu o nome de citoplasma (do grego *kytos*, célula, e *plasma*, aquilo que dá forma, que modela).

Hoje se sabe que o espaço situado entre a membrana plasmática e o núcleo é bem diferente do que imaginaram aqueles citologistas pioneiros. Além da parte fluida, o citoplasma contém bolsas e canais membranosos e organelas ou orgânulos citoplasmáticos, que desempenham funções específicas no metabolismo da célula eucarionte.

O fluido citoplasmático é constituído principalmente por água, proteínas, sais minerais e açúcares. No citosol ocorre a maioria das reações químicas vitais, entre elas a fabricação das moléculas que irão constituir as estruturas celulares. É também no citosol que muitas substâncias de reserva das células animais, como as gorduras e o glicogênio, ficam armazenadas.

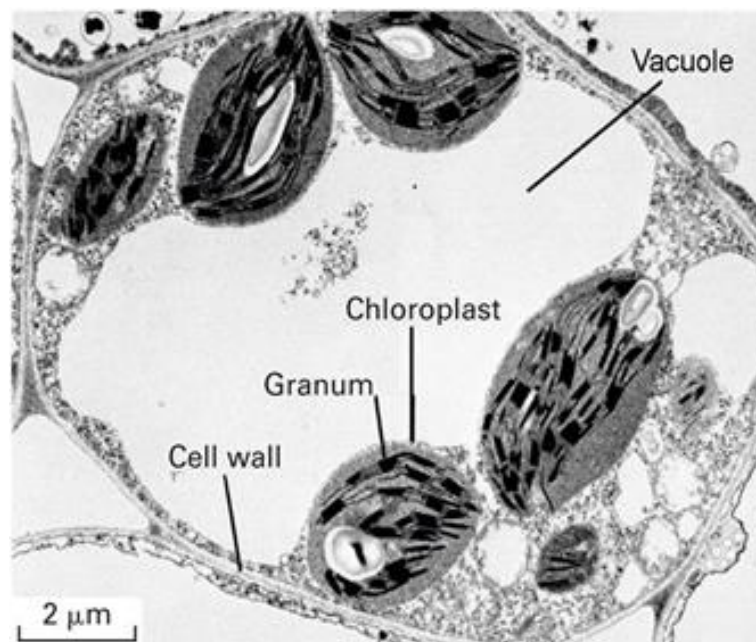
Na periferia do citoplasma, o citosol é mais viscoso, tendo consistência de gelatina mole. Essa região é chamada de ectoplasma (do grego, *ectos*, fora). Na parte mais central da célula situa-se o endoplasma (do grego, *endos*, dentro), de consistência mais fluida.



**Figura 19** - Célula vegetal.

## 1.12 Vacúolos

Delimitado por uma membrana denominada tonoplasto. Contém água, açúcares, proteínas; pode-se encontrar ainda compostos fenólicos, pigmentos como betalaínas, antocianinas cristais de oxalato de cálcio (drusas, estiloides, cristais prismáticos, rafídios, etc.). Muitas das substâncias estão dissolvidas, constituindo o suco celular, cujo pH é geralmente ácido, pela atividade de uma bomba de próton no tonoplasto. Em células especializadas pode ocorrer um único vacúolo, originado a partir da união de pequenos vacúolos de uma antiga célula meristemática (célula-tronco); em células parenquimáticas o vacúolo chega a ocupar 90% do espaço celular.



**Figura 20** - Imagem microscópica dos componentes da célula vegetal.

### Funções do vacúolo

- Armazenamento de substâncias (vacúolos pequenos - acúmulo de proteínas, íons e outros metabólitos). Um exemplo são os microvacúolos do endosperma da semente de mamona (*Ricinus communis*), que contêm grãos de aleurona;
- Processo lisossômico (através de enzimas digestivas, existentes principalmente nos vacúolos centrais e bem desenvolvidos, cujo tonoplasto sofre invaginações para

englobar material citoplasmático contendo organelas (a autofagia ocorre em células jovens ou durante a senescência). Se originam a partir do sistema de membranas do complexo golgiense. Seu tamanho aumenta à medida que o tonoplasto incorpora vesículas derivadas do complexo de Golgi.

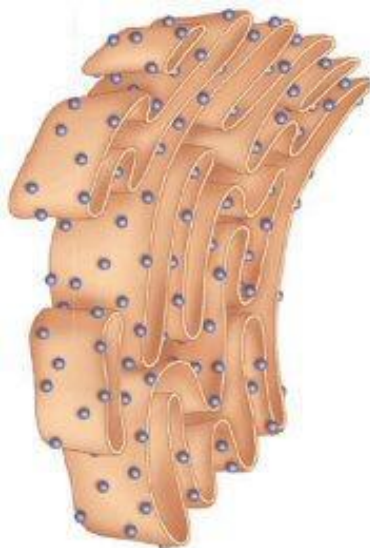
### **1.13 Ribossomos**

Estruturas constituídas de RNA e proteínas; podem estar livres no hialoplasma ou presos entre si por uma fita de RNA (polissomos) e, nesse caso, juntam os aminoácidos do citoplasma para formar cadeias de proteínas.

### **1.14 Retículo endoplasmático**

Constituído de um sistema de duplas membranas lipoproteicas. O retículo endoplasmático liso, é constituído por duas membranas e o retículo endoplasmático rugoso possui ribossomos aderidos do lado externo aderidos ao lado externo. O retículo liso facilita reações enzimáticas, já que as enzimas se aderem à sua membrana, sintetiza lipídios (triglicerídeos, fosfolipídios e esteroides), regula a pressão osmótica (armazenando substâncias em sua cavidade), atua no transporte de substâncias (comunicando-se com a carioteca e com a membrana celular). O retículo rugoso além de desempenhar todas as funções do retículo liso ele ainda sintetiza proteínas, devido a presença de ribossomos.

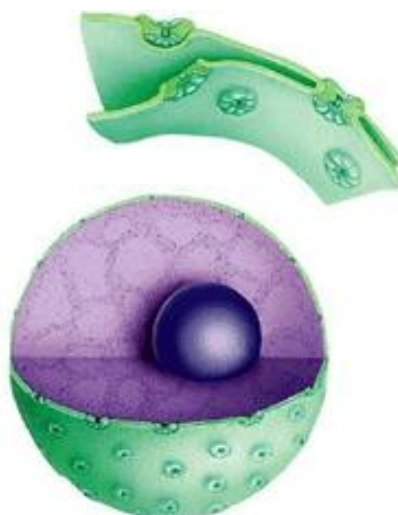




**Figura 21** - Reticulo endoplasmático.

### 1.15 Núcleo

Importante organela existente nas células eucariontes, constitui-se de duas membranas com um espaço entre si e contendo poros. Possui duas funções básicas: regular as reações químicas que ocorrem dentro da célula, e armazenar as informações genéticas da célula. Em seu interior distinguem-se o nucléolo e a cromatina. Durante a divisão celular, a cromatina se condensa em estruturas com formas de bastão, os cromossomos.



**Figura 22** - Ilustração do núcleo da célula vegetal.

## 1.16 Complexo de Golgi

É constituído de várias unidades menores, os dictiosomos. Cada dictiosomo é composto por uma pilha de cinco ou mais sacos achatados, de dupla membrana lipoprotéica. Nas bordas dos sacos podem ser observadas vesículas em processo de brotamento. Está relacionado aos processos de secreção, incluindo a secreção da primeira parede que separa duas células vegetais em divisão.

## 3. HISTOLOGIA VEGETAL

A Histologia Vegetal é a parte da Botânica responsável por estudar os tecidos que compõem a estrutura dos vegetais. Lembre-se que tecidos são formados por grupos de células que possuem mesma origem embrionária e, realizam mesma função. Nos vegetais, a especialização dos tecidos é menos nítida que nos animais o que, conseqüentemente, resulta em tecidos que irão exercer diversas funções.

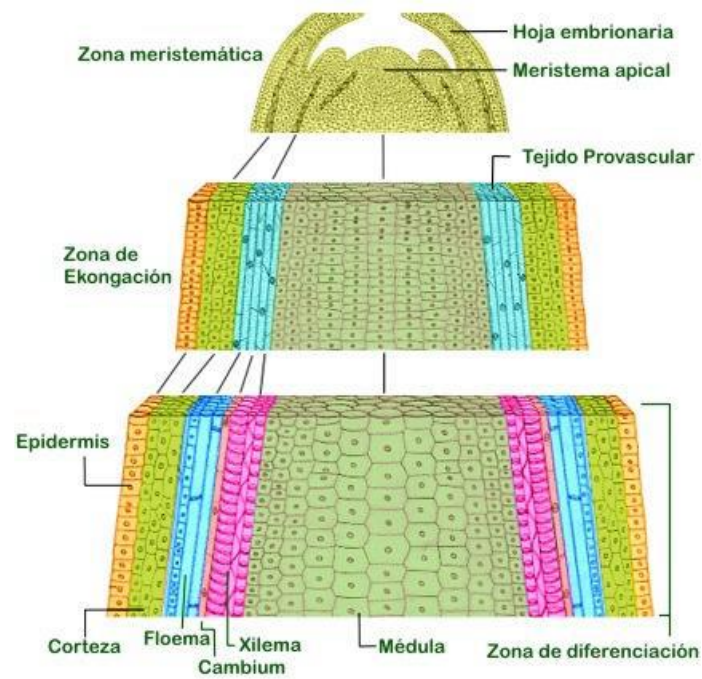
### 3.1 Meristemas

Os meristemas representam os tecidos embrionários vegetais. É apenas através destes tecidos que os vegetais crescem. Após o crescimento, os meristemas sofrem diferenciação e, tornam-se tecidos adultos, passando assim a exercer outra função e tornar-se incapaz de crescer. A capacidade de tornar-se qualquer tecido adulto está no fato das células meristemáticas serem totipotentes.

*Obs.: diferentemente dos animais, os vegetais (salvo algumas estruturas) possuem crescimento ilimitado.*

#### 3.1.1 Meristemas apicais ou primários

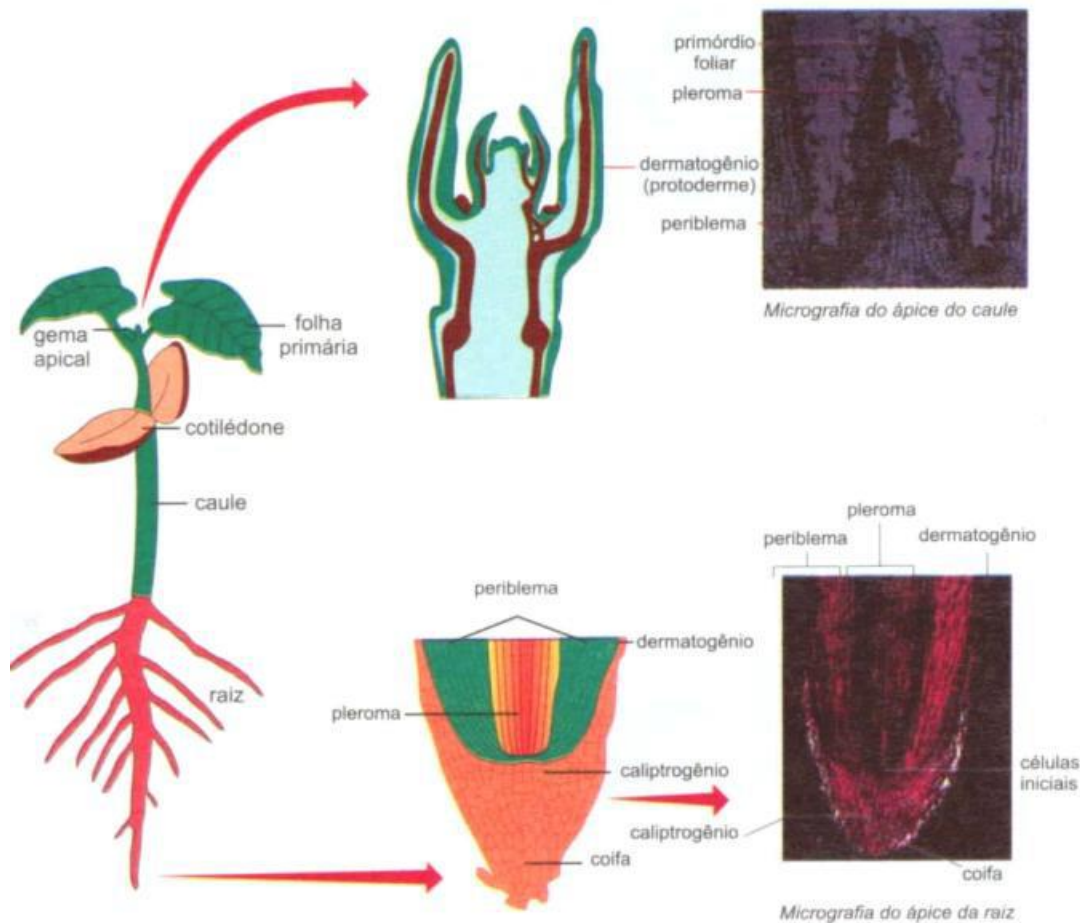
Originam-se diretamente do embrião. É responsável pelo crescimento apical da planta. Diferenciam-se originando tecidos adultos nos ápices germinativos (ponta da raiz, caule e folhas).



**Figura 23** - Ilustração do meristema apical.

Estruturas do Meristema Primário:

- ✓ **Dermatogênio:** formará a epiderme;
- ✓ **Periblema:** formará o córtex (casca);
- ✓ **Pleroma:** formará o cilindro central.



**Figura 24** - Meristemas apicais em uma planta.

### 3.1.2 Meristemas laterais ou secundários

Originam-se diretamente do meristema primário. É responsável pelo crescimento lateral em espessura. Diferenciam-se originando tecidos adultos nas porções laterais da planta.

Estruturas do Meristema Secundário:

- ✓ **Felogênio:** localizado no córtex, formará o súber e a feloderme;
- ✓ **Câmbio:** localizado no cilindro central, formará o xilema e o floema;

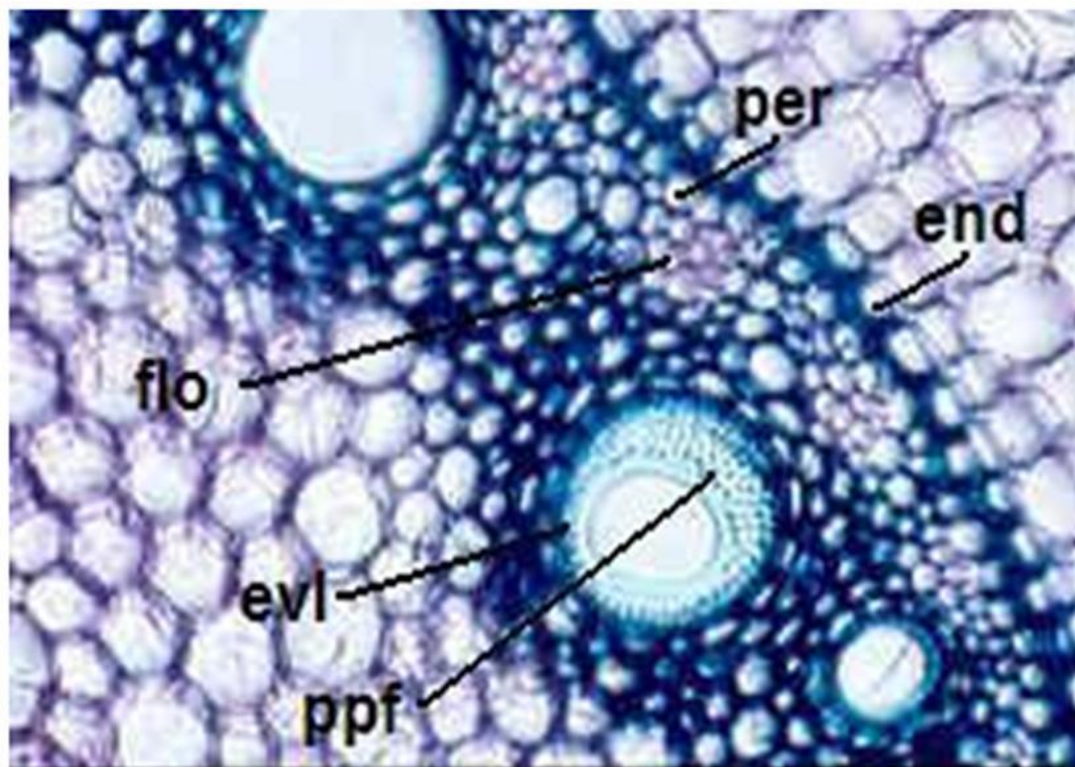


Figura 25 - Meristemas laterais.

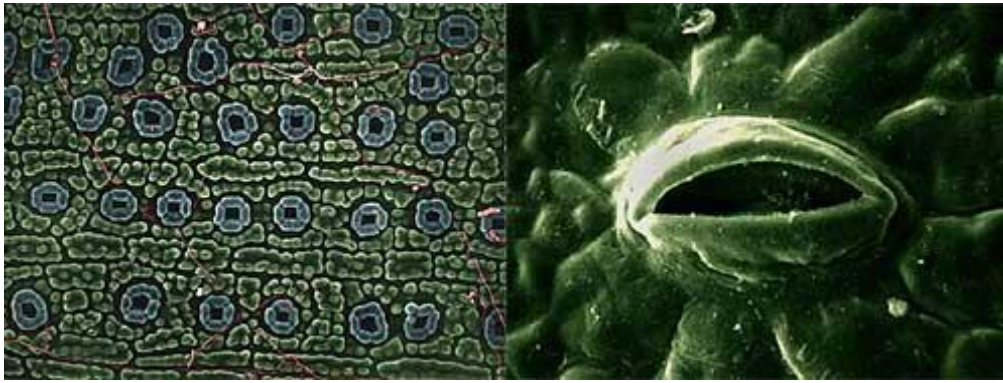
*Obs.: o meristema secundário está ausente nas monocotiledôneas.*

## 3.2 Tecidos Adultos

Os tecidos adultos ou permanentes, são originados a partir de tecidos meristemáticos obrigatoriamente e, são classificados de acordo com a função que desempenham.

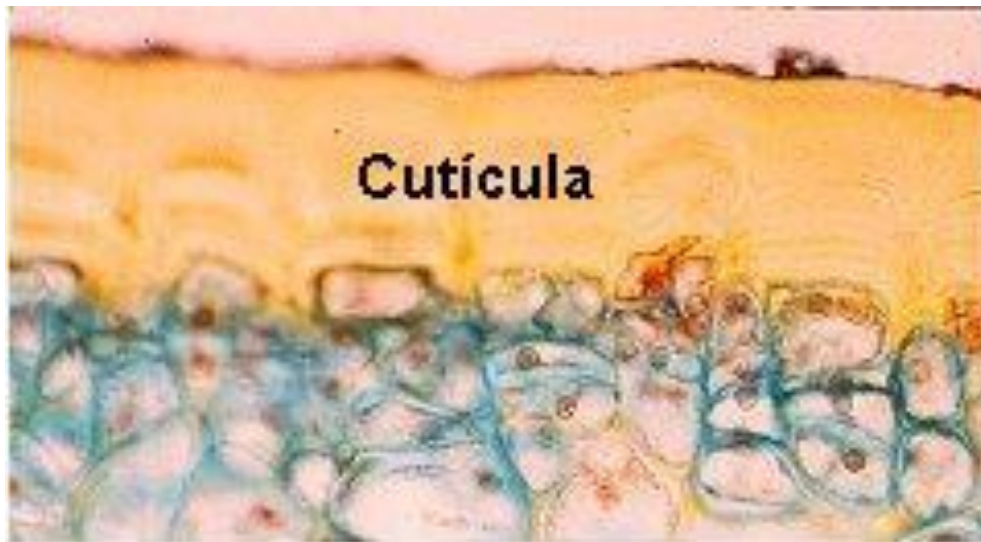
### 3.2.1 Tecidos de Revestimento

- ☞ **Epiderme:** formado por células vivas, possui os anexos:
- ✓ **Estômato:** responsável pelas trocas gasosas e transpiração nas folhas.



**Figura 26** - Estômato.

- ✓ **Cutícula:** eleva a impermeabilização.



**Figura 27** - Cutícula.

- ✓ **Acúleos:** estrutura pontiaguda para defesa.



**Figura 28** - Acúleos.

☞ **Súber:** formado por células mortas, possui os anexos:

✓ **Lenticelas:** responsável pelas trocas gasosas no caule.



**Figura 29** - Lenticelas.

- ✓ **Ritidomas:** camadas de descamação do súber.



Figura 30 - Ritidoma.

### 3.2.2 Tecidos de Sustentação

- ✓ **Colênquima:** formado por células vivas e fibras curtas;
- ✓ **Esclerênquima:** formado por células mortas e fibras longas.

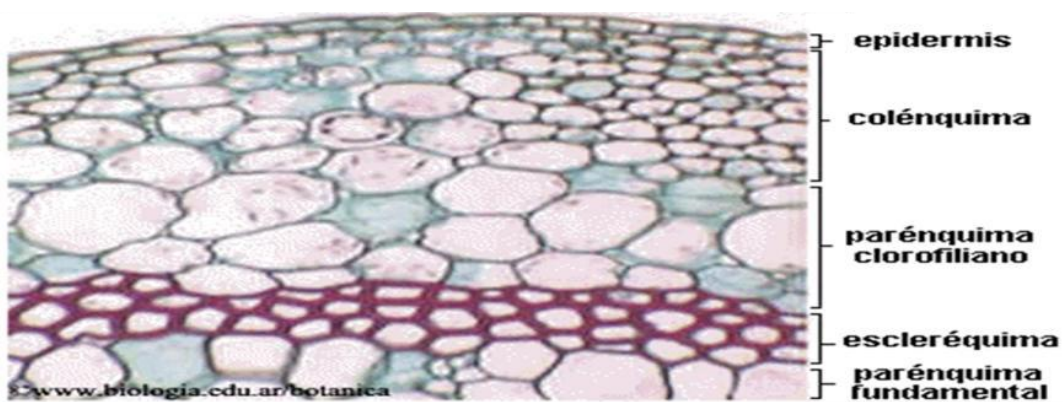
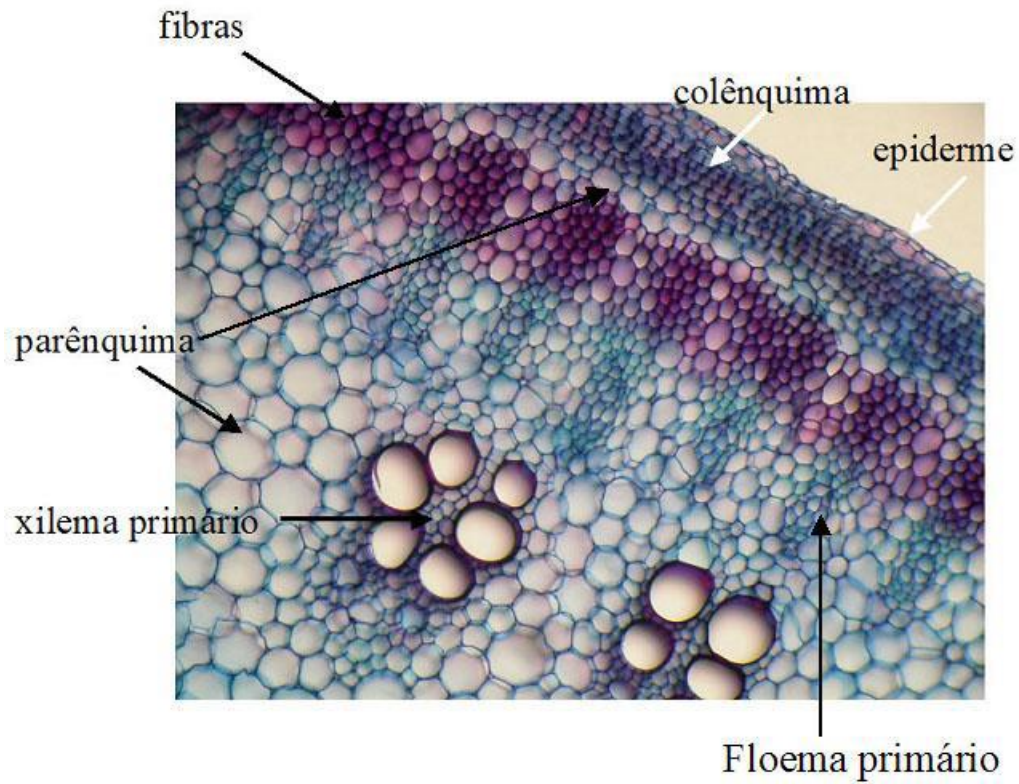


Figura 31 - Tecidos de sustentação.



### 3.2.3 Tecidos de Condução

- ✓ Floema/líber: conduz a seiva elaborada (orgânica) no sentido descendente, é composto por elementos de tubo crivado e células companheiras.



**Figura 32** - Tecidos de condução.

- ✓ **Xilema/lenho:** conduz a seiva bruta (inorgânica) no sentido descendente.

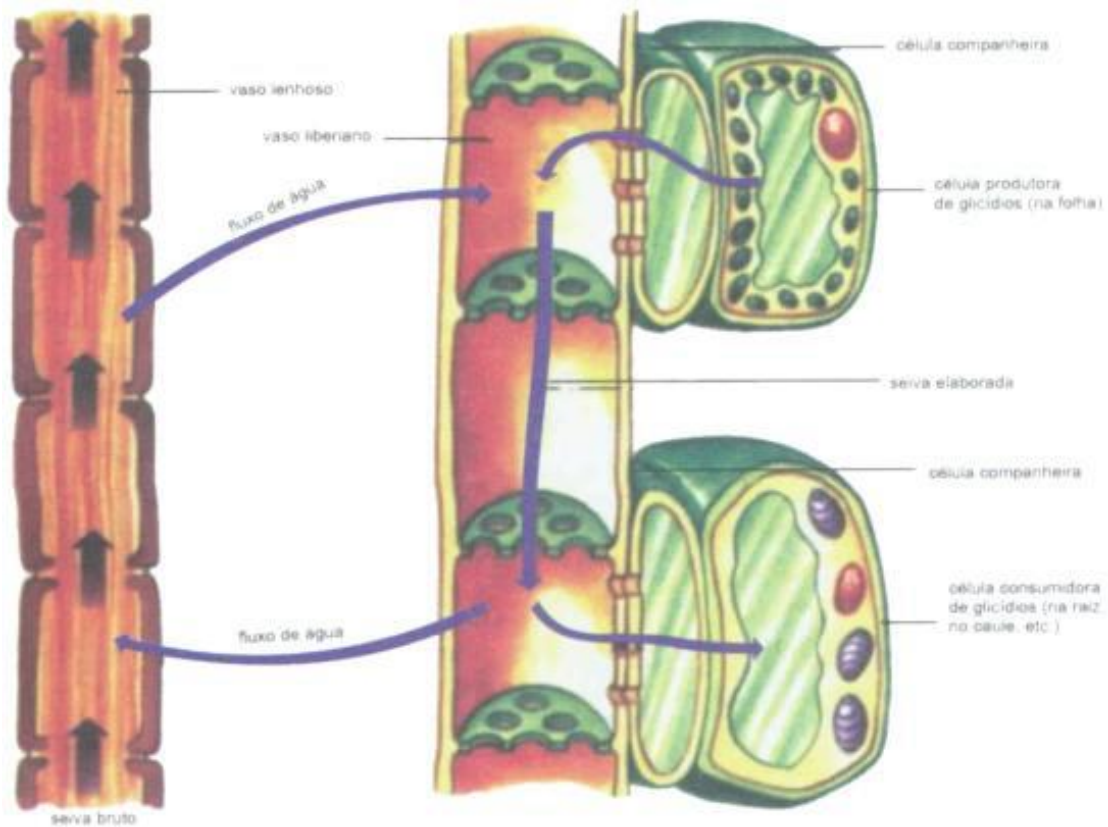


Figura 33 - Fluxo de seiva na árvore.

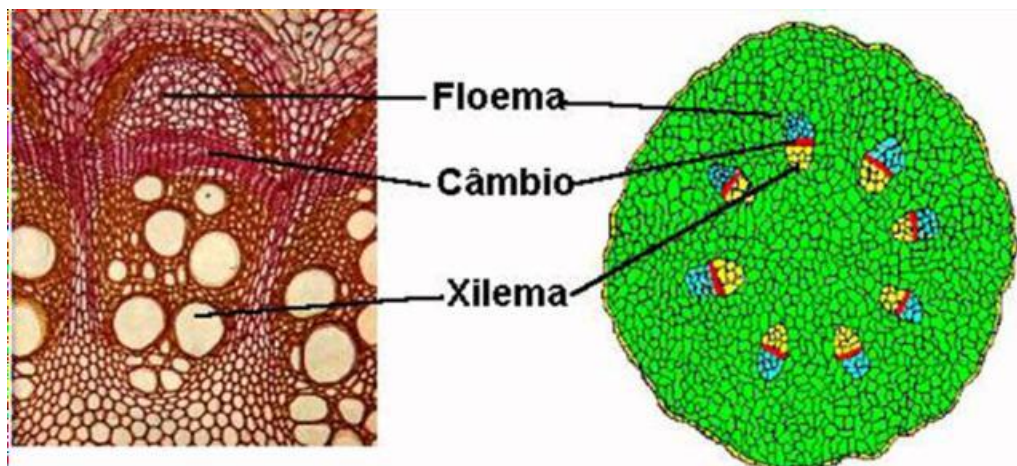
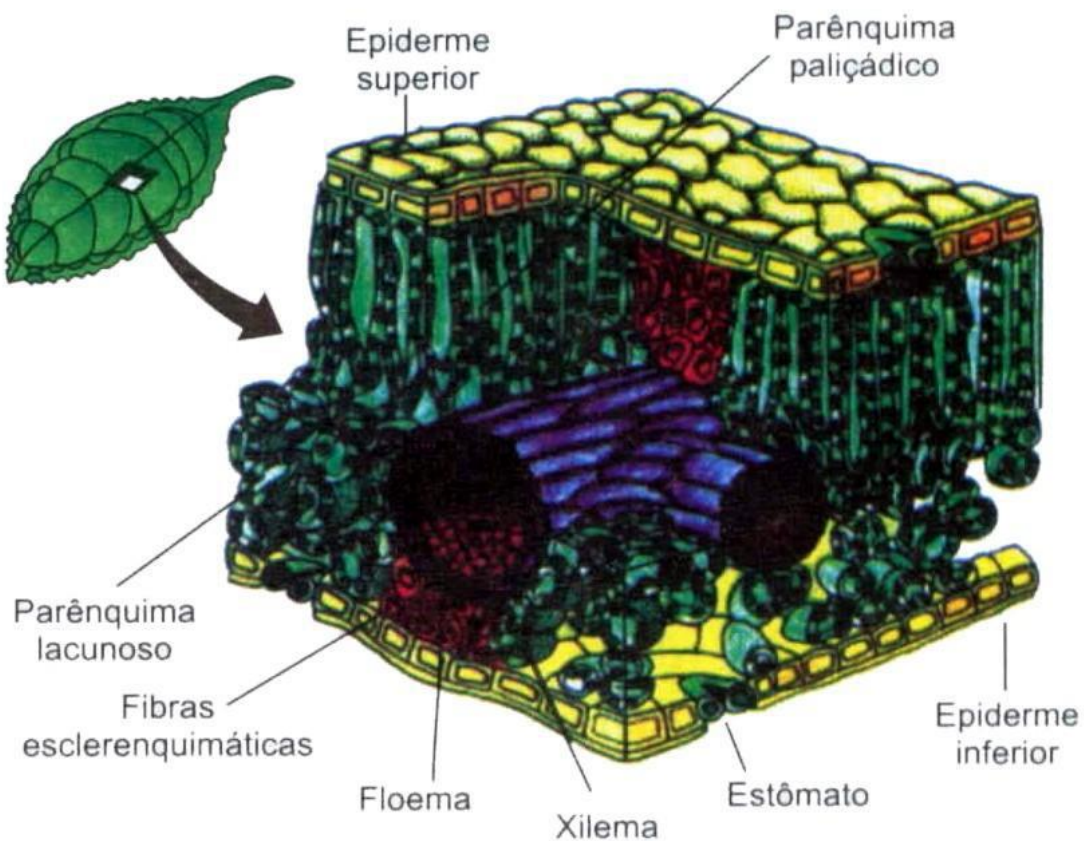


Figura 34 - Tecidos de condução de seiva.

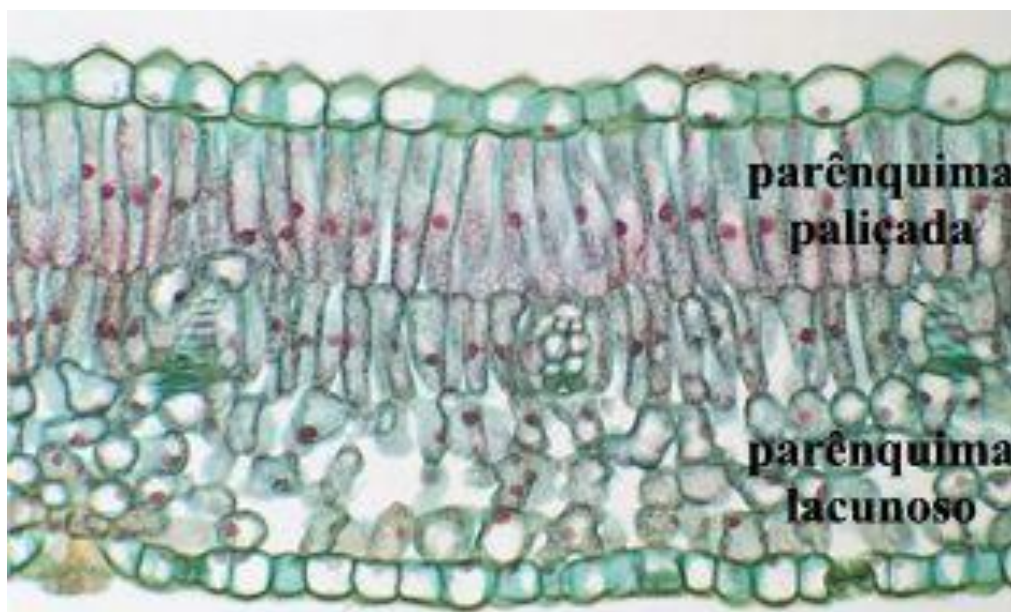
### 3.2.4 Tecidos de Síntese e Armazenamento (Parênquima)

- ☞ **Clorofilado:** localizado no mesófilo, é formado por:
- ✓ **Paliçádico:** realiza fotossíntese;

- ✓ **Lacunoso:** realiza fotossíntese e areja a folha.

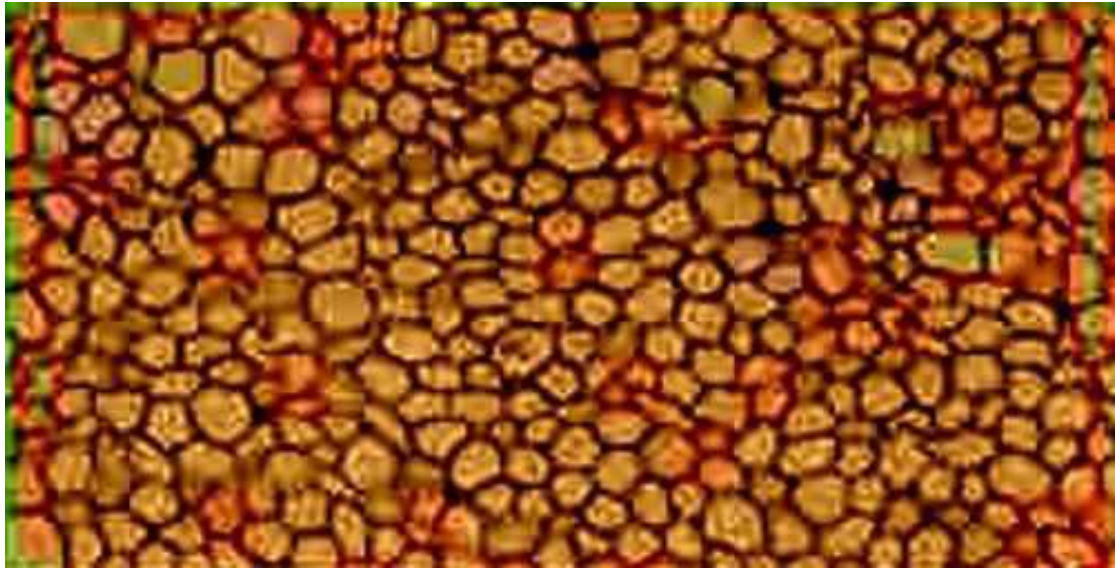


**Figura 35** - Tecidos de síntese e armazenamento.



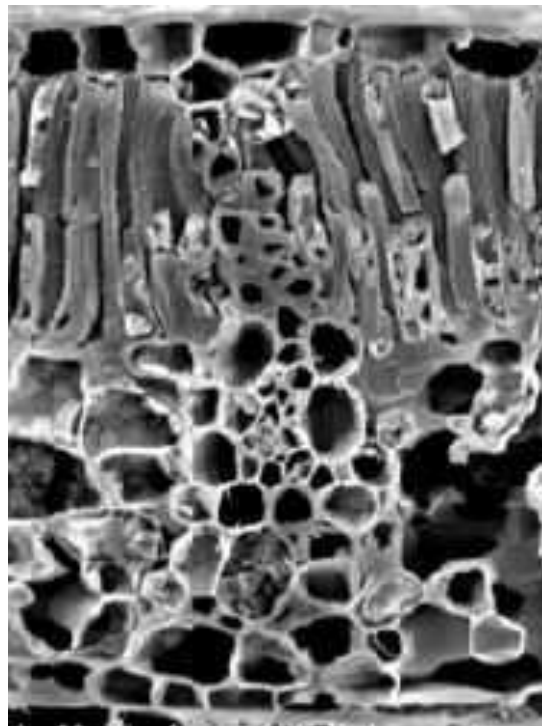
**Figura 36** - Tecido clorofilado.

- ✓ **Amilífero:** armazena amido.



**Figura 37** - Tecido amilífero.

- ✓ **Aquífero:** armazena água.



**Figura 38** - Tecido aquífero.

- ✓ **Aerífero:** armazena ar.

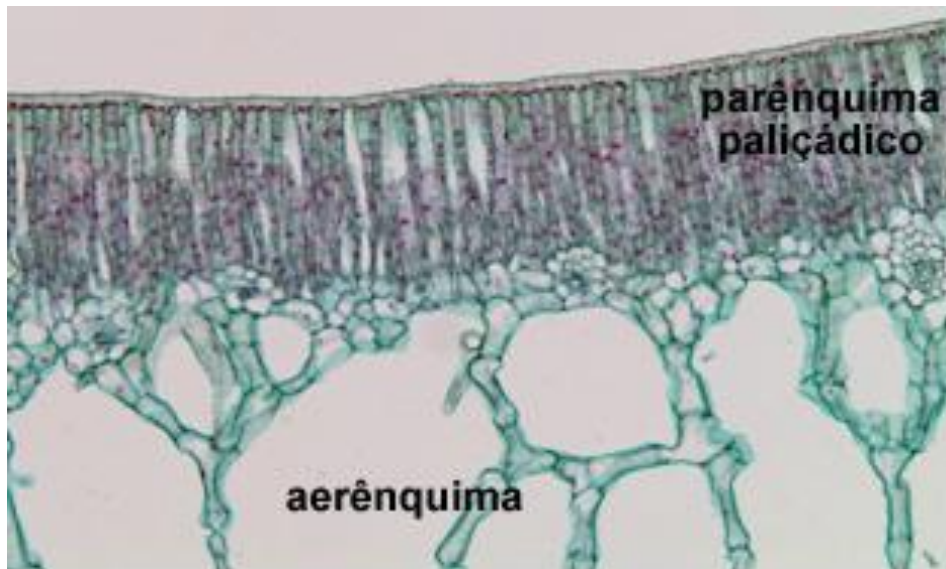


Figura 39 - Tecido aerífero.

### 3.2.5 Tecidos de Secreção

- ✓ **Hidatódios:** responsáveis pela gutação (água líquida).

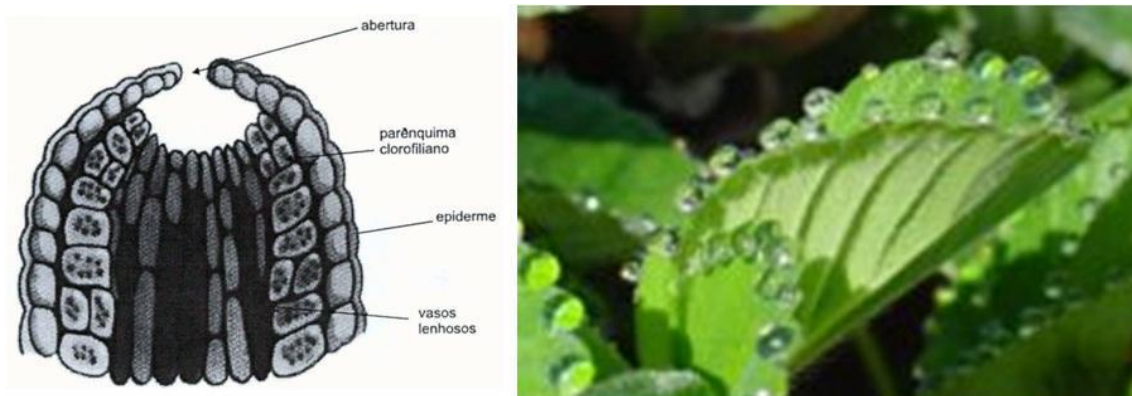


Figura 40 - Hidatódios.

- ✓ **Canais lactíferos:** produzem látex.



**Figura 41** - Canais lactíferos.

## 4. ÓRGÃOS

### 4.1 Raiz

Na maioria das plantas vasculares as raízes constituem a porção subterrânea do esporófito e são especializadas para fixação e absorção, mas também cumprem funções de armazenamento e condução. Além disso, os meristemas das raízes são responsáveis pela produção de determinados hormônios vegetais.

Água e sais minerais absorvidos pela raiz são levados até as outras partes da planta pelo xilema. As substâncias orgânicas sintetizadas pelas partes aéreas fotossintetizantes do vegetal (açúcares) são transportadas, via floema, para os tecidos de reserva da raiz, onde são geralmente armazenadas na forma de amido. Parte do alimento armazenado é utilizado localmente pelas raízes, mas a maior parte deste é quebrado em moléculas menores (açúcares) que serão novamente transportadas, via floema, para as partes aéreas onde serão utilizadas. Nas plantas bienais, (vegetais que completam seu ciclo de vida em dois anos), como a beterraba, por exemplo, as grandes reservas de alimento acumuladas

na raiz durante o primeiro ano são utilizadas no segundo para produzir flores, frutos e sementes.

### *Os sistemas radiculares*

Raiz primária é a primeira raiz da planta que se origina ainda no embrião. Nas gimnospermas e dicotiledôneas, a raiz primária (axial ou pivotante) cresce em direção ao solo, originando raízes secundárias, também chamadas raízes laterais. Esse tipo de sistema radicular é denominado sistema axial.

Nas monocotiledôneas, a raiz primária tem geralmente vida curta e o sistema radicular se desenvolve a partir de raízes adventícias que se originam do caule. Este tipo de sistema, onde não há predominância de uma raiz sobre as outras, é chamado de sistema fasciculado.

A extensão de um sistema radicular, isto é, a profundidade com a qual penetra no solo e se estende lateralmente, depende de vários fatores incluindo umidade, temperatura e composição do solo. Entretanto, o sistema de raiz axial geralmente penetra mais no solo que o sistema de raiz fasciculado. A pouca profundidade dos sistemas fasciculados e a firmeza com a qual se aderem às partículas do solo os tornam especialmente bem adaptados para a prevenção da erosão do solo.

A maior parte das raízes absorventes (ativamente envolvidas na absorção de água e minerais) localiza-se no primeiro metro de solo, região comumente mais rica em matéria orgânica (primeiros 15 cm). Árvores como carvalhos e pinheiros produzem, comumente, raízes axiais profundas, tornando estas árvores de difícil remoção. A extensão lateral das raízes é, em geral, maior que a extensão de sua copa.

À medida que a planta cresce, há necessidade de um equilíbrio entre sua superfície total que fabrica alimentos (fotossintetizante) e a sua superfície total que absorve água e sais minerais. Numa planta jovem, geralmente a superfície que está absorvendo água e sais minerais ultrapassa em muito a superfície assimiladora. Porém a proporção existente entre porção assimiladora (aérea) e subterrânea muda com a idade. Como é importante o balanço entre a parte aérea e as raízes, os jardineiros normalmente podam as mudas antes de transplantá-las com o intuito de restabelecer esse equilíbrio, já que a planta, ao ser removida do solo, perde parte de suas raízes.

Crescimento e origem dos tecidos primários da raiz As raízes, durante seu crescimento através do solo, seguem o caminho de menor resistência e frequentemente ocupam os espaços deixados por raízes mais antigas já mortas e podres.

A extremidade da raiz acha-se recoberta por uma massa de células semelhante a um capuz, a coifa (fig. 42), cujas funções são proteger o meristema apical da raiz, auxiliando sua penetração no solo além de controlar as respostas da raiz à gravidade (gravitropismo).

À medida que a raiz cresce, a coifa é empurrada para frente e suas células periféricas sofrem descamação. O complexo de Golgi das células periféricas da coifa produz uma substância mucilaginosa (um polissacarídeo altamente hidratado, provavelmente uma substância péctica) que é secretada em suas paredes celulares formando uma capa mucilaginosa que tem função lubrificante. As células descamadas com o crescimento da raiz são imediatamente substituídas por outras, formadas a partir do meristema apical.

O meristema e a primeira porção logo após este é chamada de região de divisão celular. Em seguida ocorre a chamada região de alongamento, onde ocorre o crescimento longitudinal das células recém divididas na região anterior. A região de maturação é a porção seguinte onde as células completam seu desenvolvimento. É nessa região onde os pelos radiculares são produzidos, sendo também chamada de zona pilífera. É importante salientar que essas regiões não estão precisamente delimitadas e a diferenciação dos tecidos ocorre de forma gradual, daí a ocorrência dos tecidos chamados protoderme e procâmbio nas porções iniciais da raiz (fig 42).

### ***A estrutura primária da raiz***

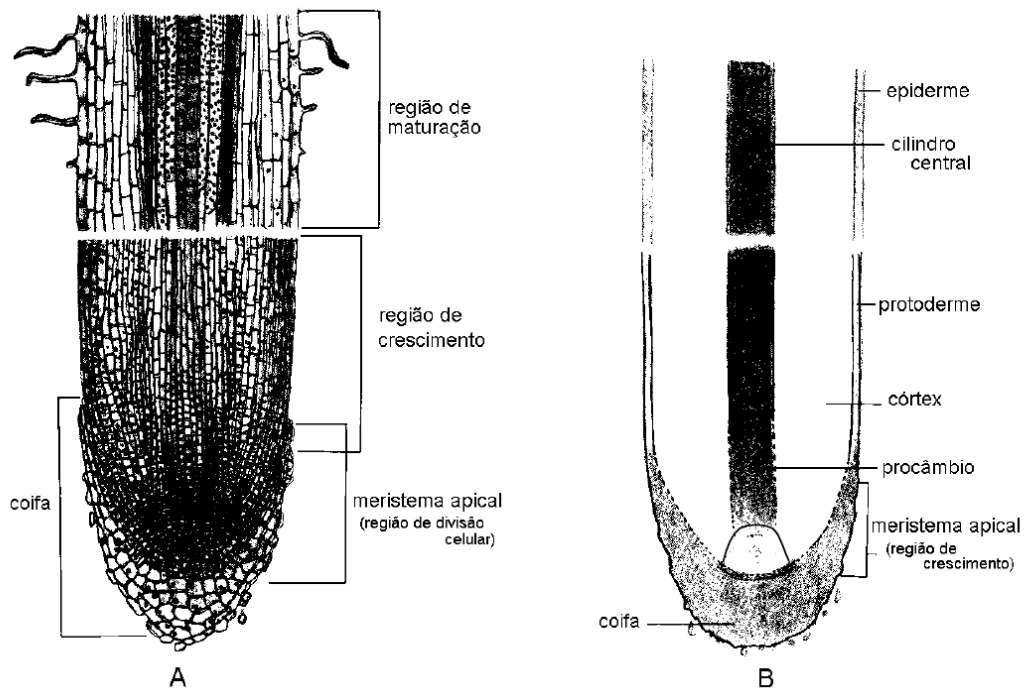
É relativamente simples quando comparada com a do caule, o que é devido, em grande parte, à ausência de folhas na raiz e a ausência correspondente de nós e entrenós.

Os três sistemas de tecidos da raiz podem ser facilmente distinguidos em cortes transversais e longitudinais. A epiderme (sistema de tecido de revestimento), o córtex (sistema de tecido fundamental) e os tecidos vasculares (sistema de tecido vascular) estão claramente separados uns dos outros (figura 42). Na maioria das raízes, os tecidos vasculares formam um cilindro sólido, porém, em algumas, formam um cilindro oco ao redor da medula, isto é, preenchido apenas por parênquima.



### a) Epiderme

A epiderme de raízes jovens é, em geral, portadora de pêlos absorventes (expansões tubulares das células epidérmicas que aumentam a superfície da raiz), especializados para a função de absorção. Os pelos são relativamente efêmeros e à medida que a raiz cresce e penetra no solo, novos pelos absorventes são imediatamente produzidos em sua extremidade, fornecendo à planta novas superfícies capazes de absorver novos suprimentos de água e minerais. A produção de novos pelos absorventes ocorre, portanto, logo acima da região de crescimento, segundo uma taxa aproximadamente igual àquela da mortalidade dos pelos absorventes nas partes mais velhas da raiz. Naturalmente, são as novas raízes em crescimento (também chamadas de raízes de nutrição) que estão primariamente envolvidas na extração de água e minerais do solo. Não há cutícula sobre as células epidérmicas da raiz ou, quando presente ela é delgada para que ocorram as trocas raiz/solo.



**Figura 42** - Corte longitudinal da extremidade de uma raiz de dicotiledônea. A) regiões da raiz; B) localização dos meristemas e tecidos primários.

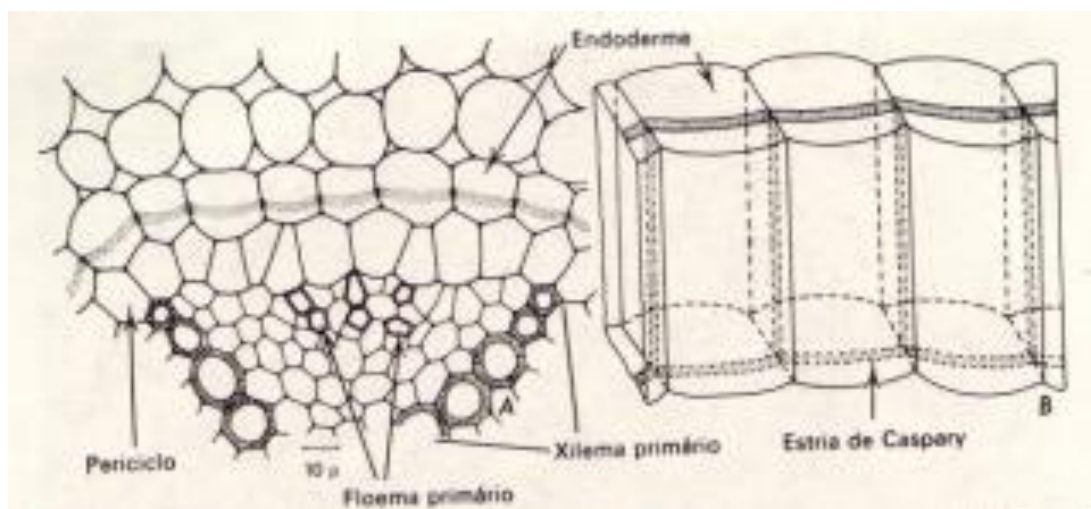
## b) Córtex

Observando cortes transversais de raízes, nota-se que o córtex ocupa a maior área do corpo primário da maioria das raízes. As células do córtex armazenam amido e outras substâncias, mas comumente não possuem cloroplastos.

Independente do grau de diferenciação, o tecido cortical possui numerosos espaços intercelulares (espaços cheios de ar, essenciais para a aeração das células). As células corticais possuem numerosos contatos entre si e seus protoplasmas encontram-se ligados por plasmodesmos. Assim, as substâncias que transitam pelo córtex podem atravessar as células, via protoplasma/plasmodesmo ou parede celular.

No córtex, uma ou mais camadas externas podem ser diferenciadas em exoderme e a camada interna diferenciada em endoderme. A endoderme é mais compactada e sem espaços intercelulares aeríferos. A endoderme se caracteriza pela presença das fitas (ou estrias) de Caspary (fig. 43) nas paredes anticlinais (perpendiculares à superfície da raiz). A estria de Caspary é uma parte da parede primária impregnada com suberina e, algumas vezes, lignificada. É impermeável à água e por isso, impede a entrada e saída de substâncias pela parede celular da endoderme. O transporte para o cilindro central é feito pelo protoplasma das células endodérmicas vivas. Assim, a endoderme exerce um controle sobre o movimento de substâncias através do cilindro vascular da raiz.

Nas raízes que sofrem crescimento secundário, o córtex (incluindo a endoderme) é eliminado por descamação junto com a epiderme.



**Figura 43** - Estrutura da endoderme. A, corte transversal de parte de uma raiz de *Convolvulus arvensis*, mostrando a posição da endoderme em relação ao xilema e floema. A endoderme apresenta-se com paredes transversais, portanto estrias de Caspary. B, diagrama de três células de endoderme, orientadas do mesmo modo como estão em A; estrias de Caspary ocorrem nas paredes transversais e radiais (isto é, em todas as paredes anticlinais) mas estão ausentes nas paredes tangenciais.

**c) O cilindro central ou vascular**

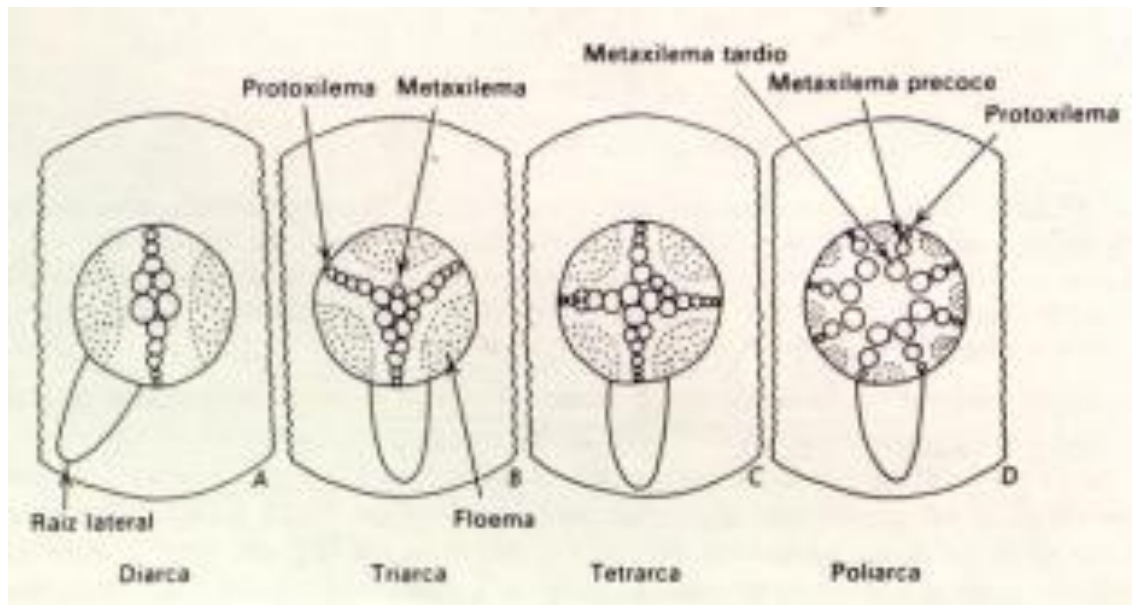
O cilindro vascular da raiz é formado pelos tecidos vasculares e por uma ou mais camadas de células não vasculares, o periciclo, que circunda totalmente os tecidos vasculares.

O periciclo desempenha vários papéis importantes. Na maioria das fanerógamas, as raízes laterais se originam a partir do periciclo. Nas plantas que sofrem crescimento secundário (gimnospermas e dicotiledôneas), o periciclo contribui para a formação do câmbio vascular e geralmente origina o primeiro câmbio da casca (felogênio), que são ambos meristemas laterais. Frequentemente o periciclo gera mais periciclo.

No cilindro vascular muitas vezes o xilema primário forma um maciço sólido que se projeta em direção ao periciclo. As porções de floema primário encontram-se alojadas entre as séries de xilema, alternando com estas. o número de séries de xilema primário varia de espécie para espécie determinando diferentes padrões de raízes (fig. 44). Pode ser que não haja formação de xilema no centro do cilindro, o qual será ocupado então por uma medula parenquimática (normalmente em monocotiledôneas).

O primeiro xilema que se forma num órgão vegetal é denominado protoxilema. O protoxilema, na raiz é localizado próximo da periferia do cilindro central e o xilema formado posteriormente, ou seja, o metaxilema, é internamente situado (fig. 44). O desenvolvimento do xilema é, portanto, centrípeto.

A diferenciação do floema é também centrípeta, com o protofloema na periferia e metafloema internamente.



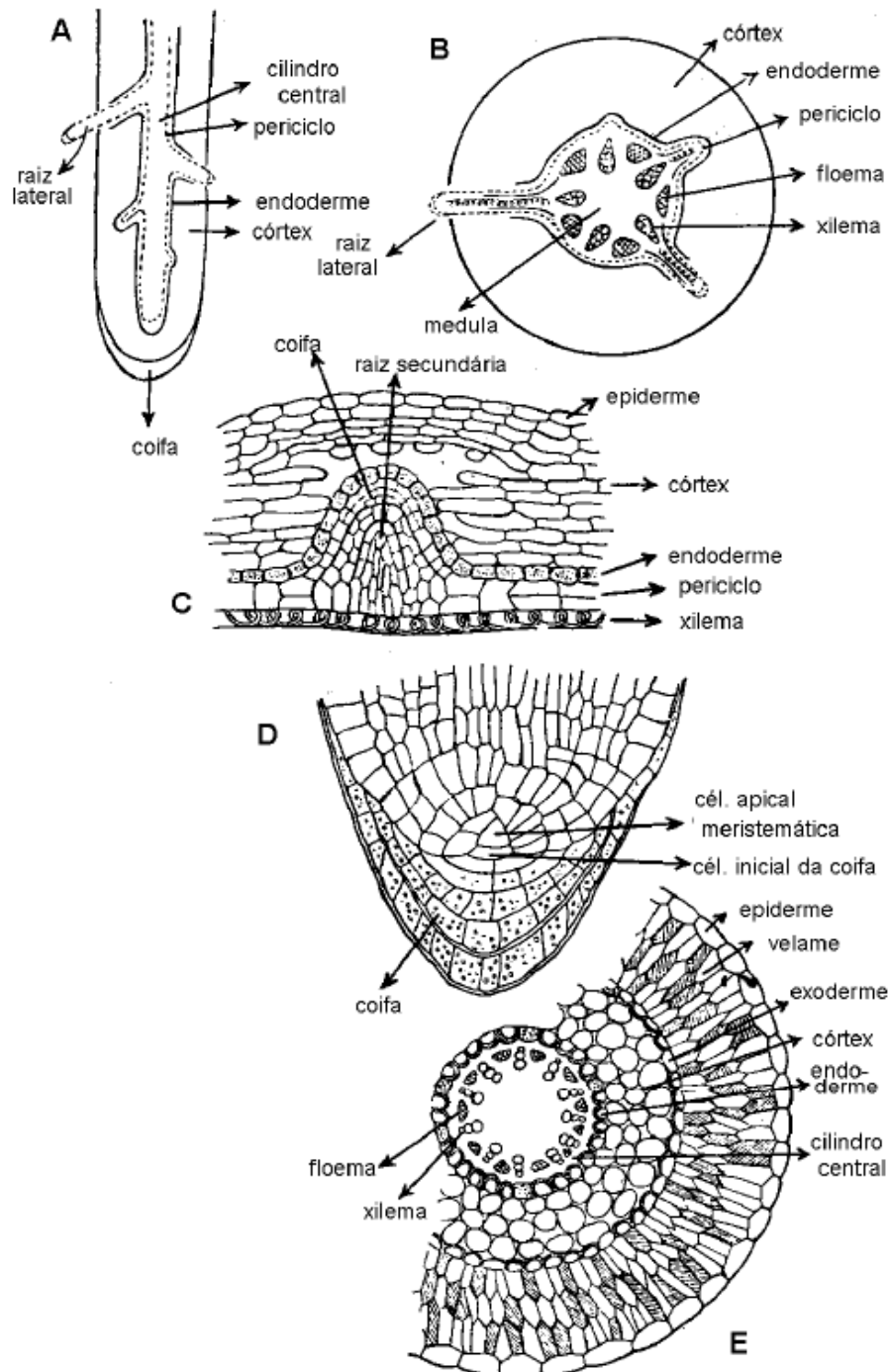
**Figura 44** - Diferentes padrões formados pelo xilema primário em cortes transversais de raízes e posição da raiz lateral em relação ao xilema e floema da raiz principal. Os padrões A-C são característicos de dicotiledôneas. D, é encontrado em muitas monocotiledôneas (Segundo Esau, Plant Anatomy, John Wiley and Sons, 1953.).

### ***Raízes aéreas***

As raízes aéreas são raízes adventícias produzidas pelas partes aéreas da planta. Algumas funcionam para sustentação como as raízes-escora, por exemplo, no milho. Estas quando entram em contato com o solo, ramificam-se e funcionam também na absorção de água e minerais. Certas raízes-escora são produzidas pela figueira (*Ficus bengalensis*) e algumas palmeiras.

Outras raízes aéreas como as da hera (*Hereda helix*) aderem à superfície de objetos e fornecem sustentação para o caule trepador (raízes adesivas). As plantas são incapazes de viver em solos sem drenagem adequada, pois as raízes necessitam de oxigênio para a respiração dos nutrientes armazenados nela. Portanto, árvores que crescem em ambientes pantanosos apresentam raízes que crescem fora da água, que servem para as trocas gasosas além de órgão de fixação. Por exemplo, o sistema radicular de *Avicennia nitida*, uma planta típica de mangues, desenvolve projeções de geotropismo negativo, chamadas pneumatóforos, que crescem para cima, saindo da lama, para fornecer aeração adequada (raízes respiratórias).

Muitas adaptações especiais são encontradas entre as epífitas, plantas que crescem sobre outras plantas, sem parasitá-la. Nas orquídeas com raízes aéreas, por exemplo, aparece uma epiderme multisseriada, o velame (fig. 45). Esse consiste de várias camadas de células mortas, com paredes espessadas.



**Figura 45** - Raiz. A) esquema do ápice de uma raiz em crescimento longitudinal, mostrando raiz secundária. B) esquema em corte transversal de raiz com ramificações em diversos estágios de desenvolvimento. C) Corte longitudinal mostrando desenvolvimento de uma raiz secundária em aguapé, originada no periciclo. Vê-se a endoderme acompanhando o crescimento da raiz secundária e os tecidos do córtex começando a desagregar-se para permitir o crescimento da raiz secundária; D) Corte

longitudinal da região apical de uma pteridófita; E) corte transversal de uma raiz de uma epífita (orquídea) que apresenta velame. (Segundo Ferri, 84).

Em períodos de seca as células do velame enchem-se de ar, mas quando a umidade do ar aumenta, elas tornam-se cheias de água, armazenando-a nos numerosos poros existentes na parede. Ainda, a epiderme da raiz, em certas espécies aéreas, pode ser o único órgão fotossintetizante na planta.

### ***Adaptações para o armazenamento de alimentos***

A maioria das raízes funciona como órgãos de armazenamento e, em certas plantas, são especializadas para esta função. Estas raízes tornam-se carnosas devido a grande quantidade de parênquima de reserva, onde se acha imerso o tecido vascular. Um bom exemplo é a batata doce (*Ipomea batata*).

## **4.2 Caule**

Como o caule está estreitamente relacionado com as folhas, o termo “sistema caulinar” muitas vezes é empregado para designar o conjunto desses dois órgãos.

O caule e as folhas começam a formar-se durante o desenvolvimento do embrião, onde são representados pela plúmula. A plúmula pode ser considerada como a primeira gema, consistindo do epicótilo, primórdios foliares (uma ou mais folhas rudimentares) e um meristema apical. O embrião permanece nesse estado até o momento da germinação da semente.

Com o início da germinação da semente, o crescimento do embrião é retomado. Neste momento o meristema apical continua o desenvolvimento do primeiro caule, pela adição de novas folhas e o aumento do eixo, que cedo ou tarde diferencia nós e internós. Em plantas com eixos ramificados, aparecem gemas axilares que posteriormente desenvolvem-se em ramos laterais.

A porção do eixo que transporta as folhas é designada como caule. As folhas nascem nos nós caulinares. As regiões do caule entre dois nós sucessivos são os internós. Na maioria das plantas os caules parecem ser a porção mais evidente e dominante do eixo. As plantas com bulbos e filicíneas são exceções.

### ***Morfologia externa do caule***

Por estar estreitamente associado com as folhas, o caule apresenta morfologia externa mais complexa que a da raiz, sendo separado em diferentes regiões que são os **nós, internós e gemas**.

- a) **Nós:** são as regiões caulinares geralmente dilatadas onde se inserem os órgãos apendiculares (folhas, estípulas, etc.).
  - b) **Internós:** são as regiões caulinares situadas entre dois nós consecutivos. Muitas dicotiledôneas não apresentam diferença entre nó e internó, especialmente em plantas adultas. Nas monocotiledôneas os nós são geralmente mais salientes que os internós.
  - c) **Gemas:** são rudimentos de ramos, geralmente formadas na axila de uma folha. Geralmente gemas terminais aparecem protegidas por catáfilos (folhas modificadas para a proteção).
- ✓ **Gemas terminais:** produzem ramos terminais, formação análoga ao caule;
  - ✓ **Gemas foliares:** produzem folhas quando se desenvolvem;
  - ✓ **Gemas floríferas:** produzem flores quando se desenvolvem.

À medida que os sistemas caulinares e foliar da planta seguem o seu desenvolvimento formam-se primórdios das gemas nas axilas das folhas que, mais cedo ou mais tarde, iniciam uma sequência de crescimento e diferenciação semelhante àquela da primeira gema. Esse padrão é repetido várias vezes ao longo da vida da planta.

Frequentemente, o meristema apical de um caule inibe o desenvolvimento das gemas laterais. Este fenômeno é conhecido como dominância apical e é controlado pela ação de hormônios. À medida que aumenta a distância entre o ápice do caule e as gemas laterais, a influência inibitória do ápice diminui e as gemas laterais iniciam o seu desenvolvimento. Conseqüentemente, a poda de ápices caulinares com suas folhas resulta em plantas mais cheias e ramificadas.

As duas principais funções associadas ao caule são condução e sustentação. As folhas, principais órgãos fotossintéticos da planta, são sustentadas pelos caules que as colocam em posições favoráveis para a captação da luz. As substâncias “fabricadas” nas folhas são transportadas através dos caules, via floema, aos locais de utilização (caules, raízes, primórdios foliares, flores, sementes e frutos). Uma grande parte da substância alimentar é armazenada nas células parenquimáticas de raízes, sementes e fruto, mas os caules também constituem importantes órgãos de reserva. Alguns caules, como a batata inglesa, por exemplo, são especialmente adaptados à função de reserva. Em alguns casos, o caule pode também funcionar como órgão fotossintético (caules jovens ou em alguns vegetais que não possuem folhas típicas como os cactos). Embora os caules possam ser extremamente variáveis morfológicamente, eles são geralmente aéreos e em apenas alguns casos são subterrâneos.

### ***Crescimento e origem dos tecidos primários do caule***

A organização do meristema apical do caule mostra-se mais complexa que a da raiz. O meristema apical do caule, além de produzir células para o corpo primário da planta, está também envolvido na formação de primórdios foliares e, muitas vezes, primórdios de gemas os quais formam os ramos laterais. Entretanto, assim como na raiz, seu crescimento se dá pelo meristema apical, que sofre mitoses originando a protoderme (tecido ainda meristemático que dá origem à epiderme), o procâmbio (produz os tecidos condutores primários) e o meristema fundamental (origina o córtex e a medula).

O meristema apical do caule não possui um revestimento protetor como a coifa no meristema apical da raiz.

Embora os tecidos primários do caule passem por períodos de crescimento semelhantes àqueles da raiz, o eixo do caule não pode ser dividido em regiões de divisão, alongamento e maturação como o das raízes.

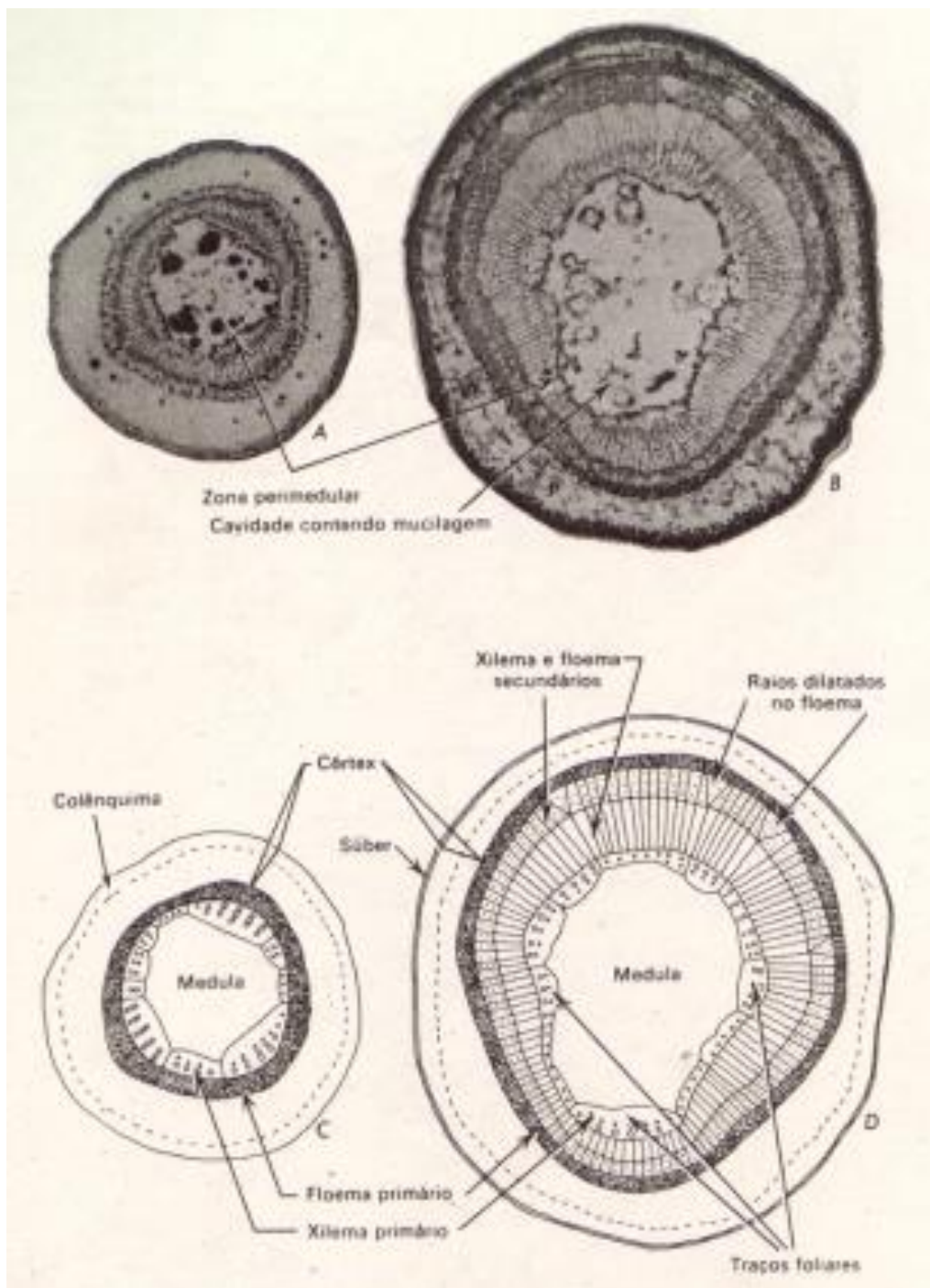
O meristema apical do caule, quando ativo, origina primórdios foliares em sucessão tão estreita que os nós e internós não podem ser distinguidos a princípio. Gradualmente ocorre crescimento entre os níveis de inserção foliar (futuros nós) originando as partes alongadas do caule (internós). Assim, o aumento do comprimento do caule ocorre, em grande parte, por alongamento dos internós. Comumente a atividade meristemática na base dos internós é mais intensa.



***Estrutura primária***

Há variações consideráveis na estrutura primária dos caules das fanerógamas com relação ao padrão de distribuição dos tecidos vasculares (estele), mas podem ser reconhecidos três tipos básicos de organização:

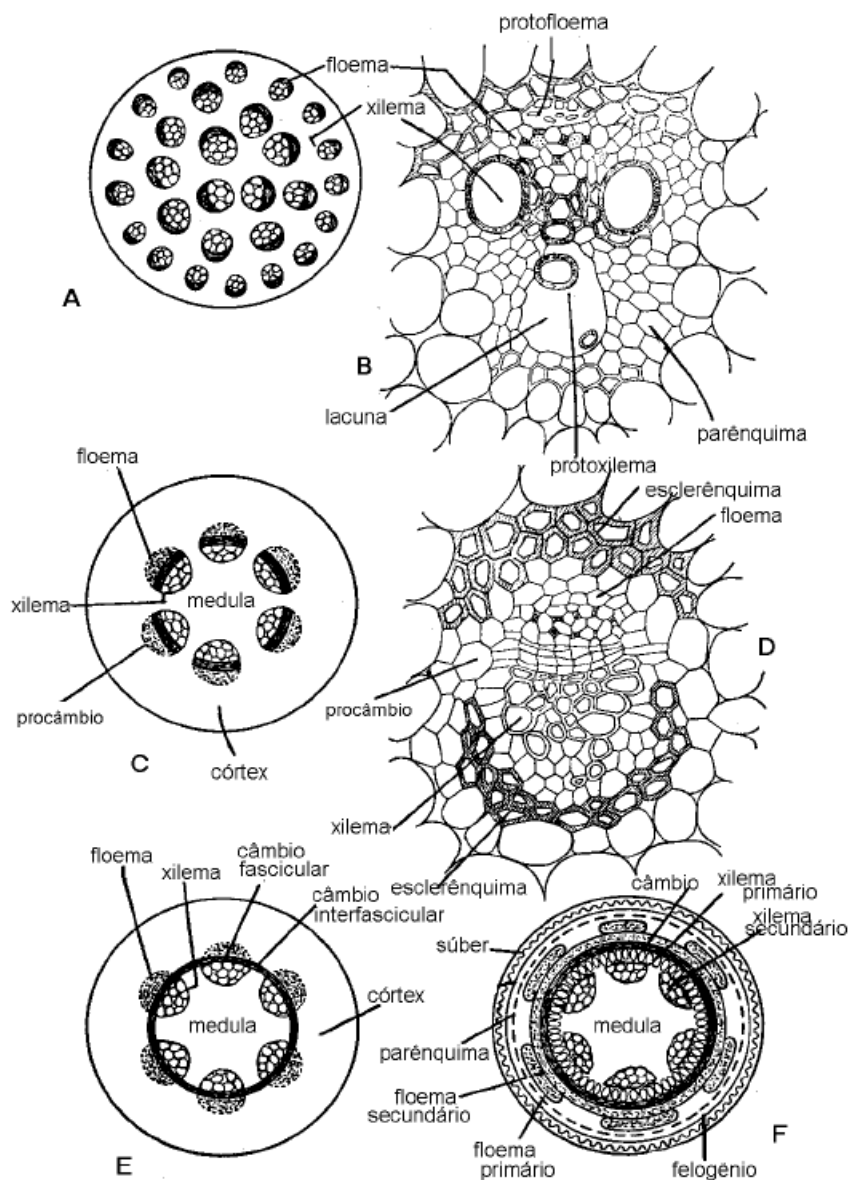
**a) Tipo Sifonostele** - Em algumas coníferas e dicotiledôneas, os tecidos vasculares primários aparecem sob a forma de um cilindro oco mais ou menos contínuo dentro do tecido fundamental ou parenquimático. A região externa de tecido fundamental é denominada córtex e a região interna, medula.



**Figura 46** - Cortes transversais do caule de *Tília*, feitos antes (A, C) e depois (B, D) do crescimento secundário ter início (Todos x23; de Plant Anatomy, John Wiley and Sons, 1953)

**b) Tipo Eustele** - Em outras coníferas e dicotiledôneas, os tecidos vasculares primários desenvolvem-se sob a forma de um cilindro composto de cordões interconectados, separados por tecido fundamental (fig. 47 C). O parênquima que separa os cordões (ou séries de procâmbio) é denominado parênquima interfascicular (entre os feixes). As regiões interfasciculares são denominadas frequentemente raios medulares.

c) **Tipo Atactostele** - Na maioria das monocotiledôneas e algumas dicotiledôneas herbáceas, a disposição dos cordões de procâmbio e dos feixes vasculares se mostra mais complexa. Os tecidos vasculares não aparecem sob forma de um único anel de feixes entre o córtex e medula, mas se desenvolvem sob a forma de um anel ou de um sistema interligado e ramificado de feixes espalhados através do tecido fundamental, o que muitas vezes, não pode ser diferenciado em córtex e medula (fig. 47 A).



**Figura 47** - Caule. A) corte transversal de um caule de monocotiledônea. Veem-se os feixes liberolenhosos (vasculares) dispersos por toda a secção. B) detalhe de um feixe do caule de milho (monocotiledônea). Esquema de um corte transversal em caule de uma dicotiledônea, em C estrutura primária em E e F, estrutura secundária. D) detalhe de um feixe do caule de uma dicotiledônea (mamona), em corte transversal.

Nas gimnospermas e dicotiledôneas que apresentam crescimento secundário, esse se dá graças à atividade do câmbio fascicular e a desdiferenciação de células do parênquima, localizadas entre os dois feixes vasculares, originando o câmbio interfascicular, que, unido ao câmbio fascicular, forma um anel completo de tecido meristemático (fig. 47 E-F). A atividade desses dois meristemas produz células do xilema voltadas para o centro do caule e células do floema voltadas para o córtex.

### *Classificação do caule*

#### **a) Quanto ao desenvolvimento:**

- **ERVAS:** plantas em geral de pequeno porte, cujo caule contém muito pouco tecido lenhoso. Podem ser anuais, bienais ou perenes, de acordo com a duração de seu ciclo vital.
- **ARBUSTOS:** vegetais lenhosos, de porte não muito avantajado, ramificado desde a base e em consequência disso, desprovido quase totalmente de um tronco.
- **ÁRVORES:** vegetais lenhosos, de porte avantajado, provido de um tronco, que se ramifica na parte superior, formando uma copa.

#### **b) Quanto ao habitat:**

##### ☞ **Aéreos**

#### **Eretos (crescem perpendicularmente ao solo)**

- **TRONCOS:** caules robustos, resistentes, lenhosos, com desenvolvimento maior na base e com ramificações no ápice. Ex.: flamboyant, ipê, sibipiruna, etc.
- **ESTIPES:** caules que se caracterizam por serem lenhosos, resistentes, cilíndricos e sem ramificações laterais (exceto inflorescências), apresentando um tufo de folhas no ápice. Ex. palmeiras.

- **HASTES:** caules de pequeno diâmetro e cor verde, onde os nós são evidenciados pela presença de folhas. Ex. arroz.
- **COLMOS:** caules com nítida divisão entre nós e internós. O colmo pode ser cheio ou fistuloso (oco), onde quase toda a medula do internó desaparece. Ex. milho, bambu, cana-de-açúcar.

*Obs.: em algumas espécies, como por exemplo Musa spp (bananeira), os restos das bainhas foliares, densamente superpostas, constituem-se em um falso caule aéreo, denominado pseudocaule.*

☞ **Rastejantes (crescem apoiando-se paralelamente ao solo)**

- **ESTOLONÍFEROS:** emitem raízes adventícias e ramos a partir dos nós consecutivos ou intercalados. De cada nó pode surgir uma nova planta. Ex. Morango (*Fragaria vesca*).
- **SARMENTOSOS:** caules rastejantes, geralmente com apenas um ponto de fixação ao solo. Ex.: abobrinha (*Cucurbita pepo*).

☞ **Trepador:**

Sobe através de um suporte por meio de elementos de fixação, como raízes grampiformes (Ex.: hera (*Hedera sp*)), gavinhas (Ex.: chuchu (*Sechium edule*)), espinhos (Ex.: primavera (*Bougainvillea sp*)), etc. O caule aéreo pode, ainda, enroscar-se num suporte sem a ajuda de elementos de fixação, sendo denominado volúvel. Ele se enrola ao tocar no suporte, podendo fazê-lo para a direita ou esquerda. O sentido é constante para cada espécie: sinistroso (para a esquerda) e dextroso (para a direita). Ex.: madressilva.

### ☞ **Subterrâneos:**

Formas incomuns de caules. Os caules subterrâneos garantem a vida da planta quando, por causa do frio ou seca, as partes aéreas não podem sobreviver.

- **RIZOMA:** crescem horizontalmente, próximos à superfície do solo. Geralmente armazenam alimento. Apresentam todas as características de um sistema caulinar comum (fig. 48). Ex.: gengibre (rizoma suculento).
- **TUBÉRCULO:** caules subterrâneos que podem ser formados de porções terminais de um sistema caulinar. Possui nós e internós de formato frequentemente ovóide com gemas (fig. 48). Ex: batata-inglesa (*Solanum tuberosum*).
- **BULBO:** é considerado um sistema caulinar modificado e não somente um caule modificado. No bulbo há apenas uma pequena porção de tecido caulinar, o prato, que é constituído de um disco achatado onde estão presos os catáfilos ou túnicas (folhas cheias de reserva nutritiva) (fig. 48). Ex: cebola, alho. Obs.: quando sólido, o bulbo é chamado de “cormo”.
- **XILOPÓDIO:** caule subterrâneo duro e muitas vezes lignificado que ocorre em muitas espécies do cerrado brasileiro.

### **Caules aquáticos:**

Seguem a mesma classificação dos caules terrestres, independentemente de serem caules enterrados em substratos ou flutuantes.

### **Caules modificados e modificações caulinares:**

São exemplos de caules modificados:

- **Rizóforo:** Durante muito tempo, essas estruturas foram citadas como raízes de suporte (raízes-escora), mas sua estrutura caulinar foi comprovada em 1993. Constituem

um eficiente sistema de sustentação em ambientes alagadiços e apenas nas extremidades esses órgãos produzem raízes adventícias. Ex.: Mangue vermelho (*Rhizophora mangle*).

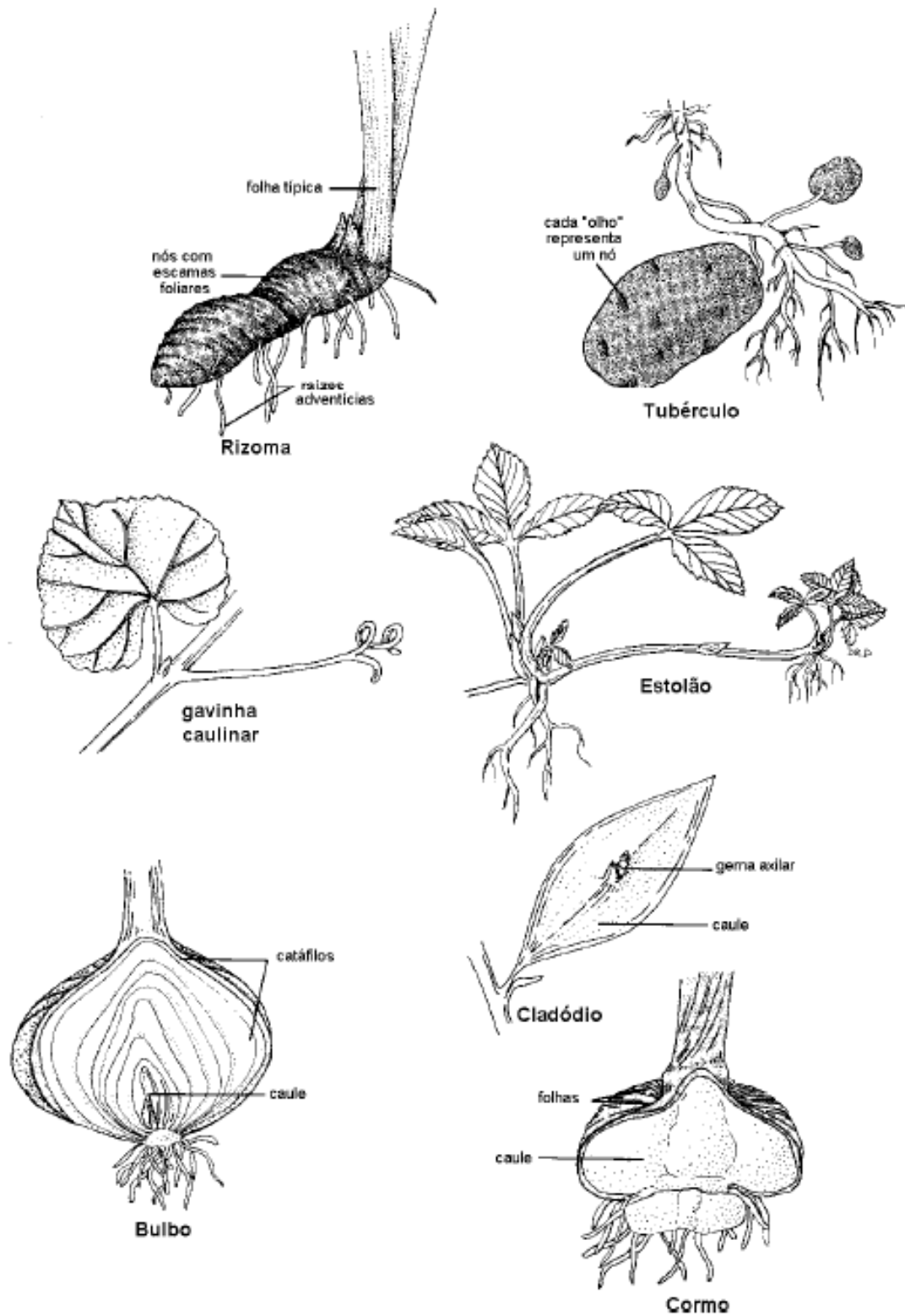
➤ **Cladódio:** caules laminares que assumem o aspecto de folhas (Fig. 48) e realizam fotossíntese (ex: carqueja (*Baccharis sp*)), podendo eventualmente agir como órgão de reserva de água (Ex.: alguns cactus).

São exemplos de modificações caulinares:

➤ **Espinhos caulinares:** são estruturas caulinares transformadas para a função de defesa contra a predação. Originam-se a partir de gemas que se desenvolvem em ramos curtos e pontiagudos e por isso se encontram sempre nas axilas das folhas. Ex.: limoeiro (*Citrus sp*). Alguns espinhos possuem origem foliar (ex: espinhos de *Cactaceae*). Os acúleos (“espinhos” de roseira e paineira), não são espinhos verdadeiros, mas sim projeções epidérmicas sem vascularização.

➤ **Gavinhas:** são estruturas caulinares que se enrolam e servem como suporte e fixação para trepadeiras. São sensíveis ao contato. Ex.: maracujá (*Passiflora spp*). Podem também ter origem foliar.

➤ **Domácias:** quaisquer modificações estruturais do caule (ou da folha), que permitam o alojamento regular de animais. Ex.: O caule oco da embaúba (*Cecropia spp.*) que é habitado por formigas.



**Figura 48** - Esquema ilustrativo de alguns tipos de caule especializados.



### 4.3 Folha

É um órgão que está presente em quase todos os vegetais superiores, com raras exceções, como acontece nas Cactaceae onde as folhas transformaram-se em espinhos.

A folha faz parte do sistema caulinar e, no sentido mais amplo da palavra, é um órgão altamente variável em estrutura e função. Nenhum órgão vegetativo das plantas apresenta tão grande polimorfismo e adaptação a diferentes meios e funções. Em geral a folha evidencia com clareza sua especialização para a fotossíntese pela forma laminar.

A transpiração, a eliminação e a absorção dos gases atmosféricos através dos estômatos, além da condução e distribuição da seiva e reserva de nutrientes são fenômenos fisiológicos de grande importância realizados pela folha.

A folha tem origem exógena nos caules e ramos, a partir da região periférica do ápice caulinar. Forma-se como uma expansão lateral do caule, sendo que em sua estrutura aparecem todos os tecidos equivalentes aos do caule.

A folha é caracterizada por apresentar crescimento determinado, tendo por isso seu meristema apical de curta duração. Este tecido logo se transforma em tecido permanente, ao passo que a base foliar pode continuar por mais tempo a atividade meristemática (crescimento intercalar). Algumas Pteridófitas tem crescimento apical foliar de longa duração.

As folhas diferem na forma, textura, grau de cutinização, quantidade de tecidos mecânicos presentes, em seus padrões de distribuição no caule, em sua nervação (distribuição das nervuras).

As plantas, com relação às folhas, podem ser:

- ✓ **Sempre verdes** (nunca completamente sem folhas);
- ✓ **Decíduas** (folhas eliminadas periodicamente).

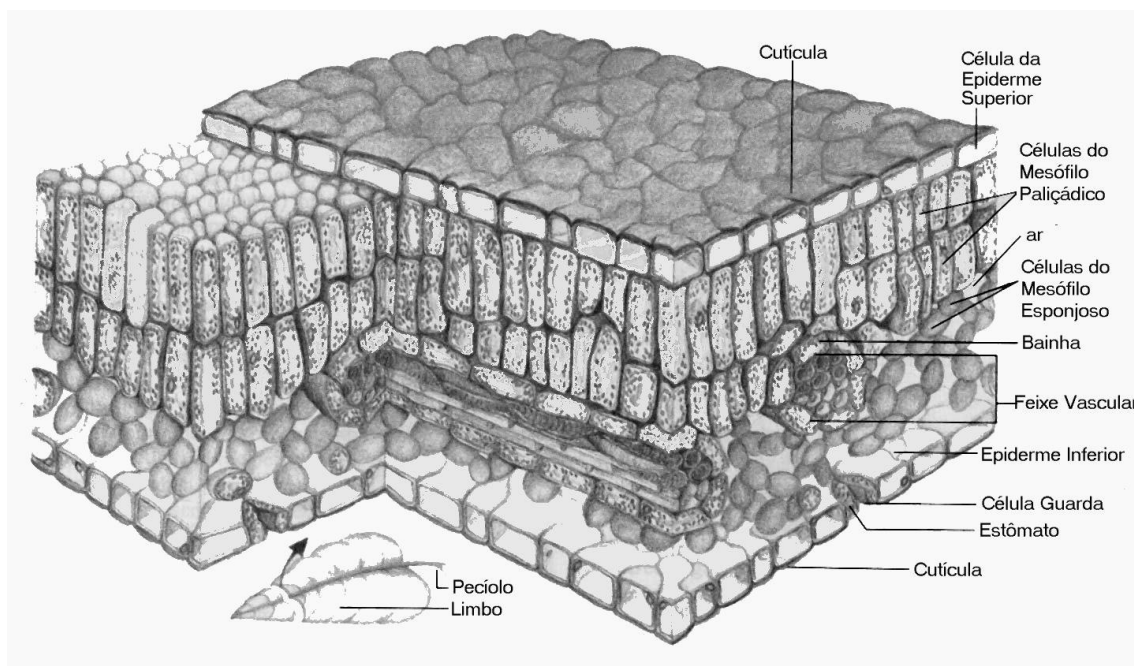
#### *Estrutura*

A folha é constituída, fundamentalmente, pelos mesmos sistemas de tecidos encontrados na raiz e no caule, ou seja, sistema dérmico (epiderme), sistema fundamental (parênquima e tecido de sustentação) e sistema vascular (tecido de condução (figura 49)).

O sistema vascular pode ser considerado uma extensão dos feixes vasculares do caule ou de suas ramificações, através do pecíolo, para o interior do limbo foliar.

As folhas apresentam uma grande variação em sua estrutura interna, variação está relacionada com vários aspectos como posição taxonômica e adaptações evolutivas aos diferentes habitats. Uma vez que a folha geralmente não apresenta crescimento secundário, a epiderme persiste como sistema de revestimento. Podemos observar, de forma genérica, os seguintes tecidos na folha:

- ✓ **Epiderme:** com células dispostas compactamente. Presença de cutícula, estômatos e tricomas.
- ✓ **Mesófilo:** tecido parenquimático situado entre a epiderme dorsal e ventral da superfície foliar. É essencialmente fotossintetizante, caracterizado pela presença de cloroplastos em suas células e um grande número de espaços intercelulares.



**Figura 49** - Visão estereoscópica de uma seção de folha típica.

Em muitas plantas, especialmente as mesófitas, o mesófilo está diferenciado em parênquima paliçádico e lacunoso (fig. 50). O parênquima paliçádico é mais rico em cloroplastos que o parênquima lacunoso. Além disso, a forma e o arranjo em “palito” de suas células são fatores que propiciam condições favoráveis de exposição dos cloroplastos à luz.

No parênquima lacunoso as células se apresentam em diferentes formatos, muitas vezes são irregulares, comunicando-se umas com as outras através de projeções laterais. O nome “lacunoso” se deve a presença de grandes espaços intercelulares, o que permite as trocas gasosas entre o meio interno e o ambiente externo.

O parênquima paliçádico pode ocorrer somente numa das faces foliares ou em ambas, como por exemplo nas xerófitas. Folhas que se desenvolvem expostas à luz (folhas de sol) durante seu desenvolvimento apresentam maior quantidade de parênquima paliçádico do que folhas de sombra.

Podem ocorrer ainda na folha glândulas, lactíferos (que produz e contém látex), nectários (glândulas que produzem néctar) extraflorais e outras estruturas secretoras.

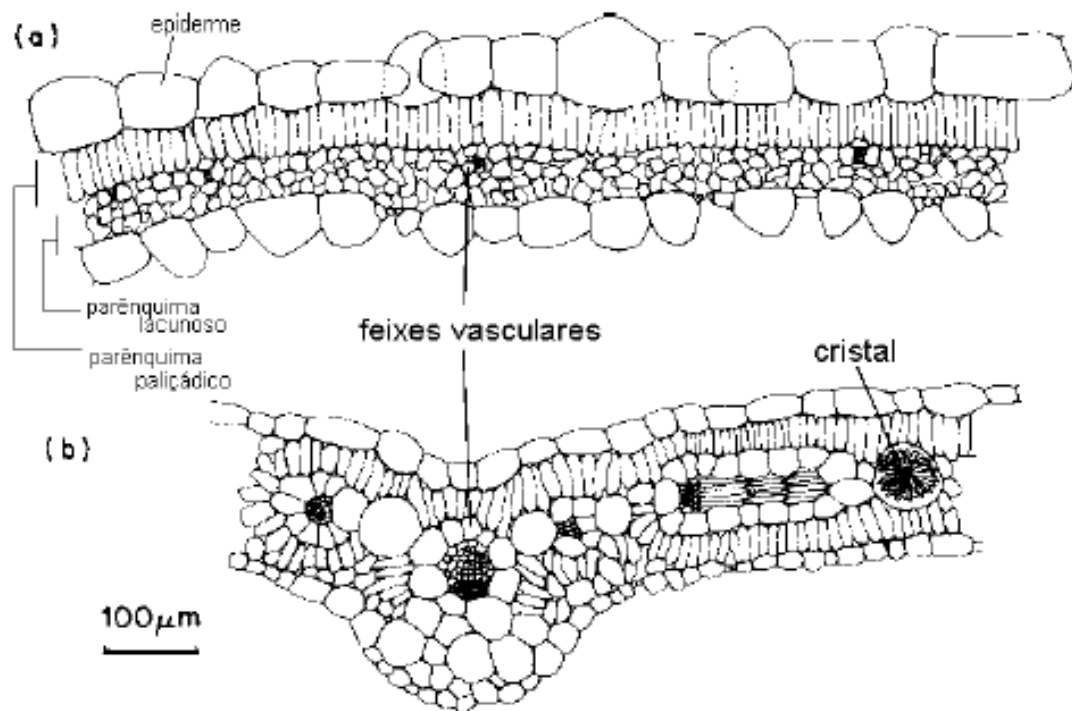
### ***Sistema vascular***

Os feixes vasculares (xilema e floema) são denominados nervuras e o padrão de disposição destas na folha recebe o nome de nervação ou venação. Observando-se a nervação, a olho nu, percebem-se 2 (dois) padrões principais: reticulado e paralelo.

Os feixes menores, no mesófilo, aparecem sempre envolvidos por uma ou mais camadas de células parenquimáticas, ordenadas de modo compacto, pobres em clorofila, que constituem a bainha do feixe. Esta bainha acompanha o tecido vascular até as suas últimas terminações, de tal modo que nenhuma região do tecido vascular fica exposta ao ar contido nos espaços intercelulares do mesófilo.

### ***Morfologia externa da folha***

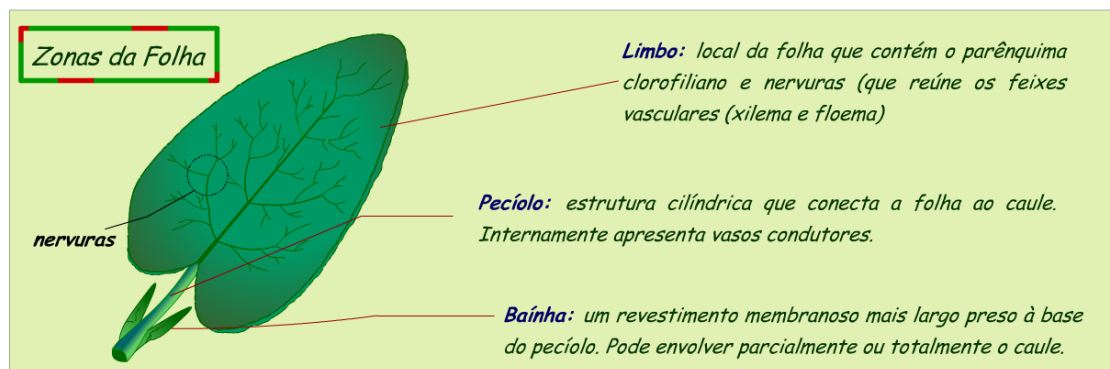
Partes da folha: uma folha completa apresenta: limbo (lâmina foliar), pecíolo e bainha, podendo ainda apresentar na base do pecíolo um par de apêndices chamados estípulas (fig. 51).



**Figura 50** - Corte transversal de uma folha em regiões de nervuras secundária. (a) *Oxalis tuberosus*, (b) *Amaranthus caudatus*. (Adaptado a partir de Rudall, 94).

- ✓ **LIMBO:** Parte essencial da folha. É a lâmina verde sustentada pelas nervuras. Constitui o sistema assimilador e sua organização está perfeitamente adaptada para o melhor aproveitamento dos raios luminosos, do ar e da água, necessários a fotossíntese. O limbo pode ser formado por uma única unidade (folha simples) ou de várias unidades separadas, chamadas folíolos (folha composta). A forma da folha é dada pela forma geral do limbo.
- ✓ **PECÍOLO:** É a extensão que sustenta a folha e se insere no caule. Tem forma subcilíndrica e na face superior uma “goteira” que percorre o sentido do comprimento. Em certas folhas a base do pecíolo se alarga, constituindo a bainha, que permite à folha uma inserção mais firme no caule. A bainha é mais desenvolvida e mais comum nas folhas de monocotiledôneas. Nas bananeiras, as bainhas muito desenvolvidas, uma sobre as outras, formam o pseudocaule desses vegetais.
- ✓ **ESTÍPULAS:** São apêndices laminares espinhosos ou lineares em algumas folhas na base do pecíolo. As estípulas podem se transformar em espinhos como ocorre em certas espécies de *Euphorbia* (coroa-de-cristo).

A bainha é encontrada nas folhas da maioria das monocotiledôneas, sendo pouco frequente nas dicotiledôneas. Só poucas famílias desse grupo vegetal, como por exemplo as Umbelíferas (família da erva-doce e da salsa) encontram-se folhas com bainhas bem desenvolvidas.



**Figura 51** - Partes da folha.

### **Consistência da folha**

A folha recebe denominações diferentes quanto a sua consistência:

- ✓ **Carnosa ou suculenta:** quando as folhas são espessas, com reserva de água e outras substâncias.
- ✓ **Coriácea:** quando as folhas são espessas, consistentes, rígidas mas flexíveis, lembrando couro.
- ✓ **Membranácea:** finas e resistentes.
- ✓ **Folhas das Gimnospermas:** acículas. Adaptadas ao habitat seco, não têm lâmina foliar. A epiderme apresenta paredes engrossadas coberta por uma espessa cutícula que se interrompe ao nível dos estômatos. Apresentam mesófilo sem diferenciação celular e canais resiníferos. O sistema vascular está formado por um ou dois feixes com xilema na face superior e o floema na face inferior.

## **4.4 Flor**

A flor tem sido objeto de numerosas pesquisas, do ponto de vista morfológico e anatômico, mas os pesquisadores são incapazes de chegar a um acordo quanto a sua natureza e às relações filogenéticas com outras partes da planta. Alguns botânicos,

provavelmente a maioria, consideram a flor como um ramo modificado e suas partes componentes homólogas às folhas.

### ***Estrutura da flor***

Tal como o ramo vegetativo, a flor é constituída de um eixo (receptáculo) e apêndices laterais. Estes são partes florais ou órgãos florais. Geralmente estão reunidas em órgãos estéreis e órgãos de reprodução. Sépalas e pétalas compondo respectivamente cálice e corola, representam as partes florais estéreis; estames e carpelos (livres ou unidos) as partes reprodutoras. Os estames em conjunto constituem o androceu, os carpelos o gineceu.

O arranjo das partes florais sobre o eixo e a relação entre essas partes é altamente variável (figura 52). As variações dizem respeito, particularmente, ao estudo taxonômico e filogenético da flor. Se a flor é encarada como um ramo modificado, as diferenças dessa estrutura podem ser interpretadas como desvios em diferentes graus da forma básica do ramo; e, nesse sentido, quanto maior o desvio, mais altamente especializada será a flor.

O ápice vegetativo é caracterizado por crescimento indeterminado. A flor, em contraste, apresenta crescimento determinado, pois seu meristema apical cessa a atividade depois de produzir todas as partes florais. As flores mais especializadas apresentam um período de crescimento mais curto produzindo um número menor e mais definido de partes florais do que as primitivas. Indicações adicionais de especialização crescente são: zigomorfia (simetria bilateral da flor (figura 53)) em lugar de actinomorfia (simetria radial da flor), o ovário passa de súpero para ínfero (figura 53), diminuição do número de apêndices florais.

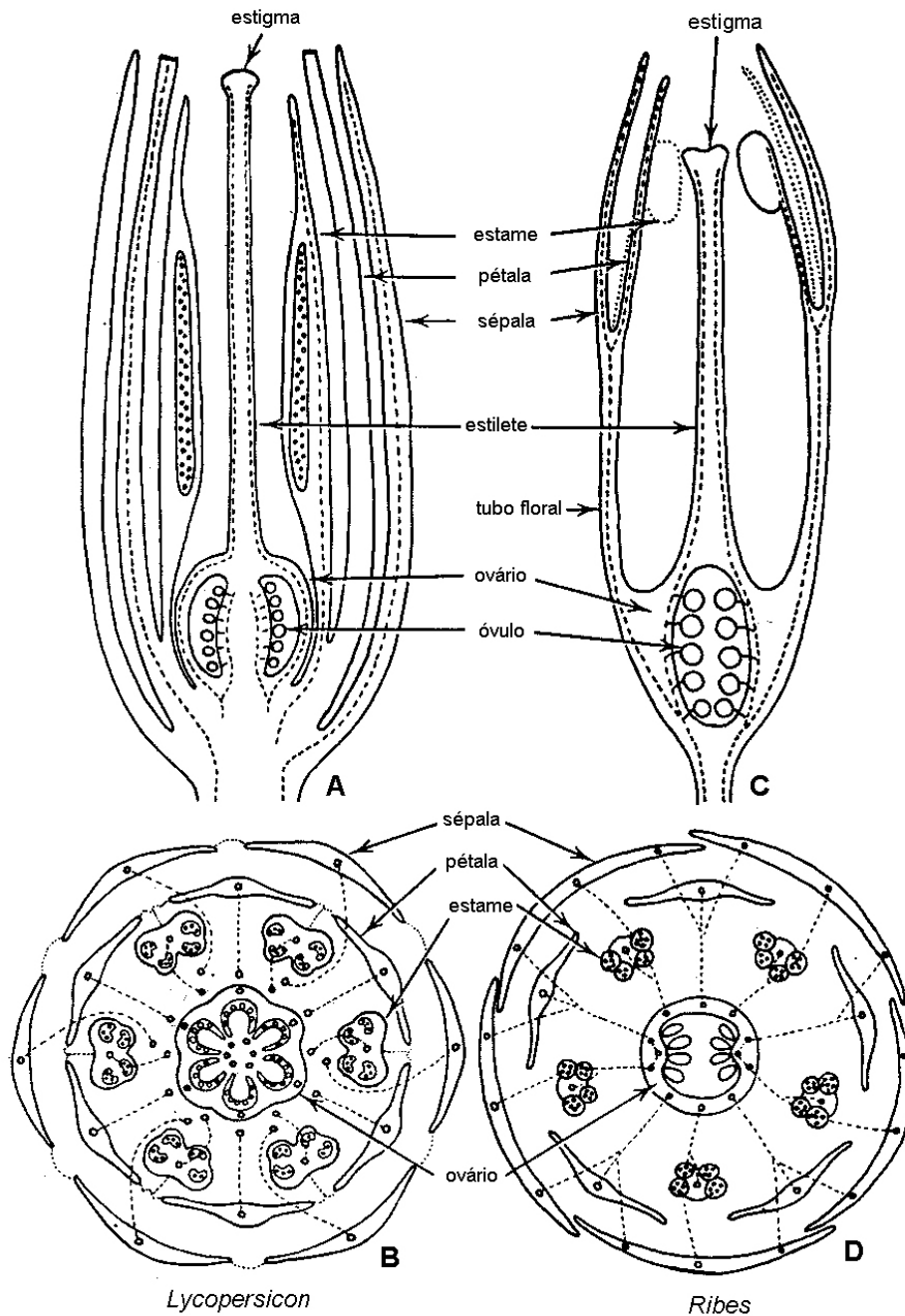
### ***Sépalas e pétalas***

Sépalas e pétalas lembram folhas quanto à estrutura interna. Apresentam parênquima fundamental, sistema vascular mais ou menos ramificado e epiderme.

Células portadoras de cristais, lactíferos, células taniníferas e outros idioblastos podem estar presentes.

Sépalas verdes contêm cloroplastos, mas raras vezes mostram diferenciação em parênquima paliçádico e lacunoso. A cor das pétalas resulta de pigmentos (carotenóides)

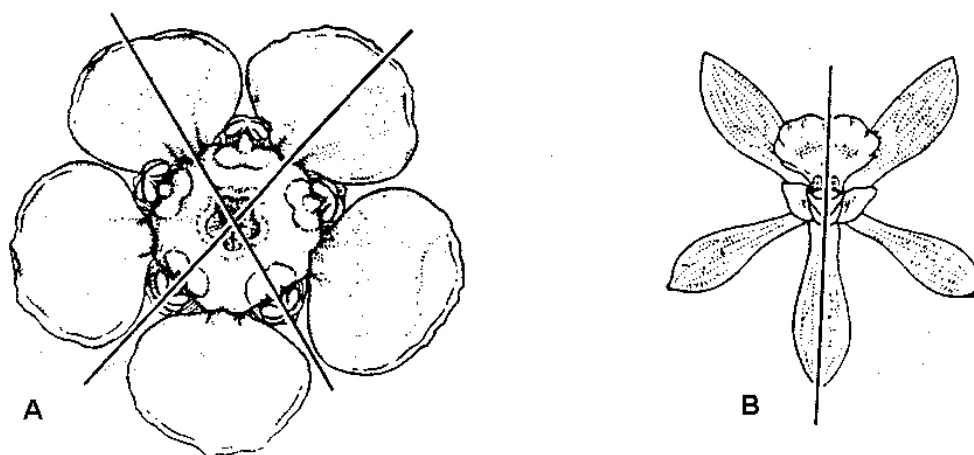
contidos em cromoplastos e no suco celular (antocianinas) e de diversos fatores que condicionam modificações, como por exemplo, acidez do suco celular. As células da epiderme das pétalas frequentemente contêm óleos voláteis que conferem fragrâncias características às flores. A epiderme das sépalas e pétalas pode apresentar estômatos e tricomas.



**Figura 52** - Diagramas de flores em cortes longitudinais (A, C) e transversais (B, D). A e B *Lycopersicon* (tomateiro); flor hipógina, placentação axial. C e D *Ribes*; flor epígina, placentação parietal. As linhas interrompidas indicam o curso dos feixes vasculares e suas interconexões.



**Figura 53** - Posição do ovário em relação às peças florais. A. ovário súpero (flor hipógina); B. ovário ínfero (flor epígena).



**Figura 54** - Simetria floral: A. flor actinomorfa e B. flor zigomorfa.

### ***Androceu (conjunto de estames)***

Um tipo comum compreende uma antera bilobada e tetraloculada, que nasce no filete, o qual é uma haste delgada provida de um único feixe vascular. Algumas das famílias mais primitivas de dicotiledôneas têm estames que se assemelham a folhas que possuem três nervuras (3 feixes vasculares).



O filete é relativamente simples em sua estrutura. Há parênquima envolvendo o feixe vascular. A epiderme é cutinizada, pode ter tricomas e tanto antera como filete podem conter estômatos.

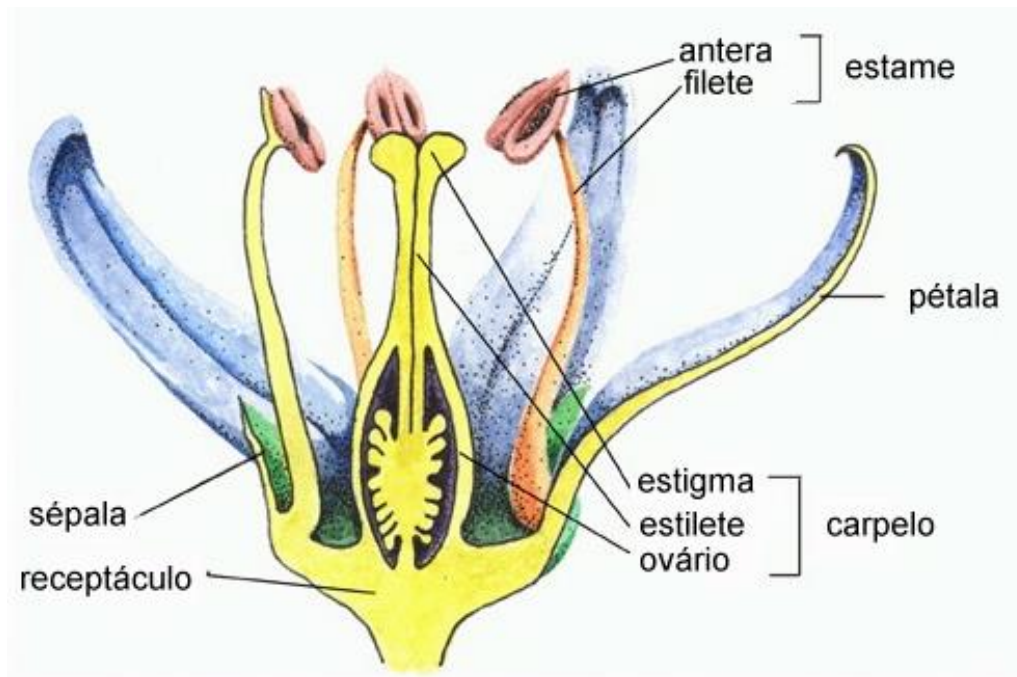
### ***Gineceu (conjunto de carpelos)***

Sua morfologia e terminologia relacionada estão sujeitas a mais controvérsias que qualquer outra parte da flor. A unidade estrutural básica do gineceu é o carpelo (fig. 55) e uma flor pode ter um ou mais carpelos. Um termo antigo usado em relação ao gineceu é pistilo para designar carpelo.

O carpelo é interpretado geralmente como estrutura foliar. Geralmente é diferenciado numa porção inferior fértil (ovário) e uma porção superior estéril (estilete). Com frequência, a porção superior do estilete é diferenciada em estigma. Quando não existe uma porção que possa ser interpretada como estilete, o estigma é dito séssil, isto é, fixo no ovário. A região portadora de óvulos no ovário é dita placenta.

O estigma é constituído de um tecido glandular secretor de substâncias que criam um meio adequado à germinação dos grãos polínicos. As células epidérmicas do estigma são comumente alongadas formando papilas, pelos curtos ou longos e ramificados.

O tecido do estigma está ligado à cavidade do ovário por um tecido semelhante, o tecido estigmatóide, através do qual crescem os tubos polínicos. Em estiletos que apresentam um canal, este é revestido pelo tecido estigmatóide. Os tubos polínicos atravessam esses tecidos, nos estiletos maciços, por crescimento intercelular.



**Figura 55** - Seção longitudinal de uma flor, esquematizada, com suas partes.

## 4.5 Fruto

Em geral, após a fertilização da oosfera, o ovário se desenvolve em fruto, enquanto o óvulo se transforma em semente. Em muitos grupos de plantas, o ovário está estreitamente relacionado com tecidos extracarpelares, os quais podem desenvolver-se conjuntamente, formando então parte do fruto.

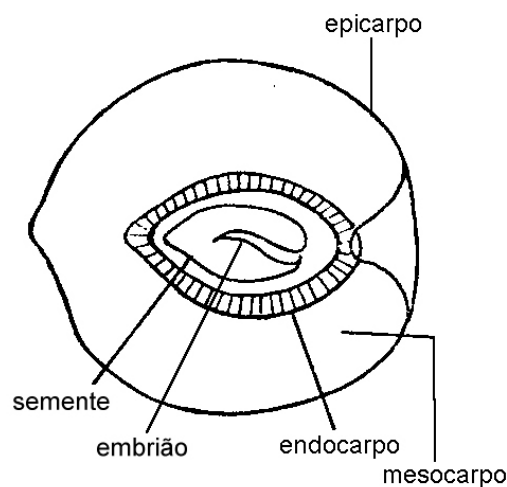
Tais uniões, conduzem a dificuldades terminológicas no que concerne a definição de fruto. Estritamente definido, o fruto é o ovário amadurecido. A tendência é ampliar o termo fruto, de modo a incluir toda e qualquer parte extracarpelar que possa estar associada ao ovário, na ocasião de sua maturidade. O termo também se refere aos frutos desprovidos de sementes (chamados frutos partenocárpicos).

É claro que, flores com mais de um carpelo, mas fundidos originará um único fruto. Novamente a definição não é adequada.

### ***Histologia da parede do fruto***

A “parede do fruto” é chamada pericarpo, isto é, a parede do ovário maduro ou o pericarpo com partes extracarpelares que podem vir a unir-se ao ovário no fruto.

A parede do fruto pode ser mais ou menos marcadamente diferenciada e com frequência, o pericarpo mostra duas ou três camadas distintas. Se estas forem reconhecíveis, serão denominadas, de fora para dentro: epicarpo (ou exocarpo), mesocarpo e endocarpo (fig. 56). Estes termos são comumente empregados na descrição de frutos, sem levar em conta a origem ontogênica das camadas.



**Figura 56** - Representação esquemáticas das partes de um fruto carnoso (pêssego).

### ***Parede dos frutos secos***

✓ **Frutos deiscentes:** Aqueles que abrem-se liberando as sementes quando maduros. Paredes de frutos deiscentes ocorrem em frutos que contêm várias sementes. Um fruto deiscente pode desenvolver-se a partir de um único carpelo (folículo, legume) ou de vários carpelos (cápsula). Tanto a região de abertura quanto a maneira de abrir-se são muito variáveis. A abertura pode ocorrer no lugar em que os bordos de um determinado carpelo se unem; ao longo da união de dois carpelos; longitudinalmente, através de uma área horizontal, circular, envolvendo todos os carpelos ou ainda através da formação de poros.

Histologicamente, a zona em que vai ocorrer a deiscência pode ser visível mais cedo ou mais tarde durante o desenvolvimento do fruto. Divisões celulares podem

preceder a deiscência; a abertura então ocorre na faixa de células de paredes delgadas dessa região.

Nas leguminosas, o exocarpo pode ser constituído apenas pela epiderme ou pela epiderme e camadas subepidérmicas, ambas compostas de células com paredes espessadas. O mesocarpo é geralmente de natureza parenquimática apresentando suas células paredes finas, enquanto o endocarpo pode constituir-se de várias camadas de células de paredes espessadas.

✓ **Frutos indeiscentes:** Aqueles que permanecem fechados mesmo depois de maduros. Um fruto indeiscente geralmente resulta de um ovário no qual apenas uma semente se desenvolve, embora mais de um óvulo possa estar presente. Nestes casos o pericarpo muitas vezes lembra a estrutura do tegumento de uma semente, que pode apresentar-se destruído em considerável extensão (ex: aquênio de girassol) ou fundido com o pericarpo (ex: cariopse das gramíneas).

Por exemplo, as camadas protetoras da cariopse do trigo, compreendem o pericarpo e restos do tegumento da semente. As camadas do pericarpo, de fora para dentro, são, respectivamente: epiderme externa, revestida de cutícula; uma ou mais camadas de parênquima parcialmente comprimidas e restos da epiderme interna. A cariopse das gramíneas possui grande quantidade de endosperma. A camada mais externa (ou várias delas) do endosperma contém inclusões protéicas recebendo o nome de camada de aleurona. As camadas internas de endosperma contêm amido e quantidade variável de glúten. O farelo dos grãos de trigo é constituído do pericarpo e dos tecidos externos de semente, incluindo a camada de aleurona.

### ***Parede dos frutos carnosos***

Os frutos carnosos, como os secos, podem derivar de gineceus monocarpelares ou multicarpelares. A parede pode ser constituída apenas do pericarpo ou do pericarpo unido tecidos extracarpelares. A parte externa da parede do fruto ou a parede inteira podem tornar-se carnosas por diferenciação em parênquima suculento e macio. Outras partes além da parede podem tornar-se carnosas, tais como a placenta e os tabiques dos

ovários multiloculares. O pericarpo, que deriva da parede de ovário, está composto pelas três camadas já referidas: o epicarpo, mesocarpo e endocarpo.

### *A evolução do fruto*

O fruto é o ovário maduro, que pode ou não conter partes florais persistentes. Classificam-se geralmente os frutos como simples, múltiplos ou agregados, de acordo com a disposição dos carpelos a partir dos quais o fruto se desenvolveu.

- ✓ **Frutos simples:** originam-se de 1 ou vários carpelos unidos.
- ✓ **Frutos agregados:** consistem de uma série de carpelos separados numa mesma flor (de um gineceu). Ex.: magnólia, framboesa, morango, fruta-do-conde.
- ✓ **Frutos múltiplos:** compõem-se de gineceus oriundos de mais de uma flor. Ex.: abacaxi, fruto múltiplo formado por uma inflorescência com muitos ovários anteriormente separados que se fundem sobre o eixo onde as flores estavam inseridas (as outras partes florais comprimem-se entre os ovários em expansão).

Os frutos simples constituem o grupo mais diversificado dos três. Quando maduros podem ser macios e carnosos, secos e lenhosos ou papiráceos. Há três tipos principais de frutos carnosos (figura 57):

- a) **Baga** - Ex.: tomate, uva. Todo o tecido fundamental é carnosos, frequentemente com várias sementes facilmente separáveis do fruto. Epicarpo delgado (pele), mesocarpo carnosos (polpa), endocarpo suculento ou gelatinoso.
- b) **Hesperídeo (tipo de baga)** - Ex.: cítricos. Apresentam epicarpo compacto, com glândulas de óleo, chamado flavedo (parte amarela da casca), mesocarpo esponjoso o albedo (parte branca da casca) e um endocarpo compacto que origina bolsas cheias de suco que são pelos secretores, originados subepidermicamente.
- c) **Drupa** - Ex.: pêssego, ameixa, noz. Com uma semente, epicarpo fino, mesocarpo carnosos e endocarpo pétreo, em geral intimamente aderido à semente.

**d) Pomo** - Ex.: pera, maçã. A porção carnosa é constituída de parênquima derivado do receptáculo da flor. (Em alguns livros pomo pode ser encontrado como um exemplo de pseudofruto, onde a estrutura carnosa corresponde às outras partes da flor que não o ovário).

Os principais frutos simples e secos (figuras 58 e 59) são:

**a) Deiscentes:** os tecidos da parede do ovário maduro rompem-se, libertando as sementes.

✓ **Folículo:** origina-se de um único carpelo que se abre de um só lado quando maduro. Ex: magnólia (figura 58 E)

✓ **Legume:** unicarpelar, parece com folículo, porém abre-se de ambos os lados quando maduro. Ex: vagem com semente de: ervilha, bauínea, flamboyant (figura 58 F).

✓ **Cápsula:** que se forma a partir de um ovário composto e espalha suas sementes quando se abre por fissuras longitudinais ou por orifícios próximos à sua extremidade. As cápsulas podem ser de vários tipos, segundo o modo de deiscência: loculicida (figura 58 D), poricida (figura 58 A-C), pixídio (figura 59 A), septicida (figura 59 C). Ex: fruto do cedro (*Cedrela fissilis*).

✓ **Síliqua (é um tipo de cápsula):** fruto simples, bicarpelar. Na deiscência separam-se duas valvas, a partir da base, à qual fica preso a um falso septo e restos de folhas carpelares onde se inserem as sementes (figura 59 B).

**b) Indeiscentes:** as sementes permanecem no interior dos frutos depois que este cai da planta mãe.

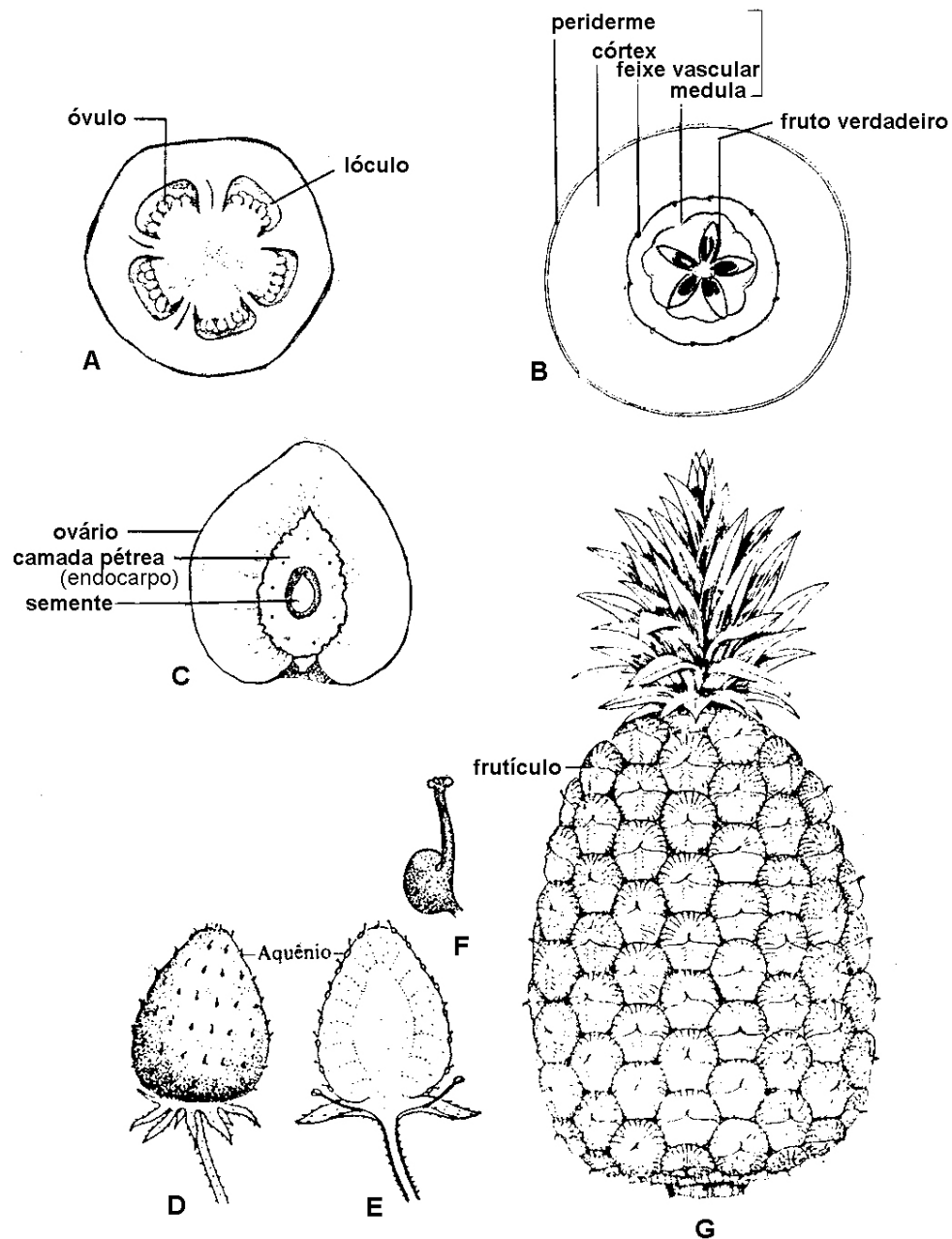
✓ **Aquênio:** pequeno fruto com apenas uma semente, a qual se acha livre dentro da cavidade dele, presa à parede do fruto (pericarpo) em somente um ponto (funículo). Os

aquênios são característicos da família das compostas, embora possam aparecer em outras. Ex: morango (cada ponto preto no fruto agregado é um aquênio).

✓ **Sâmaras:** fruto simples, tipo de aquênio cujas sementes são aladas – expansões do pericarpo. As sâmaras podem apresentar-se sozinhas ou em grupos de duas ou três. Ex: Centrolobium, Ulmos e Fraxinus (figura 59 F).

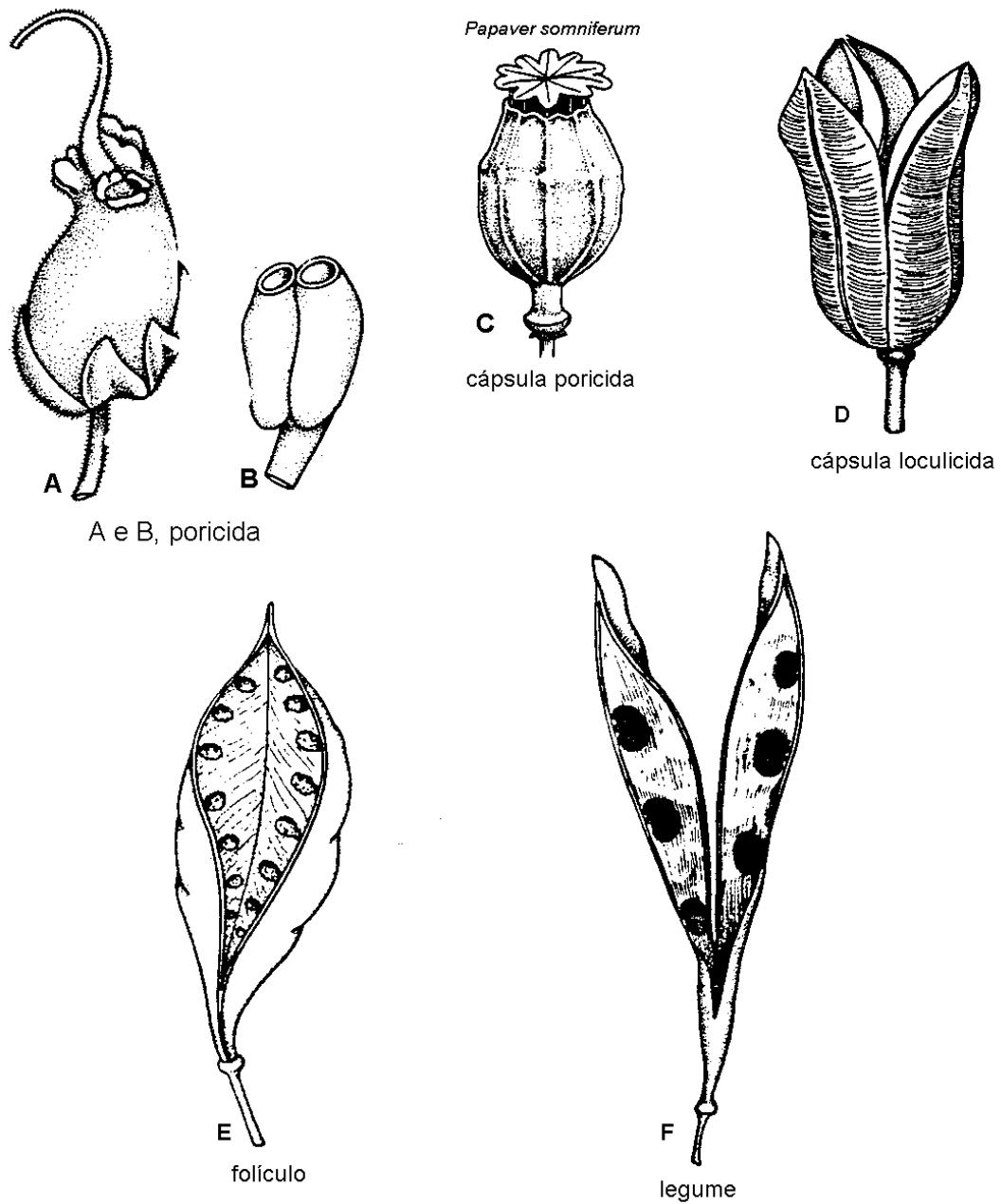
✓ **Cariopse:** fruto cuja semente é firmemente unida à parede do fruto por toda sua extensão. Ex: grãos de milho, arroz, trigo (figura 59 D).

✓ **Noz:** fruto com pericarpo extremamente duro, usualmente deriva de um pistilo composto, porém um só lóculo e uma só semente se desenvolvem. Ex: avelã e fruto do carvalho (figura 59 E).



**Figura 57** - Frutos carnosos. A. baga (tomate), B. pomo (maçã), C. drupa (pêssego), D-F. fruto agregado (morango). Receptáculo dilatado com muitos frutos simples, tipo aquênio (F). G. fruto múltiplo (abacaxi).





**Figura 58** - Exemplo de alguns frutos secos deiscentes. A-D, cápsulas; E, fóliculo e F, legume.

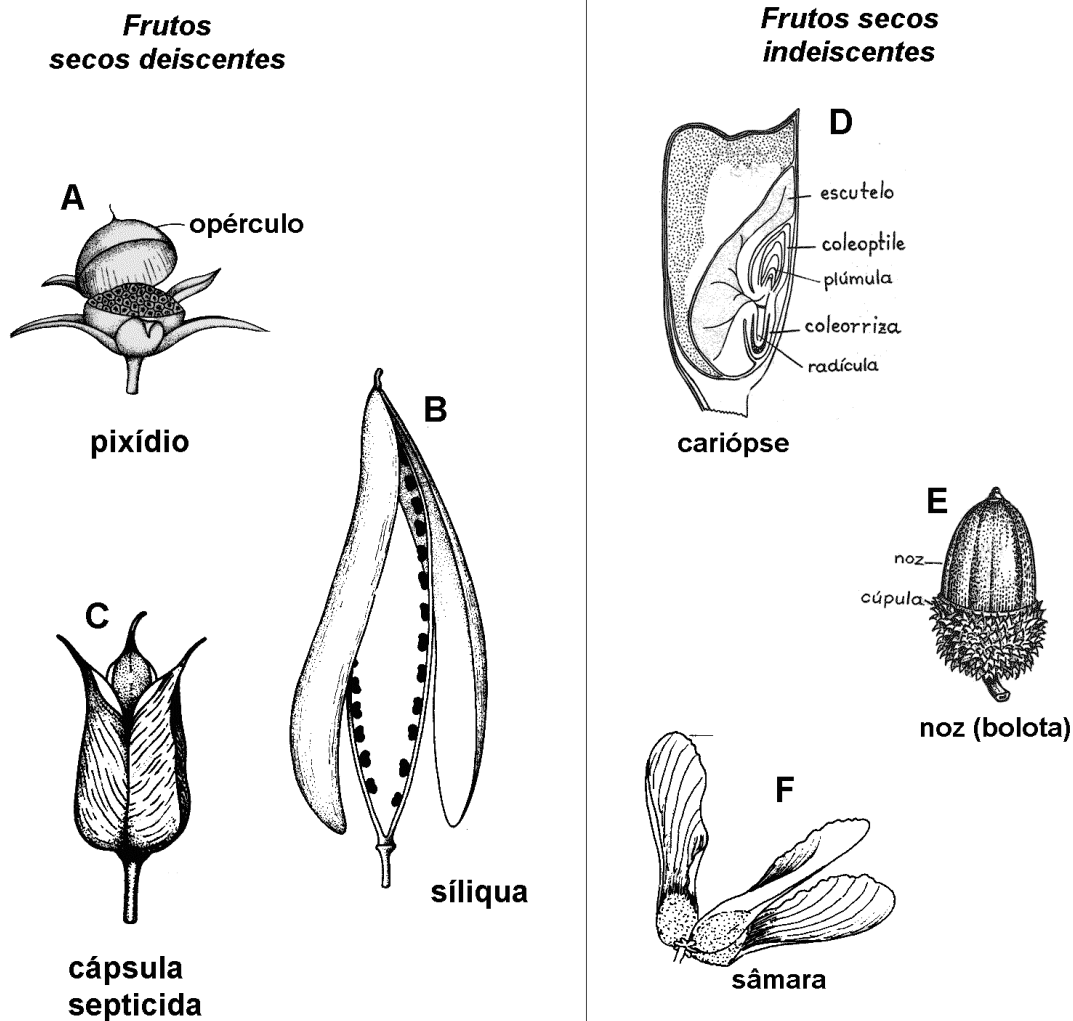


Figura 59 - Exemplos de frutos secos deiscientes (A-C) e indeiscientes (D-F).

### A dispersão dos frutos

Assim como podemos classificar as flores de acordo com seus polinizadores, podemos agrupar os frutos de acordo com seus agentes de dispersão.

✓ **Frutos anemocóricos:** Algumas plantas possuem frutos ou sementes extremamente leves e por isso podem-se dispersar através do vento. Por exemplo, as sementes de todos os membros das orquidáceas são pulverulentas e dispersam-se pelo vento. Outros frutos possuem asas, em geral formadas por partes de perianto. No bordo, por exemplo, que possui um gineceu composto de dois carpelos fundidos, cada um deles

desenvolve uma longa asa. Muitas compostas, como por exemplo o dente de leão, formam um pappus plumoso que ajuda a manter os frutos leves.

Algumas plantas possuem a própria semente com asas ou pelos. Na *Salsola kali*, a planta inteira ou partes frutificadas dela são carregadas pelo vento, espalhando suas sementes.

Outras plantas atiram sementes para o alto, como por exemplo *Impatiens* (beijo-de-frade).

✓ **Frutos hidrocóricos:** Frutos e sementes de muitas plantas, principalmente aqueles que crescem dentro ou próximo à água estão adaptados para flutuar (ou porque contém ar ou tecidos especializados).

Alguns frutos são especialmente adaptados para a dispersão através das correntes marítimas, por exemplo o coco-da-bahia. A chuva também é um poderoso agente dispersor.

✓ **Frutos Zoocóricos:** A maior parte dos frutos nos quais o pericarpo é carnoso, tais como cerejas, uvas, etc., são comidas por vertebrados. Quando pássaros ou mamíferos comem tais frutos, as sementes neles contidas espalham-se a medida que passam intactas pelo trato digestivo. Com o amadurecimento, os frutos carnosos sofrem uma série de mudanças físicas, incluindo elevação no conteúdo de açúcar, amolecimento geral do fruto, modificação da cor (verde-folha inaparente para vermelho brilhante, amarelo, azul ou preto). Eles podem até ter um gosto desagradável quando imaturos, desencorajando assim os animais que tentem comê-los antes da maturação.

As mudanças que acompanham o amadurecimento do fruto constituem um sinal indicador que ele está pronto para o consumo e as sementes maduras, prontas para dispersão. Não é coincidência que o vermelho é uma cor tão proeminente entre os frutos maduros. O vermelho puro não é visível aos insetos, mas bastante conspícuo para os pássaros e mamíferos.

Uma série de outras angiospermas possui frutos ou sementes que são espalhadas ao aderirem pelos ou penas. Tais sementes possuem acúleos, ganchos, barbas, espinhos, pelos ou envoltórios viscosos, sendo, por isso, em geral transportadas a longas distâncias pelos animais.

**VAMOS PENSAR!**

1. (UFPE) O Reino Vegetal foi dividido informalmente em dois grandes grupos: Criptógamos e Fanerógamos, considerando-se principalmente os aspectos reprodutivos. Abaixo, há uma série de exemplos de vegetais, identificados por algarismos e algumas de suas principais características

- 1) plantas vasculares, com sementes, porém sem frutos;
- 2) plantas com sistema condutor de seiva, com flores, sementes e frutos;
- 3) plantas com sistema condutor, com raízes e sem sementes;
- 4) plantas avasculares, com rizóides e sem sementes.

As características descritas pelos algarismos de 1 a 4 representam, respectivamente:

- a) gimnospermas, angiospermas, pteridófitas e briófitas;
- b) pteridófitas, angiospermas, gimnospermas e briófitas;
- c) pteridófitas, angiospermas, briófitas e gimnospermas;
- d) angiospermas, gimnospermas, pteridófitas e briófitas;
- e) angiospermas, gimnospermas, briófitas e pteridófitas.

2. (UFPB) Entre as adaptações dos vegetais à vida terrestre, uma das mais importantes está relacionada com o desenvolvimento da reprodução sexuada independente do meio aquático. Sob este aspecto, os vegetais terrestres que conseguiram superar a dependência da água para a fecundação dos gametas foram apenas as

- a) Pteridófitas;
- b) Gimnospermas;
- c) Briófitas;
- d) Angiospermas;
- e) Gimnospermas e angiospermas.

3. (UCDB-MT) São plantas vasculares as

- a) Pteridófitas, musgos e hepáticas;

- b) Hepáticas e angiospermas;
- c) Antóceros, hepáticas e musgos;
- d) Pteridófitas, gimnospermas e angiospermas;
- e) Apenas as angiospermas.

4. Um estrangeiro, em visita à região sul do Brasil, teve sua atenção voltada para uma planta nativa, de porte arbóreo, com folhas pungentes e perenes e flores reunidas em inflorescências denominadas estróbilos. Desta planta obteve um saboroso alimento, preparado a partir do cozimento em água fervente.

- a) Qual o nome popular desta planta e a que grupo pertence?
- b) O alimento obtido corresponde a que parte da planta?

5. **(Fatec-SP)** Considere as seguintes características dos vegetais

- I. sistema vascular;
- II. grãos de pólen e tubo polínico;
- III. sementes nuas.

Dessas, são comuns às gimnospermas e angiospermas

- a) Somente I;
- b) Somente II;
- c) Somente III;
- d) I e II apenas;
- e) I, II e III.

6. **(PUC-RS)** São vegetais que apresentam estruturas chamadas rizoides, as quais, servindo à fixação, também se relacionam à condução da água e dos sais minerais para o corpo da planta. Apresentam sempre pequeno porte, em decorrência da falta de um sistema vascular. Nenhum dos seus representantes é encontrado no meio marinho.

O texto acima se aplica a um estudo

- a) das pteridófitas;
- b) dos mixofitos;
- c) das briófitas;
- d) das clorofitas;
- e) das gimnospermas.

7. (UNICAMP) As algas são predominantemente aquáticas.

- a. Qual é o ambiente mais comum onde ocorrem os musgos e as samambaias?
  
- b. Qual seria o motivo principal de os musgos apresentarem pequeno porte e as samambaias serem de maior porte e algumas poderem atingir dois metros de altura ou mais?

8. (UFCE) Nas células meristemáticas, é comum a observação de

- a) grandes vacúolos;
- b) citoplasma parietal;
- c) figuras mitóticas;
- d) divisão meiótica;
- e) núcleo periférico.

9. Em relação aos meristemas secundários, é correto afirmar que

- a) promovem o crescimento em comprimento;
- b) os mais importantes meristemas secundários são o câmbio e o felogênio;
- c) o câmbio é encontrado somente nas raízes;
- d) o felogênio renova e aumenta as raízes das plantas;
- e) o câmbio produz a cortiça.

10. (UFBA) Qual dos seguintes conjuntos de características é comum a todos os tecidos de sustentação dos vegetais

- a) células mortas, localização periférica e presença de lignina;
- b) células em atividade, localização interna e parede reforçada com substâncias diversas;
- c) células mortas ou em atividade, localização variada e parede reforçada com substâncias diversas;
- d) células alongadas, localização periférica e presença de lignina ou de celulose;
- e) células alongadas, mortas, localização interna e parede reforçada com substâncias diversas.

11. (UFSE) A conhecida cortiça, de tão larga aplicação na fabricação de rolhas, é retirada de árvores que apresentam abundância do tecido denominado

- a) súber;
- b) lenho;
- c) colênquima;
- d) esclerênquima;
- e) líber.

12. (UF SÃO CARLOS) Os tecidos de sustentação nos vegetais são o colênquima e o esclerênquima. Eles se caracterizam, respectivamente, por

- a) celulose, e células mortas, com parede celular espessada com lignina;
- b) células mortas, com parede celular espessada com celulose, e células vivas, com parede celular espessada com lignina;
- c) células vivas, com parede celular sem espessamento, e células mortas, com espessamento de celulose na parede celular;
- d) células mortas, com parede celular com espessamento de celulose e lignina e células vivas sem espessamento;
- e) ambos serem tecidos vivos, distinguindo-se pela localização na planta: o colênquima, na casca e o esclerênquima, no lenho.

13. Na estrutura primária da raiz, representada no esquema, os números 1, 2, 3, 4, 5, 6 indicam, nessa ordem

- a) epiderme, córtex, endoderma, xilema, floema, câmbio;
- b) epiderme, córtex, endoderma, xilema, floema, periciclo;
- c) periderme, câmbio, raio parenquimático, xilema, floema, periciclo;
- d) periderme, córtex, endoderma, xilema, floema, câmbio;
- e) córtex, epiderme, periderme, floema, xilema, periciclo.

14. A zona de crescimento da raiz fica situada

- a) entre a zona pilífera e a zona de ramificação;
- b) entre a coifa e a zona pilífera;
- c) entre a coifa e a zona de ramificação;
- d) entre a zona de ramificação e a zona pilífera;
- e) distribuída ao longo de toda a extensão do órgão.

15. Um casal de namorados, numa prática condenável, gravou os seus nomes a um metro do solo, em uma árvore de dois metros de altura. Anos depois, voltando ao local, verificaram que a mesma árvore media agora quatro metros de altura. É válido procurar a antiga inscrição

- a) a 1 metro do solo;
- b) a 2 metros do solo;
- c) a 3 metros do solo;
- d) a qualquer altura, pois nada se pode prever;
- e) acima de 1 metro do solo.

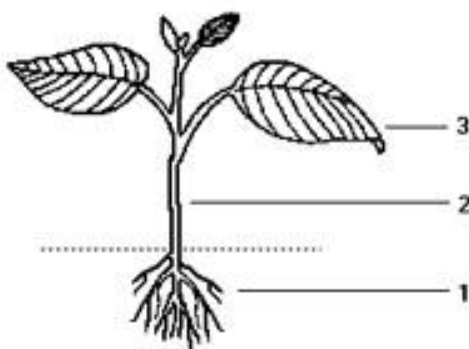
16. (UDESC) O caule é um dos órgãos presentes nos vegetais superiores. Com relação a esse órgão, responda

- a) Quais as funções principais?



- b) Qual o tipo habitual de caule do pinheiro-do-paraná?
- c) O colmo é um tipo de caule presente na cana-de-açúcar e no bambu. Como se caracteriza esse tipo de caule?

17. (UNILAVRAS) A figura representa uma planta e seus órgãos vegetativos 1, 2 e 3.



**I - Citar:**

- a) Uma função do órgão vegetativo um.
- b) Um tecido característico deste mesmo órgão.

**II - Citar:**

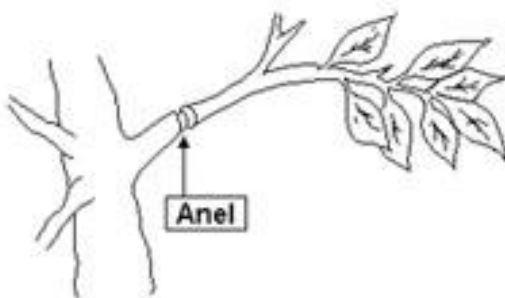
- a) Uma função do órgão vegetativo dois.
- b) Um tecido característico deste mesmo órgão.

18. (UFLAVRAS) Considere uma árvore de cinco metros de altura, que cresce um metro por ano.

a) Se ocorrer uma lesão que deixe uma marca em seu tronco, a 1,5 m do solo, a que altura ela estará aos cinco anos? Explique.

b) Se for retirado um anel da casca do caule, logo acima do nível do solo, provavelmente a árvore morrerá. Por que isso pode acontecer?

19. (UFSCAR) O desenvolvimento de um fruto depende das substâncias produzidas na fotossíntese, que chegam até ele transportadas pelo floema. De um ramo de pessegueiro, retirou-se um anel da casca (anel de Malpighi), conforme mostra o esquema.

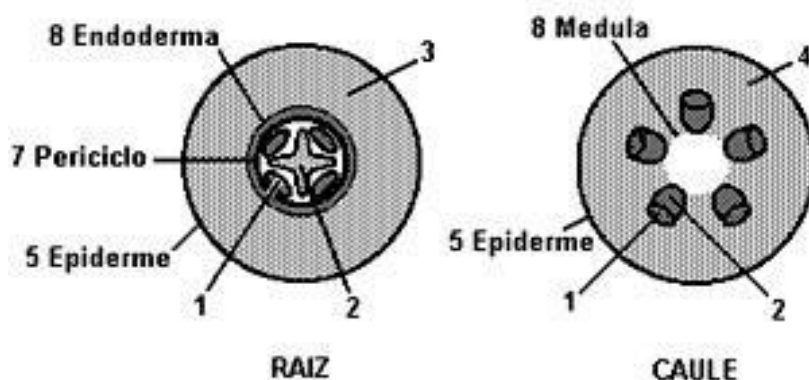


**Responda.**

a) O que deve acontecer com os pêssegos situados no galho, acima do anel de Malpighi, em relação ao tamanho das frutas e ao teor de açúcar?

b) Justifique sua resposta.

20. (FUVEST) Os esquemas representam cortes transversais de regiões jovens de uma raiz e de um caule de uma planta angiosperma. Alguns tecidos estão identificados por um número e pelo nome, enquanto outros estão indicados apenas por números.



Com base nesses esquemas, indique o número correspondente ao tecido:

- responsável pela condução da seiva bruta.
- responsável pela condução da seiva elaborada.
- constituído principalmente por células mortas, das quais restaram apenas as paredes celulares.
- responsável pela formação dos pelos absorventes da raiz.

## SEÇÃO II: ANATOMIA DA MADEIRA

### 5. ANATOMIA DA MADEIRA

O termo anatomia vem de *anatomé* que quer dizer dissecação, corte. A Anatomia da Madeira é o ramo da ciência botânica que se ocupa do estudo das variadas células que compõem o lenho, bem como sua organização, função e relação com a atividade biológica do vegetal. A anatomia constitui-se de elemento fundamental para qualquer emprego industrial que se pretenda destinar à madeira.

O comportamento mecânico da madeira (secagem, colagem de peças, trabalhabilidade e outros) está intimamente associado a sua estrutura celular. Através da anatomia é possível diferenciar espécies, identificando corretamente a madeira.

A madeira é um produto do tecido xilemático dos vegetais superiores, localizado em geral no tronco e galhos das árvores, com células especializadas na sustentação e condução de seiva. Do ponto de vista comercial, a madeira somente é encontrada em árvores com altura superior a 6 metros.

As árvores são plantas superiores, de elevada complexidade anatômica e fisiológica. Botanicamente, estão contidas na Divisão das Fanerógamas. Estas, por sua vez, se subdividem em Gimnospermas e Angiospermas.

Nas **Gimnospermas**, a classe mais importante é a das Coníferas, também designadas na literatura internacional como *softwoods*, ou seja, madeiras moles. Nas árvores classificadas como Coníferas, as folhas em geral são perenes, têm formato de escamas ou agulhas. São árvores típicas dos climas temperados e frios, embora existam algumas espécies tropicais. As coníferas constituem, em particular no Hemisfério Norte, grandes áreas de florestas, fornecendo madeira para múltiplos usos, seja na construção civil, seja na indústria dos mais diferentes segmentos. Mais de quinhentas espécies de coníferas já foram classificadas. Na América do Sul se encontra uma Conífera típica: o Pinho do Paraná (*Araucaria angustifolia*).

Situa-se no Brasil uma parte expressiva da zona de crescimento dessa espécie, englobando os estados do Paraná, de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul. O consumo interno e a exportação em larga escala promoveram grave redução das reservas nativa do Pinho do Paraná. O gênero *Pinus*, com algumas dezenas de espécies, também pertence às Coníferas. Sua introdução no Brasil vem obtendo sucesso, com destaque para o *Pinus*

elliottii, o *Pinus taeda*, o *Pinus oocarpa*, algumas variedades do *Pinus caribaea* (*hondurensis*, *bahamensis*, *caribaea*, *cubanensis*), entre outras.

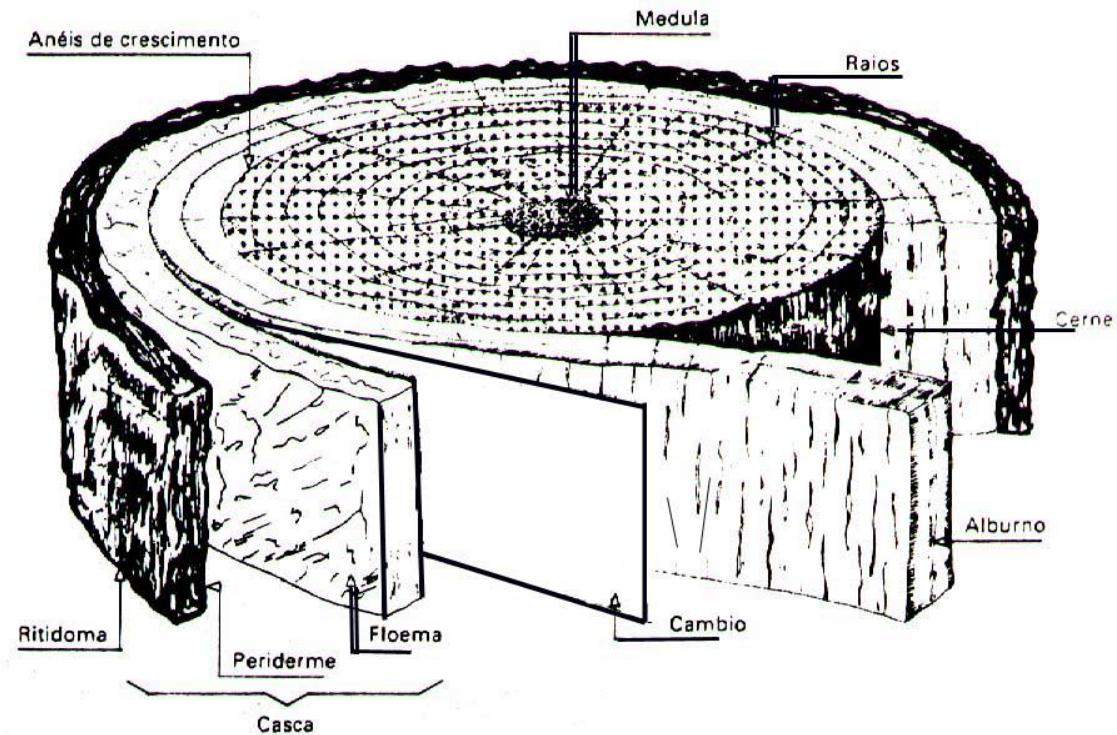
Nas **Angiospermas**, os mais organizados vegetais, distinguem-se as Dicotiledôneas, usualmente designadas na literatura internacional como *hardwoods*, ou seja, madeiras duras. Produzem árvores com folhas de diferentes formatos, renovadas periodicamente, e constituem a quase totalidade das espécies das florestas tropicais.

No Brasil, diversas essências das Dicotiledôneas são consagradas no mercado madeireiro, mencionando-se algumas delas: Aroeira do Sertão (*Astronium urundeuva*), Peroba Rosa (*Aspidosperma polyneuron*), Ipê (*Tabebuia serratifolia*), Mogno (*Swietenia macrophylla*), Cedro (*Cedrella fissilis*), Imbuia (*Ocotea porosa*), Caviúna (*Machaerium scleroxylon*), Pau Marfim (*Balfourodendron riedelianum*), Cerejeira (*Torrosea acreana*), Cabriúva (*Myroxylon balsamum*), Amendoim (*Pterogyne nitens*), Jacarandá da Bahia (*Dalbergia nigra*), Virola (*Virola surinamensis*), Jequitibá Rosa (*Cariniana legalis*), Copaíba (*Copaifera langsdorffii*), Pau Brasil (*Caesalpinia echinata*), Peroba do Campo (*Paratecoma Peroba*), Sucupira (*Bowdichia nitida*).

Também pertence às Dicotiledôneas o gênero *Eucalyptus*, com suas centenas de espécies. Originárias da Austrália, dezenas delas estão perfeitamente aclimatada nas regiões sul e sudeste do Brasil, com predominância do *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus paniculata*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus dunii*, *Eucalyptus microcorys*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus deglupta*.

## 5.1 ESTRUTURA MACROSCÓPICA DO TRONCO

Com exceção do câmbio e a maioria dos raios, em um corte transversal de um tronco as seguintes estruturas se destacam (Figura 60):



**Figura 60** - Seção transversal típica de um tronco.

### 5.1.1 *Córtex* (*L: córtex = casca*)

Porção mais externa do caule ou da raiz. É composta por uma camada exterior morta ou inativa (ritidoma) cuja espessura varia com a espécie e a idade, e, por uma camada interior viva (floema). Têm importância na identificação de espécies vivas e protege o tronco contra agentes do meio (variações climáticas, ataque de fungos, fogo, ressecamento e injúrias mecânicas). As cascas de algumas espécies são exploradas comercialmente, tais como a do carvalho na fabricação de cortiça (Fig. 61), acácia negra, barbatimão, angico vermelho, angico preto, angico branco, etc., na produção de taninos.

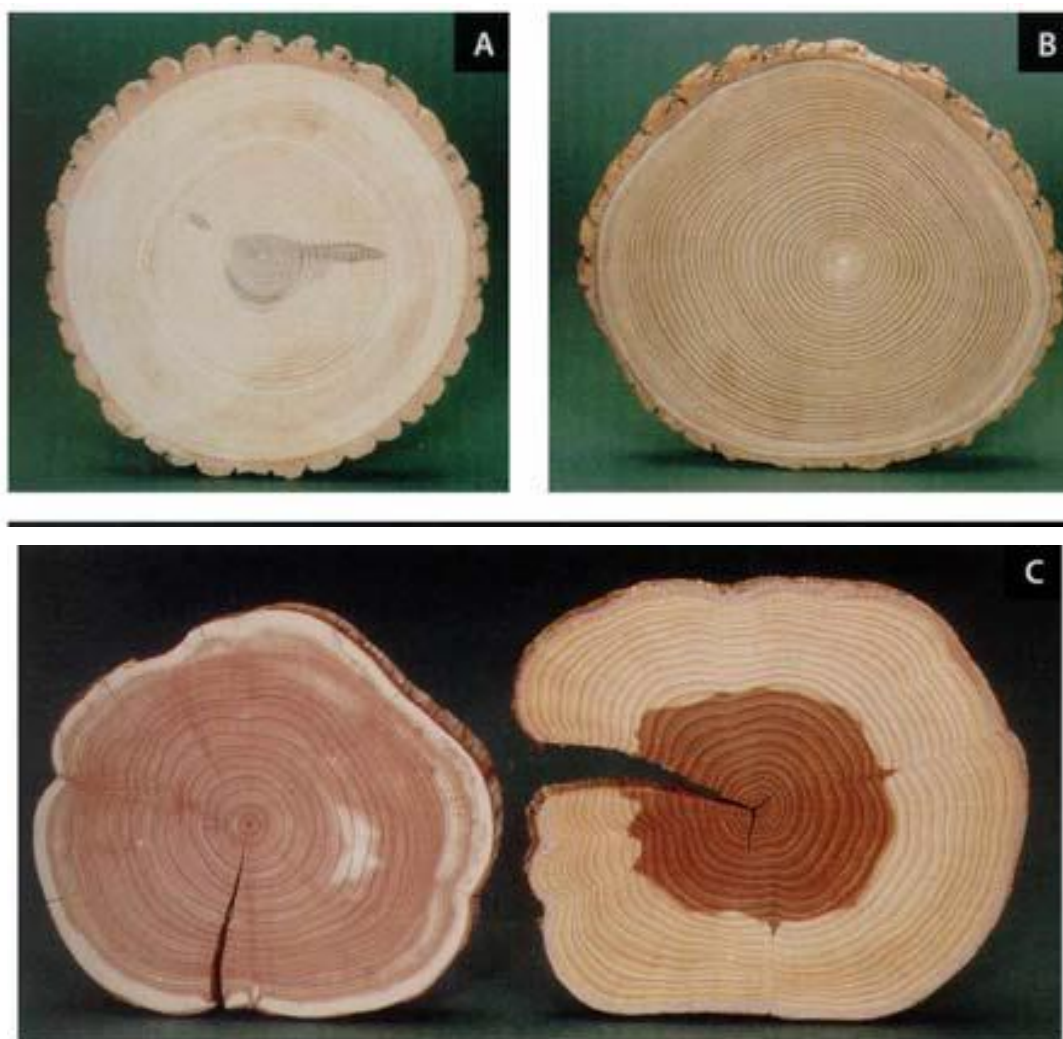
Enfim, em inúmeras outras utilizações, como alimento para gado, extensores para colas, fármacos, perfumaria, etc.



**Figura 61** - Árvore de Carvalho, produtora de cortiça.

### 5.1.2 *Alburno (Latin alburnu = branco)*

Porção externa, funcional do xilema, geralmente clara (Fig. 62). Possui células vivas e mortas. Tem como função principal a condução ascendente de água ou seiva bruta nas camadas externas próximas ao câmbio; também armazena água e substâncias de reserva tais como amido, açúcares, óleos e proteínas, e produz tecidos ou compostos defensivos em resposta as injúrias. Sua permeabilidade é facilitada pela presença de pontuações funcionais não incrustadas. Sua largura varia entre espécies e dentro da espécie devido à idade e fatores genéticos e ambientais. Há uma forte relação positiva entre a quantidade de alburno e a quantidade de folhas na árvore. Possui mecanismos de defesa ativo e passivo contra os xilófagos: o ativo é induzido por ataque ou ferimento e o passivo é produzido antes da infecção. Contêm poucos extrativos tóxicos e geralmente é susceptível ao apodrecimento. Aceita bem tratamentos com preservativos e para melhorar suas características tecnológicas. A “zona de transição” entre alburno e cerne – não aparente em todas as espécies – é uma camada estreita de coloração pálida, circundando regiões de cerne e injuriadas. Frequentemente possui células vivas, é destituída de amido, é impermeável a líquidos, com umidade mais baixa que o alburno e algumas vezes também a do cerne.



**Figura 62** - Diferentes tipos e proporções de alburno.

### 5.1.3 Cerne

É a camada interna e mais antiga do lenho, desprovida de células vivas e materiais de reserva. Em algumas espécies difere do alburno pela cor mais escura, baixa permeabilidade e aumento da durabilidade natural. Há apenas mecanismo de defesa passiva contra os xilófagos, proveniente do armazenamento de extrativos. Fornece suporte estrutural, otimiza o volume do alburno e mantém o ambiente. O volume do cerne é cumulativo, o de alburno não. Ou seja, a proporção de cerne aumenta com a idade.

As células de suporte e condução morrem após alguns dias de formadas. As camadas internas perdem gradativamente sua atividade fisiológica e a atividade parenquimática gradualmente declina ao afastar-se do câmbio. Toxinas – subprodutos do metabolismo – podem provocar a morte das células parenquimáticas. Este evento – a



morte completa do parênquima – marca o início do processo de transformação de alburno para cerne, denominado cernificação. Ao morrerem as células parenquimáticas, as substâncias de reserva são em parte removidas ou polimerizam formando resinas, corantes, óleos, compostos fenólicos, taninos, gorduras e outros químicos, que impregnam pontuações e paredes ou deposita-se nos lumens das células proporcionando ao lenho durabilidade e coloração. O resultado da alteração do alburno nesse processo recebe o nome de cerne.

O início da cernificação varia entre as espécies. No eucalipto inicia-se aos 5 anos, nos pinus entre 14 e 20 anos e há espécies iniciando após os 80 anos ou mais. A velocidade do processo de cernificação também varia com a espécie.

A resistência da madeira não é essencialmente afetada pela cernificação, pois nenhuma célula é adicionada, retirada ou sofre modificação anatômica no processo.

Considerando o tronco um cilindro, ocorrem elevadas tensões de compressão e tração nas camadas externas, donde se conclui que o cerne é menos importante que o alburno no suporte estrutural. De fato, troncos ocos de árvores antigas persistem por vários anos. No entanto o alburno é insuficiente na sustentação dessas árvores e o cerne providencia a necessária resistência a compressão: árvores ocas tombam quando a camada externa de madeira é inferior a 1/3 do raio total. No entanto, evidências demonstram que o cerne possui pouca ou mínima contribuição mecânica em espécies com alburno relativamente espesso.

Variação de cerne numa espécie ocorre devido a idade da árvore, tratos silviculturais, vigor da árvore, estrutura anatômica, geadas, doenças, poluição, taxa de crescimento, site, controle genético, etc.

A cernificação não é inteiramente conhecida, embora alguns eventos sejam evidentes (morte do parênquima e formação de extrativos) e outros, efêmeros. Entre as alterações observadas na cernificação da madeira, algumas não respondem suficientemente a variação dos modelos de formação do cerne. As modificações são as seguintes:

- Morte do parênquima;
- Formação de extrativos;
- Alteração no teor de umidade; ressecamento;
- Degeneração dos núcleos dos parênquimas;
- Decréscimo de substâncias nitrogenadas;

- Produção e acúmulo de gases (etileno e CO<sub>2</sub>);
- Obstrução da pontuação;
- Remoção ou acúmulo de nutrientes (K, Mg, Ca, etc);
- Redução dos compostos armazenados;
- Atividade enzimática.

A cernificação é acompanhada de um aumento no conteúdo e no acúmulo abrupto ou gradual de extrativos. Os extrativos formam-se na “zona de transição” ou no limite alburno/cerne a partir da disponibilidade de compostos locais e outros deslocados desde o floema e alburno. Compostos fenólicos são produzidos e armazenados na “zona de transição” ou seus precursores são acumulados no alburno e depois transformados na “zona de transição”. Os extrativos podem impregnar a parede celular, iniciando na lamela média e, posteriormente, na parede secundária. Os extrativos estão localizados majoritariamente nos raios. Há evidências de íntimas associações químicas entre extrativos e componentes estruturais da parede, porém a formação dos compostos do cerne difere do processo de lignificação.

A quantidade de extrativos no cerne aumenta em direção ao alburno, conseqüentemente a idade da árvore influencia no conteúdo de extrativos. O baixo padrão quali e/ou quantitativo de extrativos próximos a medula reflete a degradação dos mesmos com o tempo ou no incremento da deposição com a idade. O exterior do cerne é mais durável na base da árvore e está associado com o decréscimo de extrativos em direção a medula e altura da copa. Madeira de reação possui quantidades mais baixas de extrativos em comparação à normal.

A presença de extrativos no cerne pode:

- Reduzir a permeabilidade: torna-o lento durante a secagem e dificulta a impregnação com preservantes químicos;
- Aumentar a estabilidade dimensional em condições de umidade variável;
- Aumentar ligeiramente o peso;
- Ser tóxico aos organismos xilófagos, aumentando a durabilidade da madeira;
- Consumir mais químicos no branqueamento da polpa de celulose;
- Corroer metais (taninos);

- Interferir na aplicação de tintas, vernizes e colas apresentar coloração agradável.

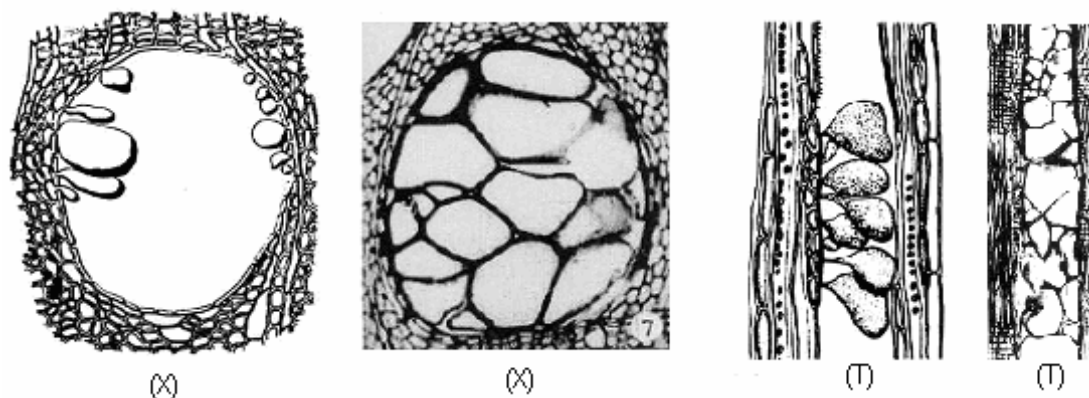
Em algumas folhosas, associada a formação do cerne, observa-se a ocorrência de tiloses, obstrução dos lumens dos vasos por tilos (Fig. 63). Tilos são expansões de células parenquimáticas que penetram nos vasos adjacentes através das pontuações, podendo obstruir os lumens total ou parcialmente, além do fechamento das pontuações; formam-se quando a pressão no lúmen do parênquima projeta sua parede para o interior da cavidade do vaso. Os tilos possuem paredes finas ou espessas, pontuadas ou não e conter ou não amido, cristais ou gomo-resinas. Tilos esclerosados apresentam parede espessa, laminada e lignificada, com pontuações simples coalescentes.

As tiloses integram a estratégia de defesa da árvore ao reduzir a quantidade de ar e umidade, dificultar o movimento de xilófagos pelos vasos e permitir o acúmulo de extrativos, evitando serem diluídos pelo fluxo da transpiração.

Ferimentos externos podem estimular a formação de tilos visando bloquear a penetração de ar na coluna ascendente de líquidos, como também a degradação das membranas das pontuações por fungos. Excepcionalmente, tilos podem ser observados em fibras com pontuações grandes (algumas lauráceas e Magnoliáceas).

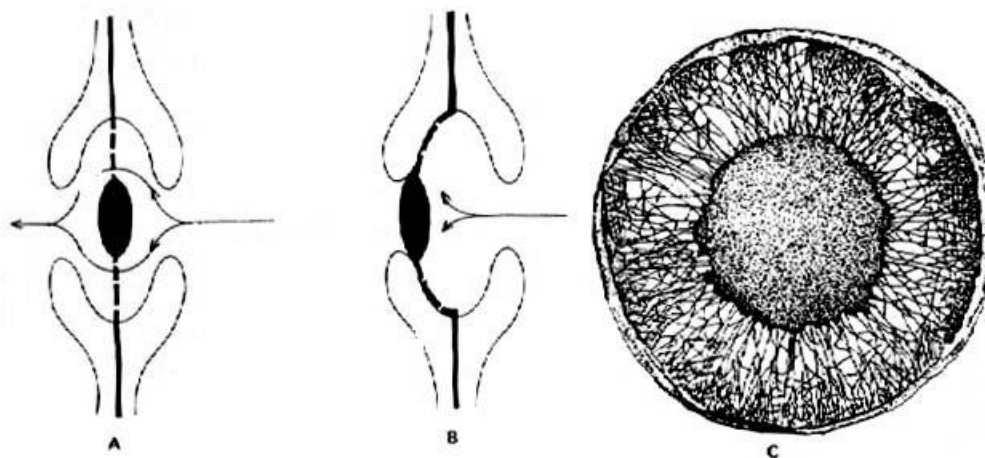
Nas folhosas, o fator determinante da permeabilidade da madeira é a presença ou não de tiloses. Os tilos são importantes na identificação e principalmente na utilização da madeira, por aumentarem a densidade dentro de certos limites e dificultarem a secagem, a impregnação com preservantes ou estabilizantes químicos e a infiltração de licores na polpação pois obstruem os caminhos naturais da circulação de líquidos. Tilos são também encontrados em coníferas: ocorrem nos traqueoides axiais de espécies que apresentam pontuações do campo de cruzamento fenestriforme, resultado de injúrias mecânicas, infecções ou estímulo químico.

É comum encontrar no cerne das coníferas, canais resiníferos obstruídos pela dilatação das células epiteliais que o circundam, fenômeno conhecido por tilosóide. Em consequência, a resina é expelida dos mesmos, impregnando os tecidos adjacentes.

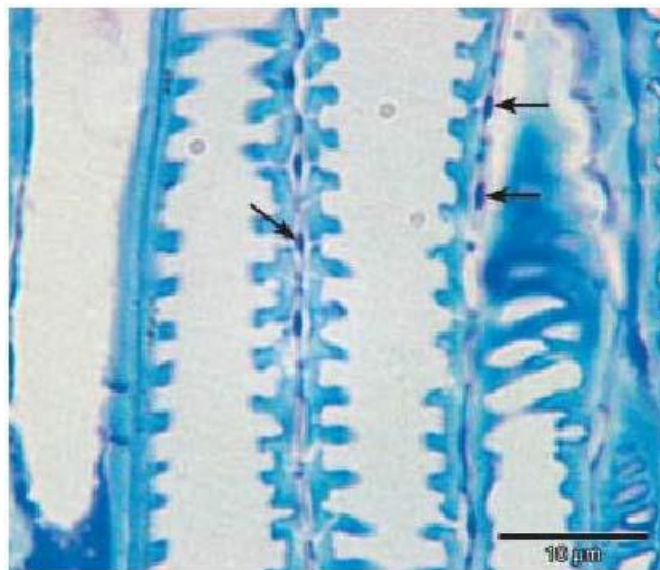


**Figura 63** - Lúmen de um vaso invadido por tilos: (X) - Seção transversal; (T) – seção axial tangencial.

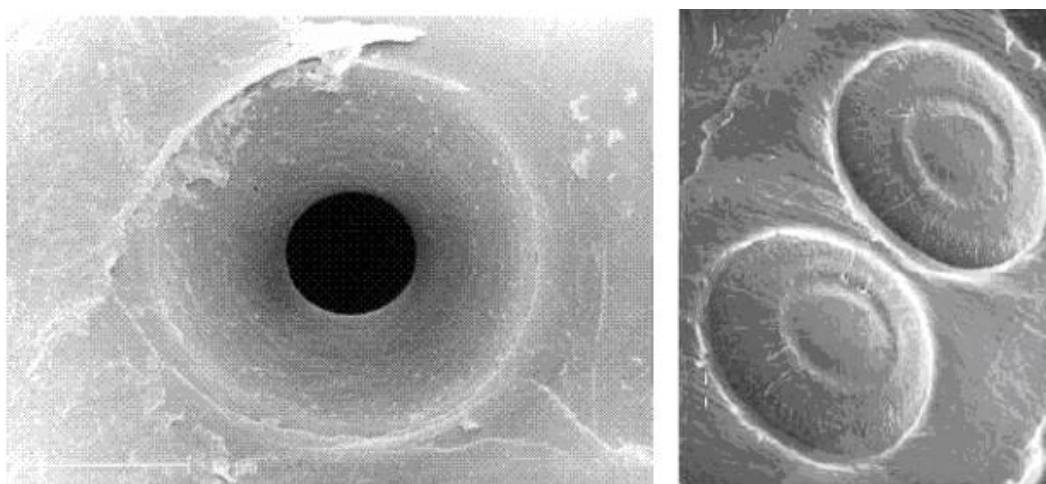
Pontuações areoladas são conexões entre células condutoras do xilema. Nas coníferas e em algumas folhosas o centro da membrana da pontuação possui um espessamento denominado torus (Fig. 05 e 06). Torus vem a ser o engrossamento da parede primária no centro da circulação, formando uma espécie de pastilha achatada que funciona como válvula, regulando o fluxo de líquidos através da pontuação. Quando o torus torna-se mais ou menos inativo move-se para um dos lados da pontuação, esta é dita aspirada e, o torus muitas vezes encontra-se irreversivelmente aderido por extrativos (Fig. 64). Esta posição bloqueia a passagem e a circulação de líquidos. A aspiração aumenta em direção ao cerne.



**Figura 64** - Pontuação areolada: a – funcional, permite a passagem de líquidos (seta); b – aspirada, torus obstrui a circulação de fluidos; c – Vista frontal do torus no centro do margo.



**Figura 65** - Pontuações intervasculares com torus.



**Figura 66** - Pontuações areoladas funcional e aspirada.

Embora ocorra no cerne, pontuações aspiradas podem acontecer no alburno, constituindo um recurso da árvore para impedir a penetração de ar na coluna ascendente de líquidos em caso de ferimento.

Independente da aspiração, pontuações também são incrustadas por extrativos, obstruindo-as. Pontuações aspiradas e ou incrustadas, característica do cerne, reduz o movimento de fungos e a umidade na madeira, presumidamente criando condições menos propícias à degradação.

Quando o cerne não se destaca do alburno pela coloração mais intensa, pode existir fisiologicamente. Neste caso, é chamado de cerne fisiológico. Existem espécies com ausência absoluta de cerne.

#### 5.1.4 *Medula*

Parênquima que ocupa a parte central do tronco. Tem a função de armazenar substâncias nutritivas. Seu papel é especialmente importante nas plantas jovens, onde pode participar também da condução ascendente de líquidos. A coloração, forma e tamanho, principalmente nas folhosas, são variáveis. É susceptível ao ataque de xilófagos.

#### 5.1.5 *Anéis de crescimento*

Nas seções transversais do caule, as camadas resultantes da atividade cambial aparecem em forma de anéis. Em zonas de clima temperado os anéis representam os incrementos anuais das árvores (Fig. 67). Permitem:

- Estimar a idade da árvore;
- Saber se a árvore possui incremento rápido (anéis bem espaçados) ou lento (pequeno espaço entre anéis) e,
- Saber quais anos foram favoráveis (espaços maiores), quais os desfavoráveis (espaços menores).

As folhosas tropicais apresentam mais de um período de crescimento por ano (representam os períodos de seca e de chuva) e não há demarcação indicando o início ou o fim das sucessivas camadas, não mostrando anéis bem definidos. Inversamente, folhosas de regiões secas, como por exemplo o semiárido nordestino, em virtude de seca prolongada podem produzir uma única camada de crescimento em vários anos.

O anel de crescimento é constituído por dois tipos de lenho (Fig. 67 e 68):

- **Lenho inicial** - apresenta elementos anatômicos menores, paredes celulares finas, lumens grandes, numerosas pontuações grandes, madeira macia, de menor densidade e resistência, mais acessível à água e mais clara.
- **Lenho tardio** - elementos anatômicos maiores, paredes celulares espessas, lumens pequenos, poucas pontuações pequenas, madeira dura, de maior densidade e resistência, menos permeável e mais escura.

Possuem vários graus de nitidez que dependem da espécie e das condições de crescimento da planta, devido a diferença entre o lenho produzido no início e aquele produzido no fim do período de crescimento.

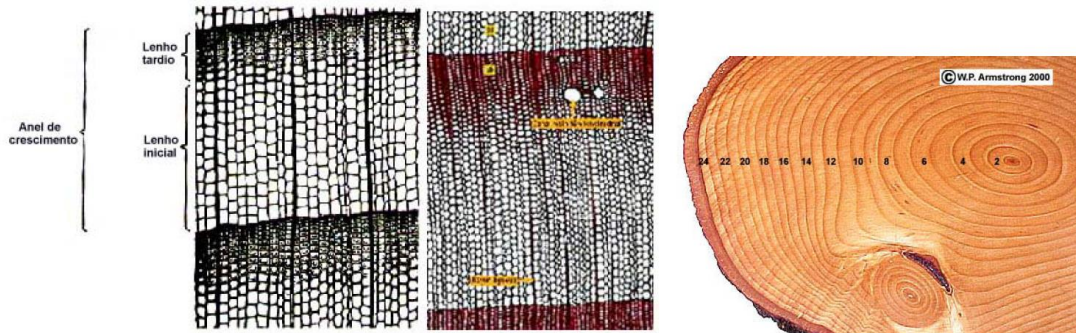


Figura 67 - Anéis de crescimento de uma conífera.

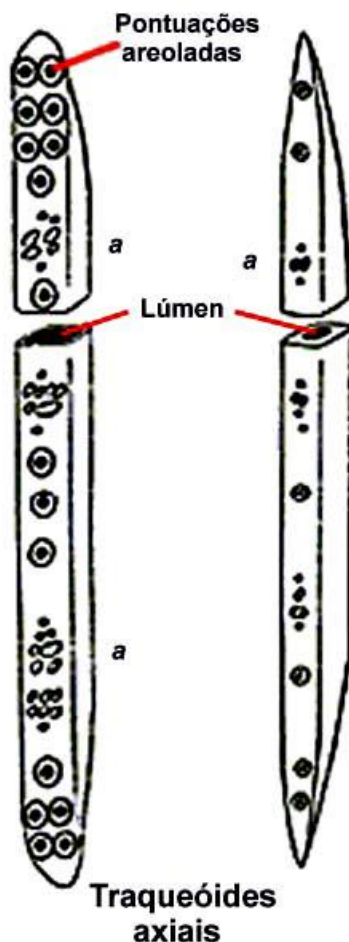


Figura 68 - Traqueóides axiais. À esquerda, do lenho inicial; à direita, do lenho tardio.

A largura dos anéis de crescimento varia de espécie para espécie, na mesma espécie e a diferentes alturas da árvore. As proporções entre os lenhos inicial e tardio não são necessariamente as mesmas para anéis de larguras idênticas. As duas zonas variam independentemente.

- Porcentagem máxima de lenho inicial na altura da copa, diminuindo em direção a base;
- Porcentagem máxima de lenho tardio na base do caule.

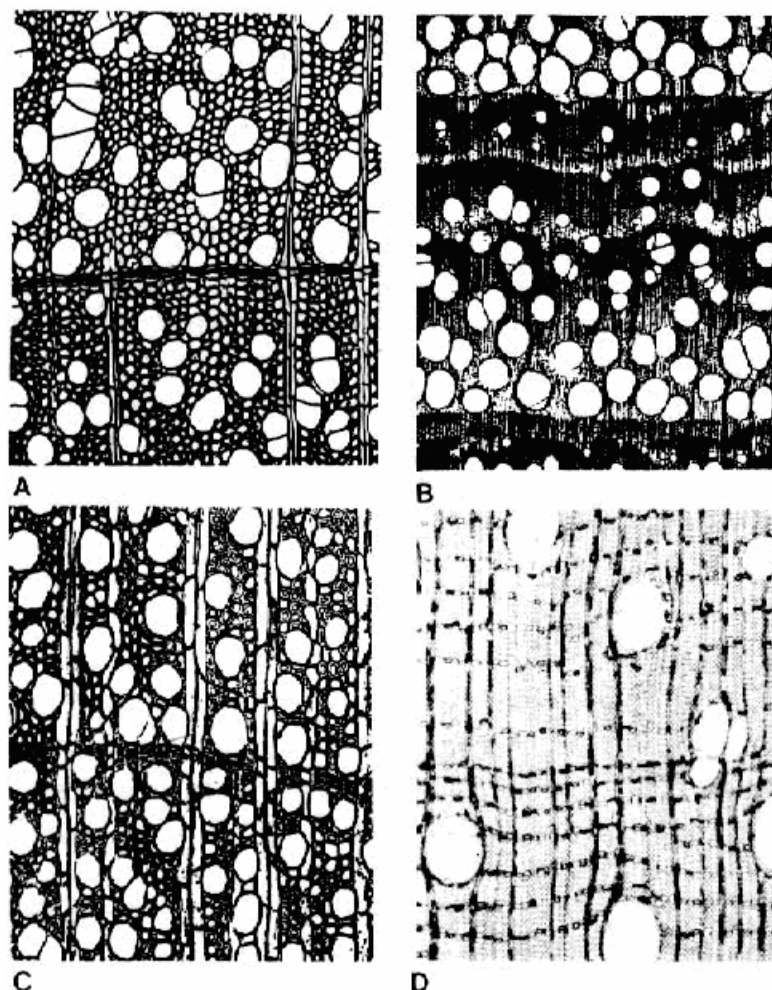
Em madeiras de folhosas, os anéis de crescimento podem destacar-se por determinadas características anatômicas (Fig. 69), explicadas adiante.

- ✓ Presença de uma faixa de células parenquimáticas nos limites dos anéis de crescimento (parênquima marginal), que aparece macroscopicamente como uma

linha tênue de tecido mais claro. Ex: *Liriodendron tulipifera* e *Swietenia macrophylla*.

- ✓ Alargamento dos raios nos limites dos anéis de crescimento. Ex: *Liriodendron tulipifera* e *Balforodendron riedelianum*.
- ✓ Concentração ou maior dimensão dos poros no início do período vegetativo (porosidade em anel). Ex: *Cedrella fissilis*.
- ✓ Espessamento diferencial das paredes das fibras de forma análoga ao que ocorre nas coníferas. Ex: *Mimosa scabrella*.
- ✓ Alteração no espaçamento das faixas tangenciais de um parênquima axial (reticulado ou escalariforme).

Este fenômeno vem acompanhado adicional mente por um menor número ou ausência de poros no lenho tardio. Ex. *Cariniana decandra*.



**Figura 69** – Características anatômicas que destacam os anéis de crescimento em folhosas.

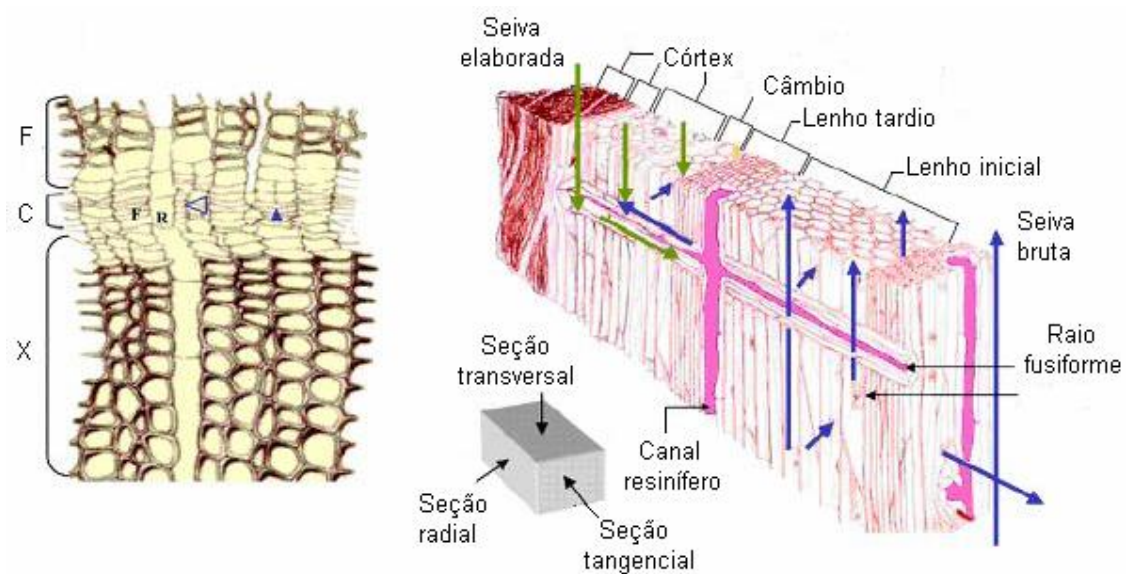


Devido a importância do estudo dos anéis de crescimento, várias técnicas para torná-los mais nítidos e outras foram desenvolvidas, embora nem sempre apresentem bons resultados: aplicação de corantes, imersão em ácido, exposição à chama do bico de Bunsen, medição da intensidade luminosa, aparelhos tateadores e exposição a raio x.

O estudo dos anéis de crescimento pode nos fornecer, além da estimativa da idade da árvore, um registro histórico do passado climático da região, que é preservado nessas estruturas.

### 5.1.6 *Câmbio*

É um tecido meristemático, isto é, apto a gerar novas células, constituído por uma camada de células entre o xilema e o floema. Permanece ativo durante toda a vida da árvore. A atividade cambial é bastante sensível às condições climáticas.



**Figura 70** - Câmbio.

## 6. FISILOGIA DA ÁRVORE

### 6.1 Condução de água nas árvores

A solução diluída de sais minerais – a seiva bruta – retirada do solo através das raízes e radículas, ascende pelos capilares na camada mais externa do alburno até as folhas (Fig. 71). Os traqueoides axiais nas coníferas e os vasos nas folhosas assumem após a morte, a condução ascendente de líquidos. A seiva bruta nas folhas é transformada – juntamente com o gás carbônico do ar sob ação da clorofila e da luz solar – em seiva elaborada (substâncias nutritivas como açúcares, amidos, etc.) e descem pela parte interna da casca, designada de floema, até as raízes e radículas, promovendo a alimentação das células do câmbio, permitindo assim o crescimento e multiplicação das mesmas.

### 6.2 Crescimento

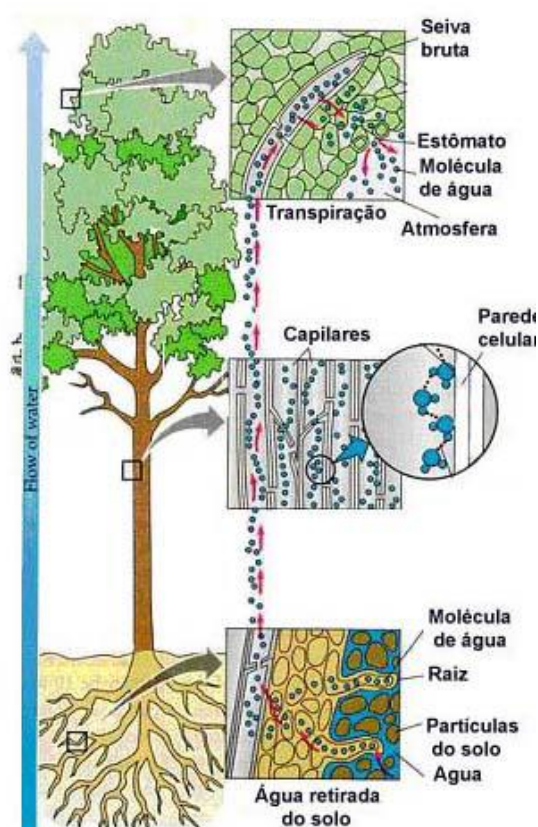


Figura 71 - Condução de água no lenho.

Entre o córtex e o xilema há o câmbio, tecido meristemático constituído de células mãe ou iniciais, vivas, que originam os elementos anatômicos que formam o lenho e a casca, provocando o incremento em diâmetro do tronco. O câmbio é constituído por uma camada com dois tipos de células-mãe (Fig. 72):

- ✓ **Iniciais fusiformes** – originam os elementos celulares axiais do lenho e
- ✓ **Iniciais radiais** – isodiamétricas na sua forma, produzem os elementos celulares transversais do lenho.

Ocorrem dois tipos de divisão nas células cambiais (Fig. 73 e 74):

- ✓ **Divisão periclinal** - uma célula permanece inicial enquanto a outra é destinada ao xilema ou floema. Formam-se 2 a 6 células xilemáticas para cada floemática.
- ✓ **Divisão anticlinal** – a célula mãe fusiforme divide-se em duas e permanecem no câmbio acompanhando o incremento em circunferência do tronco. Divisões anticlinais verdadeiras resultam em células de mesmo comprimento que as iniciais, apresentando madeiras com estrutura estratificada.

Normalmente as iniciais radiais não possuem divisão anticlinal. No entanto, as árvores mantêm taxas uniformes entre iniciais fusiformes e radiais, de forma que o crescimento em diâmetro adiciona novas iniciais radiais, mantendo a relação existente.

### 6.3 Suporte

Realizada pelas células alongadas (Fig. 72) que constituem a maior parte do lenho:

- ✓ **Folhosas** – fibras (20 a 80 % da madeira);
- ✓ **Coníferas** – traqueoides axiais (até 95 % da madeira).

### 6.4 Armazenamento de substâncias nutritivas

A transformação de seiva bruta em seiva elaborada ocorre nos órgãos clorofilados através do processo da fotossíntese. As substâncias não utilizadas pelas células como alimento são lentamente armazenadas no lenho pelos tecidos parenquimáticos: medula, raios e parênquima axial (Fig. 75). As fibras septadas, vivas, “comportam-se” como parênquima e armazenam amido.

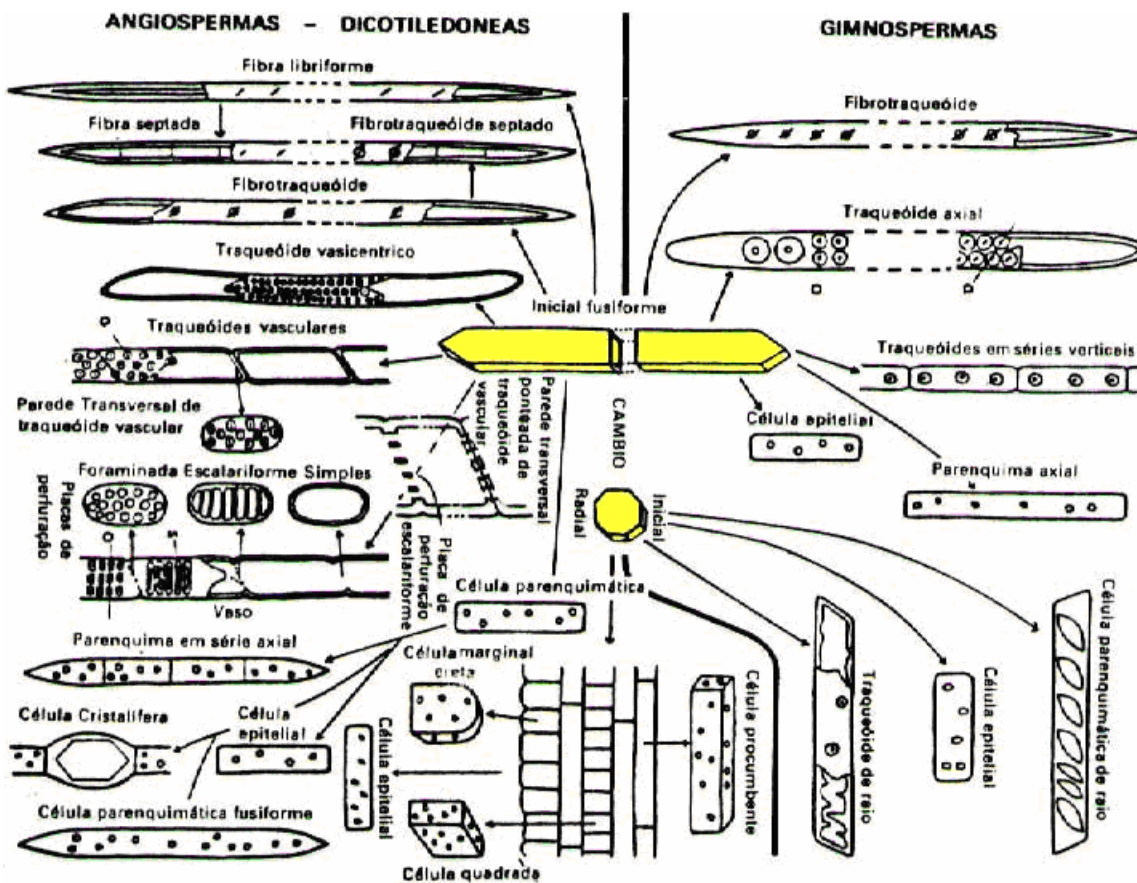


Figura 72 - Diferentes tipos de células da madeira, derivadas das iniciais cambiais.

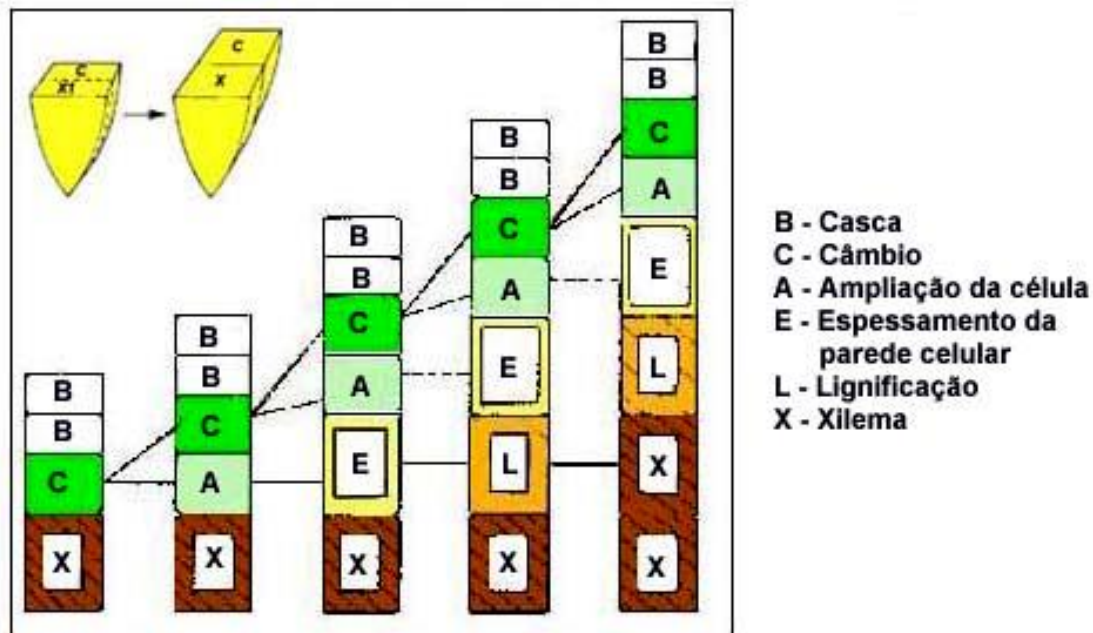
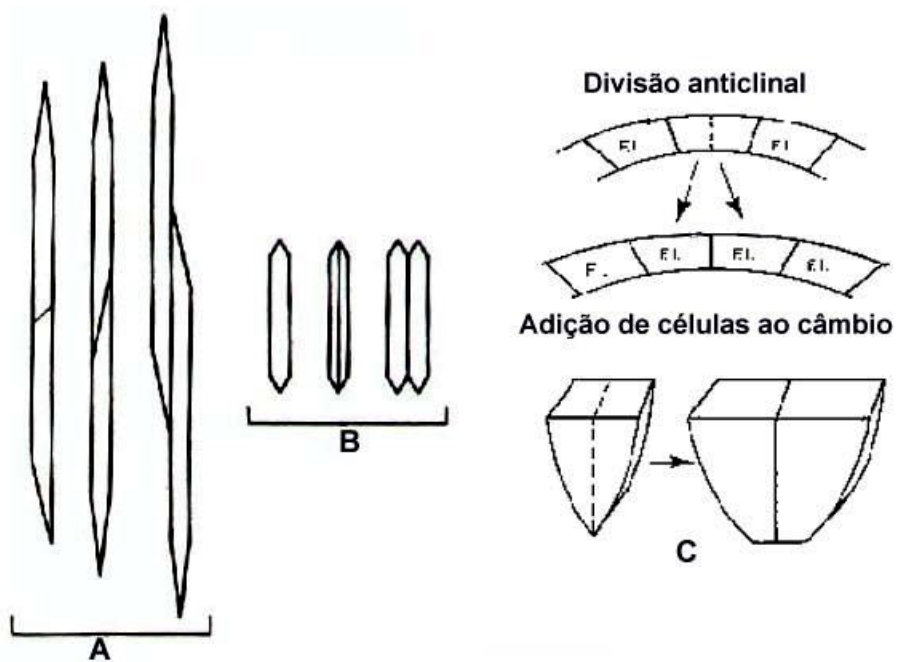
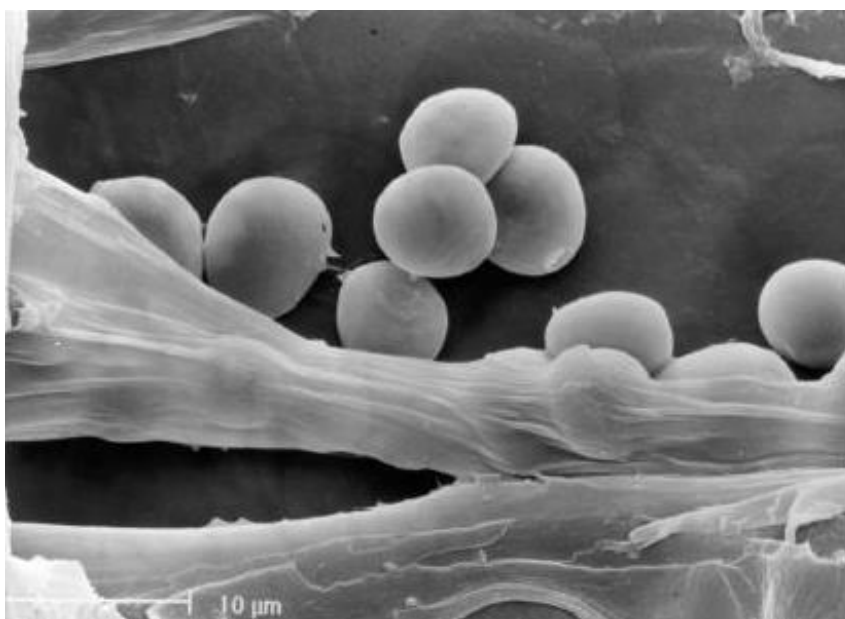


Figura 73 - Esquema de divisão periclinal do câmbio para o crescimento em diâmetro do tronco.



**Figura 74** - Esquema de divisão anticlinal do câmbio para o crescimento em circunferência do tronco: A – Divisão que origina uma estrutura normal; B e C – Divisão que origina uma estrutura estratificada.



**Figura 75** - Parênquima com grãos de amido.

## 7. PLANOS ANATÔMICOS DE CORTE

As propriedades físicas e mecânicas e a aparência da madeira se alteram conforme o sentido em que é aplicada uma carga ou é observada, em consequência dos elementos anatômicos do lenho se encontrar diferentemente orientados e organizados segundo as direções dos planos de corte (Fig. 76):

- ✓ **Transversal (X)** – perpendicular ao eixo da árvore.
- ✓ **Longitudinal radial (R)** – acompanhando a direção dos raios ou perpendicular aos anéis de crescimento.
- ✓ **Longitudinal tangencial (T)** – tangenciando as camadas de crescimento ou perpendicular aos raios.



**Figura 76** - Direções e planos anatômicos de corte.

## 8. PROPRIEDADES ORGANOLÉPTICAS

As características da madeira que são capazes de impressionar os sentidos são conhecidas como propriedades organolépticas. Vamos estudar cada um deles abaixo.

### 8.1 Cor

Varia do quase branco ao negro, sendo de grande importância do ponto de vista decorativo. A coloração é resultante da deposição de corantes no interior da célula e na parede celular, tais como taninos, resinas, gomo-resinas, etc., depositados principalmente no cerne. Algumas são tóxicas aos fungos, insetos e brocas marinhas e, em geral, madeiras escuras apresentam grande durabilidade, principalmente aquelas com elevado teor de taninos.

Do ponto de vista da identificação de madeiras a cor possui valor secundário, pois se altera com o teor de umidade e usualmente escurece quando exposta ao ar, em razão da oxidação dos componentes químicos, provocada pela ação da luz e da temperatura.

Geralmente madeiras leves e macias são mais claras que as pesadas e duras. Substâncias corantes, quando presentes em elevadas concentrações, podem ser extraídas comercialmente e aplicadas na tintura de tecidos, couros, etc., como p.ex., pau brasil, taiúva, pau campeche, etc.

### 8.2 Odor

Decorrente de substâncias voláteis depositadas principalmente no cerne. Refere-se a madeira seca, pois diminui gradativamente mediante exposição, mas pode ser realçado raspando, cortando ou umedecendo a madeira seca. Na confecção de embalagens para chá e produtos alimentícios, a madeira deve ser inodora. No caso específico de charutos, o sabor melhora quando estes são acondicionados em caixas de madeira de cedro. Como exemplos de madeira que apresentam odor característico têm o sassafrás, cedro rosa, pau rosa, cedro, sândalo, pau d'alho, amescla de cheiro, etc. O odor deve ser classificado em perceptível (característico, agradável e desagradável) e imperceptível.

### 8.3 Resistência ao corte manual

Verificada através do corte com estilete ou navalha no plano transversal. A madeira pode ser classificada como pouco resistente, moderadamente dura ou dura.

### 8.4 Sabor

Evidente principalmente em madeiras verdes ou recém-abatidas. O gosto e o cheiro são propriedades intimamente relacionadas por se originarem das mesmas substâncias. Madeiras com elevado teor de taninos possui sabor amargo.

O gosto pode excluir a utilização da madeira para determinados fins, como embalagens para alimento, palitos de dente, de picolé e pirulitos, brinquedos para bebês, utensílios de cozinha, etc.

Não se deve verificar o gosto de madeira, pois pode provocar reações alérgicas graves.

### 8.5 Peso específico

É a relação entre o volume verde (amostra saturada em água até peso constante) fornecido em  $\text{cm}^3$  e o peso da madeira seco em estufa fornecido em gramas. Neste sentido as madeiras podem ser classificadas como de baixa densidade, de média densidade e de alta densidade.

### 8.6 Grã

Refere-se ao arranjo e direção dos elementos anatômicos em relação ao eixo da árvore ou das peças de madeira. São eles:

✓ **Grã reta ou direita** - os elementos anatômicos se dispõem mais ou menos paralelos ao eixo da árvore ou peça de madeira.



- Facilita a serragem;
  - Contribui para a resistência da madeira;
  - Reduz o desperdício;
  - Não produz figuras ornamentais especiais.
- ✓ **Grã irregular** - todos os elementos do lenho apresentam variações de inclinação em relação ao eixo da tora ou peça de madeira, afetando a resistência quando excessivo.

Pode ser:

a) **Grã espiral** - os elementos anatômicos seguem uma direção espiral ao longo do tronco. A inclinação pode ser tanto para o lado direito como para o esquerdo e variar a diferentes alturas. Uma volta completa em torno do eixo da árvore em menos de 10 metros, a madeira apresenta limitações industriais, sobretudo como material de construção. As peças de madeira retiradas de um tronco espiralado apresentam grã oblíqua.

- Reduz a resistência da madeira;
- Dificulta a trabalhabilidade;
- Apresenta sérias deformações na secagem.

b) **Grã entrecruzada** - os elementos anatômicos são inclinados alternadamente para o lado direito e esquerdo. É uma forma modificada da grã espiral. As sucessivas camadas de crescimento são inclinadas em direções opostas.

- Apresenta deformações na secagem;
- Dificulta a trabalhabilidade;
- Produz figuras atraentes;
- Afeta a elasticidade e flexão estática.

c) ***Grã ondulada*** - os elementos anatômicos axiais frequentemente mudam de direção, apresentando-se como linhas onduladas regulares.

As superfícies axiais apresentam faixas claras e escuras alternadas entre si, de belo efeito decorativo. Apresenta superfície radial corrugada e efeito decorativo quando ocorre com grã entrecruzada, como por exemplo, em imbuia.

- Afeta a resistência mecânica;
- Ocorrência de deformações na secagem.

## 8.7 Figura

Descreve a aparência natural das faces da madeira resultado das várias características macroscópicas: cerne, alborno, cor, grã, anéis de crescimento, raios, além do plano de corte em si. É qualquer característica inerente à madeira que se sobressai na superfície plana de uma peça, tirando sua uniformidade.

Desenhos atraentes têm origem em certas anomalias como: grã irregular, galhos, troncos aforquilhados, nós, crescimento excêntrico, deposições irregulares de corantes, etc.

O conjunto de desenhos e alterações decorativas que a madeira apresenta, pode torná-la facilmente distinta das demais.

## 8.8 Brilho

Refere-se a capacidade das paredes celulares refletirem a luz incidente. A face radial é mais reluzente pelo efeito das faixas horizontais dos raios. A importância do brilho é de ordem estética, podendo ser acentuado artificialmente com polimentos e acabamentos superficiais. A madeira deve ser classificada como sem brilho e com brilho (acentuado e moderado).

## 8.9 Textura

Refere-se a impressão visual produzida pelas dimensões, distribuição e percentagem dos elementos constituintes do lenho. A textura pode ser:

➤ **Folhosas:**

- **Grossa ou grosseira - madeiras com:** poros grandes e visíveis a olho nu (diâmetro tangencial  $> 300 \mu\text{m}$ ); raios muito largos e parênquima axial muito abundante. Não recebe bom acabamento. Ex: carvalho, louro faia, acapu, etc.
- **Média** - diâmetro tangencial dos poros de 100 a 300  $\mu\text{m}$  e parênquima axial visível ou invisível a olho nu.
- **Fina** - poros de pequenas dimensões (diâmetro tangencial  $< 100 \mu\text{m}$ ) e parênquima axial invisível a olho nu e ou escasso. Ex: pau marfim, pau amarelo, etc.

➤ **Coníferas:** refere-se a nitidez, espessura e regularidade das zonas de lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento. Pode ser:

- **Grossa** - contraste bem marcante entre as duas zonas, apresentando anéis largos, com aspecto heterogêneo. Ex. *Pinus elliottii*.
- **Média** - anéis de crescimento distintos e estreitos.
- **Fina** - contraste pouco evidente ou indistinto, apresentando aspecto homogêneo. Ex: *Podocarpus sp.*

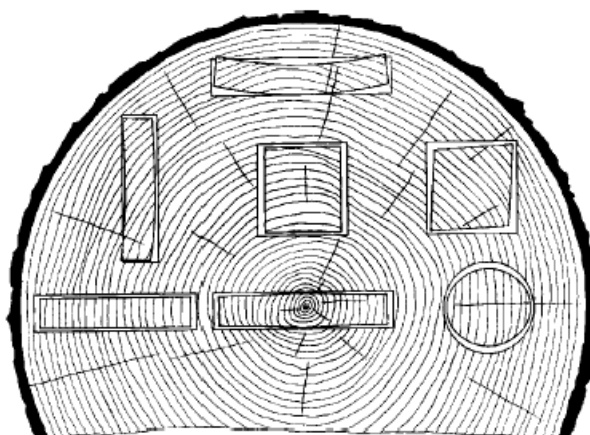
## 9. DEFEITOS DA MADEIRA

Defeitos são irregularidades, descontinuidades ou anomalias estruturais, alteração químicas ou colorações normais que se apresentam no interior ou exterior da madeira e podem desvalorizar, prejudicar, limitar ou impedir o seu uso. Depende do ponto de vista do usuário, pois são inerentes a particularidades próprias da árvore.

### 9.1 Tipos de defeitos

#### 9.1.1 Defeitos de secagem

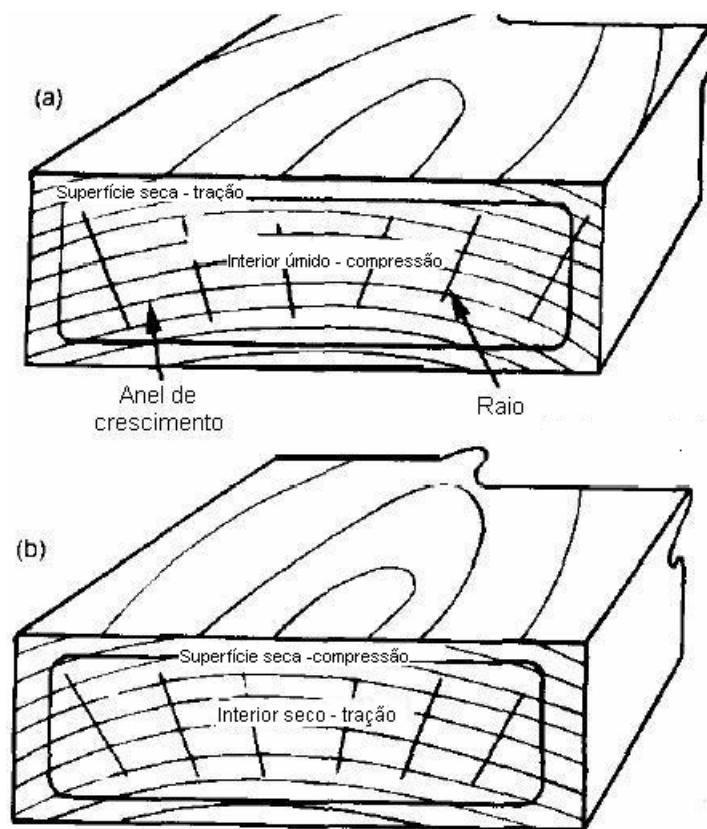
Ocorrem pela retirada natural ou artificial da água da madeira, dificultando seu reaproveitamento em uma fase posterior (Fig. 77).



**Figura 77** - Contrações e deformações características de peças de madeira de acordo com a forma e localização no tronco.

Durante a secagem normal a superfície da madeira seca primeiro e estando abaixo do ponto de saturação das fibras contrai, enquanto o interior está úmido, acima do ponto de saturação das fibras. Isto provoca tração na superfície e compressão no interior (Fig. 78). Se o esforço exceder a tração perpendicular das células, haverá rachaduras superficiais. Se a compressão exceder a das células do interior, haverá colapso. Então, a contração ocorre antes da peça inteira estar a um teor de umidade uniforme abaixo do ponto de saturação das fibras: a perda de umidade ocorre primeiro na superfície. Com a superfície seca, a umidade movimenta-se do interior para o exterior. Há duas maneiras de deslocamento da água: fluxo de água livre nos lumens das células e difusão de moléculas

tanto da água higroscópica como do vapor d'água nos lumens das células. A difusão ocorre apenas abaixo do ponto de saturação das fibras. Continuando a secagem, o interior perde umidade enquanto a superfície permanece “imóvel”, invertendo as tensões: a superfície fica sob ação de compressão, enquanto o interior sob ação de tração, contrai. Essa distribuição de tensões pode ocasionar o aparecimento de rachaduras tipo favos de mel.



**Figura 78** - Distribuição da água na madeira.

O deslocamento da umidade é 12 a 15 vezes maior axial do que transversalmente. Os principais defeitos durante o processo de secagem são os empenos, as rachaduras, o colapso e o endurecimento superficial (Fig. 79).

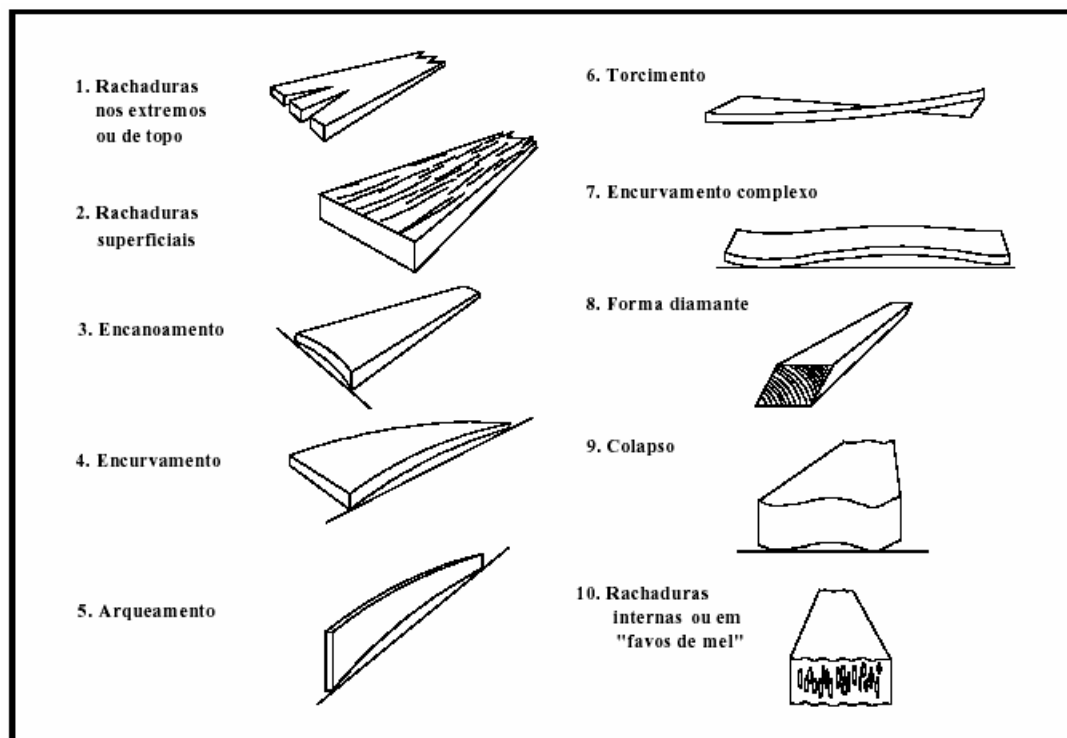


Figura 79 - Principais defeitos de secagem.

a) *Empenos*

**Empeno** – é toda alteração sofrida pela madeira em relação ao seu plano original, ou seja, é a deformação que pode sofrer uma peça de madeira pela curvatura dos seus eixos longitudinal, transversal ou ambos. Os diversos tipos de empenos podem ocorrer por diferenças de contrações entre os anéis de crescimento, madeira juvenil e adulta, cerne e albarno, desvios da grã e presença de madeira de reação. São cinco os tipos de empenos:

- **Encanoamento** – ocorre devido a secagem mais rápida de uma face ou quando uma face se contrai mais que a outra mesmo com secagem uniforme, em função do plano em que foi feito o corte da peça de madeira (radial ou tangencial);
- **Torcimento** - as causas podem ser as anteriores ou pela combinação de contrações diferentes e desvios da grã (espiralada, diagonal, entrecruzada, ondulada);
- **Arqueamento** - ocorre pela diferença de contração axial entre laterais da mesma peça de madeira;

- **Diamante** – ocorre em peças de seção quadrada, resultado da diferença entre as contrações tangencial e radial, quando os anéis de crescimento vão, diagonalmente, de um canto a outro da seção.
- **Encurvamento (abaulamento)** - ocorre devido às diferenças de retração nas faces de uma peça de madeira quando uma delas seca mais que a outra, além de irregularidades da grã e tensões desenvolvidas durante o crescimento da árvore.

#### **b) Rachaduras**

**Rachaduras** - aparecem como consequência da diferença de retração nas direções radial e tangencial da madeira e de diferenças de umidade entre regiões contíguas de uma peça. Essas diferenças levam ao aparecimento de tensões que, tornando-se superiores à resistência dos tecidos lenhosos, provocam a ruptura da madeira. As rachaduras, formadas no início e acentuadas durante a secagem, são comuns nas madeiras de densidade mais alta, nas menos permeáveis e em peças mais espessas.

Podem ser evitadas mediante a secagem lenta e uniforme da madeira. Os tipos de rachaduras são:

- **Rachaduras de topo (fendas)** - aparecem nas extremidades das peças, causadas pela secagem mais rápida dessas regiões em relação ao resto da peça. Nesse caso, os extremos começam a contrair rapidamente e, como o resto da peça não acompanha, ocorrem as rachaduras, que em casos mais sérios pode transformar-se em verdadeiras fendas;
- **Rachaduras superficiais** - normalmente ocorrem no período inicial de secagem, principalmente quando a umidade relativa do ar atinge valor muito baixo (< 50%) gerando, assim, uma rápida evaporação da superfície. Essas rachaduras podem aparecer quando as condições de secagem são muito severas, isto é, baixas umidades relativas, provocando a rápida secagem das camadas superficiais até valores inferiores ao ponto de saturação das fibras, enquanto as camadas internas estão acima do ponto de saturação das fibras. Como as camadas internas impedem as superficiais de se retraírem, aparecem tensões que, excedendo a resistência à tração perpendicular às fibras, provocam o rompimento dos tecidos lenhosos.

➤ **Rachaduras internas ou em favos de mel** - resultam de rachaduras superficiais que se fecharam ou de rupturas por tração no interior da peça; aparecem principalmente em madeiras mais densas quando secam a altas temperaturas e cuja resistência à tração transversal é inferior as tensões de secagem.

Podem também estar associada ao colapso e ao endurecimento superficial. Em muitos casos, este tipo de defeito não é visível na superfície e no topo da peça e, somente após o processamento (corte), poderá ser observado. Uma vez desenvolvidas, as rachaduras internas não podem ser eliminadas e, na grande maioria dos casos, a madeira será inutilizada.

### c) *Colapso*

**Colapso** - é caracterizado por ondulações nas superfícies das peças, que se apresentam bastante distorcidas (Fig. 80). A principal causa do colapso é a tensão capilar, que se manifesta na fase inicial de secagem quando a umidade da madeira está acima do ponto de saturação das fibras. Os fatores que influenciam o colapso são pequeno diâmetro dos capilares e das pontuações, altas temperaturas no início da secagem, baixa densidade e alta tensão superficial do líquido que é removido da madeira. O desenvolvimento do colapso requer considerável número de células completamente saturadas, não havendo espaço para o ar, além de baixa permeabilidade. A intensidade de colapso aumenta com a temperatura; para diminuí-la deve-se reduzir a temperatura de secagem até a madeira atingir o ponto de saturação das fibras. A temperatura no início não deve ultrapassar 50°C.



Figura 80 - Colapso.



*d) Endurecimento superficial*

**Endurecimento superficial** - é causado pelos esforços de tração e compressão que ocorrem na madeira durante o processo de secagem. Este defeito é devido a secagem muito rápida e desuniforme. Essa situação permanece mesmo depois da madeira atingir um teor uniforme de umidade. O processo de endurecimento superficial pode originar rachaduras internas tipo favos de mel. Pode ser reduzido ou eliminado se ao final da secagem a madeira for submetida a um tratamento com vapor (condicionamento), deixando-a exposta por determinados períodos de tempo a elevadas umidades relativas.

### 9.1.2 Defeitos na estrutura anatômica

*a) Nós*

Nó é uma porção do ramo de uma árvore incorporada à peça de madeira, com propriedades diferentes da madeira circundante (Fig. 81).

Os nós podem ser:

➤ **Nó firme ou vivo** - fica firmemente retido na madeira seca em condições normais. Corresponde à época em que o ramo esteve fisiologicamente ativo na árvore, havendo uma perfeita continuidade de seus tecidos com os do tronco.

➤ **Nó morto ou solto** - não fica firmemente retido na madeira seca. Corresponde a um galho que morreu e deixou de participar do desenvolvimento do tronco. Não há continuidade estrutural e a sua fixação depende da compressão exercida pelo crescimento diametral do fuste.

➤ **Nó morto ou solto** - não fica firmemente retido na madeira seca. Corresponde a um galho que morreu e deixou de participar do desenvolvimento do tronco. Não há continuidade estrutural e a sua fixação depende da compressão exercida pelo crescimento diametral do fuste.

☞ Os nós são mais densos, escuros e lignificados do que a madeira circundante e por isso mesmo mais duros e quebradiços. Dificultam a trabalhabilidade e apresenta deformação desigual da madeira normal.

- ☞ Reduz acentuadamente as propriedades da madeira, principalmente à tração e flexão;
- ☞ Pode apresentar efeito decorativo.

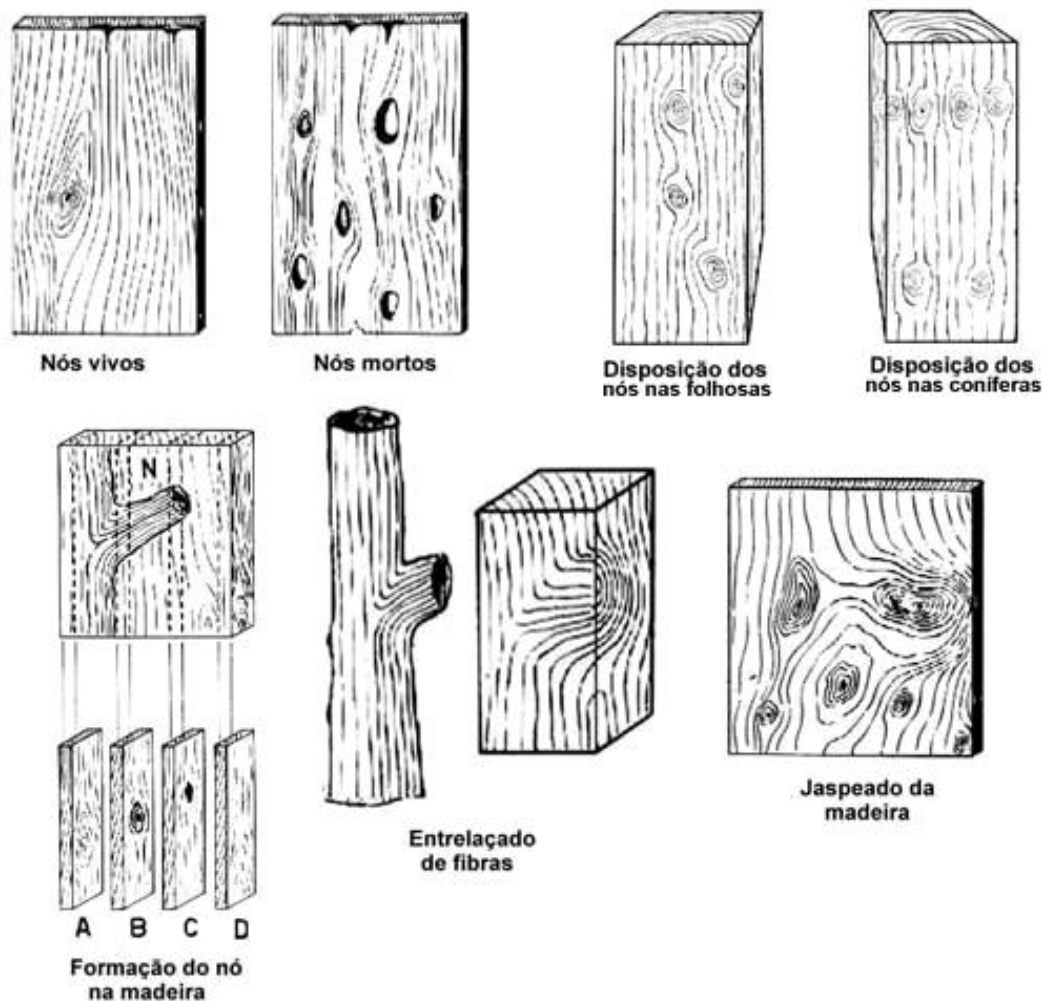


Figura 81 - Os diferentes tipos de nós na madeira.

### b) *Lenho de reação*

O esforço assimétrico a que está submetido um tronco ou galho produz células diferentes das normais, com o objetivo de reagir ao esforço que provoca essa assimetria para retornar a sua posição normal. É o mecanismo adotado pela árvore para manter ereto o tronco inclinado ou ângulos dos galhos em resposta à gravidade e distribuição de

hormônios (auxinas). Comum nas árvores com tronco curvo, em encostas acentuadas ou na base dos ramos. Pode estar presente em árvores que apresentam troncos cilíndricos e retos. O lenho de reação diferencia-se física, anatômica, química e mecanicamente do lenho normal. Coníferas e folhosas apresentam comportamento completamente distintos na formação do lenho de reação. As coníferas formam lenho de compressão e as folhosas, de tração (Fig. 82).

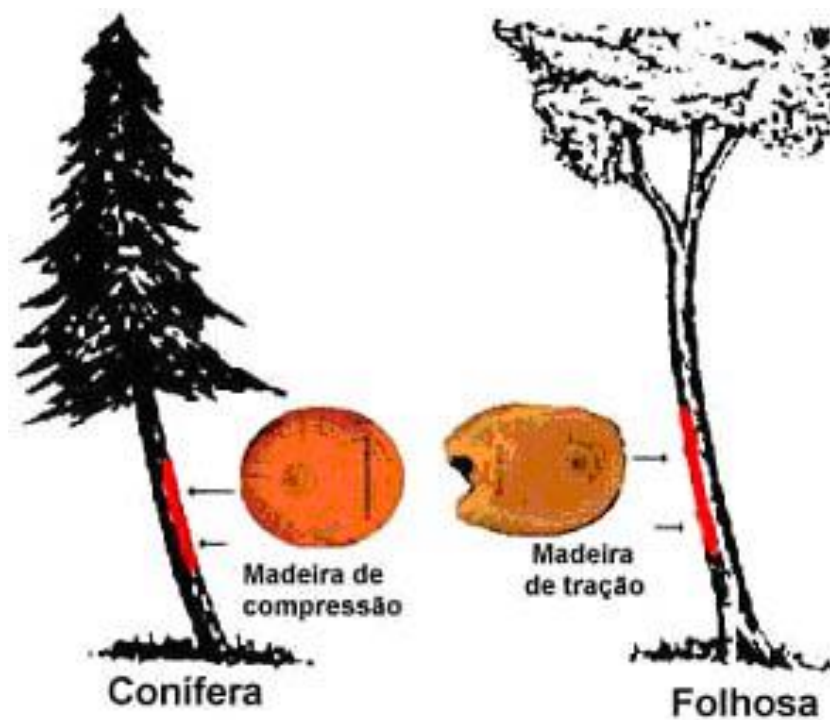
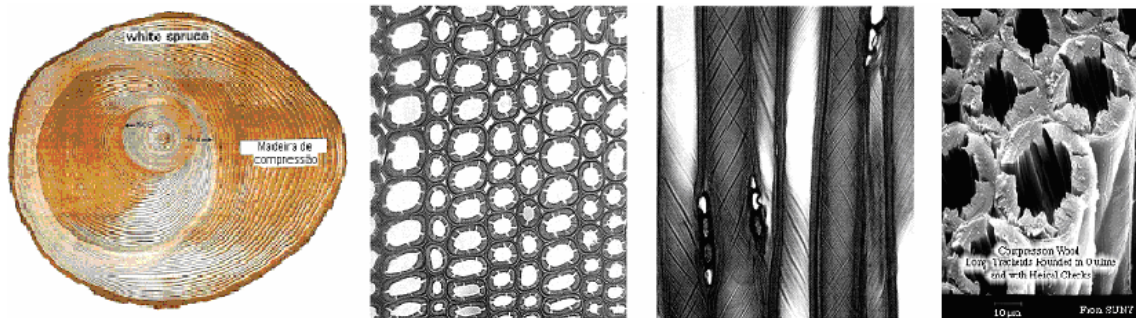


Figura 82 - Lenho de reação em coníferas e folhosas.

### c) *Lenho de compressão*

Forma-se no lado inferior da inclinação dos troncos ou ramos de coníferas, portanto no lado sujeito ao esforço de compressão. Apresenta crescimento excêntrico, lenhos inicial e tardio indistintos (transição gradual), traqueóides axiais mais curtos, poucas e pequenas pontuações, os do lenho tardio possuem paredes mais espessas (até duas vezes), madeira sem brilho e mais escura que a normal. Os traqueóides axiais apresentam seção transversal arredondada formando espaços intercelulares entre eles e rachaduras oblíquas em suas paredes, afetando consideravelmente a resistência da madeira (Fig. 83).



**Figura 83** - a) Seção do tronco. b) e d) Traqueóides axiais de seção arredondada, espaços intercelulares entre eles e rachaduras nas paredes; c) e d) paredes com sulcos espiralados.

Possui propriedades e características bem distintas da madeira normal:

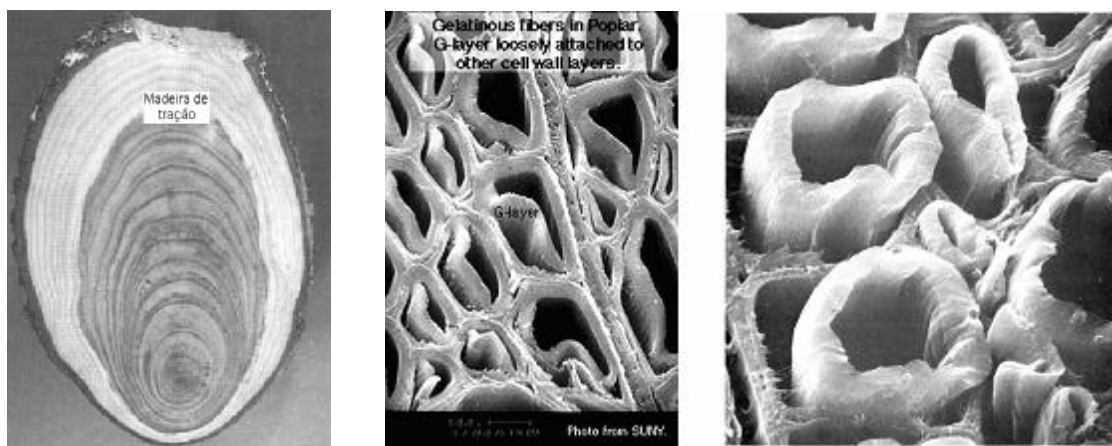
- Extrema dureza;
- Maior densidade;
- Ausência da camada S<sub>3</sub> da parede celular;
- Sulcos (fibrilas) espiralados e aumento do ângulo das microfibrilas em S<sub>2</sub>;
- Camada S<sub>1</sub> mais espessa que o normal;
- Alta resistência à compressão e baixa à tração;
- Incremento na contração axial devido ao aumento do ângulo das microfibrilas em S<sub>2</sub>;
- Comportamento desigual e quebradiço;
- Baixa trabalhabilidade com superfície sedosa;
- Coloração depreciativa e
- Anormalmente alto teor de lignina e baixo teor de celulose, afetando a polpação química.

A madeira oposta à de compressão apresenta:

- Propriedades diferentes da normal;
- Maior ângulo das microfibrilas;
- Menos lignina do que o lenho de compressão;
- Mais celulose de elevada cristalinidade;
- Regiões cristalinas maiores.

#### d) *Lenho de tração*

Situa-se no lado superior da inclinação dos troncos ou ramos de folhosas, sujeitos aos esforços de tração (Fig. 84). Difícil de ser constatado quando seco. Apresenta crescimento excêntrico, coloração distinta, mais clara, brilhante e superfície felpuda (Fig. 85). Vasos mais curtos e menos numerosos.



**Figura 84** - À esquerda, localização do lenho de tração. Ao centro e a direita, fibras gelatinosas.

Fibras com lumens pequenos e espessa camada gelatinosa nas paredes (denominadas fibras gelatinosas), caracterizando e conferindo à madeira um brilho especial. A camada gelatinosa é celulose quase pura, apenas levemente lignificada.

Possui propriedades e características bem distintas da madeira normal:

- Elevada densidade;
- Fraca adesão entre as paredes primária e a secundária;
- Camada  $S_1$  mais fina que o normal;
- Microfibrilas da camada gelatinosa quase aproximadamente paralelas ao eixo principal;
- Alta resistência à tração e baixa à compressão e a flexão;
- Quase ausência de lignina e elevado teor de celulose;
- Elevada instabilidade dimensional (principalmente axial);
- Difícil trabalhabilidade, apresentando superfície áspera e lanosa;
- Compensados empenados, corrugados e rachados;
- Coloração anormal e depreciativa e
- Polpação difícil e baixa qualidade do papel.



**Figura 85** - Madeira de tração apresentando superfície felpuda após serragem.

### 9.1.3 Danos causados por esforços mecânicos

#### a) *Tensões de crescimento*

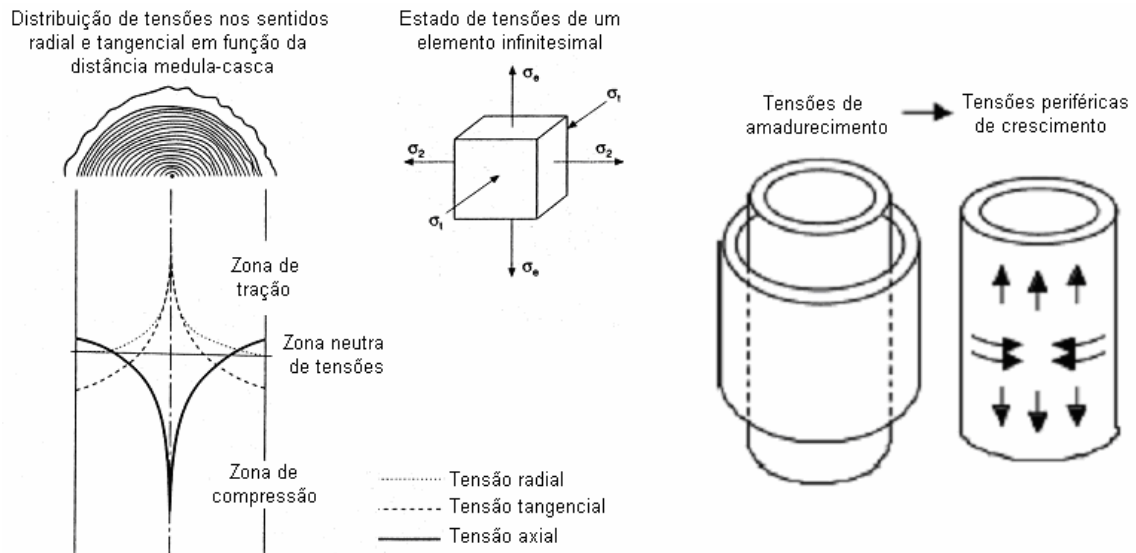
Os troncos e ramos das árvores encontram-se normalmente sob forte tensões de crescimento. As células produzidas pelo câmbio, durante o curto período de amadurecimento, apresentam mudança drástica de comportamento mecânico na parede celular – de baixa rigidez e elevada elasticidade para elevada dureza e baixa deformação – expandindo transversalmente e contraindo axialmente. No entanto, a forte adesão da célula jovem à madeira formada anteriormente impede a contração axial, provoca tração axial e compressão tangencial na parede e desenvolve um estado de tensões como mostra a Fig. 86. Na direção radial as tensões são quase ilimitadas. A soma das tensões de sustentação e amadurecimento é denominada de tensões de crescimento. O retorno do tronco a sua posição normal e estável origina tensões de crescimento.

Há dois tipos de tensões de crescimento:

- **Tensões axiais** – Nas camadas externas do tronco ocorrem tensões de tração; para compensar, no interior do fuste ocorrem tensões de compressão. Esforços de flexão provocados p.ex., pelo vento, representam um perigo especialmente às regiões da árvore opostas ao esforço, onde a madeira sofre tensão de compressão.
- **Tensões transversais** – Comportam-se de maneira inversa, de forma que o interior apresenta tensões de tração e mais externamente, de compressão.

Quando a árvore está em pé, há uma compensação entre as tensões internas e externas do tronco, ou seja, ocorre equilíbrio. Porém o abate, seccionamento ou desdobro pode liberá-las, ocasionando fendas e deformações muitas vezes exageradas (Fig. 87).

Árvores com tensões de crescimento elevadas possuem maior comprimento de fibras, de vasos, de espessura da parede celular, de contração volumétrica e de módulo de elasticidade, e menor proporção de lignina do que aquelas com tensões inferiores.

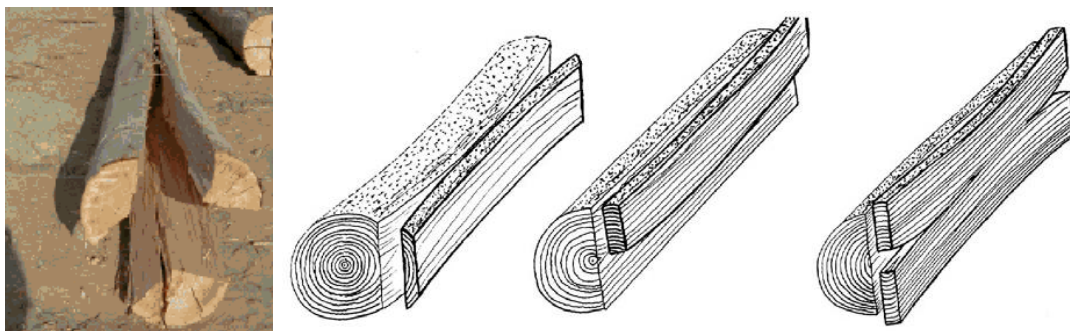


**Figura 86** - Distribuição das tensões de crescimento. À esquerda, no tronco. À direita, na parede celular.

As tensões axiais são 10 vezes superiores as transversais e, dentre essas, as tangenciais são maiores que as radiais. As tensões aumentam com o crescimento da árvore, com o desvio do centro de gravidade e com a reorientação frequente do tronco.

Os efeitos das tensões de crescimento variam segundo a posição que ocupa o pranchão ou tábua no tronco (Fig. 87).

Peças de madeira serrada de espessura variável é consequência de movimentos produzidos pelo tronco enquanto ocorre o desdobra.



**Figura 87** - Deformações provocadas pelas tensões de crescimento antes e após o desdobra.

### b) *Falhas de compressão*

É o rompimento interno do lenho, as vezes perceptível apenas ao microscópio, que surge na madeira serrada como linhas quebradas claras, dispostas perpendicularmente



à grã. Observam-se também como manchas escuras envolvendo o tecido afetado, em consequência do afluxo anormal de goma ou resina.

Esse defeito resulta de micro rupturas e deformações nas paredes celulares, provenientes da compressão acima do limite elástico, ocasionada por traumatismo produzido pelo vento, peso de neve, queda de árvore sobre outra ou esforço que provoque acentuada curvatura do tronco sem quebrar.

As falhas de compressão constituem um grave defeito, pois afetam profundamente as propriedades mecânicas da madeira, fazendo com que esta quebre inesperadamente. Bastante comum em madeiras de Guapuruvu e Angelim-pedra.

**c) *Aceboladura***

Fenda circular que ocorre no interior do tronco. Corresponde a uma zona frágil em decorrência de um espaçamento brusco e exagerado entre anéis de crescimento (Fig. 88). Danos mecânicos externos ou tensões de crescimento provocam este defeito, podendo inutilizar completamente a madeira.



**Figura 88** - Aceboladura.

**d) *Bolsas de resina ou de goma***

Quando a cavidade do defeito anterior é preenchida com resina ou goma têm-se as chamadas bolsas de resina ou goma (Fig. 89). Resultam de fendas tangenciais no câmbio praticadas por esforços mecânicos. Afeta as propriedades de resistência e a aparência da madeira, além de prejudicá-la para folheados e compensados.

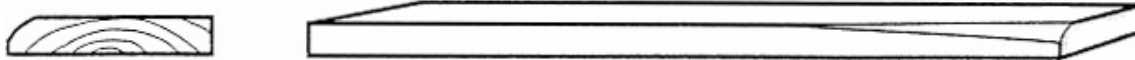


**Figura 89** - Bolsas de resina.

#### 9.1.4 Outros defeitos

##### a) *Esmoada (quina morta)*

É o canto arredondado, formado pela curvatura natural do tronco (Fig. 90). Caracteriza elevada proporção de alburno. Defeito ocasionado no desdobro, pois o pranchão e posteriormente a tábua, apresentam vestígios de casca, mostrando claramente a seção circular do tronco.



**Figura 90** - Esmoada.

**VAMOS PENSAR!**

1) **(PUC-SP)** Em uma planta, a coluna líquida dentro de vasos é arrastada para cima, o que se deve ao fato de as moléculas de água manterem-se unidas por forças de coesão.

A descrição acima se refere à condução de

- a) seiva bruta pelos vasos xilemáticos;
- b) seiva bruta pelos vasos floemáticos;
- c) seiva elaborada pelos vasos xilemáticos;
- d) seiva elaborada pelos vasos floemáticos;
- e) seiva bruta pelas células companheiras, anexas aos vasos floemáticos.

2) **(CEFET-RP/2004)** Retirou-se o anel na casa de uma árvore abrangendo toda a circunferência ao tronco. A causa da morte da árvore observada alguns dias depois, ocorreu provavelmente por ter sido impedido o processo de

- a) ascensão de sais minerais;
- b) realização da fotossíntese;
- c) circulação da seiva elaborada;
- d) transpiração;
- e) respiração.

3) **(PUC)** O câmbio e o felogênio são duas formações vegetais constituídas por tecido

- a) meristemático de crescimento;
- b) meristemático, de crescimento em comprimento, existente na raiz;
- c) diferenciado, de crescimento, existente no caule e raiz;
- d) diferenciado para condução, existente nas angiospermas;
- e) diferenciado para promover absorção de água, existente nas raízes.

4) **(UERJ)** Experimentos envolvendo a clonagem de animais foram recentemente divulgados. No entanto, ainda há uma grande dificuldade de obtenção de clones a partir, exclusivamente, do cultivo de células somáticas de um organismo animal, embora estas células possuam o potencial genético para tal.

Por outro lado, a clonagem de plantas, a partir de culturas adequadas in vitro de células vegetais, já é executada com certa facilidade, permitindo a produção de grande número de plantas geneticamente idênticas, a partir de células somáticas de um só indivíduo original.

Indique o tipo de tecido vegetal que está em permanente condição de originar os demais tecidos vegetais e justifique sua resposta

5) (UNESP) A remoção de um anel completo da casca de uma árvore (anel de Malpighi) pode provocar sua morte.

a) Que tecido é removido nesta experiência?

b) Qual a função deste tecido?

6) De acordo com o que foi estudado em relação à anatomia da madeira, complete as frases abaixo:

a) As características da madeira que são capazes de impressionar os sentidos são conhecidas como \_\_\_\_\_.

b) A \_\_\_\_\_ da madeira deriva de substâncias químicas presentes no tronco.

c) Característica importante na madeira e que tende a definir o seu uso. O \_\_\_\_\_ da madeira deve ser classificado em Agradável ou Desagradável.

d) A \_\_\_\_\_ é verificada através do corte com estilete ou navalha no plano transversal. A madeira pode ser classificada como \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ ou \_\_\_\_\_.

e) O \_\_\_\_\_ está em geral associado às substâncias que conferem odor e devem ser classificadas sob odor agradável ou desagradável.

f) O \_\_\_\_\_ é a relação entre o volume verde (amostra saturada em água até peso constante) fornecido em  $\text{cm}^3$  e o peso da madeira seco em estufa fornecido em gramas.

g) A \_\_\_\_\_ refere-se à orientação e ao paralelismo dos elementos celulares verticais em relação ao eixo longitudinal do tronco da árvore.

h) A \_\_\_\_\_ é o conjunto de desenhos e alterações de caráter decorativo que a madeira apresenta e que a torna facilmente distinta das demais.

- i) O                é a capacidade de refletir luz que uma determinada madeira possui.  
j) A                é uma característica relacionada à dimensão e organização dos elementos celulares que compõem a madeira.

7) Em relação aos defeitos da madeira, relacione as colunas

- I. Defeitos físicos
- II. Anomalia
- III. Alteração
- IV. Deformação
- V. Defeito de exploração

- ( ) Fenda ou fissura de abate.
- ( ) Anel de crescimento desigual.
- ( ) Mancha, podridão.
- ( ) Nós, bolsa de resina.
- ( ) Fuste torto ou espiralado.

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

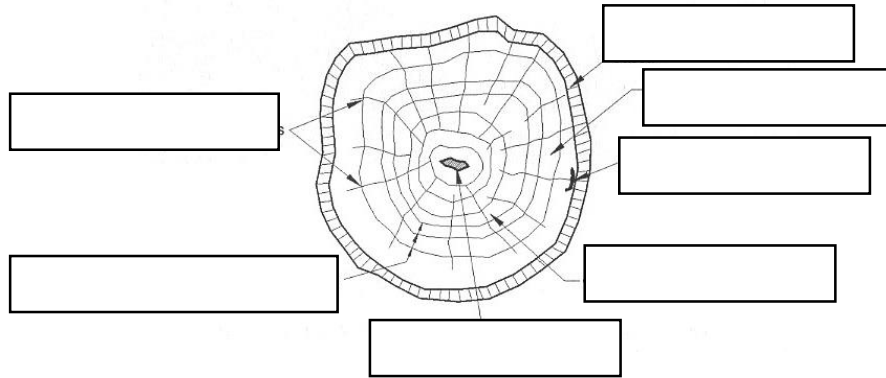
8) As madeiras utilizadas para a fabricação de móveis são obtidas de troncos de árvores. Distinguem-se duas categorias principais de madeiras. Relacione as categorias às suas características.

- a. Madeiras macias
- b. Madeiras duras

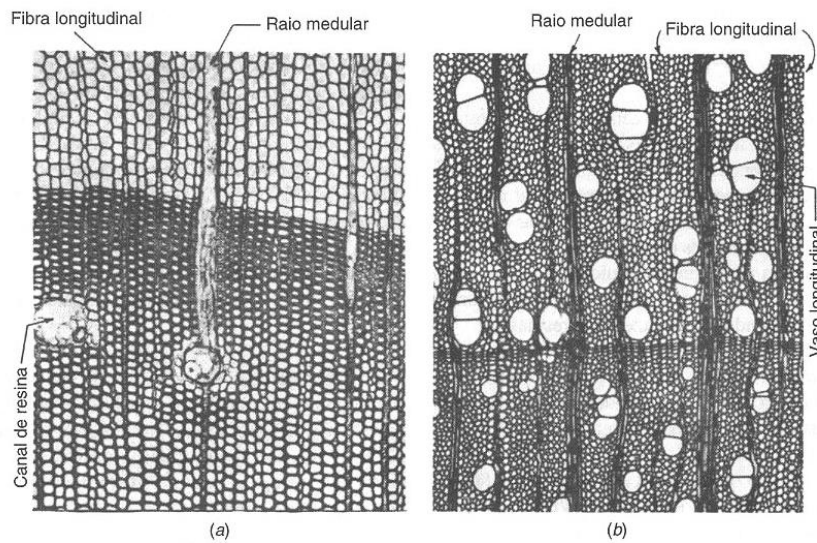
- ( ) provenientes de árvores frondosas, de crescimento lento, como peroba, ipê, aroeira, carvalho etc; as madeiras de melhor qualidade também são chamadas de madeira de lei.
- ( ) provenientes em geral das árvores coníferas, de crescimento rápido, como pinheiro do paraná e pinheiro-bravo ou pinheirinho, pinheiros europeus, norte-americanos etc.

9) A presença dos nós influencia em que aspectos na resistência da madeira? Em que situações eles não são favoráveis?

10) As árvores produtoras de madeira que são utilizadas na fabricação de móveis ou outros produtos provenientes da madeira são do tipo exôgênicas, que crescem pela adição de camadas externas, sob a casca. A seção transversal de um tronco de árvore revela algumas camadas. Nomeie as camadas de acordo com a figura abaixo.

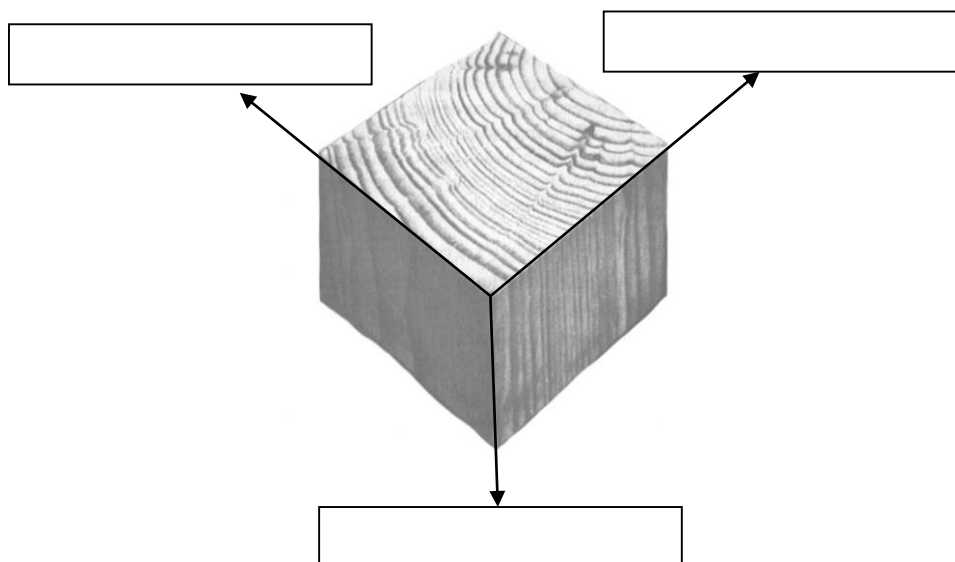


11) Sabe-se que a madeira é composta por fibras longitudinais e que de acordo com a categoria dessa madeira, sua disposição no tronco ocorre de determinada forma, conforme figuras abaixo. Identifique na figura a disposição em uma conífera e em uma folhosa.



12) O que são os defeitos na madeira? O que eles causam em termos de interferências nas suas propriedades?

13) Devido à orientação das células, a madeira é um material anisotrópico, apresentando 3 (três) direções principais, conforme mostra a figura abaixo. Identifique quais são essas 3 (três) direções.



14) (IFN MG – 2010) Sobre os elementos constituintes do tronco de uma árvore, é INCORRETO afirmar que

- a) Medula é a parte central do caule, região inicial de crescimento de uma árvore (tecido primário ou meristemático). É uma região muito susceptível ao ataque de microorganismos xilófagos, por isso encontram-se toras com a medula deteriorada.
- b) O albarno é constituído por células vivas que conduzem a seiva bruta em movimento ascendente. Possui baixa resistência ao ataque de fungos e insetos; no entanto, esta é a região da madeira que permite grande penetração dos líquidos, possibilitando maior infiltração durante o tratamento preservativo.
- c) A casca confere proteção externa à árvore e formada por duas camadas: uma externa morta (ritidoma) de espessura variável com a idade e com a espécie; uma fina camada interna (floema) de tecido vivo e macio.
- d) O cerne é a camada mais externa do albarno que perdeu a atividade fisiológica. Geralmente, apresenta coloração mais escura e elementos anatômicos fechados devido à deposição de corantes naturais.

15) As peças de madeira utilizadas nas construções apresentam uma série de defeitos que prejudicam a resistência, o aspecto ou a durabilidade. Os defeitos podem provir da constituição do tronco ou do processo de preparação das peças. Relacione o nome do defeito com suas características.

- |      |                        |   |
|------|------------------------|---|
| I.   | Gretas ou ventas       | ( ) separação entre os anéis anuais, provocada por tensões internas devidas ao crescimento lateral da árvore, ou por ações externas, como flexão devida ao vento. |
| II.  | Fendas                 | ( ) encurvamento na direção da largura da peça.   |
| III. | Abaulamento            | ( ) encurvamento na direção longitudinal, isto é, do comprimento da peça.   |
| IV.  | Nós                    | ( ) fibras não paralelas ao eixo da peça. As causas naturais devem-se à proximidade de nós ou ao crescimento das fibras em forma de espiral.                      |
| V.   | Arqueadura             | ( ) canto arredondado, formado pela curvatura natural do tronco.  |
| VI.  | Esmoadá ou quina morta |   |
| VII. | Fibras reversas        |   |

( ) imperfeição da madeira nos pontos dos troncos onde existiam galhos.

( ) aberturas nas extremidades das peças, produzidas pela secagem mais rápida da superfície. O aparecimento das mesmas pode ser evitado com secagem mais lenta e uniforme da madeira.

- a) IV – I – III – II – VI – V – VII;  
 b) IV – I – II – V – III – VII – VI;  
 c) IV – II – I – III – V – VII – VI;  
 d) VI – VII – V – III – I – II – IV;  
 e) II – III – I – VI – VII – V – IV.

16) (IFN MG – 2010) Sobre a resistência mecânica da madeira, considere as afirmativas a seguir

- I. No que diz respeito à resistência mecânica do lenho das folhosas, as fibras libriformes e fibrotraqueídes são os elementos mais importantes. A estreita correlação entre o volume das fibras, massa específica e resistência mecânica é um fato experimentalmente comprovado;
- II. Os vasos, devido a sua grande dimensão e às paredes delgadas, são estruturas fracas, e sua abundância, dimensão e distribuição, influenciam na resistência mecânica da madeira;
- III. Nas gimnospermas, o lenho tardio é geralmente mais resistente, devido ao maior volume de material lenhoso nas paredes das células;
- IV. O lenho com grande abundância de tecido parenquimatoso (raios e parênquima axial) apresenta alta resistência mecânica e proporciona alta durabilidade natural à madeira, uma vez que se trata de tecido duro e de difícil penetração.



Marque a alternativa **CORRETA**:

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

17) (IFN MG – 2010) Com relação às diferenças anatômicas entre coníferas e folhosas considere as afirmativas abaixo

- I. As madeiras de coníferas apresentam estrutura constituída de 90 a 95% de traqueóides ou traqueídes axiais, os quais são células compridas e delgadas, com extremidades fechadas mais ou menos afiladas, de acordo com a espécie.
- II. Nas coníferas, o armazenamento e transporte dos assimilados é realizado pelas células do parênquima, as quais são predominantemente arranjadas no sentido radial.
- III. Nas coníferas, os elementos secretantes são as células epiteliais, as quais circundam os canais resiníferos.
- IV. As dimensões das fibras de madeiras de folhosas, que formam o tecido básico, são maiores do que os traqueóides de coníferas.
- V. As células que compõem as fibras em folhosas apresentam parede celular menos espessa e menor diâmetro do lume, e as diferenças na espessura das paredes celulares e diâmetro dos lumes entre lenho inicial e tardio não são tão grandes como nas coníferas.

Marque a alternativa **CORRETA**.

- a) Apenas as afirmativas I, II e III estão corretas.
- b) Apenas as afirmativas II, III e IV estão corretas.
- c) Apenas as afirmativas I, IV e V estão corretas.
- d) Apenas as afirmativas I, II, III e IV estão corretas.

18) (IFN MG – 2010) A madeira formada próxima à medula (madeira juvenil) possui características diferentes daquela próxima à casca (madeira adulta). Esse fenômeno é mais evidente nas coníferas do que nas folhosas, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais. Considerando as diferentes características de madeira juvenil e adulta, relacione as colunas.

- (1) Madeira adulta
- (2) Madeira juvenil
- ( ) Traqueóides longos.
- ( ) Paredes celulares espessas.
- ( ) Alta porcentagem de lenho tardio.

- ( ) Alta porcentagem de grã.
- ( ) Alta porcentagem de lenho de compressão.
- ( ) Maior contração transversal.

Marque a alternativa que contenha a sequência **CORRETA**:

- a) 1, 1, 1, 1, 2, 2.
- b) 1, 1, 1, 2, 2, 1.
- c) 2, 1, 1, 2, 2, 2.
- d) 2, 2, 2, 2, 1, 1.

19) Sobre os quatro grupos de defeitos na madeira, responda:

a) O que são os defeitos de crescimento?

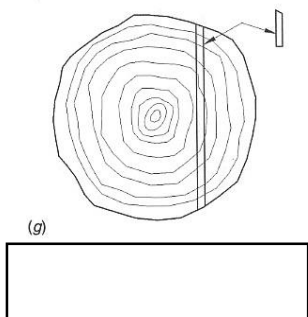
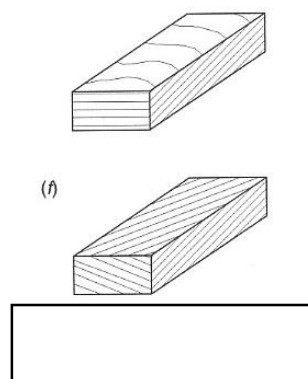
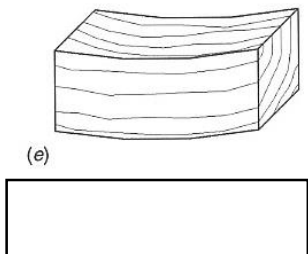
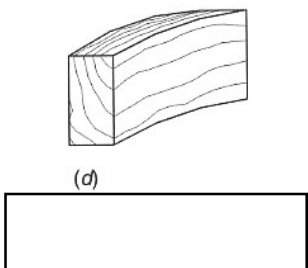
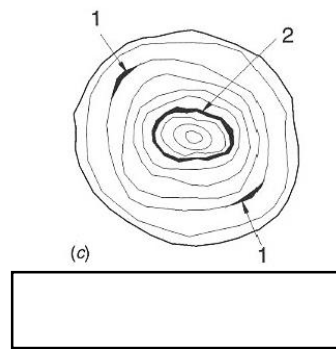
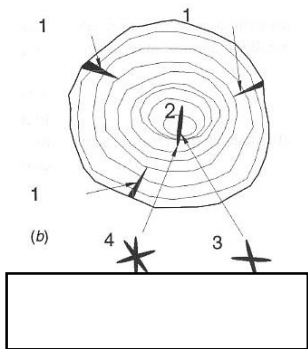
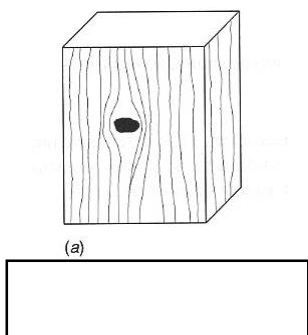
b) O que são os defeitos de secagem?

c) O que são os defeitos de produção?

d) O que são os defeitos de alteração?

e) O que são os nós da madeira?

20) De acordo com a relação **DEFEITO x CARACTERÍSTICA** encontrada na questão 13, nomeie as figuras de acordo com o defeito mostrado em cada uma delas.



### **SEÇÃO III: SECAGEM DA MADEIRA**

## **10. SECAGEM DA MADEIRA**

### **10.1 A água e a madeira**

As árvores absorvem água e sais minerais do solo que, circulando pelos vasos, deslocam-se até as folhas, constituindo a seiva bruta. Das folhas em direção às raízes circula a seiva elaborada, constituída de água e produtos elaborados na fotossíntese. Em consequência, a madeira das árvores vivas ou recentemente derrubadas apresenta alto teor de umidade. Nessas condições, os vasos e os canais da madeira, assim como o lúmen das suas células, apresentam-se saturados de água. Da mesma forma, os espaços vazios, localizados no interior das paredes celulares, também podem encontrar-se saturados.

Quando a madeira de uma árvore recém-abatida é exposta ao meio ambiente, inicialmente evapora-se a água localizada nos vasos, nos canais e no lúmen das células, que é denominada água de capilaridade ou água livre. Permanece na madeira toda a água localizada no interior das paredes celulares que é chamada de água de adesão ou higroscópica, e a tinildade correspondente a este estado é denominada ponto de saturação das fibras (PONTO DE SATURAÇÃO DAS FIBRAS). O teor de umidade no PONTO DE SATURAÇÃO DAS FIBRAS é de 28%, na média, para todas as madeiras.

Por outro lado, quando a madeira, previamente seca a 0% de umidade, é exposta ao meio ambiente, ela adsorve a água que está dispersa no ar em forma de vapor. A água assim absorvida corresponde à água higroscópica ou de adesão e o teor final de umidade alcançado pela madeira é denominado umidade de equilíbrio com o ambiente (UE), o qual é função da temperatura e da umidade relativa do ar.

A madeira poderá ainda apresentar, nos seus capilares, água em forma de vapor, a qual pode ser quantitativamente desprezada, devido à baixa densidade do vapor de água em relação à água higroscópica e capilar. O teor de água da madeira influi, acentuadamente, nas suas propriedades físico-mecânicas. A resistência da madeira, de uma maneira geral, decresce com o aumento de sua umidade. É o que ocorre, por exemplo, com a resistência à compressão da madeira de peroba (*Aspidosperma peroba*), que a 0% de umidade é equivalente a 1.250 kgf/cm<sup>2</sup>, decrescendo para cerca de 620 kgf/cm<sup>2</sup> a 30% de umidade. A resistência elétrica da madeira é também inversamente

proporcional ao seu teor, sendo que, de 30% até 0% de umidade, a resistência aumenta cerca de 1 milhão de vezes.

A variação do teor de umidade ocasiona alterações nas dimensões da madeira. Esse fenômeno é denominado de retração e inchamento higroscópico, porque as alterações volumétricas ocorrem como consequência de variações no teor de água higroscópica.

A umidade da madeira influi ainda no seu tratamento com fluidos, curvamento, resistência ao ataque de fungos xilófagos, colagem, fabricação de compensados, aglomerados e processamento mecânico. De uma forma geral, os produtos industrializados da madeira devem ser condicionados a umidades próximas às aquelas que deverão alcançar quando em uso.

## **10.2 Definição, importância e razões para secar a madeira**

A madeira, proveniente de árvores recém-abatidas, apresenta alto teor de umidade, que tende a reduzir-se espontânea e lentamente à medida que as toras aguardam o desdobramento inicial. Após o desdobro, a umidade continua a diminuir com maior ou menor rapidez em função da espécie vegetal, das condições ambientais, das dimensões das peças e do empilhamento utilizado. Entretanto, o processamento final só deve ser efetuado quando a umidade atingir níveis inferiores a 30%.

Inicialmente deve-se salientar que a perda de água reduz o peso da madeira, diminuindo o custo do seu transporte, mas independentemente deste fator econômico, a transformação racional da madeira bruta em produtos e bens de consumo requer a sua secagem prévia pelas razões seguintes, conforme destacado por PONCE & WATAI (1985).

- ✓ Redução da movimentação dimensional a limites aceitáveis. Como consequência, as peças de madeira podem ser produzidas com maior precisão de dimensões, proporcionando melhor desempenho em serviço;
- ✓ Aumento da resistência da madeira, após a secagem, contra fungos manchadores e apodrecedores, e contra a maioria dos insetos xilófagos;
- ✓ Melhoria das propriedades mecânicas da madeira, tais como as resistências à flexão, compressão e a sua dureza;

- ✓ A resistência das uniões ou juntas feitas com pregos e parafusos é maior em madeira seca;
- ✓ A madeira úmida não se presta para colagem ou tratamento preservativo pela maioria dos processos industriais;
- ✓ A maioria das deformações, empenamentos e rachaduras ocorrem durante a secagem. Produtos feitos com madeira seca estarão livres desses defeitos;
- ✓ Madeira somente pode receber pintura, verniz ou outros acatamentos se, pelo menos, for seca ao ar;
- ✓ Secagem aumenta a resistência elétrica da madeira, tornando-a isolante e melhorando suas propriedades de isolamento térmico;
- ✓ Facilita as operações de beneficiamento secundário, como torneamento, furação e ligamento.

Segundo Jankowsky (2002), a secagem em secadores ou estufas é a operação intermediária que mais contribui para agregar valor aos produtos manufaturados da madeira; mas é também uma das fases de maior custo na indústria de transformação. Essas razões motivam a constante busca por maior eficiência nos secadores e aprimoramentos no processo propriamente dito.

O conceito de madeira seca é relativo. Na maioria das vezes pode-se considerar como seca a madeira cujo teor de umidade for igual ou inferior a umidade de equilíbrio correspondente a sua condição de uso. Esse valor dependerá também do tipo de produto feito com a madeira.

A Tabela 1, extraída do trabalho de PONCE & WATAI (1985), indica os teores de Umidade final da madeira para certos usos ou produtos. Como a tabela é simplesmente indicativa, os teores de umidade recomendados dependerão das condições médias de temperatura e umidade do ambiente no qual serão utilizados esses produtos.

Existem vários métodos ou processos de secagem da madeira, variando da secagem ao ar livre, na qual os elementos da natureza são os responsáveis, até os métodos mais ou menos sofisticados, nos quais se utilizam vácuo, alta frequência, altas temperaturas, Produtos químicos, etc.

Não existe um método de secagem que possa ser recomendado para todas as condições. Há uma série de alternativas disponíveis para cada tipo ou tamanho de

indústria, tipo de madeira e localização da operação. O método ideal para uma empresa iniciar a prática de secagem de madeira é ao ar livre. Este também é o método ideal para as pequenas serrarias que, na maioria das vezes, secam a madeira para diminuir o peso e deixá-la resistente aos fungos.

A secagem ao ar livre também é recomendada para pré-secagem, isto é, a madeira é seca ao ar livre até alcançar um certo teor de umidade e, depois, completada por outro método mais rápido.

### 10.3 Determinação da umidade da madeira

A umidade da madeira (U) é calculada como a relação entre a massa da água que ela contém (ma) e a massa de madeira (ms).

<b>PRODUTOS</b>	<b>%</b>
<i>Madeira Serrada Comercial</i>	<i>16-20</i>
<i>Madeira para Construção Externa</i>	<i>12-18</i>
<i>Madeira para Construção Interna</i>	<i>08-11</i>
<i>Painéis (compensado, aglomerado, laminado, etc)</i>	<i>06-08</i>
<i>Pisos e Lambris</i>	<i>06-11</i>
<i>Móveis para Interiores</i>	<i>06-10</i>
<i>Móveis para Exteriores</i>	<i>12-16</i>
<i>Equipamentos Esportivos</i>	<i>08-12</i>
<i>Brinquedos para Interiores</i>	<i>06-10</i>
<i>Brinquedos para Exteriores</i>	<i>10-15</i>
<i>Equipamentos Elétricos</i>	<i>05-08</i>
<i>Embalagens (caixas)</i>	<i>12-16</i>
<i>Fôrmas para calçados</i>	<i>06-09</i>
<i>Coronhas de Espingarda</i>	<i>07-12</i>
<i>Instrumentos Musicais</i>	<i>05-08</i>
<i>Implementos Agrícolas</i>	<i>12-18</i>
<i>Barcos</i>	<i>12-16</i>
<i>Aviões</i>	<i>06-10</i>

**Tabela 1** - Teor de umidade final recomendado para certos produtos de madeira.

**Equação 1:**

$$U = \frac{Ma}{Ms}$$

Uma vez que peso e massa têm o mesmo valor numéricos mais comum, expressar a umidade como uma relação entre pesos. Assim,

**Equações 2 e 3:**

$$U = \frac{Pa}{Ps} \text{ ou } U = \frac{Pu - Ps}{Ps}$$

Onde (Pu) é o peso da madeira a umidade corrente. A umidade é usualmente expressa em termos de percentagem (U), como mostra a equação abaixo.

**Equação 4:**

$$U = \frac{Pu - Ps}{Ps} \times 100$$

A fórmula acima pode ainda ser escrita como aparece logo abaixo, para facilitar cálculos.

**Equação 5:**

$$U = \left( \frac{Pu}{Ps} - 1 \right) \times 100$$

Um dos métodos mais comuns para a determinação da umidade é o método gravimétrico ou de secagem a 103°C.

O método baseia-se na utilização das fórmulas (4) ou (5) cujos valores são obtidos com auxílio de estufas dotadas de circulação forçada de ar e termostato, que permitam regular e manter a temperatura entre 101°C e 105°C, e balança, possibilitando pesagens com aproximação de 0,1 g. O peso seco é utilizado como referência por ser um valor reproduzível. Por peso seco deve-se entender o peso da amostra da madeira submetida à



secagem em estufa, a temperaturas entre 101°C e 105°C, até que pesagens sucessivas revelem um valor constante.

O procedimento para determinação da umidade pelo método gravimétrico é o seguinte:

- Determina-se a massa da amostra da madeira na umidade em que se encontra ( $P_u$ );
- Coloca-se a amostra em estufa com temperatura ajustada para 103' ( $\pm 2$ ) até se obter massa constante ( $P_s$ );
- Calcula-se a umidade com auxílio das equações (4) ou (5).

Esse método tem o inconveniente de não se aplicar a peças grandes de madeira. Neste caso é necessário utilizar amostras de controle. Esta metodologia permite estimar peso seco ( $P_{se}$ ) das amostras de controle (peças grandes) e acompanhar a secagem através de simples pesagens. E o método empregado para monitorar a secagem de madeiras.

O outro método de medição é o da resistência elétrica. Este método baseia-se no fato de que, dentro de certos limites de teores de umidade, quando a umidade da madeira decresce, a resistência à passagem da corrente contínua aumenta de maneira bastante significativa. Os medidores de resistência funcionam a pilha e a corrente deve passar através da madeira, de um eletrodo a outro. A escala do medidor marca diretamente o teor de umidade em porcentagem, porém há necessidade de pequenas correções, de acordo com a temperatura e espécie da madeira.

Um detalhe importante é que o medidor por resistência elétrica é adequado para teores de umidade abaixo de 30%, em umidades maiores é apenas indicativo. A maior vantagem do método é a rapidez e a facilidade com que é feita a leitura.

Os instrumentos disponíveis no mercado podem ser do tipo capacitivo ou perda de potência (medidores de contato) ou do tipo resistência (medidores de agulhas), conforme ilustrados na Figura 91.



**Figura 91** - Ilustrando os medidores elétricos de umidade da madeira. (A) Medidor do tipo resistência. (B) Medidor de contato.

## 10.4 Secagem da madeira ao ar livre

Segundo PONCE & MIATAI (1985), a maneira mais simples de secar madeira serrada é através de sua exposição ao ar livre. Esse processo é bastante rápido no início, isto é, quando a madeira apresenta umidade elevada. Quando a umidade da madeira aproxima-se da umidade de equilíbrio, dependendo da temperatura e umidade relativa do ambiente, a secagem ao ar livre pode tornar-se bastante lenta.

A secagem ao ar livre é obtida pela exposição ao ar da madeira empilhada de maneira adequada. A umidade relativa ao ar e a intensidade de sua movimentação são fatores muito importantes na eficiência da secagem da madeira.

A madeira, quando adequadamente exposta ao ar livre, seca mais rapidamente quando a temperatura é alta, a umidade relativa do ar é baixa e o movimento do ar é ativo através das peças. A velocidade de secagem e o menor teor de umidade que pode ser atingido pela madeira em determinado local, dependem, quase que exclusivamente, das condições do tempo. A secagem ao ar não é um processo perfeitamente controlado; todavia, é possível, através da adoção de procedimentos racionais, obter-se o máximo das condições do ambiente.

As práticas racionais desse processo resultam em menores tempos de secagem, peças de madeira com umidades mais uniformes e, o que é mais importante, madeira de melhor qualidade, com um mínimo de defeitos. O tempo entre o início da secagem da madeira verde e a obtenção da umidade desejada depende de fatores que envolvem as características da própria madeira, da pilha, do pátio e das condições climáticas. A perda de umidade do início no processo é bastante rápida, por exemplo: o tempo necessário para

secar um lote de madeira ao ar livre de 60 para 40% é muito menor do que o tempo de secagem de 40 para 20%.

Algumas espécies secam rapidamente, outras lentamente. As coníferas e algumas folhosas de baixa densidade secam rapidamente sob condições favoráveis de secagem ao ar. Folhosas densas requerem períodos longos de secagem para atingir o teor de umidade desejado. As madeiras que têm mais alburno secam mais rapidamente do que aquelas que têm mais cerne.

A espessura da madeira é também muito importante na velocidade de secagem, por exemplo: em peças com 50 mm de espessura a velocidade de secagem chega a ser quatro vezes menor do que em peças de 25 mm da mesma espécie, ou seja, o tempo de secagem das primeiras é da ordem de quatro vezes mais longo do que o das segundas. Uma prática comum, em algumas regiões, é a produção de peças espessas, as quais são desdobradas após a secagem, o que não é uma prática recomendável.

A velocidade de secagem é afetada, também, pelo modo como as peças são empilhadas, por exemplo: quando são deixados vazios entre as tábuas de uma mesma espécie, estas secam mais rapidamente do que se colocadas juntas. A localização das pilhas no pátio também influencia a velocidade da secagem, por exemplo: pilhas colocadas nas margens do pátio secam mais rapidamente do que as colocadas no meio. A distância entre o solo e a base das pilhas deve ser de aproximadamente 30 cm para permitir o livre movimento do ar, e criar condições de renovação de ar sob as mesmas.

A superfície do pátio também influencia, de certa forma, a velocidade de secagem ao ar. Um pátio bem plano, drenado, sem vegetação, coberto por materiais escuros secará a madeira mais rapidamente. Poças d'água ou terreno não drenado aumentam a umidade do ar, e, conseqüentemente, diminui a velocidade de secagem; vegetação, detritos e outros obstáculos impedem ou dificultam a circulação do ar entre as pilhas; materiais escuros na superfície do solo absorvem mais energia solar, tornando-se mais aquecido do que os materiais claros, e aumentando a temperatura do ar, diminui a umidade relativa com o conseqüente aumento na velocidade de secagem.

Outro fator que influi muito na velocidade da secagem é o clima da área ou região na qual o pátio está localizado. Talvez o mais importante seja a temperatura, mas o índice pluviométrico tem também efeito significativo. O empilhamento plano com separadores é o mais utilizado, também conhecido por pilha gradeada ou entabizada. Neste tipo de pilha cada camada de peças de madeira justapostas é separada de outra por separadores ou tabiques. Cada camada suporta o peso das outras colocadas sobre si, restringindo,

assim, o empenamento. Outros tipos de empilhamento são usados para que a secagem se processe mais rapidamente, tais como tesouras ou gaiolas. Nestes sistemas, quando as peças estiverem quase secas, isto é, com teor de umidade próximo ao ponto de saturação das fibras, devem ser gradeadas para evitar o empenamento.

Todo o cuidado despendido na construção das pilhas será plenamente compensado, pois a madeira será de melhor qualidade, o estoque será mais fácil de controlar e haverá menor probabilidade de acidentes. Antes do gradeamento, as peças de madeira devem ser separadas por espécie, espessura, classe e, sempre que possível, largura e comprimento. A separação por espécie é muito importante em virtude dos diferentes comportamentos durante a secagem. Raros são os casos onde duas ou mais espécies podem ser secas exatamente sob as mesmas condições, além de que, geralmente, as madeiras são comercializadas por espécie, logo, quanto antes for feita a separação, melhor. A separação por espessura é indispensável, pois, como já foi visto, o tempo de secagem de uma peça de 50 mm de espessura é cerca de quatro vezes maior do que o de secagem de uma peça de 25 mm. Além disso, a mistura de mais de uma espessura em uma mesma camada anularia o efeito de restrição das camadas superiores sobre as inferiores, pois as tábuas mais finas ficariam soltas. A separação por classe de qualidade é também importante porque permite manter juntas peças do mesmo valor, permite que se dê melhor proteção, como cobertura por exemplo, ao material mais valioso, e facilita, ainda, o controle de estoques e o atendimento dos pedidos. Dependendo do tipo de produto e do mercado, é importante a separação por largura. Deve, também, haver separação por comprimento, sempre que o mercado a exigir, além do fato de que a construção de pilhas de diferentes tamanhos dificulta o controle de estoque e o atendimento de pedidos.

A distância entre os separadores pode variar de acordo com a espessura das peças de madeira. Os separadores ou tabiques devem estar espaçados de 40 a 45 cm, para peças com menos de 40 mm de espessura. Para peças mais espessas e para classes inferiores, espaçamentos de 60 a 80 cm são aceitáveis. Madeiras com tendência ao empenamento devem ter os separadores menos espaçados que as outras. A espessura dos separadores ou tabiques pode variar de 2 a 3 cm, sendo que os mais espessos são mais adequados para madeiras leves e mais fáceis de secar, enquanto os mais delgados, para madeiras que apresentam maior tendência à formação de defeitos de secagem. Uma vez selecionada a espessura dos separadores, todos devem ter a mesma espessura para evitar deformações das peças durante a secagem. A largura dos separadores pode variar de 2,5 a 10 cm, porém

o ideal está em torno de 5 cm. É inconveniente que as espessuras sejam quase iguais às larguras, pois os operários podem colocar alguns separadores com a maior dimensão na vertical, provocando deformação nas tábuas de madeira. É recomendável, então, o uso de separadores de 2,5 cm de espessura por 4 ou 5 cm de largura. Deste modo, as pilhas formadas serão estáveis e a pressão exercida pelos separadores nas tábuas inferiores dificilmente provocará esmagamento das mesmas, mesmo sendo de madeira mole.

Os separadores devem ser feitos, de preferência, de cerne de madeira durável, secos ao ar e de espessura uniforme. O comprimento deve ser cerca de 5 cm maior do que a largura da pilha. É uma falsa economia utilizar separadores empenados, quebrados, desbitolados, curtos, Dão secos e de madeira manchada ou atacada por fungos. Quando não estão em uso, os separadores devem ser mantidos bem empilhados, cobertos e em lugar seco. Isto aumentará sua vida útil e a madeira processada terá melhor qualidade.

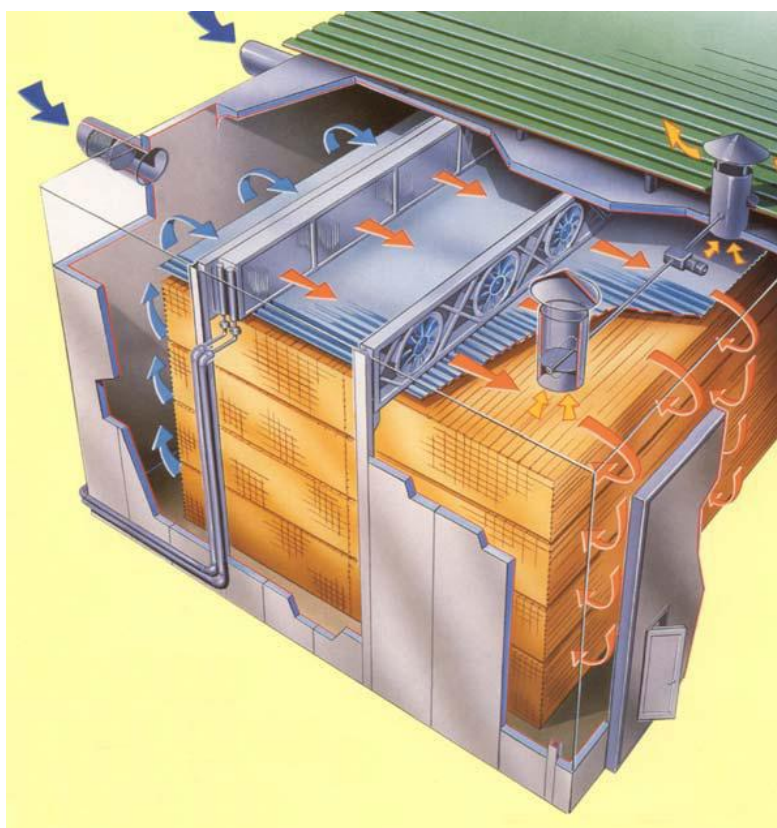
Na construção das pilhas, um detalhe fundamental é o alinhamento vertical dos separadores, de modo a evitar o empenamento de peças devido a separadores desalinhados. Outros aspectos importantes são as fundações ou bases das pilhas, que têm duas funções extremamente importantes: dar apoio estável e plano para as pilhas e prover um espaço vazio entre o solo e a pilha para permitir a saída do ar descendente, úmido e frio. Os apoios devem ter fundação suficientemente dimensionadas para suportar a carga, representada pela massa das pilhas, e resistir aos choques acidentais, no caso da movimentação com empilhadeiras. Devem, também, permitir um espaço livre de, no mínimo, 40 cm de altura sobre o solo; deve-se evitar paredes que restringem o movimento do ar. A fundação deve consistir, basicamente, de colunas e de vigas. As colunas podem ser de concreto ou de peças de madeira duráveis, e as vigas, de madeira serrada ou de trilhos usados de estrada de ferro. Devido aos altos custos do concreto, a madeira é, provavelmente, o material mais adequado para as fundações. Durante a secagem, os apoios da base devem estar na mesma linha dos separadores das camadas da pilha, formando colunas.

## **10.5 Secagem convencional da madeira**

Pratt (1974), define a secagem convencional como o processo para secagem de madeira serrada que é conduzido em secadores operando a temperaturas entre 35°C e 90°C. Os equipamentos dispõem de um sistema de aquecimento, um sistema para

umidificação do ar, um sistema de janelas para troca de ar entre o interior da câmara de secagem e o ambiente externo, e um sistema para ventiladores para forçar a circulação do ar através das pilhas de madeira.

Os secadores convencionais são os equipamentos mais usados na secagem da madeira de folhosas. No padrão mais comumente encontrado nas indústrias madeireiras, o secador convencional possui uma bateria de trocadores de calor [o fluido térmico mais usado é o vapor d'água a pressões entre 4,0 e 8,0 kgf/cm<sup>2</sup> (0,39 MPa a 0,78 MPa)] para o aquecimento, um conjunto de ventiladores posicionado acima das pilhas de madeira, um conjunto de bicos pulverizadores para umidificação do ar com vapor de baixa pressão ou água fria, e janelas posicionadas de tal forma que a ação dos ventiladores promove a saída do ar quente e úmido do secador e a entrada de ar externo (Jankowsky, 1995).



**Figura 92** - Desenho esquemático de um secador convencional.

Denig, Wengert e Simpson (2000), afirmam que os secadores modernos podem secar a maioria das espécies, com diferentes espessuras, e com perdas praticamente insignificantes. Controles computadorizados regulam com eficiência a temperatura, a umidade relativa e a velocidade do ar, permitindo a melhor secagem possível. Embora o

investimento nos secadores a vapor (fluido de aquecimento) seja elevado, a versatilidade, a qualidade de secagem e a produtividade compensam esse custo.

A construção da câmara pode ser em alvenaria ou metálica, sendo que os equipamentos mais atuais são pré-fabricados em alumínio, por apresentar maior resistência à corrosividade provocada pelo ar de secagem. Simpson (1991), detalha as alternativas de construção e os vários modelos de secadores.

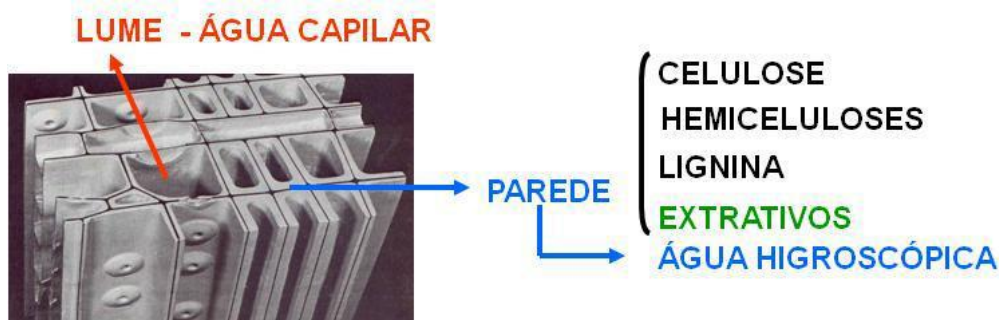
As vantagens da secagem convencional são a independência das condições climáticas, maior controle sobre os defeitos e umidade final, adequação a todo tipo de madeira e ampla experimentação disponível. Santini (1996), ressalta que a disponibilidade do sistema para umidificação do ar possibilita a uniformização do teor de umidade da madeira seca e o condicionamento para aliviar as tensões de secagem ao final do processo.

A secagem inadequada tem sido referida como a principal razão para o baixo padrão de qualidade dos produtos a base de madeira manufaturados no Brasil (Tomaselli, 1974), sendo que o desconhecimento das características da madeira e do seu comportamento durante a secagem tem sido uma das principais causas da alta porcentagem de perdas durante o processamento (Jankowsky, 1988). Contudo, um aprimoramento tecnológico foi observado nas duas últimas décadas (Jankowsky e Luiz, 2006).

## 10.6 Ponto de saturação das fibras

A madeira é um sólido poroso constituído por diferentes elementos anatômicos, genericamente denominados fibras, unidos entre si.

Quando recém cortada, a madeira estará com todos os seus tecidos saturados em água, tanto nos poros (lume das fibras) como na parede dessas fibras (Figura 93).



**Figura 93** - Ilustração da estrutura anatômica da madeira e a localização da água capilar e da água higroscópica.

O ponto de saturação das fibras (PONTO DE SATURAÇÃO DAS FIBRAS) corresponde ao teor de umidade em que toda a água capilar se evaporou e permanece na madeira o máximo da água higroscópica, saturando as paredes das fibras. O valor do PONTO DE SATURAÇÃO DAS FIBRAS varia entre 25% e 32% de umidade, dependendo da espécie considerada; podendo ser considerado, na média, igual a 28% para todas as espécies.

### **10.7 Teor de umidade de equilíbrio (TUE)**

Quando exposta a condições constantes de temperatura e umidade relativa do ar, a madeira tende a um equilíbrio dinâmico de umidade; sendo que o seu teor de umidade nessas condições é definido como umidade de equilíbrio (UE).

Conforme pode ser verificado na Figura 94, a faixa de variação da UE corresponde a variações no teor de umidade higroscópica (abaixo do PONTO DE SATURAÇÃO DAS FIBRAS), com as consequentes variações nas propriedades e nas dimensões do material. É importante ressaltar que a secagem adequada da madeira será o fator decisivo para que essas variações no teor de umidade ao longo do tempo não resultem em variações dimensionais que desqualifiquem o produto ou prejudiquem o seu uso.

A partir desse conceito entende-se que os principais fatores influenciando o equilíbrio higroscópico (ou a umidade de equilíbrio) da madeira no ambiente serão a temperatura e a umidade relativa do ar.

Uma vez que as condições de temperatura e umidade relativa variam ao longo do tempo, principalmente considerando-se as variações sazonais, e de acordo com a localização geográfica; infere-se que o teor de umidade da madeira, mesmo em equilíbrio, irá também apresentar uma variação ao longo do tempo e da localização geográfica. Essas variações podem ser avaliadas na Tabela 2.



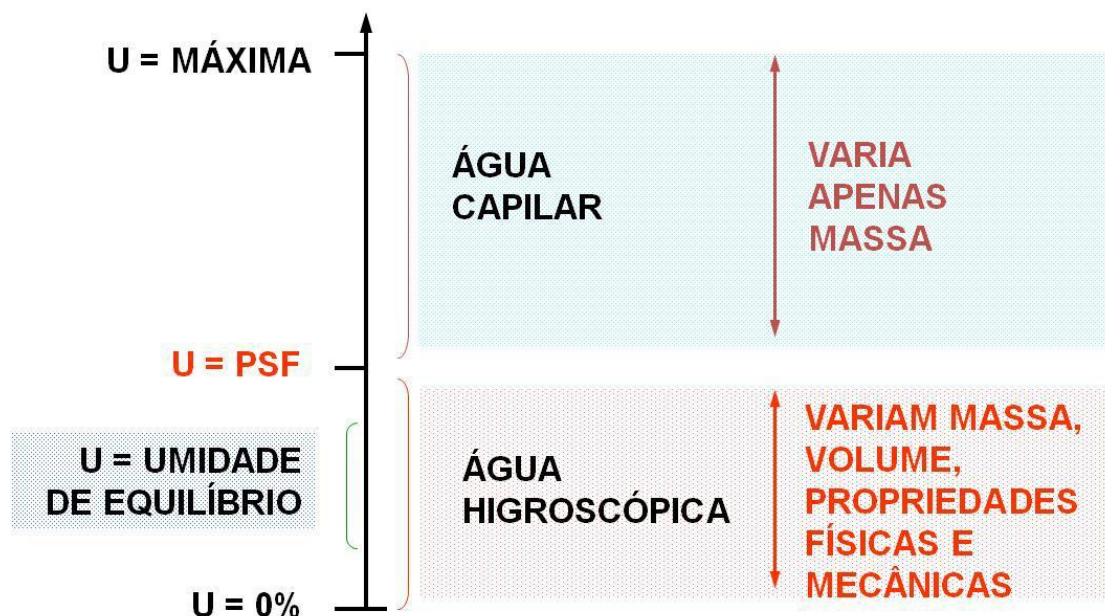


Figura 94 - Efeito das variações de umidade nas propriedades da madeira.

CIDADE	UMIDADE DE EQUILÍBRIO DA MADEIRA (%)		
	MÁXIMA	MÍNIMA	MÉDIA
Belém	20,6	16,6	18,6
Belo Horizonte	16,2	11,3	13,7
Brasília	15,8	8,7	12,2
Curitiba	17,8	15,7	16,7
Fortaleza	16,6	13,8	15,2
Goiânia	16,8	9,5	13,2
Manaus	19,2	14,9	17,0
Piracicaba	14,8	11,0	12,9
Porto Alegre	17,4	12,7	15,0
Recife	17,1	14,6	15,8
Rio de Janeiro	15,8	14,9	15,3
Salvador	16,7	15,3	16,0
São Paulo	17,0	14,2	15,6

Tabela 2 - Umidade de equilíbrio estimada para algumas cidades do Brasil. (Galvão e Jankowsky, 1985)

Ressalte-se que os valores da umidade de equilíbrio relacionados na Tabela 2 foram estimados com base em dados de temperatura e umidade relativa do ar coletados em estações meteorológicas, isto é, em ambientes externos.

A variação climática em ambientes internos sempre é menor que a variação observada externamente. Por consequência, a variação da umidade de equilíbrio em ambientes internos também é sempre inferior ao alcançando pela madeira quando em uso externo (Jankowsky, 1985). Adicionalmente, a secagem artificial reduz a capacidade higroscópica da madeira, o que resulta em menores umidades de equilíbrio (Takeshita e Jankowsky, 2012).

Dessas informações conclui-se que produtos manufaturados de madeira, a qual tenha sido previamente seca em secadores, usados em ambientes internos apresentarão umidades de equilíbrio menores do que as relacionadas na Tabela 2.

## **10.8 Programas de secagem**

Consistem basicamente de uma sequência previamente estudada de temperatura e umidade relativa, as quais visam a redução, mais rápida possível, da umidade da madeira até um teor pré determinado, com o menor número de defeitos possíveis.

O teor de umidade da madeira e o período de tempo decorrido desde o início da secagem, são os parâmetros que regulam a passagem de uma etapa para outra.

### ***10.8.1 Tipos de programas de secagem***

Basicamente existem três tipos de programas de secagem, a saber:

- Umidade – temperatura;
- Tempo – temperatura;
- Baseados no gradiente de secagem.

#### **a) Umidade – Temperatura**

Os parâmetros adequados de temperatura e umidade relativa a serem utilizados num programa de secagem são determinados em função da fase de secagem na qual a madeira se encontra. Sabe-se, por exemplo, que altas temperaturas e baixas umidades

relativas proporcionam uma rápida redução da umidade da madeira, entretanto, estes parâmetros também podem significar sérios problemas de secagem. Desta forma, durante um programa de secagem, três etapas distintas são reconhecidas:

### ***1ª Etapa: Fase de Aquecimento Inicial***

Nesta fase o processo de secagem ainda não foi propriamente iniciado. Aquece-se o ar no interior da estufa até a temperatura de bulbo seco desejada. Normalmente utilizam-se umidades relativas elevadas acima de 85%. Também nesta fase procura-se equilibrar a temperatura a temperatura entre o ar e a madeira.

Após atingir a temperatura de bulbo seco desejada no interior da estufa, inicia-se a fase de aquecimento da madeira. A duração desta fase está em função da espessura da peça. HILDEBRAND (1970) sugere uma hora de aquecimento para cada centímetro de espessura da peça de madeira a secar.

A diferença higrométrica ( $t_s - t_u$ ), tanto para o aquecimento do ar, quanto para o da madeira, não deve ser superior a 2°C, principalmente para madeiras susceptíveis a defeitos.

### ***2ª Etapa: Fase de Secagem Propriamente Dita***

Nesta fase inicia-se o processo de remoção da umidade da madeira. Utilizando-se baixas temperaturas em torno de 40° a 60°C, remove-se inicialmente a água livre ou capilar. Umidades elevadas devem ser utilizadas para se evitar possíveis colapsos ou rachaduras. Umidades acima de 85% são indicadas para espécies de difícil secagem, podendo a mesma ser reduzida a medida que a madeira vai perdendo sua umidade. RASMUNSSEM (1968) aconselha iniciar a redução da umidade relativa após a madeira ter perdido, pelo menos, um terço da sua umidade inicial.

A temperatura inicial do termômetro de bulbo seco ( $t_s$ ) deve ser mantida até que toda a água livre tenha sido removida, sendo que os valores máximos para a temperatura variam de acordo com a espessura da madeira. Quanto maior a espessura, menor a temperatura. Nesta fase, apesar das baixas temperaturas e altas umidades relativas, o processo de remoção da água livre ocorre de forma relativamente rápida. Para a retirada da água de adesão ou higroscópica, utilizam-se temperaturas mais elevadas e umidades relativas mais baixas de forma simultânea. A temperatura poderá ser elevada de forma

mais rígida, quando o centro das peças atingir um teor de umidade de aproximadamente 30%. Para madeiras de folhosas que não serão usadas em situações que exijam sua resistência máxima, como por exemplo para escadas, cabos de armas de fogo, raquetes de tênis, aviões, etc., as temperaturas podem variar entre 81°C até 92°C. Fora dessas situações, deve-se dar preferência a temperaturas mais baixas.

O período de tempo necessário para a remoção da água higroscópica pode variar em função de fatores tais como: massa específica da espécie, espessura da peça, temperatura e do gradiente de umidade dentre outras.

### ***Etapa 3: Fase de Igualação (equalização) e Acondicionamento***

Dependendo do material e do processo de secagem, esta etapa poderá ser dispensada. A equalização visa reduzir a variação de umidade que existe entre as peças de madeira da carga, tendo em vista que, ao final da secagem, nem todas as peças encontram-se com o mesmo teor de umidade. Quando o resultado final da secagem for considerado bom, ainda assim, existirá uma variação em torno de 2% entre uma peça e outra. A dificuldade em se obter uma equalização aumenta com o teor de umidade final desejado. O acondicionamento objetiva, principalmente, a eliminação das tensões internas, decorrentes da remoção da água da madeira. Peças de madeira que forem desdobradas novamente após a secagem, devem receber este tratamento, o qual consiste, basicamente, em elevar de forma significativa a umidade relativa das peças de forma a umedecer as camadas superficiais das peças e desta forma, suavizar o gradiente de secagem estabelecido durante o processo de secagem.

#### **b) Programa de Tempo – Temperatura**

São programas fundamentados basicamente no período de tempo no qual a carga de madeira deverá permanecer sob determinadas condições de temperatura e umidade relativa. São mais utilizados para coníferas ou madeiras com uma estrutura anatômica mais uniforme. Programas desta natureza, tornam necessárias constantes determinações do teor de umidade da madeira. A elaboração destes programas tem sido, tradicionalmente, um processo de sucessivas tentativas e erros.

### c) Programas Fundamentados no Gradiente de Secagem

O gradiente de secagem ou também chamado de potencial de secagem, é a relação existente entre o teor de umidade médio da madeira e o teor de umidade de equilíbrio correspondente às condições do secador, em um determinado momento. O gradiente de secagem pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$GS = \frac{TUm}{TUE} \quad \text{onde:}$$

GS = Gradiente de secagem

TUm = Teor de umidade médio da madeira (%)

TUE = Teor de umidade de equilíbrio da madeira (%)

Elaborar ou montar um programa de secagem para uma determinada madeira é um exercício relativamente simples, uma vez que existem diversas bibliotecas de programas na literatura especializada. Contudo, alguns aspectos precisam ser destacados:

- ✓ Os programas de secagem disponíveis na literatura são considerados programas padrões, ou seja, são programas conservadores e que devem atender diferentes tipos de secadores, práticas operacionais nem sempre adequadas e, muitas vezes, são aplicados para diferentes espécies comercializadas com um mesmo nome comum.
- ✓ Os sistemas de controle automático requerem diferentes formatos para o programa de secagem, e o operador precisa fazer a adaptação do programa padrão para o modelo específico do controlador que está sendo usado.
- ✓ Um mesmo programa, por ser padrão, apresentará resultados diferentes em função do modelo do secador e das práticas operacionais adotadas. Cabe ao operador avaliar a qualidade e a produtividade da sua secagem e efetuar as modificações necessárias no programa.

O formato mais comum de um programa de secagem é exemplificado na Tabela 3. É um programa do tipo Umidade-Temperatura, em que as condições de temperatura e umidade relativa no interior do secador são ajustadas em função do teor de umidade da madeira.

Nesse tipo de programa os principais parâmetros a serem considerados para sua elaboração ou montagem são a Temperatura Inicial (Ti), a Temperatura Final (Tf) e o Potencial de Secagem (PS). As temperaturas indicam a disponibilidade de energia no ar para evaporar a água presente na madeira, enquanto que o potencial de secagem indica a agressividade do programa em si.

Quanto maiores as temperaturas e o potencial de secagem, mais rápida será a secagem. Contudo, maior será a possibilidade de aumentar a incidência de defeitos. O programa de secagem ideal é aquele que promove a melhor combinação entre rapidez e qualidade, e deverá ser ajustado pelo operador de acordo com os equipamentos disponíveis (secador e sistema de controle) e com as práticas operacionais adotadas (empilhamento, separação por espécie ou espessura, pré-secagem ao ar, dentre outras).

UMIDADE	Ts (oC)	Tu (oC)	UR (%)	UE (%)	PS
<b>Aquecimento</b>					**
Acima de 50	Ti				
50					
45					
40					
35					
30					PS
25					
20					
15					
10					
5	Tf				
<b>Uniformização</b>					**
<b>Condicionamento</b>					**

**Tabela 3** - Formato de um programa de secagem.

Como exemplo, será detalhada passo a passo a elaboração de um programa de secagem, objetivando um teor de 10% de umidade final, com as seguintes indicações:

- Ti = 45°C
- Tf = 65°C
- PS = 2,5

Como orientação geral, a temperatura inicial deve permanecer constante até que o teor e umidade da madeira seja igual a 30%. A partir desse ponto, a temperatura deve ser gradativamente aumentada até atingir o valor previsto para a temperatura final nas etapas finais do programa (umidade da madeira igual ou inferior a 15%), incluindo a uniformização e o condicionamento.

O potencial de secagem deve ser considerado como significativo quando o teor de umidade da madeira estiver entre 30% e 25%, permanecendo constante até o final da secagem. Assim o passo 1 na elaboração do programa é colocar esses valores na estrutura do programa, como pode ser visualizado na Tabela 4.

UMIDADE	Ts (oC)	Tu (oC)	UR (%)	UE (%)	P S
<b>Aquecimento</b>					**
Acima de 50	Ti				
50					
45					
40					
35					
30					P S
25					
20					
15					
10					
5	Tf				
<b>Uniformização</b>					**
<b>Condicionamento</b>					**

**Tabela 4** - Passo 1 na elaboração do programa de secagem.

O aumento da temperatura deve ser gradual. Para isso, a diferença entre a temperatura inicial e a temperatura final deve ser distribuída de maneira uniforme nas etapas intermediárias. No presente exemplo, a diferença é de  $(65 - 45) = 20^{\circ}\text{C}$ , que divididos por 4 (3 etapas, correspondentes à redução na umidade da madeira de 25% a 10%; mais 1) resulta num acréscimo de  $5^{\circ}\text{C}$  por etapa. Fazer essa distribuição é o passo 2.

UMIDADE	Ts (oC)	Tu (oC)	UR (%)	UE (%)	P S
Aquecimento	45,0				**
Acima de 50	45,0				
50	45,0				
45	45,0				
40	45,0				
35	45,0				
30	45,0				2,5
25	50,0				2,5
20	55,0				2,5
15	60,0				2,5
10	65,0				2,5
5	65,0				2,5
Uniformização	65,0				**
Condicionamento	65,0				**

**Tabela 5** - Passo 2 na elaboração do programa de secagem (exercício).

A recomendação para o aquecimento é manter o ar úmido, com uma diferença entre a temperatura seca e a temperatura úmida menor ou igual a 1°C. Consultando as tabelas de umidade relativa e de umidade de equilíbrio [Anexo 7.1, pág. 29 (Galvão e Jankowsky, 1985; páginas 28 e 36)], para uma diferença higrométrica de 1°C e 45°C para a temperatura de bulbo seco, encontram-se os valores de 94% para umidade relativa e de 21,2% para a umidade de equilíbrio. A temperatura de bulbo úmido será de  $(45 - 1) = 44^{\circ}\text{C}$ . O passo 3 é completar os valores para o aquecimento, demonstrado na Tabela 6.

UMIDADE	Ts (oC)	Tu (oC)	UR (%)	UE (%)	P S
Aquecimento	45,0	44,0	94	21,2	**
Acima de 50	45,0				
50	45,0				
45	45,0				
40	45,0				
35	45,0				
30	45,0				2,5
25	50,0				2,5
20	55,0				2,5
15	60,0				2,5
10	65,0				2,5
5	65,0				2,5
Uniformização	65,0				**
Condicionamento	65,0				**

**Tabela 6** - Passo 3 na elaboração do programa de secagem.

O próximo passo é calcular as umidades de equilíbrio para as etapas em que o potencial de secagem é conhecido (umidade da madeira de 30% a 5%). O potencial de



secagem é a relação entre a umidade da madeira e a umidade de equilíbrio na etapa correspondente, ou seja:

$$\text{Potencial de Secagem (PS)} = \frac{\text{Umidade da Madeira (UM)}}{\text{Umidade de Equilíbrio (UE)}}$$

Invertendo essa relação, é possível calcular a umidade de equilíbrio em função do potencial de secagem e da umidade da madeira:

$$\text{Umidade de Equilíbrio (EU)} = \frac{\text{Umidade da Madeira (UM)}}{\text{Potencial de Secagem (PS)}}$$

Exemplificando, na etapa em que a umidade da madeira é de 30%, e conhecendo-se que o potencial de secagem é de 2,5; pode-se estimar qual será a umidade de equilíbrio correspondente:

$$\text{Umidade de Equilíbrio (EU)} = \frac{30}{2,5} = 12,0$$

Repete-se o mesmo cálculo para as demais etapas, obtendo-se os resultados que são apresentados na Tabela 7.

UMIDADE	Ts (oC)	Tu (oC)	UR (%)	UE (%)	PS
Aquecimento	45,0	44,0	94	21,2	**
Acima de 50	45,0				
50	45,0				
45	45,0				
40	45,0				
35	45,0				
30	45,0			12,0	2,5
25	50,0			10,0	2,5
20	55,0			8,0	2,5
15	60,0			6,0	2,5
10	65,0			4,0	2,5
5	65,0			2,0	2,5
Uniformização	65,0				**
Condicionamento	65,0				**

Tabela 7 - Passo 4 na elaboração do programa de secagem.

A seguir, determinam-se os demais valores para a umidade de equilíbrio. Como regra geral, para umidades da madeira iguais ou acima de 50%, a umidade de equilíbrio deve estar entre 14,0% e 16,0%. Neste exemplo adotou-se o valor de 15,0%, e o resultado está na Tabela 8.

UMIDADE	Ts (oC)	Tu (oC)	UR (%)	UE (%)	P S
Aquecimento	45,0	44,0	94	21,2	**
Acima de 50	45,0			15,0	
50	45,0			15,0	
45	45,0				
40	45,0				
35	45,0				
30	45,0			12,0	2,5
25	50,0			10,0	2,5
20	55,0			8,0	2,5
15	60,0			6,0	2,5
10	65,0			4,0	2,5
5	65,0			2,0	2,5
Uniformização	65,0				**
Condicionamento	65,0				**

**Tabela 8** - Passo 5 na elaboração do programa de secagem.

De forma similar que para a temperatura de bulbo seco, a redução da umidade de equilíbrio também deve ser gradual. Para isso, a diferença entre os valores já estimados (15,0% e 12,0%) deve ser distribuída de maneira uniforme nas etapas intermediárias. No presente exemplo, a diferença é de  $(15 - 12) = 3,0\%$ , que divididos por 4 (3 etapas, correspondentes à redução na umidade da madeira de 45% a 30%; mais 1) resulta num decréscimo de 0,75% por etapa. Fazer essa distribuição é o passo 6.

A seguir calculam-se os valores restantes do potencial de secagem, aplicando-se a equação 5. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 9.

O próximo passo é estimar as temperaturas de bulbo úmido, com o auxílio da tabela de umidade de equilíbrio (Anexo; figura 97). Para a temperatura seca de 45,0°C e uma umidade de equilíbrio de 15,0%, encontra-se uma diferença higrométrica de 3,5°C, o que corresponde a uma temperatura de bulbo úmido igual a  $(45,0 - 3,5) = 41,5^\circ\text{C}$ . Aplicando-se o mesmo método de cálculo, são obtidos os demais valores para a temperatura de bulbo úmido, conforme ilustrado na Tabela 11.

É importante destacar que para valores muito baixos da umidade de equilíbrio não se encontra na tabela os valores correspondentes para a diferença higrométrica, Nesse

caso, deve-se usar o valor de umidade de equilíbrio o mais próximo possível e estimar o novo potencial de secagem.

UMIDADE	Ts (oC)	Tu (oC)	UR (%)	UE (%)	P S
Aquecimento	45,0	44,0	94	21,2	**
Acima de 50	45,0			15,0	
50	45,0			15,0	
45	45,0			14,2	
40	45,0			13,5	
35	45,0			12,7	
30	45,0			12,0	2,5
25	50,0			10,0	2,5
20	55,0			8,0	2,5
15	60,0			6,0	2,5
10	65,0			4,0	2,5
5	65,0			2,0	2,5
Uniformização	65,0				**
Condicionamento	65,0				**

Tabela 9 - Passo 6 na elaboração do programa de secagem.

UMIDADE	Ts (oC)	Tu (oC)	UR (%)	UE (%)	P S
Aquecimento	45,0	44,0	94	21,2	**
Acima de 50	45,0			15,0	> 3,3
50	45,0			15,0	3,3
45	45,0			14,2	3,2
40	45,0			13,5	3,0
35	45,0			12,7	2,7
30	45,0			12,0	2,5
25	50,0			10,0	2,5
20	55,0			8,0	2,5
15	60,0			6,0	2,5
10	65,0			4,0	2,5
5	65,0			2,0	2,5
Uniformização	65,0				**
Condicionamento	65,0				**

Tabela 10 - Passo 7 na elaboração do programa de secagem.

UMIDADE	Ts (oC)	Tu (oC)	UR (%)	UE (%)	P S
Aquecimento	45,0	44,0	94	21,2	**
Acima de 50	45,0	41,5		15,0	> 3,3
50	45,0	41,5		15,0	3,3
45	45,0	41,0		14,2	3,2
40	45,0	40,5		13,5	3,0
35	45,0	40,0		12,7	2,7
30	45,0	39,5		12,0	2,5
25	50,0	42,5		10,0	2,5
20	55,0	45,0		8,0	2,5
15	60,0	45,0		6,0	2,5
10	65,0	41,0		4,0	2,5
5	65,0	35,0		2,6	1,9
Uniformização	65,0				**
Condicionamento	65,0				**

Tabela 11 - Passo 8 na elaboração do programa de secagem.

Com os valores conhecidos das temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido, estimasse a umidade relativa correspondente, com auxílio da tabela de umidade relativa (Anexo; figura 97). Esse é o passo 9, demonstrado na Tabela 12.

Por último, é necessário estimar as condições para a uniformização e o condicionamento. Para isso, que é o passo 10, recorre-se ao auxílio da Tabela 13, a qual resume as informações necessárias.

UMIDADE	Ts (oC)	Tu (oC)	UR (%)	UE (%)	P S
Aquecimento	45,0	44,0	94	21,2	**
Acima de 50	45,0	41,5	81	15,0	> 3,3
50	45,0	41,5	81	15,0	3,3
45	45,0	41,0	79	14,2	3,2
40	45,0	40,5	76	13,5	3,0
35	45,0	40,0	73	12,7	2,7
30	45,0	39,5	71	12,0	2,5
25	50,0	42,5	58	10,0	2,5
20	55,0	45,0	54	8,0	2,5
15	60,0	45,0	41	6,0	2,5
10	65,0	41,0	25	4,0	2,5
5	65,0	35,0	14	2,6	1,9
Uniformização	65,0				**
Condicionamento	65,0				**

Tabela 12 - Passo 9 na elaboração do programa de secagem.

Para uma temperatura final de 65,0°C e umidade final desejada de 10,0%, encontram-se os valores de  $T_u = 54,5^\circ\text{C}$ ,  $UR = 57\%$  e  $UE = 8,0\%$  para a uniformização. Para o condicionamento os valores encontrados são  $T_u = 61,5^\circ\text{C}$ ,  $UR = 83\%$  e  $UE = 14,0\%$ . Dessa forma, têm-se o programa de secagem completo, ilustrado na Tabela 13.

UMIDADE	$T_s$ (oC)	$T_u$ (oC)	UR (%)	UE (%)	P S
Aquecimento	45,0	44,0	94	21,2	**
Acima de 50	45,0	41,5	81	15,0	> 3,3
50	45,0	41,5	81	15,0	3,3
45	45,0	41,0	79	14,2	3,2
40	45,0	40,6	76	13,5	3,0
35	45,0	40,0	73	12,7	2,7
30	45,0	39,5	71	12,0	2,5
25	50,0	42,5	58	10,0	2,5
20	55,0	45,0	54	8,0	2,5
15	60,0	45,0	41	6,0	2,5
10	65,0	41,0	25	4,0	2,5
5	65,0	35,0	14	2,6	1,9
Uniformização	65,0	54,5	57	8,0	**
Condicionamento	65,0	61,5	83	14,0	**

**Tabela 13** - Passo 10 na elaboração do programa de secagem.

É importante comentar que o programa obtido é um programa padrão, e que cabe ao operador gradativamente ajustá-lo ao seu equipamento e às práticas operacionais da indústria. O operador deve acompanhar a incidência de defeitos e o tempo de secagem, fazendo as alterações que julgar necessárias.

Para diminuir o tempo de secagem (tornar o programa mais agressivo) pode-se inicialmente aumentar o potencial de secagem, recalculando os demais valores do programa. Outra alternativa é aumentar a temperatura inicial e a temperatura final, adotando os mesmos procedimentos para completar o programa. Trabalhar com o aumento no potencial de secagem sempre é mais simples do que alterar as temperaturas.

Para suavizar o programa, caso a incidência de defeitos esteja acima do aceitável, adota-se o procedimento contrário; ou seja, diminui-se o potencial de secagem ou as temperaturas. Nesse caso, recomenda-se analisar qual o defeito de maior incidência e alterar as etapas do programa em que esse defeito tem maior possibilidade de ocorrer.

UMIDADE FINAL (%)	Ts (°C)	UNIFORMIZAÇÃO			CONDICIONAMENTO		
		Tu (°C)	UR (%)	UE (%)	Tu (°C)	UR (%)	UE (%)
6,0	60,0	37,0	23	4,0	53,0	67	10,0
	65,0	40,5	24		58,0	68	
	70,0	45,5	26		62,5	70	
	75,0	50,0	28		68,0	71	
	80,0	55,5	30		73,0	72	
7,0	60,0	41,0	31	5,0	54,0	71	11,0
	65,0	45,5	34		59,0	72	
	70,0	50,0	35		64,0	75	
	75,0	55,5	37		69,0	76	
	80,0	60,0	40		74,5	78	
8,0	60,0	44,5	39	6,0	54,5	74	12,0
	65,0	49,0	42		60,0	77	
	70,0	54,0	45		65,0	79	
	75,0	59,0	48		70,0	79	
	80,0	64,5	49		75,5	81	
9,0	60,0	47,0	47	7,0	55,5	78	13,0
	65,0	52,0	50		61,0	80	
	70,0	57,0	53		66,0	81	
	75,0	62,0	54		71,0	82	
	80,0	67,5	56		76,0	83	
10,0	60,0	49,0	54	8,0	56,5	82	14,0
	65,0	54,5	57		61,5	83	
	70,0	59,0	59		66,5	83	
	75,0	65,0	62		71,5	86	
	80,0	70,0	63		77,0	87	
11,0	60,0	51,0	60	9,0	57,0	85	15,0
	65,0	56,0	62		62,0	85	
	70,0	61,0	65		67,0	86	
	75,0	66,5	67		72,0	87	
	80,0	72,0	69		77,5	89	
12,0	60,0	53,0	67	10,0	57,5	87	16,0
	65,0	58,0	68		62,5	88	
	70,0	62,5	70		67,5	88	
	75,0	68,0	71		72,5	89	
	80,0	73,0	72		78,0	91	
13,0	60,0	54,0	71	11,0	58,0	90	17,0
	65,0	59,0	72		63,0	90	
	70,0	64,0	75		68,0	91	
	75,0	69,0	76		73,0	91	
	80,0	74,5	78		78,5	93	
14,0	60,0	54,5	74	12,0	58,0	90	18,0
	65,0	60,0	77		63,5	93	
	70,0	65,0	79		68,5	93	
	75,0	70,0	79		73,5	93	
	80,0	75,5	81		79,0	95	
15,0	60,0	55,5	78	13,0	58,5	92	19,0
	65,0	61,0	80		63,5	93	
	70,0	66,0	81		69,0	95	
	75,0	71,0	82		74,0	95	
	80,0	76,0	83		79,0	95	

**Tabela 14** - Condições para a uniformização e o condicionamento.

### 10.8.2 Controle de qualidade

A secagem é a operação intermediária que mais contribui para agregar valor aos produtos manufaturados da madeira, mas é também uma das fases de maior custo na indústria de transformação. Essas razões motivam a constante busca por maior eficiência nos secadores e aprimoramentos no processo propriamente dito.

Tanto os usuários como as indústrias de manufaturados têm demonstrado preocupação com a crescente exigência de qualidade do produto e a necessidade de certificação quanto aos padrões de qualidade.

De acordo com conceito generalizado na literatura, são quatro os principais atributos de qualidade da madeira seca:

- ✓ Livre de defeitos visíveis como rachaduras, empenamentos, manchas e colapso;

- ✓ Teor de umidade compatível com o uso pretendido;
- ✓ Mínimo de variação no teor de umidade, tanto dentro da peça com entre peças e;
- ✓ Livre de tensões residuais da secagem.

Um dos hábitos ainda persistentes na indústria é buscar o mínimo tempo possível e com um nível aceitável quanto a incidência de defeitos visíveis, sem maiores preocupações com a qualidade intrínseca da madeira. Se o teor e a distribuição da umidade, bem como a presença de tensões residuais, estiverem fora do padrão recomendável; o produto pronto poderá apresentar problemas depois de instalado.

O controle de qualidade deve ser efetuado antes, durante e depois da secagem. Antes da secagem deve ser feita uma avaliação dos defeitos já existentes na madeira, que será comparada com a inspeção feita ao final da secagem. Agindo dessa forma será possível detectar se o processo está provocando a ocorrência de algum defeito específico.

Da mesma forma, durante a secagem é recomendável uma inspeção visual na parte visível da carga, procurando identificar a presença de defeitos aparentes; como rachaduras ou empenamentos.

Sempre que identificada a ocorrência significativa de algum defeito, deve-se tomar as providências corretivas o mais rápido possível. Portanto, é necessário conhecer os defeitos de secagem para poder identifica-los com segurança.

Ao final da secagem é conveniente realizar os testes de tensão (Figura 95) e a verificação do teor final de umidade; utilizando-se tanto o método da secagem a 103° C como o medidor elétrico, comparando-se os resultados obtidos. Esses testes podem ser feitos nas peças que serviram de amostras para o acompanhamento da secagem.



**Figura 95** - Ilustrando o resultado do teste de tensões (à esquerda, madeira ainda tensionada; e à direita, madeira livre de tensões), e a presença de bolsas de umidade em madeira seca.

### 10.8.3 Armazenamento da madeira

Esta é uma das principais etapas do processamento da madeira. Desde o seu abate até o uso final, a madeira passa por várias etapas de armazenamento. Durante este período, as peças de madeira, sejam elas verdes ou secas, devem receber um cuidado todo especial.

O principal deles é o controle do teor de umidade. Mudanças bruscas no TU podem ocasionar sérias perdas originadas de possíveis defeitos ou ainda pelo ataque de microrganismos xilófagos (fungos e insetos).

#### **Exemplo:**

- Variação rápida e desigual do TU pode ocasionar rachaduras e empenos;
- Se o TU ultrapassar os 22% a madeira estará sujeita a deterioração.



### ***Técnicas para armazenamento de madeiras***

A madeira quando armazenada deve receber alguns cuidados especiais, estando ela verde ou seca, bruta ou beneficiada ou ainda empilhada adequadamente ou não. Os principais cuidados que se deve Ter com a madeira à armazenar são basicamente dois, quais sejam:

**1º) Protegê-la contra a ação das intempéries:** Existem situações em que a madeira é empilhada sem tabiques ou separadores. Nestas situações a água da chuva fica armazenada nos pequenos espaços entre as tábuas, favorecendo o aparecimento de fungos manchadores ou emboloradores.

**2º) Protegê-la contra a ação dos organismos xilófagos:** Neste caso, independentemente da dimensão e forma da madeira ou ainda da maneira como ela foi armazenada, deve-se, na medida do possível, efetuar um tratamento químico temporário para poder protegê-la contra a ação destes microrganismos.

### ***Tipos de Armazenagem de Madeira Serrada***

A escolha do tipo adequado de armazenagem vai depender dentre outros fatores, do teor de umidade final desejado; das condições climáticas locais e das condições financeiras para investimento da empresa. Na prática existem vários tipos de armazenagem de madeira serrada, porém os principais são a armazenagem ao ar livre e a armazenagem em galpões. Para a armazenagem em galpões existem dois tipos de estruturas, os galpões abertos e os fechados, sendo que estes últimos podem apresentar ainda as seguintes características: sem aquecimento, com aquecimento e com ar condicionado.

### ***Armazenagem ao Ar Livre***

Nesta prática de armazenagem da madeira, deve-se ter o cuidado de escolher um local bem drenado, ventilado, livre de vegetação ou detritos que possam restringir a movimentação do ar principalmente ao nível do solo e também locais que não apresentem riscos de incêndios. As pilhas de madeira devem ser colocadas sobre suportes a uma distância mínima de 40 a 50 cm do solo. Preferencialmente, a madeira seca quando for

armazenada ao ar livre deve apresentar um teor de umidade igual ou superior à umidade de equilíbrio do local (Temperatura x UR do local).

Se a madeira seca a ser armazenada tiver um TU abaixo da UE local, esta tenderá a absorver umidade. Esta absorção será tanto maior quanto maior for a diferença entre o TU da madeira e a UE local. Quando o TU da madeira for menor que 20%, deve-se dar preferência ao empilhamento sem tabiques, tendo-se sempre o cuidado de proteger bem a pilha contra a chuva. O acúmulo de água pode proporcionar o aparecimento de fungos, por isso, o uso de lonas plásticas ou outro material impermeável é recomendado.

Quando o TU da madeira for maior que 20% é recomendado o empilhamento com tabiques ou separadores, conforme visto na secagem ao ar livre. Para madeiras secas em estufas com TU acima de 20% é recomendado um empilhamento sem tabiques, também conhecido como pilhas sólidas, pois a tendência é da madeira absorver umidade, principalmente, nos dias frios e nos períodos úmidos. Entretanto, não deve se esquecer de proteger bem as pilhas contra a água da chuva, usando-se lonas plásticas ou outros tipos de plásticos.

### *Armazenagem em Galpões*

A estocagem em galpões promove uma maior e melhor proteção à madeira em relação àquelas estocadas ao ar livre. Além de fornecerem uma maior proteção contra as intempéries, os galpões dispensam gastos extras com lonas para coberturas temporárias e com mão de obra para colocação, retirada e manutenção deste tipo de cobertura. Basicamente existem dois tipos de galpões:

☞ **Galpões abertos:** Como o próprio nome diz, são aqueles que não possuem paredes laterais, entretanto, existem alguns que podem ser abertos em um ou mais lados, permanecendo os demais fechados.

☞ **Galpões fechados:** São os mais indicados para armazenagem de qualquer tipo de madeira, desde verde ou parcialmente verde, seca ao ar livre ou em estufa. São os que oferecem melhor proteção contra as intempéries.

Entretanto, a escolha do melhor sistema de armazenagem sempre estará em função dos seguintes fatores:

- ✓ TU desejado;
- ✓ Condições climáticas locais e;
- ✓ Possibilidades de investimento da empresa.

**VAMOS PENSAR!**

1) Sabemos que existem 2 tipos de água na madeira, relacione a primeira coluna de acordo com a segunda

- I. Água Higroscópica
- II. Água de Capilaridade

( ) Localizada nos vasos, meatos, canais e lúmen das células. Teoricamente este tipo de água pode ser facilmente retirado. A água passa de uma célula para outra até atingir a superfície externa da madeira.

( ) Localizada no interior das paredes celulares. Este tipo de água mantém-se unida às microfibrilas das paredes das células em estado de vapor. A retirada deste tipo de água é mais difícil e o processo geralmente é mais lento sendo necessária a utilização de energia neste processo.

2) Em relação à Umidade Relativa do Ar, resolva o problema abaixo:

A 24°C temos uma pressão de saturação ( $P_s$ ) de 2,24cm/Hg, uma umidade absoluta de saturação ( $U_{as}$ ) de 21,8g/m<sup>3</sup> (18,96g/kg) e uma pressão parcial de vapor de água ( $P$ ) de 1,36cm/Hg. A uma umidade absoluta ( $U_a$ ) de 13,6g/m<sup>3</sup> (11,41g/kg), qual seria a umidade relativa (UR) neste ambiente?

*Obs.:  $UR = P/P_a \times 100$  ou  $UR = U_a/U_{as} \times 100$*

3) Uma das formas para determinação da Umidade da madeira é através da relação entre sua massa final e inicial, com base nisso, resolva o problema abaixo.

Uma amostra de madeira medindo 20x2,5x2,5cm com um peso inicial de 185g, apresentou após seca em estufa a 103±2°C um peso constante de 133g. Pergunta-se qual seu teor de umidade?

*Obs.:  $TU = P_u - P_s / P_s \times 100$  ou  $TU = (P_u / P_s - 1) \times 100$*

4) A velocidade com que uma peça de madeira serrada seca, pode sofrer influência de determinados fatores, tanto internos, relacionados à própria madeira, como externos, relacionados às condições atmosféricas, sob as quais a peça de madeira estará sujeita. Relacione a primeira coluna de acordo com a segunda.

- (1) Interno
- (2) Externo

- ( ) Tipo de madeira
- ( ) Circulação do Ar
- ( ) Orientação do corte
- ( ) Cerne e Alburno
- ( ) Massa específica
- ( ) Temperatura
- ( ) Espécie da madeira
- ( ) Umidade Relativa do Ar
- ( ) Teor de umidade inicial

5) Dentre as principais razões que levam a se adotar a prática de secagem da madeira podem ser destacadas as seguintes:

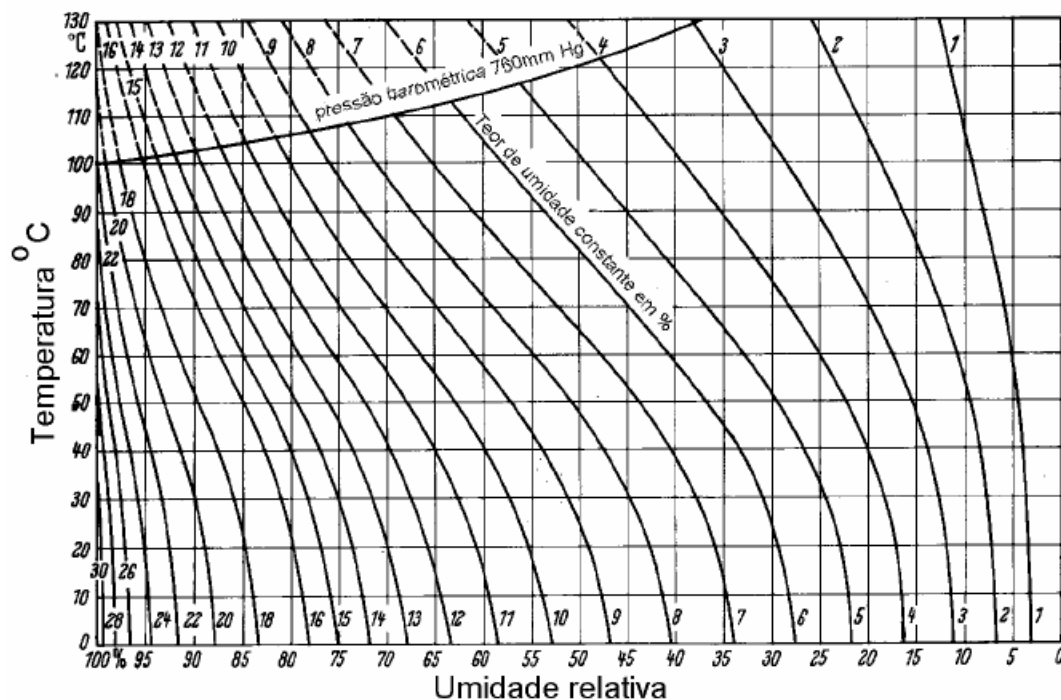
6) Uma amostra de madeira úmida acusou massa de 55,9g. Após secagem em estufa a 103°C (até massa constante), acusou 47,1g. Qual a sua umidade?

7) Você trabalha em uma madeireira que desdobra, seca e vende madeira de Pinus a uma umidade de equilíbrio média de 17%. Neste caso, ao avaliar uma carga de madeira secando ao ar livre você obteve, em um determinado momento, que a pilha de madeira apresentava 45% de teor de umidade médio. Considerando que você não possui medidores elétricos, como você saberia, de forma indireta, o momento exato de interromper a secagem e comercializar a madeira? *Informações disponíveis: peso úmido inicial médio = 120g.*

8) De uma tábua de madeira de cumaru secando ao ar retirou-se quatro amostras, cujas umidades foram determinadas pelo método tradicional em estufa, acusando 55, 62, 77 e 48% cada. Sabendo-se que o peso inicial da tábua (no momento da determinação das umidades pelo método tradicional) foi de 3256g, qual será seu peso seco estimado? Nestas condições, qual será a umidade da peça quando a sua pesagem acusar 2500g? Com a umidade alcançada, você recomendaria esta madeira para a fabricação e comercialização de móveis na cidade de Fortaleza? Justifique?

9) Uma estufa de secagem de madeira está operando normalmente a 24°C e a pressão parcial de vapor medida dentro dela está em 1,36 cm/Hg. Qual é a umidade relativa dentro da estufa?

10) Para responder as questões abaixo utilize a figura abaixo.



a) as condições de uma câmara para a secagem de um lote de madeira foram definidas como 70°C e 45% de umidade relativa. Que umidade de equilíbrio a madeira atingirá nestas condições?

b) qual a umidade de equilíbrio a madeira armazenada ao ar livre irá atingir, nas condições climáticas locais da época de 20°C e 80% de umidade relativa?

c) qual deverá ser a umidade relativa a ser utilizada, para secarmos uma madeira, em câmara de secagem regulada em uma temperatura de 70°C, até que a mesma atinja 6% UE?

d) qual deverá ser a umidade de equilíbrio da madeira localizada em uma estufa de secagem que indica temperatura de bulbo seco em 30°C e temperatura de bulbo úmido em 33°C?

11) Um armário será utilizado em um lugar com clima definido em 20°C e aproximadamente 55% de umidade relativa. De acordo com as curvas de umidade de equilíbrio apresentadas na Figura da questão 10, estas condições irão permitir que a madeira se equilibre a um teor de umidade de aproximadamente 15%?

12) Os defeitos de secagem são provenientes da má realização das operações de secagem do lenho. Quais são eles? Diferencie-as.

13) Sobre os tipos de secagem da madeira, responda:

a) O que é secagem natural?

b) O que é secagem em estufa?

c) Todo equipamento de secagem em estufa deve possuir quais componentes obrigatórios?

14) **(ENADE 2011)** Quando a madeira de uma árvore recém-abatida é exposta ao meio ambiente, a água localizada nos vasos, nos canais e no lúmen das células, denominada água de capilaridade ou água livre, evapora-se. A água localizada no interior das paredes celulares, chamada de água de adesão ou higroscópica, permanece na madeira. A umidade correspondente a esse estado é denominada umidade de saturação ao ar (USA) ou ponto de saturação de fibras (PSF). Com relação à perda de água da madeira sob processo de secagem, analise as asserções que se seguem.

Avalie as asserções a seguir e a relação proposta entre elas.

Abaixo do ponto de saturação das fibras ocorre a retração devido à dessorção da água de adesão ou higroscópica nas paredes celulares.

### **PORQUE**

Com a secagem da madeira no nível higroscópico ocorrerá uma aproximação dos elementos celulares e um rearranjo dos constituintes químicos da madeira, como a celulose e a lignina, provocando a retração.

Acerca dessas asserções, assinale a opção correta.

- a) As duas asserções são proposições verdadeiras, e a segunda é uma justificativa correta da primeira.
- b) As duas asserções são proposições verdadeiras, mas a segunda não é uma justificativa correta da primeira
- c) A primeira asserção é uma proposição verdadeira, e a segunda é uma proposição falsa.
- d) A primeira asserção é uma proposição falsa, e a segunda é uma proposição verdadeira.
- e) As duas asserções são proposições falsas.

15) Os Programas de Secagem da Madeira consistem basicamente de uma sequência previamente estudada de temperatura e umidade relativa, as quais visam a redução, mais rápida possível, da umidade da madeira até um teor pré determinado, com o menor número de defeitos possíveis.

O teor de umidade da madeira e o período de tempo decorrido desde o início da secagem, são os parâmetros que regulam a passagem de uma etapa para outra.

Basicamente existem três tipos de programas de secagem, a saber. Relacione-os abaixo.



## ANEXOS

28

ANTONIO PAULO MENDES GALVÃO/IVALDO PONTES JANKOWSKY

Tabela 2 Umidade relativa (UR) em função da temperatura de termômetro seco (Ts) e da diferença higrométrica (Ts-Tu),

Ts (°C)	Diferença higrométrica (Ts-Tu) (°C)															
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
30	96	92	89	86	83	80	76	73	70	67	64	61	55	50	45	39
31	96	93	89	87	83	80	77	74	71	68	64	62	56	50	45	40
32	96	93	89	87	83	80	77	74	71	68	65	62	57	51	46	41
33	97	93	89	87	83	81	77	74	71	68	65	63	58	52	47	42
34	97	94	90	87	84	81	78	75	72	69	66	63	59	54	49	44
35	97	94	90	88	84	82	79	76	73	70	67	64	59	54	49	44
36	97	94	90	88	84	82	79	76	73	70	67	65	59	54	50	45
37	97	94	90	88	84	82	79	76	73	71	68	65	60	55	50	46
38	97	94	91	88	85	83	80	77	74	71	68	66	61	56	51	47
39	97	94	91	88	85	83	80	77	74	72	68	67	61	57	52	47
40	97	94	91	88	85	83	80	77	74	72	69	67	62	57	53	48
41	97	94	91	88	85	83	80	77	74	72	69	67	62	57	53	49
42	97	94	91	88	85	83	80	77	74	72	70	68	63	58	54	50
43	97	94	91	89	86	84	81	78	75	73	70	68	63	58	54	50
44	97	94	91	89	86	84	81	78	75	73	70	68	63	59	55	51
45	97	94	91	89	86	84	81	79	76	73	71	68	64	60	56	52
46	97	94	91	89	86	84	81	79	76	74	71	69	64	60	56	52
47	97	95	92	89	86	84	81	79	76	74	71	69	64	60	56	52
48	97	95	92	89	87	84	81	79	76	74	71	69	65	61	57	53
49	97	95	92	89	87	84	81	79	76	74	72	70	65	61	57	53
50	97	95	92	89	87	84	81	79	76	74	72	70	65	61	57	53
51	97	95	92	89	87	84	81	79	76	74	72	70	65	61	57	53
52	97	95	92	89	87	84	81	79	77	74	72	70	65	61	57	53
53	97	95	92	89	87	84	81	79	77	74	72	70	65	61	57	54
54	97	95	92	90	87	85	82	80	77	75	72	70	66	62	58	54
55	97	95	92	90	87	85	82	80	77	75	73	71	66	62	58	54
56	97	95	92	90	87	85	82	80	77	75	73	71	66	62	58	54
57	97	95	92	90	87	85	82	80	77	75	73	71	66	62	58	55
58	97	95	92	90	87	85	82	80	78	76	74	71	67	63	59	55
59	97	95	92	90	87	85	82	80	78	76	74	71	67	63	59	56
60	97	95	92	90	87	85	82	80	78	76	74	71	67	63	60	56
61	97	95	92	90	87	85	82	80	78	76	74	71	67	63	60	56
62	97	95	92	90	88	85	82	80	78	76	74	72	67	63	60	56
63	98	95	93	90	88	85	82	80	78	76	74	72	67	64	60	57
64	98	95	93	90	88	85	83	80	78	77	75	72	68	64	62	58
65	98	95	93	90	88	85	83	80	79	77	75	72	68	65	62	59
66	98	95	93	90	88	85	83	80	79	77	75	72	68	65	62	59
67	98	95	93	91	88	86	83	81	79	78	76	73	68	65	62	59
68	98	95	93	91	88	86	83	81	80	79	77	75	70	66	63	60
69	98	95	93	91	88	86	83	81	80	79	77	75	71	67	64	61
70	98	95	93	91	88	86	83	81	80	79	77	75	71	68	65	62
72	98	95	93	91	89	86	84	82	80	79	77	75	71	68	65	62
74	98	95	93	91	89	87	85	82	80	79	77	75	71	68	65	62
76	98	95	93	91	89	87	85	83	81	79	77	76	71	68	65	62
78	98	95	93	91	89	87	85	83	81	79	78	76	72	69	65	62
80	98	95	93	91	89	87	85	83	81	80	78	76	72	69	66	63
82	98	95	93	91	89	87	85	83	81	80	78	76	73	69	66	63
84	98	96	94	91	89	87	85	84	82	81	79	78	74	71	68	65
86	98	96	94	92	90	88	86	84	82	81	79	78	75	72	69	66
88	98	96	94	92	90	88	86	84	82	81	80	78	75	72	69	66
90	98	96	94	92	90	88	86	84	82	81	80	78	75	72	69	66
92	98	96	94	92	90	88	86	84	82	81	80	78	75	72	69	66
94	98	96	94	92	90	88	86	84	82	81	80	78	75	72	69	66
96	98	96	94	93	91	89	87	85	83	81	80	78	75	72	70	67
98	98	96	94	93	91	90	88	87	85	83	81	79	76	73	70	67
100	98	96	94	93	91	90	88	87	85	84	82	80	78	75	72	69

Figura 96 - Página 28 do livro Secagem Racional da Madeira, Galvão e Jankowsky, 1985.

SECAGEM RACIONAL DA MADEIRA

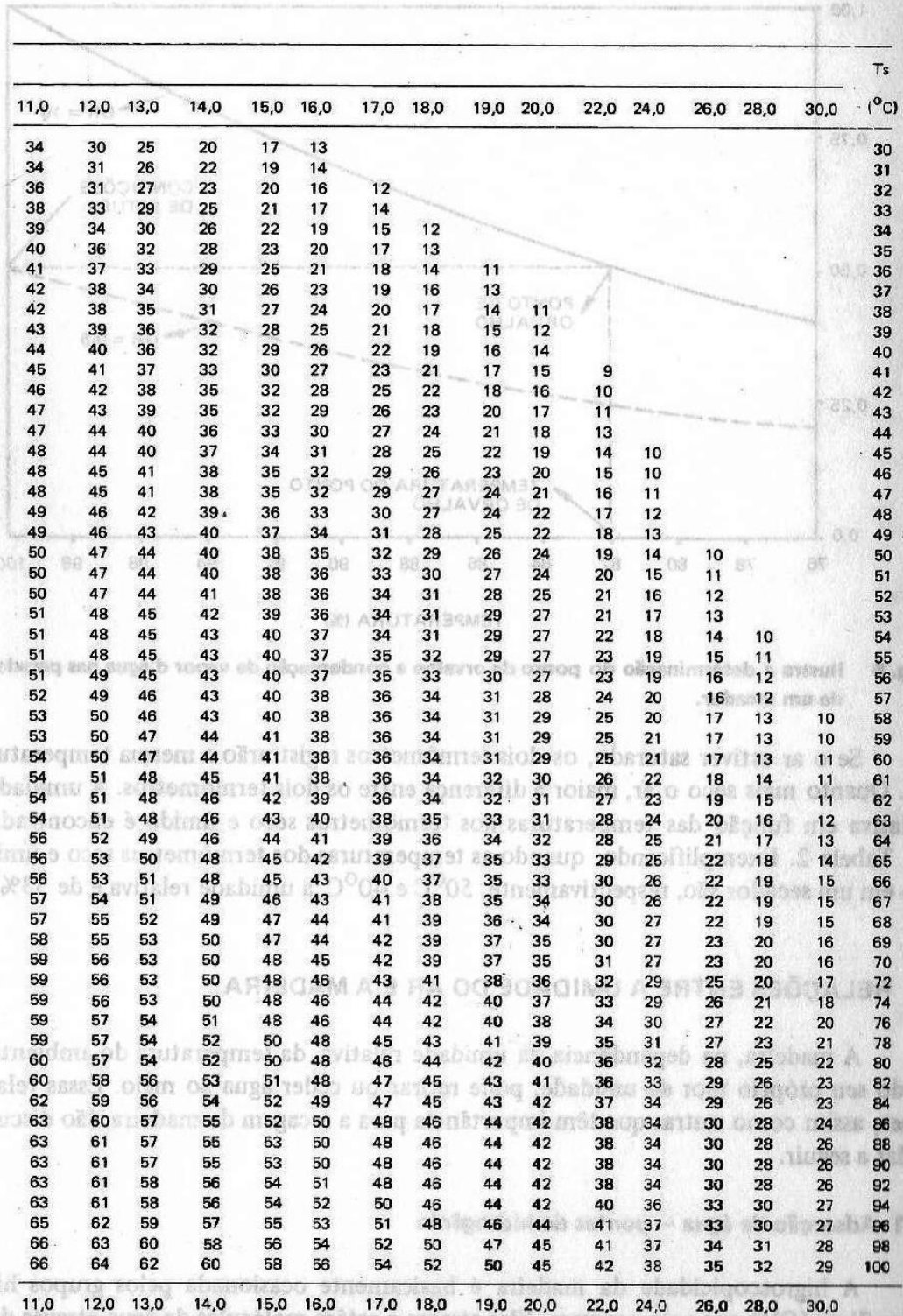


Figura 97 - Página 29 do livro Secagem Racional da Madeira, Galvão e Jankowsky, 1985.

Tabela 3 Umidade de equilíbrio (UE) em função da temperatura de termômetro seco (Ts) e da diferença higrométrica (Ts-Tu).

Ts (°C)	Diferença higrométrica (Ts-Tu) (°C)															
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
30	23,5	21,0	19,4	18,1	16,8	15,8	14,5	13,6	12,8	12,1	11,5	10,8	9,7	8,9	8,1	7,2
31	23,4	21,2	19,3	18,2	16,7	15,7	14,6	13,7	12,9	12,2	11,5	10,8	9,8	8,9	8,1	7,3
32	23,4	21,5	19,3	18,4	16,7	15,6	14,7	13,8	13,0	12,3	11,6	10,9	10,0	8,9	8,2	7,4
33	24,0	21,8	19,5	18,2	16,8	15,7	14,8	13,9	13,0	12,4	11,6	10,9	10,1	9,1	8,3	7,6
34	24,0	22,0	19,7	18,3	17,0	15,9	14,9	14,0	13,1	12,4	11,7	11,0	10,2	9,3	8,5	7,8
35	23,9	21,9	19,7	18,4	16,9	16,0	15,0	14,0	13,2	12,5	11,7	11,2	10,2	9,3	8,6	7,8
36	23,9	21,8	19,6	18,6	16,9	16,1	15,1	14,1	13,3	12,5	11,8	11,4	10,1	9,3	8,6	7,8
37	23,8	21,7	19,8	18,5	17,0	16,2	15,2	14,2	13,4	12,6	11,8	11,5	10,2	9,4	8,7	7,9
38	23,8	21,7	19,9	18,5	17,1	16,3	15,3	14,3	13,4	12,6	11,9	11,4	10,4	9,5	8,7	8,0
39	23,7	21,6	19,8	18,4	17,1	16,2	15,2	14,2	13,3	12,7	11,9	11,4	10,4	9,5	8,8	8,0
40	23,7	21,6	19,8	18,3	17,0	16,2	15,1	14,1	13,3	12,8	12,0	11,5	10,5	9,6	8,9	8,1
41	23,6	21,5	19,7	18,2	16,9	16,1	15,0	14,0	13,2	12,7	12,0	11,5	10,5	9,6	8,9	8,2
42	23,5	21,5	19,7	18,2	16,8	16,1	15,0	14,0	13,2	12,6	12,1	11,6	10,6	9,6	8,9	8,3
43	23,4	21,4	19,6	18,3	16,9	16,2	15,1	14,1	13,3	12,7	12,1	11,6	10,5	9,7	9,0	8,3
44	23,4	21,3	19,5	18,5	17,1	16,3	15,2	14,2	13,3	12,7	12,0	11,5	10,4	9,7	9,0	8,3
45	23,3	21,2	19,4	18,4	17,0	16,2	15,1	14,2	13,4	12,8	12,1	11,5	10,4	9,7	9,0	8,4
46	23,2	21,3	19,4	18,3	17,0	16,1	15,0	14,3	13,4	12,9	12,1	11,6	10,5	9,7	9,0	8,4
47	23,1	21,5	19,5	18,2	17,1	16,0	14,9	14,3	13,3	12,8	12,0	11,6	10,6	9,8	9,1	8,5
48	23,1	21,6	19,7	18,2	17,2	16,0	14,8	14,2	13,3	12,7	11,9	11,5	10,6	9,8	9,1	8,4
49	23,0	21,6	19,6	18,1	17,1	15,9	14,7	14,1	13,2	12,6	11,9	11,5	10,5	9,8	9,0	8,3
50	22,9	21,5	19,6	18,0	17,1	15,8	14,7	14,0	13,1	12,6	12,0	11,6	10,5	9,7	9,0	8,3
51	22,8	21,4	19,5	17,9	17,0	15,7	14,6	14,0	13,2	12,5	12,0	11,5	10,4	9,6	8,9	8,2
52	22,7	21,3	19,4	17,8	16,9	15,6	14,5	13,9	13,2	12,4	11,9	11,4	10,3	9,5	8,8	8,2
53	22,6	21,2	19,3	17,9	16,8	15,7	14,6	13,9	13,1	12,4	11,8	11,3	10,3	9,5	8,8	8,2
54	22,6	21,1	19,2	18,1	16,7	15,8	14,7	14,0	13,1	12,5	11,7	11,3	10,4	9,6	8,9	8,2
55	22,5	21,0	19,1	18,0	16,6	15,7	14,6	14,0	13,0	12,5	11,7	11,3	10,3	9,6	8,9	8,1
56	22,4	20,9	19,1	18,0	16,5	15,7	14,5	13,9	12,9	12,4	11,8	11,3	10,2	9,5	8,8	8,1
57	22,3	20,8	19,0	17,9	16,4	15,6	14,4	13,8	13,0	12,4	11,8	11,2	10,3	9,5	8,8	8,1
58	22,2	20,7	18,9	17,8	16,3	15,5	14,4	13,7	13,1	12,5	11,9	11,2	10,3	9,5	8,8	8,2
59	22,1	20,6	18,8	17,7	16,2	15,4	14,3	13,6	13,0	12,4	11,9	11,1	10,2	9,4	8,8	8,2
60	22,0	20,5	18,7	17,6	16,2	15,3	14,2	13,5	12,9	12,3	11,8	11,0	10,2	9,4	8,8	8,2
61	22,1	20,4	18,6	17,5	16,3	15,2	14,1	13,4	12,8	12,2	11,7	11,0	10,1	9,3	8,7	8,1
62	22,3	20,3	18,4	17,3	16,3	15,1	14,0	13,3	12,7	12,1	11,6	11,0	10,0	9,2	8,7	8,0
63	22,5	20,2	18,6	17,2	16,2	15,0	14,1	13,2	12,6	12,1	11,6	11,0	10,0	9,2	8,8	8,1
64	22,4	20,2	18,9	17,2	16,2	14,9	14,2	13,2	12,5	12,2	11,7	11,0	10,0	9,3	8,9	8,2
65	22,3	20,1	18,8	17,1	16,1	14,8	14,1	13,1	12,6	12,2	11,6	10,9	9,9	9,3	8,9	8,2
66	22,2	20,0	18,7	17,0	16,0	14,8	14,0	13,0	12,7	12,1	11,5	10,8	9,9	9,3	8,8	8,3
67	22,1	19,8	18,6	17,1	15,9	14,9	13,9	13,0	12,7	12,3	11,7	11,0	10,0	9,4	8,8	8,3
68	22,0	19,7	18,5	17,3	15,8	15,0	13,8	13,1	12,8	12,5	11,9	11,3	10,2	9,4	8,8	8,3
69	21,9	19,6	18,4	17,2	15,7	14,9	13,7	13,0	12,7	12,4	11,8	11,2	10,2	9,5	8,9	8,4
70	21,8	19,5	18,3	17,1	15,6	14,8	13,6	12,9	12,6	12,3	11,7	11,2	10,2	9,6	9,0	8,5
72	21,6	19,3	18,0	16,9	15,6	14,9	13,8	12,9	12,4	12,1	11,5	11,0	10,0	9,5	8,9	8,3
74	21,4	19,1	17,8	16,7	15,7	14,8	14,0	12,9	12,3	12,0	11,4	10,9	9,9	9,3	8,8	8,2
76	21,1	18,9	17,6	16,5	15,5	14,6	13,8	12,9	12,2	11,8	11,3	10,8	9,9	9,2	8,6	8,1
78	20,9	18,7	17,4	16,3	15,3	14,4	13,6	12,9	12,2	11,6	11,3	10,8	9,9	9,2	8,5	8,0
80	20,7	18,4	17,2	16,1	15,1	14,2	13,4	12,7	12,0	11,6	11,1	10,6	9,8	9,0	8,4	7,9
82	20,5	18,2	17,0	15,9	14,9	14,0	13,2	12,5	11,9	11,6	11,0	10,5	9,8	8,9	8,4	7,8
84	20,2	18,4	17,0	16,0	15,0	14,1	13,4	12,5	11,8	11,5	10,9	10,5	9,9	9,0	8,5	8,0
86	20,0	18,5	17,1	16,0	15,0	14,0	13,2	12,5	11,8	11,5	10,9	10,6	9,9	9,2	8,6	8,1
88	19,8	18,2	16,9	15,8	14,7	13,8	13,0	12,3	11,6	11,3	10,9	10,4	9,7	9,0	8,4	7,9
90	19,6	18,0	16,7	15,6	14,5	13,6	12,8	12,1	11,5	11,2	10,9	10,3	9,6	8,9	8,3	7,8
92	19,3	17,8	16,5	15,3	14,3	13,4	12,6	11,9	11,3	11,0	10,7	10,1	9,5	8,7	8,1	7,6
94	19,1	17,6	16,3	15,1	14,1	13,2	12,5	11,7	11,1	10,8	10,5	10,0	9,3	8,6	8,0	7,5
96	18,8	17,3	16,0	15,2	14,1	13,5	12,6	12,0	11,5	10,9	10,5	10,0	9,3	8,6	7,9	7,5
98	18,6	17,1	15,8	15,2	14,2	13,7	12,8	12,4	11,7	11,0	10,5	10,0	9,2	8,5	7,9	7,4
100	18,4	16,9	15,6	15,0	14,0	13,5	12,6	12,3	11,5	11,1	10,5	10,0	9,4	8,7	8,1	7,6

Figura 98 - Página 36 do livro Secagem Racional da Madeira, Galvão e Jankowsky, 1985.

SECAGEM RACIONAL DA MADEIRA

A umidade de equilíbrio foi estimada através das equações propostas por Simpson (1971).

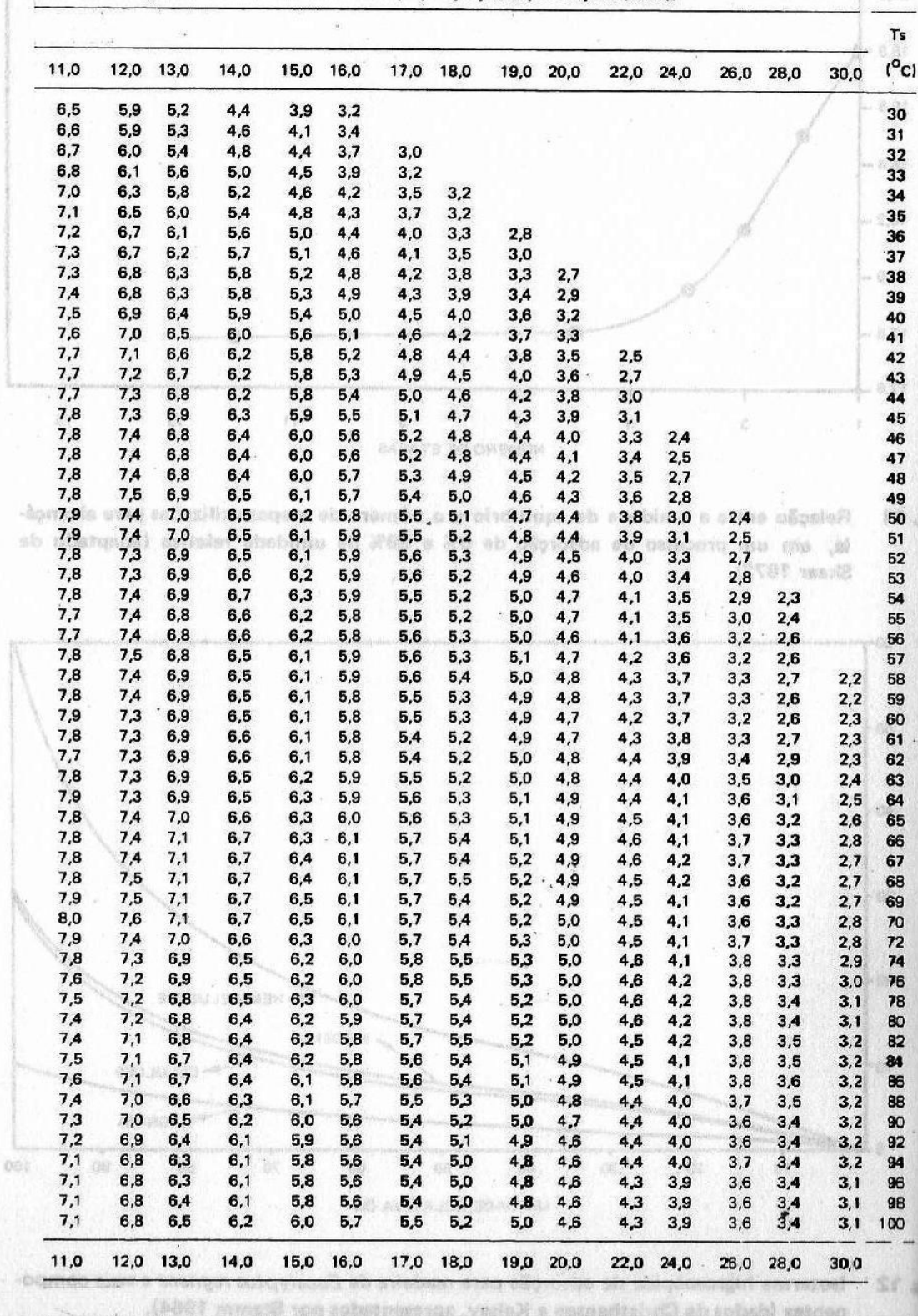


Figura 99 - Página 37 do livro Secagem Racional da Madeira, Galvão e Jankowsky, 1985.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CORADIN, V.T.R. & CAMARGOS, J.A.A. Noções sobre anatomia da madeira e identificação anatômica. Brasília, IBAMA, 2001. 43 p.
- FAHN, A. Anatomia vegetal. Madrid, H. Blume Ediciones, 1976. 643 p.
- GALVAO, A.P.M. e JANKOWSKY, I.P. Secagem racional da madeira. São Paulo, Nobel, 1985. 112p.
- GROSSER, D. Defeitos da Madeira. Curitiba, Fupef, 1980. 62 p.
- IPT. Manual de preservação da madeira. São Paulo, IPT, Vol. I, 1986. 342p.
- JANKOWSKY, I. P. Variação sazonal da umidade de equilíbrio para madeira de Pinus. IPEF, Piracicaba, n. 31, p. 41-46, 1985.
- PONCE, R.H. & WATAI, L.T. Manual de secagem da madeira. São Paulo, IPT/STI, 1985. 72p.
- RICHTER, H.G. & BURGER, L.M. Anatomia da madeira. São Paulo, Nobel, 1991. 154 p.
- SANTINI, E. J. Alternativas para monitoramento e controle do processo de secagem de madeira serrada em estufa. 1996, 198 p. Tese (doutorado) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.



## Hino Nacional

Ouviram do Ipiranga as margens plácidas  
De um povo heróico o brado retumbante,  
E o sol da liberdade, em raios fúlgidos,  
Brilhou no céu da pátria nesse instante.

Se o penhor dessa igualdade  
Conseguimos conquistar com braço forte,  
Em teu seio, ó liberdade,  
Desafia o nosso peito a própria morte!

Ó Pátria amada,  
Idolatrada,  
Salve! Salve!

Brasil, um sonho intenso, um raio vívido  
De amor e de esperança à terra desce,  
Se em teu formoso céu, risonho e límpido,  
A imagem do Cruzeiro resplandece.

Gigante pela própria natureza,  
És belo, és forte, impávido colosso,  
E o teu futuro espelha essa grandeza.

Terra adorada,  
Entre outras mil,  
És tu, Brasil,  
Ó Pátria amada!  
Dos filhos deste solo és mãe gentil,  
Pátria amada, Brasil!

Deitado eternamente em berço esplêndido,  
Ao som do mar e à luz do céu profundo,  
Fulguras, ó Brasil, florão da América,  
Iluminado ao sol do Novo Mundo!

Do que a terra, mais garrida,  
Teus risonhos, lindos campos têm mais flores;  
"Nossos bosques têm mais vida",  
"Nossa vida" no teu seio "mais amores."

Ó Pátria amada,  
Idolatrada,  
Salve! Salve!

Brasil, de amor eterno seja símbolo  
O lábaro que ostentas estrelado,  
E diga o verde-louro dessa flâmula  
- "Paz no futuro e glória no passado."

Mas, se ergues da justiça a clava forte,  
Verás que um filho teu não foge à luta,  
Nem teme, quem te adora, a própria morte.

Terra adorada,  
Entre outras mil,  
És tu, Brasil,  
Ó Pátria amada!  
Dos filhos deste solo és mãe gentil,  
Pátria amada, Brasil!

## Hino do Estado do Ceará

Poesia de Thomaz Lopes  
Música de Alberto Nepomuceno  
Terra do sol, do amor, terra da luz!  
Soa o clarim que tua glória conta!  
Terra, o teu nome a fama aos céus remonta  
Em clarão que seduz!  
Nome que brilha esplêndido luzeiro  
Nos fulvos braços de ouro do cruzeiro!

Mudem-se em flor as pedras dos caminhos!  
Chuvas de prata rolem das estrelas...  
E despertando, deslumbrada, ao vê-las  
Ressoa a voz dos ninhos...  
Há de florar nas rosas e nos cravos  
Rubros o sangue ardente dos escravos.  
Seja teu verbo a voz do coração,  
Verbo de paz e amor do Sul ao Norte!  
Ruja teu peito em luta contra a morte,  
Acordando a amplidão.  
Peito que deu alívio a quem sofria  
E foi o sol iluminando o dia!

Tua jangada afoita enfune o pano!  
Vento feliz conduza a vela ousada!  
Que importa que no seu barco seja um nada  
Na vastidão do oceano,  
Se à proa vão heróis e marinheiros  
E vão no peito corações guerreiros?

Se, nós te amamos, em aventuras e mágoas!  
Porque esse chão que embebe a água dos rios  
Há de florar em meses, nos estios  
E bosques, pelas águas!  
Selvas e rios, serras e florestas  
Brotem no solo em rumorosas festas!  
Abra-se ao vento o teu pendão natal  
Sobre as revoltas águas dos teus mares!  
E desfraldado diga aos céus e aos mares  
A vitória imortal!  
Que foi de sangue, em guerras leais e francas,  
E foi na paz da cor das hóstias brancas!



**GOVERNO DO**  
**ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria da Educação*