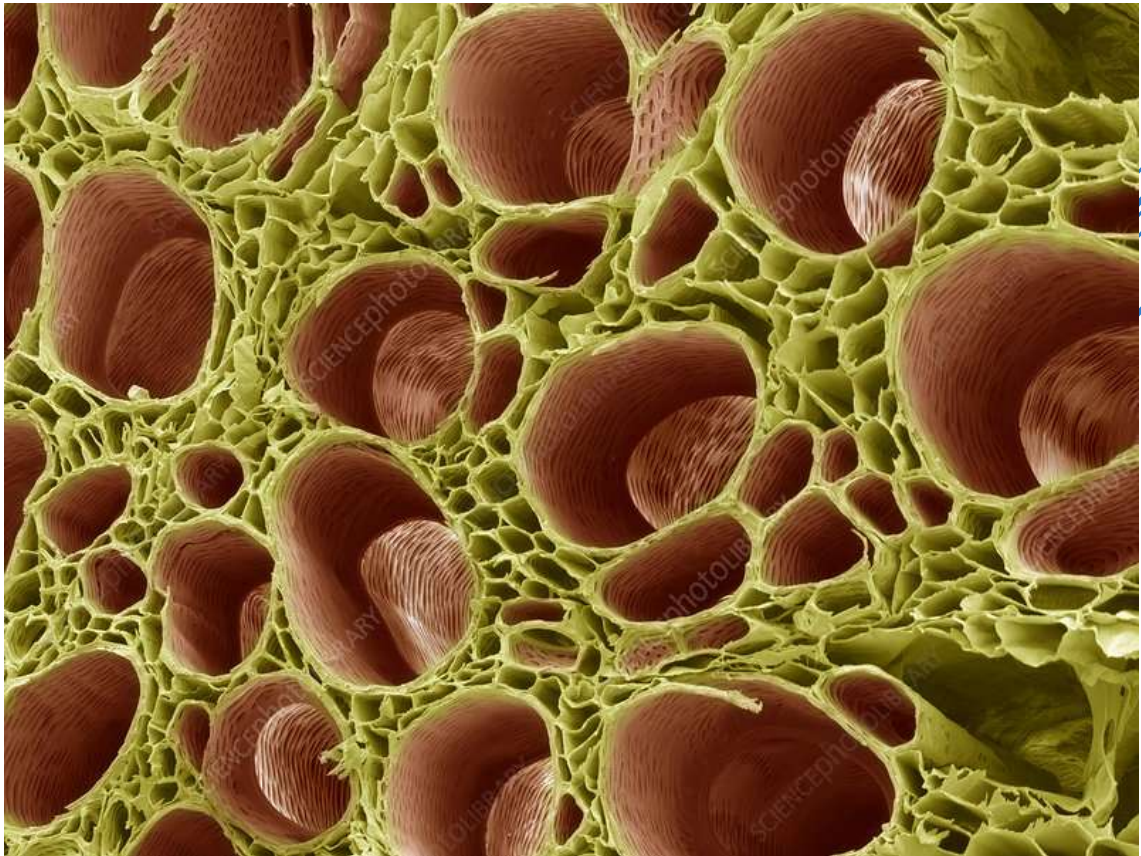


# CRESCIMENTO PRIMÁRIO E ESTRUTURA PRIMÁRIA EM PLANTAS VASCULARES

Como nascem as árvores



## CADERNO DE CAMPO

(Inclui questionários e outros exercícios)

Rubim Almeida  
2025

Dep. Biologia  
Faculdade de Ciências

# 1. Introdução

O crescimento primário é o processo fundamental que permite às plantas vasculares o alongamento axial durante as fases iniciais do desenvolvimento, assegurando a expansão do sistema radicular no solo e do eixo caulinar no espaço aéreo. Este crescimento é mediado por **meristemas primários**, cujas células se dividem ativamente, gerando novas células que se diferenciam em tecidos dérmicos, fundamentais e vasculares (Taiz et al., 2017).

Entre os tecidos derivados, destacam-se o **xilema primário** e o **floema primário**, que constituem os primeiros sistemas funcionais de transporte de seiva bruta e elaborada, respetivamente. Estes tecidos originam-se do **procâmbio**, um meristema primário derivado dos meristemas apicais, e organizam-se em **feixes vasculares primários** cuja arquitetura varia consoante o grupo vegetal, o órgão (raiz ou caule) e a estratégia evolutiva (Evert & Eichhorn, 2023).

---

## 2. Meristemas Primários e o Fundamento do Crescimento Primário

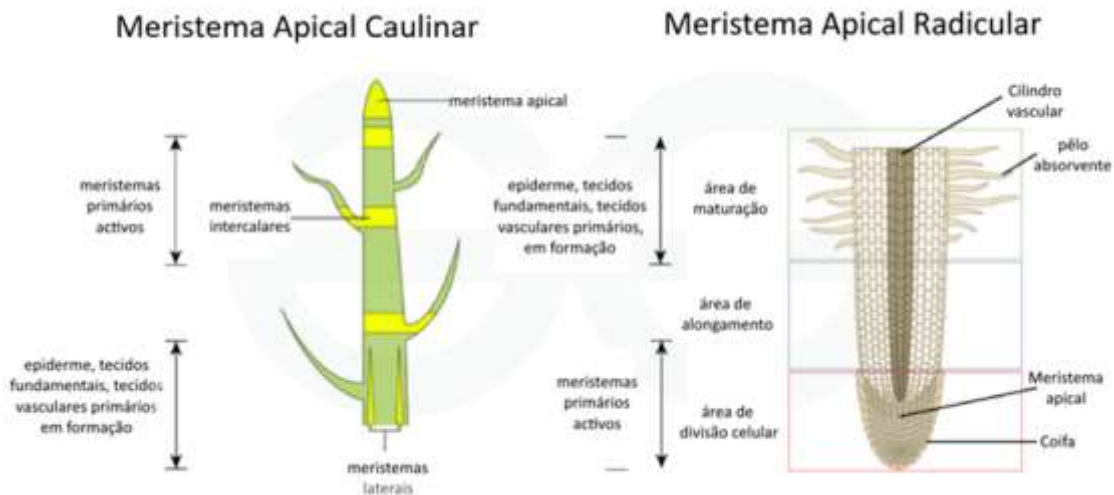
O crescimento primário ocorre exclusivamente nas regiões apicais da planta, sob a ação coordenada de quatro meristemas primários:

### Meristema

<b>Meristema apical da raiz</b>	Ápice radicular, protegido pela coifa	Epiderme, córtex, endoderme, periciclo, cilindro vascular
<b>Meristema apical do caule</b>	Ápice caulinar	Epiderme, córtex, feixes vasculares, primórdios foliares
<b>Procâmbio</b>	Entre o meristema fundamental e o meristema apical	Xilema primário, floema primário
<b>Meristema fundamental</b>	Envolve o procâmbio	Parênquima, colênquima, esclerênquima

A sequência de desenvolvimento é:

1. Zona de divisão celular – mitoses ativas no ápice;
2. Zona de alongação – aumento em comprimento das células;
3. Zona de diferenciação – especialização em tecidos funcionais.

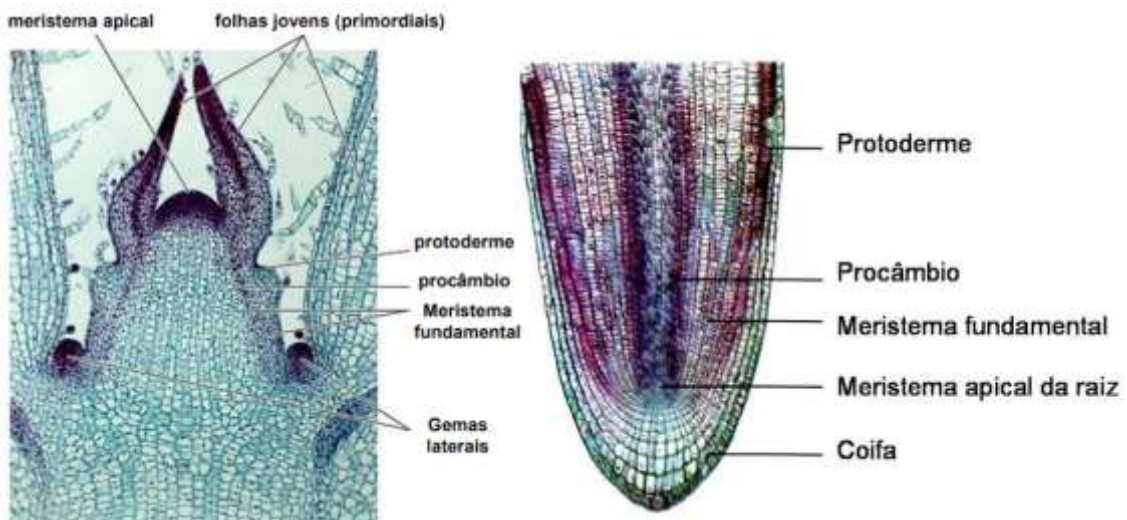


**Figura1.** Tipos de meristemas apicais

A transição entre estas zonas é regulada por hormonas (auxina, giberelinas), gradientes iónicos e expressão gênica espacialmente controlada (Beck, 2020).

Nota: Em *Arabidopsis*, a mutação no gene *PIN1* (transportador de auxina) leva à ausência de feixes vasculares contínuos (Scarpella et al., 2006).

### 3. Procâmbio: Precursor dos Tecidos Vasculares Primários



**Figura 2.** Fotomicrografias de cortes longitudinais dos ápices de caule e de raiz.

O procâmbio é um tecido meristemático primário, composto por células alongadas, com núcleo central, citoplasma escasso e alta capacidade de divisão periclinal e anticlinal. Dá origem ao xilema primário e ao floema primário.

A polaridade do feixe vascular (xilema interno, floema externo) é estabelecida por fluxo polarizado de auxina, que ativa genes como

*MONOPTEROS/ARF5*, induzindo a expressão de *ATHB8* e *CUC*, que definem a identidade celular (Scarpella et al., 2006).

Nota: A regulação por auxina assegura a formação de feixes vasculares contínuos e funcionalmente integrados (Evert & Eichhorn, 2023).

---

#### 4. Xilema Primário: Origem, Estrutura e Diferenciação

##### 4.1. Função Fisiológica

O xilema primário desempenha duas funções essenciais:

1. Transporte de seiva bruta (água + íons minerais), impulsionado por:
  - Pressão radicular (raiz);
  - Coesão-tensão-transpiração (caule).
2. Sustentação mecânica, graças à lenhificação das paredes celulares (Taiz et al., 2017).

##### 4.2. Elementos Celulares: Ultraestrutura e Função

###### 4.2.1. Tracóides

- Origem: Células do procâmbio.
- Morfologia: 1–5 mm de comprimento, 10–50  $\mu\text{m}$  de diâmetro, extremidades pontiagudas.
- Paredes:
  - Primária: fina, rica em celulose;
  - Secundária: espessada com padrões anelares, helicoidais, escaleriformes;
  - Lenhificada em fases finais.
- Pontuações: Áreas não lenhificadas com toro (massa central) e aréola (anel circundante), permitindo passagem de água.
- Morte celular: Autólise do protoplasto mediada por vacúolos lisossômicos.
- Função: Condução e sustentação. Resistente à cavitação.



**Figura 3.** tracóides de *Pinus* com pontuações areoladas. É possível observar as extremidades em bisel

- Ocorrência: Presente em todas as plantas vasculares; **exclusivo** em **gimnospermas** e **pteridófitas** (Esau, 1977).

#### 4.2.2. Elementos de Vaso

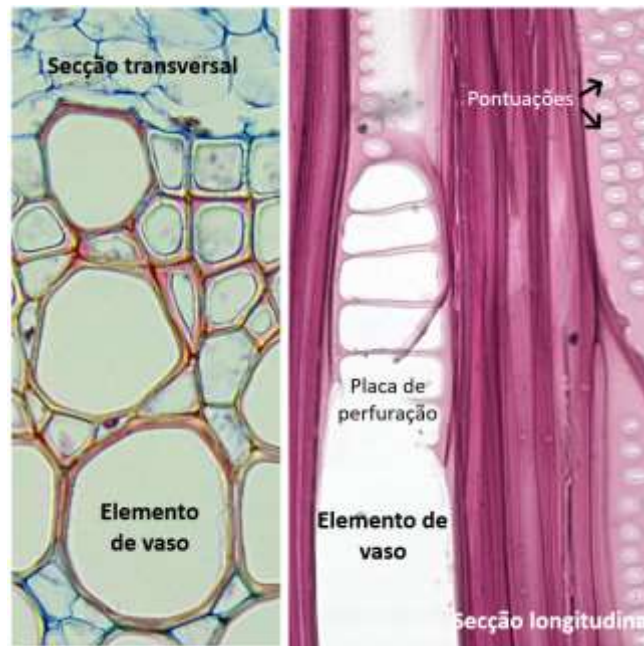


Figura 4. Elementos de vaso observados em secção transversal e longitudinal

- Morfologia: Até 10 cm de comprimento (*Vitis vinifera*), com placas de perfuração terminais.
- Tipos de placas:
  - Simples: uma única abertura;
  - Escaleriforme: múltiplos poros alinhados.
- Morte celular: Similar aos trácóides.
- Função: Alta eficiência hidráulica (até 10× maior que trácóides).
- Ocorrência: Exclusivo das angiospermas (Beck, 2020).

#### 4.2.3. Fibras de Esclerênquima

- Morfologia: 1–4 mm de comprimento, paredes secundárias espessadas (3–5  $\mu\text{m}$ ), lúmen reduzido.
- Lenhificação: Alta, com padrão puntiforme.
- Função: Sustentação.



Figura 5. Um tracoide e fibras xilémicas

- Localização: Abundantes em caules de eudicotiledóneas.

#### 4.2.4. Fibras Liberiformes

As fibras liberiformes são um tipo especializado de fibras de esclerênquima que se diferenciam no xilema primário e secundário de angiospérmicas, especialmente em eudicotiledóneas.

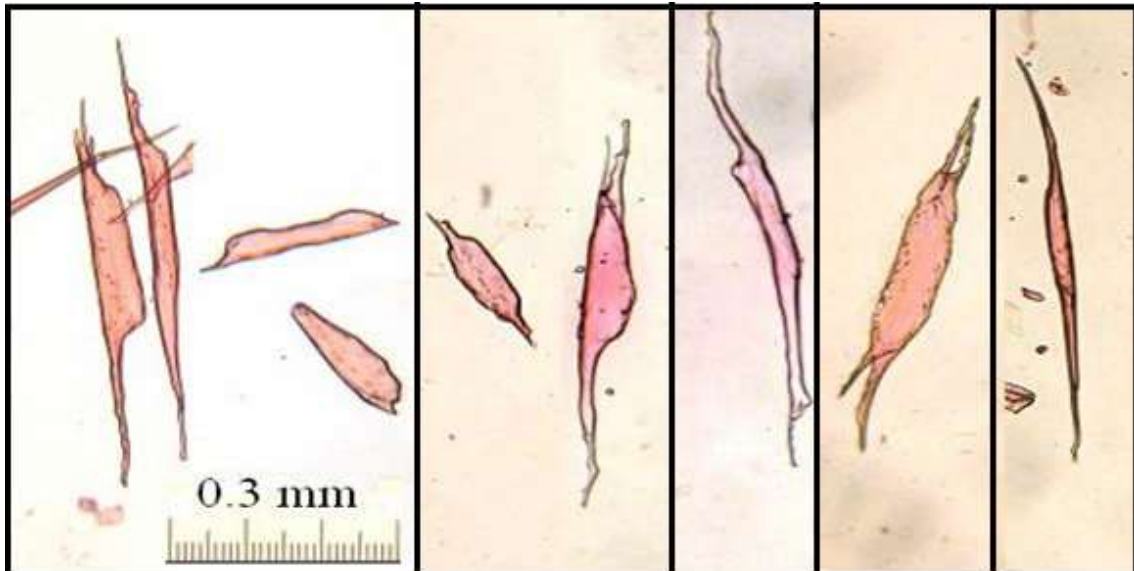


Figura 6. Diferentes morfologias de fibras liberiformes

- Origem: derivam das iniciais fusiformes do procâmbio ou do câmbio vascular.
- Morfologia: células longas (1–4 mm), com paredes secundárias intensamente lenhificadas e lúmen muito reduzido.
- Pontuações: pequenas, do tipo simples ou escaleriforme.
- Função: exclusivamente de sustentação mecânica.
- Ocorrência: comuns em eudicotiledóneas; raras em gimnospérmicas.
- Nota: são homólogas às fibras do floema, mas localizadas no sistema xilémico.

Nota: Em *Linum usitatissimum* (linho), as fibras liberiformes do xilema são particularmente longas e resistentes, contribuindo para a força do tecido lenhoso.

#### 4.2.4. Fibro-tracóides

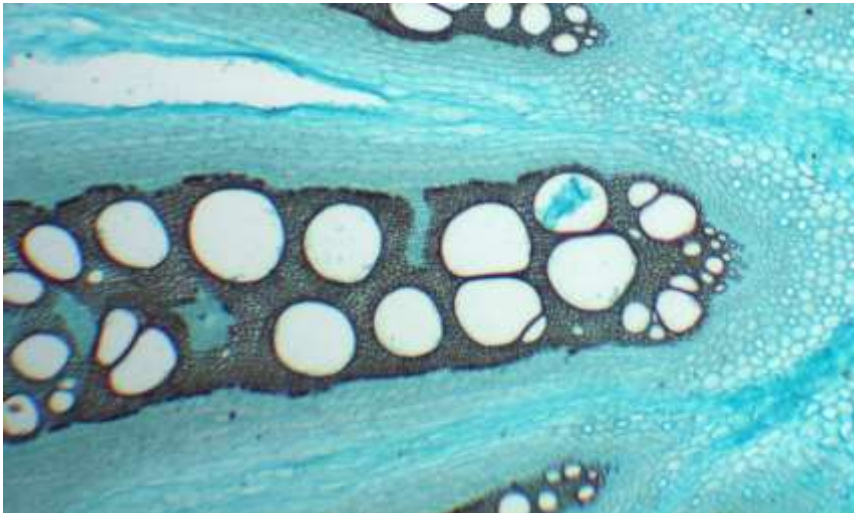
- Paredes: Espessadas, com pontuações areoladas.
- Função: Sustentação com condução residual.

- Ocorrência: Comum em gimnospérmicas.



**Figura 7.** Fibro-tracóides, obtidos por maceração de madeira de *Tsuga* sp.

#### 4.2.5. Parênquima Xilémico



**Figura 8.** Secção transversal de *Tinospora cordifolia* exibindo o seu largo parênquima radial xilémico (turquesa) que se fundem com a região medular, (ela própria parênquima também) se.

- Células vivas, com grãos de amido e compostos fenólicos.
- Função: Armazenamento e intercâmbio radial.
- Localização: Entre tracóides e elementos de vaso.

#### 4.2.6 Diferença entre fibras

Característica	Fibras liberiformes	Fibras Esclerênquima	Fibro-tracóides
<b>Origem</b>	Procâmbio / câmbio	Meristema fundamental / câmbio	Câmbio
<b>Paredes</b>	Muito espessadas, lúmen quase ausente	Espessadas, lúmen reduzido	Moderadamente espessadas
<b>Pontuações</b>	Simples ou escaleriformes	Simples	Areoladas
<b>Função</b>	Sustentação	Sustentação	Sustentação + condução residual

#### 4.3. Diferenciação Temporal: Protoxilema e Metaxilema

<b>Característica</b>	<b>Protoxilema</b>	<b>Metaxilema</b>
<b>Localização</b>	Subapical	Distal
<b>Espessamentos</b>	Anelares, helicoidais	Escaleriformes, reticulados
<b>Alongamento</b>	Sim	Não
<b>Ruptura</b>	Sim (pode produzir-se uma lacuna do protoxilema)	Não

#### 4.4. Padrões de Diferenciação Espacial

<b>Órgão</b>	<b>Tecido</b>	<b>Diferenciação</b>	<b>Descrição</b>
<b>Raiz</b>	Xilema primário	Centrípeto	O protoxilema forma-se na periferia; o metaxilema, em direção ao centro
<b>Caule</b>	Xilema primário	Centrífugo	O protoxilema forma-se no centro; o metaxilema, em direção à periferia
<b>Raiz e Caule</b>	Floema primário	Centrípeto	O protofloema forma-se na periferia; o metafloema, em direção ao interior

Nota: A diferenciação do xilema é centrípeta na raiz e centrífuga no caule — uma distinção fundamental em anatomia vegetal (Evert & Eichhorn, 2023).

### 5. Floema Primário: Estrutura, Função e Especialização Celular

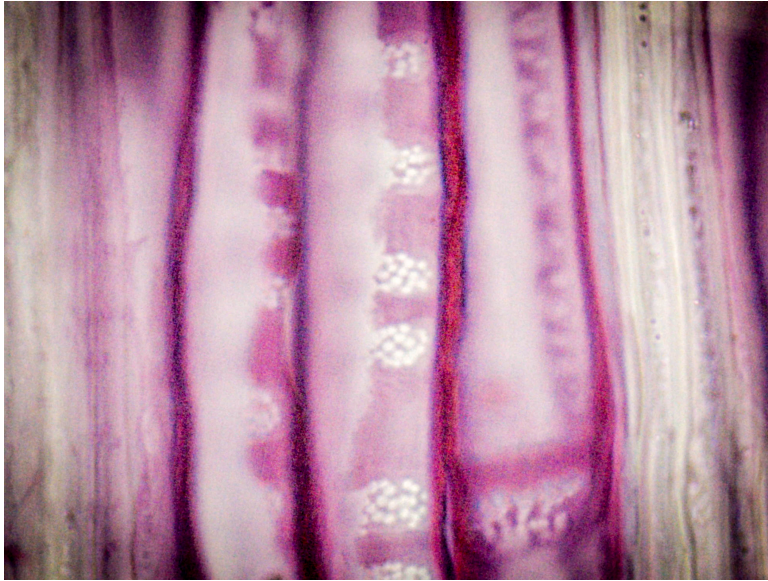
#### 5.1. Função Fisiológica

O floema primário transporta seiva elaborada (sacarose, aminoácidos, hormonas) do local de produção (folhas) para zonas de consumo ou armazenamento (raízes, gemas, frutos). O transporte ocorre por fluxo de massa, impulsionado pelo gradiente osmótico (teoria do fluxo de pressão de Münch) (Taiz et al., 2017).

#### 5.2. Elementos Celulares: Ultraestrutura e Interações

##### 5.2.1. Elementos de Tubo Crivoso

- **Morfologia:** Células longas (100–500 µm), vivas na maturação, mas sem núcleo.



**Figura 9.** Elementos de tubo crivoso de *Vitis vinifera* (videira), exibindo as placas e áreas crivosas (pontos brancos nas paredes de topos e laterais, respectivamente). A verde, fibras floémicas

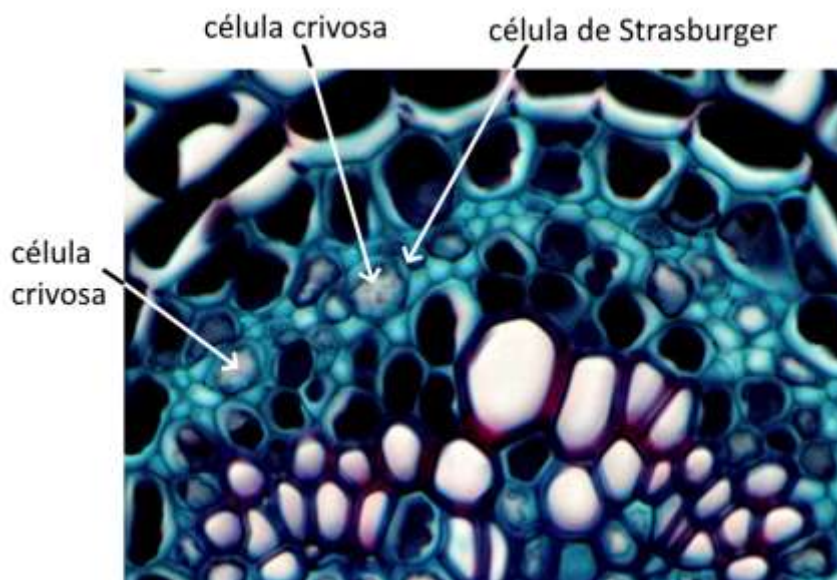
- Placas crivosas: Paredes terminais com poros revestidos por calose ( $\beta$ -1,3-glucano). Podem ser simples ou compostas.
- Filamentos P: Estruturas proteicas (P-proteínas) que selam os poros em caso de lesão.
- Função: Condução da seiva orgânica, apenas em angiospérmicas.
- Associação: Sempre ligado a uma célula de companhia.

#### 5.2.2. Células de Companhia

- Morfologia: Células pequenas, com núcleo denso, mitocôndrias abundantes, retículo endoplasmático granular desenvolvido.
- Função:
  - Regulação do carregamento do floema (via transportadores de sacarose);
  - Síntese de proteínas e RNA para o elemento de tubo crivoso;
  - Manutenção do potencial de membrana.
  - Apenas em angiospérmicas
- Interações: Comunicam-se com o elemento de tubo crivoso via plasmodesmos.

### 5.2.3. Células Crivosas

- Morfologia: Semelhantes aos elementos de tubo crivoso, mas com paredes laterais com áreas crivosas.
- Função: Condução em gimnospérmicas e pteridófitas.
- Associação: Ligadas a células albuminosas.

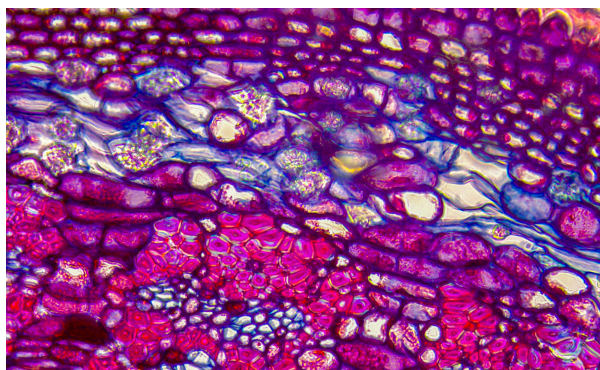


**Figura 10.** Corte transversal do feixe vascular da fronde de *Pteris* sp., exibindo células crivosas e de Strasburger (albuminosas).

### 5.2.4. Células Albuminosas (ou de Strasburger)

- Morfologia: Células parenquimatosas com citoplasma denso, associadas às células crivosas.
- Função: Suporte metabólico, análogo às células de companhia (apenas em gimnospérmicas e pteridófitas).
- Origem: Não são homólogas, mas representam uma convergência evolutiva.

### 5.2.5. Parênquima e Fibras de Esclerênquima



**Figura 11.** Fibras floémicas (a vermelho) no floema secundário de *Tilia* sp.

- Parênquima floémico: Armazenamento, transporte radial.
- Fibras de esclerênquima: Sustentação. Podem formar líber (ex.: cânhamo, juta).

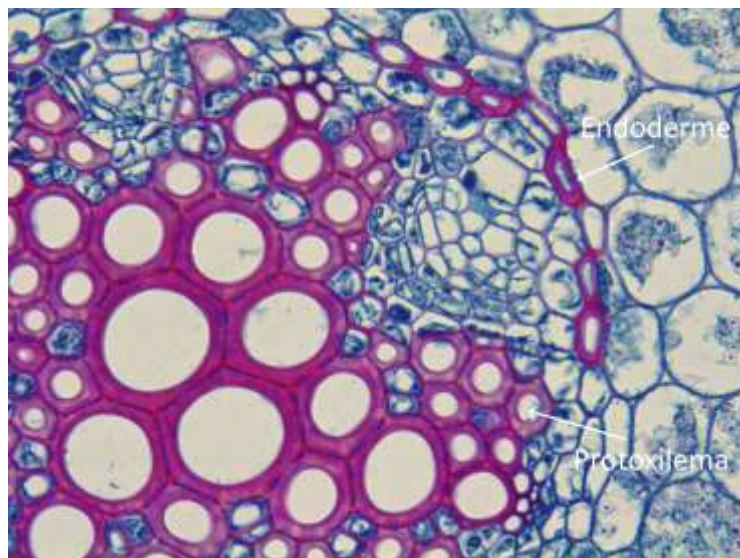
### 5.3. Diferenciação Temporal: Protofloema e Metafloema

Característica	Protofloema	Metafloema
<b>Localização</b>	Próximo do ápice	Mais distal
<b>Células</b>	Mais delgadas, menos especializadas	Mais largas, especializadas
<b>Função</b>	Transporte temporário	Transporte funcional

## 6. Organização Anatómica Comparada

### 6.1. Na Raiz

#### 6.1.1. Eudicotiledóneas



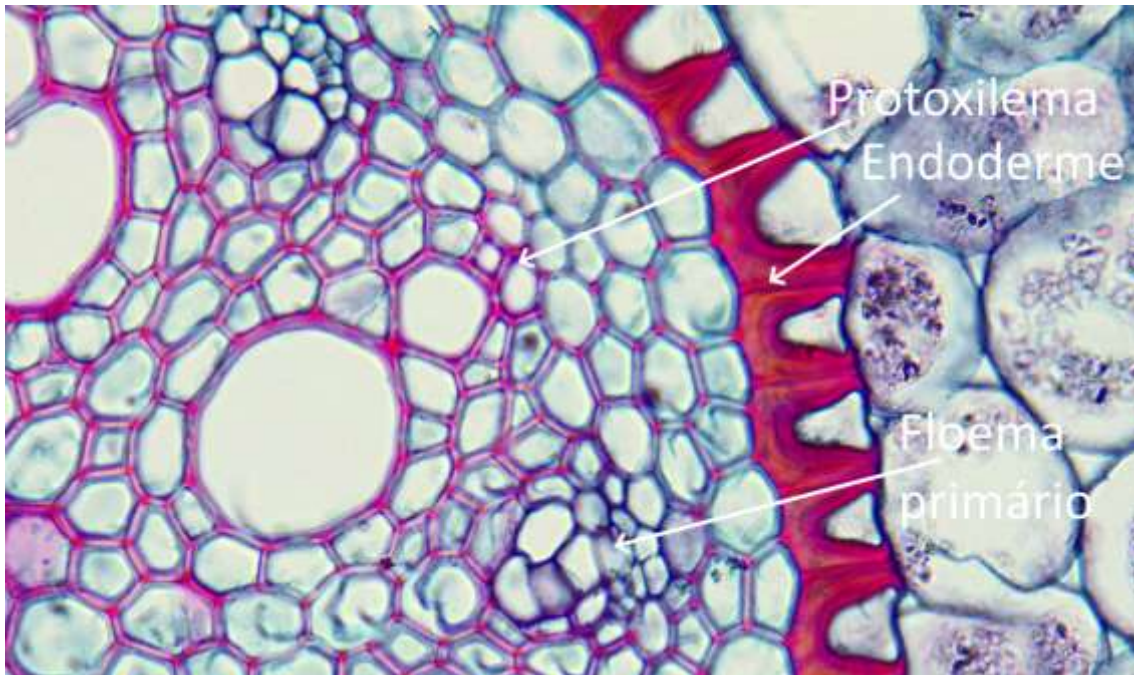
**Figura 12.** Raiz de Eudicotiledónea com endoderme, exibindo pontos de passagem em frente ao protoxilema

- Xilema primário: dispõe-se em estrutura monarca, diarca, triarca, tetarca, pentarca, etc.
- Protoxilema: localiza-se na periferia (padrão centrípeto).
- Metaxilema: localiza-se no centro.
- Floema primário: dispõe-se em feixes alternados com os de xilema.
- Endoderme: com bandas de Caspary (suberina + celulose); regula a entrada de água para o xilema.
- Periciclo: camada mais externa do cilindro vascular; origina raízes laterais.

- Exoderme: camada mais externa do córtex; pode apresentar paredes suberificadas ou lenhificadas; função de proteção e regulação da perda de água.

Exemplo: *Phaseolus vulgaris* (feijoeiro) – raiz tetraarca (Evert & Eichhorn, 2023).

### 6.1.2. Monocotiledóneas



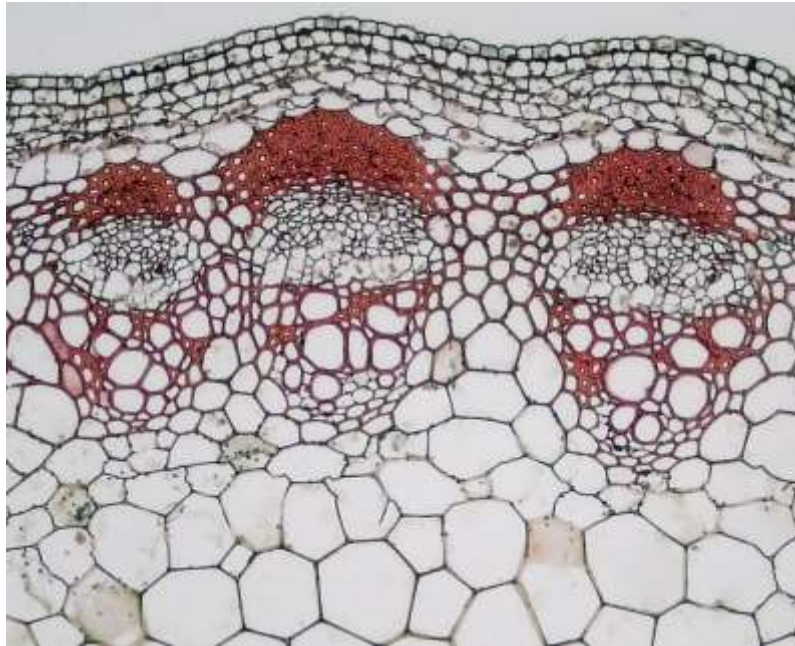
**Figura 13.** Endoderme de monocotiledónea com paredes suberificadas e espessadas em “U”.

- Xilema e floema: dispostos em feixes alternos, num número elevado (poliarca).
- Protoxilema: podendo romper-se durante o alongamento, formando uma lacuna do protoxilema.
- Metaxilema: diferencia-se internamente.
- Floema: protofloema externo, metafloema interno.
- Endoderme: com bandas de Caspary; em muitas espécies, torna-se espessa e lenhificada.
- Periciclo: presente, origina raízes laterais.
- Exoderme: bem desenvolvida, com células suberificadas; atua como barreira adicional.

Exemplo: *Zea mays* (milho) – raiz com 30+ feixes vasculares alternos (Beck, 2020).

## 6.2. No Caule

### 6.2.1. Eudicotiledóneas

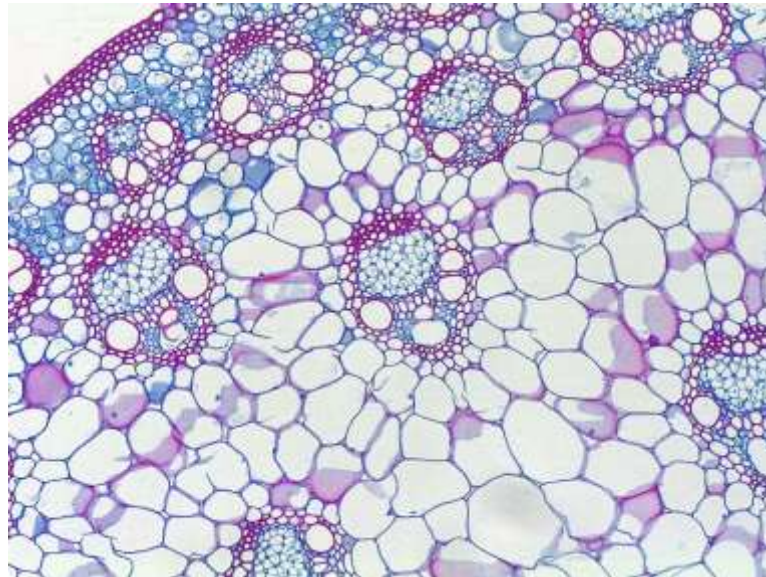


**Figura 14.** Feixes primários, duplos e colaterais no caule de *Helianthus* sp., dispostos num fiada única, em redor de todo o caule.

- Feixes vasculares primários colaterais (por vezes bicolaterais) e duplos, dispostos em anel contínuo.
- Xilema primário: voltado para o interior; protoxilema próximo do centro.
- Floema primário: voltado para o exterior; protofloema próximo da epiderme.
- Câmbio fascicular: presente em cada feixe (feixes abertos).
- Entre os feixes: meristema fundamental (origem do câmbio interfascicular).
- Córtex: com colênquima subepidérmico e parênquima.
- Medula: parênquima central
- Periciclo: ausente ou reduzido.

Exemplo: *Helianthus annuus* (girassol) – caule com feixes colaterais abertos.

### 6.2.2. Monocotiledóneas



**Figura 15.** Caule de monocotiledónea, observando-se os feixes espalhados por todo o campo de observação.

- Feixes vasculares primários dispostos de forma dispersa no parênquima fundamental.
- Tipo de feixe: colateral, com xilema interno e floema externo.
- Câmbio: ausente (feixes fechados).
- Protoxilema: com lacuna do protoxilema.
- Parênquima fundamental: domina o interior do caule.
- Epiderme: com cutícula espessa; pode ter tricomas.
- Sem medula definida — tecido parenquimatoso homogêneo.

Exemplo: *Zea mays* (milho) – caule com feixes vasculares dispersos.

### 7. Padrões de Diferenciação Espacial

Órgão	Tecido	Diferenciação	Descrição
<b>Raiz</b>	Xilema primário	Centrípeto	O protoxilema forma-se na periferia; o metaxilema, em direção ao centro
<b>Caule</b>	Xilema primário	Centrífugo	O protoxilema forma-se no centro; o metaxilema, em direção à periferia
<b>Raiz e Caule</b>	Floema primário	Centrípeto	O protofloema forma-se na periferia; o metafloema, em direção ao interior

---

## 8. Ficha de Exercícios

### 8.1. Escolha Múltipla (Seleciona a opção correta)

8.1.1. O tecido responsável pelo transporte de seiva bruta nas plantas é o:

- a) Floema primário
- b) Xilema primário
- c) Parênquima fundamental
- d) Colênquima

Justificação: \_\_\_\_\_

8.1.2. Qual dos seguintes elementos é exclusivo das angiospérmicas?

- a) Tracóides
- b) Células crivosas
- c) Elementos de vaso
- d) Células de Strasburger

Justificação: \_\_\_\_\_

8.1.3. O padrão de diferenciação do xilema primário na raiz é:

- a) Centrífugo
- b) Centrípeto
- c) Periclinal
- d) Anticlinal

Justificação: \_\_\_\_\_

8.1.4. As células de companhia estão associadas a:

- a) Células crivosas
- b) Elementos de vaso
- c) Elementos de tubo crivoso
- d) Fibro-tracóides

Justificação: \_\_\_\_\_

8.1.5. O procâmbio dá origem a:

- a) Epiderme e córtex
- b) Xilema e floema primários
- c) Parênquima e colênquima
- d) Coifa e raízes laterais

Justificação: \_\_\_\_\_

8.1.6. O sistema vascular vegetal é constituído por:

- a) Apenas xilema
- b) Xilema e floema
- c) Floema e colênquima
- d) Parênquima e esclerênquima

8.1.7. Os tracóides diferem dos elementos de vaso principalmente por:

- a) Serem células vivas
- b) Não possuírem paredes secundárias
- c) Não apresentarem placas perfuradas
- d) Serem mais largos

8.1.8. O protoxilema caracteriza-se por:

- a) Elementos condutores grandes
- b) Espessamentos pontuados
- c) Espessamentos anelares ou espiralados
- d) Ausência de paredes secundárias

8.1.9. Nas eudicotiledóneas, os feixes vasculares do caule organizam-se:

- a) Dispersos pelo sistema fundamental
- b) Em anel
- c) Apenas no centro
- d) Apenas na periferia

8.1.10 As células companhia são características de:

- a) Xilema de gimnospérmicas
- b) Floema de gimnospérmicas
- c) Xilema de angiospérmicas
- d) Floema de angiospérmicas

8.1.11. A principal diferença entre caule e raiz na organização vascular é:

- a) Presença de xilema apenas no caule
- b) Organização em feixes vs organização radial
- c) Ausência de floema na raiz
- d) Presença de câmbio apenas na raiz

8.1.12. O metaxilema forma-se:

- a) Antes do protoxilema
- b) Simultaneamente com o protoxilema
- c) Após o protoxilema
- d) Apenas em plantas lenhosas

8.1.13. As gimnospérmicas possuem no xilema apenas:

- a) Elementos de vaso
- b) Tracóides
- c) Fibras
- d) Parênquima

8.1.14. O transporte no floema baseia-se em:

- a) Transpiração
- b) Fluxo de massa
- c) Difusão simples
- d) Transporte activo apenas

8.1.15 Nas monocotiledóneas, os feixes vasculares são:

- a) Abertos com câmbio
- b) Fechados sem câmbio
- c) Apenas xilêmicos
- d) Apenas floémicos

8.1.16 O crescimento primário ocorre principalmente em:

- a) Periderme
- b) Meristemas apicais
- c) Xilema secundário
- d) Ritidoma

8.1.17 O procâmbio dá origem a:

- a) Epiderme e córtex
- b) Xilema primário e floema primário
- c) Parênquima e colênquima
- d) Felema e felogénio

8.1.18 O padrão de diferenciação do xilema na raiz é:

- a) Centrífugo
- b) Anticlinal
- c) Centrípeto
- d) Tangencial

8.1.18 As bandas de Caspary localizam-se na:

- a) Epiderme
- b) Endoderme
- c) Periciclo
- d) Medula

8.1.19 A exoderme é uma camada presente em:

- a) Todos os caules
- b) Raízes jovens, como proteção adicional
- c) Folhas senescentes
- d) Flores em ântese

8.1.20. O periciclo origina:

- a) Folhas
- b) Raízes laterais
- c) Tricomas
- d) Lenticelas

8.1.21 Em monocotiledóneas, os feixes vasculares no caule são:

- a) Em anel contínuo
- b) Dispersos no parênquima fundamental
- c) Ausentes
- d) Todos secundários

8.1.22 A lacuna do protoxilema forma-se devido a:

- a) Morte celular programada
- b) Ruptura do protoxilema durante o alongamento
- c) Degeneração do metafloema
- d) Formação do câmbio

8.1.23. As células albuminosas estão associadas a:

- a) Elementos de tubo crivoso
- b) Células de companhia
- c) Células crivosas
- d) Parênquima xilémico

8.1.24 O padrão de diferenciação do floema é:

- a) Centrífugo
  - b) Anticlinal
  - c) Centrípeto
  - d) Periclinal
- 

## 8.2. Perguntas de Desenvolvimento

8.2.1. Explica a diferença entre padrão centrípeto e centrífugo na diferenciação do xilema primário.

O padrão centrípeto ocorre na raiz: o protoxilema forma-se na periferia e o metaxilema em direção ao centro. O padrão centrífugo ocorre no caule: o protoxilema forma-se no centro e o metaxilema em direção à periferia.

---

8.2.2. Refere a função da endoderme e da exoderme na raiz.

A endoderme regula a passagem de água e iões para o xilema, graças às bandas de Caspary. A exoderme atua como barreira adicional contra perda de água e entrada de patógenos, especialmente em ambientes áridos.

---

8.2.3. Por que razão se diz que o câmbio está ausente em monocotiledóneas?

Porque os feixes vasculares em monocotiledóneas são fechados, sem procâmbio residual, e não há formação de câmbio vascular contínuo. O crescimento em espessura, quando ocorre, é anómalo e mediado por meristema anular.

---

8.2.4. Compara a organização dos feixes vasculares primários na raiz e no caule de eudicotiledóneas.

Na raiz, os feixes são alternados (xilema e floema em posições opostas). No caule, os feixes são colaterais (xilema interno, floema externo) e dispostos em anel contínuo.

---

8.2.5. Qual é a importância das células de companhia no floema primário?

As células de companhia regulam o carregamento do floema, sintetizam proteínas e RNA para os elementos de tubo crivoso, e mantêm o potencial de membrana, sendo essenciais para a função do floema.

---

8.2.6. Explique a diferença entre trácóides e elementos de vaso.

Os trácóides são células longas e pontiagudas, presentes em todas as plantas vasculares; os elementos de vaso são mais curtos, com placas de perfuração terminais, exclusivos das angiospérmicas e com maior eficiência hidráulica.

8.2.7. Explique a diferença entre protoxilema e metaxilema, referindo a sua localização, tipo de espessamentos e função no crescimento primário.

---

---

---

---

---

---

---

8.2.8. Compare o floema primário de uma gimnospérmica com o de uma angiospérmica, referindo os elementos celulares presentes e as suas funções.

---

---

---

---

---

---

---

8.2.9 Por que razão se diz que o padrão de diferenciação do xilema é centrípeto na raiz e centrífugo no caule? Apoie a sua resposta com a localização do protoxilema em cada órgão.

---

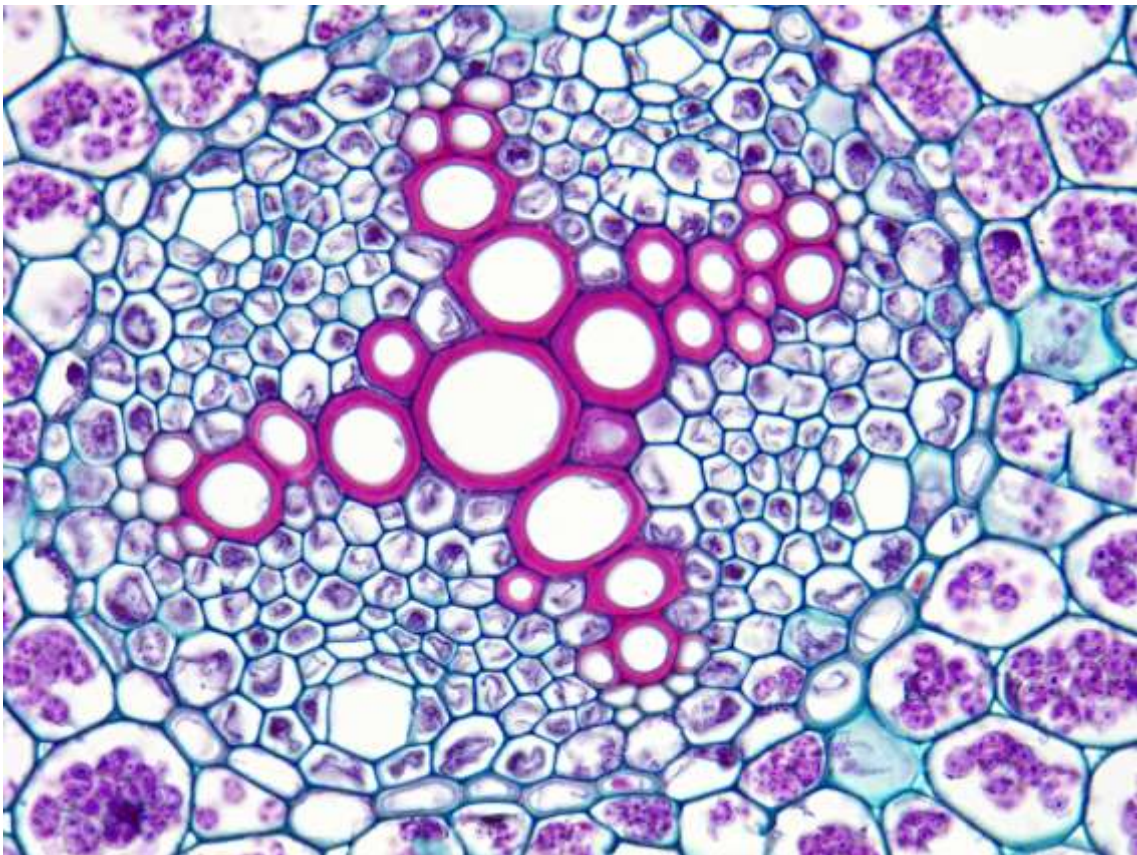
---

---

---

### 8.3. Interpretação de Figuras

#### 8.3.1. Observa a figura abaixo



a) Identifique o tecido representado pelas projeções em forma de estrela.

Resposta: \_\_\_\_\_

b) Indique o nome da camada com bandas espessadas e a sua função.

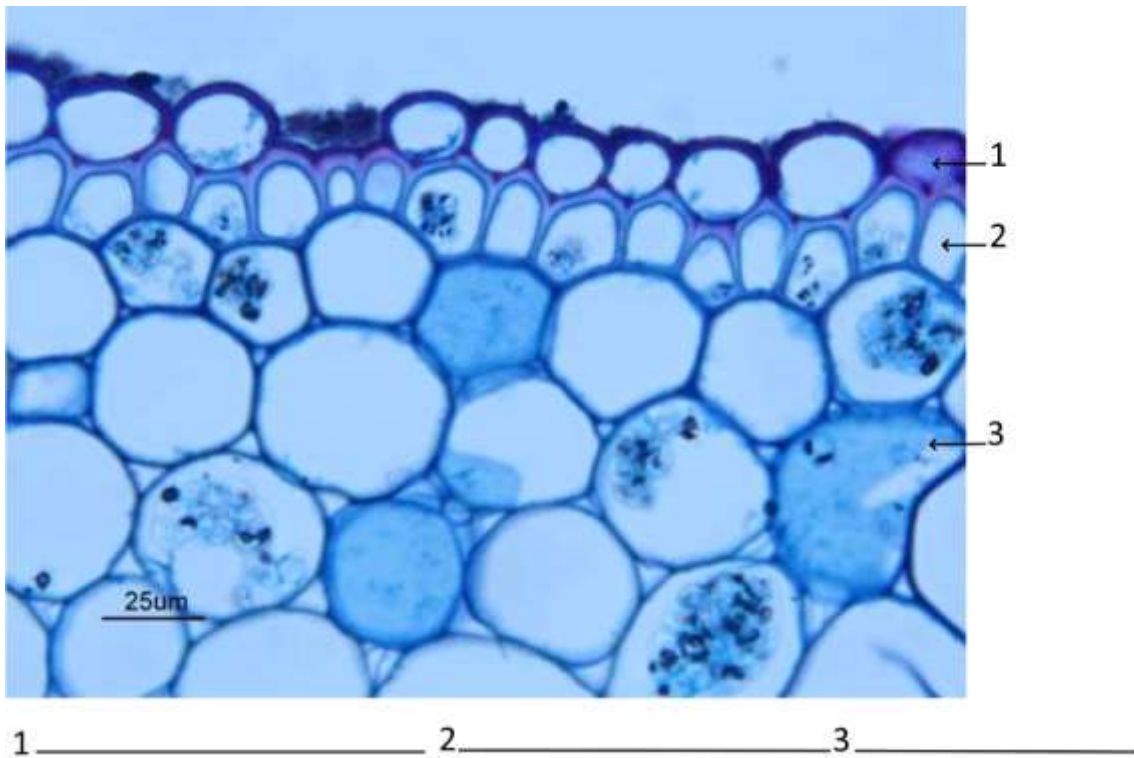
Resposta: \_\_\_\_\_

c) Refira o padrão de diferenciação do xilema nesta raiz.

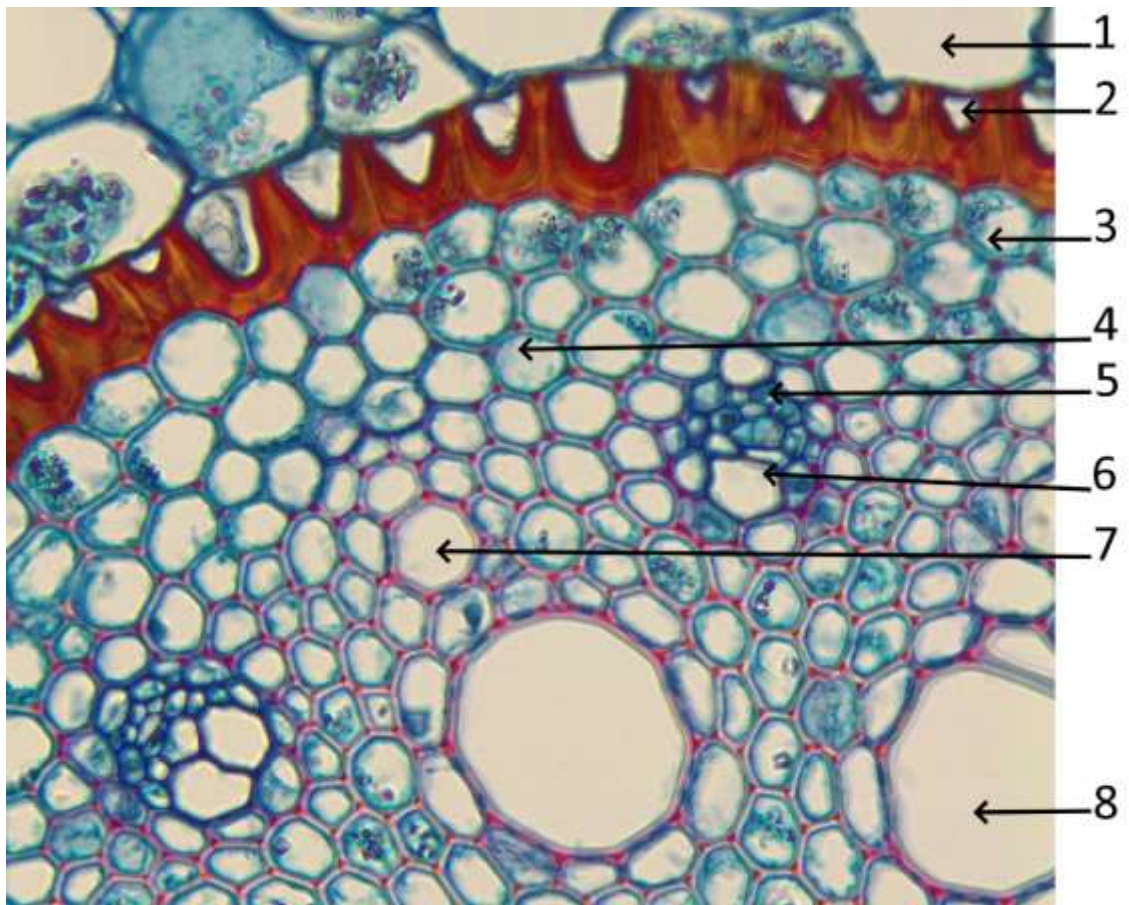
Resposta: \_\_\_\_\_

---

8.3.2 Raiz de monocotiledónea. Identifique os tecidos/regiões tecidulares conforme indicado.



8.3.3 Faça a legenda da imagem.



1 -	5 -
2 -	6 -
3 -	7 -
4 -	8 -

---

## 8.4. Tabela de Comparação

Complete a tabela seguinte com base no que aprendeu:

Característica	Eudicotiledónea	Monocotiledónea	Gimnospérmica
Elementos xilémicos			
Elementos floémicos			
Padrão do xilema na raiz			
Presença de câmbio vascular			
Tipo de feixe no caule			

---

## 8.5. Pergunta de Reflexão

8.5.1. Considera a seguinte afirmação:

*"As angiospérmicas têm maior eficiência no transporte de seiva do que as gimnospérmicas."*

Concorda? Justifique com base em dois exemplos estruturais dos tecidos condutores.

---

---

---

---

---

---

## 8.6. Questões de Verdadeiro/Falso

- 8.6.1. O xilema transporta água das raízes para as folhas.
- 8.6.2. O floema é constituído apenas por Elementos de tubo crivoso.
- 8.6.3. O protofloema tem vida funcional mais longa que o metafloema.
- 8.6.4. As angiospérmicas possuem elementos de vaso no xilema.
- 8.6.5. A diferenciação do xilema na raiz é centrífuga.
- 8.6.6. As células albuminosas são características das angiospérmicas.
- 8.6.7. O câmbio vascular está presente em todas as plantas vasculares.
- 8.6.8. Os elementos de tubo crivoso são células mortas na maturidade.

\_\_\_ 8.6.9. O padrão atactostélico é característico das monocotiledóneas.

\_\_\_ 8.6.10. O metaxilema tem elementos condutores maiores que o protoxilema.

---

## 8.7 Questões de Correspondência: Relacionar Estruturas com Funções

Relacione cada estrutura da Coluna A com a sua função principal da Coluna B.

<b>Coluna A (Estruturas):</b>	<b>Coluna B (Funções):</b>	<b>Respostas</b>
1.Tracóides	a) Suporte metabólico aos tubos crivosos	
2.Elementos de vaso	b) Condução de água com placas perfuradas	
3.Células companhia	c) Transporte de fotossintatos	
4.Elementos de tubo crivoso	d) Suporte mecânico	
5.Fibras xilémicas	e) Condução de água através de pontuações	

---

## 8.8. Relacionar Grupos com Características

Relacione cada grupo da Coluna A com a sua característica principal da Coluna B

<b>Coluna A (Grupos):</b>	<b>Coluna B (Características):</b>	<b>Respostas</b>
<b>1.Gimnospérmicas</b>	a) Feixes vasculares dispersos	
<b>2.Eudicotiledóneas</b>	b) Apenas tracóides no xilema	
<b>3.Monocotiledóneas</b>	c) Espessamentos pontuados	
<b>4.Protoxilema</b>	d) Feixes vasculares em anel	
<b>5.Metaxilema</b>	e) Espessamentos anelares	

---

## 8.9. Questões de Desenvolvimento Curto

8.9.1. Explique as principais diferenças entre protoxilema e metaxilema.

8.9.2. Descreva a organização vascular numa raiz de eudicotiledónea.

8.9.3. Qual a importância das células companhia no floema?

8.9.4. Compare a eficiência de condução entre tracóides e elementos de vaso.

8.9.5. Explique porque é que as monocotiledóneas não têm crescimento secundário.

## 8.10. Exercícios de Desenho Científico

Representação de feixe vascular

Desenhe um feixe vascular de eudicotiledónea incluindo (escolha a preparação que desejar):

- Xilema com diferentes tipos de elementos

- Floema com elementos de tubo crivoso e células companhia
- Câmbio vascular
- Legendagem completa

Critérios de avaliação:

- Precisão anatômica
  - Proporções correctas
  - Qualidade da legendagem
  - Clareza do desenho
- 

## 8.11. Questões de Síntese

**8.11.1.** Discuta a importância evolutiva do desenvolvimento de elementos de vaso nas angiospérmicas.

**8.11.2.** Explique como a organização vascular diferente entre monocotiledóneas e eudicotiledóneas reflecte estratégias ecológicas distintas.

**8.11.3.** Analise as vantagens e desvantagens do transporte por fluxo de massa no floema comparativamente ao transporte por transpiração no xilema.

---

## 8.12. Exercícios de Aplicação

1. Um agricultor observa que as suas plantas de tomate murcham rapidamente em dias quentes apesar de terem água suficiente no solo. Explique este fenómeno em termos do sistema vascular.

2. Explique porque é que o corte em anel da casca de uma árvore (que remove o floema) causa a sua morte.

---

## 8.13 Questões de Investigação

1. Desenhe uma experiência para demonstrar que o xilema transporta água e o floema transporta açúcares.

2. Como investigaria a eficiência relativa de condução entre diferentes espécies de plantas?

---

## 8.14 Auto-avaliação

### 8.14.1 Lista de Verificação

Após estudar este capítulo, devo ser capaz de:

- Distinguir xilema de floema estrutural e funcionalmente
- Identificar protoxilema e metaxilema, profloema e metafloema
- Comparar tracóides com elementos de vaso
- Explicar a organização vascular em caules e raízes
- Contrastar sistemas vasculares de gimnospermas e angiospermas
- Comparar padrões vasculares de monocotiledóneas e eudicotiledóneas
- Compreender mecanismos de transporte no xilema e floema
- Relacionar estrutura vascular com função ecológica
- Aplicar conhecimentos a situações práticas
- Interpretar observações microscópicas de tecidos vasculares

---

### 8.15.2 Questões de Reflexão

**8.15.2.1.** Que aspectos do sistema vascular considera mais importantes para compreender a fisiologia vegetal?

**8.15.2.2.** Como relacionaria a evolução do sistema vascular com o sucesso das plantas terrestres?

**8.15.2.3.** Que implicações têm as diferenças vasculares para a agricultura e silvicultura?

**8.15.2.4.** Como poderia o conhecimento do sistema vascular contribuir para o melhoramento de culturas?

0

---

## 9. Bibliografia

Beck, C. B. (2020). *An Introduction to Plant Structure and Development* (3.<sup>a</sup> ed.). Cambridge University Press.

Dickison, W. C. (2000). *Integrative Plant Anatomy*. Academic Press.

Esau, K. (1977). *Plant Anatomy* (2.<sup>a</sup> ed.). Wiley.

Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2023). *Raven Biology of Plants* (9.<sup>a</sup> ed.). W.H. Freeman.

Scarpella, E., Marcos, D., Friml, J., & Berleth, T. (2006). Regulation of vascular pattern formation. *Current Opinion in Plant Biology*, 9(1), 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2005.11.015>

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Plant Physiology and Development* (7.<sup>a</sup> ed.). Sinauer Associates.

## XI. No Laboratório



### 11. Observação Microscópica

#### 11.1. Identificação de tecidos vasculares

**O que vai ver nesta aula:**

---

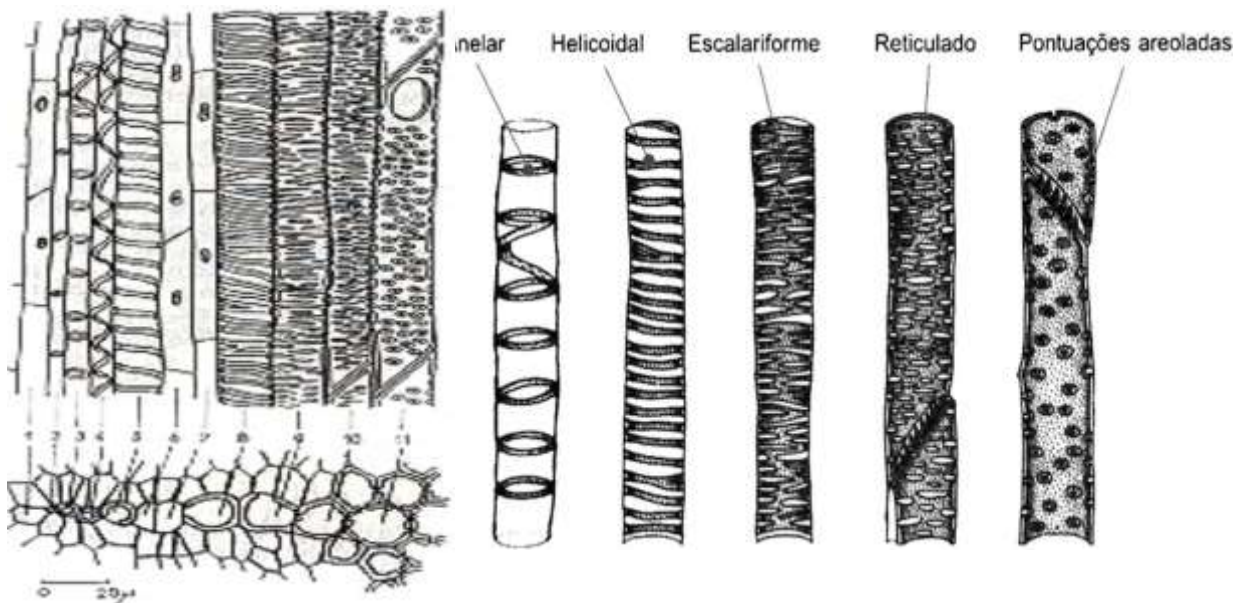
#### *Xilema primário*

---

Forma-se durante o desenvolvimento do corpo primário da planta. Só têm células orientadas longitudinalmente (sistema axial).

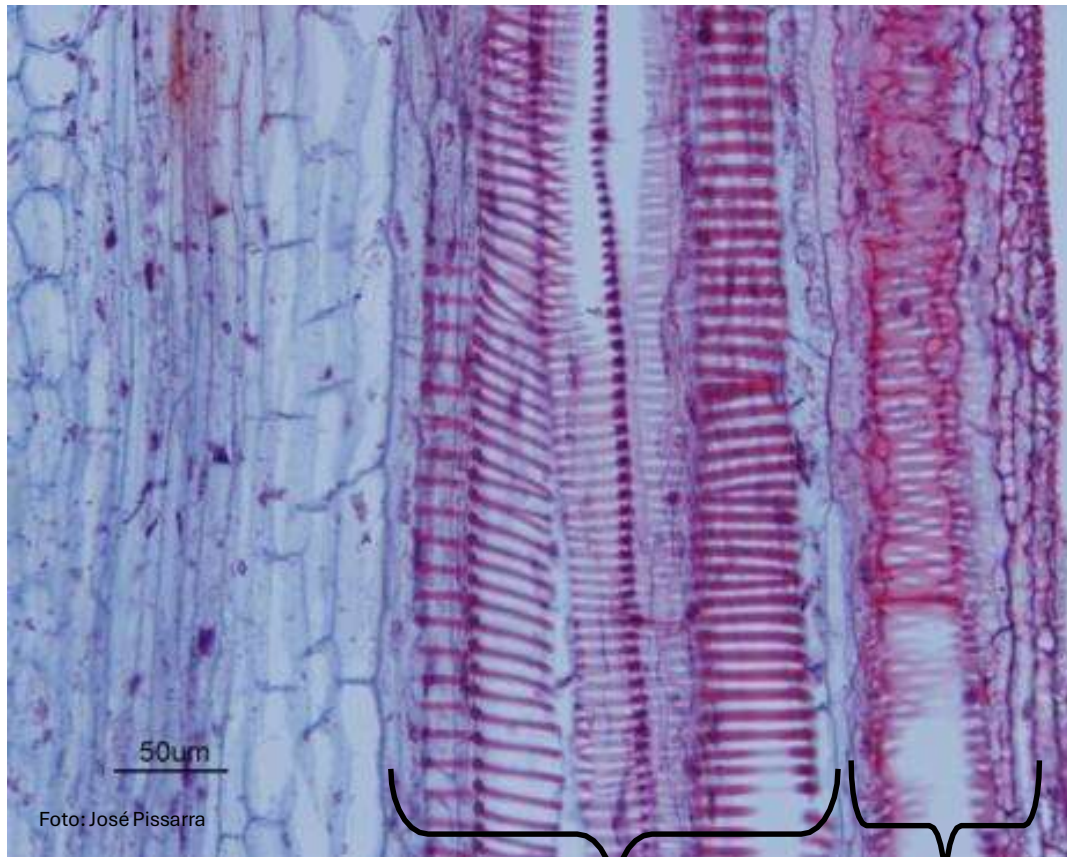
Protoxilema: são as primeiras células a atingir a maturidade, possuem menor extensão de parede secundária onde predominam os espessamentos (ornamentações) anelares e helicoidais.

Frequentemente estes elementos ficam obliterados.



**Figura 15.** Ilustração de elementos condutores de proto e metaxilema

Metaxilema: as células do metaxilema atingem a maturidade após o alongamento das células que as rodeiam e, por conseguinte, possuem maior extensão de parede secundária se escaleriformes, reticulados e pontuados (pontuações tipicamente areoladas).



**Protoxilema**

**Metaxilema**

#### **Ornamentação dos elementos condutores no xilema primário.**

Procedimento:

1. Observe as preparações em pequena ampliação (40x)
2. Identifique a organização dos feixes vasculares
3. Localize xilema e floema em cada feixe
4. Compare a organização nas diferentes espécies

Questões:

- a) Que diferenças observa na organização dos feixes?
- b) Como distingue xilema de floema?
- c) Qual das espécies permite crescimento secundário?

---

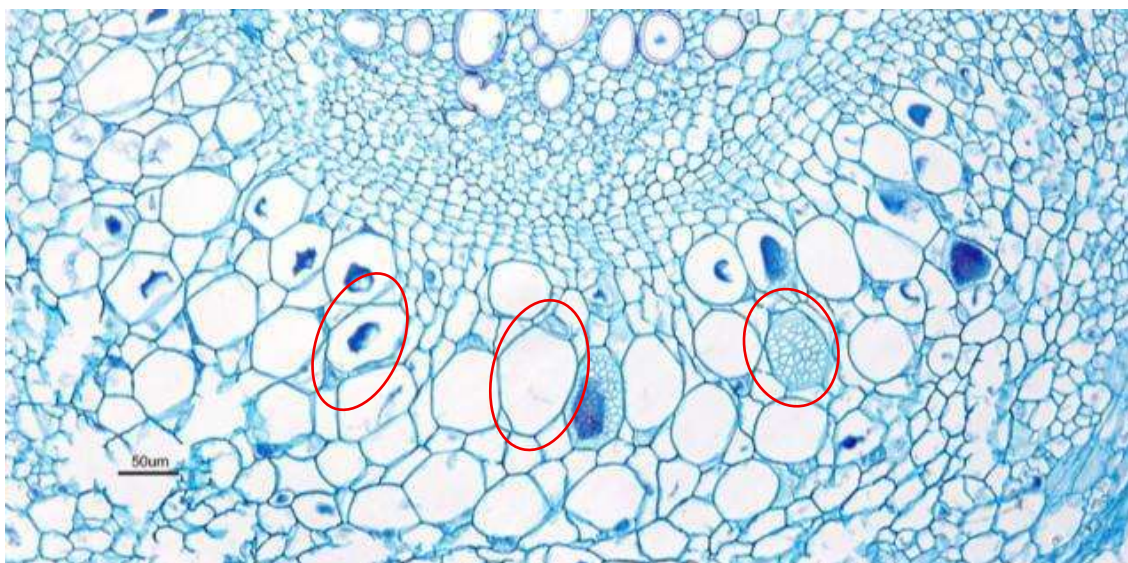
## Floema primário

---

Tecido responsável pela condução dos produtos que resultam da fotossíntese. Tecido complexo constituído por células de diferentes funções: condução - células crivosas e elementos de tubo crivoso, suporte - fibras e escleróides, armazenamento - células de parênquima.

Elementos de tubo crivoso (nas Angiospérmicas): células tipicamente cilíndricas, com paredes primárias pectocelulósicas, áreas crivosas espalhadas nas paredes laterais e nas paredes transversais surgem áreas crivosas especializadas que se designam placas crivosas. Estas placas são simples ou compostas conforme possuem uma ou várias áreas crivosas. Estas células surgem associadas a células de companhia, que são ontogeneticamente irmãs.

Células crivosas (nas Gimnospérmicas): células mais alongadas do que os elementos de tubo crivoso, a zona de contacto é inclinada e possuem nas paredes, apenas áreas crivosas. Filogeneticamente são células mais primitivas do que os elementos de tubo crivoso. Associadas a estas células ocorrem as células albuminosas com funções semelhantes às células de companhia. Contudo, a origem das células albuminosas não é a mesma das células crivosas.



Floema interno no caule de Cucurbita. Evidenciam-se elementos de tubo crivoso e células de companhia (circunscritos a vermelho). Notar placas crivosas nas paredes de topo das células.

---

## Estrutura primária de raiz

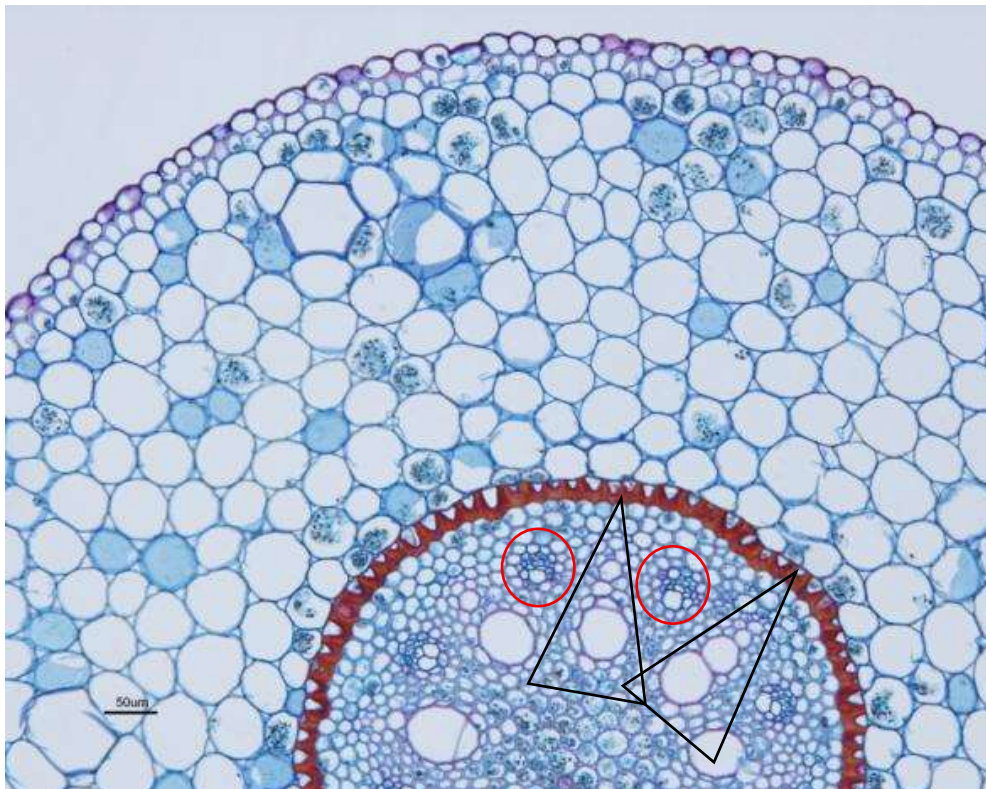
---

A raiz primária possui três zonas distintas:

**Epiderme:** geralmente simples, que possui **pêlos radiculares** na **zona de absorção**. Nas raízes aéreas de algumas plantas como **Orquidaceae** e **Araceae** desenvolve-se uma epiderme pluriestratificada, especializada na absorção da água das chuvas designada velamen. (*Ruscus aculeatus*)

**Córtex:** constituído essencialmente por parênquima que caracteristicamente possui espaços intercelulares. Pode, no entanto, surgir esclerênquima ou colênquima como tecidos de suporte. O córtex é limitado externamente por uma **exoderme** - tecido que se desenvolve logo abaixo da epiderme e que pode possuir espessamentos de suberina ou de lenhina, e internamente por uma **endoderme** - tecido que possui espessamentos característicos nas paredes, as **bandas de Caspary**.

**Cilindro central:** é constituído externamente pelo **periciclo** - uma ou mais camadas de células de parênquima ou esclerênquima. Os tecidos vasculares como **xilema** e **floema** surgem a formar **feixes simples e alternos**, e ambos apresentam uma **diferenciação centrípeta** dos elementos, ou seja, o protoxilema e o protofloema surgem para o lado de fora e o metaxilema e o metafloema para o lado de dentro. Em algumas estruturas surge a medula, constituída geralmente por células de parênquima.



Raiz de Monocotiledónea. Os triângulos pretos indicam feixes de xilema com diferenciação centrípeta (protoxilema no vértice, metaxilema na base próximo do centro da estrutura); as

circunferências vermelhas marcam feixes de floema com diferenciação, também, centrípeta.

---

### *Estrutura primária de caule*

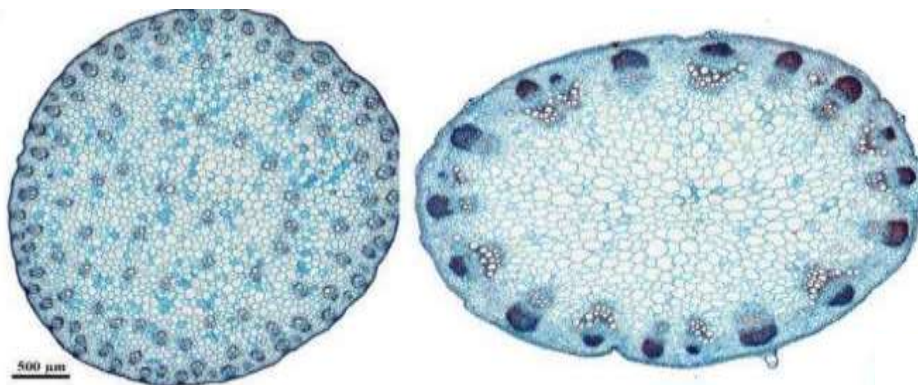
---

A estrutura do caule é mais complexa do que a da raiz, devido à sua associação com as folhas. A estrutura primária consiste dos três sistemas de tecidos, dérmico, fundamental e vascular, e as variações entre espécies e grandes grupos são devidas a diferenças na distribuição relativa dos sistemas vascular e fundamental.

**Sistema Dérmico:** Epiderme geralmente simples, uma camada de células cutinizadas ou com cutícula. Mais tarde no desenvolvimento, a epiderme pode originar a periderme.

**Sistema Fundamental:** Córtex - constituído essencialmente por parênquima, com espaços intercelulares proeminentes na porção mediana. Nas Angiospérmicas aquáticas desenvolve-se um aerênquima. A porção periférica pode desenvolver colênquima, mas em muitas monocotiledóneas o tecido de suporte é o esclerênquima. Medula - região com parênquima fundamental e geralmente destruída nas zonas dos nós.

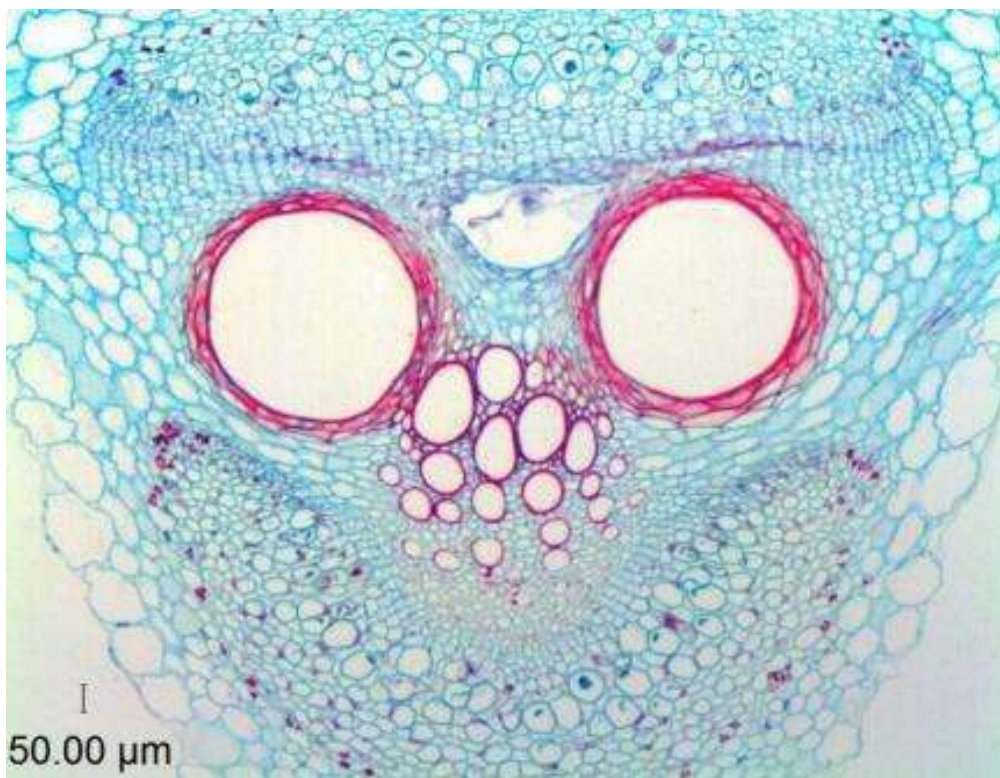
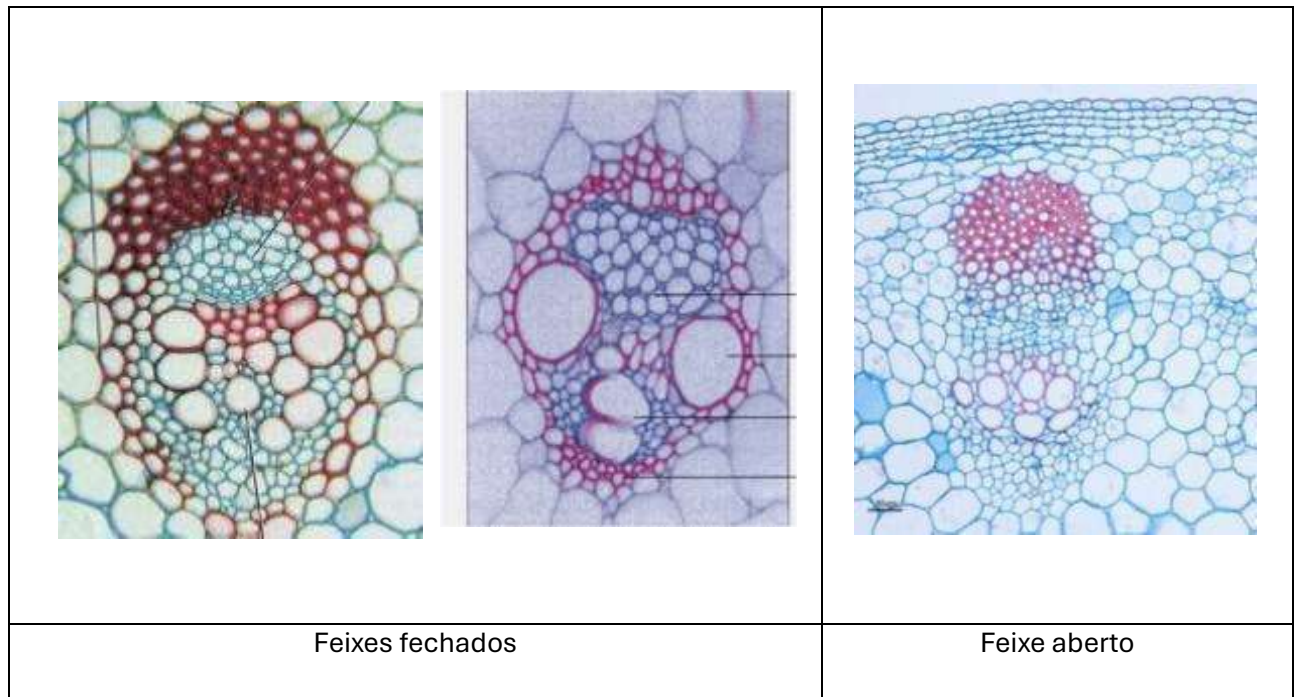
**Sistema Vascular:** Os tecidos condutores, xilema e floema, surgem associados em feixes, separando-se uns dos outros por faixas de tecido fundamental - parênquima interfascicular. O xilema primário apresenta sempre diferenciação centrífuga, protoxilema para dentro e metaxilema para fora. O arranjo mais vulgar dos feixes é o colateral, floema para o lado de fora do xilema. Nalgumas famílias de Dicotiledóneas como por exemplo nas **Cucurbitaceae** e **Solanaceae**, surgem feixes bicolaterais, ou seja, possuem floema para fora mas também para o lado de dentro do xilema. Também podem surgir arranjos concêntricos, sendo do tipo **anficrival** (floema a rodear o xilema) ou **anfivasal** (xilema a rodear o floema). Os feixes colaterais e bicolaterais podem ser abertos - característicos das gimnospérmicas e dicotiledóneas, possuem células procambiais indiferenciadas entre o xilema e o floema, que vão produzir futuramente um câmbio vascular, ou podem ser fechados - característico das monocotiledóneas, sem células procambiais, sem capacidade de crescimento.



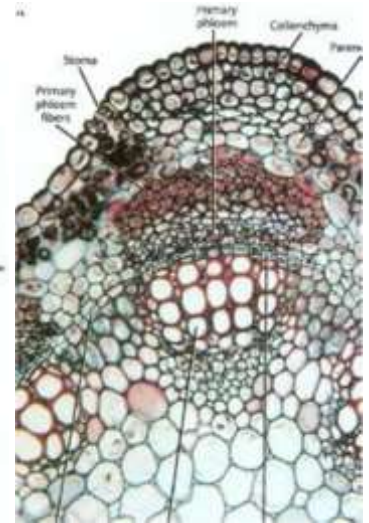
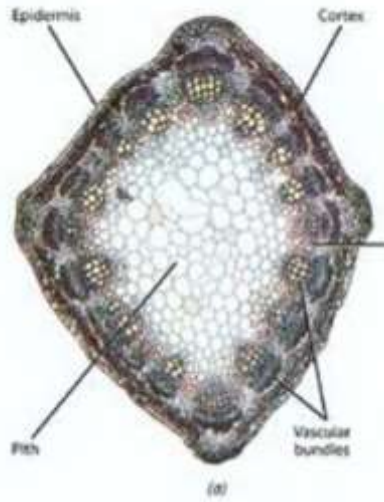
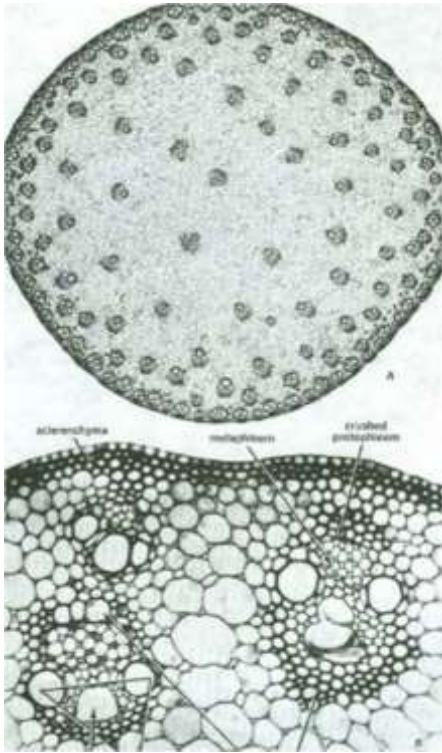
Estrutura primária de caule  
de Monocotiledónea

Estrutura primária de caule  
de Eudicotiledónea

Feixes



Feixe bicolateral. Início de crescimento secundário. Caule de *Curcubita*



Caule de Dicotiledónea. Pormenor de um feixe

Caule de Monocotiledónea. Pormenor dos feixes.

## 11.2 O que deve fazer:

### **Exemplares a observar:**

Para cada exemplar, justificar a identificação do órgão e do grupo vegetal.

Esquematizar cada uma das preparações.

Identificar as 3 regiões constituintes dos órgãos, bem como os vários tecidos que os constituem.

### **Raiz:**

Raiz de *Ranunculus* (Dicotiledónea) - Observação da epiderme, parênquima fundamental amiláceo (reserva), endoderme, periciclo, xilema primário e floema primário. Feixes vasculares simples e alternos.

Observar a diferenciação do xilema primário.

Preparação de raízes de Monocotiledónea e de Dicotiledónea – Observar as diferenças entre as raízes dos 2 grupos.

### **Caule:**

Caules de Monocotiledónea e de Dicotiledónea (Typical Monocot e Dicot stems):

Caule de Monocotiledónea – Estrutura primária, feixes condutores colaterais fechados, rodeados por fibras de esclerênquima, dispostos em várias fiadas; observar a diferenciação do xilema primário.

Caule de Dicotiledónea – Estrutura primária, feixes condutores colaterais abertos, observar a diferenciação do câmbio interfascicular.

Caule *Ranunculus* (Dicotiledónea) - estrutura primária; feixes condutores colaterais fechados dispostos numa só camada. Observar a diferenciação do xilema primário.

Caule *Curcubita* (Dicotiledónea) - estrutura com crescimento secundário, presença de feixes abertos, bicolaterais (floema interno e externo). Verificar a existência de câmbio vascular fascicular. Observar as zonas interfasciculares. Observar no floema os elementos de tubo crivoso