

Dep. de Biologia
Faculdade de Ciências



Morfologia Vegetal: da Raiz ao Fruto

Uma viagem ao corpo da planta



Rubim Almeida

2025

NOTA INTRODUTÓRIA

Ao longo dos anos como docente sempre me apercebi que quando os alunos chegam à universidade não sabem nem imaginam o que os espera. A maior parte das vezes acordam para uma realidade que não esperavam e em que acham que na faculdade, escola, departamento, ninguém quer saber deles (sobretudo os docentes).

Por outro lado a escola não os preparou para um estudo disciplinado e com método, um auto-estudo em que é necessário investir e muito. A maior parte investe num esforço errado em que começam com o “pé esquerdo” tentando “tirar apontamentos” durante as aulas, perdendo a oportunidade de ouvir com atenção, colocar questões, eliminar dúvidas de imediato e compreender a matéria apresentada.

O pior é perceber que aquilo que antigamente se aprendia na escola, agora é matéria de estudo na universidade. É de facto difícil e muita matéria e por isso mesmo estas notas. Se ajudarem um de vocês, que seja, já estarei a ganhar!

Conteúdo

1. A Raiz: O Primeiro Passo da Planta no Solo	5
Funções da Raiz	5
Morfologia Externa	6
Anatomia da estrutura Primária	6
Crescimento Secundário	7
Tipos de Raiz	7
Casos Especiais	10
Interações Ecológicas	11
2. O Caule: O Esqueleto e a Autoestrada da Planta	11
Anatomia do Caule	11
Morfologia do Caule	12
Tipos de Caule	13
3. A Folha: A Fábrica de Energia da Planta	16
Estrutura Morfológica	17
Estruturas Acessórias	18
Forma e Nervação	19
Anatomia da Folha	21
Adaptações Ecológicas	22
4. A Flor: A Inovação Reprodutiva das Plantas com Flor	23
Estrutura da Flor	23
Simetria e Inserção	26
Inflorescências	27
5. O Fruto: A cápsula da Vida	28
Definição científica	28
Processo de frutificação	28
Estrutura do fruto	28
Funções e importância ecológica	29
Tipos gerais de frutos	29
Exemplos práticos	30
6. Conclusão	30
7. Referências Bibliográficas	31

Os Órgãos Vegetais: Da Raiz ao Fruto – Uma Jornada pelo Corpo da Planta

As plantas são organismos extraordinários, verdadeiros engenheiros da natureza. Vivem fixas ao solo, mas conseguem captar luz, água, nutrientes e até comunicar entre si. Tudo isto é possível graças à especialização dos seus órgãos vegetativos e reprodutivos. Neste percurso, vamos explorar os cinco grandes órgãos das plantas com flor: raiz, caule, folha, flor e fruto. Cada um tem um papel essencial — desde a fixação ao solo até à produção de sementes. Vamos descobrir como funcionam, como evoluíram e por que são tão importantes para a vida na Terra.

1. A Raiz: O Primeiro Passo da Planta no Solo

A raiz é o órgão vegetativo subterrâneo das plantas vasculares, originado a partir da radícula embrionária. Representa o eixo basal da planta, com funções estruturais, fisiológicas e ecológicas fundamentais. Morfologicamente, distingue-se do caule pela ausência de nós, entrenós, folhas e gemas, e pela predominância de tecidos não clorofilinos, embora algumas raízes aéreas possam conter cloroplastos, como nas orquídeas epífitas (Neuhaus, 2021).

Funções da Raiz

As raízes desempenham múltiplas funções essenciais à sobrevivência vegetal. A fixação ao substrato ocorre através do crescimento geotrópico positivo, ancorando a planta ao solo e garantindo estabilidade mecânica (Hodge et al., 2009). A absorção de água e sais minerais é realizada principalmente pelos pêlos radiculares na zona pilífera, com regulação pela endoderme e exoderme (Enstone et al., 2003). A condução de substâncias inclui hormonas, sinais de stress e agentes patogénicos, através dos tecidos vasculares (Neuhaus, 2021).



Figura 1. Início do desenvolvimento de uma raiz podendo observar-se a coifa (à esquerda) e o início do crescimento da raiz com os pêlos radiculares (=absorventes).

A raiz também pode acumular substâncias de reserva como amido, sacarose e inulina, como observado em *Daucus carota* (cenoura), *Beta vulgaris* (beterraba) e *Ipomoea batatas* (batata-doce). Além disso, raízes modificadas como os pneumatóforos permitem trocas gasosas em solos alagados, e simbioses com fungos micorrízicos e bactérias fixadoras de azoto promovem a fertilidade do solo (Sprent & James, 2007).

Morfologia Externa

A raiz apresenta zonas morfológicas distintas: a coifa protege o meristema apical e secreta mucigel, facilitando a penetração no solo. A zona meristemática contém células totipotentes que originam os tecidos primários. A zona de alongamento é responsável pelo crescimento em comprimento. Na zona de diferenciação formam-se os pêlos radiculares e os tecidos especializados. Por fim, a zona de ramificação dá origem às raízes secundárias a partir do periciclo

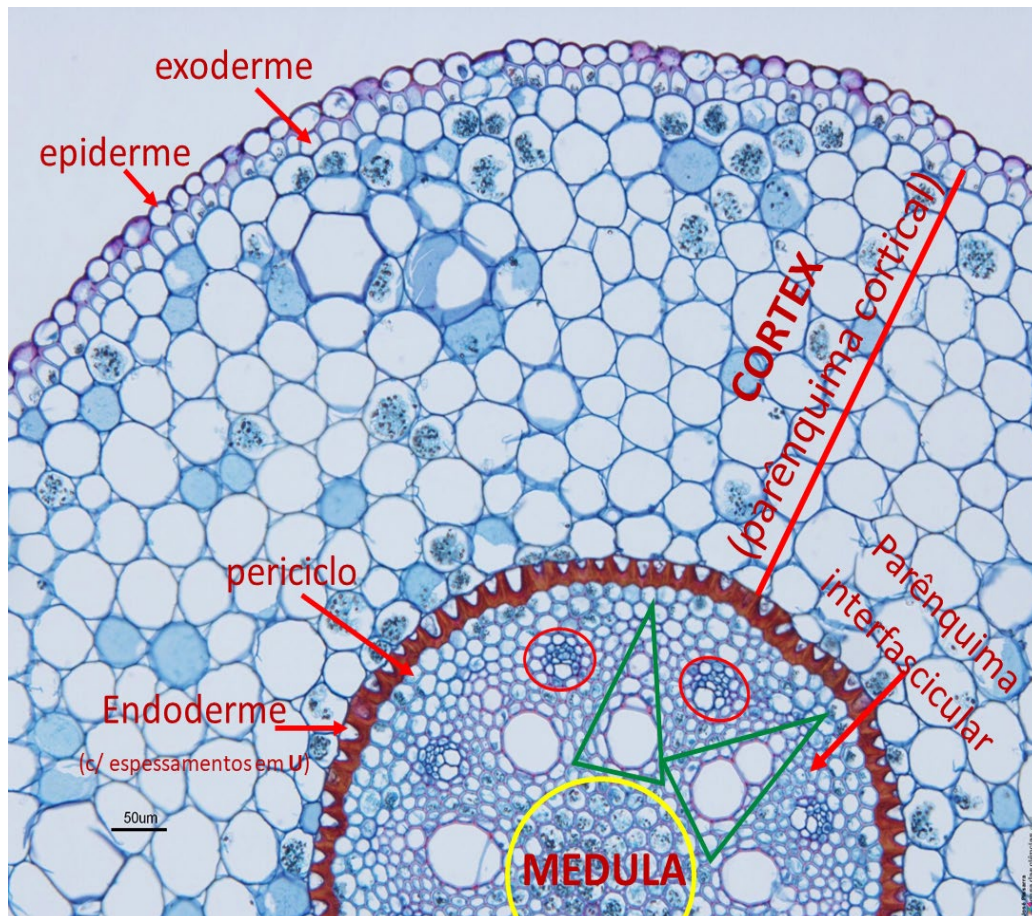


Figura 2. Corte transversal de uma raiz primária de monocotiledónea.

(Neuhaus, 2021).

Anatomia da estrutura Primária

A estrutura primária da raiz inclui a epiderme, composta por células sem cloroplastos com pêlos radiculares. O córtex é formado por parênquima com função de reserva e condução via apoplasto. A endoderme apresenta bandas de Caspary e, quando mais velhas, sobretudo em monocotiledóneas, com espessamentos em U, regulando o transporte para o cilindro central (Enstone et al., 2003). O periciclo origina raízes laterais e tecidos secundários. O xilema e o floema estão dispostos radialmente, com crescimento centrípeto (Wang et al., 2019).

Crescimento Secundário

Nas dicotiledóneas e gimnospermas, o crescimento secundário resulta da atividade dos meristemas laterais, que promovem o crescimento em diâmetro. O câmbio vascular origina xilema secundário para o interior e floema secundário para o exterior. O felogénio forma a periderme, substituindo a epiderme. Este processo permite o engrossamento da raiz e a formação de tecidos de condução e proteção adicionais (Strock & Lynch, 2020).

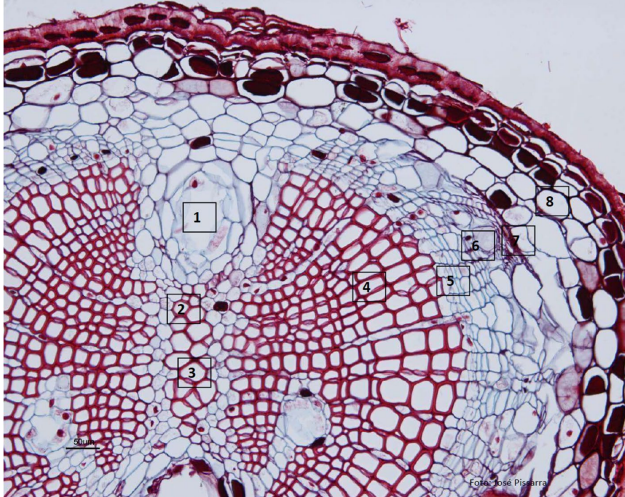


Figura 3. Crescimento secundário de uma raiz de gimnosperma

Tipos de Raiz

Quanto à origem, distinguem-se:

- Raízes aprumadas, que derivam diretamente da radícula e formam um eixo principal dominante, como em *Quercus robur*;



Figura 4. Tipos de raiz: À esquerda raiz fasciculada de monocotiledónea e à direita raiz aprumada de eudicotiledónea.

- Raízes secundárias, originadas do periciclo, como em *Phaseolus vulgaris*;
- Raízes adventícias, que se formam a partir de órgãos não radiculares, como em *Zea mays* e *Ficus benjamina* (Steffens & Rasmussen, 2016).

Quanto ao sistema radicular:

- Aprumado: com raiz principal bem desenvolvida, típico de dicotiledóneas e gimnospermas.
- Fasciculado: com raízes de igual calibre, sem raiz principal dominante, comum em monocotiledóneas como *Oryza sativa*.



Figura 5. À esquerda raízes subterrâneas, ao centro raízes aquáticas e à direita raízes aéreas (adventícias).

Quanto à situação:

- Subterrâneas (maioria das plantas),
- Aquáticas (como em *Ceratophyllum demersum*),
- Aéreas (comuns em epífitas e lianas, como em *Orchidaceae* e *Hedera helix*).

Quanto à consistência:

- Herbáceas: tenras, como em *Taraxacum officinale*.
- Lenhosas: rígidas, com crescimento secundário, como em *Fagus sylvatica*.
- Carnudas ou tuberosas: acumulam reservas, como em *Beta vulgaris* e *Ipomoea batatas*.



Figura 6. Figura 7. Raízes herbáceas (à esquerda); raízes lenhosas (ao centro).; raízes carnudas (à direita).

Metamorfoses da Raiz

As raízes podem sofrer modificações morfofuncionais profundas. As **raízes tuberosas**, como em *Daucus carota* (cenoura) e *Ipomoea batatas* (batata-doce),

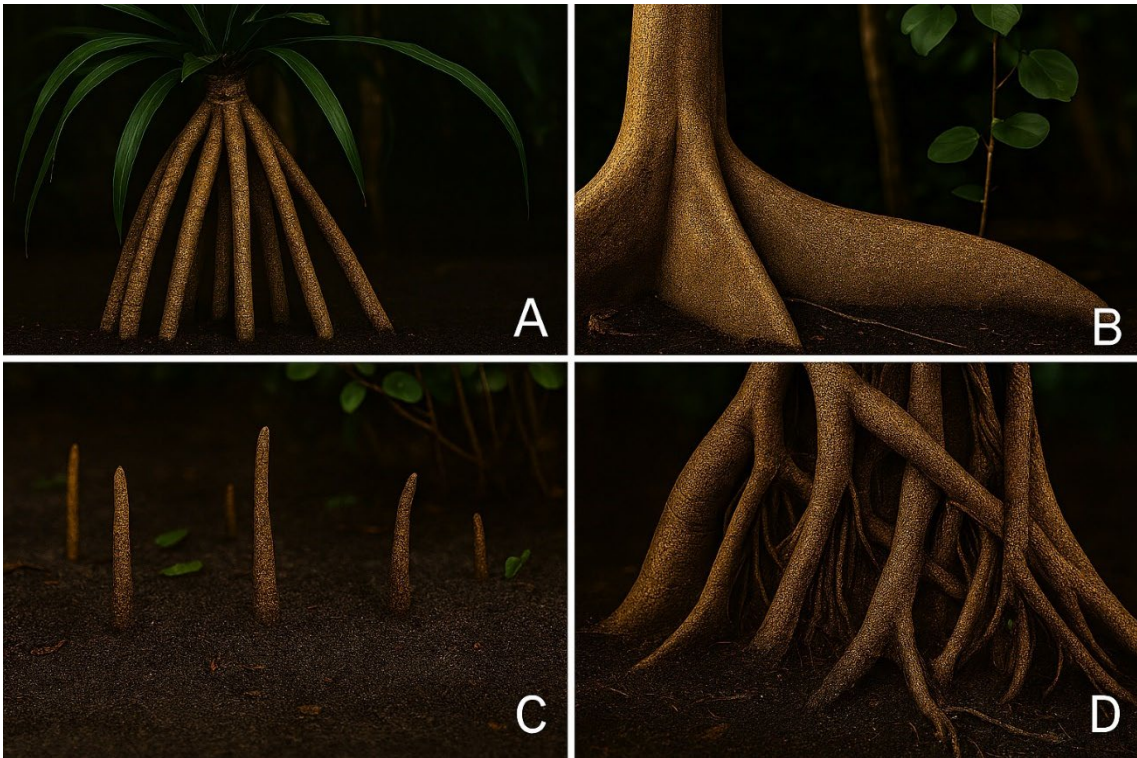


Figura 8. A) raízes escora de *Pandanus dubius*; B) Raiz tabular/escora; C) Pneumatóforos; D) Raízes estranguladoras.

são espessadas por acumulação de reservas. As **raízes escora**, como em *Pandanus dubius*, desenvolvem-se lateralmente para suporte adicional em solos instáveis. As **raízes tabulares**, comuns em árvores tropicais como *Ficus macrophylla*, são extensões laminares da base do tronco que aumentam a estabilidade. As **raízes estranguladoras**, como em *Ficus microcarpa*, envolvem o hospedeiro e podem levar à sua morte por constrição.



Figura 9. Raízes com Velâmen de **Orchidaceae**. No inset corte transversal das mesmas raízes.

As raízes aéreas com **velâmen**, como em **Orchidaceae**, possuem uma camada esponjosa que facilita a absorção de humidade atmosférica. As **raízes haustoriais**, como em *Cuscuta epithymum*, penetram em plantas hospedeiras para absorver nutrientes. Os **pneumatóforos**, como os de *Rhizophora mucronata*, são raízes modificadas que crescem verticalmente para fora do solo, permitindo a captação de oxigénio em ambientes alagados. As **raízes nodulares**, como em *Lupinus*, estabelecem simbioses com bactérias do género *Rhizobium*, promovendo a fixação de azoto (Sprent & James, 2007).

Casos Especiais

Algumas plantas apresentam redução ou ausência de raiz funcional, como *Spirodela polyrhiza*, *Utricularia inflata* e *Cuscuta epithymum*. Em *Peperomia areolata* e *Kalanchoe* sp., formam-se raízes adventícias a partir de folhas danificadas, evidenciando elevada plasticidade regenerativa (Guerrero-Campo et al., 2006).

Interações Ecológicas

As raízes estabelecem interações ecológicas complexas. As **micorrizas** são associações simbióticas entre fungos e raízes, aumentando a absorção de nutrientes e a resistência ao stress. Os **nódulos radiculares**, formados por bactérias como *Rhizobium* spp., são essenciais para a fixação de azoto em leguminosas. Algumas raízes libertam compostos **alelopáticos** que inibem o crescimento de outras plantas, influenciando a dinâmica das comunidades vegetais (Sprent & James, 2007).

2. O Caule: O Esqueleto e a Autoestrada da Planta

O caule é o eixo principal da parte aérea da planta, responsável pela sustentação dos órgãos vegetativos e reprodutivos, pela condução de água, sais minerais e produtos da fotossíntese, e pela comunicação fisiológica entre raiz e folha. Desenvolve-se geralmente de forma exógena a partir da plântula, sendo contínuo com a radícula na extremidade inferior e com a gema terminal na superior. A sua função primordial é estrutural e condutora, mas pode também desempenhar papéis secundários como reserva, propagação vegetativa, defesa e fotossíntese, dependendo da espécie e do ambiente.

Anatomia do Caule

Anatomicamente, o caule apresenta uma organização típica em três sistemas de tecidos: o **sistema dérmico**, o **sistema fundamental** e o **sistema**

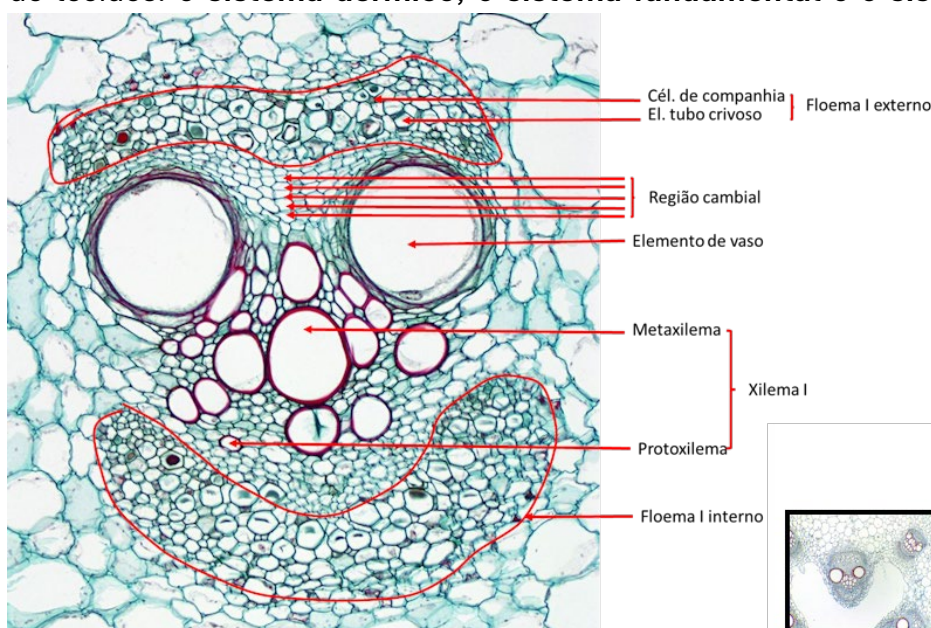


Figura 10. Corte transversal de feixe condutor de caule de eudicotiledónea com tecidos primários e secundários.

vascular. A **epiderme** constitui o revestimento externo, geralmente formada por células sem clorofila e com **cutícula**, podendo apresentar **tricomas** e **estomas** em algumas espécies jovens. O **córtex**, parte do sistema fundamental, é composto por **parênquima**, **colênquima** ou **esclerênquima** (ou combinações desses tecidos), dependendo da função e da idade do caule. O sistema vascular é formado por feixes de **xilema** e **floema**, cuja disposição pode variar entre **monocotiledóneas** e **eudicotiledóneas**, sendo colateral, bicolateral, concêntrica ou radial. Em caules com **crescimento secundário**, o **câmbio vascular** origina tecidos xilémicos (lenhosos) e floémicos, enquanto o **felogénio** forma a **periderme**, substituindo a epiderme original.

Morfologia do Caule

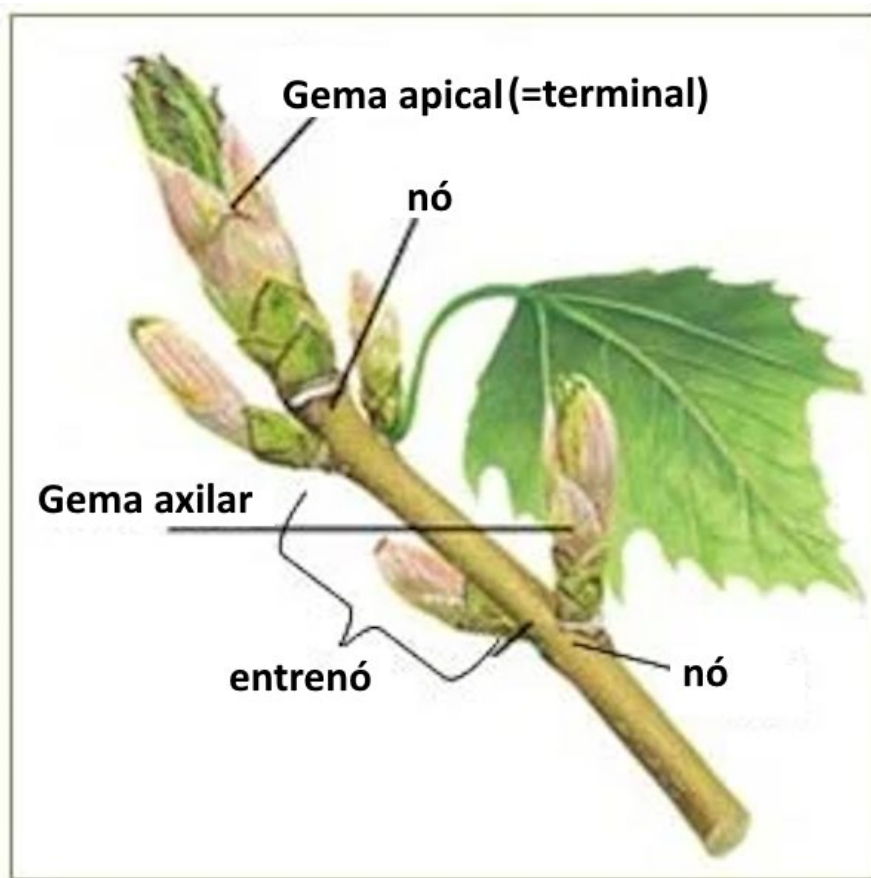


Figura 11. Organização de um caule

Morfologicamente, o caule é caracterizado pela presença de **nós** e **entrenós**. Os nós são regiões de inserção das folhas e gemas, enquanto os entrenós são os segmentos entre dois nós consecutivos. A gema terminal localiza-se no ápice do caule e é responsável pelo crescimento em comprimento, enquanto as gemas laterais, situadas nos ângulos axilares das folhas, podem originar ramos ou inflorescências. A presença de cicatrizes foliares, lenticelas e outras estruturas epidérmicas pode ser observada em caules maduros, com valor diagnóstico em botânica sistemática.

Tipos de Caule

Quanto à consistência:

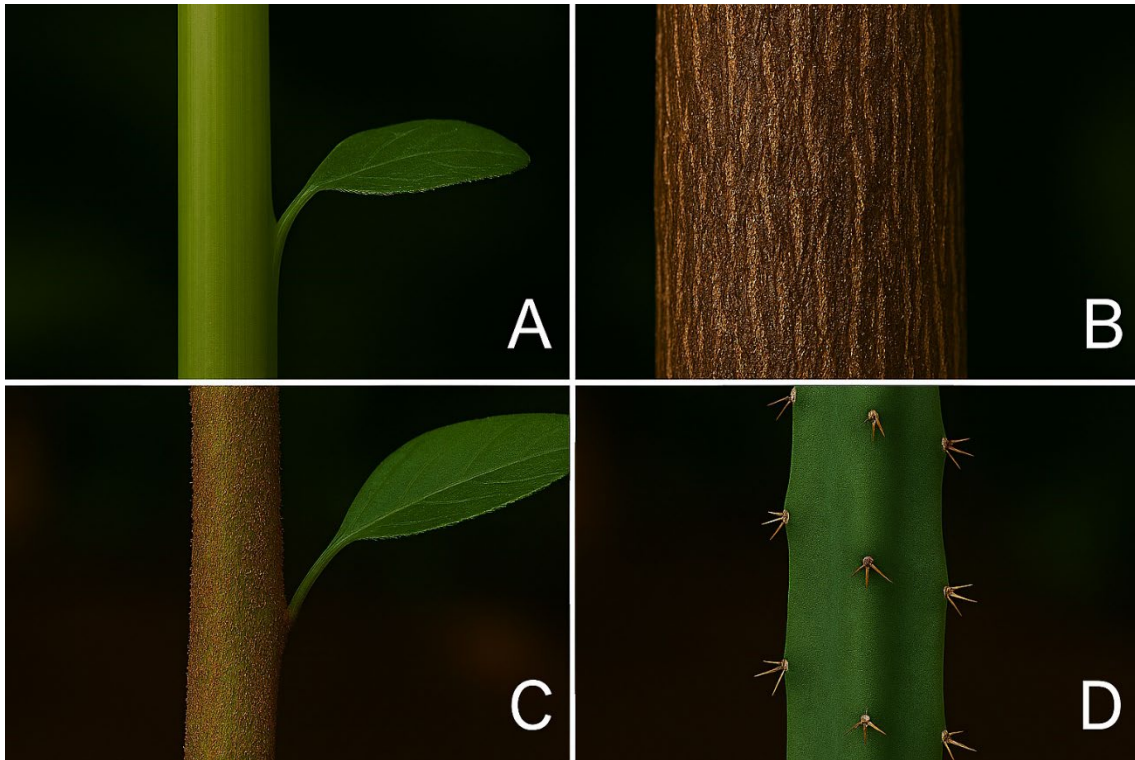


Figura 12. Exemplos de caules herbáceos (A), lenhosos (B), sufruticulosos (C) e suculentos (D).

- Herbáceos: tenros, flexíveis, sem crescimento secundário. Ex.: *Solanum nigrum*, *Taraxacum officinale*.
- Lenhosos: rígidos, com crescimento secundário e formação de madeira. Ex.: *Quercus robur*, *Fagus sylvatica*.
- Sufruticulosos: com base lenhosa e porção superior herbácea. Ex.: *Lavandula stoechas*.
- Suculentos: espessados e ricos em parênquima de reserva. Ex.: *Euphorbia trigona*, *Opuntia ficus-indica*.

Quanto ao desenvolvimento:

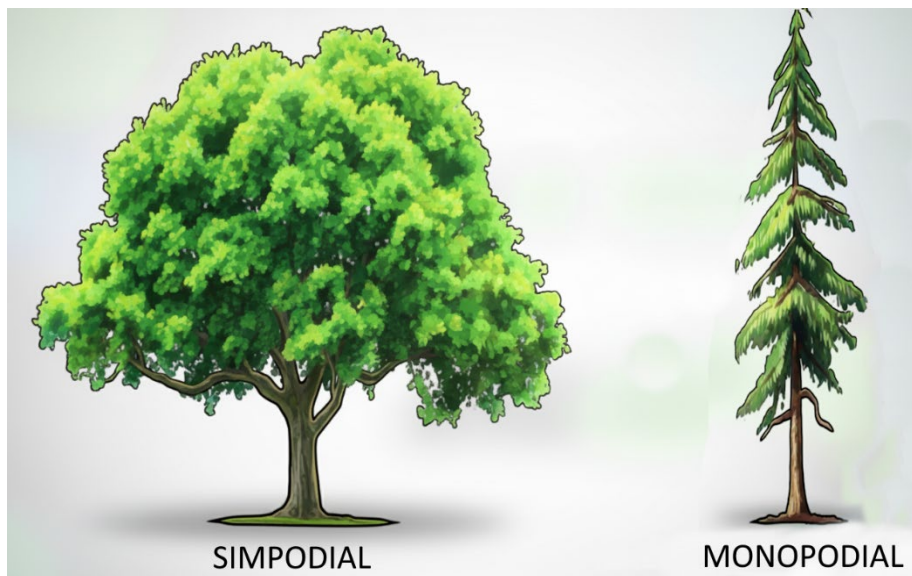


Figura 13. Esquema comparativo entre caule monopodial e simpodial

- Monopodiais: o crescimento dá-se pela gema terminal, mantendo o eixo principal dominante. Ex.: *Pinus sylvestris*, *Abies alba*.
- Simpodiais: o crescimento terminal é interrompido, sendo substituído por gemas laterais. Ex.: *Tilia cordata*, *Platanus × acerifolia*.
- Pseudomonopodiais: aparentam crescimento monopodial, mas são formados por sucessão de eixos laterais. Ex.: *Vitis vinifera*.

Quanto à forma:

- Eretos: verticais e rígidos. Ex.: *Helianthus annuus*.
- Ascendentes: inclinados, mas com tendência vertical. Ex.: *Oxalis pes-caprae*.
- Prostrados: rastejantes, paralelos ao solo. Ex.: *Trifolium repens*.
- Volúveis: enrolam-se em suportes. Ex.: *Phaseolus vulgaris*.
- Trepadores: utilizam gavinhas ou raízes adventícias. Ex.: *Hedera helix*.

MODIFICAÇÕES DOS CAULES

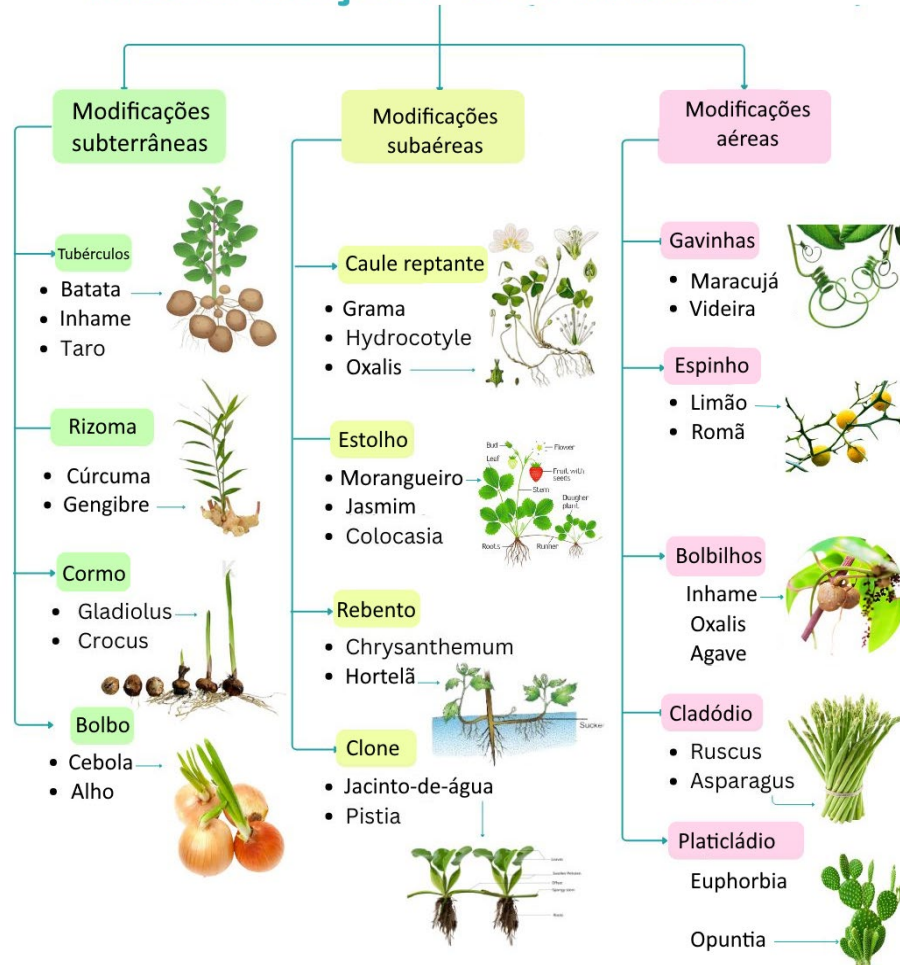


Figura 14. Tipos de caules nas plantas com flor

Quanto ao habitat:

- **Epígeos**: acima do solo. Ex.: *Rosa canina*.
- **Subterrâneos**:
 - **Rizomas**: caules horizontais. Ex.: *Zingiber officinale* (gengibre).
 - **Tubérculos**: caules espessados com gemas. Ex.: *Solanum tuberosum* (batata).
 - **Bolbos**: caules curtos com folhas modificadas. Ex.: *Allium cepa* (cebola).
 - **Turiões**: caules jovens subterrâneos. Ex.: *Asparagus officinalis* (espargos).
- **Aquáticos**: adaptados à flutuação. Ex.: *Eichhornia crassipes* (jacinto-de-água)

Entre os tipos especializados de caule:

- **Espique:** caule das palmeiras, cilíndrico e não ramificado, que eleva a copa acima do sub-bosque. Ex.: *Phoenix dactylifera* (tamareira).
- **Colmo:** caule oco das gramíneas. Ex.: *Zea mays* (milho).
- **Sarmento:** caule longo e flexível, como em *Vitis vinífera* (videira).
- **Turião:** caule subterrâneo sazonal, como em *Asparagus officinalis* (espargos).

3. A Folha: A Fábrica de Energia da Planta

A folha é um órgão lateral, geralmente laminar, que se desenvolve de forma exógena a partir do caule ou dos seus ramos, apresentando crescimento limitado e uma estrutura tipicamente dorsiventral. Esta morfologia reflete uma adaptação evolutiva altamente especializada para maximizar a captação de luz e a troca gasosa, funções essenciais para a fotossíntese e a transpiração (Sack & Scoffoni, 2013). A sua origem e diversidade morfológica são o resultado de pressões seletivas complexas ao longo da história evolutiva das plantas vasculares.

Do ponto de vista funcional, a folha desempenha um papel central na



assimilação de carbono atmosférico, através da fotossíntese, e na regulação hídrica da planta, por meio da transpiração estomática. Estas funções são facilitadas não apenas pela presença de clorofila, mas também pela disposição espacial das folhas nos ramos, pela sua forma expandida e pela organização anatômica interna (Brodrigg et al., 2007).

Figura 15. Tipos de folhas.

Estrutura Morfológica

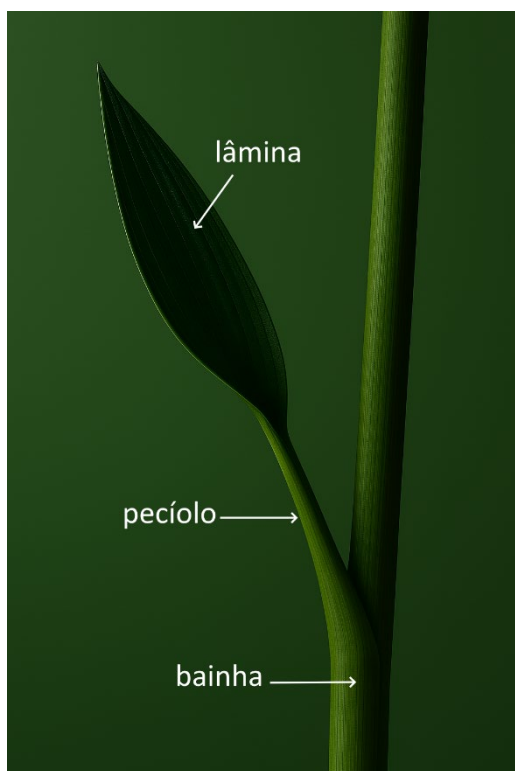


Figura 16. Estrutura de uma folha completa com bainha, pecíolo e limbo.



Figura 17. Folhas sésseis de *Uvalaria sessilifolia*

A evolução das folhas está intimamente ligada à transição das plantas para ambientes terrestres. As primeiras folhas verdadeiras surgiram em dois grandes grupos de plantas vasculares: as licófitas, que desenvolveram micrófilos — folhas pequenas com uma única nervura vascular, sem lacunas foliares — e as eufilófitas (Euphyllophyta - fetos e plantas com sementes), que desenvolveram macrófilos — folhas maiores, com ramificação vascular complexa e lacunas foliares (Boyce & Knoll, 2002). Estudos paleobotânicos e genômicos recentes sugerem que os macrófilos evoluíram independentemente em vários clados, como resposta à diminuição dos níveis atmosféricos de dióxido de carbono durante o Devónico (Beerling et al., 2001).

Morfologicamente, uma folha completa é composta por três partes principais: a **bainha**, o **pecíolo** e o **limbo**. A bainha é uma estrutura basal que envolve parcialmente o caule, sendo típica de muitas monocotiledóneas. O pecíolo é o pedúnculo que liga o limbo ao caule ou à bainha, conferindo flexibilidade e permitindo o posicionamento ideal da lâmina em relação à luz. O limbo, ou lâmina foliar, é a porção expandida da folha, onde se concentram os tecidos fotossintéticos e os sistemas de nervação (Esau, 1977). Em algumas espécies, o pecíolo pode estar ausente, originando folhas **sésseis**, ou pode assumir funções fotossintéticas, como nos **filódios** de certas espécies de *Acacia*.

Os **cladódios** e **filocládios** são estruturas pertencentes ao sistema caulinar das plantas que apresentam características

que as diferenciam das folhas, sendo geralmente considerados ramos (**macroblastos**) aplanados com função de folha. São geralmente inseridos na axila de uma folha (geralmente muito pequena) e podem produzir rebentos. Quando são os pecíolos que se especializam para ter a aparência e funções das folhas, os cladódios são frequentemente designados **filódios** como em *Ruscus*. Os **cladódios**, podem ser designados platicládios quando são caules achatados que desempenham funções fotossintéticas, como em *Opuntia*.



Figura 18. A) filódios de *Ruscus aculeatus*; B) filocládios de *Casuarina equisetifolia* (as folhas são as estruturas escamiformes amareladas que envolvem os nós); C) Cladódios (platicládios) de *Opuntia microdasys*.

Estruturas Acessórias

A presença de estruturas acessórias, como **estípulas** — apêndices laminares situados na base do pecíolo —, é comum em muitas dicotiledóneas.

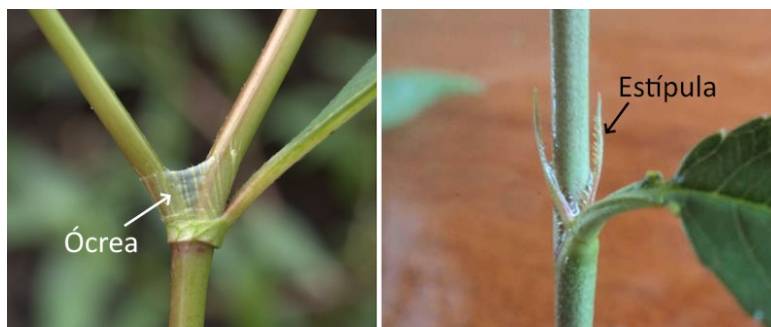


Figura 19. Exemplos de ócrea em *Persicaria maculosa* e de estípula em *Prunus*.

Estas podem assumir formas variadas e desempenhar funções protetoras ou

fotossintéticas. Em algumas famílias, como as **Polygonaceae**, as estípulas podem congregar formando estruturas tubulares denominadas **ócreas**. Outras estruturas, como a **lígula** — uma excrescência membranosa na junção entre bainha e limbo —, são características de gramíneas e têm função protetora.



Figura 20. Diferentes formas de lígula (setas) em folhas de gramíneas.

Forma e Nervação

A forma da folha (**Figura 6**) é determinada pelo contorno do limbo e pode variar amplamente entre espécies, refletindo adaptações ecológicas específicas. A base e o ápice da folha também apresentam variações morfológicas significativas, com implicações funcionais e taxonômicas. A margem foliar pode ser inteira, dentada, serrada, crenada ou lobada, influenciando a dinâmica da transpiração e a resistência mecânica da folha (Peppe et al., 2011).

As folhas podem ser simples, com um único limbo, ou compostas, com vários folíolos dispostos sobre um eixo comum (folhas pinadas) ou irradiando de um ponto (folhas palmadas). A nervação foliar pode ser penínérvea, palminérvea ou paralelinérvea, refletindo adaptações à condução de água e resistência mecânica.

A filotaxia, ou disposição das folhas no caule, pode ser alterna, oposta, verticilada, espiralada ou decussada (e muitas outras). Estes padrões influenciam a captação de luz e ventilação, sendo considerados adaptações evolutivas (Jean, 1994).

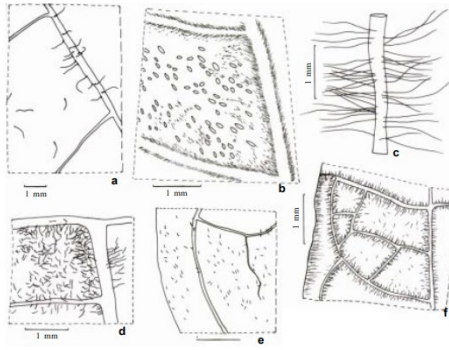


Figura 21. Alguns tipos de indumento: a) piloso; b) pubescente; c) hirsuto; d) viloso; e) pubérulo; f) hirsútulo (*Bauhinia* sp.)

O indumento foliar compreende todos os apêndices que revestem a epiderme, como tricomas simples, ramificados, glandulares, papilas e escamas. O indumento pode ser classificado como piloso, viloso, hirsuto, hípido, tomentoso, pubescente, puberulento ou lanuginoso, e desempenham funções de proteção, regulação térmica e redução da perda de água (Werker, 2000).

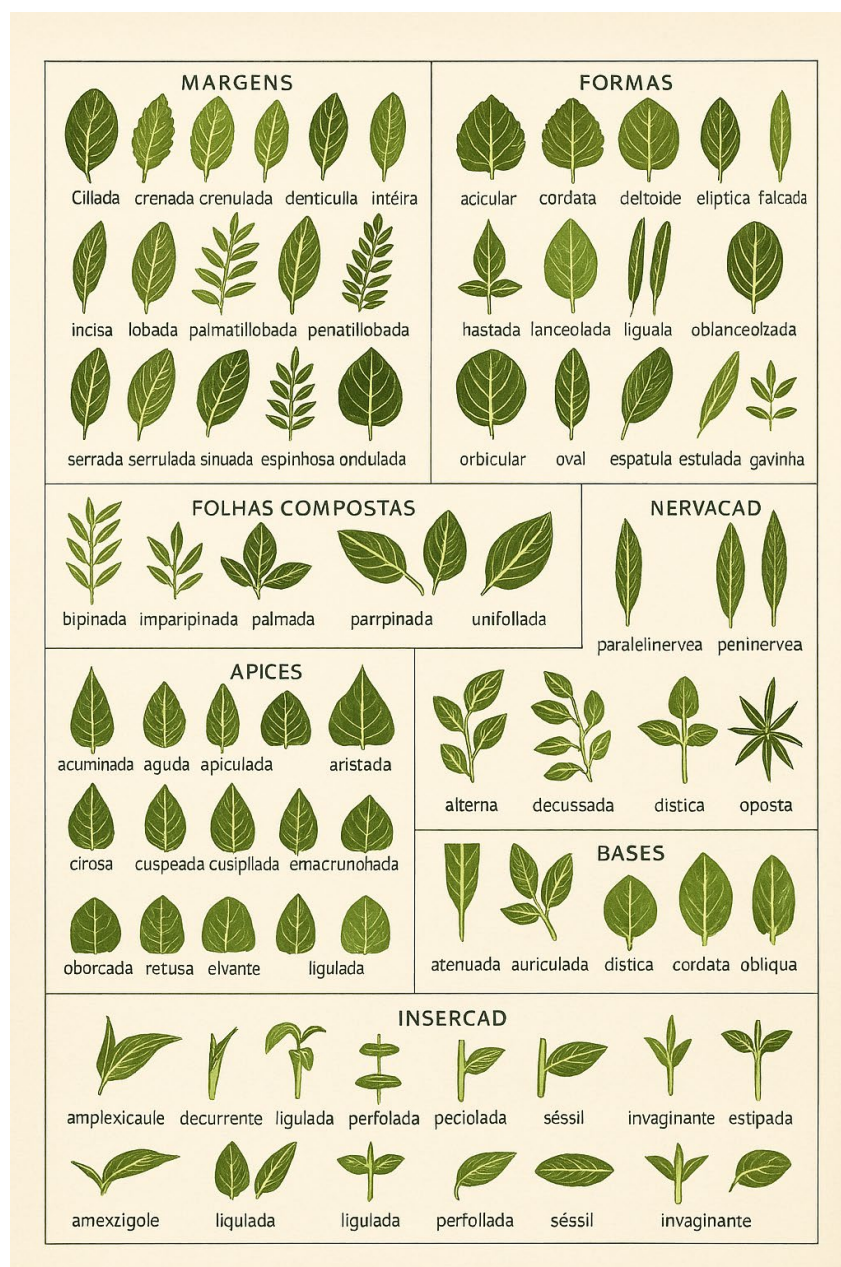


Figura 22. Formas de folhas, margens do limbo, folhas compostas e bases da folha.

Anatomia da Folha

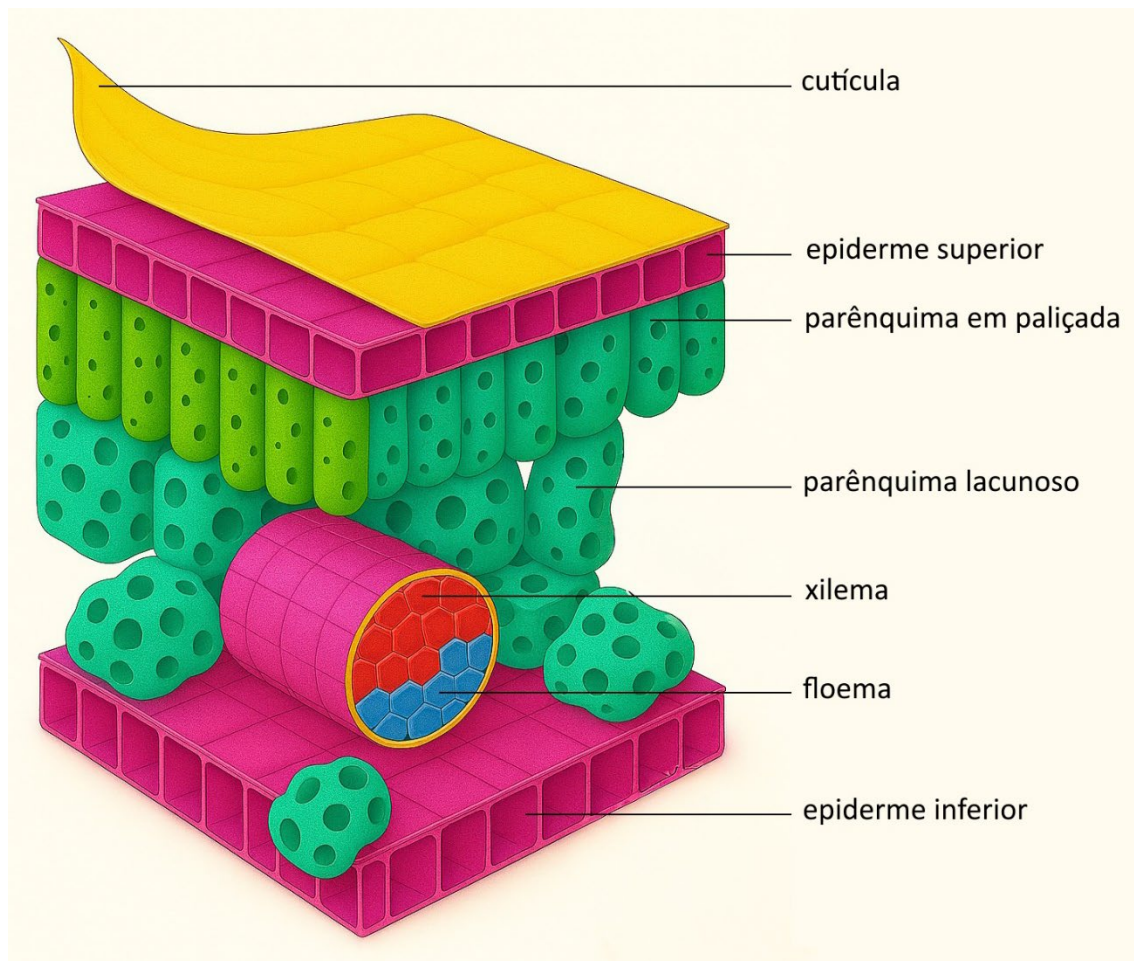


Figura 23. Constituição de uma folha mesófitica com simetria bilateral

A constituição anômica da folha inclui a epiderme, o mesófilo e os tecidos vasculares. A epiderme é formada por células sem clorofila, com cutícula espessa, e pode conter tricomas e glândulas. Os estomas, ou complexos estomáticos, são estruturas formadas por duas células oclusivas e, por vezes, células subsidiárias. Os principais tipos de complexos estomáticos incluem o **anomocítico** (sem células subsidiárias), **anisocítico** (com 3 células subsidiárias, uma das quais nitidamente inferior), **paracítico** (com duas células subsidiárias com o seu maior eixo paralelo ao maior eixo das células oclusivas), **diacítico** (com duas células subsidiárias com o maior eixo perpendicular ao maior eixo das células oclusivas) e **actinocítico** (com várias células subsidiárias dispostas em redor das células oclusivas como raios de uma roda), e regulam a troca gasosa e a transpiração (Willmer & Fricker, 1996).

O mesófilo, tecido fotossintético, pode ser diferenciado em **parênquima em paliçada** (células alongadas e ricas em cloroplastos) e **parênquima lacunoso**

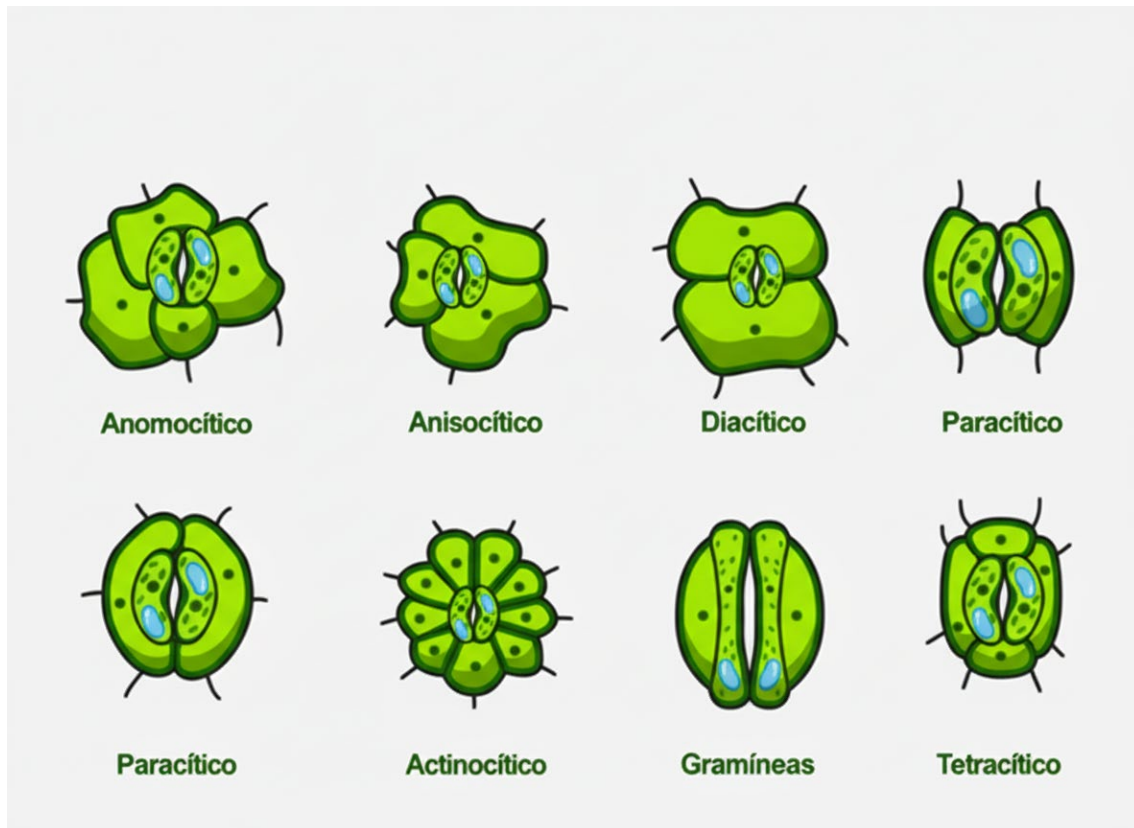


Figura 24. Principais tipos de estomas

(células arredondadas com espaços intercelulares). Os tecidos vasculares incluem xilema e floema, geralmente envolvidos por bainhas de esclerênquima.

Adaptações Ecológicas

As folhas **mesófitas** (ou **mesofíticas**) são típicas de ambientes com umidade moderada, com estrutura equilibrada e estomas em ambas as epidermes. As folhas **xerófitas** (ou **xeromórficas**) apresentam cutícula espessa, estomas escavados, mesófilo compacto e indumento denso, adaptadas a ambientes áridos. As folhas **hidrófitas** (ou **hidrofíticas**) têm cutícula reduzida, estomas apenas na epiderme superior e mesófilo com aerênquima, adaptadas a ambientes aquáticos (Fahn & Cutler, 1992).

A simetria foliar pode ser bilateral (mais comum), radial ou assimétrica. A simetria está associada à distribuição eficiente dos tecidos e à captação de luz, sendo uma inovação evolutiva com implicações ecológicas (Kaplan, 2001).

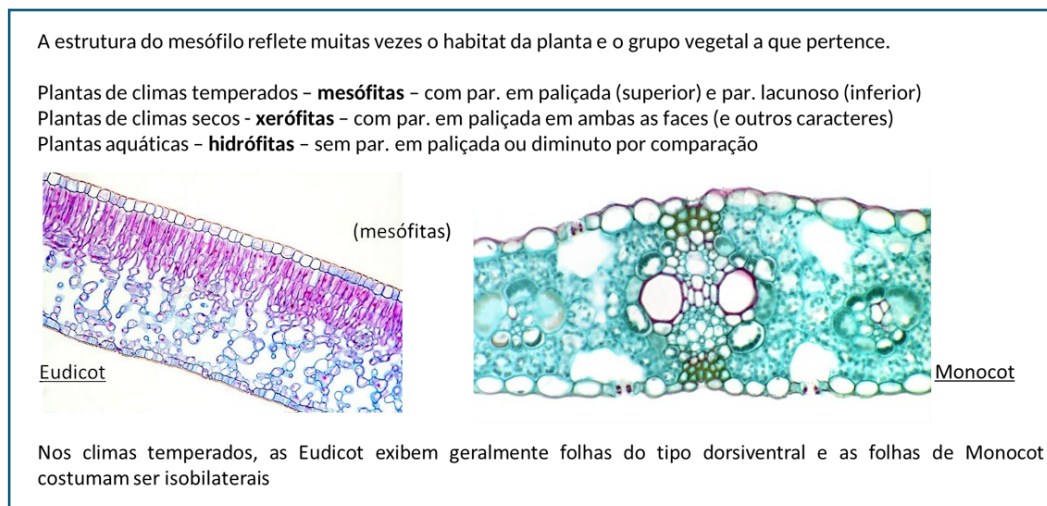


Figura 25. Folha **dorsiventral** ou **bifacial** de *Camelia* sp. e folha **isobilateral** ou **isolateral** de *Zea mays*

A diversidade estrutural da folha, tanto morfológica como anatômica, reflete a plasticidade adaptativa das plantas e constitui um dos principais indicadores da sua ecologia funcional.

4. A Flor: A Inovação Reprodutiva das Plantas com Flor

A flor é o órgão reprodutor das angiospérmicas, responsável pela produção de gâmetas, fecundação e formação do fruto e da semente. Representa uma estrutura altamente especializada, cuja morfologia e anatomia revelam adaptações complexas à polinização, dispersão e perpetuação da espécie. Do ponto de vista evolutivo, a flor constitui uma inovação determinante na radiação das plantas com flor, permitindo estratégias reprodutivas diversificadas e eficientes (Endress, 2011).

A flor pode ser definida como um ramo modificado, de crescimento limitado, que possui folhas especializadas (antófilos) denominadas peças florais, dispostas geralmente em verticilos. A sua função primordial é a reprodução sexuada, envolvendo a produção de gâmetas masculinos (nos estames) e femininos (nos carpelos), a polinização, a fecundação e o desenvolvimento do embrião. Em muitas espécies, a flor também desempenha funções ecológicas como atração de polinizadores, proteção dos órgãos reprodutivos e regulação da fenologia reprodutiva (Soltis et al., 2018).

Estrutura da Flor

Morfologicamente, a flor típica é composta por quatro verticilos: cálice, corola, androceu e gineceu. O cálice é formado por sépalas, geralmente verdes e com

função protetora. A corola é constituída por pétalas, frequentemente coloridas e odoríferas, cuja função é atrair polinizadores. O androceu é o conjunto de estames, cada um formado por antera e filete, responsável pela produção de pólen. O gineceu é o conjunto de carpelos, que podem estar livres ou fundidos, e inclui ovário, estilete e estigma, onde ocorre a recepção do pólen e a fecundação (Rudall, 2007).

O óvulo é a estrutura localizada dentro do ovário, responsável por conter o gameta feminino (oosfera) e os tecidos de suporte. É composto por tegumentos (camadas de células que delimitam o micrópilo – dois tegumentos nas angiospérmicas e um tegumento nas gimnospérmicas), nucelo, micrópilo (abertura por onde entra o tubo polínico), calaza e saco embrionário. Após a fecundação, o óvulo desenvolve-se numa semente, contendo o embrião da nova planta.

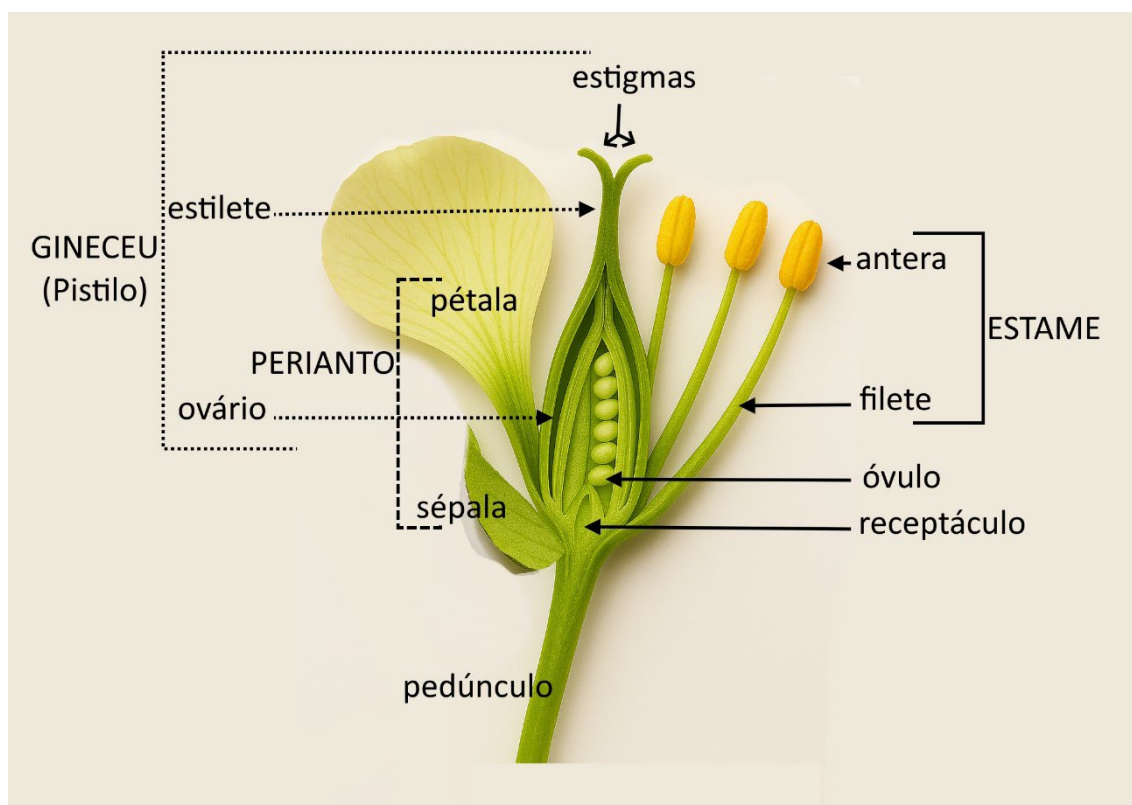


Figura 26. Morfologia floral completa de uma flor típica pentâmera, com cálice, corola, androceu e gineceu visíveis.

A macrosporogénese (formação do gameta feminino) ocorre no interior do óvulo, onde uma célula-mãe dos macrósporos sofre meiose, originando quatro macrósporos haploides. Destes, três degeneram e apenas um sobrevive, desenvolvendo-se por mitoses sucessivas até formar o saco embrionário, que constitui o gametófito feminino. Este saco contém a oosfera e outras células especializadas envolvidas na fecundação e desenvolvimento do embrião.

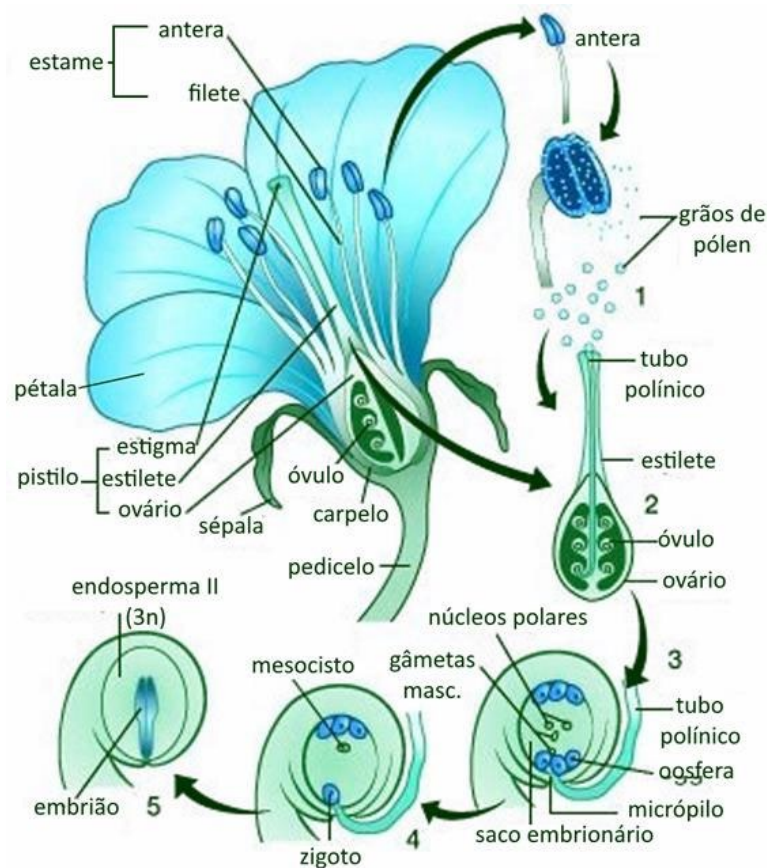


Figura 27. Sequência reprodutiva: polinização, fecundação no óvulo, formação da semente e desenvolvimento do fruto.

O ovário é a porção basal do carpelo, que contém os óvulos. A sua posição na flor pode ser hipogínica, perigínica ou epigínica, e está diretamente relacionada com o tipo de fruto que se forma. Após a fecundação, o ovário transforma-se no fruto, protegendo e auxiliando na dispersão das sementes.

Durante a reprodução, o pólen é depositado no estigma, germina e forma o tubo polínico que atravessa o estilete até alcançar o óvulo. A fecundação ocorre no interior do óvulo, onde o gameta masculino funde-se com a oosfera. Após este processo, o óvulo origina a semente e o ovário desenvolve-se no fruto, completando o ciclo reprodutivo das angiospérmicas.

O conjunto das sépalas constitui o cálice, enquanto o conjunto das pétalas forma a corola. O conjunto dos estames é designado por androceu e o dos carpelos por gineceu. O conjunto formado pelo cálice e pela corola denomina-se perianto. Em muitas monocotiledóneas, as sépalas e pétalas não se distinguem morfológicamente, sendo então designadas por tépalas, e o conjunto dos verticilos externos é chamado perigónio. Quando as sépalas assumem coloração e forma semelhantes às pétalas, diz-se que são sépalas petaloides; inversamente, quando as pétalas se assemelham a sépalas, são pétalas sepalóides. Nestes casos, também se utiliza o termo tépala para descrever essas peças florais indiferenciadas.

A microsporogénese é o processo de formação dos grãos de pólen no interior das anteras. Cada antera contém microsporângios, onde células-mãe diploides sofrem meiose, originando tétradas de micrósporos haploides. Estes micrósporos desenvolvem-se em grãos de pólen maduros, que representam o gametófito masculino das angiospérmicas.

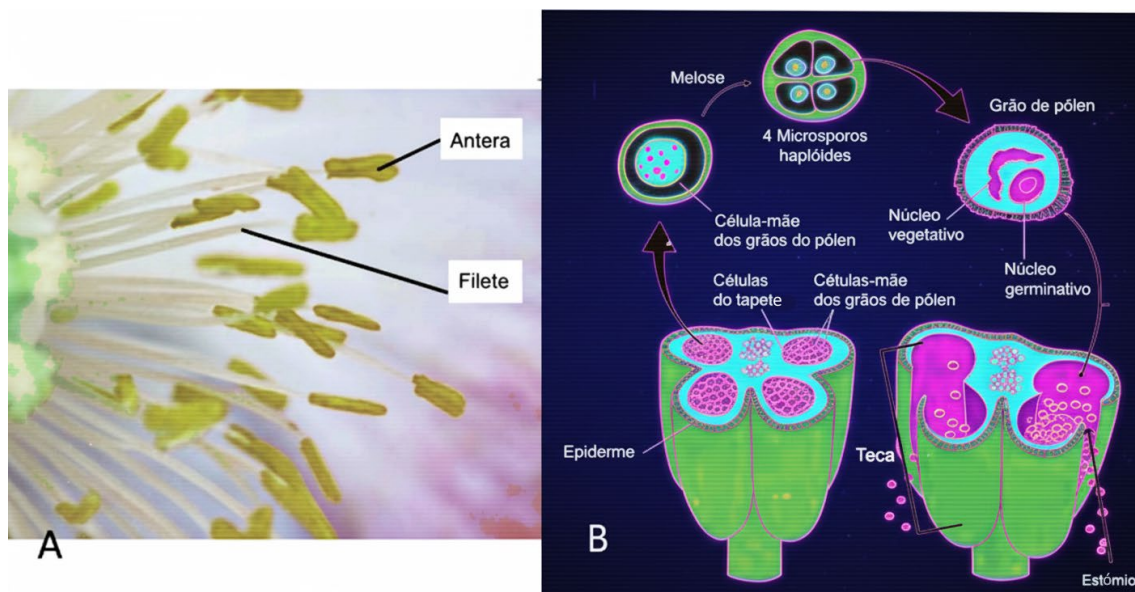


Figura 28. Estrutura do androceu: estames com filete e antera, de *Papaver* (papoila). Dependendo da espécie o número de estames pode variar entre 1 e ∞ ; Constituição de uma antera com as duas tecas, os 4 lóculos, etc.

Simetria e Inserção

As flores podem apresentar simetria radial (actinomórficas), como em *Rosa* sp., ou simetria bilateral (zigomórficas), como em *Antirrhinum majus*. A simetria floral está relacionada com o tipo de polinização e com a especialização ecológica da planta. Quanto à organização, distinguem-se flores completas (com



Figura 29. Comparação entre diferentes tipos de simetria actinomorfa. A) Actinomórfica (radial); B) sem simetria; C) Simetria zigomórfica (bilateral), em flores de diferentes espécies.

todos os verticilos) e incompletas (com ausência de um ou mais verticilos), bem como flores hermafroditas (androceu e gineceu presentes) e unissexuais (apenas um dos sexos).

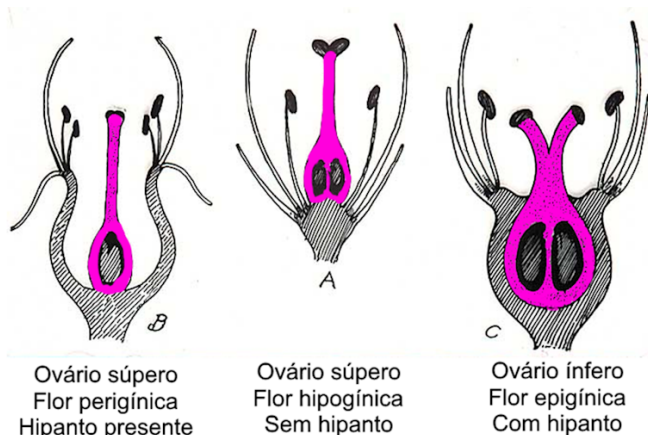


Figura 30. Tipos de inserção das peças florais em relação ao ovário: flor perigínica, hipogínica e epigínica.

A inserção das peças florais no receptáculo pode ser hipogínica (ovário súpero), como em *Ranunculus*, perigínica (ovário semi-ínfero), como em *Rosa*, ou epigínica (ovário ínfero), como em *Malus*. Esta característica tem valor taxonômico e influencia o desenvolvimento do fruto.

Inflorescências

As flores podem ser solitárias ou agrupadas em inflorescências, como capítulos, espigas, umbela ou panícula. Exemplos incluem o capítulo em *Helianthus annuus* (girassol), a espiga em *Zea mays* (milho) e a umbela em *Daucus carota* (cenoura). A diversidade de formas florais está associada à estratégia de polinização, seja ela entomófila, anemófila, hidrófila ou ornitófila.

A flor representa uma estrutura complexa e multifuncional, cuja morfologia, anatomia e desenvolvimento refletem adaptações evolutivas à reprodução

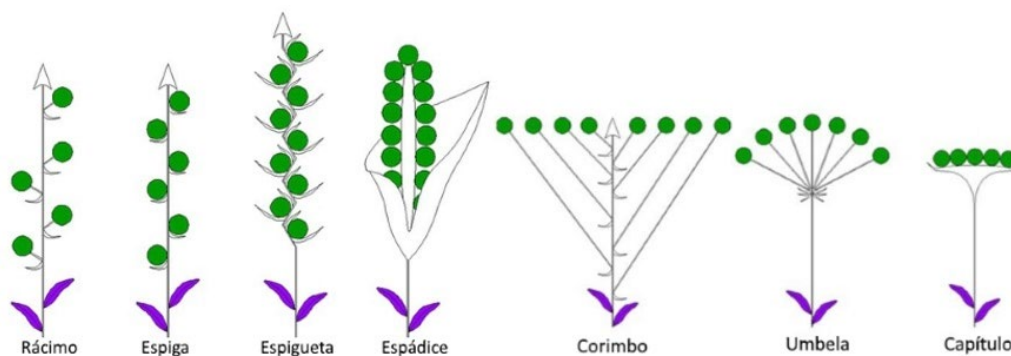


Figura 31. Principais tipos de inflorescência. **Racemo** (cacho): eixo principal com flores laterais e pedunculadas. **Espiga**: como o racemo mas flores sésseis. **Espigueta**: inflorescência básica das gramíneas, em que as flores são acompanhadas por um conjunto especial de brácteas, designadas lema e pálea. **Espádice**: trata-se de um caso particular de espiga com um eixo carnudo protegido por uma grande bráctea - espata. **Umbela**: Inflorescência em que os pedúnculos das flores partem de um só ponto do eixo. Podem ser simples ou compostas, por pequenas umbélulas. **Corimbo**: um tipo especial de racemo no qual as flores pediceladas estão inseridas em diferentes alturas no eixo principal, mas que atingem todas a mesma altura. **Capítulo**: neste tipo, o pedúnculo dilata-se no ápice de modo a formar um receptáculo mais ou menos horizontal onde se inserem as flores que são rentes, rodeadas inferiormente por brácteas (invólucro), é como uma umbela com flores sentadas sésseis sexuada. O estudo da flor permite compreender não apenas os mecanismos reprodutivos das angiospérmicas, mas também as interações ecológicas, a diversidade taxonômica e os processos evolutivos que moldaram a flora terrestre.

5. O Fruto: A cápsula da Vida

Definição científica

O fruto é uma estrutura exclusiva das angiospérmicas, resultante da transformação do ovário de uma flor após a fecundação. É o órgão que protege as sementes em desenvolvimento e, frequentemente, participa na sua dispersão. Do ponto de vista botânico, o fruto é o ovário amadurecido, podendo incluir outras partes florais associadas, como o receptáculo ou o hipanto, especialmente nos pseudofrutos.

Processo de frutificação

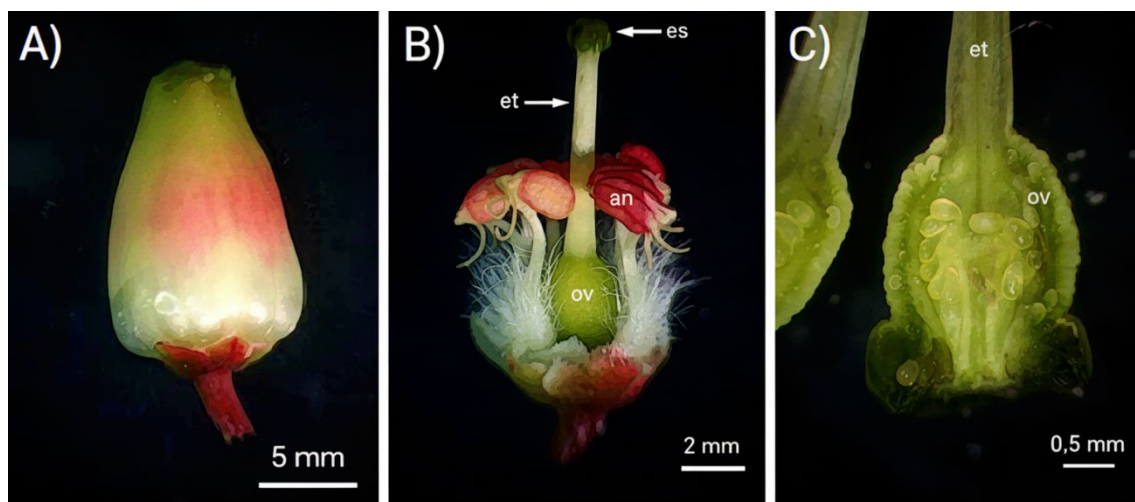


Figura 32. Figura 33. Flor de medronheiro. A) Flor fechada. B) Flor à qual foram removidas as pétalas para mostrar os diferentes órgãos. an – antera, es – estigma, et – estilete, ov – ovário. C) Secção longitudinal do gineceu. et – estilete, ov – ovário. As setas indicam os óvulos. (Fonte: Canhoto, J.M., (2021) *Fruto*, *Rev. Ciência Elem.*, V9(1):010.)

Após a polinização, o grão de pólen germina no estigma e forma o tubo polínico, que atravessa o estilete até alcançar o óvulo no interior do ovário. A fecundação ocorre quando o gâmeta masculino se funde com a oosfera, formando o embrião. O óvulo fecundado desenvolve-se numa semente, enquanto o ovário sofre modificações estruturais e fisiológicas que o transformam num fruto. Este processo pode envolver também o desenvolvimento de tecidos acessórios, como o receptáculo ou o hipanto, dependendo da posição do ovário (súpero ou ínfero).

Estrutura do fruto

A parede do ovário transforma-se no pericarpo, que pode ser dividido em três camadas distintas:

- - Epicarpo: camada externa, frequentemente formando a 'casca' do fruto.

- - Mesocarpo: camada intermediária, geralmente carnuda nos frutos suculentos.
- - Endocarpo: camada interna, que pode ser membranosa ou endurecida (como o caroço).

A combinação e o grau de desenvolvimento destas camadas determinam a consistência do fruto e influenciam a sua classificação.

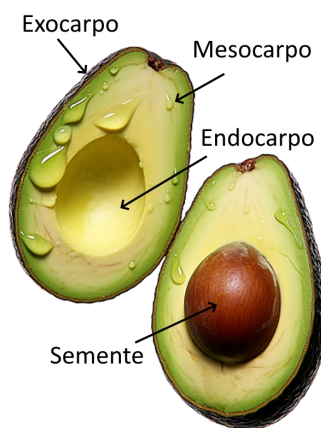


Figura 34. Estrutura do pericarpo – epicarpo, mesocarpo e endocarpo.

Funções e importância ecológica

Os frutos desempenham funções essenciais na reprodução das plantas. Protegem as sementes durante o seu desenvolvimento e facilitam a sua dispersão por diversos agentes: vento (anemocoria), água (hidrocoria), animais (zoocoria) e mecanismos próprios da planta (autocoria). Além disso, os frutos podem atrair dispersores através de cores, aromas e sabores, promovendo a colonização de novos habitats e a diversidade genética.

Tipos gerais de frutos

Os frutos podem ser classificados e organizados de muitas e diferentes formas, como se verá. De momento basta dizer que quanto à consistência os frutos podem ser:

- - Frutos **secos**: possuem pericarpo rígido ou coriáceo; podem ser deiscentes (libertam sementes) ou indeiscentes (mantêm sementes no interior).
- - Frutos **carnudos**: apresentam pericarpo suculento; geralmente indeiscentes.

Quanto à forma como a planta procede à dispersão, os frutos podem ser:

- Frutos **deiscentes**: abrem-se na maturação para libertar sementes (ex.: cápsula, vagem).

- Frutos **indeiscentes**: não se abrem espontaneamente (ex.: noz, aquénio).

Há frutos que na realidade se verá que são pseudofrutos, mas não são falsos:

- - **Pseudofrutos**: incluem partes florais além do ovário, como o receptáculo (ex.: maçã, morango).

Alguns frutos são na realidade aglomerados de frutos, conjuntos de flores (inflorescências) que produziram fruto e se fundiram:

- - **Infrutescências:** estruturas resultantes da fusão de múltiplas flores de uma inflorescência (ex.: figo, ananás).

Em última análise poderemos dizer que os frutos são todos:

Monotalâmicos – provenientes de uma única flor (Ex: cereja, tomate, etc.)

ou,

Politalâmicos – provenientes de várias flores que se fundem entre si (Ex: ananás, amora branca)

Exemplos práticos

- - Tomate: fruto carnudo, baga, ovário súpero.
- - Noz (avelã): fruto seco, indeiscente, pericarpo lenhoso.
- - Coco: fruto tipo drupa, com mesocarpo fibroso e endocarpo duro.
- - Maçã: pseudofruto tipo pomo, com origem no receptáculo.
- - Figo: infrutescência, sícone, com flores internas.
- - Ananás: infrutescência, sorose, formada por múltiplas flores.

O fruto é uma estrutura fundamental na reprodução das angiospérmicas, com grande diversidade morfológica e funcional. A sua formação, estrutura e papel ecológico refletem adaptações evolutivas que garantem o sucesso reprodutivo das plantas com flor. O estudo dos frutos permite compreender não apenas a biologia reprodutiva, mas também as interações ecológicas e a importância dos frutos na alimentação, agricultura e biodiversidade.

6. Conclusão

Das raízes subterrâneas aos frutos saborosos, cada órgão vegetal tem um papel vital. Juntos, formam um sistema integrado que permite às plantas sobreviver, crescer e reproduzir. Conhecer estas estruturas não é só fascinante — é essencial para a agricultura, a ecologia e a conservação da biodiversidade.

7. Referências Bibliográficas

- Aguiar, C. (2018). *Manual de Botânica. I. Estrutura e Reprodução*. IPB – Instituto Politécnico de Bragança.
- Beerling, D. J., Osborne, C. P., & Chaloner, W. G. (2001). Evolution of leaf-form in land plants linked to atmospheric CO₂ decline in the Late Palaeozoic era. *Nature*, 410(6826), 352–354. <https://doi.org/10.1038/35066500>
- Boyce, C. K., & Knoll, A. H. (2002). Evolution of developmental potential and the multiple independent origins of leaves in Paleozoic vascular plants. *Paleobiology*, 28(1), 70–100. [http://dx.doi.org/10.1666/0094-8373\(2002\)028%3C0070:EODPAT%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1666/0094-8373(2002)028%3C0070:EODPAT%3E2.0.CO;2)
- Brodribb, T. J., Feild, T. S., & Jordan, G. J. (2007). Leaf maximum photosynthetic rate and venation are linked by hydraulics. *Plant Physiology*, 144(4), 1890–1898. <https://doi.org/10.1104/pp.107.101352>
- Canhoto, J. M. (2021). Fruto. *Revista Ciência Elementar*, 9(1), 010.
- Coen, E. S., & Meyerowitz, E. M. (1991). The war of the whorls: Genetic interactions controlling flower development. *Nature*, 353(6339), 31–37. <https://doi.org/10.1038/353031a0>
- Endress, P. K. (2011). Evolutionary diversification of the flowers in angiosperms. *American Journal of Botany*, 98(3), 370–396. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000299>
- Enstone, D. E., Peterson, C. A., & Ma, F. (2003). Root endodermis and exodermis: Structure, function, and responses to the environment. *Journal of Plant Growth Regulation*, 21(4), 335–351. <https://doi.org/10.1007/s00344-003-0012-2>
- Esau, K. (1977). *Anatomy of seed plants* (2.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Fahn, A., & Cutler, D. F. (1992). *Xerophytes*. Gebrüder Borntraeger.
- Guerrero-Campo, J., Palacio, S., Pérez-Rontomé, C., & Montserrat-Martí, G. (2006). Effect of root system morphology on root-sprouting and shoot-rooting abilities in 123 plant species from eroded lands in North-east Spain. *Annals of Botany*, 98(2), 439–447. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl118>
- Hodge, A., Berta, G., Doussan, C., Merchan, F., & Crespi, M. (2009). Plant root growth, architecture and function. *Plant and Soil*, 321(1-2), 153–187. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9929-6>

Jean, R. V. (1994). *Phyllotaxis: A systemic study in plant morphogenesis*. Cambridge University Press.

Kaplan, D. R. (2001). The science of plant morphology: Definition, history, and role in modern biology. *American Journal of Botany*, 88(10), 1711–1741. <https://doi.org/10.2307/3558343>

Neuhaus, G. (2021). Plant Anatomy: Structure and Function of Roots. In *Plant Biology* (pp. 45–78). Springer.

Peppe, D. J., et al. (2011). Sensitivity of leaf size and shape to climate: Global patterns and paleoclimatic applications. *New Phytologist*, 190(3), 724–739. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03615.x>

Rudall, P. J. (2007). Adaptive floral structure: The evolutionary history of flower morphology. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 153(2), 147–158. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2007.00698.x>

Sack, L., & Scoffoni, C. (2013). Leaf venation: Structure, function, development, evolution, ecology and applications in the past, present and future. *New Phytologist*, 198(4), 983–1000. <https://doi.org/10.1111/nph.12253>

Spjut, R. W. (1994). *A systematic treatment of fruit types*. Memoirs of the New York Botanical Garden, 70, 1–182.

Sprent, J. I., & James, E. K. (2007). Legume evolution: Where do nodules and mycorrhizas fit in? *Plant Physiology*, 144(2), 575–581. <https://doi.org/10.1104/pp.107.100413>

Steffens, B., & Rasmussen, A. (2016). The physiology of adventitious roots. *Plant Physiology*, 170(2), 603–617. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01360>

Strock, C. F., & Lynch, J. P. (2020). Root secondary growth: An unexplored component of soil resource acquisition. *Annals of Botany*, 126(2), 205–218. <https://doi.org/10.1093/aob/mcaa058>

Wang, H., Wang, Z., & Dong, X. (2019). Anatomical structures of fine roots of 91 vascular plant species from four groups in a temperate forest in Northeast China. *PLOS ONE*, 14(5), e0215126. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215126>

Werker, E. (2000). Trichome diversity and development. *Advances in Botanical Research*, 31, 1–35. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(00\)31003-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(00)31003-9)

Willmer, C., & Fricker, M. (1996). *Stomata*. Springer Science & Business Media.