

MORFOLOGIA DA RAIZ DE PLANTAS COM SEMENTES



Marcílio de Almeida
Cristina Vieira de Almeida

(Coleção Botânica, 1)

**MARCÍLIO DE ALMEIDA
CRISTINA VIEIRA DE ALMEIDA**

**MORFOLOGIA DA RAIZ DE PLANTAS
COM SEMENTES**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “Luiz de Queiroz”
Departamento de Ciências Biológicas
Laboratório de Morfogênese e Biologia Reprodutiva de Plantas
InVitroPalm Consultoria, Estudo e Desenvolvimento Biológico
ESALQTec Incubadora Tecnológica**

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Almeida, Marcílio de

Morfologia da raiz de plantas com sementes [recurso eletrônico] / Marcílio de Almeida e Cristina Vieira de Almeida. -- Piracicaba: ESALQ/USP, 2014.

71 p. : il. (Coleção Botânica, 1)

Modo de Acesso: Word Wide Web

Disponível em: http://www.esalq.usp.br/biblioteca/EBOOK/morfologia_raiz.html

ISBN: 978-85-86481-32-1

1. Morfologia vegetal 2. Raiz 3. Fanerógamas I. Almeida, C. V. de II. Título

CDD 582.04

A447m

AUTORES

MARCÍLIO DE ALMEIDA: Bacharel em Ciência Biológicas pela Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Campus Rio Claro, Mestre em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP), Doutor em Botânica pelo Instituto de Biociências (IB) da Universidade de São Paulo (USP), Livre Docente pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP) e Professor Associado de Morfologia Vegetal no Departamento de Ciências Biológicas (ESALQ/USP).

CRISTINA VIEIRA DE ALMEIDA: Bacharel em Ciência Biológicas pela Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Campus Rio Claro, Mestre em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP), Doutora em Fisiologia Vegetal pela UNESP/Rio Claro, com Pós-doutorado na ESALQ/USP em Biotecnologia e Associação Microrganismos/Plantas. Diretora de Pesquisa e Desenvolvimento da Empresa *InVitroPalm* Consultoria, Estudo e Desenvolvimento Biológico Ltda., empresa associada à ESALQTec Incubadora Tecnológica na ESALQ/USP – Piracicaba/SP.

APRESENTAÇÃO

O estudo da Morfologia Vegetal abrange a descrição das formas e estruturas dos órgãos constituintes das plantas, oferecendo subsídios para melhor compreender as estratégias adaptativas das mais variadas espécies e seus diferentes habitats. É uma Ciência básica da Botânica que fornece dados essenciais para a classificação dos grupos vegetais, as funções de seus órgãos e sistemas, adaptações e biodiversidade, além de prover conhecimentos fundamentais para estudos das formas de propagação das plantas. Do ponto de vista evolutivo, é importante destacar que a conquista do ambiente terrestre pelas plantas somente foi estabelecida com a “divisão de tarefas”, sendo o desenvolvimento dos sistemas subterrâneos, responsável não somente por sua fixação ao solo, como também, pela obtenção de água e sais minerais. A arquitetura do sistema aéreo para a captura de luz solar, e consequente síntese orgânica, modificaram gradualmente a sobrevivência das plantas. Somente após o desenvolvimento das flores e sementes foi possível a plena conquista do ambiente terrestre, conferindo a grande variabilidade das espécies atuais. Sendo assim, acreditamos que conhecer as “estratégias adaptativas” dos vegetais, distinguindo as diferenças morfológicas existentes nas mais variadas espécies, nos permitirá compreender os resultados dos processos de seleção natural, que garantem a sobrevivência e permanência dos vegetais na Terra. Esta “Coleção Botânica” é resultado de um projeto elaborado desde 2006, onde o objetivo principal é divulgar as informações adquiridas ao longo de nossa carreira de Biólogos, acreditando que, compartilhar nossos conhecimentos seja a melhor maneira de nos recompensar por nosso trabalho, afinal, saber e não divulgar nos tornaria totalmente inábeis. Essa Coleção Botânica, abordará as estruturas que constituem os vegetais: Raiz, Caule, Folha, Flor, Inflorescência, Fruto e Semente. Para sermos eficazes e pensando nessa e nas próximas gerações, publicamos essa Coleção on-line, ponderando que nos dias atuais, a aprendizagem móvel atinge comunidades variadas que envolvem usuários por meio da aplicação de novos ambientes de e-learning. Nossa experiência, somada ao contato diário com estudantes, pesquisadores e empresas Biotecnológicas, nos conduziram ao uso dessa ferramenta de aprendizagem que certamente, ampliará os acessos às nossas informações.

Sendo assim, essa Coleção Botânica está disponível gratuitamente para você acessá-la ou imprimir-la parcial ou totalmente, desde que você gentilmente, faça a citação bibliográfica dessa obra. Esperamos com a elaboração deste trabalho, enriquecer seus conhecimentos em Botânica.

Excelente leitura para você!!!!

Os autores

Alcançamos êxito no que construímos com nosso trabalho, quando nos mantemos fiéis a nós mesmos e aos nossos princípios alicerçados na família, e só assim, não seremos corrompidos pelos atalhos da vida, que nos conduzem à falsas e efêmeras vitórias!!!

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos aqueles que os estimularam a concluir esta obra, considerando o apoio recebido de seus verdadeiros amigos, em momentos de extrema fragilidade demonstrando com suas atitudes que são pessoas efetivamente verdadeiras e fundamentais em suas vidas.

Agradecemos imensamente o apoio irrestrito que recebemos da MSc Gabriela Ferraz Leone e da Bióloga Rafaella Zanetti Dias, que não mediram esforços para nos apoiar e ajudar em todas as fases de conclusão desta obra.

Um agradecimento inestimável a Dra. Katherine Batagin Piotto e a Dra. Erika Mendes Granner, pelo apoio e preciosa revisão do texto.

Aos nossos filhos Carolina, Denis, Livia e Francisco um particular obrigado, não só por fazerem parte de nossas vidas, mas por se unirem a nós em todos os momentos de vitórias e fragilidades.

Aos funcionários da Biblioteca Central da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”: Márcia Regina Migliorato Saad, Silvio Douglas Bacheta, Alexandre Nasser Fidelis e Eliana Maria Garcia, pelo apoio, incentivo e orientações fundamentais para a publicação dessa obra.

Profa. Dra. Deborah Yara dos Santos e ao Biólogo Danilo Soares Gissi, agradecemos pelo estímulo e sugestões, assim como agradecemos ao Técnico José Anibal Zandoval por nos disponibilizar material vegetal para composição deste trabalho.

Agradecemos a Prof. Nasaré Vieira Nogueira pelo apoio constante e pela força proativa nos momentos de cansaço e desânimo, assim como o fez a Sra. Marley Placeres Vieira que incondicionalmente, e mesmo a distancia, nos encorajara sempre.

Particularmente a empresa InVitroPalm agradece à ESALQ Tec Incubadora Tecnológica e à USP pela oportunidade de realização deste trabalho, desenvolvido em parceria com o Laboratório de Morfogênese e Biologia Reprodutiva de Plantas.

Por fim, um “muito obrigado” especial, àqueles que direta e indiretamente nos estimularam a retomar esta obra, iniciada em 2006, transformando um projeto inicial de um único livro, em uma “Coleção Botânica”, constituída por ora, em cinco volumes, tornando esse trabalho, ainda mais recompensador!!!!

SUMÁRIO

RAIZ	13
I. CLASSIFICAÇÃO DAS RAÍZES QUANTO À ORIGEM	21
1. RAÍZES COM ORIGEM EMBRIONÁRIA: TÍPICAS	21
2. RAÍZES COM ORIGEM NÃO EMBRIONÁRIA: ADVENTÍCIAS	22
II. CONSTITUIÇÃO DA RAIZ	25
1. COIFA	26
2. REGIÃO LISA	27
3. REGIÃO PILÍFERA	27
4. REGIÃO SUBEROSA	30
III. CLASSIFICAÇÃO DAS RAÍZES QUANTO AO AMBIENTE	33
1. RAÍZES SUBTERRÂNEAS	33
2. RAÍZES AQUÁTICAS	35
3. RAÍZES AÉREAS	38
IV. CLASSIFICAÇÃO DAS RAÍZES QUANTO A FUNÇÃO	44
1. RAÍZES TUBEROSAS	44
1.1. RAÍZES TUBEROSAS AXIAIS	44
1.2. RAÍZES TUBEROSAS FASCICULADAS	46
2. RAÍZES ESCORA	47
3. RAÍZES TABULARES	48
4. RAÍZES RESPIRATÓRIAS	53
5. RAÍZES ESTRANGULADORAS	56
6. RAÍZES SUGADORAS	62
7. RAÍZES GRAMPIFORMES	65
V. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	71

RAIZ

A formação do sistema radicular e da parte aérea é resultante de processos fisiológicos e morfológicos gerados na germinação da semente. Em função disso, iniciaremos esse capítulo descrevendo sucintamente a germinação¹, sendo que os detalhes da morfologia das sementes serão abordados no Volume V desta Coleção Botânica, completando assim, as informações básicas para seu conhecimento em Morfologia das Plantas com Sementes.

O processo de germinação é decorrente de uma série de eventos que caracterizam a primeira fase do desenvolvimento de um novo indivíduo a partir do crescimento do embrião, alojado nas sementes maduras das Espermatófitas². Tudo começa após a hidratação da semente, que ativa as vias metabólicas, iniciando o crescimento do eixo embrionário, o qual será nutrido pelo endosperma (ou albúmen) que disponibiliza a reserva da semente para o embrião pelos cotilédones (folhas primordiais dos embriões das Espermatófitas).

Após o intumescimento da semente, a germinação passa a ser visível a partir do momento que a radícula (raiz primordial do eixo embrionário) emerge e se desenvolve em raiz primária fixando a planta ao substrato. Um modelo típico para compreender o desenvolvimento inicial de uma nova planta é a germinação do feijão, uma espécie de Angiosperma com dois cotilédones (Eudicotiledônea), onde é facilmente evidenciado o início do desenvolvimento do eixo hipocótilo-radícula⁴ (figuras 1 e 2), seguido pelo epicótilo, que corresponde ao meristema apical caulinar do embrião, localizado acima dos cotilédones e a partir de seu crescimento surge a plúmula⁵ (caule e folhas primárias).

¹**Germinação:** fase inicial do desenvolvimento de um novo indivíduo a partir de uma semente, de um esporo, ou de uma gema.

²**Espermatófitas:** plantas que produzem sementes (Gimnospermas e Angiospermas).

³**Endosperma** (albúmen): tecido de reserva de natureza haploide nas gimnospermas e triploides nas Angiospermas, que pode ser mantido na amêndoa da semente ou absorvido, armazenado nos cotilédones e disponibilizado por este(s) ao embrião durante a germinação.

⁴**Eixo hipocótilo-radícula:** Costuma-se empregar esse termo para se referir à região embrionária do hipocótilo e da radícula, uma vez que é bastante difícil perceber onde é a região limítrofe entre eles.

⁵**Plúmula:** porção do jovem ramo acima do(s) cotilédone(s). Primeira gema de um embrião.

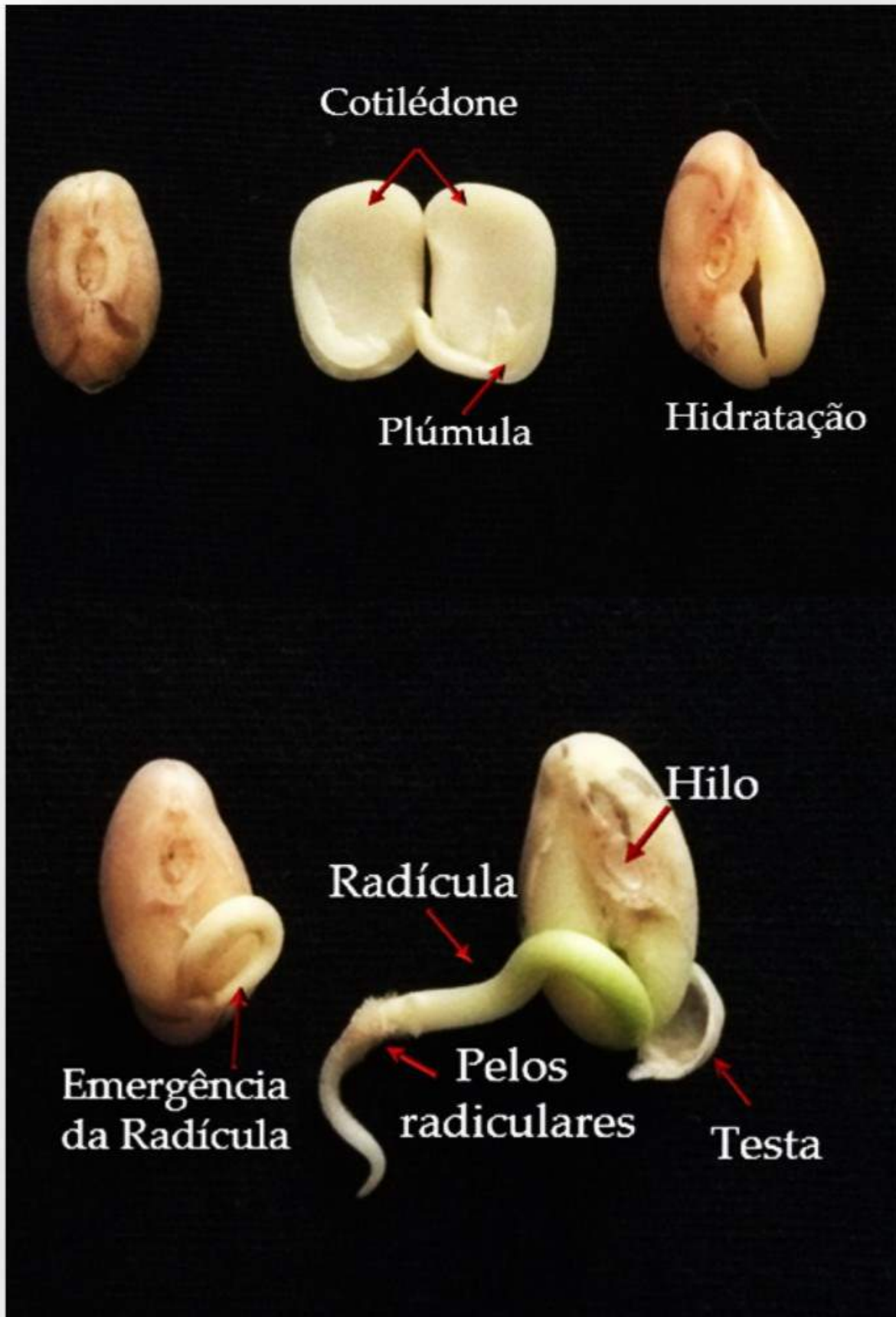


Figura 1 — Fases iniciais da germinação do feijão até a emergência da radícula

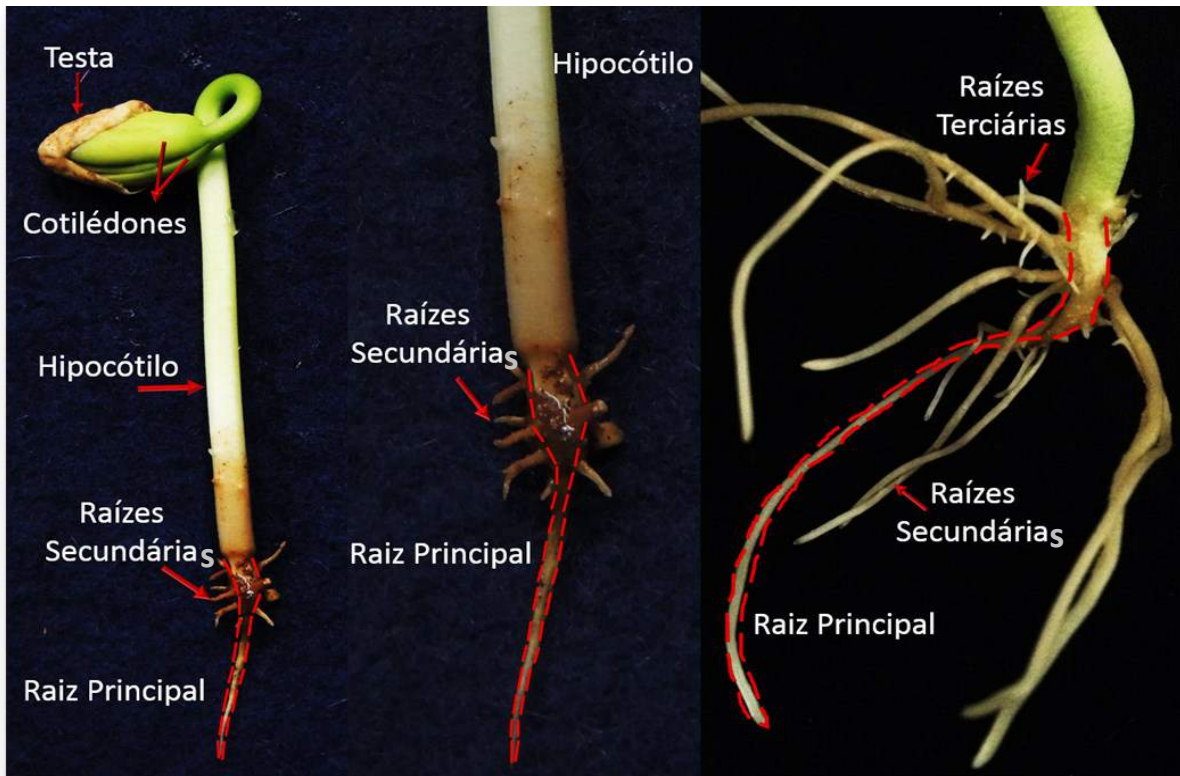


Figura 2 — Plântula ou *seedling* de feijão evidenciando o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea

O desenvolvimento da radícula formará o sistema radicular axial ou pivotante típico das Eudicotiledôneas (figura 3).

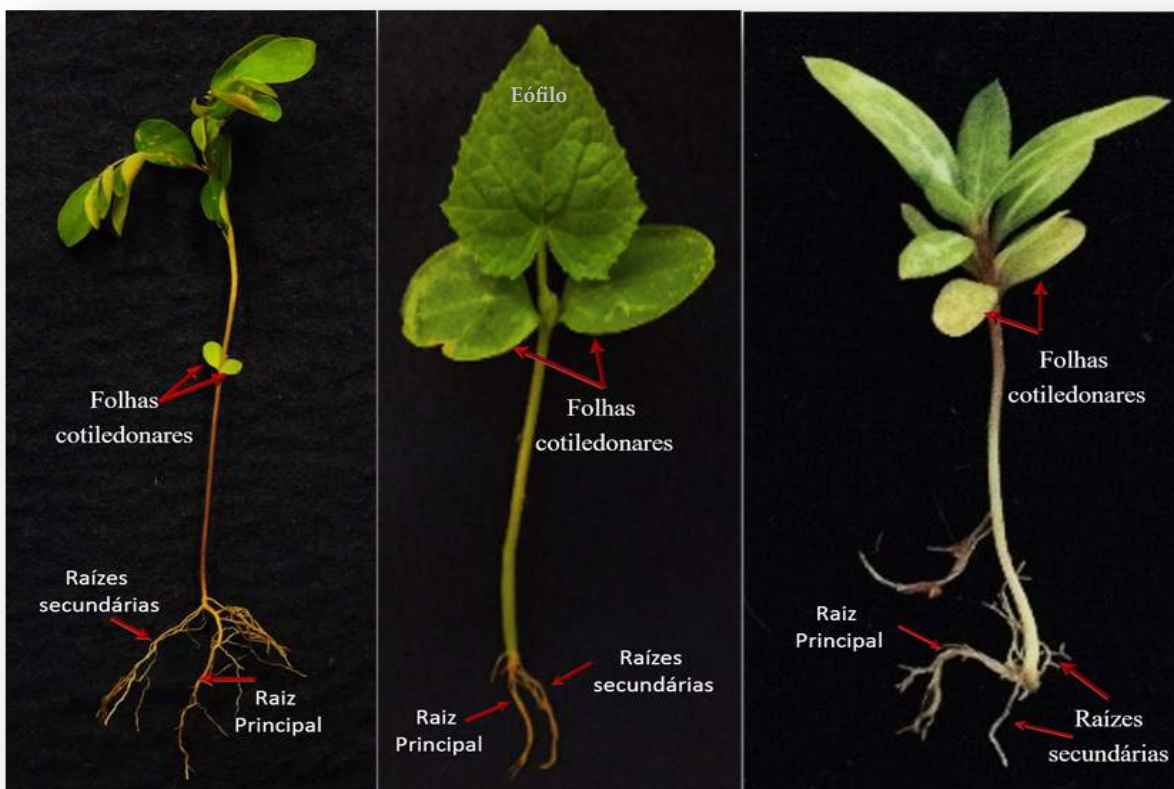


Figura 3 — Plântulas com sistema radicular pivotante ainda com a presença de cotilédones

A partir deste momento é possível distinguir o eixo embrionário, constituído pela radícula, hipocótilo e epicótilo. É importante que você saiba que a região do epicótilo na maioria das Eudicotiledôneas, só se torna evidente após a abertura dos cotilédones, como pode ser observado na germinação de outra espécie de Eudicotiledônea, o chuchu (figura 4).

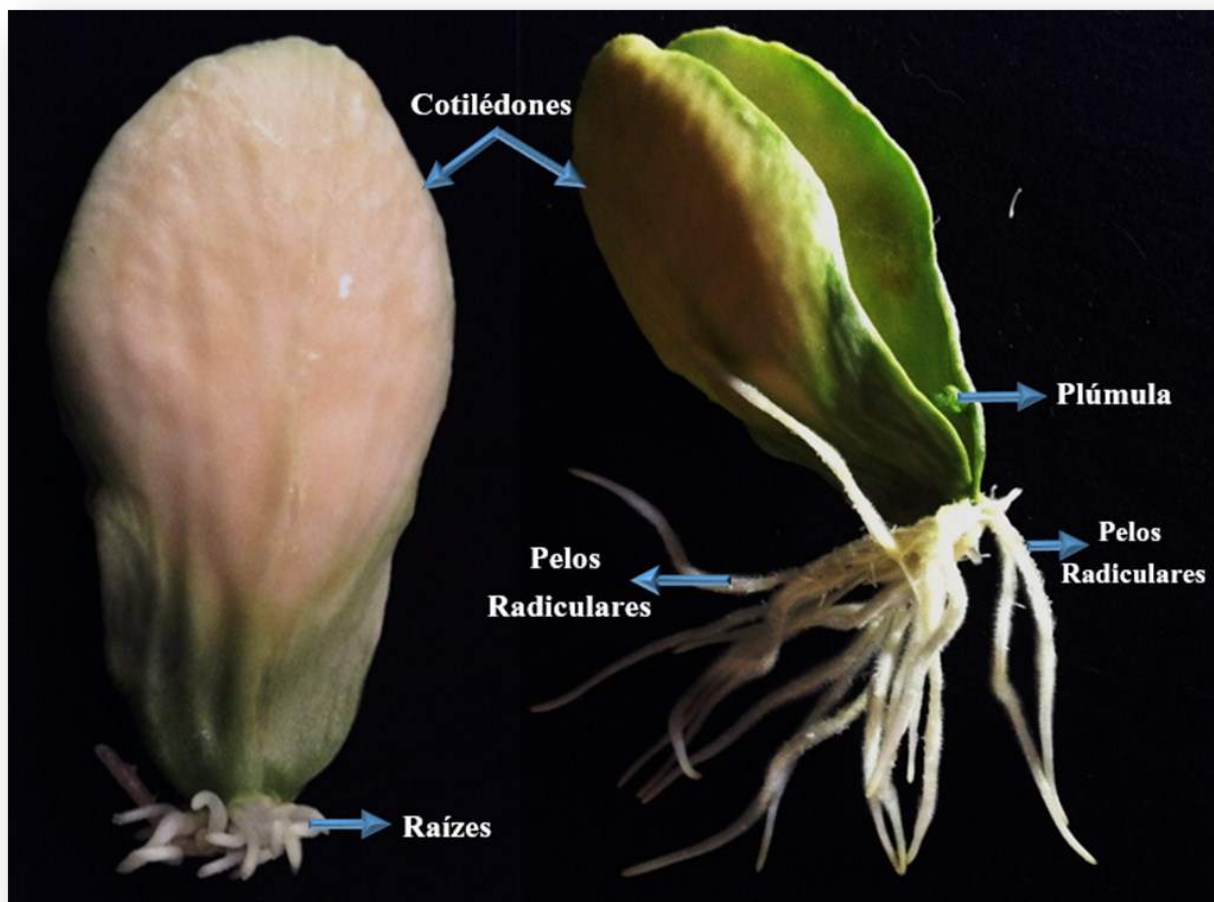


Figura 4 — Semente de chuchu (Eudicotiledônea) em início de germinação evidenciando o desenvolvimento do epicótilo após a abertura dos cotilédones

Observe agora outro modelo típico de germinação, que ocorre nas Monocotiledôneas (Angiospermas com um único cotilédone) como o milho (figura 5), onde após a emissão da radícula surge o coleóptilo (capa protetora do epicótilo) e posteriormente, formam-se as raízes adventícias na região do colo ou coleto que podem crescer simultaneamente à radícula formando um sistema radicular fasciculado. Nas Monocotiledôneas, a radícula não se desenvolve suficientemente para formar o sistema radicular pivotante (figura 6).

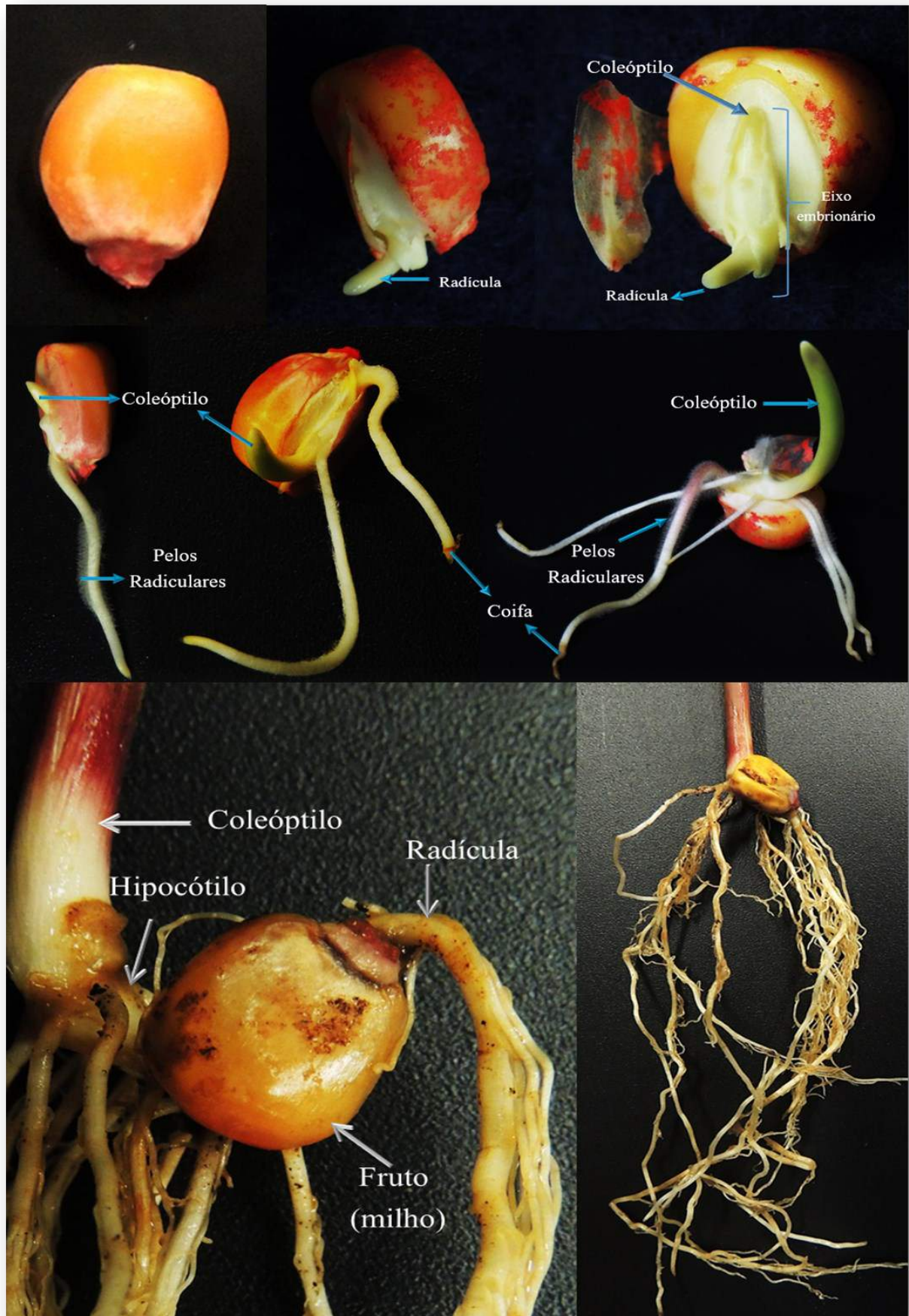


Figura 5 — Fases do desenvolvimento da plântula de milho (Monocotiledônea). Detalhe para o crescimento inicial da radícula, acompanhado por raízes adventícias com origem no hipocó-



Figura 6 — Sistema radicular adventício das Monocotiledôneas

Não se preocupe!!!! Todos esses termos: colo, coleto, radícula, pivotante ou fasciculada, serão devidamente definidos nos itens que se seguem.

Após as fases primordiais da germinação, a jovem plantinha, agora designada plântula ou *seedling*, aos poucos será capaz de produzir e distribuir a energia necessária para o seu desenvolvimento por meio da fotossíntese, realizada pelas folhas e obtenção de água e nutrientes do substrato, pelo sistema radicular (figura 7). Ainda nesta fase, os cotilédones das Eudicotiledôneas, após exaurir a reserva do endosperma, perdem a função, atrofiam e caem. A semente do milho (Monocotiledônea) permanece em contato com o solo, junto ao colo durante o desenvolvimento da plântula, e o cotilédone permanece na semente até esta exaurir todas suas reservas.



Figura 7 - Plântula de Eudicotiledônea (A) e Monocotiledônea (B). Círculo: grão de milho e cotilédone

O número de cotilédones (figura 8) é variável nas Espermatófitas, podendo ser único, nas Angiospermas Monocotiledôneas (milho, arroz, trigo, sorgo); dois, nas Eudicotiledôneas (feijão, soja, laranja, mamona, abóbora, amendoim) e variar de 4 a 27, nas Gimnospermas (pinheiros, ciprestes, araucárias, cicas).

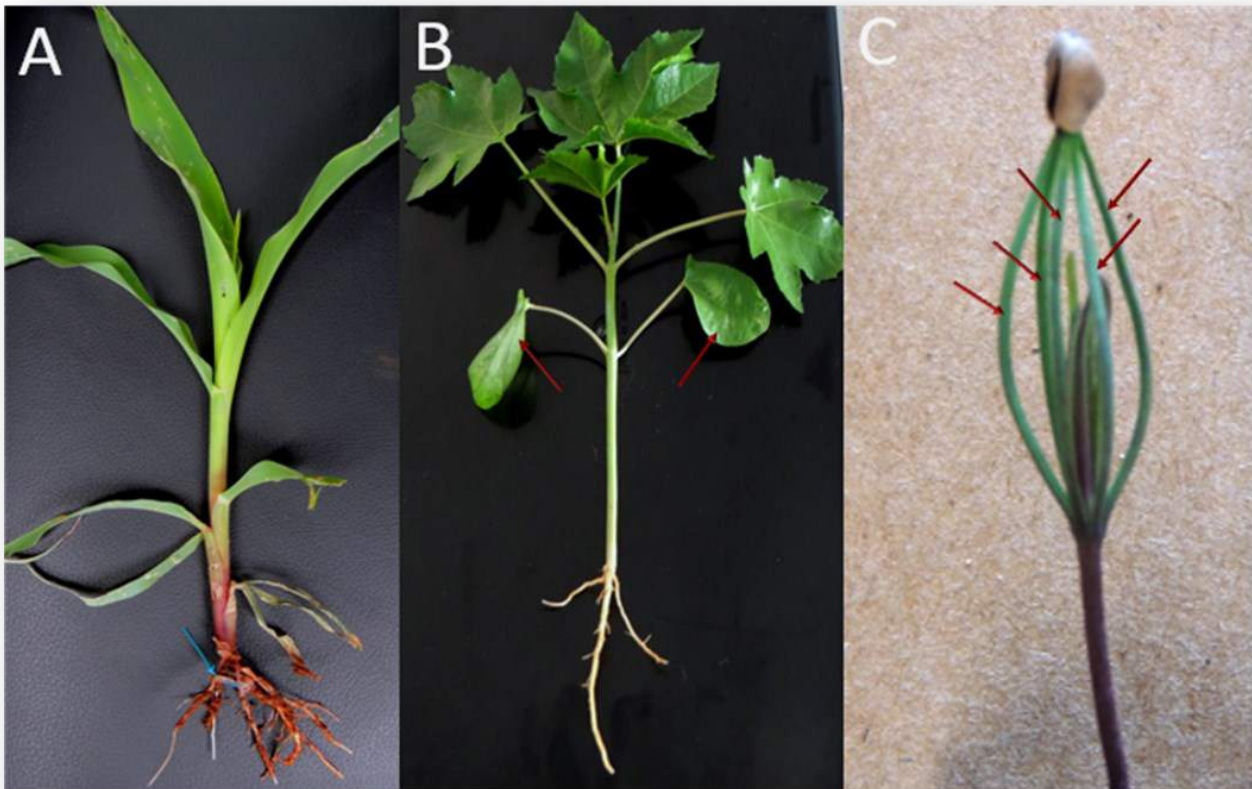


Figura 8 — Número de cotilédones em diferentes grupos de Espermatófitas. A: Milho representando as Monocotiledôneas, evidenciando cotilédone único no interior do fruto e semente (seta azul); B: Mamona representando as Eudicotiledôneas, com 2 cotilédones (setas vermelhas); C: Pinheiro representando as Gimnospermas com mais de dois cotilédones (setas vermelhas)

Agora que expusemos sucintamente como se inicia o desenvolvimento das plantas, vamos descrever seus órgãos vegetativos, iniciando com as raízes, onde você vai adquirir conhecimentos de sua classificação quanto à origem, constituição, as diferenças que apresentam de acordo com o ambiente e suas principais funções.

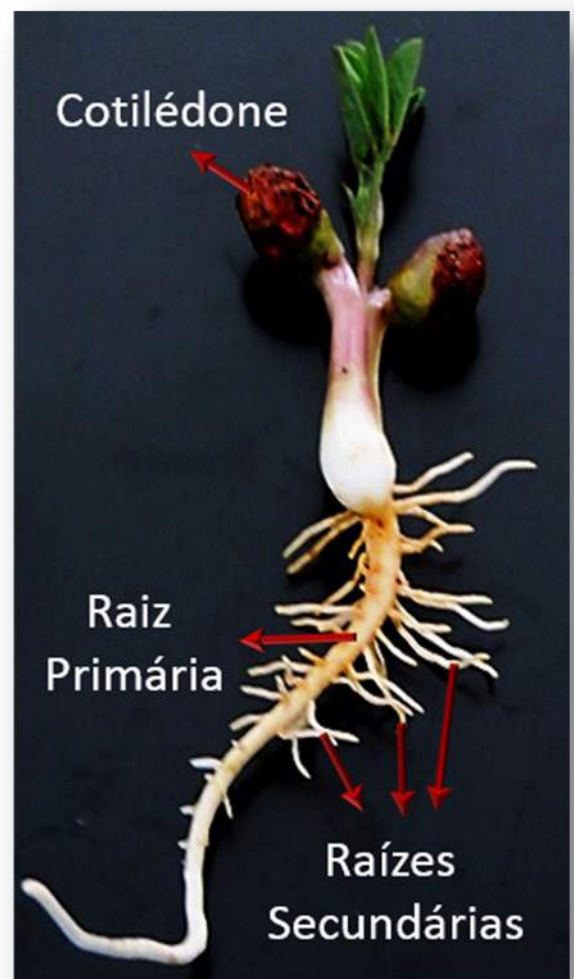
As raízes são estruturas fundamentais nas diferentes espécies vegetais, geralmente constituem o sistema subterrâneo e são conduzidas em direção ao solo, por apresentarem **geotropismo positivo**, ou seja, seu crescimento é orientado pela ação da gravidade. É um órgão comumente aclorofilado e não segmentado, pois são desprovidas de nós e consequentemente não desenvolvem folhas, exceto em casos específicos e raros, onde algumas plantas apresentam *raízes gemíferas*, assim chamadas por apresentarem **gemas**, assunto que será abordado no capítulo de caule. Dois tipos básicos de raízes podem ser observados nas espécies vegetais, e sua distinção é feita de acordo com sua origem, que pode ser embrionária e não embrionária.

I. CLASSIFICAÇÃO DAS RAÍZES QUANTO À ORIGEM

1. RAÍZES COM ORIGEM EMBRIONÁRIA: TÍPICAS

Originam-se no polo radicular embrionário, que dará origem à *radícula* que, por sua vez continuará seu desenvolvimento até formar a *raiz primária (raiz eixo)*, de onde surgem ramificações ou *raízes secundárias*, que formarão as terciárias, que formarão as demais ramificações), determinando assim, o **sistema radicular pivotante ou axial** (figura 9), na maioria das Espermatófitas, exceto nas Monocotiledôneas.

Figura 9 — Desenvolvimento de raiz típica de origem embrionária. Amendoeira dando origem ao sistema radicular axial ou pivotante, evidenciando a raiz eixo ou primária e as ramificações secundárias



A ramificação de uma raiz típica ocorre de forma endógena (no interior do órgão) a partir de divisões das células de um tecido interno chamado **periciclo**, que formam novas células em direção à superfície, originando o meristema apical da raiz lateral, que crescerá até atingir o exterior, rompendo os tecidos da raiz que estão se ramificando. O conjunto da raiz primária e suas ramificações (raízes secundárias, terciárias...) formará o *sistema radicular pivotante ou axial*.

É importante que você saiba que todas as raízes formadas a partir da ramificação de uma raiz típica, também serão típicas, e assim sucessivamente para as suas ramificações.

2. RAÍZES COM ORIGEM NÃO EMBRIONÁRIA: ADVENTÍCIAS

Essa designação é atribuída às raízes com origem a partir do caule, de folhas ou de qualquer outra parte do vegetal, que não seja a raiz primária ou suas ramificações. Do conjunto de raízes adventícias surge o *sistema radicular fasciculado* (figura 10).



Figura 10 — Desenvolvimento de raiz adventícia com origem não embrionária em cebolinha verde (seta branca) e alho porro (seta vermelha)

Ao se comparar a origem dos dois tipos de raízes, típicas e adventícias, pode-se identificar os grupos Eudicotiledôneas e Monocotiledôneas, respectivamente (figura 11).

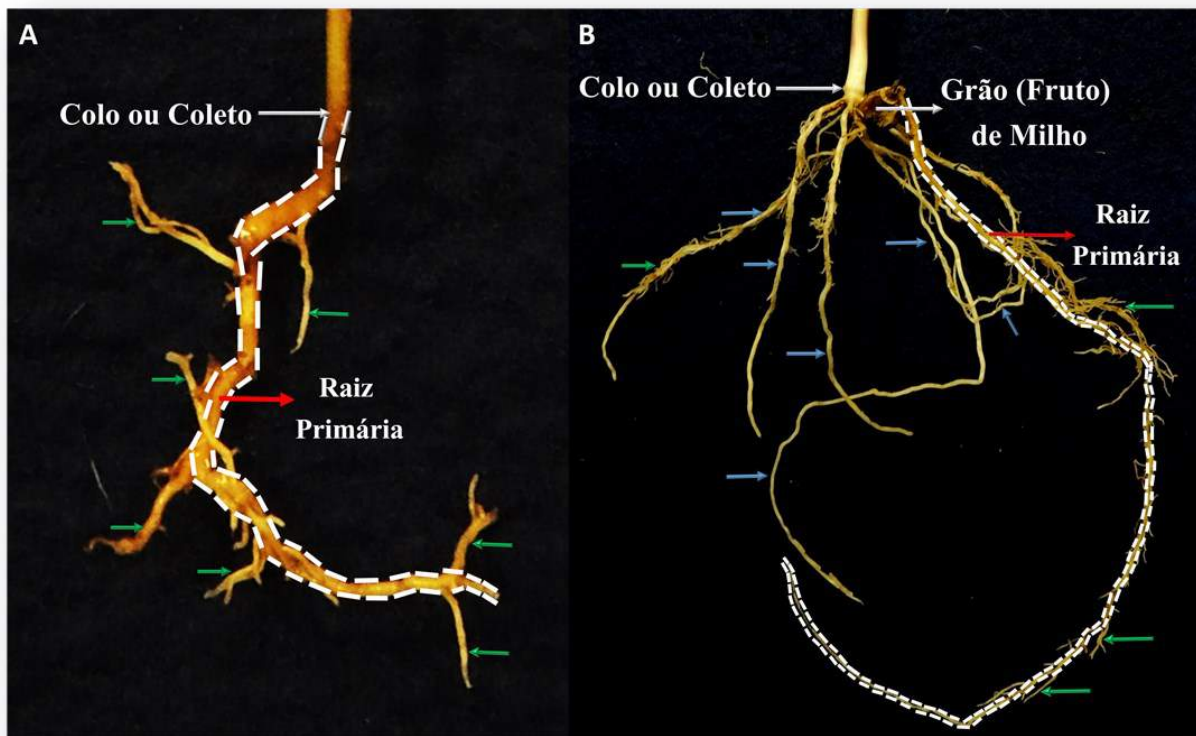


Figura 11 — Linhas tracejadas = raiz primária com origem a partir da radícula do embrião em A: Eudicotiledônea (sistema radicular pivotante); e em B: Monocotiledônea (sistema radicular fasciculado). Setas azuis = Raízes adventícias com origem caular; Setas verdes: raízes secundárias

Destaca-se que em todas as Monocotiledôneas, em decorrência do crescimento somente inicial ou mesmo atrofia da raiz primária, o sistema radicular é formado prioritariamente por raízes adventícias que se originam a partir da base caular e do hipocótilo, porém, todas as Espermatófitas, quando propagadas, ou seja, multiplicadas assexuadamente (não via semente), seja pela mergulhia aérea (alporquia), mergulhia ou estaquia, apresentarão raízes adventícias (figuras 12 e 13).



Figura 12 — Desenvolvimento de raízes adventícias em Eudicotiledôneas propagadas por estaquia



Figura 13 — Detalhe da formação de raízes adventícias na estaca de manjerição

Inúmeros são os exemplos de plantas onde os processos de estaquia são comuns: roseiras, eucaliptos, abacateiro, limão-cravo, acerola, goiaba, café, boldo, manjerição, violeta, amoreiras, entre outras.

Você saberá agora, como as raízes são constituídas, e quais as funções de cada uma de suas estruturas.

II. CONSTITUIÇÃO DA RAIZ

Uma raiz observada a partir do ápice em direção ao hipocótilo é basicamente constituída por: coifa, região lisa ou de crescimento, região pilífera ou de pelos radiculares e região suberosa ou de ramificação (figura 14).

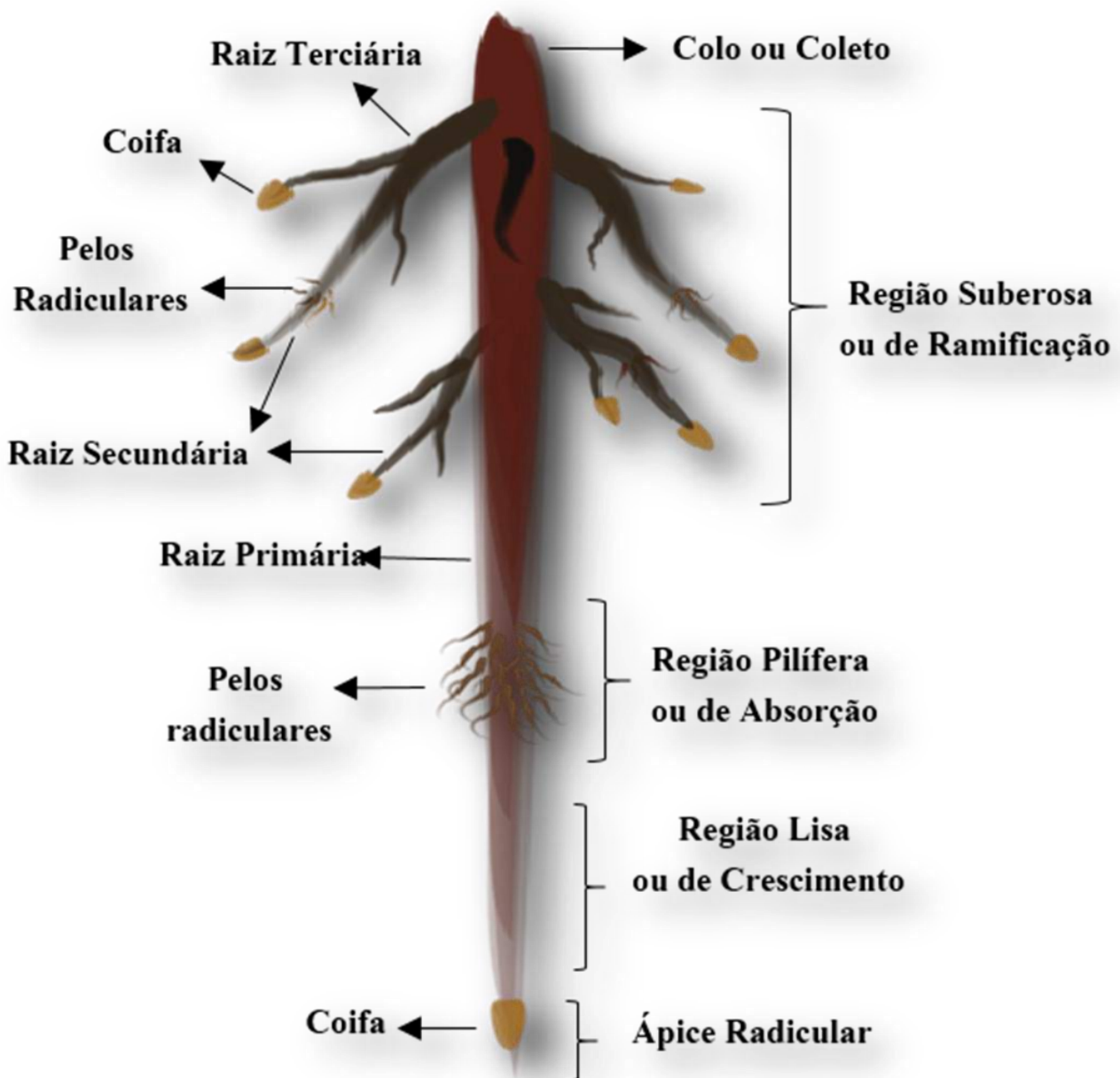


Figura 14 — Representação esquemática das regiões constituintes de uma raiz típica

As regiões observadas na raiz primária são também presentes nas raízes secundárias, terciárias, e assim por diante, tanto em raízes típicas, bem como adventícias. Cada região da raiz apresenta uma função específica:

1. COIFA (caliptra ou pileorriza): tecido que reveste o ápice radicular, cuja forma se assemelha a um capuz (há quem diga que se assemelha à um dedal⁶) como se observa na figura 15. Essa estrutura proporciona proteção ao meristema radicular da planta, atenuando o atrito com as partículas do solo durante o crescimento das raízes terrestres, protegendo-as também contra o ataque de microrganismos e reduzindo a desidratação (principalmente nas raízes aéreas). As camadas mais externas da coifa são periodicamente substituídas, (exceto em raízes de plantas aquáticas), conferindo a estas, maior desenvolvimento por sobreposição de camadas.

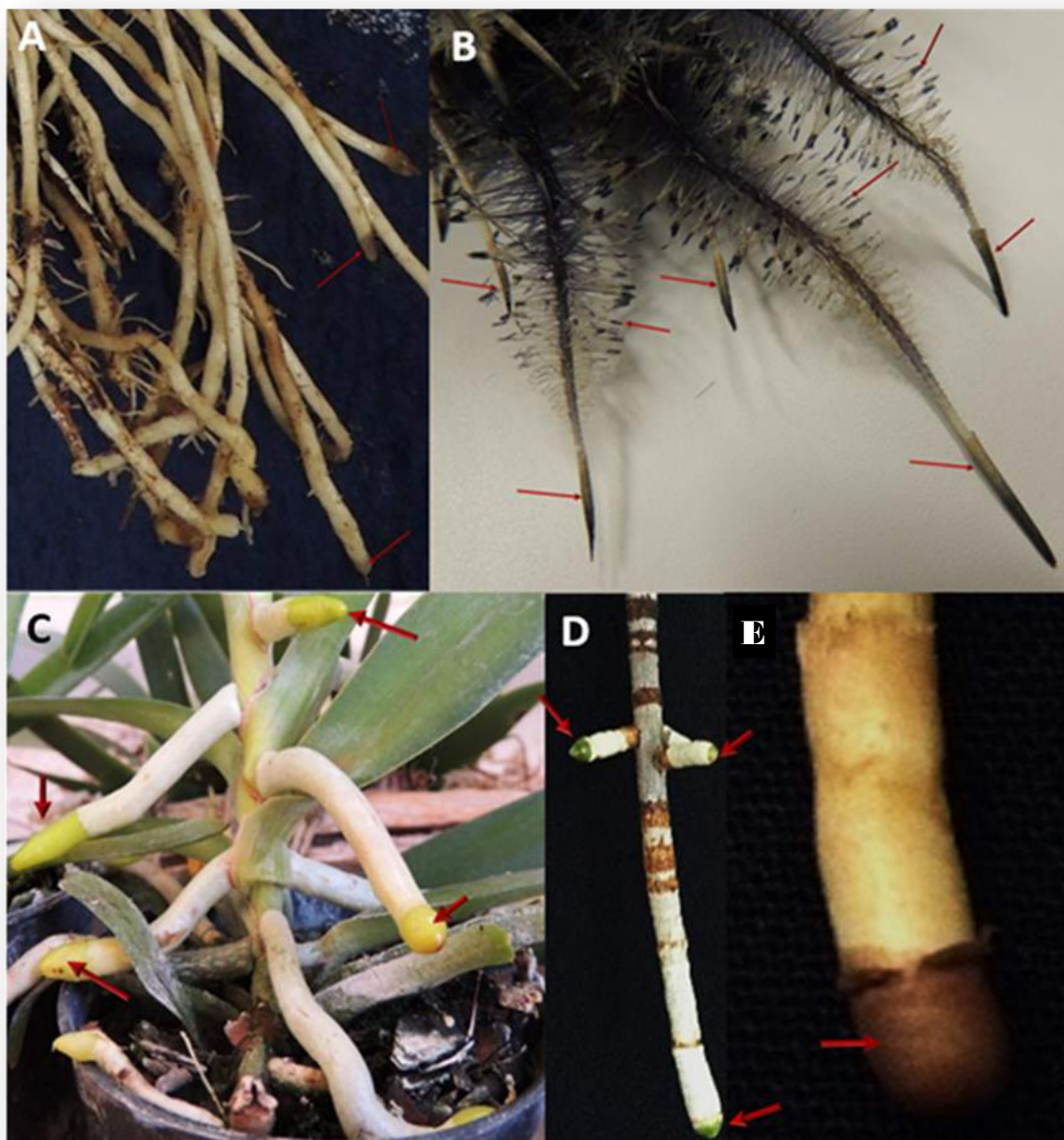


Figura 15 — Coifas (setas) presentes em raízes terrestres (A); aquáticas (B); aéreas (C, D e E)

⁶Dedal: utensílio utilizado por costureiras para proteger da agulha a ponta dos dedos.

2. REGIÃO LISA (de crescimento ou de distensão): é responsável pelo alongamento da raiz em função do crescimento de suas células, resultantes da divisão celular no ápice radicular (meristema) protegido pela coifa. O nome “lisa” decorre do fato de que a epiderme dessa região apresenta-se sem pelos radiculares (figura 16).

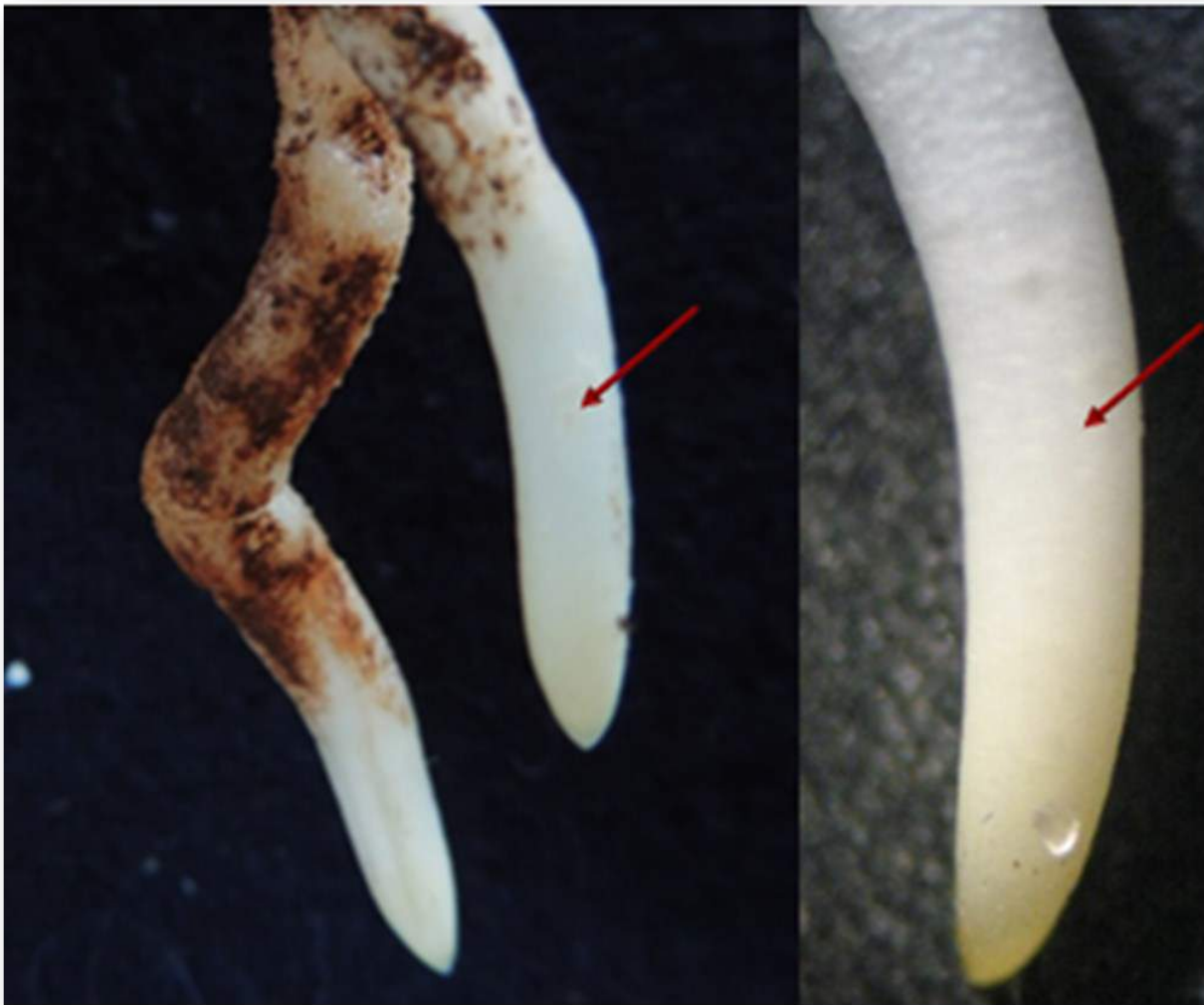


Figura 16 — Raízes com as setas evidenciando a região lisa (*de crescimento ou de distensão*)

3. REGIÃO PILÍFERA (pilosa ou de absorção): situada entre a zona lisa e a zona suberosa, caracteriza-se pela presença de *pelos radiculares*, que surgem devido a evaginação (*crescimento para fora*) da parede externa das células epidérmicas dessa região, formando extensões microscópicas semelhantes a pelos. Os pelos podem aumentar em até 60% a área superficial de absorção da raiz, otimizando a capacidade de absorção de água e nutrientes do solo (figura 17).

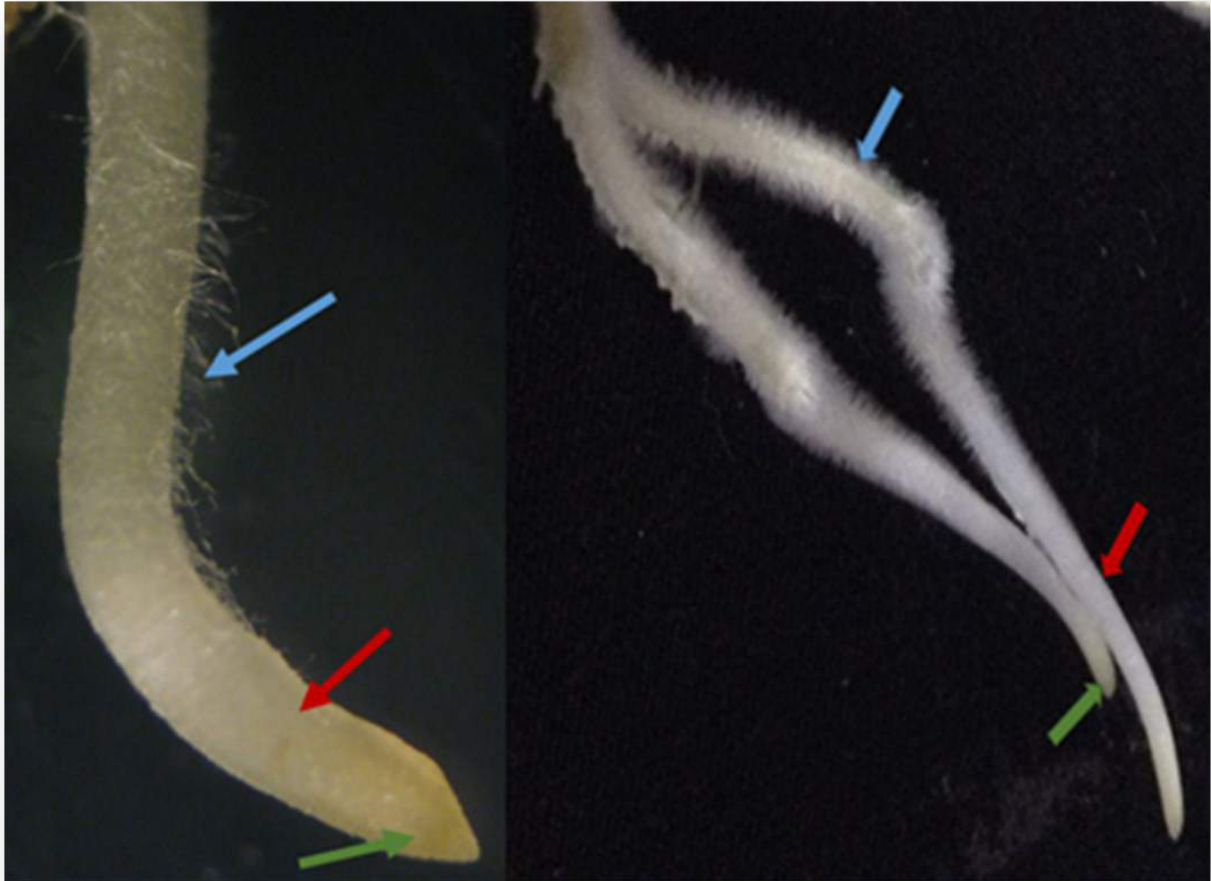


Figura 17 - Raízes evidenciando as regiões: pilífera (setas azuis), lisa (setas vermelhas) e coifa (setas verdes)

As células epidérmicas também absorvem água e sais minerais, tanto que existem inúmeras espécies que não desenvolvem pelos radiculares e por essa razão a função de absorção é feita exclusivamente pelas células epidérmicas. Enfatizamos que as raízes de plantas aquáticas flutuantes, também costumam ser totalmente desprovidas de pelos, mas **Cuidado!!!** muito frequentemente nestas plantas, como por exemplo o aguapé. (figura 18), facilmente se confunde as radículas (raízes secundárias) em início de formação, com pelos radiculares, uma vez que neste ambiente, elas são especialmente abundantes. As figuras 17 e 19 mostram em detalhes essa diferença na região de transição entre a zona pilífera e suberosa.

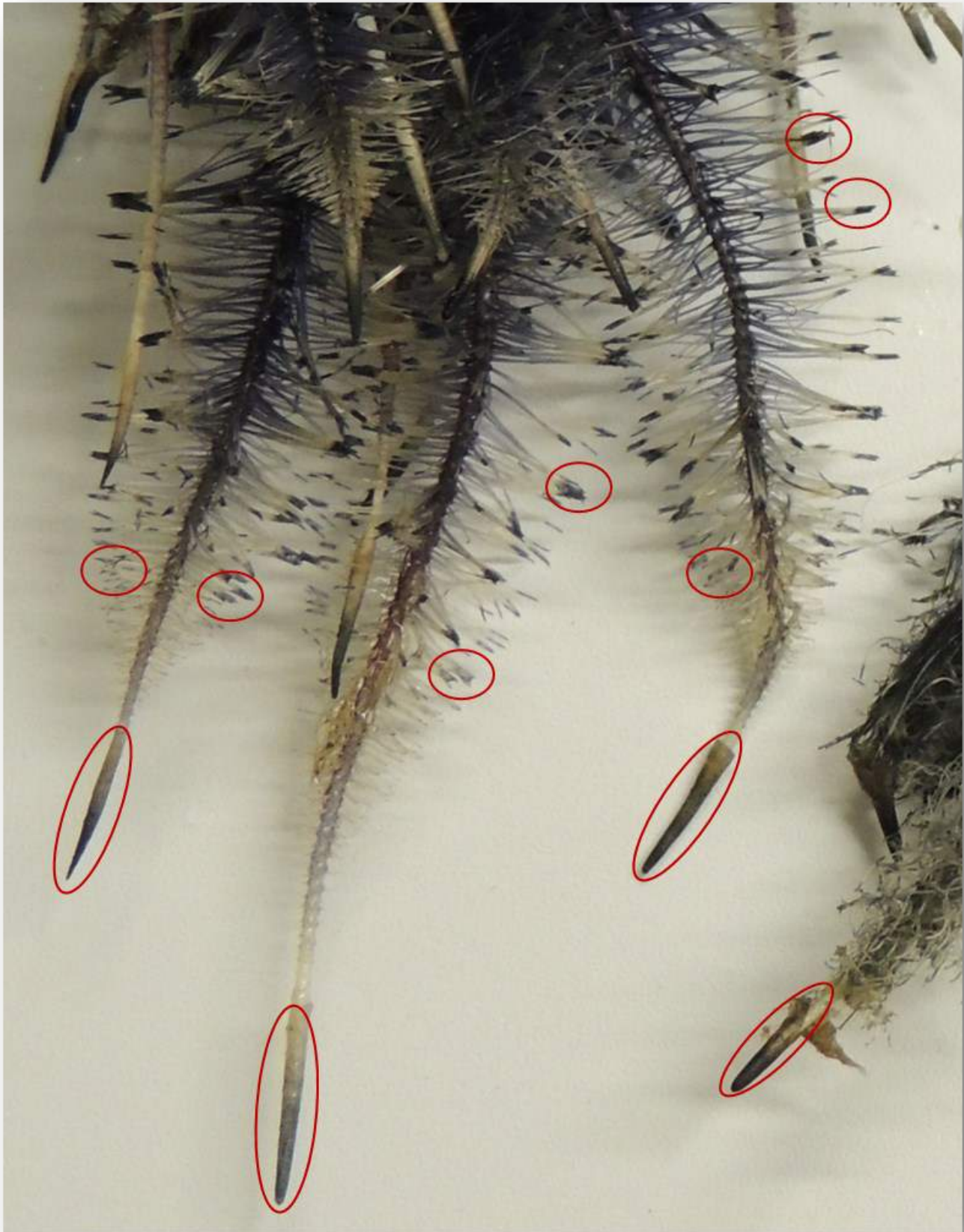


Figura 18 — Detalhe do sistema radicular de aguapé evidenciando as radicelas na região de ramificação. A presença de coifas (círculos) confirmam que essas estruturas são raízes e não pelos radiculares

A transição entre as regiões pilífera e suberosa, ao contrário do que se pensa, não ocorre de forma abrupta, com o fim dos pelos radiculares e o início das radículas, muito pelo contrário, ambas as estruturas são observadas em uma mesma região de transição (figura 19).

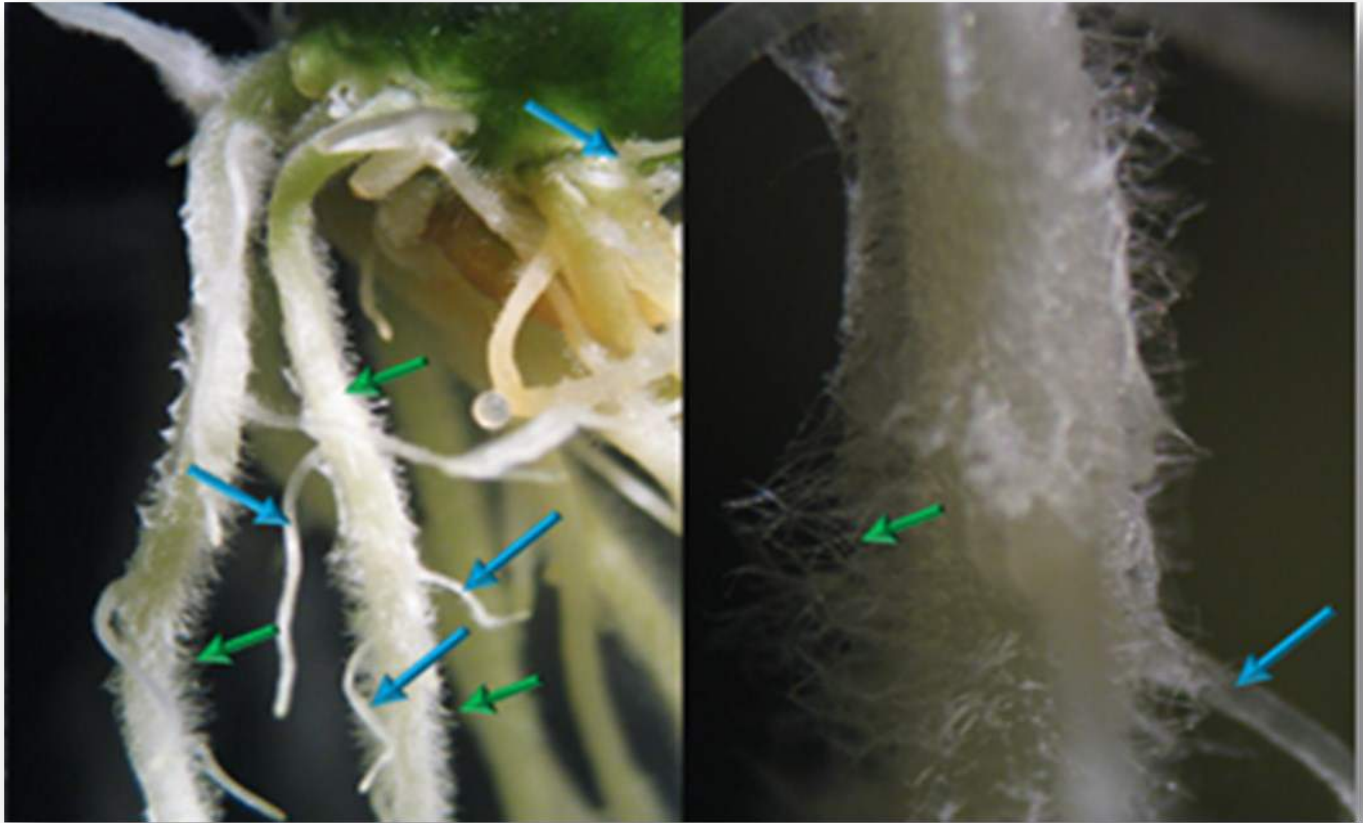


Figura 19 — Raízes evidenciando a região de transição entre a zona pilífera e suberosa. Setas verdes: pelos radiculares; setas azuis: radículas

4. REGIÃO SUBEROSA (*de ramificação*): situa-se entre a zona pilífera e o colo ⁷ (colete). É nesta região que ocorre a ramificação e o crescimento em espessura (engrossamento) das raízes das Gimnospermas e Angiospermas Eudicotiledôneas representando o crescimento secundário. Nesta região, progressivamente não mais se evidenciam os pelos radiculares, que se desprendem junto com a epiderme que gradativamente é substituída pela periderme ⁸ (súber, felogênio e feloderme), como se observa nas figuras 20 e 21.

⁷**Colo ou Colete:** A região denominada colo ou coleto proveniente do desenvolvimento do hipocótilo no eixo embrionário, está compreendida entre o sistema radicular e aéreo, e por essa razão, apresentam características morfológicas externas (organográficas) e internas (anatômicas) de transição entre raiz e caule, geralmente ocupando a região do nível do solo.

⁸**Periderme:** Revestimento da raiz em estágio secundário, presente em Gimnospermas e Angiospermas Eudicotiledôneas, que em substituição a epiderme confere proteção contra choques mecânicos e térmicos e contra a desidratação.

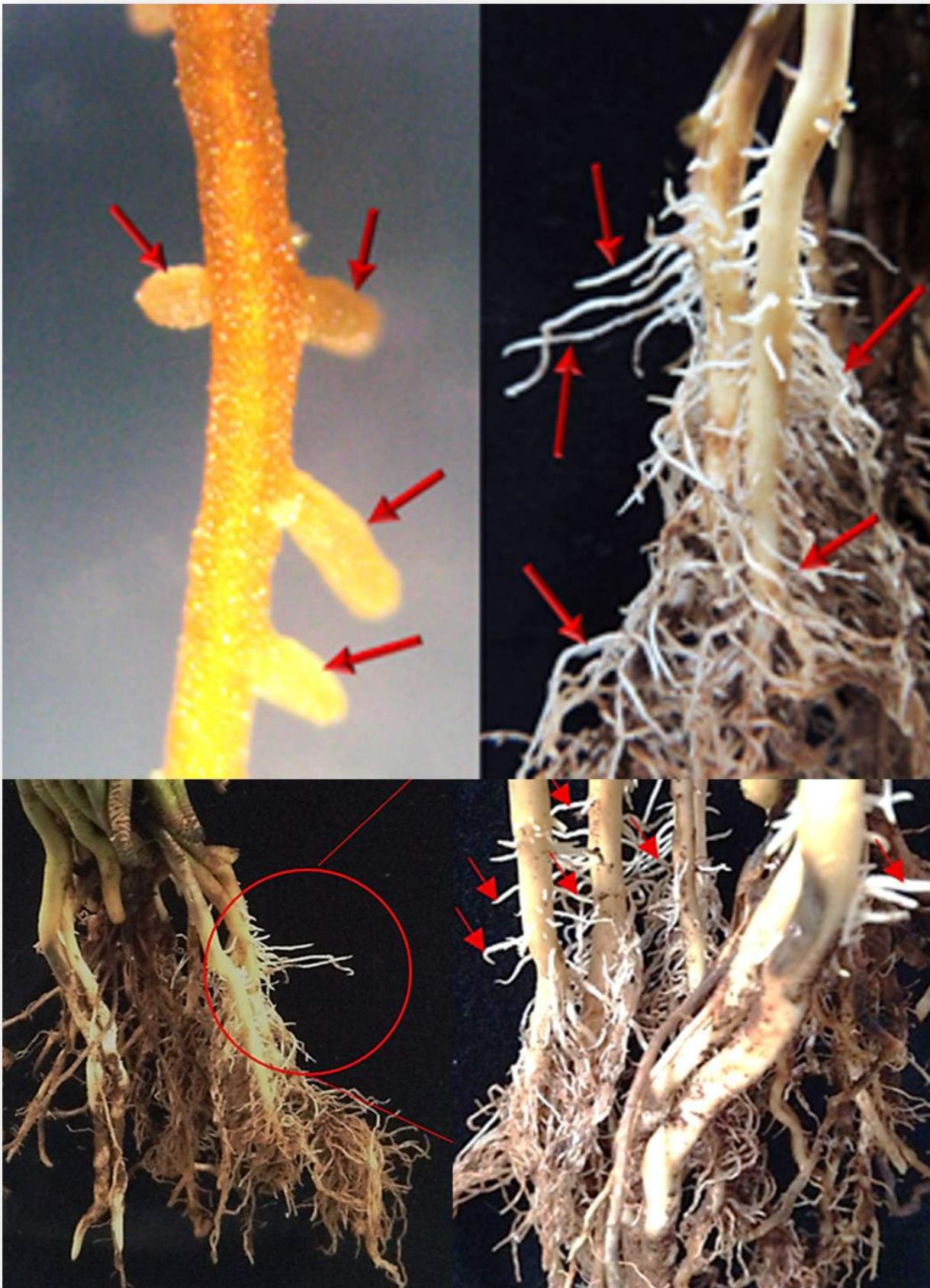


Figura 20 - Raízes com radicelas em formação e já desenvolvidas (setas vermelhas)

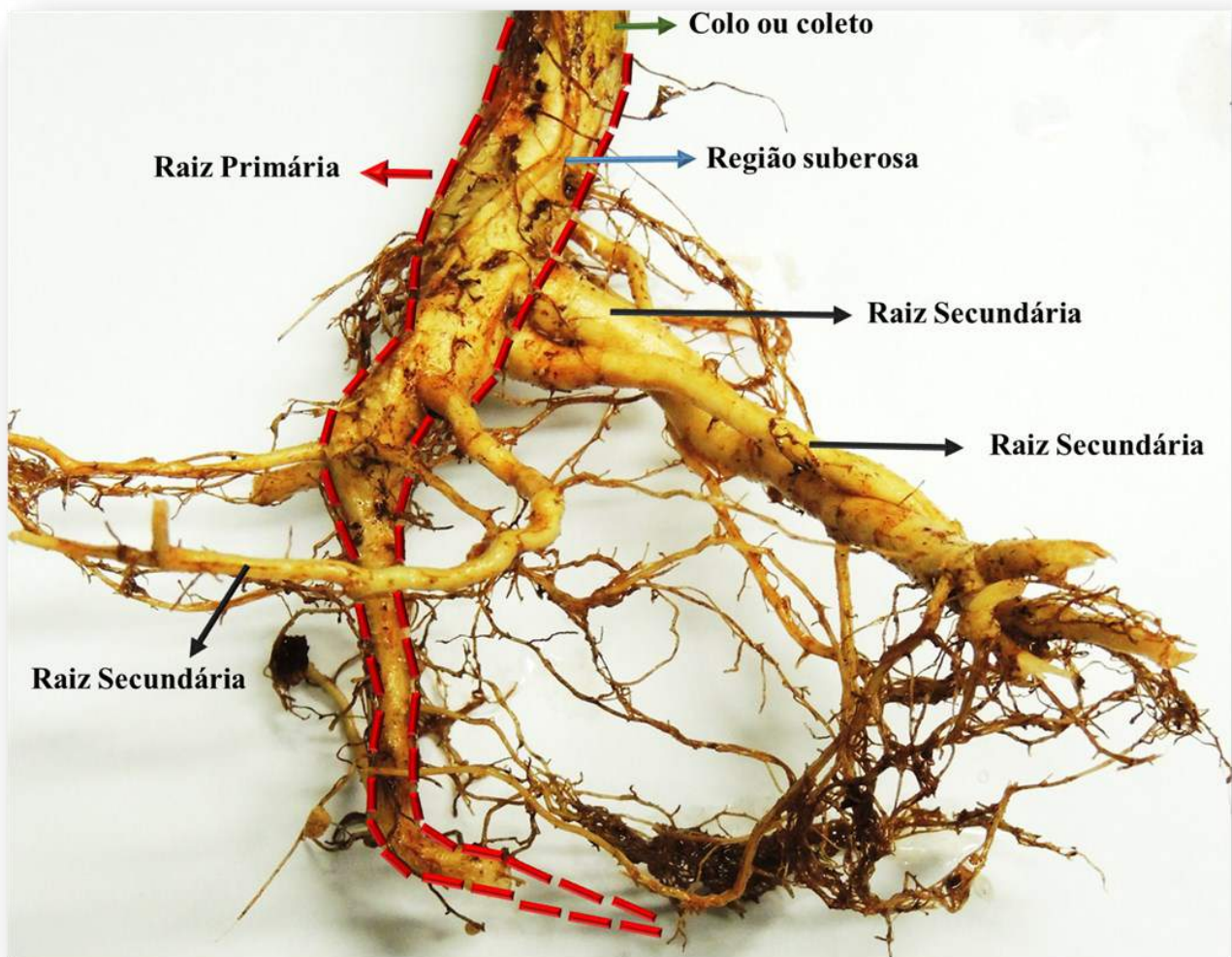


Figura 21 — Raiz primária (linha tracejada vermelha), evidenciando a região de ramificação ou suberosa

Os sistemas radiculares Axial (Pivotante), bem como o Fasciculado, definem-se na região suberosa, a partir da formação das raízes secundárias e suas ramificações (figura 22).

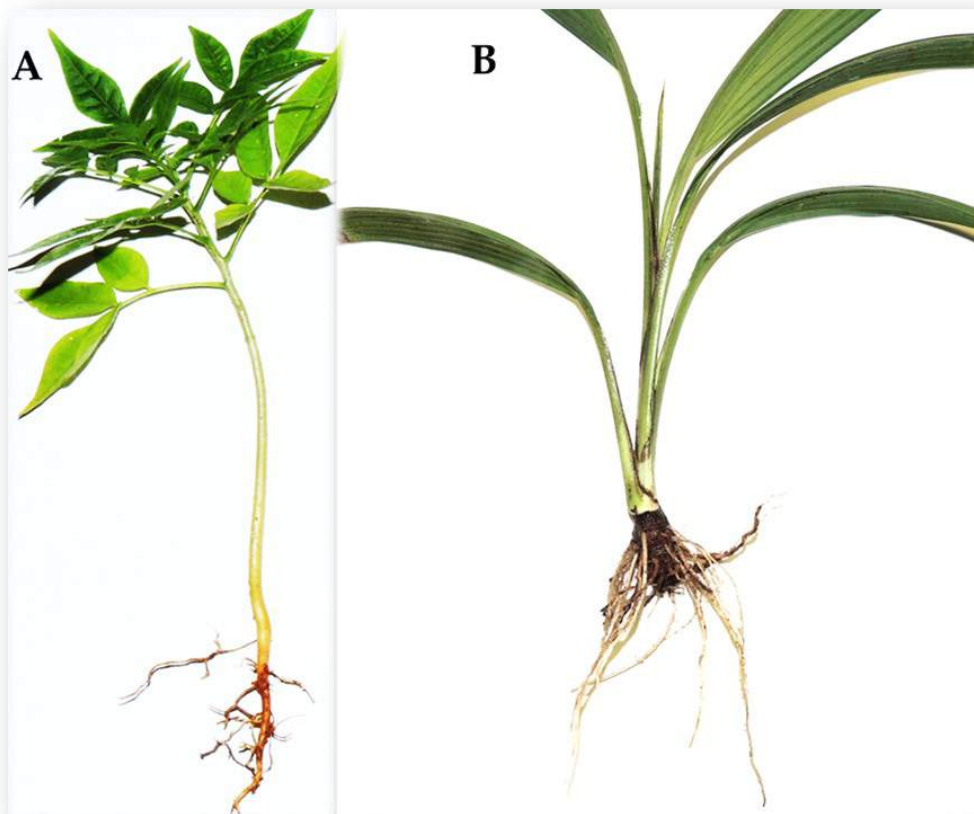


Figura 22 — Sistemas Radiculares Axial em Eudicotiledônea (A) e Fasciculado em Monocotiledônea (B), ambos determinados pela região suberosa ou de ramificação

III. CLASSIFICAÇÃO DAS RAÍZES QUANTO AO AMBIENTE



As raízes, na dependência do ambiente em que se encontram, também podem ser classificadas em:

1. RAÍZES SUBTERRÂNEAS (terrestres) - são as mais frequentes e encontram-se, como o próprio nome diz, fixadas ao solo (figura 23).

Figura 23 — Raízes Subterrâneas ou terrestres (sistema radicular subterrâneo)

Em situações particulares, onde plantas com raízes terrestres se encontram em ambientes alagadiços ou se desenvolvem na água, esta classificação permanece, desde que suas raízes cresçam para atingir o solo e nele se fixar (figura 24).

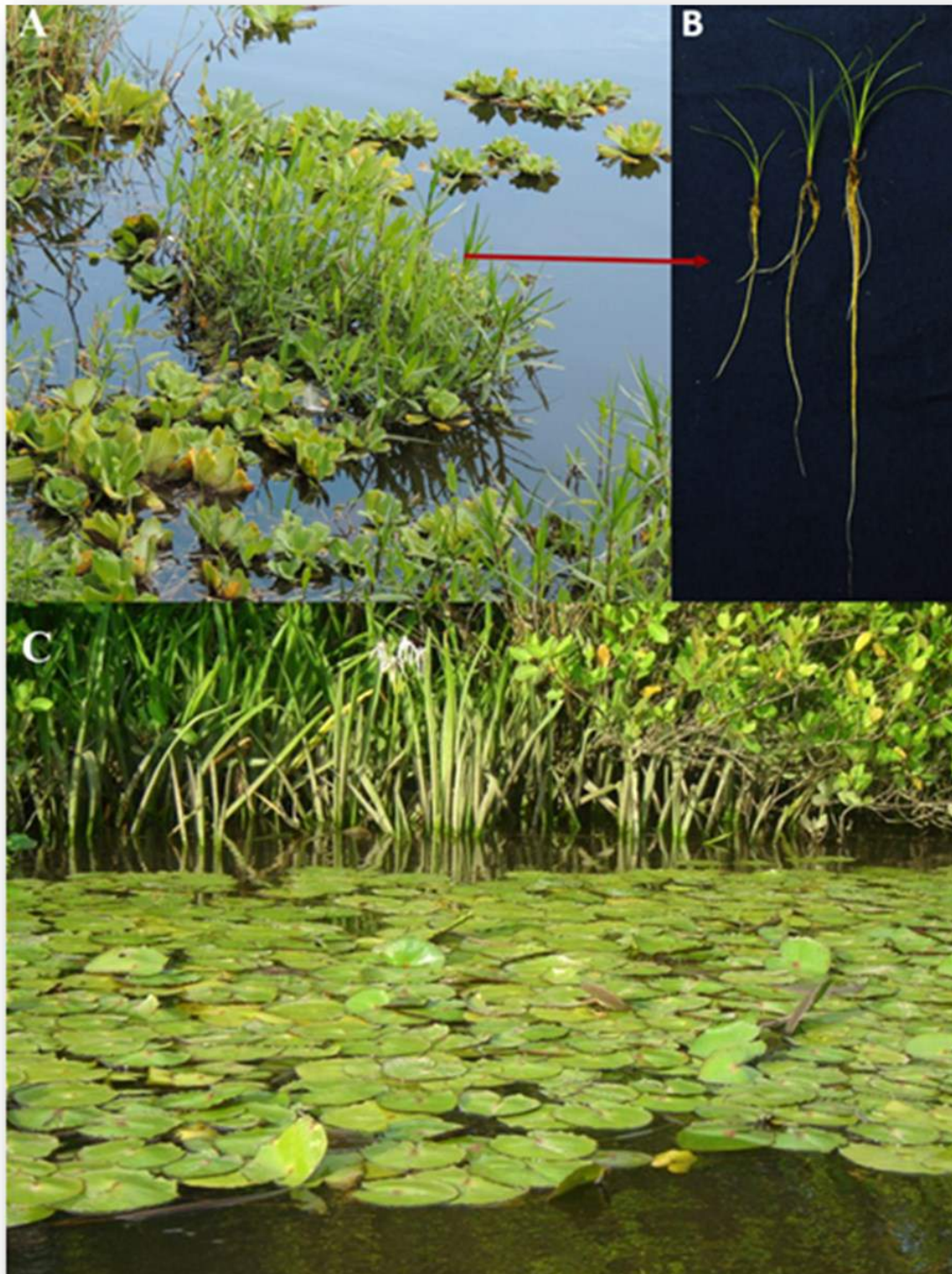


Figura 24 - Plantas aquáticas com raízes flutuantes (A e C). B: Detalhe do crescimento acentuado das raízes de plantas aquáticas mostradas em A (seta) que se fixam ao solo

2. RAÍZES AQUÁTICAS – São raízes que se desenvolvem em plantas aquáticas flutuantes (figuras 25, 26 e 27), consequentemente as raízes estão livres (suspensas) na água (figura 27), sem nenhum contato com o solo. Em função da facilidade de absorção de água e sais minerais nesse ambiente, a presença de pelos radiculares é muito rara nestas raízes (figuras 28 e 29), e geralmente apresentam as coifas mais desenvolvidas quando comparada aos demais ambientes (figuras 18 e 29). É importante que você saiba que, embora essa seja uma Coleção Botânica onde são descritas essencialmente as plantas com sementes, evidenciamos nas figuras 25 C e 26, exemplo de uma samambaia, *Salvinia* que apresentam folhas modificadas cuja função é exatamente a mesma que as raízes, ou seja absorção.



Figura 25 — Plantas aquáticas flutuantes com raízes aquáticas. C: *Salvinia*: samambaia evidenciada aqui como exemplo de planta aquática



Figura 26 — *Salvinia*: samambaia com folhas modificadas (seta) que atuam como raízes com função de absorção



Figura 27 — Planta flutuante com raízes aquáticas



Figura 28 - Planta flutuante com raízes aquáticas



Figura 29 — Aguapé: planta aquática flutuante evidenciando coifa proeminente (setas)

3. RAÍZES AÉREAS - são raízes que se desenvolvem em ambiente aéreo, comum em plantas epífitas e trepadeiras (figuras 30, 31 e 32).



Figura 30 —Raízes aéreas (setas) que se desenvolvem no ambiente aéreo com principal função de fixação, característica de orquídeas



Figura 31 — Raízes aéreas (setas) que se desenvolvem no ambiente aéreo com principal função de fixação, característica de trepadeiras, bromélias e orquídeas



Figura 32 - Raízes aéreas (setas) que se desenvolvem no ambiente aéreo com principal função de fixação, característica de trepadeiras e orquídeas

As raízes aéreas têm por função auxiliar a fixação da planta ao hospedeira. Existem ainda, as raízes aéreas que partem dos ramos e se estendem até o solo dando sustentação às plantas de grande porte (figuras 33, 34 e 35). Estas raízes serão estudadas mais adiante quanto a função de “escoras”.



Figura 33 — Raízes aéreas (setas) em plantas terrestres que auxiliam o suporte da planta

As raízes aéreas são também classificadas como adventícias por ter origem principalmente caulinar. Observe que as classificações apresentadas são independentes, podendo uma mesma raiz apresentar classificações distintas, na dependência da origem, ambiente e função.



Figura 34 - Raízes aéreas (setas) em plantas terrestres que auxiliam o suporte da planta



Figura 35 - Raízes aéreas (setas) em plantas terrestres que auxiliam o suporte da planta

IV. CLASSIFICAÇÃO DAS RAÍZES QUANTO À FUNÇÃO

As raízes também podem ser classificadas de acordo com sua função. Já no início da germinação da semente, a função prioritária da radícula ao eclodir da semente e originar a raiz principal, é fixar o vegetal ao solo ou mesmo ao hospedeiro e posteriormente absorver água e sais minerais (seiva bruta), que serão conduzidos através dos vasos condutores do xilema, para os demais órgãos da planta. Durante o desenvolvimento, a raiz pode, na dependência das necessidades da planta, passar às funções de armazenar reservas alimentares, fixar a planta a diferentes condições e substratos, realizar trocas gasosas, sugar seiva de hospedeiros, entre outras funções específicas. Dessa forma, para facilitar sua compreensão, vamos iniciar a classificação das raízes quanto às suas principais funções, considerando inicialmente as plantas terrestres com **raízes subterrâneas**.

1. RAÍZES TUBEROSAS: Quando uma raiz terrestre apresenta a função de reserva de nutrientes (sendo a reserva de amido a mais frequente), essas são designadas raízes tuberosas. Todavia, dependendo da origem da raiz em que a reserva se encontra, essas receberão denominações diferentes:

1.1. RAÍZES TUBEROSAS AXIAIS - quando o eixo principal (raiz principal), pela deposição de reservas, torna-se mais longo e grosso do que qualquer uma das ramificações. Este é o caso da cenoura, rabanete, batata-doce, beterraba e nabo (figura 36).

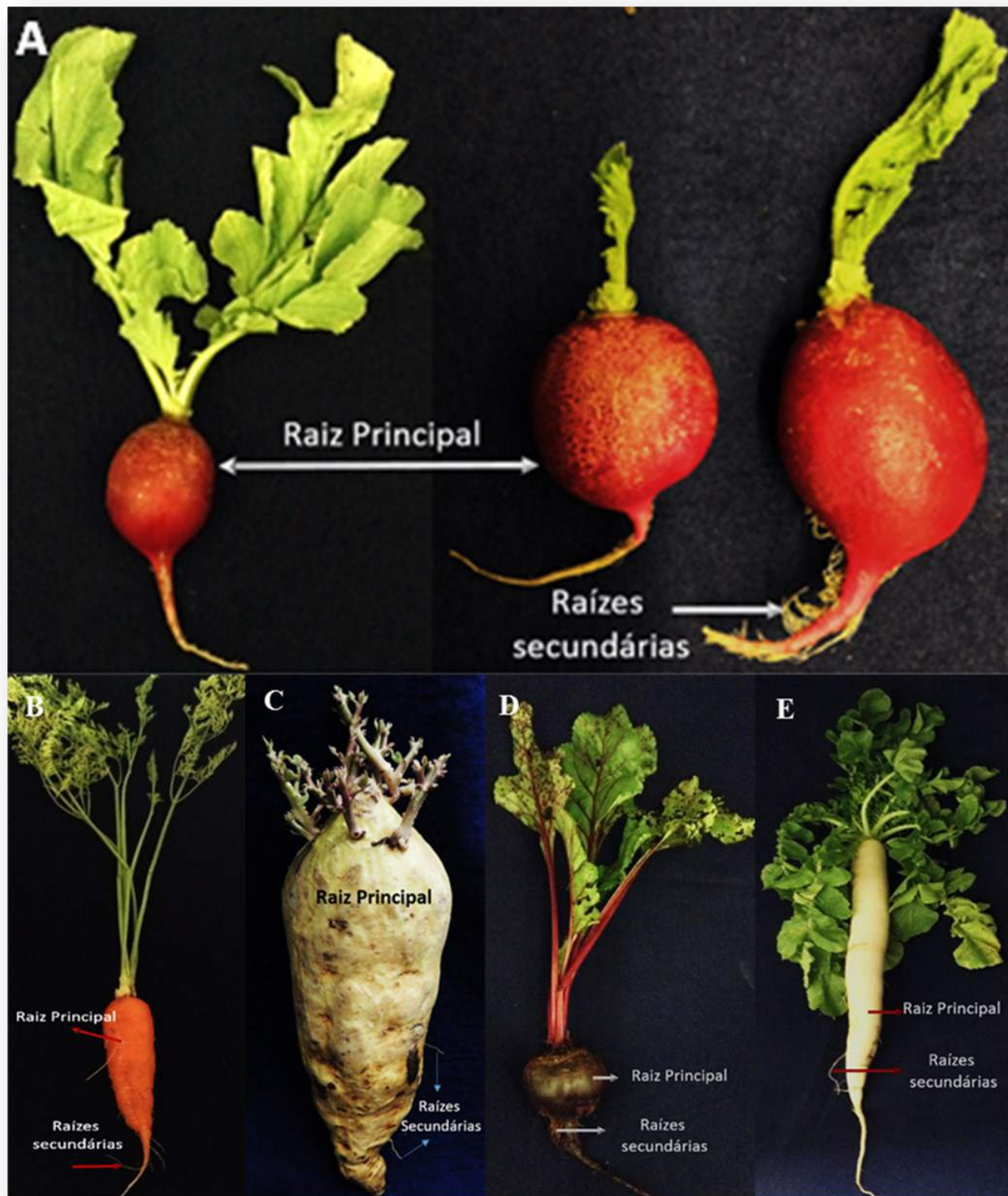


Figura 36 — Raízes Subterrâneas Tuberosas Axiais. A: rabanete, B: cenoura, C: batata doce; D: beterraba e E: nabo

1.2. RAÍZES TUBEROSAS FASCICULADAS - quando diversas raízes adventícias intumescem pela deposição de reservas, ficando impossível distinguir o eixo principal. Este é o caso da mandioca, do lírio-amarelo, do clorofito, entre outras variadas espécies (figura 37).



Figura 37 - Raízes Tuberosas Fasciculadas. A: Mandioca; B: Clorofito; C: Lírio amarelo

Ainda em relação às plantas terrestres, porém, com **raízes aéreas**, destacam-se as funções extras de suporte e respiração:

2. RAÍZES ESCORA (raízes suporte): São raízes adventícias que se originam nos ramos e seguem em direção ao solo, auxiliando na sustentação da planta, principalmente as de porte alto, com copa frondosa com muita resistência ao vento, ou ainda em plantas fixadas em solos alagados ou muito instáveis. Entre as plantas que apresentam essa classificação destacam-se o milho, pândano, figueiras e algumas palmeiras (figura 38).



Figura 38 - Raízes Escora ou Suporte evidenciadas em A: figueira, B: pândanos; e C: milho

Durante muitos anos a espécie, Rhizophora mangle, típica de manguezais, foi citada como exemplo de planta que apresenta raízes escora. Todavia, recentemente, análises histológicas concluíram que as estruturas de sustentação dessa espécie, na verdade são caulinares e não radiculares. Entretanto a ideia de “escora” continua válida, porém, neste caso como ramos!!!

Como comentamos na apresentação deste livro, a morfologia das plantas refere-se à sua adaptação a diferentes habitats ou manejos. Sendo assim, apresentaremos a você resultados de um experimento efetuado em diferentes condições de cultivo de milho, em areia com drenagem excessiva, em argila com reduzida drenagem (ambiente alagadiço) e em argila com drenagem adequada. Observe na figura 39, as diferenças existentes na espessura e na intensidade de ramificações do sistema radicular, evidenciando a importância no preparo do solo para o plantio.



Figura 39 - Diferenças no desenvolvimento do sistema radicular de milho em função das condições de cultivo

3. RAÍZES TABULARES – Desenvolvem-se junto à base do tronco como raízes adventícias, crescendo rente ao solo, rasgando a superfície e tornando-se visível. Sua forma achatada verticalmente, assemelham-se a uma tábua, o que lhe confere o nome: Tabular. Essas raízes promovem um aumento da base dando suporte à árvore, proporcionando maior estabilidade e ampliando a superfície respiratória (figuras 40, 41, 42 e 43).



Figura 40 - Raízes Tabulares



Figura 41 — Raízes Tabulares



Figura 42 - Raízes Tabulares



Figura 43 - Raízes Tabulares

Raízes tabulares podem apresentar acúleos, que são projeções epidérmicas com formato semelhante a espinhos, com função de proteção (figura 44).



Figura 44 — Presença de acúleos (setas) em raízes tabulares

4. RAÍZES RESPIRATÓRIAS (pneumatóforos) – Essas raízes estão presentes em plantas adaptadas a solos lamacentos ou inundados, com baixos níveis de oxigênio, como os pântanos e manguezais. Essas plantas desenvolvem raízes com crescimento em direção à superfície do solo (contra a ação da gravidade: **geotropismo negativo**), atingindo a atmosfera onde realizam trocas gasosas através de **pneumatódios**, que são orifícios presentes em toda superfície dos pneumatóforos, garantindo dessa forma, o suprimento de oxigênio aos tecidos da raiz, permitindo assim, sua sobrevivência (figuras 45, 46, 47 e 48).



Figura 45 — Raiz Respiratória (pneumatóforo) em plantas de manguezais, caracterizada por apresentar geotropismo negativo e possuir orifícios (pneumatódios) que auxiliam nas trocas gasosas



Figura 46 - Raiz Respiratória (pneumatóforo) em Cipestre calvo



Figura 47 — Raízes Respiratórias (pneumatóforos) de Cipreste Calvo. As raízes respiratórias se destacam por romper barreiras em busca de oxigênio (setas: pneumatóforos rompendo o asfalto)



Figura 48 — Detalhe dos pneumatóforos (setas) rompendo o asfalto

As **raízes aéreas** presentes em epífitas, trepadeiras e mesmo em plantas parasitas podem apresentar funções especiais. As epífitas, por não causarem nenhum prejuízo ao hospedeiro, são classificadas apenas como plantas com raízes aéreas. As espécies de orquídeas epífitas apresentam suas raízes revestidas por uma epiderme multiestratificada (velame) que possibilita além da fixação no hospedeiro, a capacidade de absorção de água em ambientes úmidos. No entanto, quando as plantas com raízes aéreas interagem negativamente com seu hospedeiro, causando a ele algum tipo de prejuízo, são classificadas em:

5. RAÍZES ESTRANGULADORAS - Ocorrem em plantas denominadas hemiepífitas primárias⁹, as quais germinam e se desenvolvem sobre uma árvore, originando raízes aéreas (adventícias) que descem junto ao tronco, normalmente se enrolando a ele, até atingir o solo, quando engrossam até formar “colunas”, que “estrangulam” os vasos condutores do floema da planta hospedeira, inicialmente impedindo a chegada de seiva elaborada às raízes da mesma. Este fato, acarreta a morte da planta. Essas espécies de hemiepífitas, assim permanecem até a decomposição da hospedeira, fase em que já atingiram desenvolvimento suficiente para se sustentarem. As raízes estranguladoras são típicas da maioria das figueiras (figuras 49 , 50, 51, 52, 53 e 54).

⁹Hemiepífita primária: Planta que inicia sua vida como epífita, ou seja, vivendo sobre um hospedeiro, e desenvolve raízes que crescem até atingir o solo. Esse assunto será melhor abordado no volume II Caule.



Figura 49 - Raízes aéreas estranguladoras (setas vermelhas). A seta azul evidencia a planta estranguladora (hemiepífita primária) e as setas pretas: a planta hospedeira



Figura 50 — Raízes aéreas estranguladoras (setas vermelhas). As setas brancas evidenciam a planta estranguladora (hemiepífita primária) e a seta preta: a planta hospedeira



Figura 51 — A: Raízes aéreas estranguladoras (setas vermelhas). A seta amarela evidencia o caule da planta hospedeira e as setas azuis : a planta hemiepipífita primária; B: detalhe de A

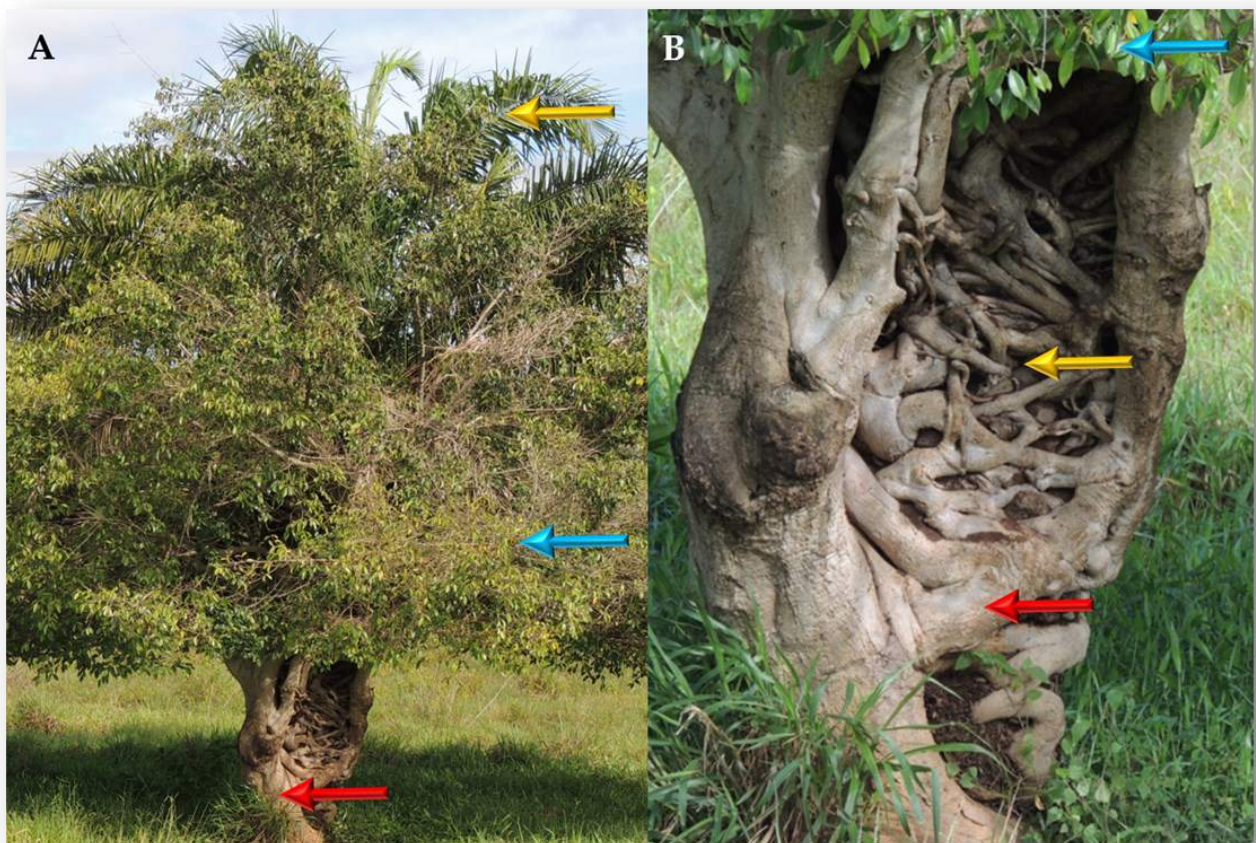


Figura 52 — A: Raízes aéreas estranguladoras (setas vermelhas). A seta amarela evidenciam o caule e as folhas da planta hospedeira e as setas azuis : a planta hemiepipíta primária com raízes estranguladoras; B: detalhe de A

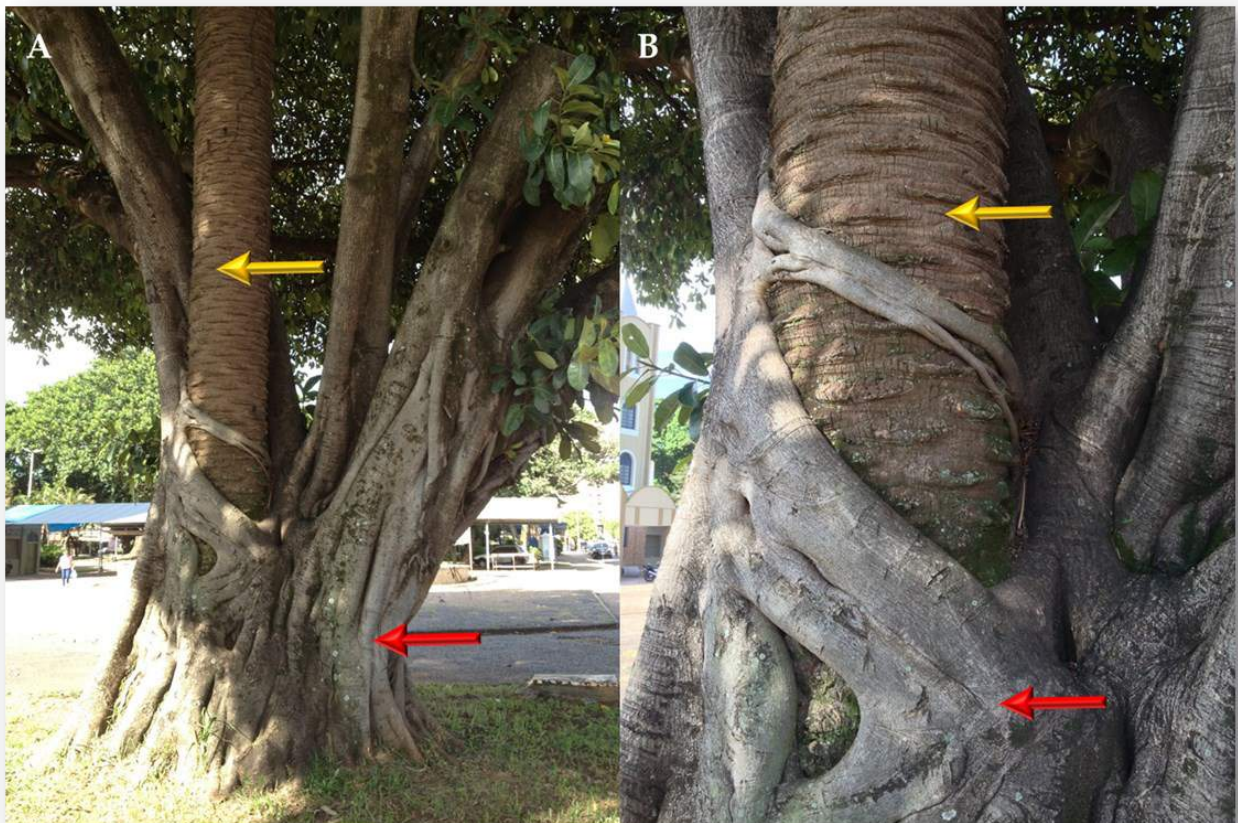


Figura 53 — A: Raízes aéreas estranguladoras (setas vermelhas). A seta amarela evidencia o caule da planta hospedeira; B: detalhe de A



Figura 54 — Raízes aéreas estranguladoras (setas vermelhas). A seta amarela evidencia o caule da planta hospedeiro

6. RAÍZES SUGADORAS (haustórios) - Estão presentes em plantas parasitas e penetram no caule do hospedeiro até alcançar os vasos do xilema, retirando assim, a seiva inorgânica (**hemiparasitas**), ou até os vasos do floema, sugando a seiva orgânica (**holoparasitas**). Como nem sempre é possível observar que tipo de seiva está sendo sugada pelos haustórios, ou mesmo até onde suas raízes estão penetrando no hospedeiro, de forma bastante prática, identificamos as plantas hemiparasitas pela presença de clorofila em suas folhas verdes, indicando a necessidade de realizar fotossíntese e transformar a seiva bruta em elaborada, fato esse desnecessário quando a seiva sugada já foi sintetizada pelo hospedeiro, o que caracteriza as plantas holoparasitas como desprovidas de folhas e de clorofila. São exemplos de hemiparasita a erva de passarinho (figura 55 e 56) e de holoparasita, o cipó-chumbo (figuras 57).



Figura 55 - Erva de passarinho, plantas hemiparasitas (setas vermelhas) com raízes sugadoras ou haustório (setas brancas) penetrando na planta hospedeira (seta rosa). O círculo vermelho representa a região inicial de germinação da semente da planta parasita



Figura 56 — Fases do ciclo de vida da erva de passarinho. A: inflorescência; B: fruto; C: sementes (setas vermelhas) deixadas por pássaros nos ramos da planta hospedeira (seta laranja); D, E e F: estágios iniciais do desenvolvimento da planta Hemiparasita (setas vermelhas)



Figura 57 — Cipó-chumbo ou fios de ovos, plantas holoparasitas (setas vermelhas) com raízes sugadoras ou haustório (seta preta) penetrando na planta hospedeira (seta branca). As setas azuis mostram em detalhe as flores do cipó-chumbo e as setas roxas evidenciam os apressórios, estrutura de fixação no hospedeiro

Outro exemplo de parasitismo bastante interessante, refere-se às espécies da família Apodanthaceae. De acordo com o Biólogo Danilo Soares Gissi essa família é composta por plantas holoparasitas - endoparasistas de caules de Angiospermas. Essas espécies foram classificadas junto às Rafflesiaceae com outras famílias, entretanto, estudos filogenéticos apontaram que o holoparasitismo nestas famílias evoluíram separadamente. Os órgãos vegetativos encontram-se inteiramente no interior do caule das hospedeiras, diferentemente do cipó chumbo em que somente os haustórios penetram no hospedeiro. As plantas parasitas apenas tornam-se visíveis no período fértil, quando as flores aparecem nos troncos. Salienta ainda o Biólogo que, no Brasil ocorrem dois gêneros, *Apodanthes* que parasita espécies de *Casearia* (Salicaceae) e *Pilostyles* que parasita espécies de leguminosas (Fabaceae). A figura 58 evidencia a presença de flores da planta holoparasita sobre o caule de sua hospedeira.



Figura 58 — *Pilostyles blanchetti* parasitando uma *Bauhinia*. Imagem: Danilo Soares Gissi

7. RAÍZES GRAMPIFORMES – Raízes aéreas adventícias com origem caulinar, que auxiliam as plantas trepadeiras, aderindo-se como “grampos” na casca dos troncos das plantas hospedeiras ou em muros e rochas, permitindo desta forma sua fixação no substrato (figuras 59 e 60).



Figura 59 - Planta trepadeira (hera) apresentando raízes grampiformes (setas) para fixação em muros, rochas ou outras em plantas



Figura 60 — Raízes grampiformes (setas vermelhas); Setas azuis: raízes aéreas

Antes de encerrarmos o assunto de raiz, convém salientar que muitas serão as situações que podem causar dúvidas ao observador, dessa forma lembre-se “nem tudo que está sob o solo” é raiz, como você pode observar na figura 61, que evidencia a presença de frutos em início de desenvolvimento no amendoazeiro, sendo enterrados pelo ginóforo¹⁰. Outro ponto interessante é a presença de nódulos radiculares, que podem causar a impressão de “doenças” no sistema radicular, porém, na verdade, trata-se de nódulos radiculares desenvolvidos em função da associação simbiótica das raízes com bactérias fixadoras de nitrogênio.



Figura 61 — Sistema radicular de amendoazeiro evidenciando a formação de frutos jovens (setas azuis), frutos (setas brancas), ginóforo (setas verdes) e nódulos radiculares nas raízes secundárias (setas vermelhas). A seta amarela evidencia a raiz principal

¹⁰Porção final do receptáculo floral que contém o gineceu (órgão feminino) e que em amendoazeiro, apresenta crescimento com geotropismo positivo enterrando o fruto, que se desenvolve no solo.

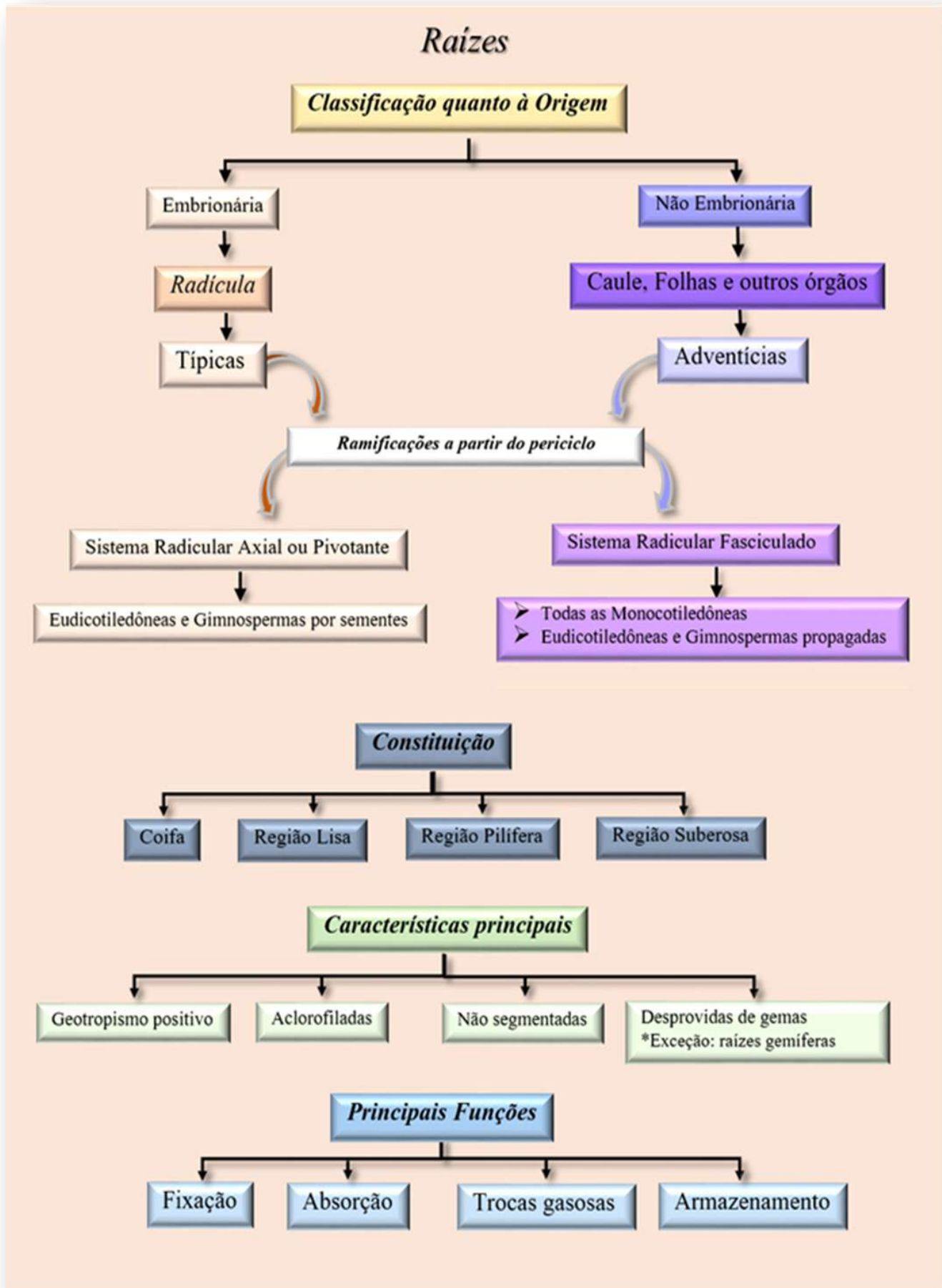
Outro caso interessante de raízes encontrado em plantas como o trevo, que apresentam raízes coniformes com função elástica (raízes contráteis) que conferem à planta uma resistência ao serem “puxadas” do solo. Essas raízes permitem que ocorra o rompimento da parte aérea mantendo o caule subterrâneo que volta a emitir novas folhas em condições favoráveis (figura 62).

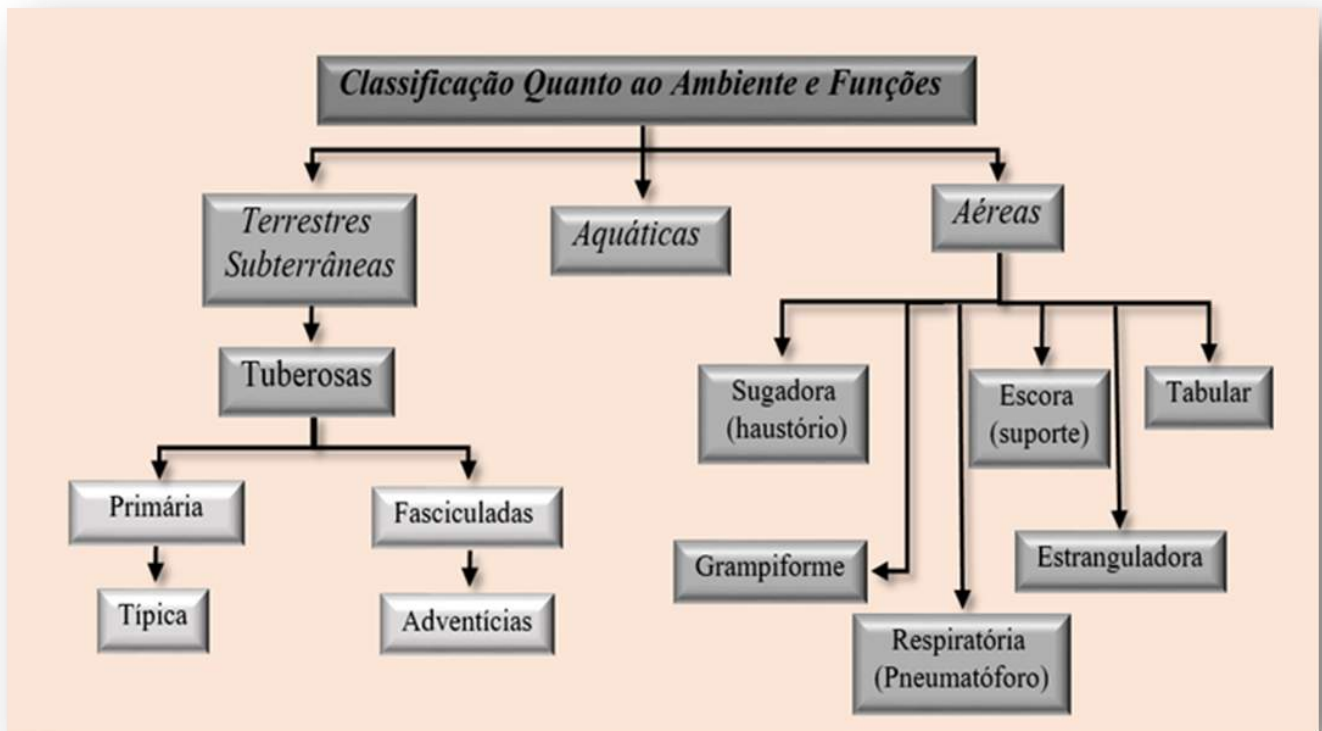


Figura 62 — Raiz contrátil (seta azul) presente em trevo roxo. Círculo e seta vermelha: caule subterrâneos

Sobre as raízes acreditamos que essas sejam as informações principais para você entender e diferenciar os diversos tipos e funções dessa estrutura que foi fundamental nos processos evolutivos dos vegetais. Com os esquemas a seguir, finalizamos o primeiro volume: Raiz, e o próximo volume dessa Coleção Botânica será sobre o Caule.

Fluxogramas evidenciando resumidamente como caracterizar as raízes.





V. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. **Morfologia de sistemas subterrâneos**: histórico e evolução do conhecimento no Brasil. Ribeirão Preto: A.S. Pinto, 2003. 80 p.

BELL, A.D. **Plant form**: an illustrated guide to flowering plant morphology. 2nd ed. Portland: Timber Press, 2008. 431 p.

FERRI, M.G.; MENEZES, N.L.; MONTEIRO-SCANAVACCA, W.R. **Glossário ilustrado de botânica**. São Paulo: EBRATEC; EDUSP, 1978. 197 p.

_____. **Glossário ilustrado de botânica**. São Paulo: Nobel, 1981. 197 p.

GOLA, G.; NEGRI, G.; CAPPELLETTI, C. **Tratado de botânica**. 2. ed. Barcelona: Ed. Labor, 1965. 1160 p.

GONÇALVES, E.G.; LORENZI, H. **Morfologia vegetal**: organografia e dicionário ilustrado de morfologia das plantas vasculares. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2007. 416 p.

PIÑAL, C.S. et al. **Botânica general**. La Habana: ISCAH, Departamento de Ediciones, 1991. 326 p.

RAY, P.M. **A planta viva**. Tradução de A.B. Joly. Rio de Janeiro: Centro de Bibliotecnia, 1971. 161 p.

SCHULTZ, A.R. **Estudo prático da botânica geral**. 3. ed. Porto Alegre: Ed. Globo, 1964. 230 p.

VIDAL, W.N.; VIDAL, M.R.R. **Botânica organografia**: quadros sinóticos ilustrados de fanerógamas. 4. ed. Viçosa: UFV, 2000. 124 p.

