

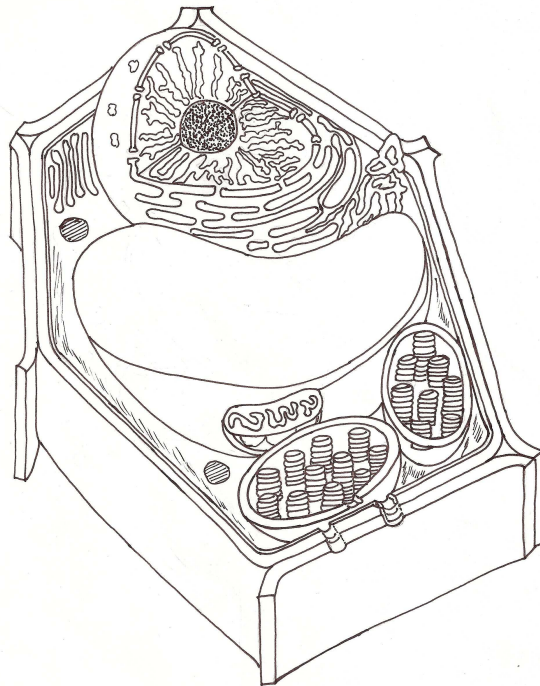


Instituto de Biociências



Ensino de Botânica - Curso de atualização de
professores de Educação Básica:

A BOTÂNICA NO COTIDIANO



Organizadores:

Déborah Yara A. Cursino dos Santos

Fungyi Chow

Cláudia Maria Furlan

São Paulo

2008

AUTORES

Adriana Afonso Sandre
Aline A. Cavalari
Amanda Wanderley
Anary P. M. Egydio
Antonio Salatino
Cláudia Maria Furlan
Cristiane Del Nero Rodrigues
Déborah Yara A. Cursino dos Santos
Douglas Silva Domingues
Eny lochevet Segal Floh
Estela Maria Plastino
Flávio Berchez
Fungyi Chow
Gladys Flávia de A. Melo-de-Pinna
Gregório C.T. Ceccantini
Lígia Maria Ayres
Lucimar Barbosa da Motta
Maria Luiza Faria Salatino
Maria Magdalena Rossi
Mariana Cabral de Oliveira
Marcos Buckeridge
Milene Sampaio Clemente
Mourisa Maria de Souza Ferreira
Nanuza Luiza de Menezes
Natália Ghilardi

ORGANIZADORES

Déborah Yara A. Cursino dos Santos
Fungyi Chow
Cláudia Maria Furlan

Apoio:



Instituto de Biociências



Departamento de Botânica

Ficha Catalográfica

E59 Ensino de Botânica - Curso para atualização de professores de Educação Básica: A Botânica no cotidiano/ Organizado por Déborah Yara A. Cursino dos Santos, Fungyi Chow, Cláudia Maria Furlan – São Paulo: Universidade de São Paulo, Fundo de Cultura e Extensão: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Botânica, 2008.
viii, 124p. : il. – (Projeto de Cultura e Extensão).

ISBN 978-85-85658-21-2

1. Botânica – Estudo e ensino I. Santos, Déborah Yara A. Cursino, org. II. Chow, Fungyi, org. III. Furlan, Cláudia M., org. IV. Título: A botânica no cotidiano V. Série.

LC: QK 51

Apoio:



Instituto de Biociências



Departamento de Botânica

**ÍNDICE**

1. A conquista do ambiente terrestre pelas plantas Nanuza Luiza de Menezes	01
2. Diversidade morfológica das espermatófitas Lucimar Barbosa da Motta & Cláudia Maria Furlan	07
3. Diversidade da morfologia floral Déborah Yara A. Cursino dos Santos & Lucimar Barbosa da Motta	13
4. Reconhecimento dos grandes grupos de plantas Amanda Wanderley & Lígia Maria Ayres	19
5. A Relação do homem com os oceanos e seus vegetais Flávio Berchez, Natália Ghilardi & Marcos Buckeridge	25
6. As algas na cozinha e sua importância nos produtos de uso diário Estela Maria Plastino, Fungyi Chow & Mariana Cabral de Oliveira	31
7. Guloseimas de algas Fungyi Chow, Mariana Cabral de Oliveira & Estela Maria Plastino	35
8. Morfologia e anatomia dos órgãos vegetativos Gladys Flávia de A. Melo-de-Pinna, Gregório C.T. Ceccantini & Nanuza Luiza de Menezes	37
9. Metabólitos secundários de origem vegetal e seus usos pelo homem Cláudia Maria Furlan & Lucimar Bardosa da Motta	45
10. Plantas medicinais e tóxicas Maria Luiza Faria Salatino, Milene Sampaio Clemente & Antonio Salatino	51
11. Obtenção e detecção de substâncias de origem vegetal Cristiane Del Nero Rodrigues, Lucimar Barbosa da Motta & Mourisa Maria de Souza Ferreira	59
12. Uso das plantas na alimentação saudável Deborah Yara A. Cursino dos Santos	67
13. Pectina, gomas e geléias Aline A. Cavalari, Anary Priscila Monteiro Egydio, Ligia Maria Ayres & Marcos Buckeridge	77
14. Biocombustíveis Antonio Salatino	81
15. Fermentação e destilação de álcool Mourisa Maria de Souza Ferreira & Adriana Afonso Sandre	87
16. Origem das plantas cultivadas Déborah Yara A. Cursino dos Santos & Cláudia Maria Furlan	95
17. Cultura de tecidos e suas aplicações biotecnológicas Eny lochevet Segal Floh	101
18. Genômica e plantas transgênicas Maria Magdalena Rossi & Douglas Silva Domingues	107
19. Descobrimdo genes Maria Magdalena Rossi & Douglas Silva Domingues	117



Apresentação

Botânica! Quantos dos nossos colegas da Educação Básica fogem das aulas de Botânica, relegando seu conteúdo ao final da programação do ano letivo, por medo e insegurança em abordar esses assuntos? Entre tantos argumentos, uma das maiores alegações é a dificuldade em desenvolver atividades práticas simples que despertem a curiosidade do aluno e mostre a utilidade daquele conhecimento no seu dia-a-dia.

Mesmo concientes que a Botânica toma parte do cotidiano das pessoas, seja de forma direta na alimentação, por exemplo, ou indireta, como no uso de um fármaco extraído de um vegetal, ainda nos deparamos com um grande distanciamento entre o que se aprende de Botânica na escola e sua aplicação na realidade do aluno. O que estamos fazendo de tão errado?

Para nós, professores e pesquisadores do Departamento de Botânica, a importância das plantas no cotidiano é inerente. A partir da inquietude coletiva de alguns colegas e de uma profunda reflexão sobre o rumo do ensino de Botânica na Educação Básica, em 2004 foi lançada nossa primeira proposta “Aulas práticas de Botânica”. Nesse projeto, tínhamos o objetivo de apresentar um conjunto de aulas práticas simples e possíveis de aplicação em qualquer instituição de Educação Básica. Pretendia-se, com essas atividades, mostrar o quanto a Botânica toma parte no dia-a-dia do cidadão e como os materiais para aulas práticas nesse tema são acessíveis e fáceis de usar. A partir de materiais simples, sem o uso de equipamentos e vidrarias sofisticadas, apresentamos um material de apoio com 15 propostas de aulas práticas em diversos tópicos de Botânica.

Ao longo das quatro edições desse primeiro curso de atualização, surgiram novas idéias e com base nos comentários dos quase 200 professores que freqüentaram aos cursos, resolvemos propor e encarar um novo desafio, agora um curso de extensão mais teórico que prático. Nesse novo curso, fundamentado novamente na idéia de ressaltar a importância dos vegetais no cotidiano do cidadão, serão abordados diversos aspectos da Botânica, na tentativa de estimular, contextualizar e associar as diversas atividades humanas com a vida e a diversidade das plantas.

Neste volume, trazemos assuntos de Botânica relacionados às nossas atividades cotidianas que, na maioria das vezes, passam despercebidas. A intenção é estreitar o laço entre o conteúdo de Botânica e nossas atividades corriqueiras. Qual a relação entre a fabricação de etanol a partir de cana-de-açúcar e o produto final consumido pelos nossos veículos? Quais são e de onde vêm as substâncias presentes em muitos medicamentos que utilizamos? Como surgiram as plantas cultivadas das quais dependemos hoje? Elas sempre ocuparam esse ambiente? E as plantas transgênicas, o que são? Certamente, muitos de nós já pensamos sobre esses assuntos ou já tivemos que responder questões semelhantes a alunos cheios de curiosidade. Essas questões são apenas alguns exemplos de assuntos que serão abordados durante este volume.

Cláudia Maria Furlan
Déborah Yara A. Cursino dos Santos
Fungyi Chow

1. A CONQUISTA DO AMBIENTE TERRESTRE PELAS PLANTAS

Nanuza Luiza de Menezes (nanuzalm@ib.usp.br)

Para que as plantas pudessem sair da água e alcançar o ambiente terrestre, profundas modificações vegetativas e reprodutivas aconteceram. Assim, enquanto na água todas as células do organismo vegetal estão em contato com a própria água e, portanto, não há possibilidade de dessecação, para viver no ambiente terrestre as plantas desenvolveram, através de mutações, um **sistema radicular** para retirar a água do solo, um **sistema vascular** para distribuir a água no corpo da planta e um **sistema de revestimento** para evitar a perda de água (epiderme com cutícula).

Com relação aos elementos de reprodução, o que se verifica é que enquanto na água, oosferas e anterozóides se deslocam por meio de movimentos de cílios ou flagelos, na terra, nos grupos mais derivados, as células sexuais estarão situadas no interior dos estróbilos (gimnospermas) ou das flores (angiospermas). Naturalmente, foram necessárias muitas mudanças para passar de um extremo ao outro.

Em todos os grupos de plantas, observa-se a alternância de gerações. As briófitas apresentam como geração predominante, isto é, permanente, a geração **gametofítica** (haplóide). Em pteridófitas e nas plantas com semente – gimnospermas e angiospermas – a geração predominante é a geração produtora de esporos, isto é, a **esporofítica** (diplóide).

As briófitas e as pteridófitas, embora consigam sobreviver em solo seco, para a sua reprodução necessitam da água para que os anterozóides nadem de encontro às oosferas. Em briófitas, estas encontram-se em arquegônios superficiais e, em pteridófitas, mergulhados no talo (Figura 1).

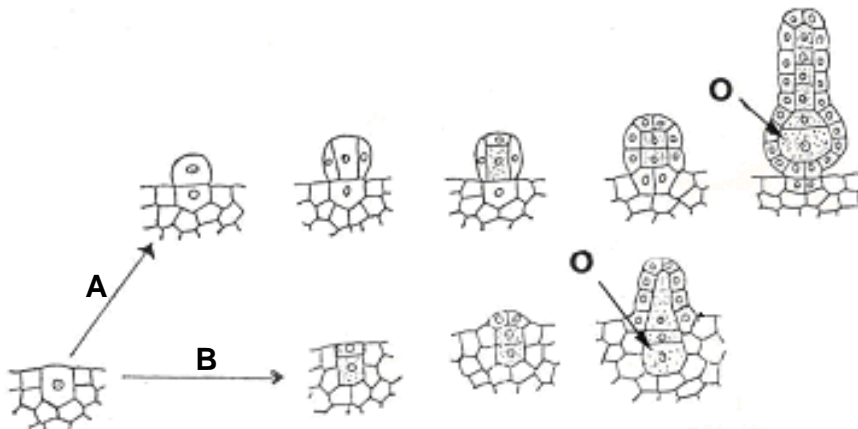


Figura 1. Posição da oosfera (O) em hepáticas (A) e em pteridófitas(B). Retirado de Menezes et al. (2006).

Entre as **pteridófitas** do grupo das **filicíneas**, por exemplo, que são homosporadas, os esporângios produzem esporos iguais, e estes esporos originam um **gametófito monoclinó** (monoclinó vem do grego: “mono” = único e “kline” = leito, significando um leito para os dois sexos). Os arquegônios com oosferas e os anterídios com anterozóides, formam-se na superfície inferior do gametófito. Após a fecundação, o zigoto se desenvolve e forma um embrião que fica em contato com o solo, sujeito ao ataque por microrganismos (Figura 2).

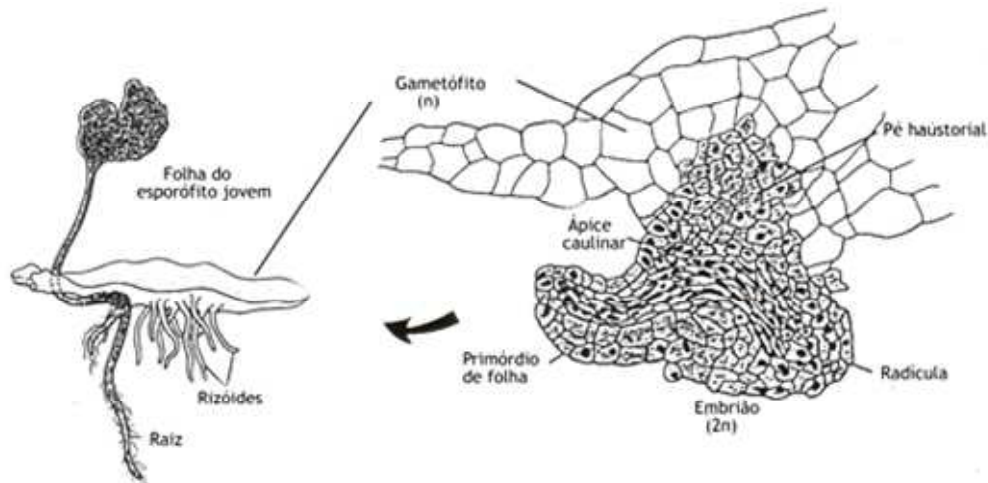


Figura 2. Embrião de uma filicínea desenvolvendo-se sob o gametófito feminino desprotegido. Retirado de Menezes et al. (2006).

Ainda entre as pteridófitas, há os **licopódios** que são homosporados e formam gametófitos monoclinos e os **equisetos**, que também são homosporados, porém dão origem a **gametófitos diclinos** (diclino vem do grego: “di” = dois e “kline” = leito, significando dois leitos, ou seja, um para cada sexo). Neste caso, os esporos iguais são fisiologicamente diferentes. Outro grupo de pteridófitas, as **selaginelas**, que são heterosporadas, forma dois tipos de esporos: maiores (megásporos, mascrósporos ou ginósporos) e esporos menores (micrósporos ou andrósporos) (Figura 3).

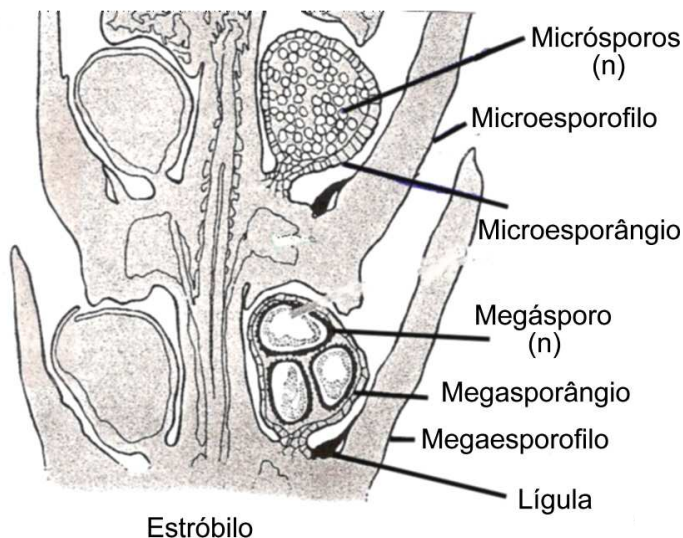


Figura 3. Estróbilo de selaginela. Retirado de Menezes et al. (2006).

Os esporos maiores originam o gametófito feminino (megagametófito ou megaprotalo ou ginófito) e os menores formam o gametófito masculino (microgametófito, microprotalo ou andrófito).

A formação do gametófito feminino se dá no interior da parede do próprio espora, isto é, há uma fase de núcleos livres, que posteriormente recebem paredes de fora para dentro. Após a celularização, formam-se os arquegônios com as oóferas, que serão fecundadas pelos anterozóides. Uma vez ocorrida a fecundação, o zigoto dá origem a um embrião que vai se desenvolver no interior das paredes do espora = **embrião endospórico** (Figura 4) nutrindo-se dos tecidos do próprio gametófito.

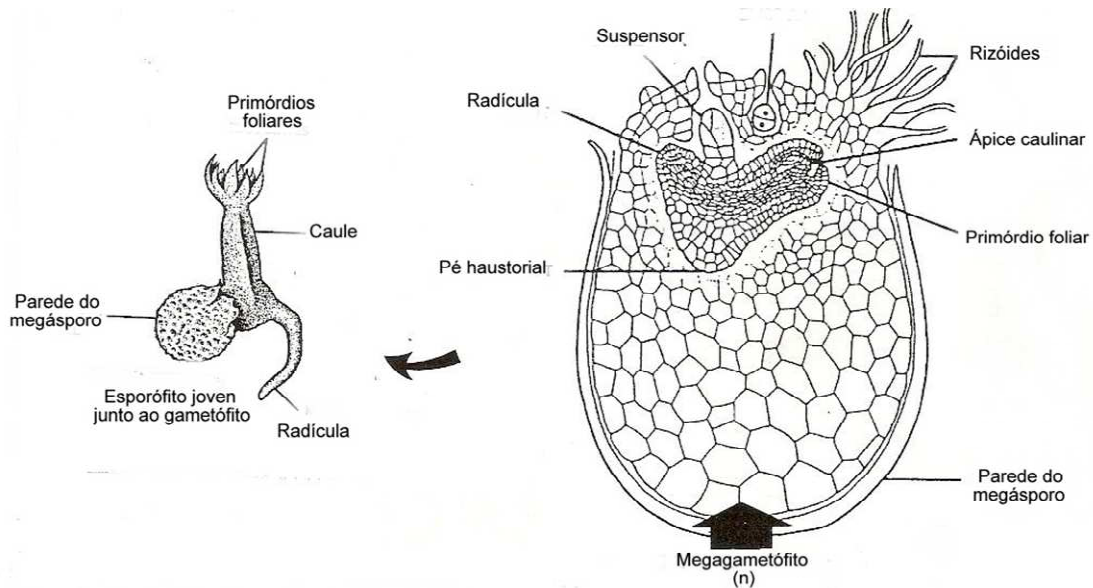


Figura 4. Embrião de selaginela com desenvolvimento endospórico. Retirado de Menezes et al. (2006).

A partir do momento em que as plantas desenvolveram a capacidade de reter o gametófito feminino e, por conseguinte, o embrião sobre a própria planta mãe, passaram a formar o grande grupo das **espermatófitas** (Spermatophyta), isto é, **plantas produtoras de sementes**. Nessas plantas aparece o **óvulo** como formação nova. O óvulo é o precursor ontogenético da **semente**, apresentando o esporângio feminino (megasporângio ou ginosporângio) envolvido por **um tegumento** (gimnospermas) ou **dois tegumentos** (angiospermas). Em geral, esse megasporângio é chamado de **nucelo** no óvulo. No óvulo de cicadas (Cycadophyta), por exemplo, ainda se formam anterozóides que nadam na câmara arquegonial até alcançar a oosfera (Figura 5A). Esta é uma evidência de que os ancestrais de cicadas viveram na água. A partir de coníferas (Coniferophyta), o tubo polínico leva as células espermáticas (não mais anterozóides) até a oosfera. Chama-se a atenção para o fato de que em cicadas podem se formar até 16 arquegônios, num único óvulo. Em coníferas e gnetos (Gnetophyta), se formam, no mínimo, dois arquegônios (Figura 5B).

No óvulo de uma angiosperma forma-se, via de regra, uma única oosfera. Enquanto em cicadas a fase de núcleos livres do megásporo, que precede a formação do gametófito feminino (megagametófito ou ginófito) pode formar até 1500 núcleos, nas angiospermas, a fase de núcleos livres é formada por apenas oito núcleos. Esta fase é conhecida como **saco embrionário** e dá origem, após a celularização, a um gametófito feminino, formado por sete células: três antípodas, duas sinérgides, uma oosfera e uma célula central, binucleada, que após a dupla fecundação, irá originar o endosperma.

Enquanto que em gimnospermas o embrião para se desenvolver, alimenta-se dos tecidos do gametófito feminino, como acontece nas pteridófitas, em angiospermas o tecido nutritivo do embrião é o **endosperma**. Só aparece se o óvulo for fecundado. Após a dupla fecundação, enquanto uma das células espermáticas fecunda a oosfera, para originar o embrião, a outra célula sexual masculina irá fecundar a célula central, com dois núcleos, originando um endosperma, em geral, triplóide.

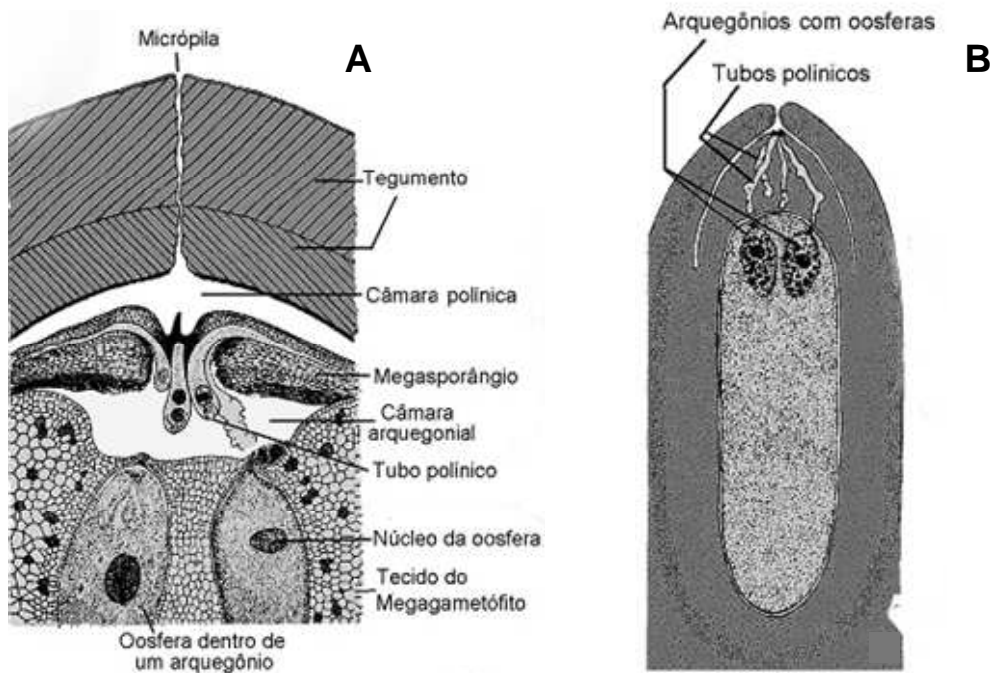


Figura 5. Óvulo de cicas (A) e de pinus (B). Retirado Menezes et al. (2006).

O endosperma foi uma importante aquisição das angiospermas e é considerado um dos mais importantes caracteres da **angiospermia**. A presença de sinérgides significa, para alguns filogenistas, vestígios do arquegônio presente nas gimnospermas.

Quando o embrião está completamente formando, a **semente** está pronta para ser dispersa. Os vários agentes bióticos e abióticos que são responsáveis pela polinização serão responsáveis, também, pela dispersão dessas sementes.

É importante salientar que entre as espermatófitas, assim como em briófitas e pteridófitas, ocorre uma alternância de gerações, mas a geração gametofítica é completamente dependente da geração esporofítica e só se liberta quando o embrião está pronto para se desenvolver. Portanto, a geração gametofítica encontra-se no estróbilo de gimnosperma e na flor de angiosperma.

Nas espermatófitas, apenas um megásporo é fértil. Em gimnosperma o núcleo do megásporo sofre inúmeras divisões, formando centenas de núcleos (como em selaginela) que após a fase de celularização, origina o gametófito feminino (Figura 6A).

Em angiospermas, formam-se, em geral, apenas oito núcleos. O núcleo do megásporo se divide uma vez e os dois núcleos resultantes dirigem-se um para cada pólo de célula. Na segunda divisão, formam-se dois núcleos nos pólos e em seguida quatro núcleos em cada pólo. Depois, de cada pólo migra um núcleo para o interior da célula multinucleada. Como dito anteriormente, essa fase de núcleos livres constitui o saco embrionário. Após se completarem as divisões nucleares, ocorre a celularização, originando sete células: três antípodas, duas sinérgides, uma oosfera e uma célula central, maior, binucleada (Figura 6B).

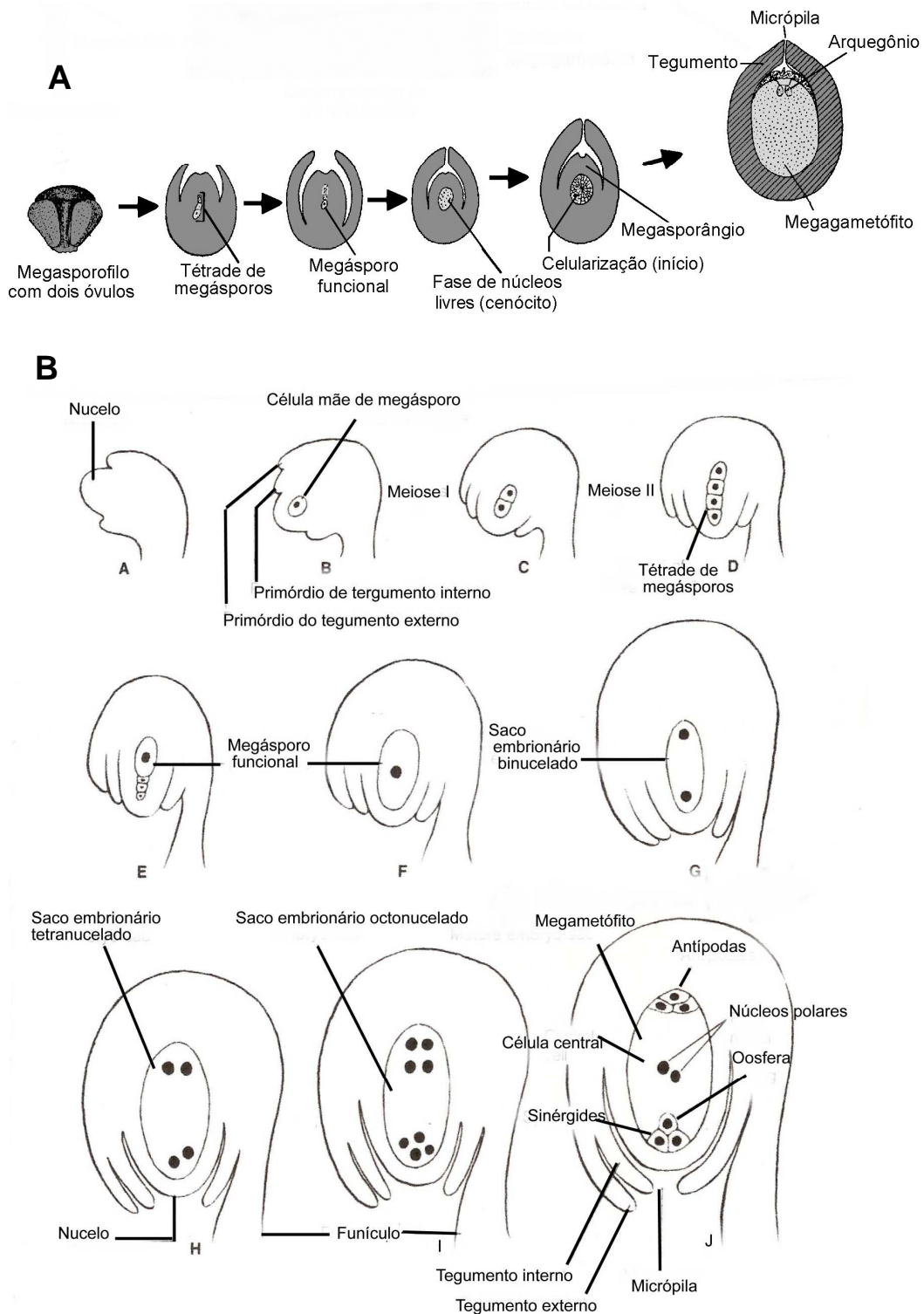


Figura 6. Formação do óvulo em gimnosperma (A) e em angiosperma (B). As letras A-J indicam a seqüência dos eventos. Retirado de Menezes et al. (2006)



BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F. & EICHORN, S.E. 2007. *Biologia Vegetal*. 7ª edição. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 830p.

MENEZES, N.L.; PIRANI, J.R.; GIULIETTI, A.M.; MONTEIRO, W.R.; VENTURELLI, M.; ESTELITA, M.E.; KRAUS, J.E.; ANGYALOSSY, V.; ARDUIN, M.; CECCANTINI, G.C.T. & MELO-DE-PINNA, G.F. 2006. *Anatomia e Morfologia de Plantas Vasculares*. Apostila do Departamento de Botânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 184p.



2. DIVERSIDADE MORFOLÓGICA DAS ESPERMATÓFITAS

Lucimar Barbosa da Motta (lugall@yahoo.com.br)

Cláudia Maria Furlan (furlancm@yahoo.com.br)

Durante a evolução das plantas no período Devoniano (360 Ma) surgiu a linhagem das plantas que produzem sementes, ou seja, as **espermatófitas**.

A **semente** surgiu como um substituto eficiente dos esporos, como a principal maneira de propagação reprodutiva. É importante salientar que as sementes não são homólogas aos esporos, pois os esporos são resultados de um processo meiótico e darão origem aos gametófitos, enquanto as sementes são os próprios produtos da fecundação. Nas espermatófitas, os esporângios femininos produzem quatro esporos, mas esses esporos nunca serão liberados para germinarem no meio ambiente, pois desses quatro apenas um se desenvolverá ainda na planta-mãe e dará origem ao gametófito feminino. Por outro lado, os esporângios masculinos dão origem aos esporos que se desenvolverão em **grãos de pólen** ou gametófitos masculinos. Os grãos de pólen serão liberados ao meio para o encontro do gameta feminino e assim ocorrer a fecundação, originando o **embrião**.

O surgimento da semente foi um dos principais acontecimentos responsáveis pela dominância das espermatófitas no meio terrestre, já que propiciou independência do ambiente aquático para que ocorresse a reprodução. O grande sucesso das plantas com sementes tem sido atribuído à proteção que estas proporcionam para o embrião. Na maioria das vezes uma semente apresenta o embrião (que é o próprio propágulo), um tecido de reserva, normalmente o endosperma ou o perisperma (que atua em estágios definitivos como a germinação) e uma camada protetora ou tegumento, como o próprio nome sugere protege o embrião dos rigores da vida terrestre.

Esse grupo dominante de plantas tem suas características amplamente diversas. Em tamanho, elas variam desde espécies arbóreas como as gigantescas sequóias (Cupressaceae) de mais de 100 metros de altura e com caules de aproximadamente 10 metros de diâmetro, até algumas espécies muito pequenas como as lentilhas-d'água (Lemnaceae) que são plantas simples, flutuadoras e que muitas vezes não alcançam nem um milímetro de comprimento. Muitas plantas são adaptadas a crescer em regiões extremamente áridas, como os cactos (Cactaceae) que possuem caules suculentos e folhas modificadas em espinhos. Diante de toda essa diversidade morfológica, algumas características têm sido usadas para diagnosticar alguns grupos, especialmente as características reprodutivas, que mostraram grande diversificação durante a evolução dos grupos.

As espermatófitas são tradicionalmente divididas em dois grandes grupos: as **gimnospermas** (plantas com sementes nuas) e as **angiospermas** (plantas com sementes e flores); alguns autores também tratavam as espermatófitas como fanerógamas, ou seja, plantas com órgãos sexuais visíveis.

Há quatro grupos de gimnospermas com representantes atuais: **Cycadophyta**, **Ginkgophyta**, **Coniferophyta** e **Gnetophyta**, que são caracterizados por possuírem crescimento secundário, traqueídes no xilema e células crivadas no floema. As folhas são geralmente perenes (exceto no gênero *Ginkgo*) e a venação dicotômica (exceto em Gnetophyta).



Em relação aos aspectos reprodutivos, as gimnospermas se caracterizam por possuírem o gametófito feminino imerso em uma estrutura chamada óvulo, podendo estar completamente livre, ou inserido em uma escama. Frequentemente, em gimnospermas, os óvulos encontram-se em estruturas denominadas **estróbilos** (Figura 1A), que são vários óvulos e suas respectivas **escamas**, densamente arranjados sobre um eixo. Existe grande variação na estrutura do estróbilo, principalmente no grupo das coníferas. O grão de pólen produz uma estrutura chamada tubo polínico, dentro do qual o gameta verdadeiro é encontrado. Isso pode ser observado nos grupos de **Coniferophyta**, como por exemplo, *Pinus* e *Araucaria*, e também nos grupos de **Gnetophyta**, como por exemplo, *Ephedra*. Em outros grupos de gimnospermas, dentro do tubo polínico encontra-se um anterozóide ciliado que nada para fecundar o gameta feminino, apresentando assim ainda certa dependência da água para a fecundação. Isso pode ser observado apenas em alguns grupos de gimnospermas como **Cycadophyta**, por exemplo, *Cycas* e *Zamia*, e também em **Ginkgophyta**, como por exemplo, *Ginkgo biloba*.

A semente forma-se a partir da união desses dois gametas, mas é importante ressaltar que nenhum fruto verdadeiro é formado nas gimnospermas, apenas semente, por exemplo, o saboroso pinhão das araucárias (Figura 1B). Em alguns casos, as sementes das gimnospermas podem se encontrar sobre um receptáculo carnoso e colorido, derivado da fusão de duas brácteas que, às vezes, podem ser confundidos com frutos, por exemplo, em *Podocarpus*. Outra estrutura carnosa e colorida que envolve as sementes conhecida como arilo, desenvolve-se nos teixos (Taxaceae) e atua na dispersão das sementes por pássaros (Figura 1C).

O outro grande grupo de espermatófitas, as **angiospermas**, é facilmente reconhecido pela produção de flores. Nas angiospermas, o óvulo é similar ao das gimnospermas, mas difere por estar dentro de uma estrutura especial fechada, conhecida como carpelo. Supõe-se que essa estrutura seja derivada de uma folha modificada.

Nas angiospermas, o grão de pólen possui parede única e característica, em vez de entrar diretamente pela micrópila como nas gimnospermas, aterrissa no estigma. O encontro dos gametas é proporcionado pelo tubo polínico que cresce pelo estilete até a micrópila e então penetra o óvulo, permitindo a entrada de dois gametas masculinos no gametófito feminino, um fertiliza o gameta feminino produzindo o zigoto diplóide e o outro se une às células polares formando o endosperma triplóide que nutrirá o embrião durante seu desenvolvimento, a chamada.

Outra característica das angiospermas é que tanto o gametófito feminino como o masculino são usualmente encontrados em estruturas específicas ao longo do mesmo eixo floral ou da mesma **flor**. Essa consiste em uma das estruturas mais variáveis em formas e cores nas plantas. Isso ocorre, pois esse grupo de plantas ao mesmo tempo que tem suas estruturas reprodutivas reduzidas em tamanho, possui também um refinado sistema de dispersão dos grãos de pólen, a polinização, havendo, assim, um investimento em atrair polinizadores ou utilizar recursos abióticos para a transferência do pólen.

Todo esse esforço adaptativo das angiospermas proporcionou o desenvolvimento de uma vasta gama de cores e formas das estruturas florais, dando a algumas características certo destaque como, por exemplo, na produção de pétalas vistosas, como nas azaléias, ou em modificações de pétalas como o estandarte e a carena observados na família do feijão (Fabaceae). Outra estrutura que também apresenta



especializações variadas é o estame, como aqueles fundidos à corola, como na família da menta (Lamiaceae) ou aqueles estames com comprimentos diferentes (didínamos) (Figura 1D) como nos ipês (Bignoniaceae). Em certos grupos, os estames se tornaram estéreis e se transformaram em nectários como nos lírios (Liliaceae). Outras plantas apresentam nectários extraflorais como os elaióforos presentes na família da acerola (Malpighiaceae), que servem como recompensa aos polinizadores. Outra estrutura que chama atenção dos polinizadores são as brácteas grandes e coloridas como no bico-de-papagaio (Euphorbiaceae) ou nas primaveras (Nyctaginaceae).

Tradicionalmente, as angiospermas eram classificadas em dicotiledôneas e monocotiledôneas. A partir de 1998, um sistema de classificação conhecido como **APG** (“Angiosperm Phylogeny Group”) revolucionou a classificação por ser construído com base em seqüências de nucleotídeos de regiões do DNA (dados de biologia molecular) e fazer uso da **sistemática filogenética**, que se baseia em grupos derivados a partir de um único ancestral comum (monofilético). Atualmente, o sistema proposto considera que as angiospermas apresentam várias linhagens evolutivas que podem ser facilmente caracterizadas. Entre elas, algumas linhagens com poucos membros e outras duas muito grandes que compreendem o grupo das **monocotiledôneas** (que formam um grupo monofilético) e o grupo das **eudicotiledôneas**. É importante salientar que o grupo conhecido como dicotiledônea, hoje não é considerado como um agrupamento taxonômico, uma vez que as evidências mostram que esse grupo não é derivado de um ancestral comum (é polifilético) e, atualmente, seus membros estão distribuídos em vários outros grupos informais como as angiospermas basais e as eudicotiledôneas (Figura 1G).

Algumas linhagens pequenas e distintas de plantas com flores são conhecidas como **angiospermas basais** ou angiospermas mais antigas, entre elas estão plantas com numerosas peças florais e com perianto que não possui uma separação nítida entre cálice e corola, como as magnólias (Magnoliaceae), as anonas (Annonaceae) e as ninféias (Nymphaeaceae).

As monocotiledôneas incluem plantas bem familiares como as gramíneas (Poaceae), os lírios (Liliaceae), as orquídeas (Orchidaceae) e as palmeiras (Arecaceae); elas se caracterizam por apresentar as partes das flores em número de três elementos (flores trímeras), além de possuírem pólen monoaperturados (possuindo um poro ou sulco). Entre as monocotiledôneas, alguns grupos merecem destaque na especialização, como as gramíneas que apresentam flores geralmente inconspícuas que se adaptaram para a polinização pelo vento, produzindo uma grande quantidade de pólen que será levado pelo vento, enquanto seus estigmas são amplos e plumosos, eficazes para receber o pólen. Outro grupo muito especializado são as orquídeas, essas representam a maior família das angiospermas, seu sucesso é atribuído a alguns fatores como sua grande quantidade de óvulos que, por sua vez, pode resultar em um número muito grande de sementes; todo o pólen está reunido em estruturas chamadas polínias, sendo disperso de uma só vez; a simetria da flor e a forma de suas pétalas, como o labelo, também auxiliam no processo de polinização (Figura 1E).

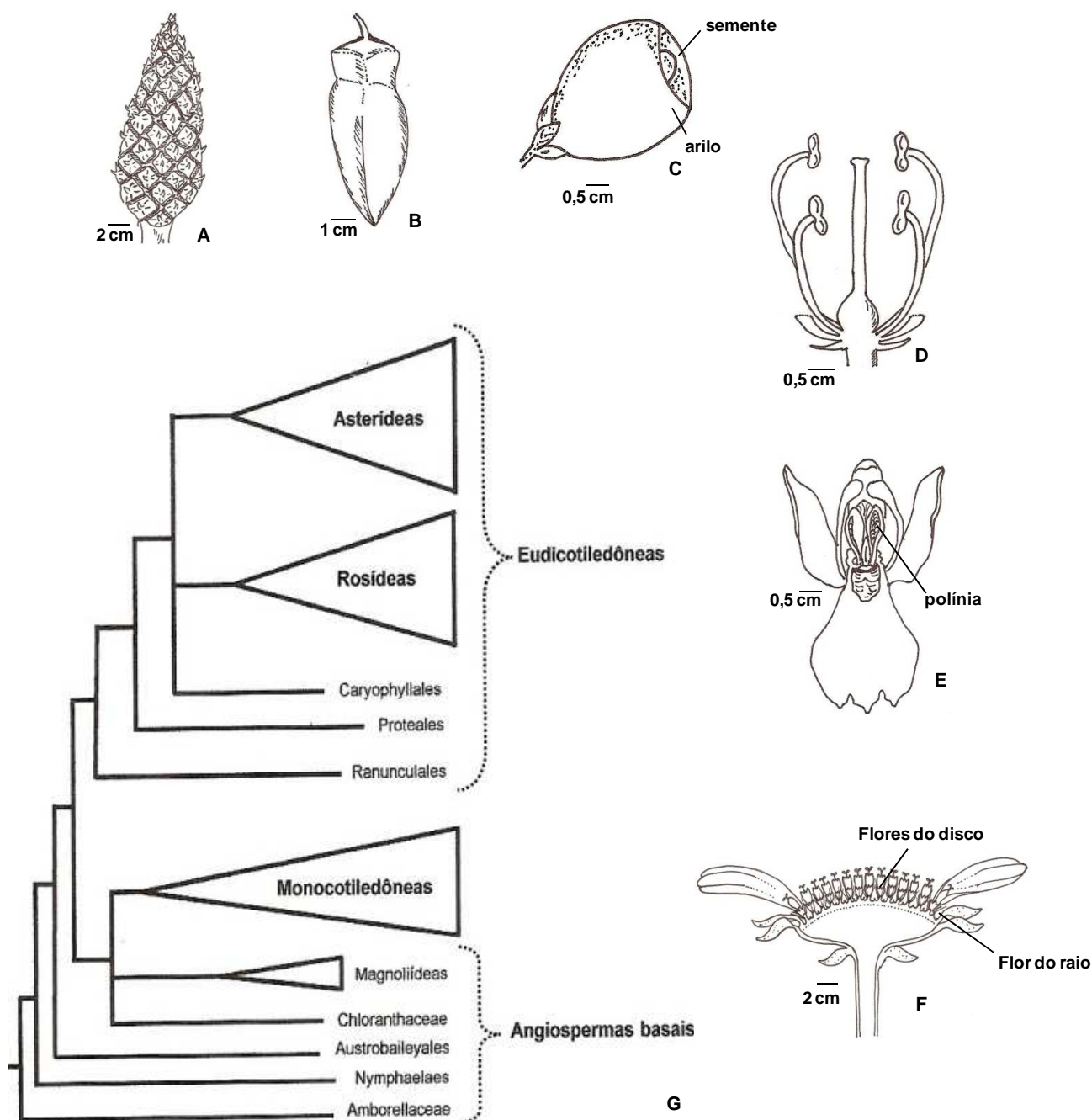


Figura 1. Representação esquemática evidenciando: (A) Estróbilo de *Pinus*; (B) Pinhão de araucária; (C) sementes de Taxaceae com arilo; (D) Estames didínamos; (E) Flor de orquídea; (F) Flores de girassol reunidas em capítulo; (G) Árvore simplificada, mostrando os grandes clados reconhecidos atualmente (adaptado do APG 2003). Ilustrações: Motta, A.R. (baseado em Gonçalves & Lorenzi, 2007).



As eudicotiledôneas são mais diversificadas e incluem quase todas as árvores, arbustos e ervas. Tradicionalmente, eram tratadas como dicotiledôneas; elas se caracterizam por apresentar plantas que possuem as partes das flores em número de quatro ou cinco elementos, além de possuírem pólen triaperturados (possuindo três poros ou sulcos). Nessa linhagem, alguns grupos merecem destaque, como o grupo das **rosídeas** que é formado pelas plantas com corola dialipétala (pétalas separadas), entre elas estão a goiaba (Myrtaceae), o feijão (Fabaceae) e a maçã (Rosaceae), entre outras. Outro grupo de grande destaque é o das **asterídeas**, formado por plantas que possuem corola gamopétala, entre elas estão, por exemplo, a hortelã (Lamiaceae) e a batata (Solanaceae). Nesse grupo se posiciona também uma das famílias com o maior grau de especialização em termos evolutivos, a família do girassol (Asteraceae). Essas plantas apresentam flores reunidas em capítulos, que no geral dá aparência de uma grande flor (Figura 1F). O capítulo apresenta o amadurecimento de suas flores durante vários dias, assim seus óvulos são fecundados por pólen de diferentes doadores, levando assim a uma grande diversidade; seus frutos possuem estruturas conhecidas como “pappus”, que auxiliam na dispersão e que podem se aderir a pêlos de animais e serem levados por grandes distâncias.

Após a polinização, o ovário das angiospermas é usualmente a única porção da flor que persiste e se desenvolve em frutos, uma característica exclusiva do grupo das angiospermas. Os frutos, além de contribuir para a proteção da semente, também auxiliam na sua dispersão.

É possível observar que a grande diversidade morfológica encontrada atualmente entre as espermatófitas está relacionada aos processos de diversificação adaptativa durante a história evolutiva desses grupos.

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

- GONÇALVES, E. & LORENZI, H. 2007. *Morfologia Vegetal*. Editora Instituto Plantarum de Estudos da Flora, Nova Odessa, 416p.
- JUDD, W.S.; CAMPBELL, C.S.; KELLOGG, E.A. & STEVENS, P.F. 1999. *Plant Systematics: a Phylogenetic Approach*. 2ª edição. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, 576p.
- RAVEN, P.H.; EVERT, R.F. & EICHORN, S.E. 2007. *Biologia Vegetal*. 7ª edição. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 830p.
- SIMPSON, M.G. 2006. *Plant Systematics*. Elsevier Academic Press, Londres, 590p.
- SOUZA, V.C. & LORENZI, H. 2005. *Botânica Sistemática: Guia Ilustrado para Identificação das Famílias de Angiospermas da Flora Brasileira, Baseado em APG II*. Instituto Plantarum de Estudos da Flora, Nova Odessa, 640p.



3. DIVERSIDADE DA MORFOLOGIA FLORAL

Déborah Yara A. Cursino dos Santos (dyacsan@ib.usp.br)

Lucimar Barbosa da Motta (lugalll@yahoo.com.br)

Durante a conquista do ambiente terrestre e evolução das plantas, mais especificamente durante o Cretáceo, a **flor** surgiu como **novidade evolutiva** em uma linhagem de plantas (**Anthophyta**), provocando uma verdadeira revolução no mundo dos vegetais. Essa estrutura representou um avanço evolutivo, pois nesse grupo de plantas seus óvulos e sementes não mais estão expostos diretamente ao meio externo, mas incluídos num ovário, resultado do dobramento e soldadura das bordas do megasporofilo ou **carpelo**; dessa estrutura que envolve os óvulos e sementes originou o nome do grupo - **angiosperma**, de origem grega (“angio” = vaso ou urna; “sperma” = semente). Há controvérsias de como seriam as primeiras flores. Alguns fósseis indicam que seriam pequenas e com estruturas reduzidas, outros mostram flores grandes com peças florais desenvolvidas e em grande número. Não obstante essa discussão, não há dúvida que o surgimento e a fixação dessa novidade evolutiva tenham culminado na efetiva conquista de ambiente terrestre e o seu domínio pelas angiospermas.

A flor consiste de um ramo caulinar de crescimento determinado, ou seja, um ramo que cresce por tempo limitado. Esse ramo apresenta folhas modificadas, dispostas nos nós, agora bem próximos, devido ao achatamento dos entrenós. Muitas flores apresentam quatro conjuntos de apêndices, dois estéreis e dois férteis, ligados ao **receptáculo** (parte do eixo na qual as peças florais estão inseridas), dispostos, muitas vezes, em círculos (**verticilos**) (Figura 1A).

O verticilo mais externo na flor é formado por peças muito similares a folhas, conhecidas como **sépalas**. O conjunto das sépalas é chamado de **cálice**. As sépalas têm como função principal guarnecerem o botão floral em seus estágios iniciais. As peças desse verticilo podem ser livres entre si (cálice **dialissépalo**), ou podem ser unidas (cálice **gamossépalo**).

Internamente ao cálice, aparece o verticilo formado por apêndices foliáceos, agora mais modificados, geralmente coloridos, chamados de **pétalas**, que em conjunto, são conhecidos como **corola**. Esse verticilo além da proteção dos verticilos internos, também atua na atração de polinizadores. As pétalas geralmente têm textura mais delicada que as sépalas e apresentam diferentes cores; raramente são verdes ou negras. Os diferentes formatos e cores da corola estão muito relacionados aos diferentes polinizadores. Da mesma forma que o cálice, a corola também pode apresentar as pétalas livres entre si (corola **dialipétala**) ou unidas (corola **gamopétala**).

Ao conjunto dos verticilos estéreis da flor (cálice e corola) denomina-se **perianto**. Em alguns casos, as sépalas e pétalas não são morfologicamente distintas, sendo então denominadas **tépalas**. As peças do perianto nem sempre estão presentes. Uma flor que não possui cálice e nem corola é uma flor **aclamídea**; se possui apenas o cálice (ou mais raramente, apenas a corola) é uma flor **monoclamídea**; se possui cálice e corola é uma flor **diclamídea**.

Acima (ou mais interno) às partes estéreis da flor estão dispostos os verticilos que contêm a porção fértil desse órgão. O primeiro deles (mais externo) é o **androceu**, formado por microsporofilos bastante modificados conhecidos como **estames**. Os estames são formados por uma parte estéril denominada **filete**,



geralmente de forma alongada e que porta em sua porção apical uma estrutura denominada **antera**, dentro da qual os **grãos de pólen** são formados.

O número de estames por flor é bastante variável, existindo desde flores com um só estame, até flores com numerosos estames. Apesar dessa variação, pode-se relacionar o número de estames com o de pétalas. Assim temos as flores **isostêmones**, quando o número de estames é igual ao número de pétalas; flores **oligostêmones**, quando o número de estames é menor do que o número de pétalas; e flores **polistêmones**, quando o número de estames é maior do que o número de pétalas. Os estames podem ser livres entre si ou unir-se através dos filetes formando um ou vários grupos. Os estames são denominados **monadelfos** quando todos estão unidos em um só grupo; **diadelfos** quando unidos em dois grupos ou **poliadelfos** quando formam muitos grupos. Os estames podem estar inseridos diretamente no receptáculo, sendo então denominados **estames livres** desde a base, ou estarem adnatos (unidos) às pétalas, denominados, então, **epipétalos**.

A antera tem forma globosa, bilobada contendo em seu interior quatro microsporângios (ou **sacos polínicos**) arrançados em dois pares, onde são formados os grãos de pólen. Cada lobo da antera (**teca**) contém um par de sacos polínicos. A liberação do grão de pólen se dá através da deiscência (abertura) da teca que pode ser por uma fenda longitudinal (deiscência longitudinal ou **rimosa**), por poros localizados geralmente na porção apical da teca (deiscência **poricida**), ou por uma ou duas valvas em cada teca (deiscência **valvar**) (Figura 1B, 1C, 1D). A antera pode unir-se ao filete pela sua base (**antera basifixa**), pelo seu dorso (**antera dorsifixa**) ou, mais raramente, pelo ápice (**antera apicefixa**).

Os **carpelos** (apêndices florais que contêm os óvulos) formam o verticilo mais interno da flor, denominado **gineceu**. Essas estruturas são megasporófilos que se dobram ao longo do seu comprimento e portam um ou mais óvulos. Numa flor, os carpelos podem estar livres entre si, constituindo o **gineceu apocárpico**, ou unidos entre si, total ou parcialmente, constituindo o **gineceu sincárpico** (Figura 1E, 1F). O carpelo isolado ou o conjunto de carpelos fusionados é chamado de **pistilo**. O pistilo se divide em três porções bem definidas denominadas de **ovário**, **estilete** e **estigma**. A porção apical do pistilo é o estigma que, na maioria das vezes apresenta uma superfície glandulosa, pilosa ou rugosa que facilita a recepção e aderência dos grãos de pólen. O estigma é ligado ao ovário pelo estilete que, geralmente, tem a forma alongada e cilíndrica. A porção basal do pistilo é normalmente dilatada e abriga os óvulos, sendo denominada ovário. O ovário formado por carpelos fusionados, pode apresentar internamente um ou mais **lóculos**. O número de lóculos pode fornecer uma boa estimativa do número de carpelos daquele gineceu.

A região do ovário onde se originam os óvulos e na qual eles permanecem aderidos é denominada de **placenta**, e essa pode apresentar arranjos variados (**placentação**) no ovário. Em algumas flores com gineceu sincárpico, o ovário apresenta vários lóculos com os óvulos aderidos à coluna central formada pela união dos carpelos – placentação **axilar**. De outra forma, esses óvulos aparecem presos à coluna central não ligada a parece externa do ovário (placentação **central livre**). Nas flores com placentação **parietal** os óvulos estão presos à parede externa do ovário (Figura 1G, 1H, 1I). Nesses dois últimos casos, o ovário deve ser unilocular. Quando existe somente um óvulo, esse pode estar ligado à base (placentação **basal**) ou ao ápice (placentação **apical**) do ovário. Flores com gineceu apocárpico geralmente apresentam ovários com placentação **marginal** (óvulos presos às margens da região de soldadura do carpelo).



De acordo com a posição de inserção das peças florais (perianto e androceu) no receptáculo em relação à posição do gineceu, o ovário pode ser dito **súpero**, quando está livre e as demais peças florais se localizam abaixo ou em torno do gineceu, ou **ínfero**, quando as sépalas, pétalas e estames se inserem, aparentemente, próximas ao topo do ovário (Figura 1J, 1K). Muitas plantas apresentam o perianto fusionado aos estames formando uma extensão do receptáculo, em forma de taça, chamada de **hipanto**. Flores com ovário súpero sem hipanto são ditas **hipóginas** (peças florais inseridas abaixo do ovário). Quando há formação do hipanto, as flores podem ser **períginas** (peças florais inseridas em um receptáculo côncavo, livre da parede do ovário, ou aderido a ele, até metade do seu comprimento) ou **epíginas** (peças florais inseridas em um receptáculo côncavo completamente aderido a parede do ovário – ovário ínfero).

Da mesma forma que os verticilos estéreis (cálice e corola), não são todas as flores que apresentam androceu e gineceu. Quando as flores apresentam estames e pistilo são ditas **perfeitas** (bissexuadas) ou **hermafroditas** ou **monoclínicas** (do grego: “mono” = único, “kline” = cama ou leito). No caso de apresentarem somente androceu (flores **estaminadas**) ou somente o gineceu (flores **pistiladas**) são chamadas flores **imperfeitas** (unissexuais) ou **diclínicas** (do grego: “di” = dois, “kline” = cama ou leito). Quando flores estaminadas e pistiladas ocorrem na mesma planta, esta é denominada **monóica** (do grego: “monos” = único, “oikos” = casa), porém quando essas flores (estaminadas ou pistiladas) são encontradas em plantas separadas, essas plantas são conhecidas como **dióicas** (do grego: “di” = dois, “oikos” = casa).

Outro aspecto interessante relacionado às flores é sua simetria. Algumas flores apresentam suas peças florais dispostas de maneira uniforme no receptáculo, permitindo mais de um plano de simetria, sendo denominadas **actinomorfas**. No caso de flores que apresentam uma ou mais peças florais diferenciadas, permitindo um só plano de simetria, a flor é **zigomorfa** (Figura 1L, 1M). Quando não podem ser traçados planos de simetria as flores são chamadas **assimétricas**.

Uma flor é denominada de **completa** se todos os verticilos (cálice, corola, androceu e gineceu) estão presentes. Se qualquer um deles estiver faltando, a flor é chamada **incompleta**. Assim, uma flor imperfeita (unissexuada) é também incompleta, porém nem toda flor incompleta é imperfeita, pois estames e carpelos podem estar presentes.

As flores podem ser solitárias ou estar agrupadas de diversas maneiras, em estruturas conhecidas como **inflorescências**. Esse conjunto de flores é categorizado segundo sua ontogênese. Existem muitos tipos de inflorescências, sendo os mais comuns os **racemos** (conhecidos como cachos), que apresentam crescimento indeterminado, e os **capítulos**, nos quais as flores se dispõem em um receptáculo plano, sugerindo muitas vezes, no seu conjunto, uma única flor.

Nessa aula, estudaremos a estrutura de algumas flores buscando entender a diversidade no arranjo de suas peças florais.

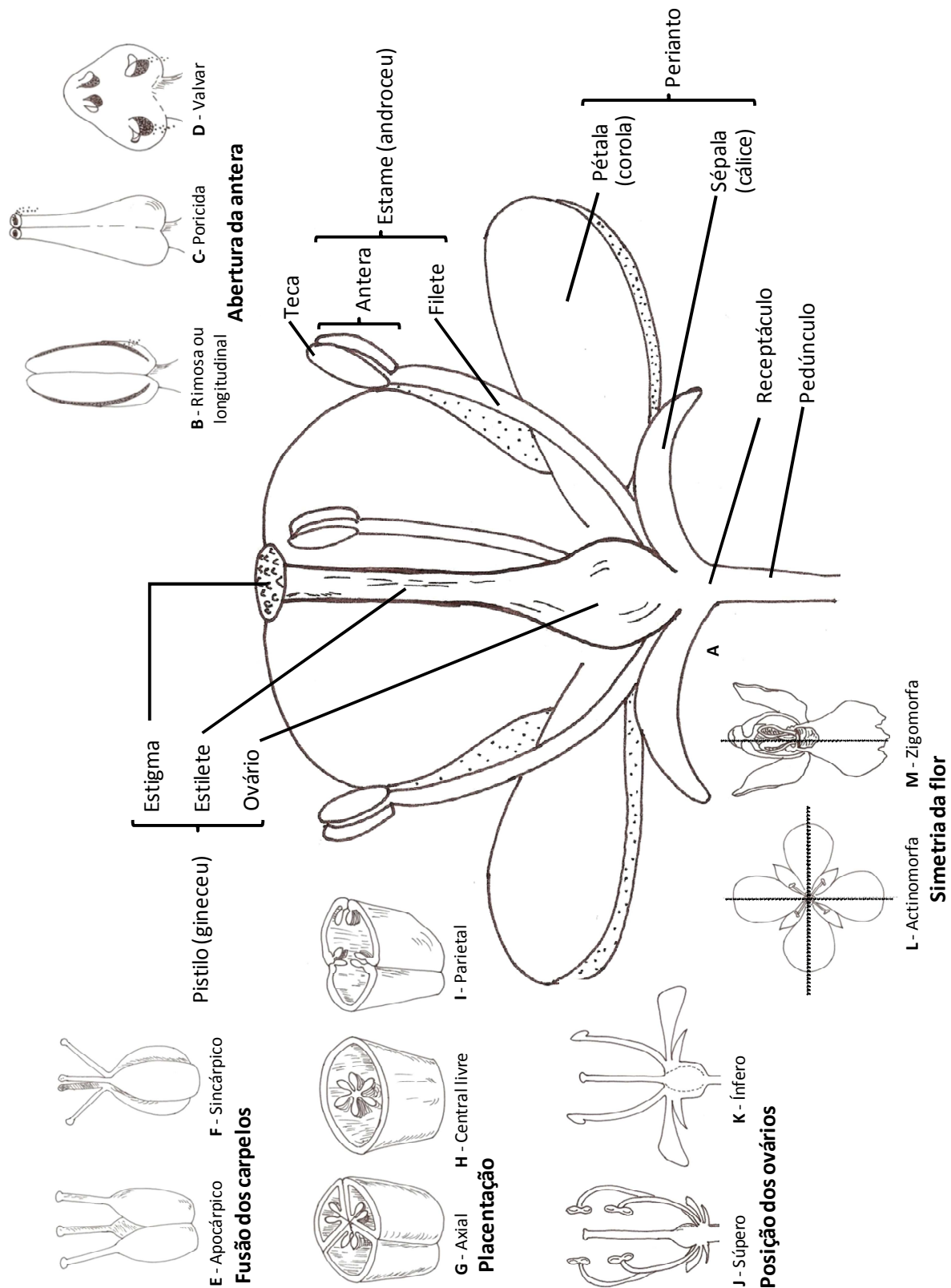


Figura 1. Representação esquemática da morfologia floral. (A) Vista geral de uma flor completa. Tipo de abertura da antera: (B) rimosa, (C) poricida e (D) valvar. Tipo de fusão de carpelos: (E) apocárpico e (F) sincárpico. Tipo de placentação: (G) axial, (H) central livre e (I) parietal. Tipo de posição de ovário: (J) súpero e (K) ínfero. Simetria da flor: (L) actinomorfa e (M) zigomorfa. Ilustrações: Motta, A.R. (baseado em Gonçalves & Lorenzi, 2007).

**LISTA DE MATERIAL NECESSÁRIO**

- Estilete
- Flor de azaléia
- Flor de hibisco
- Flor de lírio
- Girassol (ou qualquer margarida grande)
- Lâmina de barbear
- Lupa conta-fios
- Placa de Petri

PROCEDIMENTOS

1. Pegue a flor do material número 1 e procure identificar todas suas partes. Se necessário utilize uma lupa conta fios.
 - a. Observe as pétalas, as sépalas, o ovário e os estames.
 - b. Observe a forma das peças do perianto. Essas peças se assemelham a qual outro órgão vegetal?
 - c. Observe o androceu. Identifique as partes dos estames: filete, antera e conectivo.
 - d. Observe o gineceu. Identifique as partes: ovário, estilete e estigma.
 - e. Corte o ovário e observe o que tem dentro. Quando o fruto amadurece, em que se transformam essas estruturas?
2. Analise da mesma forma as flores dos demais materiais oferecidos.
3. Discuta com os seus colegas e responda:
 - a. Qual a função de cada uma das partes observadas?
4. Discuta com os seus colegas e complete o quadro abaixo, comparando os materiais.

CARACTERÍSTICAS	Material 1	Material 2	Material 3	Material 4
Planta				
Cálice (conjunto de sépalas)				
Número				
Livres ou fundidas				
Coloração				
Corola (conjunto de pétalas)				
Número				
Livres ou fundidas				
Coloração				
Distinção entre cálice e corola				
Androceu (conjunto de estames)				
Número				
Livres ou fundidos				
Abertura da antera e pólen				
Gineceu				
Número de ovários por flor				
Número de óvulos no ovário				



5. Analise agora o girassol e responda:
 - a. Qual a principal diferença entre o girassol e o material 1?
 - b. Todas as partes observadas no material 1 podem ser vistas no girassol?
6. Observe os materiais em demonstração. Veja as diferentes formas de organização das flores nas angiospermas.

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

- GONÇALVES, E. & LORENZI, H. 2007. *Morfologia Vegetal*. Editora Instituto Plantarum de Estudos da Flora, Nova Odessa, 446p.
- RAVEN, P.H.; EVERT, R.F. & EICHORN, S.E. 2007. *Biologia Vegetal*. 6ª Ed. Editora Guanabara Koogan. 830p.
- SIMPSON, M.G. 2006. *Plant Systematics*. Elsevier Academic Press, Londres, 590p.
- SANTOS, D.Y.A.C.; CECCANTINI, G. & SANO, P.T. 2004. Diversidade floral. *In*: Santos, D.Y.A.C. & Ceccantini, G. (org.). *Propostas para o Ensino de Botânica. Manual do Curso para Atualização de Professores dos Ensinos Fundamental e Médio*. Apostila do Departamento de Botânica, Universidade de São Paulo, 48p. (http://felix.ib.usp.br/Apostila_PEB.pdf)

4. RECONHECIMENTO DOS GRANDES GRUPOS DE PLANTAS

Amanda Wanderley (amanda_bio@uol.com.br)

Lígia Maria Ayres (ligia_ayres@yahoo.com.br)

A ciência é um campo muito dinâmico e é natural que os sistemas de classificação estejam em constante transformação. O sistema de cinco reinos proposto por Robert Whittaker em 1969, que perdura até hoje em muitos dos livros didáticos considera primordialmente semelhanças morfológicas e fisiológicas. Atualmente, muitos trabalhos utilizam ferramentas de **biologia molecular** para elucidar as relações de parentesco entre os diversos organismos, revelando que muitos dos grupos antes estabelecidos não possuem qualquer significado taxonômico e, portanto, novas filogenias têm sido adotadas. Uma nova proposta de **filogenia** foi concebida por Carl R. Woese em 1978, incluindo dados de biologia molecular e agrupando os seres vivos em três grandes domínios: Archaea, Bacteria e Eukarya. Posteriormente, surgiram várias hipóteses de filogenias para cada um dos respectivos domínios. Um dos sistemas de classificação de **eucariontes** mais atuais representa aquele proposto por Baldauf (2003), no qual os eucariontes foram agrupados em oito grandes grupos (Figura 1).

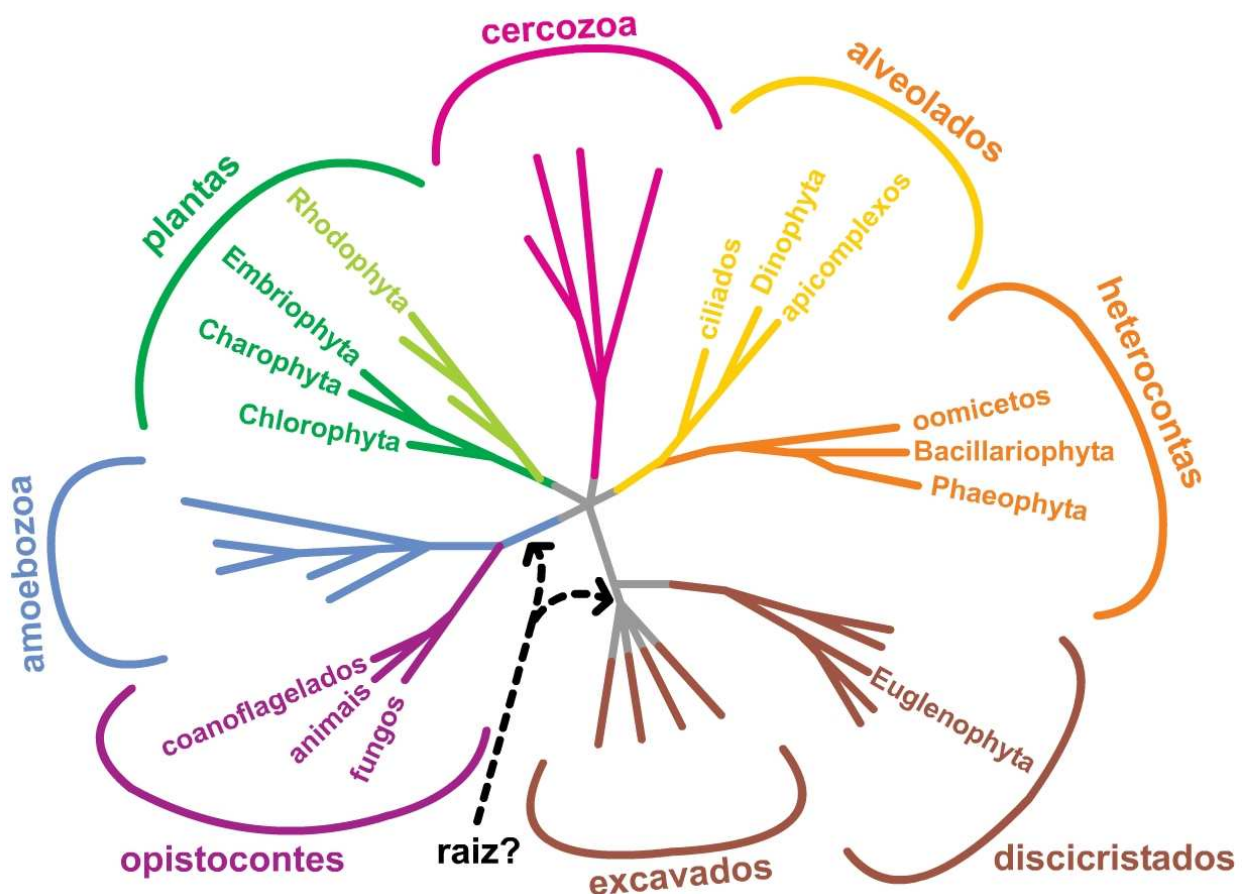


Figura 1. Representação esquemática de filogenia de consenso dos eucariotos. Modificado de Baldauf (2003).



De forma particular, trataremos aqui apenas os organismos fotossintetizantes que possuem clorofila *a* e liberam oxigênio no processo de fotossíntese: algas (procariontes e eucariontes), briófitas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas, nem todos pertencem necessariamente à linhagem das plantas verdes (Figura 2).

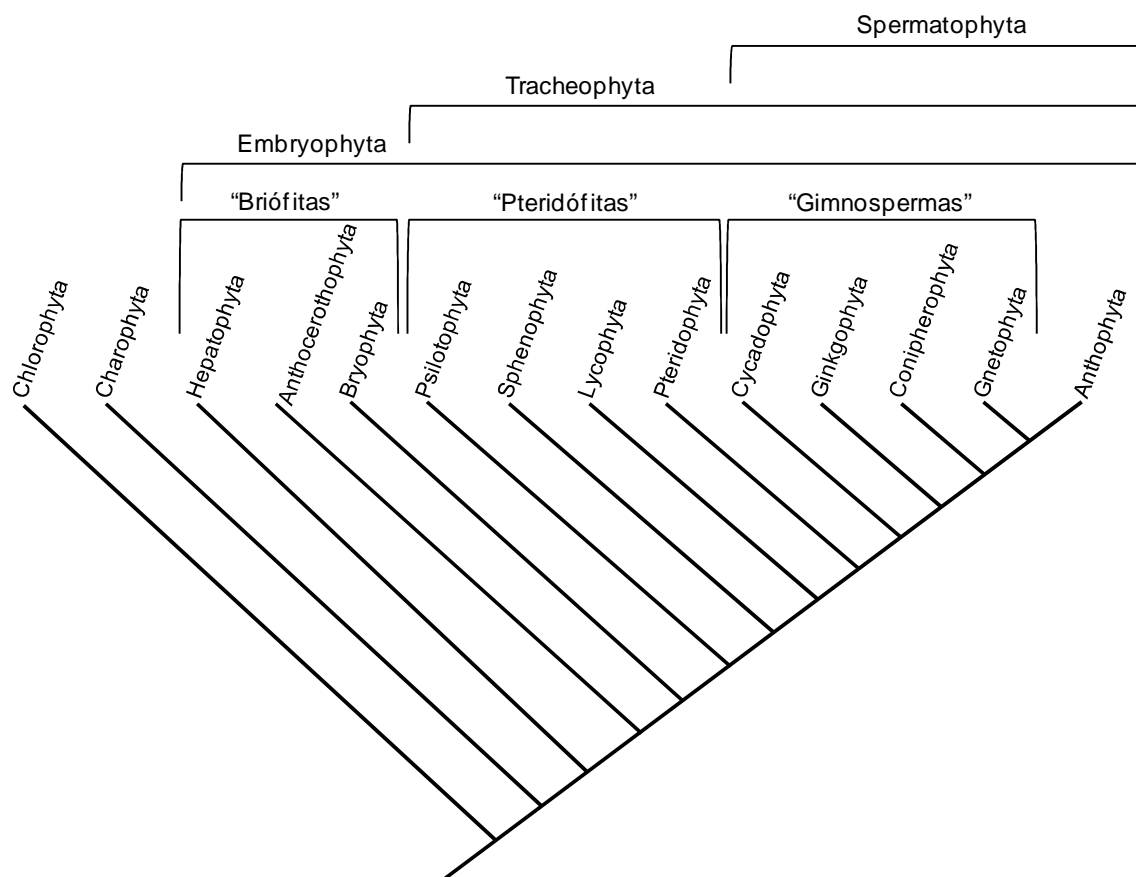


Figura 2. Hipótese da filogenia da linhagem das plantas verdes. Nomes entre aspas ("") não correspondem a categorias taxonômicas pois não são monofiléticos. Modificado de Raven et al. (2007).

A seguir, caracterizamos brevemente os grupos vegetais que podemos reconhecer nos ambientes que nos cercam, enfatizando a morfologia externa, as adaptações para absorção de água e sua organização dentro da planta e aspectos relacionados à reprodução. É importante salientar que, com exceção das angiospermas (Anthophyta), todos esses grupos são desprovidos de significado taxonômico pelo seu caráter polifilético (Figura 2). Os fungos, tradicionalmente estudados em botânica, não serão abordados aqui por se tratar de organismos mais relacionados aos animais do que às plantas.

Algas

O grupo das algas abrange organismos muito diversos, inclusive procariontes (Cyanobacteria), não constituindo, portanto, uma categoria taxonômica. As algas estão agrupadas em filos conforme a organização do talo, pigmentação, constituição da parede celular e substâncias de reserva. Existem formas unicelulares, coloniais, pluricelulares (filamentosas ou parenquimatosas) e cenocíticas. As algas são organismos **avasculares** e, portanto, sem organização de raiz, caule e folhas. A maioria de seus representantes é aquática, mas alguns vivem no ambiente terrestre, crescendo sobre tronco de árvores, por exemplo. As algas verdes (Chlorophyta) são as mais comuns no ambiente terrestre e na água doce e,



portanto, mais acessíveis aos professores que desejem usá-las em aulas práticas. Também fazem parte deste grupo Euglenophyta (euglenófitas), Rhodophyta (algas vermelhas), Phaeophyta (algas pardas), Bacillariophyta (diatomáceas) e Dinophyta (dinoflagelados).

Hoje se sabe que tais filós são pouco relacionados entre si, e que apenas as algas verdes e vermelhas possuem parentesco direto com Embryophyta (plantas que produzem embrião) (Figura 1), também denominadas plantas terrestres. Devido às semelhanças bioquímicas, ultra-estruturais, detalhes da divisão celular e dados de biologia molecular, considera-se que um pequeno grupo de Chlorophyta, chamada Charophyceae (alguns autores consideram esse grupo como um filo distinto, Filo Charophyta), deu origem às embriófitas. A hipótese considerada mais plausível é que um grupo de algas verdes relacionadas às Charophyceae teria originado um organismo desconhecido que seria o ancestral comum entre formas de briófitas e de pteridófitas.

Briófitas

Assim como as algas, o grupo das briófitas é constituído por organismos avasculares. Entretanto, as briófitas possuem gametas masculinos e femininos envolvidos por uma camada de células estéreis, formando os chamados **anterídeos** e **arquegônios**, respectivamente. Este envoltório protege os gametas contra dessecação e representa um grande passo para a sobrevivência no meio terrestre. Atualmente, o termo briófitas não representa uma categoria taxonômica, pois, com o avanço dos estudos filogenéticos, o que era compreendido pelo antigo filo Bryophyta hoje está dividido em três filós: Hepatophyta (hepáticas), Anthocerophyta (antóceros) e Bryophyta (musgos) (Figura 2). Há discordância quanto ao grupo que teria divergido mais cedo e qual seria o mais próximo a Tracheophyta (plantas vasculares). Entretanto, com o advento da biologia molecular, parece mais plausível que as hepáticas tenham divergido primeiramente e os musgos sejam os mais aparentados a Tracheophyta (Figura 2). As briófitas vivem em locais úmidos e sombrios e atingem apenas poucos centímetros de comprimento. Neste grupo, o **gametófito** (haplóide, n) é a fase **dominante** e o esporófito (diplóide, $2n$) é dependente do gametófito. Nos musgos, o gametófito é composto por folídeos em disposição espiralada em torno do caulídeo e o esporófito é constituído por uma haste alongada (seta) e uma cápsula, dentro da qual são produzidos os esporos. A fase gametofítica das hepáticas e dos antóceros constitui-se em um talo lobado. A fase esporofítica das hepáticas é composta por um pé, uma curta seta e uma cápsula, enquanto a dos antóceros é formada por um pé e uma cápsula longa e cilíndrica. Não possuem sistema radicular, de modo que a absorção de água e sais minerais é feita por células alongadas chamadas rizóides localizadas na porção inferior do talo. Além da ausência de vasos condutores e de mecanismos eficientes para a conservação da água absorvida, a distribuição do grupo é limitada pelo fato de os gametas masculinos moverem-se por flagelo, implicando na necessidade de um meio aquoso para que haja a fecundação da oosfera.

Pteridófitas

O grupo das pteridófitas compreende organismos **vascularizados** e pertence, juntamente com gimnospermas e angiospermas, ao grupo Tracheophyta. Como as briófitas, possuem anterídeos e arquegônios e os gametas masculinos possuem flagelos (também com dependência de água para a reprodução sexuada), porém estas plantas são maiores e apresentam o **esporófito** como fase **dominante** (característica predominante a partir deste grupo), o qual apresenta grande variedade de formas.



Distinguem-se das demais traqueófitas pela ausência de sementes, sendo, por isso, também denominadas traqueófitas sem sementes. Seus representantes vivos são atualmente divididos em quatro filos: Psilotophyta (psilotum), Sphenophyta (cavalinhas), Lycophyta (licopódios, selaginelas) e Pterophyta (samambaias, avencas); assim como briófitas, pteridófitas também já não constituem uma categoria taxonômica, embora ambos ainda sejam utilizados pelos livros didáticos. *Psilotum* não possui raízes nem folhas e apresenta esporângios agregados em grupos de três nas terminações dos ramos, formando uma estrutura denominada sinângio. Nas cavalinhas, licopódios e selaginelas, os esporângios encontram-se dispostos na base de folhas modificadas (esporofilos), formando uma estrutura denominada estróbilo. Nas samambaias e avencas, os esporângios apresentam-se agrupados em soros na parte inferior das folhas, que geralmente são compostas (frondes). Em algumas espécies, os soros são protegidos por indúcio, uma projeção da folha.

Gimnospermas

São plantas **vascularizadas** e com **sementes**, pertencentes a Spermatophyta. Gimnosperma significa literalmente semente nua, ou seja, as sementes encontram-se expostas na superfície de esporofilos. As gimnospermas atuais incluem quatro filos: Cycadophyta (cicadófitas), Ginkgophyta (ginkgo), Coniferophyta (pinheiros, araucárias, sequóias) e Gnetophyta (gnetófitas), novamente, pelo caráter polifilético do grupo, gimnosperma não representa uma categoria taxonômica. Características morfológicas e dados moleculares têm fornecido apoio crescente à idéia de que Gnetophyta é o grupo de gimnospermas mais relacionado às angiospermas. A semente é a unidade de dispersão destas plantas e é constituída por um envoltório, um embrião e material de reserva. A semente representa um considerável progresso evolutivo para a vida fora da água: o embrião permanece em estado quiescente até que as condições sejam favoráveis ao seu crescimento. Na maioria das gimnospermas, a água não é mais essencial para o transporte dos gametas masculinos até as oosferas. Aqui, o gametófito masculino parcialmente desenvolvido, o grão de pólen, é transferido pelo vento até as proximidades do gametófito feminino no interior de um óvulo (polinização). Depois da polinização, o gametófito masculino produz uma expansão, o tubo polínico, através do qual o gameta masculino imóvel é transportado para a oosfera dos arquegônios.

Angiospermas

As angiospermas, Filo Anthophyta, são **vascularizadas**, apresentam **sementes**, **flores** verdadeiras e **frutos**. Formam o grupo mais diversificado de plantas, com mais de 250 mil espécies. Suas características mais marcantes são a formação de ramos de crescimento determinado, nos quais as folhas se transformam nos apêndices florais (sépalas, pétalas, estames e pistilos - uma flor típica) e a presença de frutos nos quais ficam encerradas as sementes. A reprodução é basicamente igual a das gimnospermas, ocorrendo aqui uma redução ainda maior dos gametófitos, que no caso feminino é geralmente formado por sete células, uma delas com dois núcleos. No caso do masculino, o grão de pólen é formado por apenas duas ou três células. Este germina sobre o estigma e forma um longo tubo polínico que leva a célula gamética através das estruturas femininas até fecundar a oosfera e os núcleos centrais, originando o embrião e o endosperma, respectivamente.



Líquens

Não constituem uma categoria taxonômica, pois são formados por uma associação de organismos que vivem em simbiose mutualística. Estes organismos são os fungos (geralmente ascomicetos) e as algas, Chlorophyta ou Cyanobacteria. A maior parte do corpo do líquen é composta pelo fungo, que absorve os nutrientes orgânicos produzidos pelas algas, que, por sua vez, obtém proteção contra dessecação e excesso de luz. O talo do líquen pode ser classificado em folhoso, gelatinoso, crostoso e fruticoso. O líquen pode propagar-se apenas assexuadamente, a partir de estruturas denominadas sorédios, pacotes com células da alga envoltas por hifas do fungo, ou a partir de isídios, pequenas projeções do talo. Os líquens são pioneiros na colonização de superfícies inóspitas, propiciando as condições necessárias para o crescimento de outros organismos. Além disso, os líquens são bons indicadores ambientais, uma vez que sua diversidade é inversamente proporcional à poluição atmosférica.

Como uma forma de melhor aprendizado e fixação dos conhecimentos será realizada uma atividade prática com o objetivo de identificar e caracterizar alguns dos grandes grupos tradicionalmente estudados em botânica: algas, briófitas, pteridófitas, gimnospermas, angiospermas e líquens.

LISTA DE MATERIAL NECESSÁRIO

- Bandejas plásticas
- Barbante
- Cartolina branca para herborizar o material
- Chapa de metal ou plástico
- Conta gotas ou pipeta de Pasteur
- Folhas de jornal
- Giletes
- Lâmina
- Lamínula
- Lupa de mão
- Microscópio e esteromicroscópio
- Papelão
- Placa de Petri
- Prensas de madeira
- Pinças de ponta fina

PROCEDIMENTOS

Em laboratório, as equipes receberão exemplares de cada grupo a ser estudado, coletados no fitotério do Departamento de Botânica, IB-USP. As plantas selecionadas podem ser facilmente encontradas em jardins e praças da cidade ou até mesmo na casa dos alunos.

1. Compare, macroscopicamente, algas e briófitas; atente para as estruturas reprodutivas;
2. Compare, macroscopicamente, briófitas e pteridófitas; atente para as estruturas reprodutivas;
3. Compare os estróbilos de pteridófitas e gimnospermas;
4. Compare as flores de angiospermas;
5. Observe, em demonstração, um corte transversal de um líquen. Identifique os organismos que o compõe;
6. Herborize os diversos exemplares;

HERBORIZAÇÃO: o material a ser herborizado deve, preferencialmente, conter estruturas que permitam a posterior identificação da planta, tais como folhas, flores ou outras estruturas reprodutivas.

1. Coloque o material sobre uma cartolina clara, em disposição adequada para observação das estruturas de interesse. No caso das algas, a cartolina deve ser colocada em uma bandeja com água e o material disposto sobre a cartolina molhada;



2. Com o auxílio de uma chapa de metal ou plástico, retire a cartolina da água cuidadosamente para que o arranjo da alga não se desfaça;
3. Coloque a cartolina entre folhas de jornal;
4. Empilhe todas as exsiccatas entre dois pedaços de papelão e coloque este conjunto entre duas prensas de madeira, amarrando firmemente com barbante;
5. Coloque para secar em estufa ventilada. Também é possível secar o material em forno, após aquecimento e desligamento do mesmo.

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

BALDAUF, S.L. 2003. The deep roots of eukaryotes. *Science* 300: 1703-1706.

OLIVEIRA, E.C. 2003. *Introdução à Biologia Vegetal*. 2ª edição. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 267p.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F. & EICHHORN, S.E. 2007. *Biologia Vegetal*. 7ª edição. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 830p.



5. A RELAÇÃO DO HOMEM COM OS OCEANOS E SEUS VEGETAIS

Flávio Berchez (fberchez@ib.usp.br)

Natália Ghilardi (natalinoel@gmail.com)

Marcos Buckeridge (msbuck@usp.br)

A influência dos oceanos e seus vegetais no nosso dia-a-dia

Os oceanos recobrem a maior parte da superfície do nosso planeta, atingindo profundidades de até 11 km. Ainda que quando o planeta seja visto como um todo e seus oceanos compreendam apenas uma fina película, eles têm uma importância fundamental para a manutenção das condições de vida na Terra, tendo grande influência também na atmosfera.

As **massas de água** que compõem os oceanos estão em movimento permanente. Em termos globais, observam-se as imensas correntes oceânicas que funcionam como grandes rios, transportando seus enormes volumes de água e componentes (por exemplo, substâncias orgânicas e inorgânicas) de um ponto a outro do globo. Essas correntes funcionam também como imensos radiadores, possibilitando a troca de calor e regulando as temperaturas na atmosfera e mantendo-a relativamente estável.

Um bom exemplo dessa ação é o caso do fenômeno El Niño (El Niño-Oscilação do Sul, ENOS), que provoca um aquecimento das águas superficiais do Oceano Pacífico, o qual tem grandes conseqüências no nosso país, desde a Floresta Amazônica até a Região Sul, regulando principalmente a umidade e a circulação atmosférica, com conseqüências drásticas para o ser humano, por exemplo, no que se refere à agricultura e ao abastecimento de água.

É possível distinguir basicamente dois tipos de **correntes**, as frias e as quentes. As primeiras são provenientes das regiões mais próximas aos pólos, sendo muito ricas em nutrientes. Por isso, possibilitam o desenvolvimento abundante de organismos marinhos, principalmente quando atingem regiões mais quentes e ganham calor. Em contraste, as correntes quentes já tiveram seus nutrientes consumidos ao longo de sua passagem pelos trópicos; elas se dirigem para as regiões polares, onde irão perder calor e se tornarão progressivamente mais ricas, uma vez que há menos seres vivos para consumir os nutrientes que nela se acumulam.

O desenvolvimento dos organismos marinhos é fundamental para a manutenção da composição atmosférica. Por exemplo, uma grande parcela da renovação do oxigênio é conseqüência da fotossíntese do fitoplâncton (vegetais marinhos, microalgas marinhas, em sua maioria unicelulares, que vivem nas camadas superficiais do mar), processo que consome o gás carbônico (CO_2) e libera oxigênio (O_2). Por esse processo, esses minúsculos organismos são responsáveis pela renovação da maior parte do oxigênio da atmosfera, que corresponde a 21% de sua composição. Essa renovação leva, aproximadamente, 2.000 anos para acontecer.

Acredita-se que o oxigênio da atmosfera sempre tenha tido origem biológica. Essa molécula não existia na atmosfera ancestral da Terra, tendo sido produzido inicialmente por algas azuis (cianobactérias), também marinhas e microscópicas, durante os primórdios da vida, no período Pré-cambriano. Esse teria sido o primeiro fenômeno de mudança global causada por seres vivos, permitindo, daí em diante, o



desenvolvimento de diversos organismos com respiração aeróbia que hoje dominam amplamente tanto os ambientes marinhos como os terrestres.

Esses exemplos mostram claramente a importância dos oceanos e seus vegetais na manutenção das condições nos mares e na atmosfera, na ciclagem de nutrientes e de organismos que dependem deles, na renovação do oxigênio e nas diversas atividades humanas, entre outros, atividades todas participes no nosso dia-a-dia.

Na região sudeste do Brasil, a principal corrente marinha é a Corrente do Brasil, que flui no sentido sul, junto à superfície, paralelamente à costa e à corrente fria ACAS (Água Central do Atlântico Sul) de fluxo predominante em direção ao norte. Como a água fria é mais densa, essa corrente corre junto ao fundo oceânico, aflorando apenas em condições especiais como, por exemplo, na região de Cabo Frio, no Rio de Janeiro. No verão essas águas frias tendem a se aproximar mais da costa, propiciando, nesses casos, noites com temperaturas bem amenas, principalmente nas cidades a beira-mar, mas com seus reflexos atingindo regiões bem mais distantes, como por exemplo, a cidade de São Paulo.

Em função das condições geradas por essas correntes e pelo tipo de substrato, encontramos no Brasil vários tipos de ambientes onde ocorrem vegetais marinhos (algas e angiospermas marinhas).

O primeiro deles seria a própria coluna d'água, contendo o **fitoplâncton**, que pode ser definido como sendo o conjunto de microalgas que vivem na coluna de água, mas que têm poder limitado de locomoção sendo, portanto, transportadas passivamente pelas correntes e pelos movimentos de água.

Um segundo tipo de ambiente seria o próprio substrato. Os organismos desse ambiente constituem o **bentos**, denominação dada por viverem sobre o substrato oceânico, sendo fixos ou móveis. As comunidades marinhas bentônicas podem ser divididas arbitrariamente naquelas de fundos areno-lodosos, não-consolidados, sobre os quais, de forma geral, poucos organismos marinhos conseguem se fixar, sendo exemplo disso as angiospermas marinhas existentes na região de Abrolhos e naquelas de fundos duros, consolidados. Dentro desta última categoria podem ser destacados os costões rochosos, os recifes de arenitos, os recifes de corais e os bancos de algas calcárias.

Em todos esses ambientes, que descreveremos abaixo, da mesma forma que nos ambientes terrestres, os vegetais ocupam grande parte do substrato e têm grande importância ecológica, não só como produtoras de oxigênio, mas também como base da cadeia alimentar marinha. Entretanto, cabe ressaltar que, contrariamente ao que ocorre na terra, onde as angiospermas são dominantes, na grande maioria dos ecossistemas marinhos as algas constituem o grupo de organismos mais importante.

A denominação **ecossistemas de costão rochoso** se refere àquelas comunidades assentadas sobre rochas do tipo gnaisse ou granito, sendo situados, em sua maior parte, onde elevações costeiras se encontram com o mar. Ocorrem desde Torres, norte do Rio Grande do Sul, até o Estado do Maranhão, com maior extensão linear na região sudeste, onde o litoral se apresenta bastante recortado e a Serra do Mar fica mais próxima da linha de costa. Podem ser encontrados na forma de paredões contínuos ou de blocos fragmentados, neste caso com inúmeras facetas que resultam em um grande número de habitats e em uma grande diversidade biológica. De forma geral, se estendem pouco em direção ao mar, pois apresentam declividade acentuada e logo atingem o fundo com substrato não-consolidado. Na região continental



apresentam profundidade máxima normalmente ao redor de 10 a 15 m, embora em ilhas possam ser mais profundos.

Os **ecossistemas de recifes de arenito** compreendem as comunidades existentes sobre rochas de origem metamórfica que acompanham as planícies costeiras desde o litoral do Estado do Espírito Santo até o nordeste, ocorrendo tanto junto à praia como formando barreiras a certa distância do mar. São caracterizados por formarem um substrato bastante erodido, apresentando inúmeras fendas e cavidades que, como nos costões rochosos, resultam em uma alta diversidade.

Os **ecossistemas de recifes de coral** são estruturas calcárias de origem biológica relacionadas à ação de corais e de algas coralináceas crostosas (ver definição abaixo), as quais, como os primeiros, também precipitam uma matriz de carbonatos. Estas formações consolidadas são usadas como suporte e abrigo por inúmeros outros organismos, resultando em uma grande biodiversidade. Os recifes coralinos se distribuem em manchas ou cordões em vários pontos da costa, especialmente no nordeste do país. Sua distribuição é mais restrita que os ecossistemas de costão rochoso, embora no litoral da Bahia, na região do Arquipélago de Abrolhos, se estendam por uma vasta área, constituindo-se no maior complexo recifal do Atlântico Sul.

Os **ecossistemas de bancos de algas calcárias** são resultantes do crescimento de algas crostosas (Corallinaceae), cujo crescimento forma incrustações calcárias laminares, nódulos avermelhados (os rodolitos) ou blocos calcários de diferentes tamanhos que, à primeira vista, tem o aspecto de pedras. Essas estruturas consolidadas aparecem geralmente sobre substrato não-consolidado, constituído por um cascalho calcário resultante de sua própria fragmentação. São utilizadas como suporte por uma grande diversidade de organismos, incluindo algas foliáceas ou carnosas e vários grupos de invertebrados que vivem sobre eles ou no interior de suas cavidades. De forma semelhante aos recifes de coral, essa também é uma formação calcária de origem biológica. Esses ecossistemas, embora muito pouco conhecidos no Brasil, ocupam áreas imensas da plataforma continental, indo desde o limite inferior das marés mais baixas até cerca de 100 m de profundidade. São encontrados, com algumas discontinuidades, desde o litoral norte do Rio de Janeiro até o Maranhão, embora manchas isoladas ocorram também em Santa Catarina. A existência de substrato consolidado em uma área tão extensa tem grande importância ecológica e econômica, pois resulta em uma maior diversidade e biomassa de organismos, alguns com importância econômica direta como, por exemplo, lagostas e diversas espécies de peixes, ou indireta, na alimentação e como berçário de espécies comerciais.

Além dos ambientes já descritos, cabe mencionar os **ecossistemas de manguezal** que, em sua maioria, ocupam extensas áreas na região das planícies costeiras de confluência de rios com o mar. Embora de fundo não consolidado, permitem a fixação de organismos macroscópicos sobre a porção de caules e raízes sujeitas à inundação pelas marés altas. Com alta concentração de nutrientes e oferecendo um ambiente mais protegido do que o mar aberto, os manguezais são especialmente importantes como locais de procriação e sobrevivência de formas juvenis de peixes e crustáceos.

Em todos estes ecossistemas encontram-se diversos vegetais que apresentam importância para o homem, direta ou indireta. As algas e angiospermas marinhas são a base da cadeia alimentar nos oceanos, sendo a principal fonte de alimento para muitos organismos que serão posteriormente consumidos pelo



homem, como peixes, moluscos, equinodermos e crustáceos. Além disso, algas usadas na alimentação, como *Porphyra* ("nori"), ou pelas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética, como *Pterocladia*, *Gracilaria*, *Hypnea* e *Sargassum*, entre outras, são encontradas ocupando diferentes zonas destes ambientes. Por exemplo, os bancos de *Laminaria*, alga importante como fonte de alginato, localizam-se sobre os rodólitos na plataforma continental do estado do Espírito Santo, na região conhecida como Mar das Bananeiras.

A influência do dia-a-dia do homem nos oceanos e seus ecossistemas

Embora a influência dos oceanos sobre o homem e todos os seres vivos seja imensa, o **impacto antrópico**, por outro lado, sobre os ecossistemas marinhos vem sendo igualmente muito grande.

Impactos locais são inúmeros, observados, por exemplo, em bancos de pesca ou nos arredores de metrópoles costeiras e grandes áreas portuárias, com alterações drásticas da biodiversidade local e da estrutura das comunidades. Em relação aos vegetais, temos relatos de populações naturais de algas marinhas que foram completamente dizimadas no Brasil devido à exploração predatória, iniciada na década de 40 e feita sem base em estudos da biologia e ecologia dessas populações. Como exemplo, podemos citar os bancos de Maracajaú no Estado do Rio Grande do Norte, hoje praticamente inexistentes.

Por outro lado, observam-se também impactos no planeta, como a **camada de óleo** que é atualmente encontrada recobrindo praticamente toda superfície dos oceanos, o que certamente prejudica o equilíbrio gasoso entre esses e a atmosfera.

As alterações globais do clima, relacionadas ao aumento da concentração do CO₂ na atmosfera, cuja principal consequência é o aquecimento global, têm grandes implicações para os ambientes marinhos.

Um dos exemplos é o aumento da intensidade e frequência das grandes tormentas e furacões, que resultam em grandes aumentos na agitação da água do mar, resultando na destruição dos ecossistemas por onde passam, por exemplo, fragmentando os vegetais marinhos ou arrancando-os por inteiro do substrato. Embora as comunidades marinhas tenham uma boa capacidade de recuperação, possivelmente muitos ambientes estão ou se tornarão irreversivelmente alterados.

Outras alterações, como o aumento da temperatura da água, a elevação do nível dos oceanos ou a redução da salinidade possivelmente virão a ter grandes efeitos sobre as comunidades marinhas. Um exemplo do que já vem ocorrendo é o branqueamento e morte de corais em extensas regiões onde está sendo verificado o aumento da temperatura da água. Esse fenômeno ocorre devido à expulsão das algas simbiotas destes organismos, comumente denominadas zooxantelas, essenciais para a sobrevivência dos corais.

Por outro lado, a alteração mais grave se refere à **acidificação** gradativa da água do mar, relacionada ao aumento da quantidade de CO₂ na atmosfera. Este fenômeno se deve ao fato de que cerca de um quarto do CO₂ liberado na atmosfera se dissolve no oceano. Parte desse CO₂ reage com a água formando ácido carbônico que, por sua vez, reage com íons carbonato presentes na água, resultando na liberação de íons H⁺. A quantidade de íons H⁺ determina o grau de acidez ou alcalinidade e é medido pela unidade pH: quanto menor o pH, maior a quantidade de íons H⁺ e maior a acidez. Na escala de pH,



considera-se pH neutro quando o valor é 7. Acima deste valor, o pH é considerado alcalino, enquanto que abaixo de 7, o pH é considerado ácido.

Estima-se que desde o início da era industrial o pH dos oceanos tenha sofrido uma queda média de 0,1 unidade, devendo cair mais 0,3 até o final deste século. A acidificação dos oceanos prejudica a precipitação do carbonato, que forma as matrizes calcárias de animais como moluscos, corais, crustáceos e outros organismos calcificados, como as algas Corallinaceae. Compromete também a estabilidade dessas matrizes depois de formadas, deixando essas carapaças frágeis e comprometendo a sobrevivência desse tipo de organismos. Se a tendência atual de acidificação se mantiver, após o ano 2150 o pH deve atingir um valor no qual o balanço químico do sistema carbonato se inverterá, prevalecendo a dissolução do carbonato de cálcio acumulado nos oceanos ao invés de sua deposição, o que acarretará na saída de CO₂ do mar para a atmosfera agravando ainda mais o efeito estufa.

Embora a principal ameaça sugerida na literatura, relacionada à acidificação da água do mar, seja o comprometimento dos organismos planctônicos calcificados, no caso do bentos da costa brasileira, a principal ameaça parece estar relacionada aos extensos bancos de algas calcárias da plataforma continental e aos recifes de corais.

O conjunto dessas alterações, locais e globais, resultantes da influência do homem sobre os ecossistemas marinhos deve certamente resultar em uma dramática redução da sua biodiversidade e alteração da estrutura de suas comunidades, com implicações ecológicas e econômicas de extrema gravidade.

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

- BERCHEZ, F.; AMANCIO, C.E.; GHILARDI, N.P. & OLIVEIRA FILHO, E.C. 2008. Impactos das mudanças climáticas globais nas comunidades de organismos marinhos bentônicos da costa brasileira. *In*: Buckeridge, M. (org.). *Biologia e as Mudanças Climáticas Globais* (no prelo).
- FLANNERY, T. 2005. *Os Senhores do Clima*. Editora Record, São Paulo, 388p.



6. AS ALGAS NA COZINHA E SUA IMPORTÂNCIA NOS PRODUTOS DE USO DIÁRIO

Estela Maria Plastino (emplasti@usp.br)

Fungyi Chow (fchow@ib.usp.br)

Mariana Cabral de Oliveira (mcdolive@usp.br)

As **algas** vêm sendo usadas como alimento e produto medicinal desde tempos muito antigos. Esses **vegetais marinhos** já eram utilizados a mais de 12.000 anos no Japão e na América do Sul. Atualmente, os maiores consumidores de algas ainda são os povos orientais, porém, em vários países ocidentais, passaram a integrar o cardápio de muitos restaurantes. Alguns de seus derivados tornaram-se imprescindíveis na preparação de vários pratos da cozinha contemporânea e são adicionados na elaboração de muitos produtos alimentícios industrializados. Da mesma forma que os vegetais terrestres são produzidos por meio da agricultura, algumas algas são cultivadas em grandes áreas nas regiões costeiras, especialmente em países orientais.

A análise química de muitas algas mostrou que elas apresentam conteúdo significativo de proteínas, vitaminas (Tabela 1) e sais minerais (Tabela 2). As algas contêm grande quantidade de polissacarídeos coloidais peculiares, conhecidos como **ficocolóides**, que, de modo geral, não são digeridos pelos seres humanos. Essa característica permite que as algas sejam empregadas em dietas de baixas calorias.

As algas podem ser diretamente empregadas na alimentação, ou delas podem ser extraídos subprodutos, como os ficocolóides, que vêm sendo amplamente utilizados na indústria alimentícia. Outro produto extraído a partir de algas é o pigmento beta-caroteno.

ALIMENTAÇÃO - CONSUMO DIRETO

As algas utilizadas na alimentação podem ser colhidas de seus ambientes naturais e consumidas diretamente, ou podem passar por processos de desidratação, para preservação, comercialização e posterior consumo. São três os principais grupos de **macroalgas marinhas**, dos quais alguns gêneros são bastante apreciados (Tabela 3): **algas vermelhas** (Rhodophyta), **algas pardas** (Phaeophyta) e **algas verdes** (Chlorophyta). São apresentados a seguir alguns representantes de maior importância econômica e comercializados no Brasil.

***Porphyra* spp.** (nome popular: “nori”)

Alga vermelha usada principalmente no preparo do “sushi” e do “temaki”, pratos típicos da cozinha japonesa. É comercializada em lâminas desidratadas que podem ser tostadas, adquirindo coloração verde escura. O cultivo de “nori” teve seu início há aproximadamente 300 anos e tem uma longa história de cultivo entre os povos da China e do Japão. Atualmente, o cultivo envolve um total controle do histórico de vida da *Porphyra* e inclui a participação de comunidades de pescadores que em determinada época do ano dedicam-se ao seu cultivo e, em outras épocas, à pesca.

***Eucheuma* spp. e *Kappaphycus* spp.** (nome popular: ágar-ágar)

Algas vermelhas apreciadas como alimento, principalmente entre os povos da China e Malásia. O nome popular ao conjunto destas espécies é ágar-ágar, e não deve ser confundido com o ficocolóide que será tratado mais adiante. Técnicas específicas para o seu cultivo foram desenvolvidas nas Filipinas.

**Tabela 1.** Teor de vitaminas em algas marinhas e outros alimentos (mg por 100 g e UI = unidade internacional (adaptado de Arasaki & Arasaki, 1983).

Espécies/Alimentos	VITAMINAS					
	A (UI)	B ₁ (mg)	B ₂ (mg)	B ₆ (mg)	B ₁₂ (mg)	C (mg)
<i>Porphyra</i> sp. ("nori")	38.400	0,21	1,00	1,04	13-29	20
<i>Laminaria</i> sp. ("kombu")	430	0,08	0,32	0,27	0,3	11
Tomate	200	0,08	0,03	0,11	0	20
Espinafre	2.600	0,12	0,30	0,18	0	100
Maçã	5	0,02	0,03	0,03	0	5
Couve	10	0,05	0,05	0,16	0	44

Tabela 2. Teor de sais minerais (mg por 100 g) em algas marinhas e outros alimentos (adaptado de Arasaki & Arasaki, 1983).**CÁLCIO:**

Algas	Outros alimentos
<i>Hizikia fusiforme</i>	Semente de gergelim 1.100
<i>Undaria pinnatifida</i>	Sardinha seca 330
<i>Laminaria</i> sp.	Soja 190
<i>Ulva</i> sp.	Leite 100
<i>Porphyra tenera</i>	Espinafre 98

FERRO:

Algas	Outros alimentos
<i>Enteromorpha</i> sp.	Semente de gergelim 16
<i>Ulva</i> sp.	Sardinha seca 10
<i>Hizikia fusiforme</i>	Soja 7
<i>Porphyra tenera</i>	Bife 3,6
<i>Laminaria</i> sp.	Espinafre 3,3

iodo:

Algas	Outros alimentos
<i>Laminaria</i> sp.	Moluscos 0,29
<i>Eisenia bicyclis</i>	Crustáceos 0,15
<i>Sargassum confusum</i>	Peixe 0,07
<i>Gelidium</i> sp.	Manteiga 0,01
<i>Porphyra tenera</i>	Ovos 0,006

Tabela 3. Principais gêneros de algas marinhas comestíveis.

ALGAS VERDES	ALGAS PARDAS	ALGAS VERMELHAS
<i>Monostroma</i>	<i>Laminaria</i>	<i>Porphyra</i>
<i>Caulerpa</i>	<i>Undaria</i>	<i>Palmaria</i>
<i>Enteromorpha</i>	<i>Alaria</i>	<i>Gracilaria</i>
<i>Ulva</i>	<i>Eisenia</i>	<i>Gelidium</i>
	<i>Ecklonia</i>	<i>Eucheuma</i>



Laminaria japonica (nome popular: “kombu”)

Alga parda usada na preparação de diversos produtos culinários. Esses são preparados com carnes, peixes e sopas. Variações do “kombu” (por exemplo, “tororo kombu” e “shiroita kombu”) são também utilizadas na culinária. O cultivo tem sido efetuado principalmente na China, onde estudos sobre a biologia e a ecologia dessas algas têm levado a um sistema de cultivo bem planejado e em larga escala. Seleções e cruzamentos de linhagens são técnicas que vêm sendo empregadas na obtenção de formas mais adequadas ao cultivo.

Undaria pinnatifida (nome popular: “wakame”)

Alga parda muito apreciada como alimento entre os povos do Japão e da China, sendo utilizada como ingrediente de sopas, molhos e saladas. Tem sido cultivada desde a década de 1950. É produzida principalmente no Japão, na China e na Coreia, sendo este último o maior produtor atual.

Monostroma spp. (nome popular: “hitoegusá”) e ***Enteromorpha spp.*** (nome popular: “aonori”)

Algas verdes usadas como tempero para sopas ou arroz. São também preparadas como patê (“tsukudani”). Seu cultivo ocorre principalmente no Japão.

FICOCOLÓIDES

São **substâncias mucilaginosas** (polissacarídeos coloidais) extraídas de algas. Fazem parte da parede celular desses organismos. O interesse comercial nos ficocolóides resulta de suas propriedades físicas em soluções aquosas, onde eles formam substâncias viscosas incluindo géis (gelatinas). Esses géis podem tornar-se sólidos com o decréscimo da temperatura, sendo que a força do gel aumenta com o aumento da concentração. São classificados em três tipos: **alginatos**, **ágar** e **carragenanas**. A escolha na utilização de cada um deles depende de suas propriedades físicas. A particularidade do grande interesse comercial pelos ficocolóides deve-se a que nenhum dos atuais produtos artificiais consegue substituir suas características de gelificação e viscosidade.

Alginatos

O ácido algínico e seus vários sais constituem-se em ficocolóides característicos das algas pardas. São polímeros dos ácidos L-glucurônico e D-manurônico. São usados como agentes gelificantes, estabilizantes e emulsificantes. São apresentados a seguir alguns de seus principais usos culinários:

- Sorvetes - impedem a formação de cristais macroscópicos de gelo em soluções aquosas, mesmo quando submetidos a temperaturas muito baixas, tendo, portanto, grande importância na indústria de sorvetes.
- Cerveja - possibilitam a formação da espuma por formar uma película resistente às bolhas decorrentes da agitação do líquido.
- Esferificação (encapsulação) de diversos produtos - a culinária contemporânea incorporou em alguns de seus pratos o uso da técnica de esferificação, que emprega o alginato de sódio. Esse composto promove a gelificação externa quando acrescido a algum outro ingrediente e gotejado numa solução de cloreto de cálcio. Esse processo resulta em pequenas esferas com película gelatinosa e interior líquido.

Os principais gêneros utilizados para produção de alginato são: *Macrocystis*, *Laminaria* e *Ascophyllum*, todos característicos de águas frias. O gênero *Macrocystis* é coletado de populações naturais na costa oeste dos EUA. O gênero *Laminaria* vem sendo cultivado intensamente na China.



Carragenanas

São polissacarídeos presentes nas algas vermelhas. São polímeros de D-galactose que se caracterizam por apresentar grupos sulfatados. Existem vários tipos de carragenanas que podem ser diferenciados por suas propriedades físicas e aplicações industriais. Sua maior aplicação está na indústria alimentícia na qual, devido a suas propriedades gelificante e estabilizante, são utilizados na fabricação de queijos, cremes e gelatinas. É conhecido com o nome comercial de musgo da Irlanda ou “kappa”.

Os principais gêneros produtores de carragenana são: *Chondrus*, *Eucheuma*, *Kappaphycus*, *Gigartina*, *Iridaea* e *Hypnea*. Destes, o único que vem sendo cultivado é *Eucheuma*, um gênero também utilizado na alimentação.

Ágar

É um termo que vem sendo empregado para caracterizar uma família de polissacarídeos presentes em algas vermelhas que apresenta estruturas de D- e L-galactose. A maioria dos ágares possui um baixo teor de sulfato, o que lhes confere uma alta força de gel. O ágar, além de ter as mesmas aplicações das carragenanas, pode ser usado na preparação de meios de culturas, sendo a matéria-prima básica na biologia molecular. Preparações comerciais de ágar são obtidas principalmente de espécies de *Gelidium* e *Gracilaria*. Tentativas de cultivo dessas algas, principalmente *Gracilaria*, vêm sendo realizadas em vários países. O maior produtor de ágar é o Japão, que produz, tanto para a indústria alimentícia quanto para a de microbiologia. É considerado o ficocolóide mais valioso.

BETA-CAROTENO

Pigmento encontrado em diferentes vegetais e algas. Comercialmente é obtido artificialmente ou por meio do cultivo de microalgas pertencentes ao gênero *Dunaliella*. Essa alga verde unicelular é cultivada em lagos altamente salinos, em locais com alta intensidade luminosa. Nestas condições as células acumulam mais de 5% de beta-caroteno. Esse pigmento é conhecido como um antioxidante potente e vem sendo usado como complemento alimentar. Existem controvérsias sobre a eficácia do produto sintético, que pode ser obtido por um custo inferior ao produto natural.

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

- ARASAKI, S. & ARASAKI, T. 1983. Vegetables from the Sea. Japan Publications, Inc., Tóquio, 193p.
- JENSEN, A. 1993. Present and future needs for algae and algal products. *Hydrobiologia* 260/261: 15-23.
- OLIVEIRA, E.C. 1981. Perspectivas da exploração de algas marinhas no Brasil. *Jornal Brasileiro de Ciências* 1(1): 15-16.
- OLIVEIRA, E.C. 1997. Algas marinhas: um recurso ainda pouco explorado no Brasil. *Panorama da Aqüicultura*, junho/julho: 24-26.
- OLIVEIRA, E.C. 1997. Macroalgas marinhas de valor comercial: técnicas de cultivo. *Panorama da Aqüicultura*, junho/julho: 42-45.
- OLIVEIRA, E.C.; OLIVERIA, M.C.; SATIOR, M. & GAROFALD, M.C. 1992. Carragenanas. Algas polivalentes. *Ciência Hoje* 14: 73-77.



7. GULOSEIMAS DE ALGAS

Fungyi Chow (fchow@ib.usp.br)

Mariana Cabral de Oliveira (mcdolive@usp.br)

Estela Maria Plastino (emplasti@usp.br)

Nos tempos modernos, um hábito alimentar equilibrado é extremamente importante para adultos e crianças. No entanto, não há quem não aprecie uma deliciosa guloseima pouco saudável. As algas, geralmente não fazem parte dessa lista de cobiçadas guloseimas. Nossa finalidade nesta aula é mostrar algumas dicas culinárias que possam vir a contribuir na incorporação das algas ou seus derivados no nosso tão saudável hábito alimentar.

O tema compreendido nesta aula será abordado por meio de uma atividade prática-lúdica, na qual mergulharemos numa aventura culinária mediante guloseimas de algas e seus derivados. Além disso, serão apresentados diversos produtos do nosso dia-a-dia contendo esses componentes.

LISTA DE MATERIAL NECESSÁRIO

Preparação do flan ou manjar:

- Açúcar
- Algodão e papel de filtro de café
- Algas desidratadas de uso culinário (vermelhas: agarófitas ou carragenófitas)
- Chapa aquecedora ou fogão
- Colher de pau
- Extrato de baunilha, leite de coco e coco fresco ralado ou chocolate em pó
- Forma para flan ou manjar
- Funil de garrafa PET
- Panela com tampa

Salada e “onigiri” com algas:

- Materiais para preparar uma salada de algas e “onigiri” com algas

Produtos de algas e seus derivados no nosso dia-a-dia

- Diversos produtos que contenham algas no estado ao natural ou seus derivados (por exemplo, cerveja, “nori”, sorvete, “aonori”, creme dental, temperos, xampu, etc.)

PROCEDIMENTOS

Preparação do flan

1. Em uma panela com água, hidrate aproximadamente 20-40 g de alga seca por 15 minutos;
2. Lave as algas e coloque uma quantidade de água suficiente apenas para cobri-las;
3. Leve as algas ao fogo médio durante 50 minutos ou até engrossar;
4. Filtre usando funil de plástico, algodão e papel filtro, e recolha o filtrado em outra panela (desprezando as algas);
5. Misture o filtrado com o extrato de baunilha, leite de coco e coco fresco ralado (ou chocolate em pó) e o açúcar e leve ao fogo médio por alguns minutos;
6. Despeje em uma forma e leve à geladeira por 2 horas ou até tomar consistência. Uma vez pronto, sirva o flan ou manjar para degustação.



Salada e “onigiri” com algas

1. Na aula será apresentado um prato de salada e “onigiris” feitos com algas marinhas para degustação dos alunos;
2. Além disso, serão fornecidas algumas dicas sobre o preparo de receitas com algas.

Produtos de algas e seus derivados no nosso dia-a-dia

1. O professor apresentará aos alunos diversos produtos do nosso cotidiano contendo algas ao natural ou seus derivados;
2. Os alunos deverão identificar os produtos e reconhecer a presença das algas em todos eles.

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

ARASAKI, S. & ARASAKI, T. 1983. Vegetables from the Sea. Japan Publications, Inc., Tóquio. 193p.

FAO. 2002. Perspectivas para la producción de algas marinas en los países en desarrollo.

<http://www.fao.org/DOCREP/004/Y3550S/Y3550S00.HTM>

8. MORFOLOGIA E ANATOMIA DOS ÓRGÃOS VEGETATIVOS

Gladys Flavia de A. Melo-de-Pinna (gfmelopinna@hotmail.com)

Gregório C.T. Ceccantini (gregorio@usp.br)

Nanuza Luiza de Menezes (nanuzalm@ib.usp.br)

Morfologicamente as raízes diferem do caule pela ausência de folha e, conseqüentemente, de nós e entrenós. Na extremidade de uma raiz, podemos observar as seguintes partes: coifa, zona lisa, zona pelífera e zona de ramificação.

Os tipos fundamentais de sistemas radiculares são: **sistema pivotante** ou **axial** e **sistema fasciculado**. No primeiro caso, encontrado em gimnospermas e eudicotiledôneas, há uma raiz principal, originada da radícula do embrião (raiz primária), a qual penetra perpendicularmente ao solo. Raízes secundárias são formadas ao longo da raiz principal (Figura 1A).

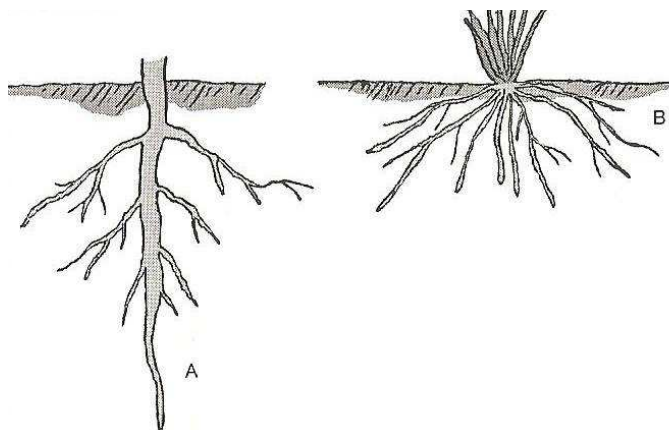


Figura 1. Sistemas radiculares: (A) sistema axial ou pivotante, onde há um eixo principal, do qual partem raízes laterais e (B) sistema fasciculado, onde as raízes partem do eixo caulinar (hipocótilo), sendo, portanto, raízes adventícias. Retirado de Menezes et al. (2006).

O sistema fasciculado ocorre em monocotiledôneas, onde não há desenvolvimento acentuado da raiz primária e várias raízes são formadas a partir do eixo caulinar do embrião (Figura 1B). Neste tipo de sistema, as raízes originadas do eixo caulinar são chamadas **raízes adventícias** (raízes que se originam de outras partes da plantas como caule e folha). No sistema pivotante, o mesmo meristema que estava na radícula, estará presente na raiz primária e na raiz principal.

Alguns tipos morfológicos de raízes serão descritos abaixo, com exemplos que podem ser encontrados em jardins e supermercados e, portanto, podem ser utilizados em sala de aula.

1. **Raízes tuberosas:** raízes intumescidas, especializadas como órgãos de reserva, podendo ser raízes secundárias (batata-doce – *Ipomoea batatas*, Convolvulaceae) ou principal (beterraba – *Beta vulgaris*, Amaranthaceae e nabo – *Brassica rapa*, Brassicaceae).
2. **Raízes aéreas:** neste grupo de raízes podemos encontrar diferentes tipos, todos representados por raízes que não se desenvolvem subterraneamente. Dentre esses tipos podemos citar as raízes suporte que oferecem equilíbrio à planta, como exemplo o milho – *Zea mays* (Poaceae). Variação

desse sistema é encontrada na figueira (*Ficus* sp., Moraceae) com raízes tabulares que se encontram ligadas ao caule.

3. **Raízes sugadoras ou haustórios:** ocorrem em plantas parasitas; os haustórios penetram no caule da planta hospedeira para retirar água e nutrientes do sistema vascular.

Muitas vezes utilizamos a morfologia interna (anatomia) para determinar se uma estrutura é um caule ou uma raiz. Como em todas as partes de uma planta vascular, a estrutura interna está organizada em **três sistemas**: sistema dérmico ou de revestimento; sistema fundamental ou de preenchimento e sistema vascular ou condutor.

Nas raízes, o sistema vascular é formado por xilema primário, floema primário e periciclo que está organizado em uma porção central (cilindro vascular). O **floema** (tecido condutor da seiva elaborada) ocorre próximo à periferia do cilindro vascular, na forma de cordões e o **xilema** (tecido vascular condutor da seiva bruta – água e sais minerais) também forma cordões dispostos alternadamente com os cordões de floema. Nas raízes adventícias, a porção central é ocupada por células parenquimáticas, chamada de **medula** (Figura 2B), enquanto que nas raízes originadas da radícula do embrião ou de outras raízes a região central é ocupada pelo xilema que apresenta projeções entre os cordões floemáticos (Figura 2A). Independente da organização central do cilindro vascular, em todas as raízes o sistema vascular é limitado externamente pelo **periciclo**. Este tecido é responsável pela origem das raízes laterais. Externamente ao cilindro vascular encontra-se o córtex, cuja camada mais interna é a endoderme. Externamente ao córtex encontra-se a epiderme com ou sem pêlos absorventes.

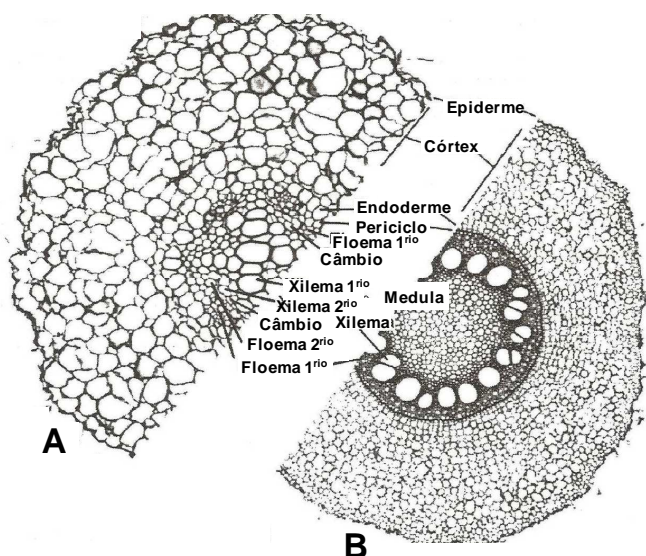


Figura 2. Aspectos gerais de raízes em corte transversal: (A) raiz de eudicotiledônea com xilema ocupando a região central e (B) raiz de monocotiledônea com medula na região central. Retirado de Menezes et al. (2006).

O caule apresenta algumas características morfológicas que o distingue das outras partes da planta como a presença de **nós** e **entrenós** ou **internós**, tendo **folhas** e **gemas** presentes na região dos nós. A gema localizada no ápice do eixo caulinar é chamada de gema terminal ou apical, e as gemas localizadas nas axilas das folhas são as gemas axilares (Figura 3).

Diversos tipos morfológicos de caule são encontrados na natureza e embora seja o órgão cuja principal função é conduzir água e sais minerais das raízes para as folhas e os carboidratos produzidos pelas folhas para as demais partes da planta, o caule também dá sustentação à planta e pode acumular

água (como nos cactos) ou reservas (tubérculos da batata-inglesa). Como nas raízes, podemos encontrar caules aéreos ou subterrâneos, sendo os principais tipos descritos abaixo.

Caule aéreo

1. **Haste:** caule delicado, não lenhoso presente na maioria das ervas.
2. **Tronco:** ocorre na maioria das árvores lenhosas, varia de delgado a muito robusto.

Caule subterrâneo

1. **Tubérculos:** apresenta a porção apical (terminal) intumescida (Figura 4A). Exemplo: batata-inglesa (*Solanum tuberosum*, Solanaceae).
2. **Bulbo:** caule reduzido a um disco basal de onde partem catáfilos, que podem ser secos ou carnosos. Exemplo: alho (*Allium sativum*, Liliaceae) e cebola (*Allium cepa*, Liliaceae).
3. **Rizoma:** caule de crescimento horizontal que produz diretamente folhas ou ramos verticais (Figura 4B).

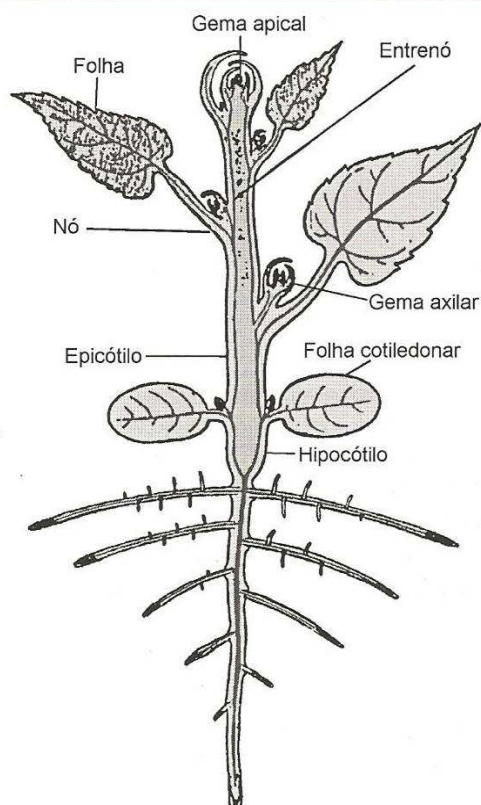


Figura 3. Esquema geral de uma plântula. Retirado de Menezes et al. (2006).

A organização interna do caule, ou seja, a anatomia caulinar compreende os três sistemas: o dérmico ou de revestimento, o fundamental e o vascular ou condutor. Como na raiz, o sistema de revestimento na estrutura primária da planta está representado pela epiderme, que pode ser substituída pela periderme como resultado da atividade do **felogênio** (meristema lateral, responsável pelo crescimento secundário do sistema de revestimento) que produz súber (mais externo) e feloderme (mais interno). Quanto ao sistema fundamental do caule, podemos organizá-lo em duas regiões: córtex (entre a epiderme e o sistema vascular) e a medula (porção central do órgão, interno ao sistema vascular). Essas regiões podem ser formadas pelos tecidos fundamentais: parênquima, colênquima e esclerênquima. A camada mais

interna do córtex é chamada de **endoderme** (presente também na raiz e na folha), a qual desempenha um importante papel como camada seletiva de substâncias que penetram no sistema vascular. O sistema vascular no caule difere da raiz por estar organizado em feixes (lembra: raiz não tem feixes), mas, como no sistema radicular também está representado por periciclo, xilema e floema. O periciclo, como na raiz e na folha, está limitando externamente o sistema vascular. Interno ao periciclo ocorre o floema, o qual está seguido pelo procâmbio (tecido meristemático formador do sistema vascular primário) e o xilema. Portanto, o xilema no caule está mais próximo da região central. A esta organização do caule, em eudicotiledôneas, chamamos de **eustelo** (Figura 5A). Nas monocotiledôneas, o caule tem uma organização **atactostélica**, com endoderme e periciclo limitando os feixes vasculares dispersos aleatoriamente em todo o órgão (Figura 5B).

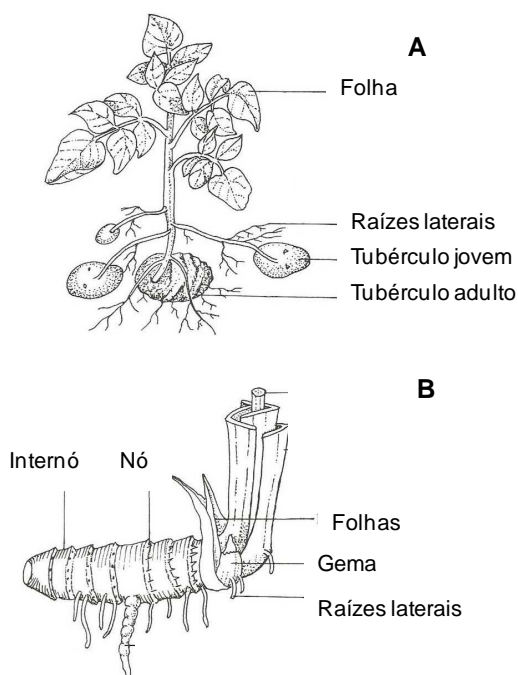


Figura 4. Tipos de caule subterrâneo: (A) tubérculo em *Solanum tuberosum*, Solanaceae (batata-inglesa) e (B) rizoma em *Iris* sp., Iridaceae. Retirado de Hickey & King (2000).

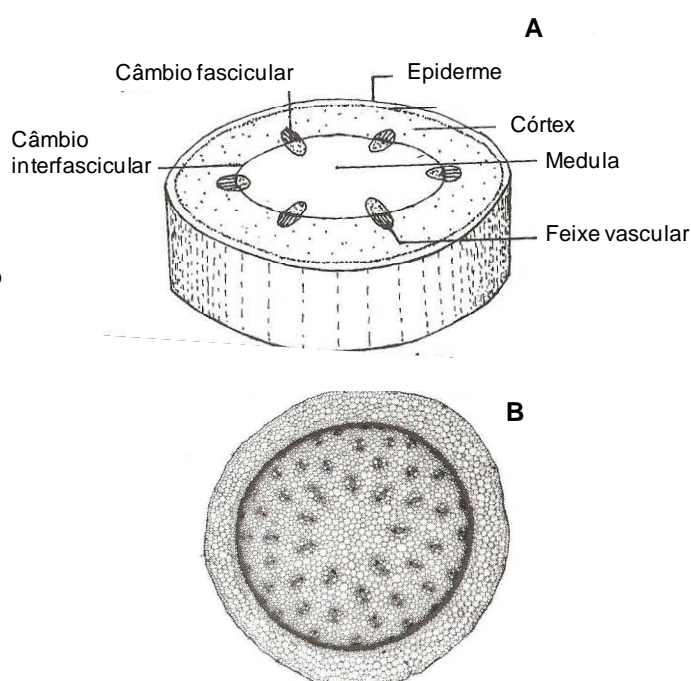


Figura 5. Organização do sistema vascular em corte transversal. (A) Caule de eudicotiledôneas (eustelo). (B) Caule de monocotiledônea (atactostelo). Retirado de (A) Menezes et al. (2006) e (B) Hickey & King (2000).

No crescimento secundário do caule das eudicotiledôneas, o xilema e o floema secundários são formados pela atividade do câmbio fascicular (originado a partir de células procambiais entre xilema e floema primários) e do câmbio interfascicular (originado de células pericíclicas entre os feixes vasculares).

As folhas são os órgãos que, na maioria das espécies, estão mais estruturadas para realizar a fotossíntese, sendo geralmente achatadas de modo que o tecido clorofiliano (tecido responsável pela fotossíntese) fica próximo à superfície.

Morfológicamente, as folhas apresentam grande variedade de formas e tamanhos, com uma classificação própria muito utilizada na sistemática de determinados grupos. Uma folha apresenta uma **lâmina foliar** ou **limbo**, caracterizada, em geral, por ser achatada, podendo em alguns casos ser cilíndrica.

O limbo pode prender-se diretamente no caule (**folha séssil**, Figura 6B) ou apresentar uma região mais estreita na base, chamada de pecíolo (**folha peciolada**, Figura 6A).

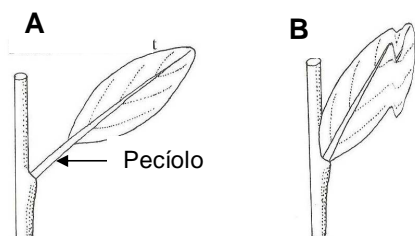


Figura 6. Representação esquemática da folha. (A) Folha peciolada. (B) Folha séssil. Retirado de Hickey & King (2000).

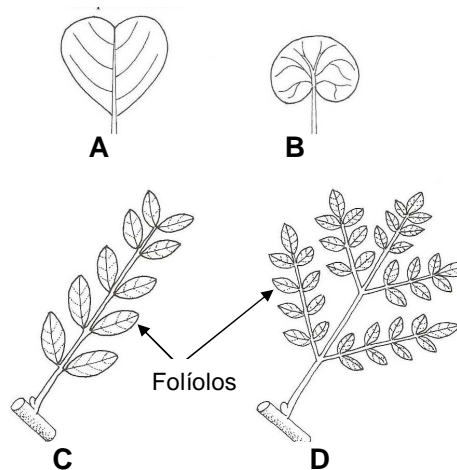


Figura 7. Tipos de folhas: (A) e (B) folhas simples, (C) e (D) folhas compostas, constituídas por folíolos. Retirado de Hickey & King (2000).

As folhas podem ser classificadas quanto ao tipo do limbo em folhas simples e folhas compostas.

1. **Folhas simples:** limbo inteiro (indiviso, Figuras 7A, 7B).
2. **Folhas compostas:** limbo formado por unidades distintas, chamadas de folíolos (Figuras 7C, 7D).

A organização interna das folhas segue o padrão encontrado em todos os órgãos da planta, com **sistema dérmico** ou **de revestimento** (epiderme); **sistema fundamental** ou **de preenchimento** e o **sistema vascular** ou **de condução** (feixes vasculares)

Na epiderme encontramos aberturas (poros) fazendo parte de uma estrutura complexa chamada **estômato**. Os estômatos são formados por células epidérmicas especializadas e através do ostíolo (poro ou abertura) ocorrem as trocas gasosas, fundamentais no processo de fotossíntese. Os estômatos podem ocorrer na superfície superior e inferior da folha ou em apenas uma delas.

O tecido clorofiliano está presente no sistema fundamental (**região do mesofilo**) e ocorre em toda a extensão da lâmina foliar. Ao analisar uma folha, em corte transversal – perpendicular ao eixo do órgão, sem qualquer procedimento prévio laboratorial, é possível observar em microscopia de luz a distribuição do tecido clorofiliano que se apresenta com uma coloração verde.

O sistema vascular da folha é muito semelhante ao do caule. Em uma visão mais simples podemos pensar que a folha é um caule achatado.

Essa semelhança, em parte, se deve ao fato de que ambos os órgãos são formados a partir da mesma região meristemática (meristema apical do caule), diferente da raiz que é originada do meristema apical da raiz (no caso da raiz primária) ou do periciclo (raízes laterais e as adventícias).

Ao observarmos uma folha à luz do sol, é possível na maioria das vezes, perceber a **venação foliar**, ou seja, os caminhos percorridos pelo sistema vascular em toda a lâmina foliar (Figura 8). Esse sistema, quando analisado em um corte transversal, pode ser descrito como apresentando uma nervura principal (maioria das eudicotiledôneas) e várias nervuras de menor porte ao longo do mesofilo. Essas nervuras correspondem aos feixes de xilema e floema, semelhante ao descrito para o caule (raiz NÃO tem feixe vascular). No entanto, nas folhas o xilema está voltado para a superfície superior da folha e o floema para a superfície inferior. Essa característica permite distinguir anatomicamente a folha do caule, pois no último caso o xilema está voltado para o interior do órgão e o floema mais externamente.

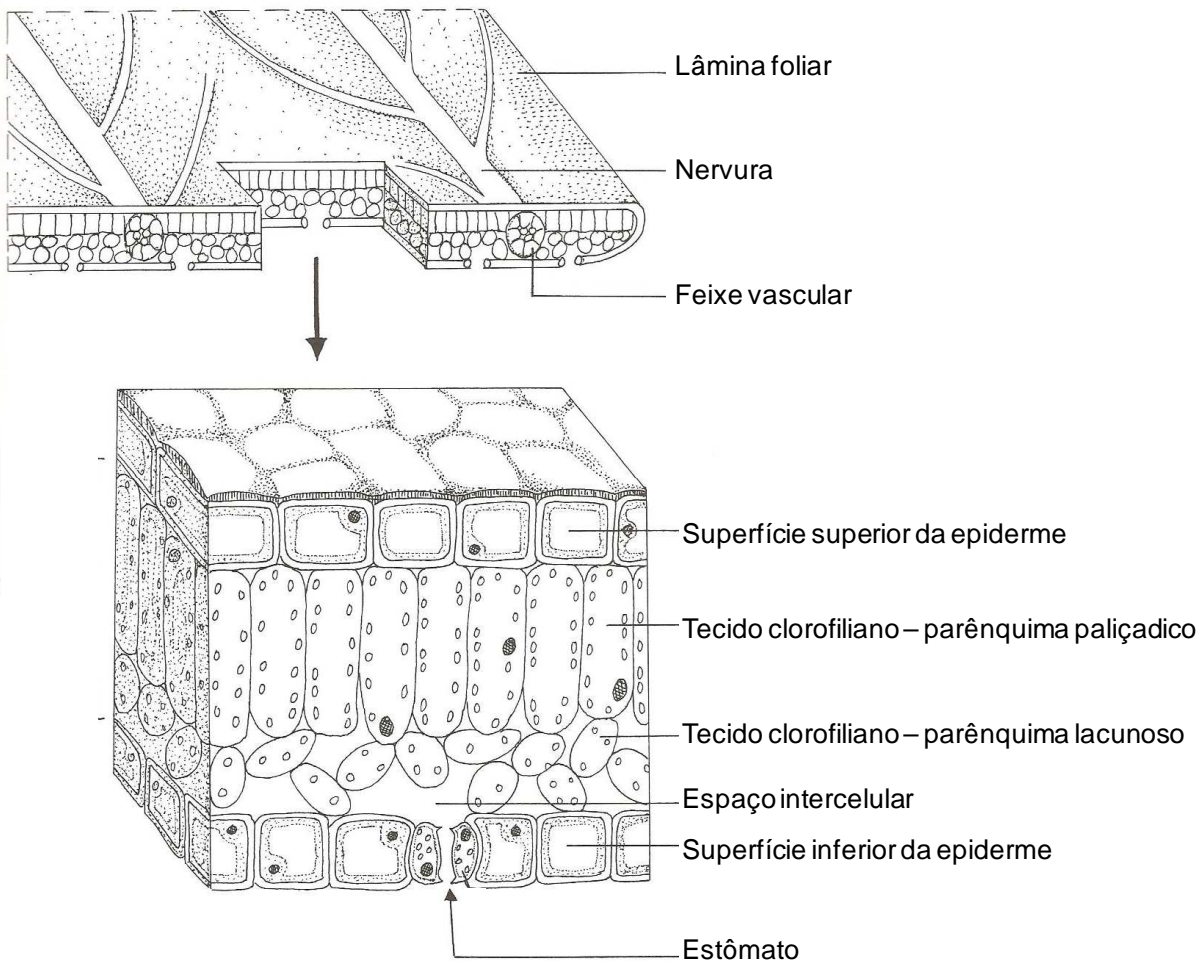


Figura 8. Representação da organização interna da folha. Retirado de Hickey & King (2000).



LISTA DE MATERIAL NECESSÁRIO

- Canudos plásticos finos na cor vermelha
- Canudos plásticos finos na cor azul
- Canudo plástico grosso na cor vermelha
- Canetas para retroprojeter (cores: azul, preto e vermelho)
- Estiletes
- Fitas adesivas transparente
- Folhas de isopor de 25 mm
- Folhas de isopor de 10 mm
- Tubos de cola para isopor
- Palito para churrasco

Exercício 1. Observe os materiais em demonstração e procure classificá-los usando características morfológicas de caule, raiz e folha.

Exercício 2. Observe as lâminas, em microscópio óptico como demonstração. Em seguida, identifique nas pranchas fornecidas os principais tecidos.

Exercício 3. Após ter interpretado os tecidos da prancha de folha, faremos um exercício de construção de modelo didático com materiais simples, montando as partes como se fosse um sanduíche.

1. Coloque juntos a epiderme (isopor fino) e cutícula (plástico ou celofane);
2. Em seguida, coloque uma camada de isopor grosso (parênquima paliçádico);
3. Monte um feixe vascular unindo as partes com fita adesiva, conforme a imagem e esquema fornecidos. Deve conter protoxilema (canudos vermelhos finos), metaxilema (canudos vermelhos espessos), floema (canudos azuis). Ao redor desses envolva tudo com palitos de churrasco, como sendo uma bainha de fibras;
4. Coloque o feixe vascular no meio do isopor, esculpindo um sulco com estilete de cortar papeis;
5. Coloque outra camada de isopor grosso (parênquima lacunoso);
6. Adicione outra camada de epiderme: epiderme (isopor fino) e cutícula (plástico ou celofane);
7. Em seguida, cole tudo com cola de isopor e/ou fita adesiva;
8. Use as canetas de retroprojeter para delimitar células, núcleos e espessamentos de parede.

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

HICKEY, M. & KING, C. 2000. The Cambridge Illustrated Glossary of Botanical Terms. Cambridge University Press, Londres, 208p.

MENEZES, N.L.; PIRANI, J.R.; GIULIETTI, A.M.; MONTEIRO, W.R.; VENTURELLI, M.; ESTELITA, M.E.; KRAUS, J.E.; ANGYALOSSY, V.; ARDUIN, M.; CECCANTINI, G.C.T. & MELO-DE-PINNA, G.F. 2006. Anatomia e Morfologia de Plantas Vasculares. Apostila do Departamento de Botânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 184p.



9. METABÓLITOS SECUNDÁRIOS DE ORIGEM VEGETAL E SEUS USOS PELO HOMEM

Cláudia Maria Furlan (furlancm@yahoo.com.br)

Lucimar Barbosa da Motta (lugall@yahoo.com.br)

Com os avanços da ciência nos últimos anos, alguns assuntos têm se tornado muito populares e de grande penetração nos mais diversos ramos da sociedade. A alimentação nutracêutica tem grande destaque atualmente, com a efetiva comprovação da ação de determinados alimentos como, por exemplo, na redução de colesterol. Da mesma forma, vários cosméticos vêm sendo destacados na redução de celulite ou como antioxidantes, que amenizam os efeitos da idade. São diversos os empregos de vegetais ou substâncias extraídas deles nos diferentes ramos industriais, como o farmacêutico, de tintas, de corantes, entre outras atividades; essas substâncias, em sua grande maioria, são oriundas do metabolismo secundário das plantas.

O metabolismo nada mais é do que o conjunto de reações químicas que ocorrem no interior das células visando à produção de protoplasto e também a manutenção de importantes funções vitais como, no caso dos vegetais, a fotossíntese, respiração, transporte de solutos, entre outras.

Embora ainda não se tenha estabelecido um limite claro entre o metabolismo primário e o secundário, é usualmente aceito que o **metabolismo primário** leva à síntese de açúcares, aminoácidos, ácidos graxos, nucleotídeos e polímeros derivados destes, como polissacarídeos, proteínas, lipídeos e ácidos nucléicos, sendo todos eles universalmente encontrados nos vegetais, além de essenciais à vida. Já o **metabolismo secundário** é definido como rotas alternativas, que utilizam os produtos ou subprodutos do metabolismo primário, originando compostos não necessariamente essenciais ao organismo e que podem ser diferentes para cada espécie vegetal. Como exemplo disso pode ser citada a classe de flavonóides, substâncias responsáveis pelas colorações de vários órgãos vegetais, como as flores e que variam de acordo com o grupo de plantas estudado. Entretanto, o termo metabolismo secundário vem se mostrando pouco satisfatório, uma vez que muitos metabólitos secundários também funcionam como reguladores de importantes processos bioquímicos; por exemplo, os ácidos giberélico, indolilacético e abscísico, relacionados com o desenvolvimento e o crescimento das plantas, ou as quinonas, envolvidas nos processos de respiração celular e fotossíntese, ou ainda substâncias voláteis, como monoterpenos, envolvidos nas interações da planta com o meio. Por essa razão a divisão entre metabolismo primário e secundário não é perfeita, mas continua sendo empregada ainda nos dias atuais.

De maneira sintética, os metabólitos secundários, em plantas, são originados a partir de três **vias de síntese**: a via do ácido chiquímico, a via do acetato-malonato e a via do acetato-mevalonato, além de substâncias originadas a partir de aminoácidos. A figura 1 mostra, esquematicamente, as principais vias de biossíntese de metabólitos secundários em plantas. É a partir do metabolismo secundário que são produzidas substâncias como, por exemplo, os compostos fenólicos (taninos, ligninas, fenilpropanóides – derivados da via do ácido chiquímico), os terpenóides (monoterpenos, ditertepenos, sesquiterpenos, esteróides – derivados da via do acetato-mevalonato), os alcalóides (derivados de aminoácidos), constituintes de ceras epicuticulares (derivados da via do acetato-malonato), entre outros exemplos.

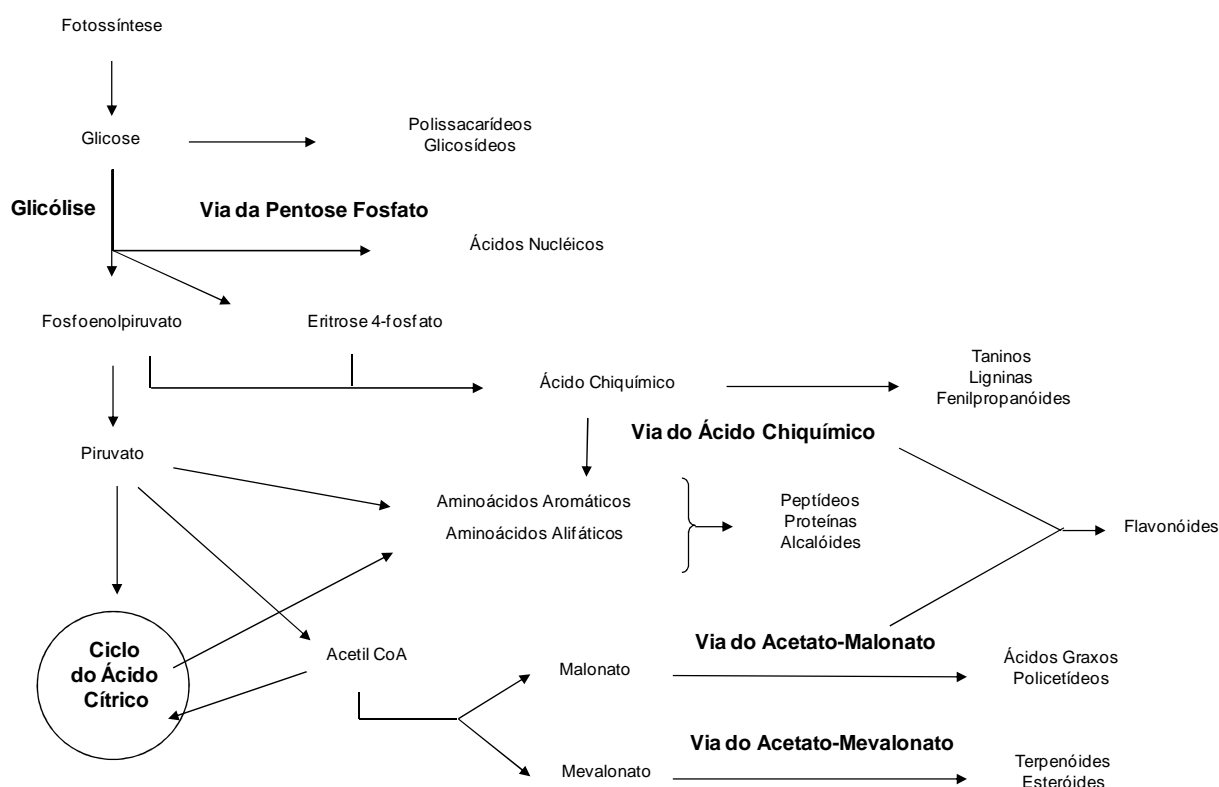


Figura 1. Representação esquemática das vias de síntese de metabólitos secundários em plantas.

Embora o metabolismo secundário nem sempre seja essencial para que uma planta complete seu histórico de vida, as substâncias por ele produzidas desempenham um importante papel na **interação das plantas**, funcionando como mediadoras de interações entre os vegetais e os fatores bióticos e abióticos do meio externo. Como exemplo, substâncias com importante papel em minimizar a ação de herbívoros ou o ataque de patógenos, ou influenciando na competição entre plantas (alelopatia), ou ainda como sinalizadores para outros organismos como polinizadores e dispersores de sementes. Podemos também relacionar alguns metabólitos secundários como agentes protetores a alguns estresses abióticos, como os associados com mudanças ambientais de temperatura, luminosidade, umidade, entre outras. Por exemplo, flavonóides estão relacionados à fotoproteção contra a ação da radiação ultravioleta (UV), pois absorvem os raios compreendidos nesse comprimento de onda.

Dessa forma, desde muito cedo o homem aprendeu a observar e, conseqüentemente, a utilizar em seu benefício, as propriedades conferidas por algumas substâncias de origem vegetal. Atualmente são inúmeras as atividades humanas que empregam vegetais ou seus derivados. Dentre essas atividades, a alimentação e o cuidado com o corpo, seja ele no uso de **fármacos** ou no uso de produtos de **higiene pessoal**, representam indústrias que movimentam enorme montante financeiro. A busca por novas fontes de fármacos, alimentos com ação nutracêutica e cosméticos de ação antienvhecimento são, hoje em dia, importantes ramos da indústria farmacêutica mundial, que, estima-se, deve movimentar cerca de US\$ 1,3



trilhões até 2020, dobrando o valor movimentado hoje, devido à crescente demanda atual por medicamentos e tratamentos preventivos.

A exploração de recursos vegetais pelo homem relaciona-se com o próprio surgimento da espécie humana: manter sua **alimentação** como forma de sobrevivência. Com o advento da agricultura, por volta de 10.000 a.C., também teve início a domesticação de algumas espécies vegetais interessantes para o consumo humano. Nessa seleção de espécies, embora que inicialmente de forma inconsciente, temos como resultado plantas atualmente cultivadas e que são bem diferentes das espécies selvagens que lhes deram origem. Por exemplo, ao longo do cultivo de mandioca (*Manihot esculenta*, Euphorbiaceae) foram selecionados exemplares menos tóxicos para o consumo humano, com menores quantidades de glicosídeos cianogênicos e, dessa forma, novas variedades foram criadas. Atualmente, é cada vez mais difícil encontrar a mandioca designada como brava, causadora de casos de intoxicações.

Além da alimentação, as civilizações humanas foram descobrindo várias outras formas de utilização das plantas em suas atividades diárias, empregando diretamente os vegetais na construção de casas, meio de transporte e objetos de decoração, ou pela extração de substâncias com propriedades industrialmente importantes, sejam como fonte de fármacos, ou como ingredientes de diversos produtos de higiene pessoal, entre outros usos.

Mais recentemente, a partir da década de 1990, os termos alimentos funcionais e nutracêutica ganharam mais evidência dentro da área da nutrição. Ambos referem-se à combinação das palavras nutrição e farmacêutica, área que estuda os componentes químicos presentes nos vegetais e suas ações sobre a saúde humana, principalmente na prevenção ou redução de risco de doenças crônico-degenerativas.

Pensando na imensa diversidade vegetal apresentada pelo Brasil, um dos cinco países mais megadiversos do mundo, podemos imaginar a importância de estudos sobre a nossa flora, como utilizá-la de forma sustentável assim como preservá-la. A importância desse conhecimento também se justifica pelo fato do grande interesse por parte de outros países em explorar espécies vegetais endêmicas do Brasil, sem, muitas vezes contribuir com um retorno social da exploração de alguns produtos. Essa grande diversidade de vegetais propicia uma grande variedade de substâncias por elas produzidas, muitas delas com potencial uso em diversas atividades humanas.

Com essa grande **diversidade química**, encontramos os metabólitos secundários agrupados em várias classes, muito mais pela estrutura química que apresentam do que pela rota de biossíntese que os originou. Dessa forma, podemos citar os alcalóides, as substâncias fenólicas, os terpenóides, os glicosídeos cianogênicos e os glicosinolatos. Algumas dessas classes são importantes fontes de fármacos, outras são interessantes pelas suas propriedades como fragrâncias, ou emulsificantes, na composição de cremes, ou ainda como adstringentes ou abrasivos. A importância do conhecimento para o desenvolvimento de uma exploração sustentável dessas substâncias está refletida no número de pessoas dependentes de produtos vegetais. Estima-se que 75% da população humana atual ainda dependam de medicamentos de origem vegetal, enquanto outra grande parcela da população já não saiba mais como sobreviver sem seus produtos de higiene pessoal. Milhões de pessoas são dependentes de glicosídeos cardioativos para manter uma vida normal controlando problemas cardíacos. Essas substâncias são obtidas a partir de apenas duas espécies



de Plantaginaceae pertencentes ao gênero *Digitalis*, sendo vários os fármacos obtidos dessas espécies, mas que ainda não possuem um derivado sintético similar.

Dentre as classes de metabólitos secundários os **alcalóides** talvez constituam a mais importante devido à diversidade de substâncias utilizadas medicinalmente. Um dos primeiros alcalóides isolados pelo homem foi a morfina, em 1816 a partir de frutos não maduros de papoulas (*Papaver somniferum*, Papaveraceae). Juntamente com a morfina outros alcalóides são extraídos a partir do ópio de papoulas, como a codeína, a papaverina e a tebaína. Alcalóides são substâncias nitrogenadas onde o átomo de nitrogênio faz parte de um anel heterocíclico. Essas substâncias são originadas a partir dos aminoácidos, especialmente fenilalanina, tirosina e triptofano e, de acordo com o aminoácido de origem, compõem uma classe química diferente de alcalóides. A cafeína, a cocaína e a heroína, juntamente com a morfina, são talvez os exemplos mais conhecidos de alcalóides.

Outra classe importante de metabólitos secundários é a dos **terpenóides**, constituída pelos óleos voláteis (monoterpenos e sesquiterpenos, principalmente), diterpenos, triterpenos e os carotenóides. Todas essas substâncias são constituídas por unidades menores de cinco átomos de carbono, o isopreno, sendo classificadas de acordo com o número de carbonos que possuem: monoterpenos (10 átomos de carbono = 2 isoprenos), sesquiterpenos (15 átomos de carbono), diterpenos (20 átomos de carbono), triterpenos (30 átomos de carbono) e carotenóides (40 átomos de carbono). Essa classe mostra sua grande participação na indústria de fragrâncias, como constituintes de aromatizantes, como por exemplo, com o uso do mentol, do cineol e do pineno. Um exemplo interessante é o uso do óleo volátil extraído do pau-rosa (*Aniba rosiflora*, Lauraceae), espécie nativa brasileira rica na produção de linalol, que devido a sua fragrância agradável serve como matéria-prima para a confecção do perfume Chanel N° 5. Outros terpenóides importantes são os triterpenos, atualmente descritos como um grupo de largo espectro de ação biológica, inclusive anti-HIV, como exemplo o ácido betulínico e o ácido platânico. Já muito conhecidos pela população estão os carotenóides, principalmente o licopeno e o beta-caroteno, utilizados na alimentação como fonte para a produção de vitamina A, importante para a manutenção sadia da córnea.

Mais recentemente, a classe das **substâncias fenólicas** também vem ganhando destaque na mídia principalmente pelo potencial antioxidante que essas substâncias oferecem. Sob esta denominação são identificadas várias classes de substâncias como ácidos fenólicos (elágico, caféico, gálico, clorogênico, quínico, cinâmico), flavonóides (catequinas, flavonas, flavonóis, isoflavonóides), lignanas, polifenóis e taninos. São substâncias quimicamente caracterizadas por possuírem hidroxilas ligadas a anéis fenólicos. Substâncias como os flavonóides vêm sendo cada vez mais empregadas em preparações cosméticas no combate a radicais livres, relacionados ao processo de envelhecimento. Várias indústrias vêm produzindo cremes faciais que possuem essas substâncias em sua formulação, como, por exemplo, flavonóides de *Passiflora* (gênero do maracujá), tidos como importantes na redução do aparecimento de rugas e no combate ao envelhecimento da pele. Outra substância fenólica que vêm se destacando atualmente são os polifenóis, como por exemplo, o **resveratrol**, encontrado em sementes de uva preta e no vinho tinto, essa substância têm mostrado excelentes resultados no combate ao colesterol. Como substâncias fenólicas já consagradas pelo seu uso, podemos citar alguns aromatizantes utilizados na indústria alimentícia e de fragrâncias, como o caso da vanilina, a famosa baunilha, extraída de frutos de espécies de orquídeas do



gênero *Vanilla*. Outro exemplo é o óleo volátil extraído da parte interna da casca de troncos de *Cinnamomum zeylanicum* (Lauraceae), a canela, muito utilizado na culinária, como condimento e aromatizante e, na medicina, relacionado à cura de resfriados e problemas de garganta. Como outro exemplo de utilização de substâncias fenólicas, pode ser citado o eugenol (um fenilpropanóide), constituinte majoritário do óleo volátil extraído de botões florais de *Eugenia caryophyllus* (Myrtaceae), popularmente conhecida como cravo-da-índia, amplamente empregado em odontologia por possuir uma ação anti-séptica e anestésica.

Algumas substâncias não têm uma função medicinal ou um uso industrial na sua forma estrutural natural, mas, muitas vezes, podem apresentar detalhes moleculares aproveitados para a síntese de importantes fármacos produzidos sinteticamente **em laboratório**. Um exemplo é a cortisona, até então obtida das glândulas supra-renais de animais. Em 1950, descobriu-se que algumas espécies vegetais (especialmente monocotiledôneas) apresentavam altos teores de saponinas esteroidais que quando tratadas com ácidos dão origem a cortisona e outras substâncias com ação contraceptiva. Dessa forma, além da não utilização animal na produção de cortisona, pode-se dar vazão à crescente demanda de substâncias contraceptivas. Outro exemplo é o ácido acetilsalicílico componente da aspirina. No século V antes de Cristo, Hipócrates descreveu que o pó ácido da casca do salgueiro ou chorão (*Salix alba*, Salicaceae) aliviava dores e diminuía a febre. O princípio ativo da casca, o ácido salicílico foi isolado na sua forma cristalina em 1828. Em 1897 a Bayer conjugou quimicamente o ácido salicílico com acetato, criando o ácido acetilsalicílico, que mostrou ser menos tóxico.

Fica cada vez mais evidente a grande participação das plantas em inúmeras atividades do nosso dia-a-dia como fonte direta ou não de matéria-prima para confecção de diferentes produtos.

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

- LEWINGTON, A. 2003. *Plants for People*. Transworld Publishers, Londres, 304p.
- RAVEN, P.H.; EVERT, R.F. & EICHORN, S.E. 2007. *Biologia Vegetal*. 7ª edição. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 830p.
- VICKERY, M.L. & VICKERY, B. 1981. *Secondary Plant Metabolism*. Macmillan Press, Hong Kong, 335p



10. PLANTAS MEDICINAIS E TÓXICAS

Maria Luiza Faria Salatino (mlfsalat@usp.br)

Milene Clemente Sampaio (msclemente@ig.com.br)

Antonio Salatino (asalatin@ib.usp.br)

PLANTAS MEDICINAIS

Fármacos importantes obtidos de plantas

Há plantas de grande importância medicinal que são utilizadas na medicina oficial como fontes para obtenção de fármacos. É a forma de utilização que se reveste do maior interesse econômico no campo das plantas medicinais. Os fármacos são isolados e obtidos sob forma pura, na maioria das vezes cristalina. Passam então a fazer parte de medicamentos sob a forma de comprimidos, drágeas, injetáveis, etc.

1. Plantas fornecedoras de fármacos usados no tratamento do câncer

Catharanthus roseus (Apocynaceae), nativa de Madagascar e atualmente cultivada em muitos países tropicais, contém mais de oitenta **alcalóides**, sendo a **vincristina** e **vinblastina** muito usados no tratamento e cura do mal de Hodgkin e várias formas de câncer, inclusive leucemia infantil. Para obter 3 g desses alcalóides, requer-se uma tonelada de partes aéreas secas da planta. A vinblastina é também usada como matéria prima para a síntese em laboratório de **vindesina**, um fármaco mais potente em sua atividade antimitótica, e que é utilizado no tratamento da leucemia linfoblástica, linfomas e vários tipos de tumores sólidos, como câncer de mama, de esôfago e do trato respiratório.

Das cascas de *Taxus brevifolia* (Taxaceae), uma gimnosperma nativa do Hemisfério Norte, obteve-se, há alguns anos, o diterpeno **taxol**. Este é usado no tratamento de vários tipos de câncer, principalmente tumores ovarianos. Para a obtenção de 1 kg de taxol necessitam-se 7,5 toneladas de cascas secas da planta. Como a remoção das cascas ocasiona sua morte, o taxol tem sido obtido pelo isolamento a partir de folhas de um híbrido de *Taxus* desenvolvido para esse fim e também por síntese a partir do diterpeno 10-desacetilbacatina III.

Podophyllum peltatum (Berberidaceae) é uma erva nativa das florestas dos Estados Unidos e Canadá. A planta possui um caule subterrâneo (rizoma) que fornece uma resina contendo substâncias fenólicas, entre elas a **podofilotoxina**. Esta substância é usada para a síntese de **etoposídeo** e de **teniposídeo**, derivados usados no tratamento de várias formas de câncer, como linfomas, tumores dos testículos, do cérebro e leucemia aguda.

Três espécies são conhecidas como ipê-roxo: *Tabebuia heptaphylla*, *T. impetiginosa* e *T. ipe* (Bignoniaceae). A pesquisa científica não encontrou na casca do ipê roxo nada que justificasse a sua fama como anticancerígena. No entanto, no lenho de vários ipês existem substâncias fenólicas, em especial o **lapachol**, que de fato inibe o crescimento de tumores malignos e reduz a dor, motivo pelo qual a substância vem encontrando aplicação medicinal.

Camptotheca acuminata (Nyssaceae), uma planta nativa do Sul da China, acumula o alcalóide **camptotecina** nas cascas do caule e da raiz e nos frutos. Esta substância impede a replicação e a divisão celular. Substâncias sintéticas análogas à camptotecina têm sido produzidas, como a **topotecan**. Essa substância possui menos efeitos tóxicos que a camptotecina e vem apresentando interessantes resultados



no tratamento de câncer do esôfago, dos brônquios e do cólon.

2. Plantas fornecedoras de fármacos usados contra problemas do sistema cardiovascular

O ritmo de vida atual e a adoção de hábitos alimentares inadequados levam a um incremento na frequência de males relacionados com a fisiologia cardiovascular. Várias plantas são úteis como fontes de fármacos usados para o controle desses problemas.

A **digoxina** e a **digitoxina**, exemplos de glicosídeos cardioativos, são substâncias largamente usadas para o tratamento de insuficiência cardíaca e taquicardia. São obtidas de *Digitalis lanata* e *D. purpurea* (Plantaginaceae), ervas nativas da Europa, conhecidas como dedaleiras.

Papaver somniferum (Papaveraceae), a papoula, é fornecedora do ópio, material rico em alcalóides, obtido do látex de seus frutos. Além de fornecer alcalóides como a **morfina**, um potente analgésico, e a **codeína**, um antitússico, o ópio também contém **papaverina**, de forte ação sobre a musculatura lisa, agindo como relaxante das fibras musculares dos vasos sanguíneos. É usado também para a prevenção de acidentes vasculares, pois diminui a fragilidade capilar. O ópio também tem interesse toxicológico, pois além de se constituir em droga de uso abusivo, é ilegalmente usado para a obtenção de heroína, através de síntese a partir da morfina.

Certos frutos de gramíneas (por exemplo, o centeio), quando infectados por um fungo do gênero *Claviceps*, são fontes de importantes substâncias chamadas alcalóides do “ergot”. Os frutos infectados ficam anormalmente grandes, sendo então chamados esclerócios, e acumulam quantidades substanciais daqueles alcalóides em uma complexa mistura. A substância encontrada em maior proporção nessa mistura é a **ergotamina**, que atua como vasoconstritora, com ação pronunciada nos vasos do cérebro. Os alcalóides do “ergot” são estruturalmente baseados numa substância chamada **ácido lisérgico**, este pode ser convertido (em laboratório) em sua dietilamida, o LSD, que teve grande importância toxicológica há vinte ou trinta anos, devido ao seu uso como alucinógeno.

Existem várias espécies de *Cinchona* que fornecem a **quinina**, um alcalóide obtido da casca do caule com grande importância para o controle da malária. Essas plantas pertencem às Rubiaceae (família do café), sendo nativas de regiões andinas da Colômbia, do Peru e da Bolívia. Além da quinina, obtêm-se de *Cinchona* outros alcalóides, como a **quinidina**, que é um fármaco de grande importância para o tratamento de arritmias e outros problemas cardíacos, inclusive da taquicardia. Como a quinina é o composto predominante na mistura de alcalóides, a indústria obtém a quinidina por síntese, a partir dessa substância.

Um problema vascular muito freqüente na atualidade é a hipertensão, que vem sendo tratada com **reserpina**, um alcalóide obtido das raízes do arbusto *Rauvolfia serpentina* (Apocynaceae), cujo isolamento se deu em 1949. Verificou-se que esse alcalóide era capaz de reduzir a pressão sanguínea de 30/15 para 16/10. Na atualidade, a reserpina perdeu muito de sua importância no tratamento da hipertensão, devido à introdução de outros fármacos.

A casca da laranja e de outros frutos de *Citrus* (Rutaceae) são fontes de **hesperidina** e **diosmina**, flavonóides usados no tratamento de fragilidade capilar. A **rutina** é outro flavonóide usado para os mesmos fins. Ele é obtido de umas poucas fontes vegetais, entre elas os frutos de duas leguminosas do cerrado, *Dimorphandra mollis* e *D. ledgeriana* (Fabaceae), ambas conhecidas como barbatimão-de-folha-miúda.



3. Exemplos de outras plantas fornecedoras de importantes fármacos

A seguir fornece-se uma lista de plantas que são usadas para a obtenção de fármacos que são usados em sua forma natural ou empregados como ponto de partida para a semi-síntese de fármacos. Cada tópico é iniciado com a propriedade atribuída aos fármacos em questão.

ANALGÉSICOS - Não há analgésico mais popular do que a aspirina, o célebre **ácido acetil-salicílico** ou AAS. A aspirina, que tem também efeito antitérmico é obtida em laboratório a partir do ácido salicílico. Esse ácido é encontrado em várias espécies de *Salix* (chorão ou salgueiro), entre outras plantas. Atualmente o AAS tem grande aplicação também na prevenção de derrames cerebrais.

No século passado, tinturas de ópio, chamadas de láudano, eram usadas para o alívio das dores mais intensas. O ingrediente mais importante do láudano é a **morfina**. Esse alcalóide é um potente analgésico, que causa várias alterações no sistema nervoso central que resultam na inibição da liberação da substância P, um neurotransmissor da dor. Porém, o uso da morfina é rigorosamente controlado em todo o mundo, pois ela causa uma forte dependência nos usuários.

ANTITÚSSICOS - A **codeína**, um dos alcalóides presentes no ópio é muito usada como sedativo da tosse, sendo freqüentemente encontrada em xaropes.

ANTIMALÁRICOS - Além da **quinina**, que atua sobre as formas assexuadas de *Plasmodium* situadas no interior dos eritrócitos, o “kinghao” (*Artemisia annua* - Asteraceae), planta tradicional da China, também é utilizada contra a malária. As folhas contêm óleo volátil, no qual se encontra a **artemisina**, que atua em pequenas doses na fase eritrocítica do ciclo do plasmódio.

ESPASMOLÍTICOS E DILATADORES DA PUPILA - Há plantas de Solanaceae (família da batata) que fornecem alcalóides empregados para o alívio das dores provocadas por espasmos da musculatura lisa, como cólicas intestinais, uterinas e renais. As principais plantas são a beladona (*Atropa belladonna*), o estramônio (*Datura stramonium*) e o meimendro (*Hyoscyamus niger*). Todas são tóxicas e alucinógenas. A **atropina** e a **hioscina**, esta última conhecida também como **escopolamina**, são os alcalóides obtidos delas e ainda muito empregados. A atropina também age como dilatador da pupila, efeito muito explorado em oftalmologia para exame do fundo de olho.

HORMÔNIOS ESTEROIDAIIS - Antes da Segunda Guerra Mundial, os hormônios esteroidais usados em terapêutica eram obtidos de fontes animais, como ovários, testículos, glândulas supra-renais e urina, sendo extraídos em quantidades extremamente pequenas. Com o crescente interesse em se obter hormônios para a produção de contraceptivos e de cortisona, fontes mais abundantes de esteróides foram pesquisadas. *Dioscorea mexicana* (Dioscoreaceae) forneceu a **diosgenina**, de cujo núcleo esteroidal pode-se obter a progesterona. Várias sapogeninas são empregadas para a semi-síntese de cortisona e hormônios, como *Agave* e *Yucca* (ambas Agavaceae) e espécies do gênero *Smilax* (Smilacaceae).

ANTICONCEPCIONAIS MASCULINOS - O **gossipol**, um triterpeno, é uma substância presente nas sementes de algodão que tem ação contraceptiva quando administrada a homens. Ele é extraído de várias espécies de *Gossypium* (Malvaceae). Após dois meses de uso, essa substância causa oligospermia pela destruição dos túbulos seminíferos. Ele causa também efeitos colaterais, tais como a redução do nível de cálcio no sangue, distúrbios gastrointestinais, redução da libido e esterilidade prolongada.

VASOCONSTRITORES - A **efedrina**, um alcalóide obtido dos caules de espécies de gimnospermas do



gênero *Ephedra*, apresenta estrutura química muito próxima da adrenalina. Por essa razão, ela provoca aceleração do ritmo cardíaco e da respiração, inibe a contração da musculatura lisa e promove dilatação dos brônquios. Devido a esse último efeito, a efedrina foi usada, no passado, no controle da asma. Esse alcalóide ainda é usado em formulações para instilação nas narinas nos casos de constipação nasal. Atualmente é obtida por síntese. A efedrina age também em nível cerebral, apresentando um efeito estimulante semelhante ao das anfetaminas. Por essa razão, o seu eventual uso por atletas é proibido.

ANTIGLAUCÔMICOS E CONSTRITORES DA PUPILA - O glaucoma é uma doença que causa desconforto e dor nos olhos devido ao aumento da pressão intraocular. Espécies nativas do Brasil, do gênero *Pilocarpus* (Rutaceae) são fontes de **pilocarpina**, um eficiente alcalóide no controle do glaucoma. Seus efeitos são antagônicos aos da atropina.

INIBIDORES DA PLACA DENTÁRIA - *Sanguinaria canadense* (Papaveraceae), nativa da América do Norte, é muito curiosa devido à secreção de um látex vermelho. Nela existem diversos alcalóides, sendo a **sanguinarina**, o mais importante. No Brasil, essa substância ainda não é usada, mas nos Estados Unidos a sanguinarina é um componente da fórmula de pastas dentífricas e formulações para bochechos. Esse alcalóide possui ação antibacteriana, antifúngica e antiinflamatória. A sanguinarina inibe o crescimento da grande maioria dos germes patogênicos da placa dentária e apresenta toxicidade muito baixa.

ANTI-SÉPTICOS - Um dos males mais comuns em todos os países é a gripe. Devido à queda na resistência do organismo, há um maior risco nos ataques de gripe e resfriados, com a possibilidade de surgir complicações, como a pneumonia. Um dos fármacos mais populares nos tratamentos da gripe é uma substância volátil, o **cineol**. Este apresenta ação anti-séptica, agindo sobre muitos germes patogênicos. Acredita-se que ele previne complicações posteriores. Apresenta também ação sobre as mucosas dos brônquios e das fossas nasais, dando uma sensação de bem-estar respiratório. A fonte de cineol são os óleos voláteis das folhas de *Eucalyptus globulus* (Myrtaceae), a principal espécie de eucalipto com propriedades medicinais.

ESTIMULANTES DO SISTEMA NERVOSO CENTRAL - O mais consumido fármaco com ação estimulante do sistema nervoso, em todo o mundo, é a **cafeína**. Trata-se de um alcalóide que exerce ação estimulante no córtex cerebral, aumenta o estado de alerta, a capacidade de concentração e de raciocínio e reduz a sensação de fadiga e sono. Além disso, a cafeína estimula a respiração, por aumentar a sensibilidade do bulbo pelo gás carbônico e promove aceleração dos batimentos cardíacos e aumento discreto da diurese. A cafeína é largamente empregada em medicamentos da linha popular, em associação com analgésicos e antigripais. Esses medicamentos, para aliviar esses sintomas, contêm um analgésico (geralmente aspirina) e a cafeína para restabelecer a disposição geral do organismo. A cafeína é encontrada nas sementes secas do café, *Coffea arabica* (Rubiaceae), originária das regiões montanhosas da Etiópia. Foi cultivada inicialmente pelos árabes, daí o epíteto específico *arabica*. *Coffea canephora*, cuja variedade *robusta* apresenta sementes muito ricas em cafeína, também é utilizada. As folhas do chá (*Camellia sinensis*, Teaceae) e do mate (*Ilex paraguayensis*, Aquifoliaceae), as sementes da cola (*Cola nitida*, Malvaceae) e do guaraná (*Paulinia cupana*, Sapindaceae) são também fontes de cafeína, embora apenas as sementes de cola sejam comercialmente usadas para a obtenção do alcalóide.

ANTIASMÁTICOS – A asma é resultante da contração da musculatura lisa dos bronquíolos, o que acaba



por limitar a quantidade de ar que chega aos pulmões. São várias as causas da asma, uma das mais comuns tem origem alérgica. A **teofilina**, um alcalóide quimicamente muito semelhante à cafeína e com atividade estimulante do sistema nervoso central é utilizada para minimizar os ataques de asma. A teofilina existe em pequenas quantidades no chá e é obtida por semi-síntese, a partir da cafeína.

ENZIMAS PROTEOLÍTICAS - Há medicamentos que apresentam ingredientes ativos representados por enzimas que desdobram proteínas, liberando os seus aminoácidos constituintes. Tais enzimas são úteis para alguns casos de problemas do aparelho digestivo. A **ficina**, obtida do látex de espécies de *Ficus* (Moraceae), a **papaína**, obtida do látex de espécies de *Papaver* (Papaveraceae) são dois exemplos.

ADOÇANTES NÃO CALÓRICOS – Atualmente, com o aumento da estimativa de vida humana, aumentou também a possibilidade do surgimento de diabetes. Além disso, as pessoas, hoje em dia, têm uma grande preocupação em manter seu peso dentro de certos limites, por razões puramente estéticas ou por medo de comprometimento da saúde. Por isso, um número crescente de pessoas, principalmente após os 40 anos de idade, procura ingerir cada vez menos açúcar. Há, portanto, uma intensa procura por fontes naturais de adoçantes não calóricos. O mais conhecido atualmente é o **esteviosídeo**, obtido das folhas de estévia (*Stevia rebaudiana*, Asteraceae), uma planta nativa do Brasil e do Paraguai. O esteviosídeo é 200 vezes mais doce do que a sacarose (açúcar da cana) e praticamente atóxico. Nos Estados Unidos e no Japão já se usa a **taumatina**, uma mistura de proteínas que contém 207 aminoácidos, obtida dos frutos de *Thaumatococcus danielli* (Marantaceae - família da cana-da-índia), uma planta nativa da África. O poder adoçante da taumatina é impressionante: 100 mL de uma solução a 60% são suficientes para adoçar 30 caixas d'água de 1000 L cada. A sensação adoçante persiste na boca por 15-20 minutos, deixando um sabor residual de alcaçuz. *Periandra mediterranea* (anteriormente denominada *Periandra dulcis*, Fabaceae), um arbusto ou pequena árvore conhecida popularmente com alcaçuz-da-terra, cujas raízes têm sabor adocicado, é potencialmente indicada como fornecedora de substâncias adoçantes. Constatou-se que nesses órgãos existem saponinas, chamadas **periandrininas**, responsáveis pelo sabor doce. Essa planta é nativa da nossa flora.

PLANTAS TÓXICAS PARA O HOMEM

Vamos descrever a partir daqui, apenas algumas espécies tóxicas mais importantes, devido a sua proximidade com o homem.

Manihot esculenta - Mandioca (Euphorbiaceae)

Apesar de ser uma planta largamente consumida pelo homem como fonte calórica, a mandioca, se preparada inadequadamente, causa uma intoxicação que, não raro, se mostra fatal. A raiz da mandioca contém uma substância chamada **linamarina**. Sob a ação da enzima linamarase, presente nos tecidos da própria raiz, a linamarina decompõe-se, liberando, entre outras substâncias, o cianidreto (HCN).

Este é o mesmo gás que se utiliza em alguns locais dos Estados Unidos nas câmaras de gás para execução de condenados à morte. A linamarina é um representante do grupo dos **glicosídeos cianogênicos**. Certas variedades de mandioca acumulam quantidades muito maiores de linamarina: são as chamadas mandiocas bravas. Sem análise química, não é possível distinguir as variedades bravas das mansas. A linamarina ocorre em maiores quantidades na casca da raiz, mas a polpa branca comestível contém quantidades consideráveis do glicosídeo.



Na circulação sangüínea, o cianidreto libera o íon cianeto, que é transportado pela hemoglobina. Nas células, o cianeto liga-se fortemente ao citocromo mitocondrial, que é responsável pelo transporte de elétrons na respiração celular. Por essa razão, o intoxicado passa por um processo de asfixia celular que, dependendo da quantidade de cianeto no sangue, pode provocar a morte.

A maneira mais segura de se consumir mandioca no ambiente doméstico é eliminar uma boa espessura dos tecidos mais externos da casca, deixar as partes descascadas imersas em água por uma ou duas horas (o que causa morte das células e decomposição da linamarina) e cozinhar em água fervente por pelo menos uma hora (para garantir a decomposição química do que restou da linamarina).

Dieffenbachia picta - Comigo-ninguém-pode (Araceae)

Comigo-ninguém-pode é uma planta herbácea muito cultivada nos lares, nos estabelecimentos do pequeno comércio (bares, mercearias) e também muito usada em rituais afro-brasileiros. Uma parcela da população acredita que a comigo-ninguém-pode é uma planta capaz de neutralizar certos sentimentos negativos, como a inveja e o mau-olhado. As folhas da planta são muito vistosas, apresentando uma variegação, isto é, uma distribuição irregular de áreas verdes e albinas.

A mastigação, ainda que de pequenas porções de folhas ou pecíolos de comigo-ninguém-pode, causa uma intensa irritação das mucosas da boca, faringe e laringe, com inchaço (edema) da língua e estreitamento da passagem de ar nas vias aéreas superiores. A pessoa pode perder a fala por algum tempo, daí o nome inglês da planta, "dumb-cain", que significa a cana-do-mudo. Dependendo da gravidade da reação do organismo pode sobrevir a morte por asfixia. A irritação e o inchaço são conseqüências do desencadeamento de um processo alérgico. Existem na planta, cristais longos (**ráfides**) terminados em bisel e reunidos em feixes contendo algumas centenas deles. Estes feixes são embebidos por um suco vacuolar protéico com atividade enzimática, chamado **dumbcaína**. Os cristais, por terem as extremidades cortantes, perfuram as mucosas e injetam nelas o suco contendo a dumbcaína. Esta proteína provoca a lise das membranas celulares que libera histamina, serotonina e outras aminas, desencadeando um intenso processo alérgico que leva à formação do edema.

Comigo-ninguém-pode é uma das plantas mais perigosas no ambiente doméstico por ser muito comum e capaz de provocar uma reação muito intensa e de extrema gravidade a partir da simples mastigação de pequenas porções da folha. É muito importante ensinar isto às crianças e manter sobre elas estreita vigilância para evitar eventuais acidentes de intoxicação.

Abrus precatorius - Jequiriti (Fabaceae); *Jatropha curcas* - Pinhão-de-purga (Euphorbiaceae); *Ricinus communis* - mamona (Euphorbiaceae)

Essas três plantas têm em comum, **proteínas** muito tóxicas em suas sementes. Elas são capazes de aglutinar hemácias, sendo letais em quantidades muito pequenas. A proteína tóxica do jequiriti é chamada abrina, a do pinhão-de-purga, curcina, e a da mamona, ricina. O jequiriti é uma trepadeira não-cultivada, portanto, as pessoas não têm contato freqüente com a planta. Suas sementes são muito vistosas, apresentando-se vermelhas com uma mancha negra, sendo utilizadas como objetos de adorno. Às vezes, crianças ingerem as sementes semelhantes a contas do colar ou do terço, o que pode ser muito perigoso. Já houve casos em que a ingestão de uma única semente foi suficiente para matar uma criança. A semente do jequiriti situa-se entre os mais potentes venenos conhecidos, orgânicos ou inorgânicos.



As sementes do pinhão-de-purga e da mamona têm efeito semelhante quando ingeridas. Ambas contêm grande quantidade de óleo, que apresenta efeito **purgativo**. As proteínas tóxicas presentes em ambas não ocorrem no óleo, quando este é extraído. Portanto, o óleo de mamona, que era usado medicinalmente como purgativo, não tinha atividade tóxica. Porém, a torta que se obtém após a extração do óleo é altamente tóxica. Há referências de que cinco sementes de pinhão-de-purga são suficientes para matar uma criança. As sementes do pinhão-de-purga e da mamona, embora sem os atributos ornamentais das do jequiriti, são também vistosas, o que atrai a atenção principalmente de crianças. A mamona, devido ao fato de ser uma planta muito comum, oferece maior risco de intoxicação.

O QUE FAZER NOS CASOS DE INTOXICAÇÃO POR PLANTAS

É importante conhecer as principais plantas tóxicas presentes no lar, no jardim, nos locais públicos e nos arredores. Neste capítulo foram apresentadas apenas algumas plantas que podem representar riscos de intoxicação para as pessoas. Deve-se assumir como norma rigorosa e geral o aconselhamento das pessoas, principalmente crianças, de não ingerir qualquer planta ou parte de planta, cultivada ou não, que seja desconhecida ou a respeito da qual não se tenha absoluta certeza sobre a sua inocuidade. Não se deve também recorrer à prática de fazer chás ou outras preparações medicamentosas de plantas, a não ser que se tenha total segurança de que o seu uso é seguro. Deve-se combater a noção, totalmente infundada, mas infelizmente muito comum, de que as plantas, se não fazem bem, também não fazem mal. Na verdade, na ingestão de qualquer parte de uma planta desconhecida, é muito mais provável a ocorrência de **manifestações indesejadas** do que a inocuidade. Finalmente, no caso de uma intoxicação, chame um médico ou leve a pessoa ao pronto socorro. Tenha à mão um ramo da planta que motivou o acidente ou partes dela, mesmo que sejam fragmentos retirados da boca do intoxicado ou do vômito. É possível que o médico desconheça a existência do Centro de Intoxicações local, que muitas vezes é essencial para o tratamento das intoxicações em geral, incluindo as causadas por plantas. Na cidade de São Paulo, temos o Centro de Controle de Intoxicações da Prefeitura - Hospital Dr Arthur Ribeiro de Saboya, Rua Francisco de Paula Quintanilha Ribeiro, 860, CEP 043320-001.

Telefones:

(11) 5012-5311 ou 0800-771-3733 (Plantão médico)

(11) 5011-5111, ramal 250 (Laboratório)

(11) 5011-5111, ramais 253 e 254 (Secretaria)

(11) 5012-2399 (fone/fax da Coordenação e Secretaria)

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

BRUNETON, J. 1999. Pharmacognosy, Phytochemistry, Medicinal Plants. Intercept Ltd., Londres, 1119p.

BRUNETON, J. 2001. Plantas Tóxicas. Editora Acribia S.A., Zaragoza, 527p.

DEWICK, P.M. 2002. Medicinal Natural Products. A biosynthetic Approach. John Wiley & Sons, Chichester, 507p.

LORENZI, H. & MATOS, F.J.A. 2002. Plantas Medicinais no Brasil. Instituto Plantarum de Estudos da Flora, Nova Odessa, 512p.



- SIMÕES, C.M.O.; SCHENKEL, E.P.; GOSMANN, G.; MELLO, J.C.P.; MENTZ, L.A. & PETROVICK, P.R. 2000. Farmacognosia: da Planta ao Medicamento. Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 821p.
- YUNES, R.A. & CALIXTO, J.B. 2001. Plantas Medicinais sob a Ótica da Química Medicinal Moderna. Argos, Editora Universidade, Chapecó, 523p.



11. OBTENÇÃO E DETECÇÃO DE SUBSTÂNCIAS DE ORIGEM VEGETAL

Cristiane Del Nero Rodrigues (cristiane.rodrigues@gmail.com)

Lucimar Barbosa da Motta (lugall@yahoo.com.br)

Mourisa Maria de Souza Ferreira (mourisa@usp.br)

As plantas protegem-se contra a herbivoria de muitas maneiras, tais como a presença de espinhos, acúleos, paredes celulares lignificadas ou silicosas e a síntese de substâncias químicas de proteção, que podem ser repelentes, impalatáveis, urticantes ou tóxicas. Por meio da seleção natural e da coevolução, em resposta à pressão de predação, uma grande variedade de substâncias de defesa foram selecionadas, dentre elas, falaremos aqui dos glicosídeos cianogênicos, dos alcalóides e os dos óleos voláteis.

Glicosídeos cianogênicos são substâncias que liberam cianidreto (HCN) quando hidrolisadas. Esta reação depende da ação de enzimas endógenas que liberam HCN como produto final da hidrólise dos glicosídeos. Tanto os glicosídeos como as enzimas ocorrem naturalmente no tecido vegetal, mas em compartimentos separados, de forma que para que ocorra o contato entre eles é necessário que o tecido vegetal seja lesionado. Isto ocorre durante o processamento das plantas como, por exemplo, cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*, Poaceae) e mandioca (*Manihot esculenta*, Euphorbiaceae), quando são moídas, amassadas ou cortadas e, por isso, o cuidado na ingestão dessas plantas quando cruas. Os glicosídeos são formados biossinteticamente a partir de aminoácidos. Por exemplo, a linamarina é proveniente do aminoácido valina, e ocorre em muitas plantas junto com a lotaustralina, derivada da isoleucina, como na mandioca e na linhaça (*Linum usitatissimum*, Linaceae).

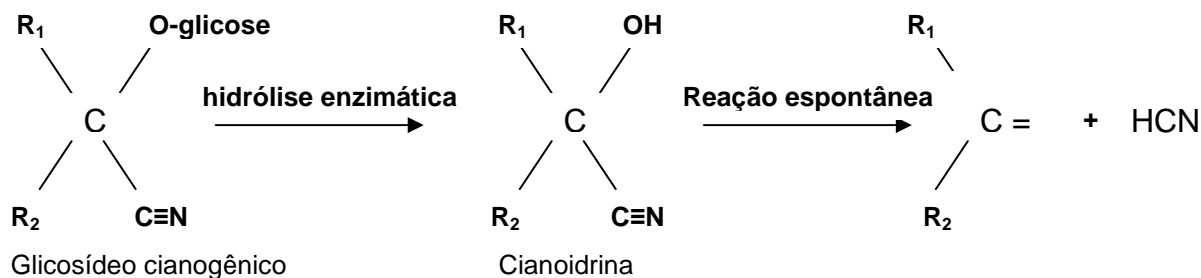
A cianogênese tem sido detectada em pelo menos 2.650 espécies de plantas provenientes de 550 gêneros e 130 famílias de pteridófitas, gimnospermas e angiospermas, assim como também tem sido registrada em bactérias, fungos e líquens, demonstrando, desta maneira, ser um fenômeno bastante difundido não somente entre os vegetais. As famílias nas quais a cianogênese é especialmente comum são: Araceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Poaceae, Papaveraceae, Proteaceae, Passifloraceae, Rosaceae, Ranunculaceae, Salicaceae e Sapindaceae.

Tanto cianoglicosídeos como cianolipídeos, quando hidrolisados por enzimas, formam açúcares, ácidos graxos, aldeídos ou cetonas e cianidreto. A liberação de cianidreto é considerada um mecanismo de defesa vegetal e o seu efeito é a inibição da cadeia respiratória, resultando em morte do herbívoro por asfixia.

Linamarina, lotaustralina, durrina, epilotaustralina, epieterodendrina, triglochicina, amigdalina e prunasina são exemplos de glicosídeos cianogênicos presentes em plantas comestíveis como trigo (*Triticum aestivum*, Poaceae), cevada (*Hordeum vulgare*, Poaceae), aveia (*Avena sativa*, Poaceae), sorgo (*Sorghum bicolor*, Poaceae), mandioca (*Manihot esculenta*, Euphorbiaceae), broto de feijão (*Phaseolus luanthus*, Fabaceae), feijão (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae), linhaça (*Linum usitatissimum*, Linaceae) e maçã (*Malus pumila*, Rosaceae). O princípio tóxico com odor de amêndoas amargas é a amigdalina, que difere de todos os outros glicosídeos cianogênicos conhecidos por apresentar o açúcar gentiobiose no lugar da glicose. O glicosídeo prunasina possui a mesma estrutura do amigdalina, mas com a glicose como açúcar. Ambas ocorrem em sementes de pêssigo (*Prunus*) e maçã, pertencentes as Rosaceae.



O HCN é liberado dos glicosídeos cianogênicos de acordo com o esquema abaixo:



onde R_1 e R_2 podem ser grupos alquílicos, aromáticos ou outros substituintes quaisquer.

Alcalóides são substâncias orgânicas nitrogenadas, quase sempre de origem vegetal e que apresentam geralmente caráter alcalino. Estão entre os mais importantes compostos ativos do ponto de vista farmacológico ou medicinal. Entre eles temos a atropina, a cafeína, a cocaína, a nicotina, a pilocarpina e a morfina. A morfina foi primeiramente obtida por meio de cortes na cápsula da papoula (*Papaver somniferum*, Papaveraceae), quando ainda verde, de onde se retiram o látex (ópio) que contém cerca de 25 alcalóides diferentes. Quando seco, o látex passa a se chamar pó de ópio. A morfina é utilizada na medicina como analgésico e como inibidor da tosse.

A cafeína é um estimulante encontrado em plantas como o café (*Coffea arabica*, Rubiaceae), presente nas folhas e nos frutos, o cacau (*Theobroma cacao*, Malvaceae) e o chá-da-índia (*Camellia sinensis*, Theaceae). De acordo com o processo de oxidação da cafeína, temos três tipos de chás: o chá-preto, o chá-verde e o chá-branco. No chá-preto a cafeína encontra-se totalmente oxidada, sendo este chá o mais forte em paladar e com maior quantidade de alcalóide. Outro chá com grande quantidade de cafeína é o chá-mate extraído de *Ilex paraguariensis* (Aquifoliaceae), planta de origem brasileira chamada de chimarrão no Rio Grande do Sul, principalmente, e de tererê no Paraná e no Mato Grosso de Sul. Outro alcalóide parecido com a cafeína é a guaraná, encontrado nos frutos da planta do guaraná (*Paullinia cupana*, Sapindaceae), utilizados pela indústria alimentícia para fazer o refrigerante de guaraná. A nicotina é outra substância estimulante e é obtida de folhas de tabaco (*Nicotiana tabacum*, Solanaceae), responsável pela manutenção de um dos maiores ramos industriais na atualidade, a indústria tabagista.

A atropina, utilizada atualmente como estimulante cardíaco e, desde muito tempo, como dilatador de pupilas, era extraída do meimendo-egípcio (*Hyoscyamus muticus*, Solanaceae) no último século a.C.. Cleópatra já usava esse alcalóide para dilatar as pupilas, o que na época era considerado como um adorno feminino mais atraente. Já na Idade Média era extraída da beladona (*Atropa belladonna*, Solanaceae) e usada com o mesmo fim. A pilocarpina, obtida de *Pilocarpus jaborandi* e *P. microphyllus* (Rutaceae), é utilizada pela oftalmologia no tratamento de glaucoma.

A cocaína é obtida da planta da coca (*Erythroxylum coca*, Erythroxylaceae), um arbusto nativo da região andina da Bolívia e do Peru. Muitos habitantes das grandes altitudes mascam pequenas quantidades de folhas de coca para reduzir a fome, a fadiga, a sensação de falta de ar, o cansaço e os sintomas de cefaléia, náuseas e vômitos, entre outros, resultantes das condições com baixos níveis de oxigênio. Ao mastigar as folhas, concentrações muito reduzidas de cocaína são ingeridas aliviando parte desses males.



Vários remédios possuem em sua constituição alcalóides como a cafeína, a codeína e a atropina em analgésicos; a morfina e a papaverina, em relaxantes musculares; e a pilocarpina, em colírios para glaucoma.

Óleos voláteis são conhecidos como uma mistura de substâncias como os terpenóides, os fenóis e os alcoóis, entre outros. Os óleos voláteis têm merecido muita atenção, pois, estão presentes nas plantas aromáticas e podem apresentar ação farmacológica além de servirem como atraentes, repelentes e até como toxinas para insetos e microorganismos.

O uso desses óleos é observado no nosso dia-a-dia, como é o caso do óleo da citronela, como repelente de insetos. O óleo de citronela tem como componente principal, o citronelal, que é uma substância presente em algumas espécies de plantas, como por exemplo, o capim citronela (*Cymbopogon nardus* e *C. winterianus*, Poaceae) e o eucalipto (*Eucalyptus citriodora*, Myrtaceae). Outros componentes dos óleos voláteis usados pelo homem com ação diversa são o pineno, presente na resina do pinheiro (*Pinus* sp, Pinaceae), o nerol extraído do capim-limão (*Cymbopogon citratus*, Poaceae), o limoneno do óleo da casca do fruto de diversas espécies de laranja e limão (*Citrus* spp., Rutaceae), e algumas substâncias obtidas de plantas utilizadas como condimento alimentar, como o eugenol do cravo-da-índia (*Eugenia caryophyllata*, Myrtaceae) e o mentol da hortelã (*Mentha piperita*, Lamiaceae).

A forma como obtemos esses óleos pode variar conforme a localização na planta, da proposta de utilização do mesmo e das suas características físico-químicas (por exemplo, volatilidade e solubilidade em solventes orgânicos apolares e em água). De forma geral os óleos voláteis são obtidos por meio da destilação por arraste de vapor d'água. Entretanto, os óleos provenientes dos pericarpos de frutos cítricos são obtidos por prensagem. Em laboratório, esses óleos podem ser obtidos de forma mais elaborada, por meio do aparelho de Clevenger e em escala industrial em aparelhos semelhantes a alambiques; em ambos os casos o óleo é obtido por destilação a vapor ou **arraste por vapor d'água**. Os óleos voláteis também podem ser extraídos por meio de solventes específicos em laboratório.

No nosso cotidiano muitas vezes realizamos alguns procedimentos artesanais com o objetivo de extrair essas substâncias de origem vegetal, entre esses estão os famosos chás, que são realizados de diversas formas. A **infusão** consiste em colocar água fervendo sobre as partes das plantas das quais se deseja extrair os princípios ativos. Depois da junção da água, o recipiente deve ser abafado com uma tampa até esfriar, em seguida, coa-se e o líquido fica pronto para ser consumido, esse processo é bastante utilizado para chás de flores e folhas. Outra forma de extração de substâncias por meio de chás é mediante a **decocção**, que consiste em colocar as partes das plantas em um recipiente com água e levar ao fogo para ferver durante algum período com o recipiente fechado (é variável de acordo com a planta de interesse). Em seguida, coa-se e o líquido fica pronto para ser consumido, quente ou frio de acordo com o interesse. Esse processo é bastante utilizado para chás de cascas e raízes. É interessante ressaltar que o processo de decocção muitas vezes é realizado com o recipiente aberto, isso pode levar a um menor rendimento, pela perda por evaporação dos óleos voláteis.



DETECÇÃO DO ION CIANETO

A cianogênese é detectada de maneira rápida e simples nos tecidos vegetais por meio do teste de coloração de picrato que é específico para HCN. Papéis de picrato são preparados mergulhando-se pedaços retangulares de papel de filtro em solução aquosa saturada de ácido pícrico ($C_6H_3N_3O_7$), previamente neutralizado com bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$) e filtrado. Os papéis secos podem ser guardados indefinidamente.

LISTA DE MATERIAL NECESSÁRIO

- Béquer
- Chapa aquecedora ou banho-maria
- Clorofórmio
- Estante para tubos de ensaio
- Faca e estilete
- Papeis filtro (1,5 X 0,5 cm)
- Pinça
- Pipeta de Pasteur com pipetador (pêra)
- Pipeta graduada
- Solução de ácido pícrico
- Raiz de mandioca (*Manihot esculenta*) e de cenoura (*Daucus carota*)
- Rolhas com um pedaço de arame formando um gancho
- Tabua para cortar carne
- Tubos de ensaio grandes

PROCEDIMENTOS

1. Impregne o papel filtro com a solução de ácido pícrico com auxílio de uma pinça e um conta-gotas. Deixe o papel secar e encaixe-o no gancho da rolha de cortiça. OBS: Fure e atravesse a rolha de cortiça de lado-a-lado, no meio, com um arame; fixe o arame à rolha em um dos extremos para ele não soltar; no outro extremo faça um gancho de aproximadamente 4 cm de comprimento;
2. Pique, sem descascar, a raiz da mandioca e da cenoura em cubos pequenos e finos (tipo cebola);
3. Coloque em tubos de ensaio cerca de 1 cm de altura dos pedaços de cada raiz e adicione em cada um 2 mL de água e 2 gotas de clorofórmio;
4. Feche os tubos de ensaio com as rolhas contendo o papel impregnado com a solução ácido pícrico. **O papel não deve ficar em contato com a raiz, com a água ou com as paredes do tubo de ensaio;**
5. Coloque os tubos dentro de um béquer com água e aqueça por 30 min a 60°C. A água deve cobrir 1-2 cm acima da altura da raiz+água e os tubos devem ficar em posição reta (**cuidando para o papel não encostar na parede do tubo**). É preferível deixar o material incubando por 2 horas a 40°C, pois a esta temperatura os vapores de água não molham o papel e o picrato, que é solúvel em água, não pingará;
6. Observe a mudança de coloração do papel e compare os resultados da mandioca e da cenoura. Na presença de HCN o papel de picrato mudará de amarelo para marrom avermelhado;
7. Se a reação der negativa ou nenhuma mudança for observada, o tubo deve ser deixado à temperatura ambiente por 24-48 horas e, então, reexaminado. A intensidade da mudança de cor está relacionada à quantidade de HCN presente.

Para fazer a solução de ácido pícrico (trinitrofenol): dissolva 0,66 g de trinitrofenol em 100 mL de água.



DETECÇÃO DE ALCALÓIDES

LISTA DE MATERIAL NECESSÁRIO

- Ácido clorídrico 1%
- Balão de destilação de fundo chato
- Banho-maria
- Bastão de vidro
- Chapa aquecedora
- Cápsula de porcelana
- Clorofórmio
- Estante para tubos de ensaio
- Funil de vidro simples
- Hidróxido de amônio
- Lâmina de microscópio
- Material seco (remédios e plantas)
- Papel alumínio
- Papel de Filtro
- Pipeta graduada
- Pipeta de Pasteur com pipetador (pêra)
- Proveta graduada de 10 e 100 mL
- Reagente de Draggendorff
- Refrigerante de cola ou guaraná
- Rolha com vareta de vidro longa (\pm 150 cm)
- Sulfato de sódio anidro
- Suporte e garra
- Tubo de ensaio

PROCEDIMENTOS

Extração para material líquido:

1. Com o auxílio de uma pipeta graduada, transfira 10 mL do refrigerante para um tubo de ensaio;
2. Adicione com uma pipeta de Pasteur 4 gotas de hidróxido de amônio para alcalinizar o meio e possibilitar a extração dos alcalóides com solvente orgânico;
3. Adicione 4 mL de clorofórmio para a extração dos alcalóides. Com o auxílio de outra pipeta de Pasteur, colete a fração clorofórmica (inferior) e coloque-a numa cápsula de porcelana. Repita este procedimento mais 2 vezes juntando todas as frações na cápsula;
4. Evapore o solvente completamente em banho-maria (se possível em uma capela com exaustão).

Extração para material seco

1. Pese 0,2 g de material seco e transfira para um balão de destilação de fundo chato;
2. Adicione de 5 a 10 gotas de hidróxido de amônio, certificando-se de que todo o material foi umedecido.
3. Adicione 10 mL de clorofórmio. Tampe o balão com uma rolha perfurada com uma vareta de vidro longa acoplada (a vareta substitui um condensador e tem por finalidade evitar a perda do solvente por evaporação, uma vez que os vapores de clorofórmio atingirão altura e condensarão retornando ao balão). Coloque o balão em uma chapa aquecedora apoiando com uma garra o sistema (balão + vareta longa). Mantenha em ebulição sob refluxo por 30 minutos;
4. Resfrie o extrato deixando-o sobre uma bancada, embrulhe o balão com papel alumínio;
5. Filtre para uma cápsula de porcelana usando um funil de vidro simples com papel de filtro e um pouco de sulfato de sódio anidro;
6. Evapore o solvente completamente em banho-maria (se possível em uma capela com exaustão).



Testes de Caracterização de Alcalóides

1. Adicione duas gotas (no máximo) de HCl 1% aos resíduos das cápsulas de porcelana. Os resíduos serão homogeneizados com o auxílio de um bastão de vidro pequeno;
2. Transfira gotas da solução ácida para uma lâmina de microscópio e adicione ao lado uma gota do reagente de Dragendorff. Misture ambas as soluções usando uma pipeta de Pasteur e observe a formação de precipitado que indicará a presença de alcalóides.

Para fazer o reagente de Dragendorff (iodobismutato de potássio): junte 50 mL de água a 5 g de carbonato de bismutila, adicione 12 mL de ácido clorídrico e agite até quase dissolução; junte aos poucos 25 g de iodeto de potássio e agite sempre. Após dissolução, complete com água para obter 100 mL de volume final.

Para fazer a solução de ácido clorídrico (HCl) 1%: adicione 9 mL de água destilada numa proveta de 10 mL de capacidade; adicione 0,1 mL de ácido clorídrico concentrado; complete com água para obter 10 mL de volume final.

EXTRAÇÃO DE ÓLEOS VOLÁTEIS POR ARRASTE DE VAPOR D'ÁGUA: USO DO APARELHO DE CLEVINGER

LISTA DE MATERIAL NECESSÁRIO

- Aparelho de Clevenger
- Balão de destilação de 1 L
- Béquer
- Chapa aquecedora
- Folhas de capim-limão (*Cymbopogon citratus*)
- Mangueiras de borracha
- Suporte e garra
- Tesoura
- Vidro pequeno com tampa

PROCEDIMENTOS

1. Com o auxílio de uma tesoura, pique o material;
2. Transfira o material para um balão de destilação de fundo chato e boca esmerilhada. A capacidade do balão dependerá da quantidade de material usada para a extração (no caso do capim limão é necessário coletar material suficiente para preencher metade de um balão de 1 L, pois o rendimento de óleo é baixo);
3. Adicione água destilada até cobrir o material e coloque o balão sobre uma chapa aquecedora;
4. Preencha o aparelho de Clevenger com água destilada até a última marca da graduação e encaixe-o no balão.
5. Deixe em ebulição por aproximadamente 2 horas. O óleo volátil será arrastado pelo vapor d'água que, ao entrar em contato com a superfície fria do condensador do aparelho de Clevenger, condensará e se depositará no bulbo. A cada gota de óleo depositada sobre o bulbo, uma gota d'água retornará ao balão de destilação por meio do tubo inclinado do sistema, mantendo, desta maneira, volume constante;
6. Para retirar o óleo, abra a torneira e escoe a água com cuidado para um béquer. Quando a fração contendo o óleo chegar à torneira, retire o béquer com a água e colete o óleo num recipiente pequeno com tampa.



BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

HARBORNE, J.B., TURNER, B.L. 1984. Plant Chemosystematics. Academic Press, Londres, 562p.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F. & EICHORN, S.E. 2007. Biologia Vegetal. 7ª edição. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 830p.

SIMPSON, B.B. & OGORZALY, M.C. 2001. Economic Botany: Plants in our World. 3ª edição. McGraw-Hill. Nova Iorque, 529p.

STASI, L.C.D. 1996. Plantas Mediciniais: Arte e Ciência. Editora Unesp, São Paulo, 230p.

Associação Brasileira de Produtos de Amido e Mandioca
<http://www.abam.com.br/livroscargil/Capitulo%202/Capitulo%205.pdf>

Ministério Público Federal - Procuradoria Geral da República –Secretaria de Serviços Integrados de Saúde
<http://www.pgr.mpf.gov.br/pgr/saude/drg/opio.htm>



12. USO DAS PLANTAS NA ALIMENTAÇÃO SAUDÁVEL

Déborah Yara A. Cursino dos Santos (dyacsan@ib.usp.br)

Desde a época em que o homem tinha o hábito de caçador-coletor as plantas já eram utilizadas para diversos fins, incluindo a **alimentação**. Com o aparecimento do hábito sedentário, o homem passou a domesticar animais e plantas, desenvolvendo a agricultura. Desde então, as plantas têm desempenhado um importante papel no nosso dia-a-dia no que se refere à obtenção dos nutrientes para uma vida saudável.

A má nutrição pode ser vista de duas formas paradoxalmente conflitantes. Uma delas está geralmente associada à pobreza, às condições ambientais extremas (por exemplo, a seca no Nordeste) ou aos conflitos políticos (por exemplo, a guerra em Kosovo - 1999). Dessa maneira, os indivíduos não têm acesso ao mínimo de alimento necessário para a manutenção de um estado satisfatório de saúde. A outra forma está associada à alimentação incorreta, freqüentemente ligada à superalimentação. Nesses casos os problemas advindos podem ser de obesidade, diabetes e doenças cardiovasculares. De maneira geral, os países situados acima do Trópico de Câncer ou abaixo do Trópico de Capricórnio apresentam uma situação muito boa, ou pelo menos satisfatória de suprimentos nutricionais. Os habitantes em países situados na faixa intertropical apresentam, no máximo, um suprimento alimentar adequado. Em geral, as pessoas que vivem em países subdesenvolvidos recebem de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ das calorias diárias consumidas pela população dos países mais abastados (Figura 1).

O conhecimento das necessidades nutricionais do organismo, da composição dos principais alimentos que fazem parte da nossa dieta e das suas propriedades nutricionais deveria fazer parte da formação cultural do cidadão.

A alimentação humana é composta de vários tipos de moléculas orgânicas necessárias à manutenção da saúde. Além da água, podemos encontrar diferentes quantidades de carboidratos, proteínas, lipídeos, vitaminas e sais minerais que vão ser digeridos através de processos enzimáticos no trato gastrointestinal. As nossas células requerem alimento para as seguintes finalidades: a) liberação de energia necessária ao metabolismo - **alimentos energéticos**, b) provisão de matéria-prima para a produção de novas células - **alimentos plásticos** e c) provisão de reguladores do metabolismo. A energia necessária ao trabalho celular pode ser obtida dos carboidratos, dos lipídeos e das proteínas. Esses dois últimos, além da água e sais minerais, são úteis como matérias-primas para construção de novas células. Proteínas, vitaminas e sais minerais são substâncias reguladoras do metabolismo.

Grande parte dos alimentos que utilizamos apresenta todas as classes de substâncias acima, sempre com a predominância de uma ou outra categoria. Por exemplo, os cereais (grãos obtidos de certas Poaceae, como o trigo, o arroz e o milho) contêm predominantemente carboidratos, mas possuem também lipídeos (por exemplo, o óleo de milho é muito conhecido e apreciado em culinária), vitaminas (sabe-se, por exemplo, que a remoção da parte periférica do grão de arroz durante o seu beneficiamento priva-o da vitamina B1) e sais minerais. A carne é muito rica em proteínas, mas contém ainda lipídeos (gordura), em maior ou menor proporção, dependendo do animal e do tipo de carne considerado. Por exemplo, o porco tem, em geral, carne muito gordurosa, enquanto o peixe é muito pobre em gorduras. O cupim é uma carne bovina muito rica em gordura, enquanto o "filet mignon" tem relativamente pouco lipídeo. A carne apresenta

também carboidratos (glicogênio) e é fonte de elementos reguladores importantes, como o ferro. Há alguns alimentos que contém quase que exclusivamente uma dessas substâncias. O açúcar refinado é um caso extremo, formado exclusivamente por carboidratos (sacarose). A manteiga e o toucinho aproximam-se dessa condição, sendo constituídos basicamente por lipídeos.

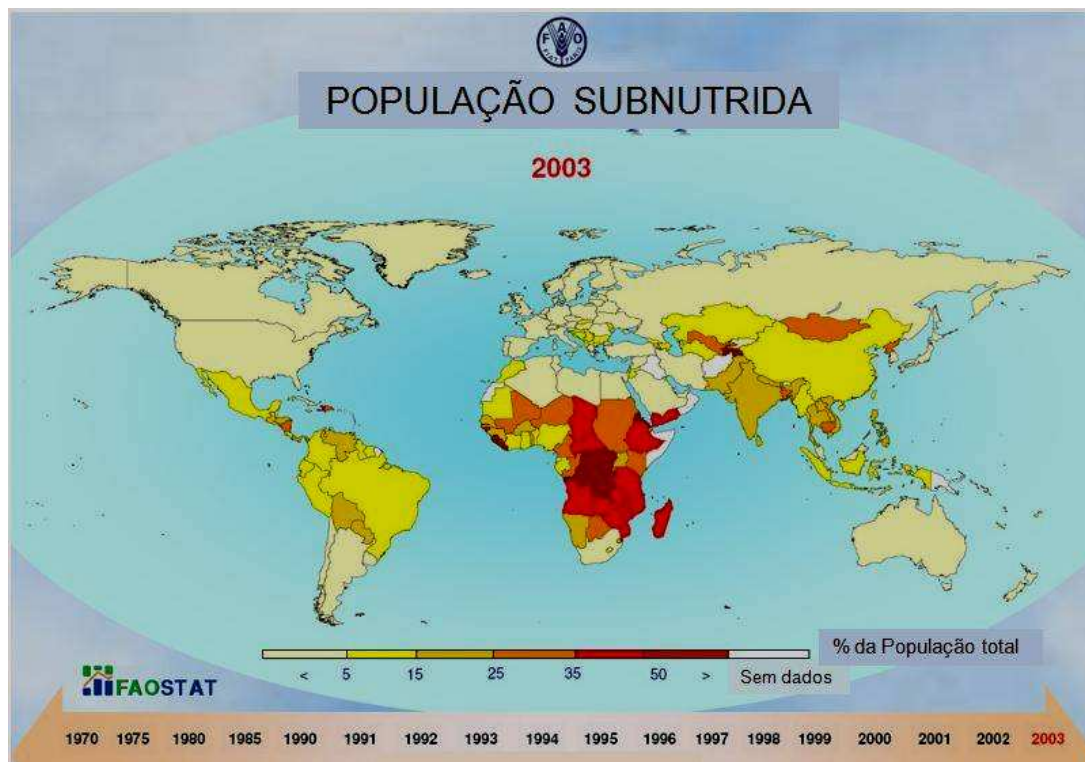


Figura 1. Porcentagem da população em condições de subnutrição (2003). Observem que esse fato é muito mais grave em países localizados em regiões tropicais. Fonte: FAO - <http://faostat.fao.org>.

A necessidade diária de energia de uma pessoa adulta é estimada por volta de 2.400 Kcal, podendo ser satisfeita indiretamente por fontes glicídicas (carboidratos), lipídicas ou protéicas. Dessa forma, existe uma grande variedade de alimentos que podem suprir essas **necessidades energéticas**, sendo os lipídeos os mais eficientes. Durante o metabolismo, 1 g de pura proteína ou de carboidrato pode render 4 calorias, enquanto 1 g de lipídeo fornece 9 calorias para o corpo.

Com relação às substâncias reguladoras e às matérias-primas para a reprodução celular, a questão é mais complexa. Por exemplo, a vitamina B12 só é fornecida por alimentos de origem animal. Da mesma forma, existem alguns ácidos graxos considerados essenciais que só podem ser obtidos por meio de glicerídeos de origem vegetal. De forma geral, os alimentos de origem animal fornecem relativamente mais proteínas que os vegetais. A carne de peixe é ideal nesse particular por apresentar pouca gordura. Entre os alimentos de origem vegetal, as leguminosas são as fontes mais ricas em proteínas. Algumas fontes tradicionais de carboidratos (cereais e tubérculos) apresentam quantidades menores de proteínas. Outro fator importante corresponde às necessidades mínimas de proteína em relação às calorias que devem ser ingeridas diariamente. Uma criança, em geral, necessita de 4 g de proteína para cada 100 calorias, enquanto que para um adulto essa necessidade cai para 2,5 g/100 cal. Com isso, cabe salientar que a



escolha de uma dieta equilibrada é muito mais importante do ponto de vista nutricional (aproveitamento protéico) do que do ponto de vista calórico.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS ALIMENTOS

Carboidratos

A principal função dos carboidratos é prover energia continuamente para o corpo. Para isso, moléculas complexas de carboidratos são quebradas durante a digestão em moléculas simples de seis átomos de carbono que são absorvidas e transportadas pela corrente sanguínea por todo o corpo, sendo metabolizadas rapidamente mediante a respiração celular. Neste processo a energia da molécula orgânica é transferida para a adenosina trifosfato (ATP). Dentro da célula, a **glicose** pode ser usada na produção de glicogênio (glicogênese) ou diretamente como fonte de energia. O corpo usa a energia do ATP para produzir calor, para reparar danos nos seus tecidos, para lutar contra infecções e para a reprodução.

O homem deve ingerir carboidratos continuamente, afim de manter a reserva de glicogênio. Quando a ingestão de glicose é inadequada, a reserva de glicogênio do corpo é utilizada para o suprimento de energia. Em condições de baixos teores de carboidratos, as proteínas do corpo podem ser metabolizadas para suprir a energia necessária aos processos metabólicos. Além disso, os carboidratos exercem papel importante no metabolismo dos lipídeos e são essenciais para o bom funcionamento do sistema nervoso central.

Além da ingestão direta de açúcares, o **amido** é uma das principais formas de ingestão de carboidratos. Os cereais representam os recursos mais extensamente explorados, principalmente o trigo, o arroz e o milho. A sua principal contribuição dietética se relaciona ao fornecimento de energia, devido ao alto conteúdo de amido. Outras fontes amiláceas, todas elas inferiores aos cereais por conterem menos proteínas, são em geral plantas que apresentam órgão subterrâneo espessado, sob a forma de raízes (mandioca, batata-doce), tubérculos (batata, inhame) e bulbos (taioba).

Proteínas

Estas substâncias são moléculas grandes e complexas compostas de repetidas subunidades denominadas aminoácidos, que desempenham diversos papéis importantes no corpo humano. Quando as proteínas dos alimentos de origem vegetal e animal são digeridas, os aminoácidos podem ser absorvidos em diferentes escalas pelo corpo e serem utilizados na síntese de novas proteínas pelo homem. Além disso, as proteínas podem ser metabolizadas na respiração celular para produção de energia.

Existem cerca de **20 aminoácidos** diferentes que participam da formação das moléculas protéicas. Desses, oito não podem ser sintetizados no corpo humano em quantidades suficientes para o bom funcionamento celular. Por isso, são chamados **essenciais**, pois devem ser obtidos por meio da alimentação. São eles fenilalanina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, triptofano e valina.

Proteínas que contêm os aminoácidos essenciais podem ser encontradas em fontes alimentares de origem animal e vegetal. As proteínas contidas nos alimentos são classificadas como completas ou incompletas, dependendo do conteúdo de seus aminoácidos. Uma proteína completa (proteína de alta qualidade) não só contém todos os aminoácidos essenciais, como os apresenta nas quantidades ideais para a manutenção do balanço de nitrogênio e promoção do crescimento normal do indivíduo. Em uma proteína incompleta (proteína de baixa qualidade) faltam um ou mais aminoácidos essenciais.



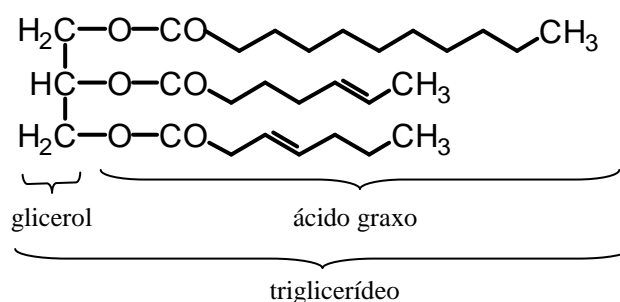
A existência dos aminoácidos essenciais torna mais complexa a questão das necessidades mínimas de proteína para o ser humano, pois, o problema passa a ser não só de ordem quantitativa, mas qualitativa. O valor biológico de um alimento reflete o quanto ele pode suprir as necessidades do organismo pelos aminoácidos essenciais. De maneira geral, proteínas de alta qualidade são mais comuns em fontes alimentares de origem animal, enquanto aquelas de origem vegetal são incompletas em termos de um ou outro aminoácido essencial e por isso apresentam valor biológico inferior.

A composição dos aminoácidos presente nas proteínas do ovo de galinha tem sido considerada a melhor entre as fontes comuns de alimento. O valor limitante para o pleno aproveitamento das proteínas contidas em um alimento é a proporção do aminoácido que apresenta o menor índice, em comparação com o valor deste mesmo aminoácido da proteína padrão (**ovo de galinha**). Nos cereais, o aminoácido em menor proporção é a lisina. Nesses casos, a quantidade desse elemento é limitante para o aproveitamento protéico deste alimento. Já para as sementes de leguminosas o fator limitante é a concentração de metionina. Todos os aminoácidos essenciais podem ser obtidos por meio de vegetais. A necessidade nutricional de um indivíduo pode ser suprida por uma dieta suficientemente variada de grãos, frutas e outros vegetais. Dessa forma, a combinação milenar que o homem vem fazendo na sua alimentação entre um **cereal** e uma **leguminosa**, arroz e feijão, milho e lentilha, milho e feijão, grão de bico ou ervilha, provem uma complementação nutricional adequada em termos de aminoácidos essenciais.

Lipídeos

Os lipídeos constituem um diverso grupo de substâncias orgânicas que incluem as **gorduras** e os **óleos**. São metabolizados durante a respiração celular provendo o corpo com altos níveis energéticos. Além disso, os lipídeos, assim como as proteínas, desempenham importantes papéis no organismo como: 1) hormônios (mensageiros químicos que regulam diversas funções no corpo humano) e 2) componentes essenciais das membranas celulares. Os óleos podem também contribuir na dieta humana como solventes de algumas vitaminas (A, D, e E) que são lipossolúveis e, dessa forma, são absorvidas pelo corpo somente quando estão dissolvidas nos óleos ou gorduras.

Nas plantas, os óleos fixos são encontrados principalmente nas sementes, com a função principal de reserva energética para o embrião durante a germinação. Dentro da semente os óleos podem estar armazenados no endosperma (por exemplo, mamona e coco), nos cotilédones (por exemplo, amendoim, soja e algodão) ou no escutelo, o único cotilédone modificado encontrado nos cereais (por exemplo, milho). Quimicamente são, na maioria, misturas de **triglicerídeos**, ou seja, são formados por três moléculas de ácidos graxos que esterificam uma molécula de glicerol:





Os **ácidos graxos** são substâncias altamente energéticas, pois possuem relativamente poucos átomos de oxigênio na molécula. Dentre as reservas energéticas encontradas em sementes (amido, proteínas e óleos), os triglicerídeos são os mais eficientes em termos de potencial energético. Da energia total produzida pelos lipídeos, 95% provêm dos ácidos graxos formadores dos **trigliceróis**, sendo o restante provido por meio das moléculas de **glicerol**.

Assim como os aminoácidos formadores das proteínas, existem alguns ácidos graxos ditos como essenciais. Eles são necessários para uma boa nutrição e não podem ser sintetizados pelo organismo a partir de moléculas precursoras. Aos ácidos graxos essenciais podem ser atribuídas algumas funções como: 1) precursores de eicosanóides (prostaglandinas e leucotrienos) que são potentes mediadores nos processos antiinflamatórios, 2) parte importante na modulação do sistema imunológico, 3) componentes celulares nas membranas lipoprotéicas e de fosfolipídeos e 4) podem atuar como co-fatores enzimáticos. Um exemplo é o ácido linolênico (C18:3), cuja ausência pode acarretar eczema em crianças.

Os ácidos graxos fazem parte dos óleos ou gorduras, podendo ser de dois grupos: ácidos graxos insaturados e ácidos graxos saturados, representando a ocorrência ou não de ligações olefinicas nas moléculas. Os ácidos graxos comumente encontrados nos óleos vegetais são:

Ácidos graxos saturados	Ácidos graxos insaturados
C4:0 – ácido butírico	C16:1 – ácido palmitoléico
C6:0 – ácido capríco	C18:1 – ácido oléico
C8:0 – ácido caprílico	C18:2 – ácido linoléico
C10:0 – ácido cáprico	C18:3 – ácido linolênico
C12:0 – ácido láurico	
C14:0 – ácido mirístico	
C16:0 – ácido palmítico	
C18:0 – ácido esteárico	
C20:0 – ácido araquídico	
C22:0 – ácido lignocérico	

O número antes do sinal de “:” representa a quantidade de átomos de carbono da molécula. O número após o sinal de “:” indica o número de insaturações (ligações olefinicas).

A presença de insaturações representa uma importante característica química e nutricional dessas substâncias. As propriedades físicas e químicas dos óleos estão relacionadas à sua composição em termos da natureza e proporção de seus ácidos graxos constituintes.

Os **óleos vegetais** apresentam aplicações econômicas diversas, como solventes de tintas e vernizes, e como matéria-prima para a produção de sabões e xampus (como os óleos de coco e de babaçu). Entretanto, o consumo desses óleos na alimentação é enorme, tanto direta como indiretamente. Os mais utilizados são o óleo de soja, de milho, de girassol e de oliva. Alguns desses óleos podem ser usados na indústria para produção de margarina. Para isso, o óleo vegetal deve sofrer um processo chamado de hidrogenação catalítica, no qual o óleo é bombardeado com hidrogênio gasoso sob pressão na presença de um catalizador.

Muitos especialistas acreditam que grandes quantidades de ácidos graxos e colesterol na dieta são prejudiciais à saúde. Os ácidos graxos no organismo convertem-se, em grande parte, em **colesterol**. Este



se deposita, juntamente com outros lipídeos, na parede interna das artérias. Ocorre então proliferação de tecido conjuntivo e lesões degenerativas da parede, com o seu conseqüente enrijecimento. Esse quadro é conhecido como arteriosclerose. Se ele ocorrer em artérias coronárias, os riscos de um êmbolo obstruir o vaso na região espessada e provocar um infarto são muito grandes. Por essa razão, há uma corrente que recomenda evitar a ingestão de glicérides com altas proporções de ácidos graxos saturados, como as gorduras animais; aconselha-se a substituição dessas gorduras por lipídeos de origem vegetal, que são predominantemente insaturados.

Por outro lado, outros especialistas começam a temer a presença de lipídeos insaturados na dieta, por considerarem que eles sejam perigosos devido à facilidade com que são peroxidados. Os peróxidos colaboram para a formação de tumores malignos e, dessa forma, os ácidos graxos poliinsaturados poderiam ser uma causa do surgimento de câncer. Entretanto, os ácidos graxos insaturados presentes dentro das células não sofrem auto-oxidação devido à ação inibitória da vitamina E, de várias enzimas e possivelmente do ácido ascórbico. No caso de algumas doenças, este processo de auto-oxidação pode ocorrer, levando à formação de depósitos anormais de lipídeos em certos tecidos.

Atualmente, muito se tem falado sobre as **gorduras trans**. Esse termo está relacionado à estrutura química dos ácidos graxos que compõem essas gorduras e/ou óleos. Esses ácidos graxos trans podem ser encontrados em pequenas quantidades em alimentos de origem animal como carne, leite e derivados. No entanto, a maior parte desses ácidos graxos é produzida no processo industrial de hidrogenação (reação do óleo com hidrogênio) de óleos vegetais. Nesse processo, os óleos tornam-se mais consistentes, passando de líquidos a pastosos ou sólidos. O aquecimento dos óleos vegetais também é responsável pelo aparecimento desses ácidos graxos trans. As principais fontes desses ácidos graxos são alimentos industrializados como biscoitos, batatas fritas, bolos, pães, congelados, "fast food", entre outros. Estudos recentes têm sugerido problemas de saúde relacionados ao consumo excessivo de ácidos graxos trans como maior incidência de câncer de mamas e aumento nos teores de colesterol sanguíneo, principalmente o LDL, aumentando os riscos de acidentes cardíacos.

Vitaminas

Vitaminas são substâncias orgânicas presentes em quantidades diminutas nos alimentos, que auxiliam na regulação do metabolismo e no funcionamento normal do corpo humano. Estas substâncias são distintamente sensíveis quanto a exposição ao calor, a luz, ao oxigênio e ao pH do meio onde são estocadas. A maioria das vitaminas é sintetizada pela plantas. O homem e os outros animais devem obtê-las a partir das suas fontes alimentares. Nas últimas duas décadas, cuidados com o transporte, processamento, armazenamento e preparo dos alimentos antes do consumo têm sido extensivamente investigados para garantir o bom aproveitamento dessas substâncias.

Admite-se que o homem necessite de pelo menos 13 vitaminas, sendo a maioria assimilada de produtos de origem vegetal e animal. Com exceção da vitamina B12, todas as vitaminas necessárias na alimentação humana já foram detectadas em plantas. Os microrganismos são os maiores produtores de vitamina B12 na natureza. Os ruminantes suprem suas necessidades desta vitamina absorvendo-a dos microrganismos simbiotes nos seus estômagos. O homem obtém a maior parte da vitamina B12 através de alimentos de origem animal.



Diversos fatores, tais como disponibilidade do alimento, condição econômica, preferências pessoais e hábitos alimentares podem influenciar de maneira drástica a captação de vitaminas a partir de diferentes alimentos em diferentes povos.

As vitaminas podem apresentar outras funções que não aquelas classicamente atribuídas a elas. Por exemplo, atualmente se sabe que as vitaminas C (ácido ascórbico), E (tocoferol) e A (beta-caroteno) podem ter atividade como redutores dos riscos de algumas formas de câncer e problemas cardiovasculares, devido às suas propriedades como **antioxidantes**.

A quantidade de vitamina nas plantas pode variar entre os órgãos vegetais e também dentro do mesmo órgão, dependendo da porção analisada e da sua posição relativa na planta. As folhas contêm de 2 a 6 vezes mais ácido ascórbico que o caule. No caso da batata (*Solanum tuberosum*, Solanaceae), a quantidade de vitamina C (mg/100 g vegetal) nos tecidos foliares e nos tubérculos é de 109 e 39, respectivamente, sendo a concentração foliar 2,8 vezes maior. Tecidos vegetais mais periféricos normalmente apresentam maiores concentrações de vitaminas, não somente em vegetais folhosos como alface ou couve, mas também em frutos e vegetais não folhosos (legumes). Por exemplo, a casca da abóbora contém concentrações mais altas de ácido ascórbico, riboflavina, niacina, ácido pantotênico, biotina e tocoferol em relação à polpa do fruto. No caso da laranja (*Citrus* spp., Rutaceae) cerca de $\frac{3}{4}$ do teor de ácido ascórbico desse fruto está na casca.

O conhecimento sobre a composição e a maior concentração de vitaminas nas diferentes partes das plantas pode ser, muitas vezes, de interesse puramente acadêmico. No entanto, este conhecimento foge de interpretações somente teóricas quando se busca fornecer informações de incremento do valor nutricional de dietas de populações mal nutridas. A utilização das folhas e cascas de alguns alimentos muitas vezes é evitada por falta de conhecimento sobre seu valor nutricional. Mudanças nesses hábitos podem evitar grandes desperdícios nutricionais.

Minerais

Os minerais são elementos inorgânicos, como o ferro e o cálcio, essenciais para a manutenção do funcionamento normal do corpo humano. O suprimento mineral em uma dieta deve ser considerado importante, visto esses elementos serem necessários em diversos processos metabólicos no corpo humano. Ainda que eles apareçam na dieta, nem sempre estão em quantidades suficientes. Cuidados especiais devem ser tomados nas fases de crescimento, períodos de estresse e doenças traumáticas.

No corpo, os minerais são classificados como minerais **majoritários** (aqueles que são necessários em quantidades maiores que 100 mg por dia) e minerais **traços** (necessários em quantidades menores que 100 mg por dia). Minerais em excesso não são utilizados pelo corpo podendo tornar-se tóxicos.

Os minerais são encontrados livremente na natureza, estando presentes nos sistemas radiculares das plantas e no corpo dos animais que as consomem. As melhores fontes minerais são produtos de origem animal devido à maior concentração destes elementos em seus tecidos.

Os minerais apresentam três papéis principais no organismo: 1) participam da formação dos ossos e dos dentes, 2) estão intimamente envolvidos na manutenção do ritmo cardíaco, na contração muscular, na condução nervosa e no balanço ácido-base dos fluidos corpóreos e 3) desempenham um papel regulatório



no metabolismo celular, por serem constituintes importantes de enzimas e hormônios que modificam e regulam a atividade celular.

Fibras dietéticas

As fibras dietéticas dos vegetais podem ser consideradas como a parte resistente à hidrólise enzimática no intestino, por isso indisponível como fonte de energia, porém podem ser fermentadas por algumas bactérias. Apesar de não serem consideradas nutrientes, as fibras dietéticas têm um importante papel na dieta humana. A mastigação dessas fibras estimula a salivação e ajuda na absorção de nutrientes, devido ao maior tempo de permanência no estômago e nos intestinos. Estas fibras atuam aumentando o bolo fecal e no amolecimento das fezes, promovendo a regularidade intestinal evitando a constipação e outros problemas como a diverticulite.

As substâncias classificadas como fibras dietéticas são, em sua maior parte, **polissacarídeos não amiláceos**. São substâncias de alto peso molecular, encontrados nos vegetais, tais como grãos e cereais (arroz, soja, trigo, aveia), em verduras (alface, brócolis, repolho), raízes (cenoura, rabanete) e outras hortaliças (chuchu, pepino, vagem).

As fibras podem ser classificadas de acordo com o papel que desempenham nos vegetais (polissacarídeos estruturais e não estruturais) e também quanto a sua solubilidade e possibilidade de fermentação por microrganismos (fibras solúveis e insolúveis).

A celulose, algumas hemiceluloses e a lignina são insolúveis, permanecendo intactas em todo o trato gastrointestinal. Essas fibras atuam no aumento do bolo fecal, no estímulo da motilidade intestinal, aumentam a necessidade de mastigação e estimulam a excreção de sais biliares. Pectinas e hemiceluloses são hidrossolúveis, tendendo a formar géis em contato com a água. Uma característica importante dessas fibras é a capacidade de metabolização por bactérias presentes na flora intestinal. As fibras solúveis diminuem a absorção de ácidos biliares, apresentam atividade hipocolesterolêmica, parecem diminuir os níveis de triglicérides e de colesterol sanguíneo.

As principais fontes de fibras dietéticas (fibras alimentares) são frutos frescos, hortaliças, legumes, produtos feitos com cereais integrais e castanhas. É recomendada a ingestão diária de 20 - 60 g de fibras para a manutenção das funções fisiológicas saudáveis. Entretanto, dietas com excesso de fibras podem prejudicar a absorção de alguns nutrientes durante a digestão.

Nutrientes não-tradicionais

Além do que já foi mencionado, um aspecto que tem sido amplamente valorizado na alimentação se refere ao consumo de alimentos considerando-se, especialmente, evidências de efeitos benéficos para a saúde e bem estar. As substâncias presentes nesses alimentos são os **fitonutrientes**, ou seja, nutrientes presentes em alimentos vegetais, mas que não são classificados como nutrientes tradicionais (carboidratos, proteínas, lipídeos, vitaminas e sais minerais).

Os alimentos portadores desses fitonutrientes têm sido classificados como alimentos funcionais e/ou nutracêuticos. Esses dois termos, em muitos casos, têm sido tratados como sinônimos. A definição desses termos não é consensual, assim como a legislação regulamentadora de seus usos. No Brasil, o Ministério da Saúde, por meio da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) regula os alimentos funcionais.



Um alimento pode ser considerado funcional se for demonstrado que ele pode afetar benéficamente uma ou mais funções no corpo. Os **alimentos funcionais** podem apresentar as seguintes características: a) serem alimentos convencionais e serem consumidos na dieta usual, b) terem efeitos positivos além do valor nutritivo básico, que podem aumentar o bem-estar e a saúde e/ou reduzir o risco de ocorrência de doenças, c) apresentarem embasamento científico na sua designação como alimento funcional e d) serem um alimento natural ou um alimento no qual um ou mais componentes tenham sido reduzidos ou alterados. Já os **nutracêuticos** são alimentos (ou parte destes) que proporcionam benefícios médicos e de saúde, incluindo prevenção e/ou tratamento de doenças. Esses produtos incluem desde os nutrientes isolados, suplementos dietéticos na forma de cápsulas, até produtos processados tais como cereais, sopas e bebidas.

Os alimentos funcionais e os nutracêuticos podem ser agrupados em diferentes categorias:

- a) Probióticos e prebióticos: os probióticos são microrganismos vivos que podem ser agregados como suplementos na dieta (exemplos: *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*). Os prebióticos são oligossacarídeos não digeríveis, porém que podem ser fermentados, que atuam modificando a atividade e a composição da flora intestinal (por exemplo, algumas fibras dietéticas);
- b) Alimentos sulfurados e nitrogenados: são substâncias orgânicas usadas na proteção contra a carcinogênese e mutagênese, sendo ativadores de enzimas na desintoxicação do fígado (por exemplo, glucosinolatos e isotiocianatos presentes em plantas pertencentes à família das brassicáceas, como brócolis, repolho e couve);
- c) Substâncias antioxidantes: os sistemas biológicos estão sujeitos a processos oxidantes devidos à ação de radicais livres (moléculas geradas por fontes endógenas ou exógenas que possuem um elétron isolado, livre para se ligar a qualquer outro elétron, sendo, portanto, altamente reativas). Os antioxidantes podem agir diretamente na neutralização da ação dos radicais livres ou participar indiretamente dos sistemas enzimáticos que atuam nessa neutralização (por exemplos vitamina C, glutathione, ácido úrico, vitamina E, carotenóides). Os carotenóides são bastante comuns em alimentos de coloração amarela, laranja ou vermelha como tomate, abóbora, pimentão e laranja;
- d) Substâncias fenólicas: vários fenóis, dentre eles os flavonóides, têm sido indicados como substâncias de alto valor antioxidante. A dieta mediterrânea rica em frutas frescas e vegetais é associada à baixa incidência de doenças cardiovasculares e câncer, principalmente devido à elevada proporção de compostos bioativos como vitaminas, flavonóides e polifenóis. O conhecido paradoxo francês que compatibiliza uma dieta rica em gorduras com baixa incidência de problemas cardiovasculares, é justificado pela presença de substâncias fenólicas no vinho tinto (ingerido habitualmente de forma moderada) que apresentam propriedades antioxidantes, inibindo a oxidação do LDL e evitando o acúmulo de lipídeos nas artérias;
- e) Ácidos graxos poliinsaturados: os ácidos graxos das séries Omega-3 e Omega-6 são bastante comuns em peixes de água fria (salmão, atum, sardinha, bacalhau), em óleos vegetais, sementes de linhaça, nozes e alguns outros tipos de vegetais. Como já comentado acima, esses ácidos são importantes precursores de prostaglandinas, leucotrienos e tromboxanos com atividade antiinflamatória, anticoagulante, vasodilatadora e antiagregante;



f) Fibras: a definição e a importância da ingestão de fibras já foram mencionadas anteriormente.

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

ANGELIS, R.C. 2001. Importância de Alimentos Funcionais na Proteção da Saúde – Fisiologia da Nutrição Protetora e Preventiva. Editora Atheneu, São Paulo, 295p.

LEWINGTON, A. 2003. Plants for People. Transworld Publishers, Londres, 304p.

MORAES, F.P. & COLLA, L.M. 2006. Alimentos funcionais e nutracêuticos: definições, legislação e benefícios à saúde. Revista eletrônica de Farmácia 3 (2): 109-122.

SIMPSON, B.B. & OGORZALY, M.C. 2001. Economic Botany: Plants in our World. 3ª edição. McGraw-Hill, Nova Iorque, 529p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org>



13. PECTINA, GOMAS E GELÉIA

Aline A. Cavalari (alinecavalari@gmail.com)

Anary P. M. Egydio (anary_egydio@hotmail.com)

Lígia Maria Ayres (ligiaayres@usp.br)

Marcos Buckeridge (msbuck@usp.br)

Pectina, gomas e geléias, o que são? De onde vêm? Para que servem? Estas perguntas são freqüentes quando falamos em pectina ou qualquer outra substância proveniente das plantas. Mas para começarmos a responder sobre esses componentes, temos que entender um pouco sobre o que é a parede celular vegetal.

As plantas possuem estruturas que podem ser consideradas análogas aos ossos de animais. Nos tecidos vegetais, cada célula é envolvida por uma estrutura chamada **parede celular** (Figura 1A, 1B). Localizada externamente à membrana celular (ou membrana plasmática, ou plasmalema), a parede celular é constituída por agregados de polímeros de açúcares (os polissacarídeos), basicamente celulose, hemicelulose e pectina, além de proteínas e outros componentes estruturais. Esses polímeros interagem entre si formando uma estrutura que ao mesmo tempo que é rígida, resistindo a forças de tensão e coesão nas células, também é flexível, permitindo ajustes e adaptações de forma conforme às necessidades do crescimento e movimento dos vegetais. Foi o surgimento da parede celular, entre outros fatores, que possibilitou que os vegetais atingissem grandes alturas, como a palmeira-real (*Roystonea* spp., *Arecaceae*), que na Amazônia chega a atingir 40 metros de altura.

Os arranjos entre os polímeros formam o que são chamados de **domínios** da parede celular. Chamamos de domínio de celulose-hemicelulose o conjunto entre as microfibrilas de celulose, com seus feixes de moléculas longas de celulose que interagem fortemente entre si, recobertas pelas hemiceluloses (como se fosse a capa de um fio elétrico). As pectinas, por sua vez, formam outro domínio, constituído por um gel que contém cálcio e magnésio (como nas geléias). Essa massa gelatinosa ocupa os espaços entre os componentes do domínio celulose-hemicelulose e controla o trânsito de substâncias entre as células do vegetal. Outro domínio é o das proteínas, as quais interagem com os dois domínios já citados (Figura 1). Para melhor compreendermos os domínios da parede celular vegetal podemos fazer uma analogia com o concreto utilizado na construção civil: as barras de ferro do concreto representariam o domínio celulose-hemicelulose, enquanto a areia com cal e água, que vêm preenchendo os espaços entre as barras de ferro da construção, representariam o domínio das pectinas.

Pectinas

As pectinas são componentes que constituem os géis, redes frouxas que incluem vários tipos diferentes de polissacarídeos altamente hidratados, nos quais está imersa a rede de celulose-hemicelulose. Elas atuam como preenchimento, impedindo a agregação e o colapso da rede de celulose, além de estabelecerem a porosidade da parede celular para as macromoléculas.

As pectinas são os mais solúveis dentre os açúcares formadores da parede celular, podendo ser extraídas com água quente. Por propiciar consistência gelatinosa, são utilizadas no preparo de **geléias** e

compotas. Ainda na indústria alimentícia, também são utilizadas como agente espessante, por exemplo, na fabricação de sorvetes.

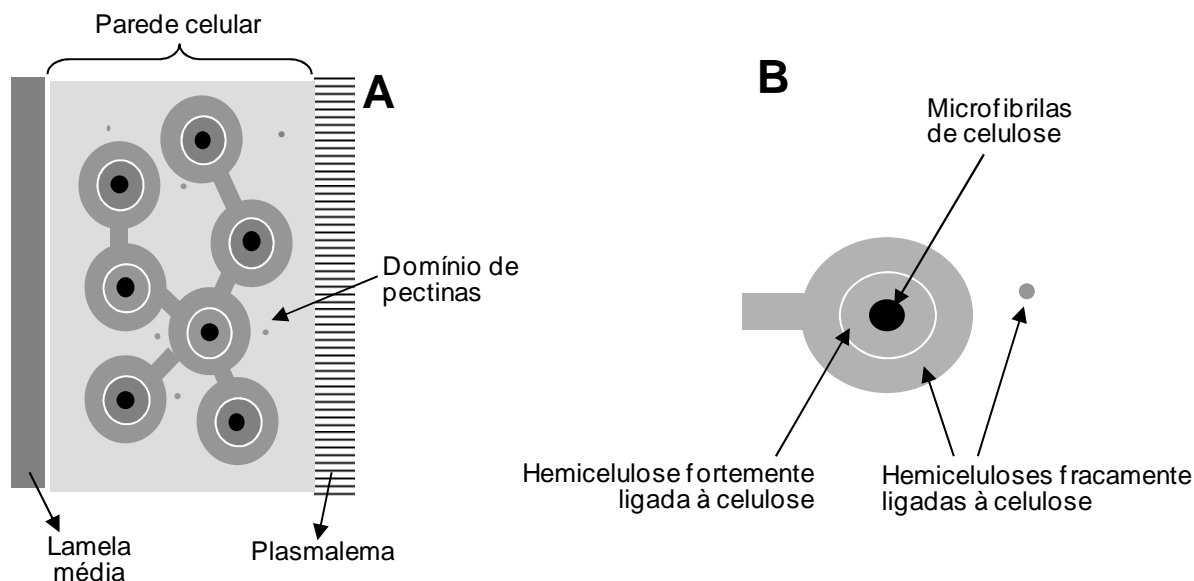


Figura 1. Representação esquemática interna da parede celular: (A) em vista longitudinal e (B) representação das pectinas, hemiceluloses e celulose.

Gomas

São polímeros de carboidratos que, quando hidratados, apresentam aparência mucilaginosa e transparente. São obtidas das sementes ou a partir do exsudado (seiva), tanto dos caules, raízes, frutos ou outros órgãos de certos vegetais. Essa exsudação é formada quando o tecido vegetal é danificado e tem como finalidade recobrir o ferimento minimizando o ataque de microrganismos. Quimicamente, são caracterizadas por apresentarem açúcares neutros e açúcares ácidos (ácidos urônicos) da família das pectinas. Por essa razão as gomas são conhecidas industrialmente como um tipo de pectina.

As gomas são utilizadas para diversos fins, tais como adesivos, produtos para engomar tecido e papel, liga para doces, para tintas, etc. Um dos exemplos mais famosos de gomas usadas industrialmente é a Goma Arábica, um produto exsudado pelo tronco das árvores do gênero *Acacia* (Leguminosae), sendo a *Acacia senegal* sua principal fonte.

Geléias

A geléia pode ser definida como uma conserva espessa e geralmente doce, que contém pedaços de uma única ou várias frutas. Para se obter uma geléia caseira são necessários os seguintes ingredientes: frutas, pectina, ácido (por exemplo, suco de limão) e açúcar. A consistência da geléia só é atingida se a concentração de açúcar (sacarose) atingir entre 2 a 5% da mistura (dependendo da origem da pectina e sua estrutura). Em muitos casos, o próprio açúcar da fruta (sacarose, glicose e frutose) já é suficiente para formar a geléia, adicionando-se sacarose somente quando necessário.

A fruta dará o sabor à geléia e pode alterar a consistência, a aparência ou até mesmo a formação da geléia se não for escolhida com atenção. É importante utilizar frutas perfeitas (nem muito verdes nem maduras demais), limpas e preparadas em uma só vez (sem deixar descansar depois de cortado). Para essa função de sabor, também podem ser utilizados sucos industrializados.



Algumas frutas não possuem pectina em quantidade suficiente para produção de geléias. Nesses casos é preciso adicionar pectina caseira (para cada xícara de suco de fruta, acrescentar 1/2 xícara de pectina) ou industrial (para cada xícara de suco de frutas, acrescentar 1 colher de café). É chamada de pectina caseira aquela encontrada nas cascas, polpa e sementes de maçã ácida.

Para melhorar o sabor final e ajudar na formação do gel é necessária a utilização de um ácido, pois intensifica as propriedades gelificantes da pectina. Exemplos de frutas ácidas são maçã, laranja, pitanga, limão, abacaxi, jabuticaba, entre outras. Já a pêra, o morango, o pêssego, a banana e o caju são frutas com baixa acidez, sendo necessário adicionar suco de limão para confecção de geléias. Geralmente, adicionam-se duas colheres de sopa de suco de limão para cada quilo de fruta a ser utilizada

Outro fator importante para a formação de geléias é a presença de cálcio. Quando em meio ácido, os polímeros de pectinas se prendem ao cálcio formando um gel. Normalmente, a quantidade de cálcio presente naturalmente no fruto já é suficiente para a confecção da geléia, sem que haja necessidade de adicionar bicarbonato.

Como último ingrediente, o açúcar contribui no sabor da geléia e também ajuda para dar a consistência gelatinosa. Pode-se utilizar açúcar refinado ou cristal ou ainda, se quiser, açúcar mascavo ou mel.

TESTE DE CONCENTRAÇÃO DE PECTINAS

LISTA DE MATERIAL NECESSÁRIO

- Álcool
- Copo
- Colher de sopa
- Suco de goiaba e abacaxi

PROCEDIMENTOS

1. Num copo, coloque uma colher de sopa de álcool;
2. Adicione uma colher de sopa de suco de fruta;
3. Observe se aparece uma formação gelatinosa;
4. Se a mistura ficar muito densa, adicione algumas colheres de água para melhor observar a formação gelatinosa.

Frutas ricas em pectina:	Frutas pobres em pectina:
maçã, ameixa, goiaba, marmelo, limão, laranja, uvas pretas, damasco, tangerina, pêssego, jabuticaba, pêra.	morango, figo, abacaxi.

PREPARANDO GELÉIAS A PARTIR DE PECTINAS NATURAIS

LISTA DE MATERIAL NECESSÁRIO

- Água
- Panela ou béquer de 1 L
- Açúcar
- Peneira
- Açúcar cristal
- Pires
- Chapa aquecedora ou fogão
- Potes de vidro
- Colher de pau ou bastão de vidro
- Suco de limão
- Faca para cortar frutas
- Tabua para cortar carne
- Frutas a gosto
- Vinagre



PROCEDIMENTOS

1. Lave e corte as frutas firmes (marmelo, maçã, pêra);
2. Lave e esmague as frutas mais tenras (morangos, uva, amora);
3. Adicione água o suficiente para cobrir as frutas;
4. Cozinhe até que fiquem tenras (frutas tenras: 2 a 3 minutos; frutas firmes: 15 a 20 minutos; laranja: 30 a 60 minutos);
5. Coe as frutas espremendo;
6. Adicione o açúcar ao suco obtido e ferva até o ponto de geléia (o açúcar varia de metade a um e meio do caldo das frutas; quanto mais pectina e ácida for a fruta, mais açúcar deve ser adicionado);
7. Mexa bem até que o açúcar se dissolva completamente;
8. Retire a espuma que se forma em algumas das geléias;
9. Para determinar o ponto da geléia:
 - A. Teste da colher de pau: Inicialmente, a geléia é rala e escorre, mas com o tempo fica mais espessa e começa a cair em gotas. Quando a geléia estiver no ponto, ela cairá em placas.
 - B. Teste do pires: Coloque uma colher de sobremesa da geléia num pires e deixar esfriar. A geléia estará no ponto se depois de fria estiver compacta e enrugar ao inclinar o pires ou empurrar com o dedo.
10. Ainda quente, coloque a geléia em vidros limpos e esterilizados.

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

- ALBERTS, B.; BRAY, D. & LEWIS, J. 1999. *Biologia Molecular da Célula*. 3ª edição. Artmed, São Paulo, 1550p.
- BUCKERIDGE, M.S.; TINÉ, M.A.; SANTOS, H.P. & LIMA, D.U. 2000. Polissacarídeos de reserva de parede celular em sementes, estrutura, metabolismo, funções e aspectos ecológicos. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 12:137-162.
- LEHNINGER, A.; NELSON, K.Y. & COX, M.M. 2000. *Princípios de Bioquímica*. 3ª edição. Sarvier. São Paulo, 975p.
- SIMPSON, B.B. & OGORZALY, M. C. 2001. *Economic Botany: Plants in Our World*. 3ª edição. McGraw-Hill, Inc. Nova Iorque, 529p.
- The multilingual food information site - <http://food-info.net>
- TV TEM⁺ - <http://tvtem.globo.com/culinaria>



14. BIOCMBUSTÍVEIS

Antonio Salatino (asalatin@ib.usp.br)

O domínio de fontes energéticas tem sido um fator decisivo na evolução tecnológica das sociedades humanas. O processo teve início com a domesticação do fogo, provavelmente por volta de 400.000 a.C., nas cavernas do homem de Pequim. A partir de 1870, época que coincide com a expansão da atividade industrial, ocorreu uma elevação substancial no consumo energético, com uma taxa de incremento que aumentou significativamente a partir do início do século XX. Após a II Grande Guerra, houve enorme incremento das populações urbanas, devido principalmente à expansão dos parques industriais. Com isso, cresceu sobremaneira o uso dos automóveis. Em 1900, queimava-se diariamente o equivalente à energia liberada pela queima de oito milhões de barris de petróleo. Em 1945, o consumo foi de cerca de 35 milhões de barris e em 1985, mais de 150 milhões.

PROBLEMAS ATUAIS NO USO DOS RECURSOS ENERGÉTICOS

A maior parte da energia consumida mundialmente provém de fontes não-renováveis: petróleo, carvão e gás natural. No Brasil, as hidroelétricas são as principais geradoras de energia e na França as usinas nucleares têm grande importância para esse fim. A atual dependência mundial de recursos energéticos não-renováveis é um motivo de grande preocupação. Há um consenso de que as atuais jazidas de petróleo e as reservas que vierem a ser descobertas serão incapazes de satisfazer a demanda futura de óleo por mais de um século, caso o ritmo de consumo atual seja mantido.

Diante dessas ameaças de rápido esgotamento da disponibilidade de petróleo, atualmente há uma grande ênfase em pesquisas para o desenvolvimento de tecnologias que minimizem ou retardem os problemas que futuras gerações deverão encontrar, relacionadas à insuficiência de fontes energéticas. Entre os vários objetivos perseguidos, dois são os mais importantes:

- a) maior eficiência na utilização de energia, a fim de se obter substancial redução no consumo total;
- b) substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia (**biocombustíveis**) ou por formas alternativas de geração de energia, como a eólica e a solar, que são praticamente inesgotáveis e limpas, ou seja, não agredem nem poluem o ambiente.

A disponibilidade de **carvão mineral** no mundo é bem maior que a de petróleo. No entanto, o carvão é um combustível bem mais poluente que os derivados de petróleo. No caso do Brasil, as reservas são mínimas, insuficientes para suprir o país com energia termoelétrica (caso fosse feita essa opção para a geração de energia elétrica). Além disso, o nosso carvão é de qualidade inferior, com muito enxofre, o que prejudica a sua utilização para outros fins, como a indústria siderúrgica, um setor importante na nossa economia.

A combustão de carvão e de derivados de petróleo resulta na formação de resíduos gasosos que contaminam a atmosfera, provocando nas cidades a formação do "smog" (combinação dos termos ingleses "smoke" = fumaça, e "fog" = neblina), um problema que se acentua em certas épocas do ano. As queimadas de campos agrícolas e de vegetação natural, além de gerar CO₂ e CO, formam ainda N₂O, NO e NO₂. A produção de arroz de várzea e as atividades agropecuárias levam à formação de metano.

Dentre os gases acima comentados, os mais abundantes na atmosfera são o CO_2 (350 ppm) e o metano (CH_4 , 1,7 ppm). Por serem heteroatômicos, ou seja, terem moléculas com átomos pertencentes a pelo menos dois elementos, esses gases absorvem radiações infravermelho, especialmente as radiações que são refletidas pela superfície terrestre, e aquecem a atmosfera. Apesar de existir na atmosfera em proporção muito menor do que o CO_2 , o metano é pelo menos 20 vezes mais potente. A figura 1 mostra a variação de temperatura global nos últimos 150 anos.

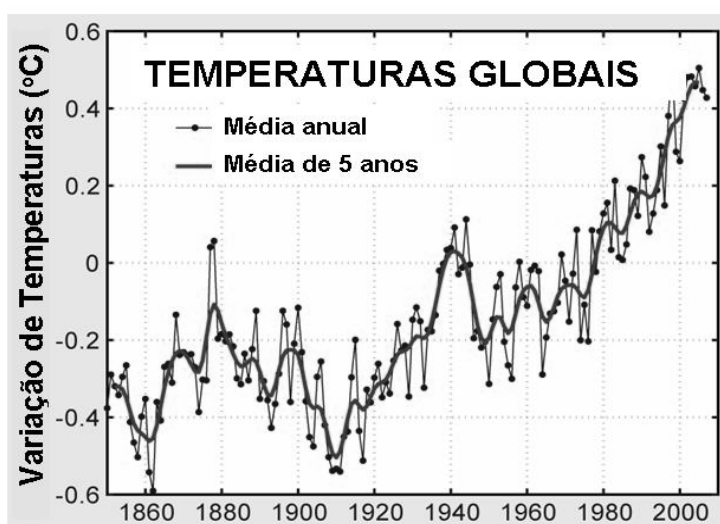


Figura 1. Variação da temperatura atmosférica global. Fonte: www.newscientist.com/.../dn11639-2_808.jpg

O aproveitamento do potencial hidrelétrico nos países que dispõem desse recurso vem sendo feito com enormes prejuízos para o meio ambiente e para as populações humanas locais, já que extensas áreas são alagadas na construção das usinas. No Brasil, o potencial hidrelétrico fora da Amazônia está quase saturado. O planejamento atual de construção de usinas na Amazônia tem enfrentado grande resistência por parte de ambientalistas, indígenas e outros setores da sociedade (Igreja, por exemplo).

Propostas para substituir os combustíveis fósseis por outras formas de energia têm sido formuladas em grande número, entre elas o hidrogênio e as energias nuclear, solar e eólica.

RAZÕES QUE JUSTIFICAM O DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS PARA OBTENÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Apesar de críticas recentes, a produção de biocombustíveis é uma das recomendações para se conseguir sustentabilidade no uso de recursos energéticos.

Além de ser um recurso praticamente inesgotável e de poder ser obtido em muitas partes do mundo, os biocombustíveis são menos poluentes. Porém, a maior vantagem dos biocombustíveis sobre os combustíveis fósseis é que o seu uso não contribui para o efeito estufa. Se forem produzidos em escala sustentável, o CO_2 liberado pela sua queima será reabsorvido durante a fotossíntese das plantas que estão sendo cultivadas para suprir futuras demandas. Desse modo, a bioenergia não contribui para o aquecimento do planeta.

Nos dias atuais, há críticas em relação à produção de biocombustíveis, motivadas principalmente pelo fato de que o governo dos Estados Unidos está incentivando a produção de etanol a partir de milho, importante matéria prima para alimentação de animais. Isso, infelizmente, coincidiu com uma época em que



Com o programa Pró-Álcool, houve um incremento notável na produtividade da cana-de-açúcar, principalmente no Estado de São Paulo, passando de cerca de 55 ton/ha em 1971 para 72 ton/ha em 1981. A eficiência na extração do caldo avançou de 88% para 95%, o tempo de fermentação reduziu-se de 18-24 h para 5-8 h e a eficiência fermentativa evoluiu de 70-80% para 88-92%. O rendimento de álcool é de 60-70 L por tonelada de cana-de-açúcar. O bagaço da cana-de-açúcar vem sendo utilizado em várias usinas de álcool na produção de energia elétrica para consumo local.

Os inconvenientes para produção de cana-de-açúcar é que ela é exigente no que se refere a solos (eles precisam ser bem adubados e profundos) e clima (é preciso pelo menos 1000 mm de precipitação de chuvas por ano).

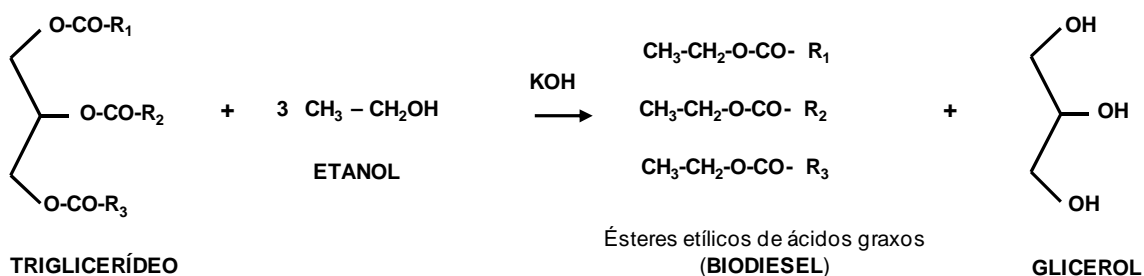
Outras opções para obtenção de etanol

Dada a alta produtividade, o milho é a opção atual nos Estados Unidos. Essa escolha incorre nos problemas acima comentados de competição com a produção de alimento. No Brasil, a opção em termos de cultura amilácea seria a mandioca, planta que cresce muito bem em nosso território, é altamente produtiva e pode ser cultivada em solos menos favoráveis para a agricultura, inclusive no Nordeste. A maior expectativa quanto a matérias-primas para obtenção de álcool reside na celulose, o carboidrato mais abundante na Terra. O grande problema nesse sentido ainda é a dificuldade para hidrólise da celulose, pois ela é o polissacarídeo mais resistente à hidrólise que se conhece. Há esperanças de que em 10 anos será factível o seu uso para obtenção de etanol.

PRODUÇÃO DE BIODIESEL

O etanol é um combustível adequado para substituir a gasolina. Ele pode ser usado, portanto, para movimentar motores de veículos mais leves, como automóveis e motocicletas. Para **veículos pesados**, como caminhões e tratores, necessita-se de combustível com maior poder calorífico, como o óleo diesel. Um substituto para o óleo diesel, derivado de plantas, pode ser obtido dos óleos de sementes. Muitas angiospermas possuem em suas sementes, triglicerídeos como principal reserva energética para os processos de germinação e crescimento do embrião e da plântula em suas primeiras fases de desenvolvimento. O teor de triglicerídeos em sementes pode chegar a 45-50%, como no caso do amendoim (*Arachis hypogaea*, Fabaceae) e até mesmo 60%, como no caso do endosperma do coco (*Cocos nucifera*, Arecaceae).

A obtenção do **biodiesel** é conseguida em laboratório por reação à temperatura ambiente entre o óleo e álcoois anidros (metanol ou etanol), usando um catalisador (em geral, usa-se hidróxido de potássio na proporção de 1%, em solução alcoólica). Após 30 minutos de reação, formam-se duas fases. A superior é o biodiesel, contaminado com um pouco de glicerina, sais de potássio de ácidos graxos (sabão) e álcool. Depois de purificado, o biodiesel está pronto. Quimicamente, esse produto é um éster metílico (no caso em que o álcool usado é o metanol) ou etílico (se for usado etanol) de ácidos graxos. A reação para obtenção de biodiesel é chamada transesterificação:



Tem havido muitas propostas de matérias-primas para produção de biodiesel: óleos de soja, de girassol, mamona, milho, dendê, etc. Propõe-se também o uso de óleo usado em frituras. A pesquisa de plantas nativas, potencialmente úteis como oleaginosas, deve ser considerada. Pelo menos duas possibilidades para o aproveitamento de plantas nativas merecem ser levadas em conta: 1) coleta de sementes principalmente de plantas arbóreas em reservas extrativistas – áreas de conservação nas quais se incentiva o aproveitamento sustentado dos recursos disponíveis e 2) adaptação de plantas nativas (principalmente herbáceas e arbustivas) para o regime de cultivo, preferencialmente em áreas marginais, ou seja, regiões que não vêm sendo aproveitadas para a agricultura. Enquadra-se na categoria de áreas marginais muitas regiões da caatinga. Tem havido incentivo para a produção de óleo de jojoba exatamente pelo fato de se tratar de planta que se adapta muito bem ao cultivo em regime de baixa disponibilidade hídrica.

Certamente, nossa flora dispõe de muitas espécies que se enquadrariam muito bem a um regime de exploração extrativista em reservas destinadas a esse fim e ao regime de cultivo em regiões do território brasileiro, atualmente impróprias para a agricultura.

PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Tem havido iniciativas em várias partes do mundo para produção de biogás (metano) por fermentação de diferentes substratos, como lixo, dejetos animais (inclusive humanos), resíduos de plantas agrícolas e plantas aquáticas.

Uma recomendação em nível mundial é o aproveitamento do **lixo** de aterros sanitários para produção de biogás. Desse modo, tem-se um combustível útil para queima em veículos ou em termoelétricas e evita-se a liberação do metano para a atmosfera, que contribuiria para o aquecimento da atmosfera.

Os dejetos de animais criados em regime de confinamento (bois e porcos) têm sido aproveitados para alimentar biodigestores que produzem biogás. Até mesmo dejetos humanos têm sido utilizados para esse fim. Resíduos de plantas agrícolas (palha de milho, cana-de-açúcar, arroz) também são utilizados em biodigestores. Cerca de 90 a 95% do conteúdo do biodigestor deve ser composto por água. Por essa razão, é conveniente o uso em biodigestores de plantas aquáticas que, por uma razão ou outra, representam problemas para a sociedade, especialmente quando se proliferam em reservatórios. Muita pesquisa tem sido feita para o aproveitamento do aguapé em biodigestores. O aguapé cresce agressivamente em rios e represas, inclusive nas hidrelétricas. Por isso, constitui um problema para a navegação fluvial e geração de energia elétrica. Por outro lado, o aguapé é útil para a descontaminação da água poluída, pois absorve rapidamente matéria orgânica, além de ser acumuladora de metais pesados.



BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

GOLDEMBERG, J. 1998. Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 234p.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - <http://www.anp.gov.br/>

Ministério do Meio Ambiente - <http://www.mma.gov.br/>

New Scientist - www.newscientist.com/

Portal Nacional da Produção e Uso de Biodiesel - <http://www.biodiesel.gov.br/>



15. FERMENTAÇÃO E DESTILAÇÃO DE ÁLCOOL

Mourisa Maria de Souza Ferreira (mourisa@usp.br)

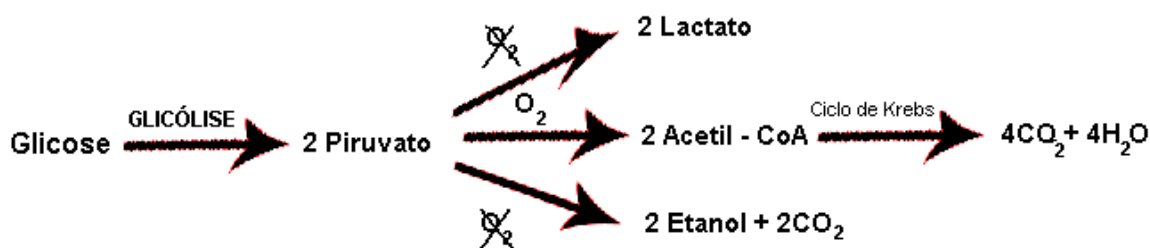
Adriana Afonso Sandre (drica_sandre@uol.com.br)

As plantas produzem carboidratos através do processo de fotossíntese. Esses carboidratos são utilizados para gerar energia armazenada em moléculas de adenosina trifosfato (ATP) por meio da glicólise, da respiração e da fermentação. Neste capítulo trataremos da fermentação com ênfase na sua utilização na indústria alimentícia e de bebidas.

O termo **fermentação** se refere à quebra anaeróbia da glicose ou de outros nutrientes orgânicos para obtenção de energia. A glicose é a principal fonte de energia para a maioria dos organismos e não é apenas um excelente combustível, mas é também um precursor versátil, capaz de suprir uma gama de intermediários metabólicos necessários para as reações biossintéticas.

O processo de quebra da glicose (glicólise) não requer oxigênio, o que sugere que a glicólise surgiu antes da presença desse gás na atmosfera. A quebra anaeróbia da glicose é, provavelmente, o mais antigo mecanismo biológico para obtenção de energia a partir de moléculas orgânicas.

Na **glicólise**, onde parte da energia livre liberada é conservada na forma de ATP e NADH (coenzima que transporta hidrogênio e elétrons em reações de oxido-redução), são produzidas duas moléculas de piruvato. Por sua vez, o piruvato pode seguir três vias diferentes: as vias fermentativas anaeróbias para produção de **etanol** ou de **lactato** e a via aeróbia para produção de **gás carbônico** (CO_2) e **água**. Nessas condições, o NADH produzido doa seus elétrons para o oxigênio via cadeia transportadora de elétrons, onde é reoxidado a NAD^+ . Na ausência de oxigênio, a oxidação do NADH é obtida pela transferência dos elétrons para um composto orgânico que pode ser tanto lactato como etanol. O composto reduzido, geralmente é eliminado para o meio externo de modo que o produto final pode ser utilizado por outros organismos como substrato oxidável. Cabe ressaltar que, a incapacidade de regenerar o NADH a NAD^+ deixaria a célula sem receptor de elétrons para a glicólise e as reações de liberação de energia cessariam.



A fermentação láctica, onde o piruvato é reduzido a lactato, é realizada por uma vasta gama de organismos. Muitas bactérias, como *Lactobacillus* e *Streptococcus*, fermentam a lactose do leite em ácido láctico. A dissociação do ácido láctico em lactato e H^+ faz baixar o pH, desnaturando algumas proteínas do leite, o que provoca sua precipitação. Na fermentação alcoólica, o piruvato é reduzido a etanol e CO_2 . Durante esse processo, é liberado cerca de 7% da energia total disponível na molécula de glicose (52 quilocalorias por mol). Este processo é realizado por muitas bactérias, fungos (por exemplo, leveduras) e



células animais. Em alguns tecidos vegetais, como por exemplo, o sistema radicular de plantas de locais alagados, a fermentação é a fonte de energia para o crescimento e o metabolismo das próprias raízes.

Termodinamicamente, as fermentações láctica e alcoólica são similares. Em ambas o NADH é reoxidado e a energia da quebra da glicose é utilizada para originar duas moléculas de ATP. O rendimento energético da fermentação é menor que o da oxidação aeróbia.

As bactérias realizam outros tipos de fermentação, além da láctica e da alcoólica, onde liberam produtos diferentes do lactato e do etanol. Dentre eles temos o metanol, empregado em misturas com a gasolina; os ácidos fórmico, acético e propiônico; e os álcoois glicerol, isopropanol e butanol. Essas transformações químicas são complexas, com alto rendimento e produção de poucos resíduos. Alguns materiais ricos em carboidratos e de obtenção fácil e barata, como o amido de milho e a cana-de-açúcar, são fermentados pelas bactérias gerando produtos de grande valor comercial.

Utilização industrial

A indústria alimentícia, tendo em conta a relação entre bactérias, fungos e alimentos, utiliza microrganismos na produção de certos alimentos por fermentação, por exemplo, como fonte de enzimas para o processamento de alimentos; no desenvolvimento e aperfeiçoamento de métodos de conservação dos mesmos, que retardem a sua deterioração devido à atividade de microrganismos ou de outros fatores; e no desenvolvimento de técnicas de melhoramento de alimentos ou de produção de novos alimentos.

A **fermentação alcoólica** é utilizada na indústria de alimentos para a produção de pão, vinho e cerveja. A produção de pão e vinho ocorre por meio da ação da levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Na produção de **pão**, o amido da farinha é hidrolisado em açúcares simples e posteriormente transformado em CO₂ e etanol, sendo o CO₂ o produto desejado, uma vez que faz crescer a massa, dando ao pão uma textura porosa e macia. A fermentação inicia-se com a adição das leveduras e termina quando o calor do forno as mata. O calor provoca a expansão do gás, a evaporação do álcool, dando a estrutura ao pão. No **vinho**, as uvas são colhidas, esmagadas e tratadas com compostos de enxofre, para inibir o crescimento de microrganismos competidores, formando o “most” que, inicialmente é mexido para provocar a aerificação e o crescimento das leveduras, e, posteriormente, é deixado em repouso a fim de criar as condições anaeróbias favoráveis à fermentação. Na etapa chamada de fervura do vinho, há a liberação do CO₂ para a atmosfera e a concentração de etanol aumenta. Ao atingir uma concentração de 12%, o etanol torna-se tóxico para as leveduras e a fermentação termina. A **cerveja** é produzida com malte, grãos de cevada germinados e secos, ou com outros materiais ricos em amido, como arroz, milho ou sorgo, além de lúpulo, água e leveduras das espécies *Saccharomyces cerevisiae* ou *Saccharomyces carlsbergensis*. A primeira etapa consiste na produção de açúcares simples (sacarificação) a partir do amido na mistura de cereais. Durante a fermentação, ocorre a conversão dos açúcares em etanol, CO₂ e pequenas quantidades de glicerol e ácido acético. O CO₂ é liberado e o álcool atinge uma concentração de cerca de 3,8% do volume. Após a fermentação, a cerveja é armazenada durante alguns meses, ocorrendo a precipitação de leveduras, proteínas e outras substâncias indesejáveis. Por fim, a cerveja é carbonatada, clarificada, filtrada e engarrafada.

Já a **fermentação láctica** é utilizada para a produção de iogurte, queijo e outros produtos lácticos fermentados. O **iogurte** é proveniente da ação de uma cultura mista de bactérias do tipo *Lactobacillus*



bulgaricus e *Streptococcus thermophilus*. A produção de vários tipos de **queijo** é feita por meio da fermentação realizada por diferentes espécies de bactérias pertencentes aos gêneros *Propionibacterium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus* e *Leuconostoc*, em culturas puras ou mistas. É a produção do ácido láctico e de outras substâncias pelas bactérias que contribuem para o aroma destes alimentos.

O **vinagre** é produzido por meio de um processo chamado de **fermentação acética**, devido às características do produto obtido. No entanto, o processo não é uma fermentação, mas uma oxidação. É obtido a partir de materiais contendo carboidratos, como suco de fruta, vinho ou cereais. A sua produção compreende primeiramente a fermentação do açúcar produzindo etanol, processo anaeróbio realizado por leveduras, e, posteriormente ocorre à oxidação do etanol a ácido acético, que é uma reação aeróbia realizada por bactérias acéticas dos gêneros *Acetobacter* e *Glucanobacter*.

Nesta aula serão desenvolvidas três atividades: (a) produção de pão, (b) produção e destilação de etanol de caldo de cana-de-açúcar e (c) observação ao microscópio de *Saccharomyces cerevisiae*. Além disso, será observada a produção de gás carbônico durante a fermentação. Estas atividades têm como objetivos visualizar os produtos finais da fermentação alcoólica; observar a levedura *Saccharomyces cerevisiae*; verificar a diferença entre os fermentos químicos e biológicos; e discutir a importância econômica da fermentação.

PRODUÇÃO DE PÃO DE LIQUIDIFICADOR

O **fermento** é um ingrediente muito utilizado na cozinha e, graças a ele, podemos provar alimentos macios, de digestão fácil e sabor agradável. Quando é adicionado à massa, ocorrem vários processos (químicos ou biológicos), que acabam produzindo compostos gasosos. Esses gases expandem a massa dos pães e bolos e dão origem a pequenos buracos, que a torna macia. A diferença entre os fermentos químico e biológico está em sua composição. Os **químicos** são formados de uma substância ou mistura de substâncias que, pela influência do calor e/ou umidade, produz desprendimento gasoso capaz de expandir massas elaboradas com farinhas, amidos ou féculas, aumentando-lhes o volume e a porosidade. De acordo com a Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA), Resolução - CNNPA nº 38, de 1977, anexo I, na composição dos fermentos químicos poderão entrar como componentes essenciais as seguintes substâncias: ácidos, bicarbonatos, carbonatos, citratos, gluconato, lactato e sulfato de cálcio, além de substâncias próprias para uso alimentar, tais como açúcares, farinhas, amidos, féculas, enzimas e fosfato de cálcio. O fermento **biológico** é o produto obtido de culturas puras de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*) por procedimento tecnológico adequado. São chamados de fermento biológico ou levedura ativa e, de acordo com o seu teor de umidade, são classificados em fermento fresco, prensado, verde ou de levedura prensada; e fermento seco, também denominado de fermento desidratado ou levedura seca. De acordo com a Resolução - CNNPA nº 38, de 1977, anexo II, aos fermentos biológicos poderão ser adicionados farinhas, amidos e féculas, óleos e gorduras comestíveis; sulfato de cálcio, carbonato de cálcio, sorbitol e monolaurato de sorbitana. Por ser o fermento biológico um organismo vivo, é preciso deixar a massa crescer antes de ser assada, enquanto a que é produzida com fermento químico deve ir logo ao forno.

O fermento fresco biológico deve ser conservado a uma temperatura de 1 a 8 °C (geladeira) e não deve ser congelado, pois as temperaturas abaixo de zero danificam as células da levedura e diminuem sua



atividade fermentativa. É preferível adquirir o produto próximo a sua utilização, já que é um produto perecível. Quando for usar não o misture diretamente com sal. A melhor forma para utilizá-lo é dissolvendo-o com a metade da quantidade de água que será utilizada na receita, ou esfarelando-o sobre a massa.

LISTA DE MATERIAL NECESSÁRIO

- 1 colher de chá de sal
- 1 copo de água morna
- 1/3 de um copo de óleo
- 1/3 de um copo de açúcar
- 1 ovo
- 1 pacotinho de fermento seco de 10g
- 350 g de farinha de Trigo (aproximadamente)
- 1 forma untada e polvilhada com farinha de trigo
- Forno
- Liquidificador

PROCEDIMENTOS

1. Bata todos os ingredientes no liquidificador, menos a farinha de trigo;
2. Despeje em uma tigela;
3. Acrescente a farinha de trigo e mexa até obter uma massa homogênea;
4. Deixe descansar por 10 minutos;
5. Acenda e aqueça o forno (em temperatura média) por 10 minutos;
6. Despeje a massa na forma e leve ao forno para assar até que fique dourado, cerca de 20 a 30 minutos.

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

1. Descreva o que ocorreu com a massa durante o experimento. Elabore alguma hipótese para explicar o fenômeno.
2. Quais são os gases liberados na fermentação? Qual seu efeito no volume da massa? Qual o papel dos fungos (leveduras)?
3. Para que ocorra a fermentação de pães e pizzas, os fungos (leveduras) produzem gás carbônico e álcool. Quando essa massa vai ao forno, o que acontece com:
 - as leveduras?
 - o gás carbônico?
 - o álcool?
4. Tente se lembrar de dois produtos utilizados pelos seres humanos em que o álcool é produzido na fermentação.

PRODUÇÃO E DESTILAÇÃO DE ETANOL DE CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum*)

O etanol é obtido a partir da fermentação de um carboidrato utilizando uma linhagem selecionada de *Saccharomyces cerevisiae*. É muito importante que a cultura de leveduras possua um crescimento vigoroso e uma elevada tolerância ao etanol, para que se tenha um grande rendimento final. O etanol inibe o crescimento das leveduras quando em altas concentrações, portanto, a tolerância das leveduras é um ponto crítico para uma produção elevada. A tolerância ao etanol varia consideravelmente de acordo com as linhagens de leveduras. De modo geral, o crescimento cessa quando a produção atinge 5% de etanol e a taxa de produção é reduzida à zero na concentração de 6 a 10% de etanol. A intensidade da reação de fermentação depende do tipo de carboidrato utilizado, o que faz com que bebidas diferentes, produzidas



pela fermentação de matérias-primas específicas, apresentem diferentes teores alcoólicos, como, por exemplo, a cerveja (3 a 5%) e o vinho (10 a 15%). A produção de alguns tipos de bebidas alcoólicas envolve um processo de destilação após o de fermentação, resultando em um aumento no teor alcoólico. São exemplos de bebidas destiladas a cachaça (45%) e o uísque (40 a 75%).

LISTA DE MATERIAL NECESSÁRIO

- Água de cal, solução saturada de Ca(OH)_2
- Alcoômetro
- Balão de destilação
- Caldo de cana-de-açúcar
- Chapa aquecedora
- Condensador
- Fermento de pão granulado ou em tabletes
- Garrafa
- Kitassato de 1 L
- Mangueira de borracha
- Proveta de 500 mL
- Rolha
- Suporte e garra
- Tubo de ensaio
- Tubo de vidro

PROCEDIMENTOS

1. Coloque dentro do kitassato o caldo de cana-de-açúcar e o fermento (5 g por 100 mL de caldo);
2. Encaixe a mangueira na saída lateral do kitassato e um tubo de vidro (por exemplo, uma pipeta de Pasteur) na outra extremidade da mangueira;
3. Coloque a solução saturada em 2/3 do volume de um tubo de ensaio (**use somente a porção límpida da solução**);
4. Encaixe o tubo de vidro no tubo de ensaio. O tubo deverá ficar imerso na solução saturada de hidróxido de cálcio de modo que o gás carbônico proveniente da fermentação seja borbulhado através dele;
5. Tampe o kitassato com uma rolha e agite levemente a mistura. O sistema deverá permanecer em repouso por no mínimo quatro horas;
6. No final da reação, transfira o material do kitassato para o balão de destilação;
7. Revista o balão com papel alumínio para manter o calor interno;
8. Coloque o balão sobre uma chapa aquecedora e encaixe um condensador para que o vapor de água e álcool condense e seja recolhido numa garrafa;
9. Coloque o álcool em uma proveta de dimensões que permitam ao alcoômetro flutuar livremente, sem tocar no fundo ou nas paredes. O alcoômetro é um densímetro especial que indicará o número do volume de álcool etílico contido em 100 volumes de uma mistura feita exclusivamente de álcool etílico e água
10. Observe, após atingida a posição de equilíbrio, o número correspondente, que indicará, em centésimos e em volume, o teor do líquido em álcool absoluto. É necessário fazer correções sobre a indicação do instrumento em função da temperatura.

Para fazer a solução saturada de hidróxido de cálcio (água de cal): pese 0,29 g de Ca(OH)_2 e dissolva em 100 mL de água destilada. Aqueça a solução sob agitação. Acondicione a solução num frasco limpo e deixe



descansar. Transfira para o tubo de ensaio, com o auxílio de uma pipeta de Pasteur, uma alíquota da porção límpida da solução, com cuidado para evitar agitação.

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

1. Além dos diferentes tipos de açúcares, qual outro fator pode afetar a intensidade da fermentação?
2. Qual o gás que, em contato com a água de cal, produz um precipitado, turvando-a?
3. Que composto orgânico é indispensável em uma matéria-prima para que ocorra a fermentação alcoólica?
4. Qual a diferença entre os fermentos biológico e químico?

OBSERVAÇÃO DA PRODUÇÃO DE GÁS CARBÔNICO PELA FERMENTAÇÃO

LISTA DE MATERIAL NECESSÁRIO

- Água
- Açúcar
- Bexigas de 4 cores diferentes
- Etiquetas auto-adesivas
- Estante para tubos de ensaio
- Fermento Biológico
- Sal (cloreto de sódio)
- Tubos de ensaio

PROCEDIMENTOS

1. Coloque água suficiente para preencher metade dos tubos de ensaio;
2. Adicione no tubo 1 sal e fermento;
3. Adicione no tubo 2 fermento;
4. Adicione no tubo 3 açúcar;
5. Adicione no tubo 4 açúcar e fermento;
6. Tampe os tubos com bexigas de cores diferentes;
7. Aguarde de 10 a 15 minutos;
8. Observe o que acontece com as bexigas.

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

1. Em qual dos tubos a bexiga ficou cheia? Por quê?
2. O que aconteceu no tubo com sal? Este pode substituir o açúcar? Justifique.

OBSERVAÇÃO DA LEVEDURA *Saccharomyces cerevisiae* AO MICROSCÓPIO

LISTA DE MATERIAL NECESSÁRIO

- Fermento biológico
- Lâmina e lamínula
- Microscópio
- Placa de Petri
- Pipeta de Pasteur

PROCEDIMENTOS

1. Misture uma alíquota do fermento e um pouco de água em uma placa de petri;
2. Com o auxílio de uma pipeta de Pasteur, coloque uma gota em uma lâmina e cubra-a com uma lamínula
3. Observe ao microscópio.



BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

LEHNINGER, A.L.; COX, N & YARBOROUGH, K. 2002. Princípios de bioquímica. 4ª. edição. Editora Sarvier, São Paulo, 1232p.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F. & EICHORN, S.E. 2007. Biologia Vegetal. 7ª edição. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 830p.

SIMPSON, B.B. & OGORZALY, M.C. 2001. Economic Botany: Plants in our World. 3ª edição. McGraw-Hill, Nova Iorque, 529p.

Agência Nacional de Vigilância Sanitária - http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/38_77.htm

Colégio Dante Alighieri - <http://sistemas.colegiodante.com.br/microbiologia/manual.pdf>

Microbiologia - <http://www.microbiologia.vet.br/>

Revista Química Nova Na Escola - <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc10/exper1.pdf>

Unicamp, Faculdade de Odontologia de Piracicaba (FOP) -

<http://www.fop.unicamp.br/microbiologia/aulas/introducao.pdf>



16. ORIGEM DAS PLANTAS CULTIVADAS

Déborah Yara A. Cursino dos Santos (dyacsan@ib.usp.br)

Cláudia Maria Furlan (furlanm@yahoo.com.br)

Embora duas teorias se confrontem quanto ao que surgiu primeiro, se a agricultura ou o hábito sedentário do homem primitivo, é inegável a grande correlação entre a agricultura e o surgimento das civilizações humanas. Somente com a introdução da agricultura foram possíveis o rápido aumento da população das comunidades humanas e a criação de cidades. Além disso, o **hábito agricultor**, embora exija um esforço maior do que o **hábito caçador**, pensando-se nos cuidados com o cultivo, não exige que todos os membros da comunidade estejam diretamente envolvidos nas tarefas de conseguir alimento. Dessa forma, houve a possibilidade de desenvolvimento de outras tarefas, o que impulsionou o surgimento das artes, ciências e outras atividades que caracterizam a cultura humana.

Assim como outras invenções humanas, alguns mitos rondam a história do surgimento da **agricultura**. Para algumas culturas antigas, o surgimento da agricultura seria um presente dado pelos seus deuses. Por exemplo, no Egito antigo acreditava-se que Isis e Osíris proibiram os humanos de praticar o canibalismo e teria sido Osíris o responsável por ensinar aos humanos a cultivar alguns grãos e também a fabricar cerveja. Na mitologia chinesa, Shen-Nung, aparentemente o segundo imperador fictício da China, seria o responsável por ensinar aos humanos a usar um arado e também a utilizar o fogo para limpar uma área florestada. Da mesma forma, na América Central o deus asteca Quetzalcoatl aparece em muitos mitos, entre eles o de se transformar em uma formiga e carregar um grão de milho de Tonacatepel a Tomoanchán, entregando-o aos humanos para cultivá-lo.

A partir do levantamento de achados arqueológicos, os cientistas acreditam que a agricultura teve origem, em primeiro lugar, no Oriente Médio, na região conhecida como **Crescente Fértil**. Acreditava-se que o local exato devesse ser o vale dos rios Tigre e Eufrates. Atualmente há razões para se supor que os primórdios da agricultura tiveram lugar em regiões montanhosas próximas ao vale dos rios acima citados e do rio Jordão, em áreas correspondentes aos atuais territórios do Iraque e de Israel. Há evidências arqueológicas que em épocas anteriores a 8000 a.C. o homem já coletava cereais selvagens. Em épocas ainda mais antigas, há 9600-10000 anos, o trigo já era cultivado no Corredor Levantino, no vale do rio Jordão. Evidências do cultivo do trigo nesse local foram observadas em locais como Jericó, Natife Hagdud e Gilgal.

Acredita-se ainda que a agricultura também tenha surgido no **Sudoeste Asiático** na mesma época que surgiu no Crescente Fértil, embora as evidências arqueológicas encontradas nessa região sejam mais escassas e pouco conclusivas. A razão dos achados na Índia e na China serem mais escassos está relacionada, provavelmente, ao clima mais úmido do que o da região Mediterrânea, o que prejudica o processo de fossilização. Entretanto, não se discute que o arroz já era cultivado na Ásia há pelo menos 8000 anos.

Pesquisas arqueológicas realizadas nos planaltos de Tehuacán, no **México**, revelaram que o homem já havia se estabelecido nessa região em 10000 a.C.. O primeiro indício de plantas de milho cultivadas nessa região foi encontrado em depósitos que datam de aproximadamente 5000 a.C.. Por volta



dessa mesma época também se cultivava ali a abóbora, o abacate e o amaranto. Nos milênios seguintes, cultivaram-se outras plantas, principalmente o feijão. Já na **América do Sul**, a região andina constitui um centro de diversidade genética de plantas úteis muito importante, estendendo-se ao longo da costa ocidental do continente, desde a Colômbia até a parte central do Chile. Nessa região, acredita-se que a agricultura estabeleceu-se em épocas bem posteriores ao que ocorreu no México e, seguramente, não antes de 3000 a.C., cultivando-se principalmente o feijão, a pimenta, a abóbora, o algodão e a batata.

As primeiras **plantas cultivadas** certamente eram espécies selvagens herbáceas, de crescimento rápido e com um histórico de vida curto, provavelmente anual. Essas espécies são caracteristicamente boas produtoras de estruturas de reprodução, como frutos e sementes. Essas plantas ocupam rapidamente locais abertos e eutrofizados, sendo encontradas facilmente em ambientes perturbados, sendo também chamadas de espécies oportunistas.

À medida que as populações humanas iam se estabelecendo em determinados locais, essas espécies oportunistas logo apareciam, de modo que o homem foi se habituando a elas e eventualmente aproveitando seus frutos, sementes ou outras partes.

As plantas cultivadas que conhecemos atualmente originaram-se a partir de ancestrais selvagens em locais conhecidos como **centros de diversidade**, que são áreas geográficas específicas e mais ou menos restritas. Se pensarmos que frequentemente há uma única área de surgimento para um determinado gênero (no qual se inclui uma espécie cultivada), o número de espécies pertencentes a esse gênero diminui progressivamente à medida que se aumenta a distância em relação ao seu centro de diversidade. O estudo dos centros de diversidade é fundamental para o entendimento da origem das plantas cultivadas e, para o seu melhoramento genético e conservação.

Os estudos sobre os centros de diversidade foram iniciados nas décadas de 1920 e 1930 pelo pesquisador russo Vavilov, que realizou uma série de expedições para muitas partes do mundo, coletando espécies selvagens taxonomicamente muito próximas às espécies cultivadas. Vavilov e seus seguidores reconheceram 12 centros de diversidade genética (Figura 1), localizados em áreas tropicais e subtropicais ou temperadas cálidas. Até recentemente, os centros de diversidade não incluíam áreas brasileiras, mas com o reconhecimento da importância de plantas como o abacaxi, cacau, amendoim e mandioca, certas áreas do Brasil, como a Amazônia, passaram a representar importantes centros de diversidade de plantas alimentícias.

O conceito e a definição dos centros de diversidade propostos por Vavilov e seus seguidores não são consenso entre os estudiosos. Entretanto, é unânime a idéia que os principais centros de diversidade dos cereais e leguminosas mais comuns localizam-se nas regiões: 1. Oriente Médio, em área que compreende hoje a Turquia, o Iraque, a Síria e Israel (Crescente Fértil); 2. Sul da América do Norte, em território mexicano; 3. Sudoeste da Ásia, em partes da Índia e da China.

Os estudos modernos da origem da agricultura nas várias partes do mundo compreendem trabalhos de arqueologia, que requerem a interação de especialistas de várias áreas, como historiadores, arqueólogos, antropólogos, botânicos e zoólogos. A arqueologia moderna procura desvendar como vivia o homem pré-histórico, o que ele comia e como ele interagia com o ambiente. As buscas arqueológicas revelam uma grande variedade de materiais que requerem análises de profissionais especializados como

um botânico ou um zoólogo, para determinar de que organismos eles provieram. A datação com ^{14}C é feita para se determinar a época em que o material foi utilizado. São analisados materiais diversos, como cascas de frutos, brácteas de flores, folhas, sementes, pólen e ossos, além de produtos manufaturados pelo homem. A análise de coprólitos (fezes fósseis) também é outra importante fonte de informação. Esse material, uma vez restaurado, pode fornecer dados sobre o tipo de alimentação de uma determinada sociedade, em que tipo de combinação e se era um alimento cozido ou cru.

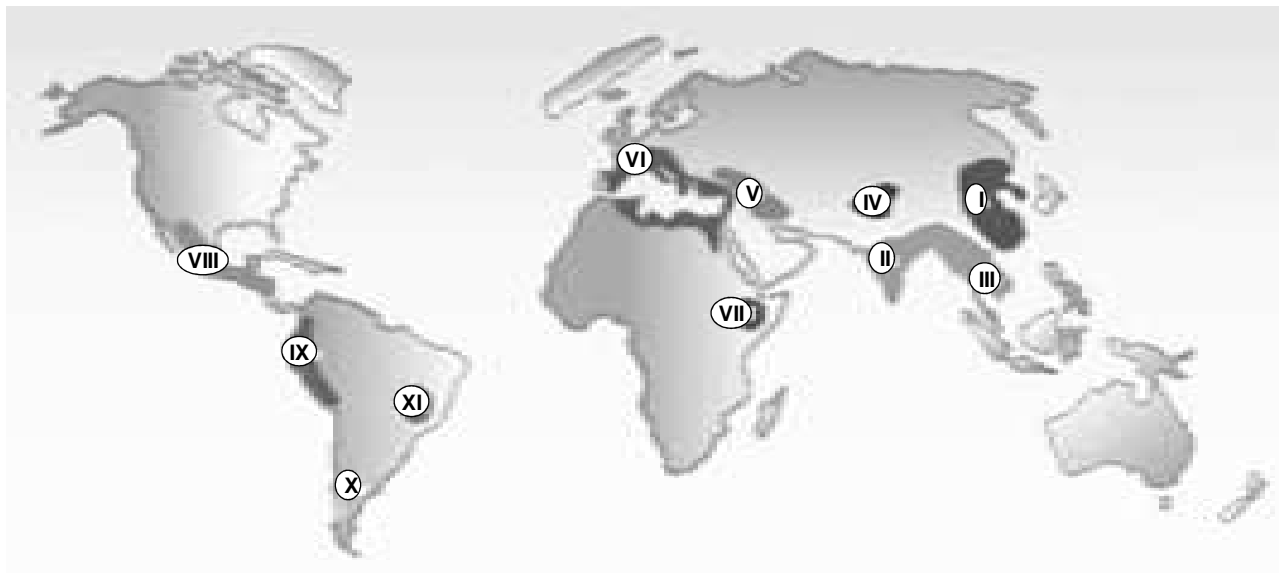


Figura 1. Localização dos centros de diversidade genética propostos por Vavilov: (I) Centro da China; (II) Centro da Malásia (Burna); (III) Centro da Malásia (Indochina e Arquipélago Malaio); (IV) Centro da Ásia Central; (V) Centro do Oriente Médio; (VI) Centro do Mediterrâneo; (VII) Centro da Abissínia; (VIII) Centro do México; (IX) Centro Sul-americano (Peru, Equador, Bolívia); (X) Centro Sul-americano (Chile); (XI) Centro Sul-americano (Brasil, Paraguai). Adaptado de www.prodiversitas.bioetica.org.

Todo esse processo de adoção do hábito agricultor pelo homem esteve diretamente ligado à seleção de características de interesse, tanto nas plantas como nos animais, envolvida naquele processo. Esse processo de seleção é conhecido como **domesticação**, que pode ser entendida como a consequência de um processo de seleção que visa o aumento da adaptação de uma planta (e/ou animal) ao cultivo e à utilização pelo homem.

A domesticação de plantas e de animais foram eventos que ocorreram provavelmente na mesma época em vários locais. Tanto as primeiras plantas como os primeiros animais a serem domesticados apresentavam, ainda na condição selvagem, características de pré-adaptação à domesticação. Alguns critérios são utilizados para se distinguir espécies selvagens das domesticadas, no caso das plantas geralmente se utilizam caracteres da semente e das infrutescências no processo de identificação. As sementes de plantas domesticadas são maiores (com maior conteúdo de reservas) e possuem tegumentos mais delgados, resultado de uma seleção, inicialmente inconsciente por parte do homem, já que sementes com tegumentos mais finos germinam mais rapidamente do que as que possuem tegumento mais resistente. Da mesma forma, sementes com maior conteúdo de reservas produzem plântulas que crescem mais rapidamente e competem mais vantajosamente. Outra característica importante para a distinção entre



plantas cultivadas e selvagens é o fato de que os frutos das primeiras permanecem aderidos ao eixo da infrutescência, enquanto nas plantas selvagens os frutos destacam-se facilitando a dispersão das sementes.

Trabalhos arqueológicos importantes estão sendo realizados no Brasil e vêm resultando em achados interessantes. Merecem destaque as exuberantes pinturas rupestres descobertas em diversos sítios arqueológicos na região de São Raimundo Nonato, Piauí (hoje protegidos com a criação do Parque Nacional Serra da Capivara), que fornecem informações importantes sobre a chegada do homem às Américas. Atualmente, têm grande repercussão internacional os trabalhos realizados em Lagoa Santa (Minas Gerais), envolvendo um crânio de 11000 anos atrás, que ficou conhecido como Luzia e que pertenceu a uma mulher (da raça negróide) que morreu com idade entre 20 e 25 anos. Acreditava-se que as populações que chegaram à América eram todas mongólicas, como os atuais indígenas. Pesquisadores da UFMG e do IB-USP acreditam que as primeiras populações humanas chegaram à América há 45.000 anos, portanto muito antes do que sempre se supôs.

Além das estratégias de estudo de coleta de espécies selvagens relacionadas, expedições arqueológicas, datação por ^{14}C e análise de fósseis, atualmente os estudiosos lançam mão de diversas técnicas moleculares para estudar a origem de algumas espécies domesticadas. Várias técnicas, como RAPD (“Random-Amplified Fragment Polymorphism” – polimorfismo de fragmentos amplificados ao acaso) e AFLP (“Amplified Fragment Length Polymorphism” – polimorfismo do comprimento do fragmento amplificado), assim como a seqüência de bases de segmentos do DNA ou do RNA.

As técnicas de AFLP e RAPD enquadram-se na categoria geral de análises de fragmentos de restrição. Em linhas gerais, os fragmentos de restrição são obtidos a partir do tratamento do DNA por enzimas de restrição, que são endonucleases obtidas de bactérias que quebram a molécula de DNA em determinados sítios contendo uma seqüência de bases definida. Esses fragmentos são analisados por eletroforese em agarose ou poliacrilamida ou por meio de seqüenciadores automáticos. A comparação dos perfis eletroforéticos das várias plantas analisadas permite estabelecer sítios de restrição ganhos ou perdidos na evolução, assim como inserções e deleções nos fragmentos, que porventura ocorreram. Essas análises destinam-se ao estabelecimento de impressões digitais genéticas das plantas, geralmente usadas para caracterização de germoplasma e medidas de distâncias genéticas entre variedades e cultivares. A análise da seqüência de bases presta-se excelentemente para estudos de origem e filogenia de plantas cultivadas. Nesses casos, um gene específico (marcador) do genoma da planta é analisado e a comparação da seqüência das bases nitrogenadas desse gene, obtidas das diversas amostras (espécies, variedades ou cultivares), fornece as informações necessárias para os estudos filogenéticos.

Outra técnica de análise de fragmentos de restrição, que é a mais utilizada para avaliar afinidades genéticas entre linhagens de plantas cultivadas, é a análise de DNA microssatélite, que compara comprimentos de fragmentos contendo seqüências de até seis bases que se repetem em “tandem” (em rosário). Os marcadores microssatélites têm alto grau de polimorfismo, permitindo a comparação entre linhagens com grande proximidade genética.



A tabela abaixo mostra alguns exemplos de espécies de importância econômica e seus locais de origem:

REGIÃO	FAMÍLIA	EXEMPLOS
MEDITERRÂNEO/ ORIENTE MÉDIO	APIACEAE	Salsa (<i>Petroselinum crispum</i>) Cenoura (<i>Daucus carota</i>)
	ARECACEAE	Tâmara (<i>Phoenix spp.</i>)
	ASTERACEAE	Alcachofra (<i>Cynara scolymus</i>) Chicória, almeirão e escarola (<i>Cichorium intybus</i>) Alface (<i>Lactuca sativa</i>)
	BRASSICACEAE	Couve, mostarda, nabo (<i>Brassica oleracea</i>) Rabanete (<i>Raphanus sativus</i>)
	MALVACEAE	Algodão (<i>Gossypium spp.</i>)
	RUBIACEAE	Café (<i>Coffea arabica</i>)
	POACEAE	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)
	ÁSIA CENTRAL	CANNABACEAE
AMARANTHACEAE		Espinafre (<i>Spinacia oleracea</i>)
FABACEAE		Fava (<i>Vicia faba</i>) Lentilha (<i>Lens culinaris</i>)
LINACEAE		Linho (<i>Linum usitatissimum</i>)
MORACEAE		Amora (<i>Morus spp.</i>)
OLEACEAE		Azeitona (<i>Olea europaea</i>)
POACEAE		Centeio (<i>Secale cereale</i>) Cevada (<i>Hordeum vulgare</i>)
ANACARDIACEAE		Manga (<i>Mangifera indica</i>)
SUDOESTE ASIÁTICO	FABACEAE	Soja (<i>Glycine max</i>)
	RUTACEAE	Laranja (<i>Citrus</i>)
	MUSACEAE	Banana (<i>Musa paradisiaca</i>)
	POACEAE	Arroz (<i>Oryza sativa</i>) Cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)



REGIÃO	FAMÍLIA	EXEMPLOS
MÉXICO E AMÉRICA CENTRAL	CUCURBITACEAE	Abóbora (<i>Cucurbita pepo</i>)
	FABACEAE	Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)
	SOLANACEAE	Pimenta (<i>Capsicum</i> spp.) Tabaco (<i>Nicotiana tabacum</i>)
	POACEAE	Milho (<i>Zea mays</i>)
AMÉRICA DO SUL	EUPHORBIACEAE	Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>) Seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>)
	FABACEAE	Amendoim (<i>Arachis hypogaea</i>)
	MYRTACEAE	Goiaba (<i>Psidium guajava</i>) Jabuticaba (<i>Myrciaria cauliflora</i>)
	SOLANACEAE	Batata inglesa (<i>Solanum tuberosum</i>) Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)
	MALVACEAE	Cacau (<i>Theobroma cacao</i>)

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

LEWINGTON, A. 2003. Plants for People. Transworld Publishers, Londres, 304p.

SIMPSON, B.B. & OGORZALY, M.C. 2001. Economic Botany: Plants in our World. 3ª edição. McGraw-Hill, Nova Iorque, 529p.

Programa Panamericano de Defensa y Desarrollo de la Diversidad biológica, cultural y social - www.prodiversitas.bioetica.org.



17. CULTURA DE TECIDOS E SUAS APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS

Eny lochevet Segal Floh (enyfloh@ib.usp.br)

Este texto tem como objetivo apresentar conceitos básicos da cultura de tecidos vegetais, explicando de forma clara e concisa, as várias etapas do processo e suas aplicações como ferramenta biotecnológica.

Os primeiros seres vivos a serem clonados foram as plantas. Multiplicar plantas por meio de reprodução assexuada é relativamente simples e muito utilizado pelos agricultores. Um dos exemplos mais comuns é a estaquia onde um pedaço de caule ou folha, quando colocado em um meio adequado (terra, areia, água ou solução de sais), desenvolve raízes podendo ser transferido para a terra onde crescerá normalmente como a planta matriz. Vários tipos de plantas como as violetas, heras e gerânios podem ser propagadas mediante este método.

Com o avanço das técnicas de clonagem em plantas, hoje em dia é possível regenerar uma planta inteira a partir da **cultura de tecidos** e de células “in vitro” (Figura 1). Essa técnica biotecnológica compreende a cultura de explantes, que são fragmentos de tecidos ou órgãos vivos retirados de um organismo, neste caso de um vegetal. Esses explantes devem ser cultivados em condições assépticas e, em meios de cultura artificiais (contendo compostos como água, sais minerais, vitaminas, fonte de carbono e reguladores de crescimento), e mantidos em condições ambientais controladas (luz e temperatura). Quando em cultura, as células vegetais presentes nos explantes, podem seguir diferentes caminhos morfogênicos (Figura 1), dando origem a novos órgãos (raízes, brotos e flores), por meio de um processo denominado de **organogênese**, ou através da **embriogênese**, dando origem aos embriões somáticos, similares aqueles encontrados nas sementes (embriões zigóticos). Outro caminho possível a ser seguido pelo material em cultura é a formação de uma massa de células chamada de calo, que contém células pouco diferenciadas. O **calo**, ao ser manipulado, especialmente pelos reguladores de crescimento vegetais, pode manter-se como calo, ou dar origem às várias partes (órgãos) de uma planta ou ainda a embriões. Similarmente, para esta situação, os processos morfogênicos resultantes são denominados de: organogênese e embriogênese indireta, por terem passado por uma etapa intermediária de calo (Figura 1).

O princípio básico da cultura de tecidos vegetais está intimamente relacionado com a teoria da totipotencialidade formulada por Haberland, um fisiologista alemão que em 1902, propôs que cada célula vegetal possuía o potencial genético para produzir um organismo inteiro. A capacidade de proliferação celular e a capacidade de organizarem-se em tecidos, órgãos e plantas completas é denominado de **totipotencialidade**. Teoricamente, todas as células vegetais possuem a capacidade de manifestar esta totipotencialidade quando submetidas às condições de estímulo adequado. Os explantes são constituídos por diferentes tipos de células, as quais possuem diferentes competências. A **competência** é definida como a habilidade de uma célula ou grupo de células de responder a um estímulo indutivo (que podem ser os reguladores de crescimento), visando a um processo específico de desenvolvimento. Assim, dependendo do estímulo fornecido, as células competentes serão determinadas para diferentes vias de desenvolvimento e diferenciação, ou seja: formação de calos, organogênese ou embriogênese. A capacidade observada nas células vegetais, de retorno para um estágio pouco diferenciado, por muitos chamados de indiferenciado ou

desdiferenciado, e a possibilidade de re-diferenciação originando um novo tecido, órgão e mesmo um indivíduo completo, têm sido um desafio para os pesquisadores que trabalham na área animal, especialmente nas pesquisas com células tronco. Os caminhos da totipotencialidade, em células animais, ainda constituem um desafio com muito a ser estudado e investigado.

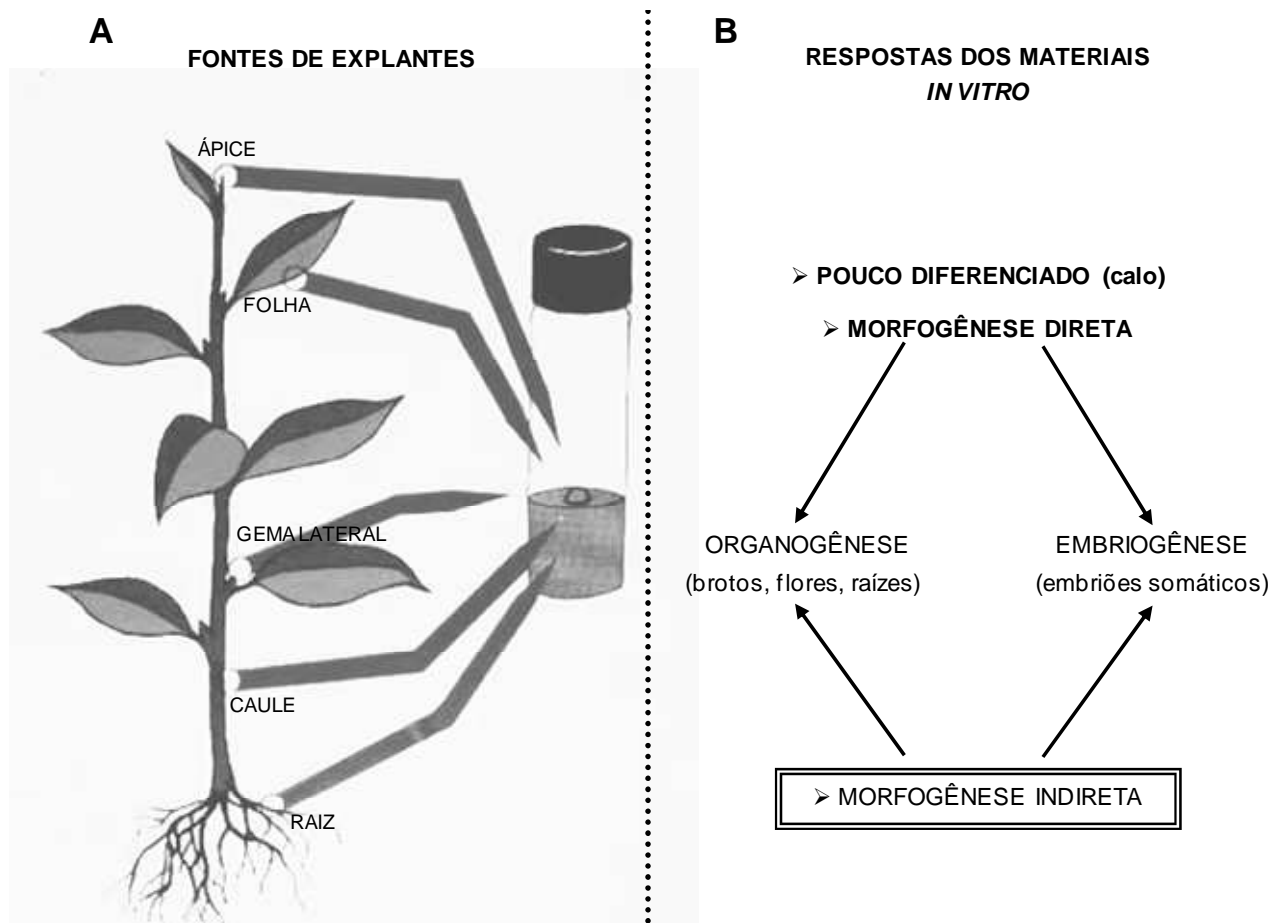


Figura 1 – Fontes de explantes (A) e respostas de materiais cultivados “in vitro” (B)

A **biotecnologia** envolve a manipulação de processos biológicos para a obtenção de produtos úteis. A biotecnologia moderna explora grande parte do conhecimento proveniente dos estudos de DNA recombinante, selecionando características de interesse e eliminando as não desejáveis. Os resultados obtidos pela biotecnologia de plantas têm reflexos na agricultura, na indústria alimentícia, nos consumidores, e, sobretudo, no meio ambiente. Por exemplo, pode-se alcançar a produção de plantas que necessitam menores quantidades de pesticidas, fertilizantes e água, ou a produção de plantas com melhor qualidade de armazenamento e processamento e melhores qualidades nutricionais. Na biotecnologia vegetal, o domínio da cultura “in vitro” (ou cultura de tecidos) de plantas tem uma importância crucial, em especial para a micropropagação e o melhoramento genético. Dentre outras áreas de aplicação da cultura de tecidos destacam-se: **conservação de germoplasma**, visando a conservação de recursos genéticos, e a **produção de metabólitos secundários** (Figura 2).

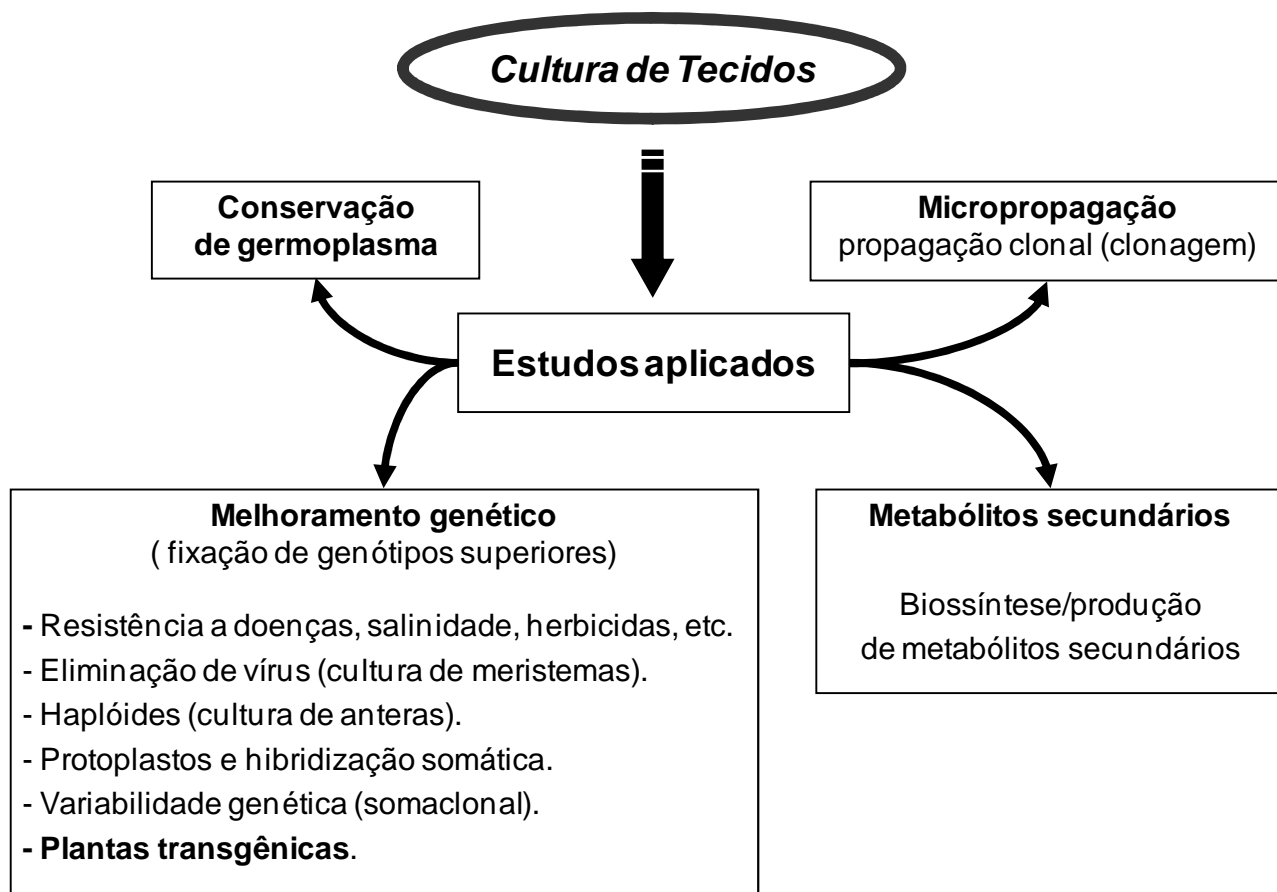


Figura 2 – Aplicações da técnica de cultura de tecidos de plantas

A **micropropagação, propagação clonal** ou **clonagem** (Figura 2), considerados como tendo o mesmo significado, constituem os processos de propagação vegetativa na cultura de tecidos vegetais, onde uma planta pode ser dividida em milhares de células, cada uma com o potencial de se desenvolver em uma nova planta geneticamente idêntica à original. Neste contexto insere-se o conceito de clone, que constitui um conjunto geneticamente uniforme de indivíduos, derivados originalmente de um indivíduo simples por reprodução assexuada.

O maior benefício da cultura de tecidos vegetais para o melhoramento genético de plantas perenes refere-se à possibilidade de capturar e fixar componentes aditivos e não aditivos da variância genética mediante a propagação clonal, podendo ser assim utilizadas para a propagação em massa de genótipos superiores. Esta tecnologia permite propagar em larga escala plantas de qualidade superior (milhares ou mesmo bilhões) sem destruir a planta-mãe; obter plantas de fácil transporte para diversos países, sem a introdução de novas doenças ou ainda, recuperar espécies em vias de extinção. As potencialidades da cultura de células vegetais têm sido utilizadas para originar variantes somaclonais permitindo a obtenção de indivíduos resistentes a fatores de estresses, bióticos e abióticos, ou com características melhoradas (por exemplo: aumento da produção de açúcar na cana-de-açúcar; resistência ao fungo *Fusarium* em tomateiro, etc.). Estas técnicas permitem também, a regeneração de indivíduos provenientes de cruzamentos com pouca viabilidade pelos métodos tradicionais, a obtenção de híbridos somáticos, a obtenção de mutantes induzidos por aplicação de agentes químicos e/ou físicos, ou ainda, a introdução de determinadas



características de interesse em variedades elites, sem interferir no resto do genoma. Neste último caso são utilizadas técnicas de engenharia genética, que quando associadas às técnicas de cultivo “in vitro”, permitem a obtenção de plantas transgênicas. Adicionalmente, pode-se produzir e multiplicar materiais “in vitro”, produzindo coleções ou bancos de germoplasmas, constituídos por materiais que podem ser trocados e armazenados. A **criopreservação**, ou seja, a conservação por um longo período mediante técnicas de congelamento de células em baixas temperaturas (-196°C) em nitrogênio líquido, veio solucionar a grande dificuldade de conservação de estoques de material vivo para os cultivos posteriores, e a conservação de recursos genéticos vegetais de germoplasmas. Desta maneira, atualmente existem bancos de germoplasmas que estocam materiais de propagação vegetativa e de espécies com sementes recalcitrantes.

Todas as formas de melhoramento de plantas envolvem seleção. A seleção freqüentemente visa maiores ganhos em produtividade, qualidade e diversidade das plantas exploradas. Plantas cultivadas para a utilização alimentar são mais sensíveis aos estresses ambientais quando comparadas com as selvagens, pois freqüentemente foram selecionadas para uma determinada característica. Os princípios estabelecidos por Mendel, no século XIX, fundamentaram o melhoramento convencional por cruzamentos e seleção, onde os progenitores são cruzados para permitir a obtenção de uma descendência com características selecionadas melhoradas.

Por séculos a humanidade realizou o melhoramento de culturas agrícolas por meio do cultivo selecionado e da polinização controlada de plantas. A biotecnologia vegetal moderna é uma extensão desse melhoramento tradicional de plantas, com uma diferença importante: ela permite a transferência de uma maior variedade de informações genéticas de forma precisa e controlada. Diferentemente do melhoramento tradicional, que envolve o cruzamento de centenas de genes, a biotecnologia vegetal de hoje permite a transferência de apenas um ou poucos genes desejáveis. Esta situação permite com que os melhoristas vegetais desenvolvam culturas com características benéficas específicas, sem as indesejáveis, como aquelas que reduzem a produtividade. É fundamental, entretanto, que exista um controle rigoroso da qualidade e segurança desses produtos para o consumo pela população e para o meio ambiente. Os conhecimentos adquiridos relativos à polinização cruzada, combinados com métodos cada vez mais sofisticados de detecção das características de interesse, permitiram acelerar esse processo.

A **clonagem** permite criar, por exemplo, florestas de eucaliptos geneticamente idênticos e com características genéticas mais vantajosas, e assim obter plantas com qualidade superior de madeira e de crescimento. Da mesma maneira, podem ser obtidas plantações de árvores frutíferas clonadas a partir de uma original, excelente produtora de frutos saborosos e resistentes às variações climáticas. Porém, se por um lado a plantação de clones aumenta a produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas, por outro devemos tomar cuidado com essa uniformidade genética. Quando alguma praga atacar essa plantação, se uma planta for susceptível a essa praga, todas serão, já que são geneticamente idênticas e, dessa forma, a plantação inteira será destruída.

Em uma plantação natural, existe uma variabilidade onde nem todas as plantas são excelentes para uma característica como produção, mas, também, nem todas serão suscetíveis àquela praga. Assim, as mais resistentes sobreviverão, e a partir delas poderemos reconstituir a plantação. Por isso, é fundamental



que a clonagem seja utilizada de forma controlada, para que a diversidade genética de cada espécie de plantas não seja diminuída. Afinal de contas, quem somos nós para saber quais indivíduos são mais merecedores de serem propagados? Que genes interessantes estão contidos em uma planta de qualidade aparentemente inferior? Nossos critérios de seleção são muito limitados, e a diversidade genética constitui patrimônio único da humanidade.

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

- GUERRA, M.P. & NODARI, N.O. 2008. Apostila de Biotecnologia – Introdução ao conceito de Biotecnologia – Laboratório de Fisiologia do Desenvolvimento e Genética Vegetal- Universidade Federal de Santa Catarina. (<http://www.cca.ufsc.br/lfdgv/Apostila.htm>)
- HANDRO, W. & FLOH, E.I.S. 1990. Aspectos básicos do controle da morfogênese *in vitro*. In: Torres, A.C. & Caldas, L.S. (eds.). Técnicas e Aplicações da Cultura de Tecidos de Plantas. Brasília: ABCTP/EMBRAPA-CNPH; pp. 203-212.
- STEINER, N; SANTA-CATARINA, C.; ANDRADE, J.B.R.; BALBUENA, T.S.; GUERRA, M.P; HANDRO, W.; FLOH, E.I.S. & SILVEIRA, V. 2008. *Araucaria angustifolia* Biotechnology – Review. Functional Plant Science and Biotechnology 2 (1): 20-28.
- TORRES, A.C.; CALDAS, L.S. & BUZZO, J. 1999. Cultura de Tecidos e Transformação Genética em Plantas vol. 1 e 2. Brasília – EMBRAPA, 864p.



18. GENÔMICA E PLANTAS TRANSGÊNICAS

Maria Magdalena Rossi (magda1708@yahoo.com)

Douglas Silva Domingues (doug@ib.usp.br)

Um pouco de História: de Darwin ao Dogma Central da Biologia Molecular

Desde meados do século XX os conhecimentos da biologia têm revolucionado a vida de nossa civilização, principalmente nas áreas de alimentação e saúde. Estes novos conceitos, que deram origem a uma nova área da biologia e que hoje recebe diversos nomes (biologia molecular, genética molecular, tecnologia do DNA recombinante, engenharia genética), permitiram o surgimento de tecnologias que levaram ao desenvolvimento de medicamentos em escala industrial (por exemplo, vacinas e antibióticos), salvando milhares de vidas e erradicando epidemias que assolaram a humanidade, como a varíola e a paralisia infantil. Outro exemplo desse avanço na área médica é a produção de insulina comercial a partir de bactérias modificadas geneticamente. Ao mesmo tempo, a produção agropecuária também ganhou poderosas ferramentas que permitem acelerar o processo de melhoramento genético de espécies de interesse econômico a fim de aumentar a produtividade, melhorar a qualidade nutricional e diminuir o impacto ambiental.

Essa revolução na biologia foi possível a partir do descobrimento da **estrutura do DNA** por Watson e Crick em 1953, mas, para chegar a isso estes dois pesquisadores se basearam no conhecimento colhido ao longo de muitos anos por outros tantos valiosos cientistas. Tudo começou com Charles Darwin, naturalista inglês, que em 1859 publicou seu famoso livro, A origem das espécies. Nesse livro ele propôs o conceito de **seleção natural** como um princípio pelo qual qualquer pequena variação num organismo, se for útil, será preservada ao longo das próximas gerações. Contemporaneamente, Gregor Mendel estabeleceu as **leis da herança**. Realizando cruzamentos entre ervilhas de semente lisa e rugosa (Figura 1), verificou que a primeira geração (F1) apresentava o caráter (**fenótipo**) de um dos parentais. Esse caráter foi chamado de dominante, enquanto o vindo do outro parental, de recessivo. A partir dessa observação, foram postuladas algumas conclusões:

- Os caracteres são controlados por um par de fatores particulados (posteriormente chamados de **genes**), um proveniente da mãe e outro do pai.
- Nas linhagens parentais, os dois fatores do par ocorrem na mesma versão (posteriormente as diferentes versões foram chamadas de **alelos**) e se separam no momento da formação dos gametas. Na geração F1 ocorre a combinação de ambos os alelos parentais.
- Indivíduos com o mesmo fenótipo podem ter diferentes combinações de fatores (**genótipo**).
- O termo **homozigoto** refere-se ao par gênico que possui o mesmo alelo no gene proveniente da mãe e do pai.
- O termo **heterozigoto** refere-se ao par gênico que possui diferentes alelos.
- A reaparição do fenótipo recessivo na segunda geração (F2) indica que ambos os alelos são transmitidos de maneira independente durante a formação dos gametas.

Por algum tempo, os experimentos de Mendel caíram no esquecimento da comunidade científica preocupada em determinar a natureza química do material que continha a informação genética. Em 1871 foi



descoberta a composição dos ácidos nucléicos: o **DNA**, composto por desoxirribonucleotídeos (cada nucleotídeo composto por um fosfato, um açúcar do tipo desoxirribose e uma base nitrogenada), e o **RNA** composto por ribonucleotídeos (cada um composto por um fosfato, uma ribose e uma base nitrogenada).

Sutton e Boveri, em 1903, enunciaram a **Teoria Cromossômica da Herança**, que propunha: 1) que os fatores particulados de Mendel ocorriam nos cromossomos, 2) que estes últimos eram transmitidos sistematicamente de uma geração para outra e 3) que cada par de cromossomos homólogos (morfologicamente similares) se separava durante a meiose de maneira que cada gameta recebia apenas um dos cromossomos do par.

Em 1909, Janssens propôs o termo **genes** para se referir aos fatores particulados de Mendel. Ele propôs, ainda, que os mesmos deveriam codificar toda a informação necessária para o crescimento, desenvolvimento, estrutura e reprodução dos organismos, e ter uma replicação precisa para garantir a mesma informação na descendência, mas, ao mesmo tempo, deveriam ter a capacidade de variar para permitir as mudanças e adaptações evidenciadas pela teoria da evolução de Darwin. Estava dado o primeiro passo que ligava a seleção natural à herança.

A primeira vez que foi associado um gene a uma proteína foi em 1909, quando Garrod estudou uma doença rara que causa uma mudança na cor da urina, conhecida como síndrome da fralda preta, ou alcaptonúria. Essa doença era atribuída à mudança em uma enzima, os indivíduos acometidos por ela não eram capazes de converter o aminoácido fenilalanina em tirosina. Garrod estabeleceu a genealogia de famílias que tinham essa doença, e inferiu que o gene selvagem (normal) era responsável pela produção da enzima funcional enquanto que no indivíduo homocigoto mutante essa enzima estava ausente.

Até então, a teoria mais aceita na comunidade científica colocava as **proteínas** como responsáveis pela transferência de informação de uma geração para outra, no entanto, os experimentos de Griffith, em 1928, e de Avery, McLeod e McCarty, em 1944, mostraram um panorama diferente. Griffith observou que uma cepa de bactérias virulentas, quando injetadas num camundongo levavam a morte, mas perdiam sua virulência quando eram mortas por calor. Mas, quando o macerado dessas bactérias mortas era misturado a bactérias não-virulentas, estas se tornavam virulentas. A conclusão foi que a informação genética das bactérias virulentas resistia ao calor e era transferida para as não virulentas. Posteriormente, Avery, McLeod e McCarty demonstraram que quando o extrato das bactérias mortas por calor era tratado com uma enzima que degradava DNA (desoxirribonuclease) este perdia a capacidade de transformar as bactérias não-virulentas em virulentas. Desta maneira, foi demonstrado que a informação genética estava contida no DNA.

Um descobrimento que foi determinante para desvendar a estrutura do DNA foi a regra enunciada por Chargaff, que em 1949 observou que embora a proporção de cada base nitrogenada varie de uma espécie para outra, independentemente da fonte de DNA a quantidade de adenina era sempre igual à de timina ($A=T$) e a de guanina sempre igual à de citosina ($G=C$). Foi finalmente em 1953 que Francis Crick e James Watson interpretaram dados de difração de raios X e conseguiram desvendar a estrutura do DNA, uma **dupla fita antiparalela**, unida por ligações de hidrogênio, onde estão emparelhadas as bases nitrogenadas, sempre A com T e G com C, respeitando assim a regra de Chargaff (Figura 2).

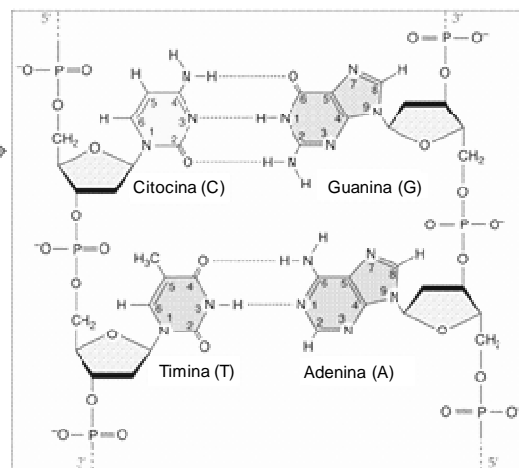
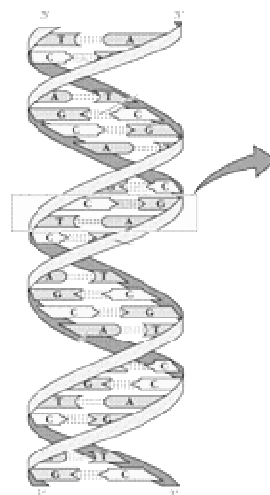
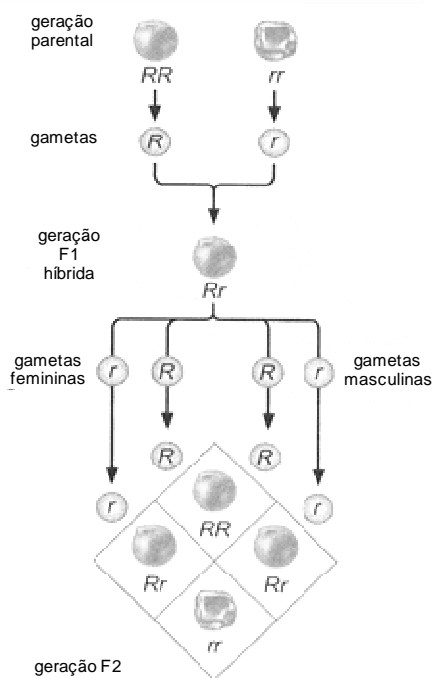


Figura 2. Estrutura da molécula de DNA: dupla hélice antiparalela. Modificada de Buchanan et al. (2000).

Figura 1. Primeira lei da herança descrita por Mendel. Modificada de Buchanan et al. (2000).

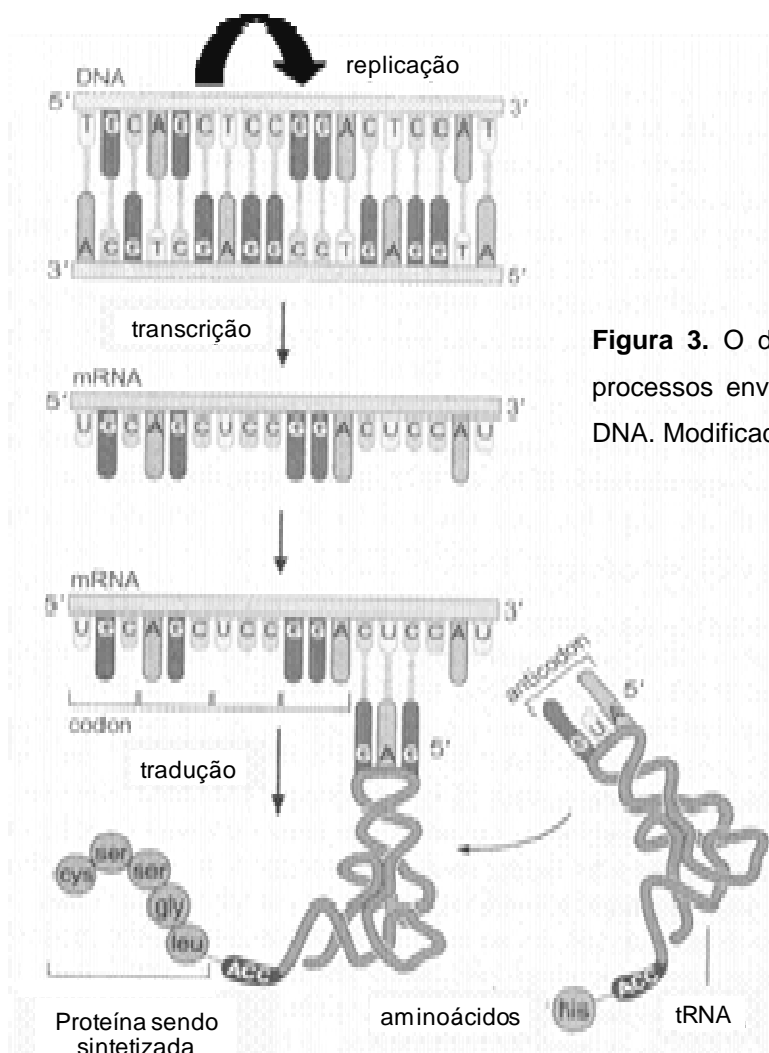


Figura 3. O dogma central da biologia desvendado: os processos envolvidos no fluxo da informação contida no DNA. Modificada de Watson et al.(2004).



Pois bem, sabia-se que a informação genética estava contida no DNA, mas, como essa informação era transferida para obter as proteínas que eram as moléculas que executavam as funções estruturais e catabólicas? Algumas evidências sobre a localização citoplasmática do RNA levaram Francis Crick a propor, em 1956, o **dogma central** da biologia que descreve o fluxo da informação desde o DNA até as proteínas utilizando o RNA como molécula intermediária. Surgia então uma nova corrida para revelar os processos pelos quais: 1) o DNA se duplicava para garantir a transferência de uma cópia para a célula filha; 2) a informação nele contida era transformada em RNA; e finalmente, 3) a informação do RNA era convertida em proteínas executoras.

Kornberg, em 1958, caracterizou a enzima responsável pela síntese de DNA, e a chamou de DNA polimerase. Demonstrou que a enzima era capaz de catalisar a síntese de DNA unindo desoxirribonucleotídeos por meio de ligações fosfodiésteres entre os extremos 3' do primeiro e 5' do seguinte, atuando unicamente na presença de DNA, e que a molécula produto tinha a mesma proporção A+T/C+G que o substrato. No mesmo ano, Meselson e Stahl revelaram que a replicação do DNA era semiconservativa, de maneira que, durante o processo, a dupla fita era aberta e a cópia de cada uma delas resultava em duas duplas fitas, cada uma contendo uma fita parental e outra recém sintetizada. Em 1960, Hurwitz e Weiss caracterizaram a RNA polimerase. Essa enzima atuava somente na presença de DNA; unia ribonucleotídeos (ATP, GTP, CTP e UTP) mediante ligações fosfodiésteres sintetizando a nova fita no sentido 5'→3'; durante a transcrição, só uma das fitas era utilizada como molde e, em bactérias, a mesma enzima sintetiza o RNA ribossomal (rRNA), o RNA de transporte (tRNA) e o RNA mensageiro (mRNA) a partir de diferentes segmentos do genoma.

Finalmente, em 1961 com o descobrimento do **código genético** por Nirenberg e Matthaei, e conhecendo a existência do tRNA e dos ribossomos, foi possível completar o dogma central da biologia com os três processos: **replicação**, **transcrição** e **tradução** (Figura 3). Assim, hoje podemos dizer que a pequena variação útil num organismo, à qual se referia Darwin, não era outra coisa que uma nova variante gênica (diferença na seqüência de nucleotídeos) responsável em codificar uma proteína com uma seqüência de aminoácidos diferente, cuja função permite uma maior adaptação desse organismo ao ambiente. Da mesma maneira, os alelos R e r de Mendel se referiam às duas variantes alélicas do mesmo gene que determinam duas proteínas estruturais diferentes que dão às sementes a textura lisa ou rugosa.

O genoma e o gene eucarioto

Chamamos de **genoma** ao conjunto de material genético que, no caso de uma célula eucariota, está contido em seu núcleo. Ao contrário do que se pensava, com o advento do seqüenciamento de DNA em grande escala (**genômica**), foi possível verificar que grande parte do genoma dos organismos está formada por seqüências que não codificam proteínas. Estas regiões contêm seqüências repetitivas e seqüências de DNA que se mobilizam no genoma, que em organismos mais complexos podem representar entre 45%, como é o caso de humanos, a 80%, como no milho, de todo o material genético. A função dessas seqüências é ainda desconhecida e foram chamadas, por muito tempo, de **DNA lixo**, mas já foi demonstrado o papel fundamental que elas ocupam na dinâmica evolutiva dos organismos. Portanto, nem todo o DNA de uma célula é expresso (transcrito). Mais ainda, embora o DNA seja exatamente o mesmo em cada célula de um mesmo organismo, os genes que serão expressos em cada tecido/célula ou condição



fisiológica serão diferentes, permitindo assim a diferenciação de funções e respostas a fatores bióticos e abióticos.

Define-se gene como uma seqüência de DNA, um fragmento do genoma, que codifica para um produto difusível. Não é correto falar de uma seqüência que codifica para uma proteína já que os fragmentos de DNA que codificam para os rRNAs (RNAs ribossomais) e os tRNAs (RNAs de transferência) são considerados genes embora não resultem em produtos protéicos. Além da região codificante, que dará origem ao produto ativo, seja proteína ou RNA, um **gene eucarioto** possui diversas outras regiões que são responsáveis pela regulação do mesmo (Figura 4). Na região 5' do gene se encontra o **promotor**, esta unidade funcional pode variar entre 1 a 10 Kb e vai determinar quando esse gene será transcrito. O promotor possui alguns domínios conservados como são o TATA "Box" e CAAT "Box", fundamentais para recrutar a maquinaria transcricional (complexo da RNA polimerase). O RNA mensageiro (mRNA) primário começará no início de transcrição e acabará no final da transcrição, e contém éxons e íntrons. Assim que termina a transcrição, o mRNA sofrerá algumas modificações para protegê-lo da degradação. Uma metilguanossina será unida ao extremo 5' (CAP) e uma cauda de poliadeninas ao extremo 3'. Posteriormente, ainda no núcleo, os íntrons serão removidos (processo chamado de "splicing") dando origem ao mRNA maduro, o qual irá para o citoplasma onde será traduzido pelos ribossomos em uma proteína. A região 5' não traduzida do mRNA contém as seqüências que serão reconhecidas pelos ribossomos. O primeiro aminoácido da cadeia peptídica será incorporado quando o ribossomo achar a seqüência ATG que corresponde ao aminoácido metionina. A tradução prosseguirá até o ribossomo achar um códon de parada: TGA, TAA ou TAG.

Genômica

A genômica, estudo da estrutura e funcionamento do genoma de um organismo, surgiu em 1995 quando foram descritos os primeiros genomas totalmente seqüenciados: o de *Haemophilus influenzae* (bactéria que provoca meningites, septicemias, infecções do ouvido médio, celulite e pneumonia) e *Mycoplasma genitalium* (bactéria parasítica que causa doença inflamatória pélvica). Desde então, mais de 180 genomas têm sido seqüenciados incluindo bactérias (a grande maioria), insetos, animais e plantas. Em particular, as espécies vegetais que possuem os seus genomas totalmente seqüenciados são: *Arabidopsis thaliana* (planta modelo para a fisiologia vegetal), *Oryza sativa* (arroz), *Populus trichocarpa* (álamo, uma arbórea), *Sorghum bicolor* (sorgo), *Medicago trunculata* (alfafa) e *Zea mays* (milho) (Tabela 1).

Em lugar do seqüenciamento completo do genoma (todo o DNA do núcleo), em diversos casos, especialmente para espécies com genomas muito grandes, se opta pelo seqüenciamento do transcriptoma (ou, do inglês, ESTs, "Expressed Sequence Tags"), ou seja, unicamente das regiões codificantes, evitando assim o seqüenciamento das regiões repetitivas e elementos móveis. Neste caso o mRNA é extraído e são feitas cópias de DNA de cada mensageiro (cDNA) e essas cópias são então seqüenciadas. Desta forma se conhece a seqüência das regiões codificantes de todos os genes expressos da espécie no tecido e nas condições nas quais foi isolado o mRNA.

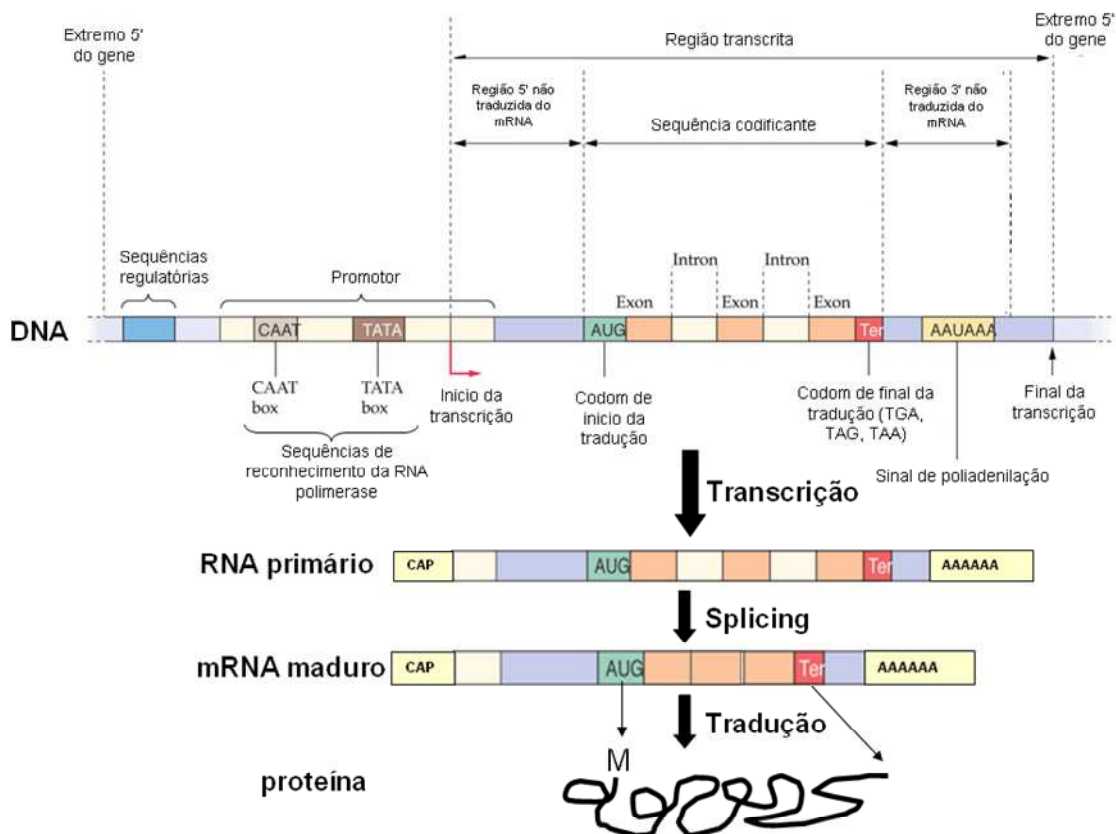


Figura 4. Estrutura representativa do gene eucariótico. Modificada de Buchanan et al. (2000).

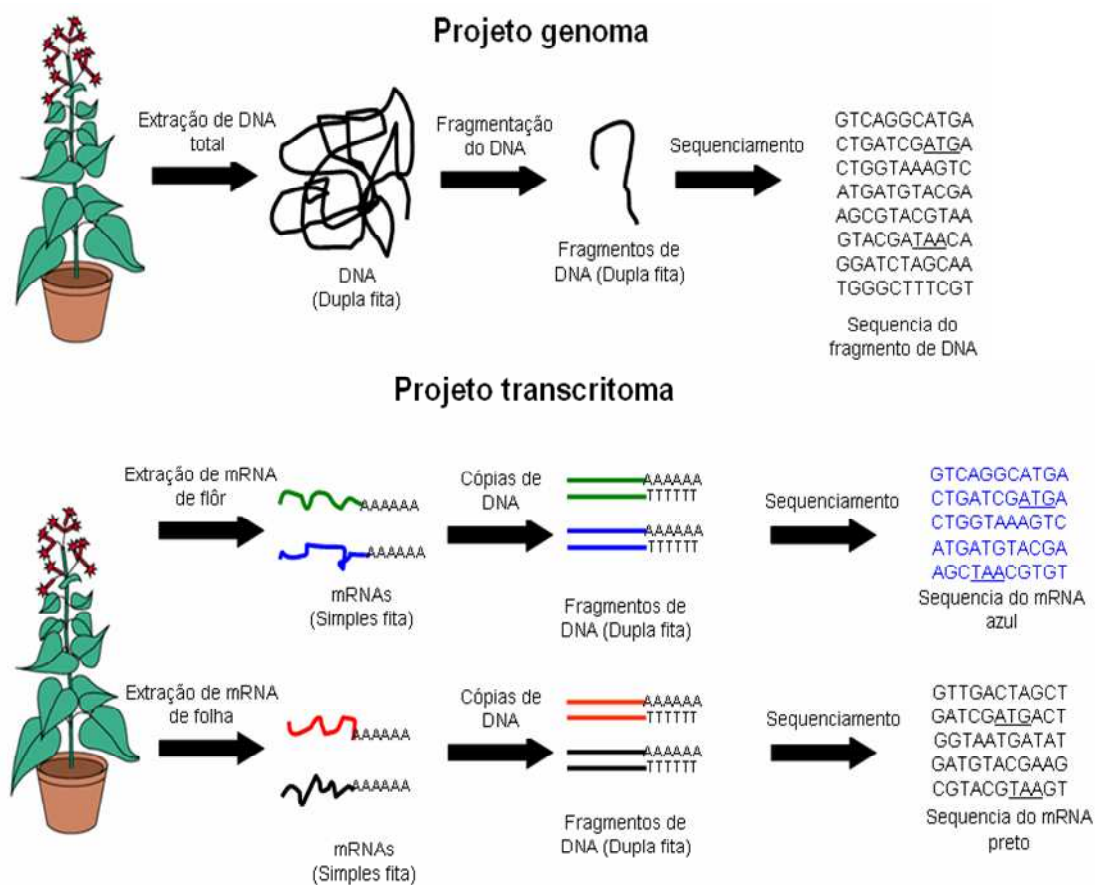


Figura 5. Diferentes estratégias para o seqüenciamento de genes.

**Tabela 1.** Genomas vegetais totalmente seqüenciados (Mb = mega pares de pares).

Espécie	Número de cromossomos	Tamanho do genoma
<i>Arabidopsis thaliana</i>	5	125 Mb
<i>Oryza sativa</i>	12	430 Mb
<i>Populus trichocarpa</i>	19	550 Mb
<i>Sorghum bicolor</i>	10	770 Mb
<i>Medicago trunculata</i>	8	500 Mb
<i>Zea mays</i>	10	2.500 Mb

A informação gerada pelos projetos de seqüenciamento sejam genomas completos ou transcriptomas (Figura 5), assim como o desenvolvimento de novas ferramentas de análise, estão causando alterações profundas na maneira de estudar a biologia vegetal. A genômica teve impacto profundo no melhoramento genético de plantas economicamente importantes e na preservação ecológica e ambiental. Uma destas mudanças é a utilização da genética reversa cada vez mais comum. Ao contrário do que historicamente acontecia, onde primeiramente era caracterizado um fenótipo (característica externa) e posteriormente o gene responsável, a genética reversa propõe a utilização da seqüência gênica para identificar, posteriormente, a função que o seu produto possui. A partir da seqüência completa do genoma de um organismo é possível, por meio da genética reversa, conhecer de forma massiva a função dos genes por ela codificados, **genômica funcional**. Por outro lado, comparando dados de seqüenciamento de diferentes espécies ou variedades é possível avaliar as diferenças de maneira a obter informações sobre os processos envolvidos na diferenciação das espécies e evolução dos genomas, este tipo de análise é chamada de **genômica comparativa**.

Transformação genética vegetal via *Agrobacterium tumefaciens*

O ponto de partida para o desenvolvimento da primeira técnica de transformação genética vegetal foram os estudos de Marc Van Montagu, biólogo belga, que descobriu o mecanismo de transferência de genes entre a bactéria *Agrobacterium tumefaciens* (patógena de plantas) e a célula vegetal. Esta bactéria infecta as células vegetais formando um tumor e produzindo a doença chamada galha de coroa. Para a agrobactéria entrar, a planta precisa ter uma lesão. Como parte do mecanismo de defesa da planta, o tecido lesionado libera compostos fenólicos que são percebidos pela bactéria por meio de um receptor formado pelas proteínas VirA e VirG. Esse receptor estimulado irá induzir a expressão de uma série de genes (outros genes Vir) localizados no plasmídeo pTi (molécula circular de DNA, independente do genoma bacteriano). Os produtos protéicos dos genes Vir farão uma cópia do fragmento chamado T-DNA do plasmídeo, e conduzirão o T-DNA até a célula vegetal onde finalmente será integrado no genoma da planta. Uma vez lá, os genes contidos no T-DNA serão expressos e começará o crescimento do tumor. Mas, que genes são os que a bactéria transfere para o genoma vegetal? O T-DNA contém dois tipos de genes: 1) genes que codificam enzimas envolvidas na biossíntese de hormônios vegetais (citocininas e auxinas), como consequência do desbalanço hormonal, as células transformadas proliferam desordenadamente formando o tumor; e 2) genes que codificam para enzimas da rota biossintética de opinas, moléculas semelhantes a aminoácidos que são a fonte de carbono e nitrogênio para a agrobactéria. Então, por um lado, a bactéria faz a célula vegetal produzir seu alimento e por outro induz a proliferação das células escravizadas (Figura 6).

Transferência do T-DNA

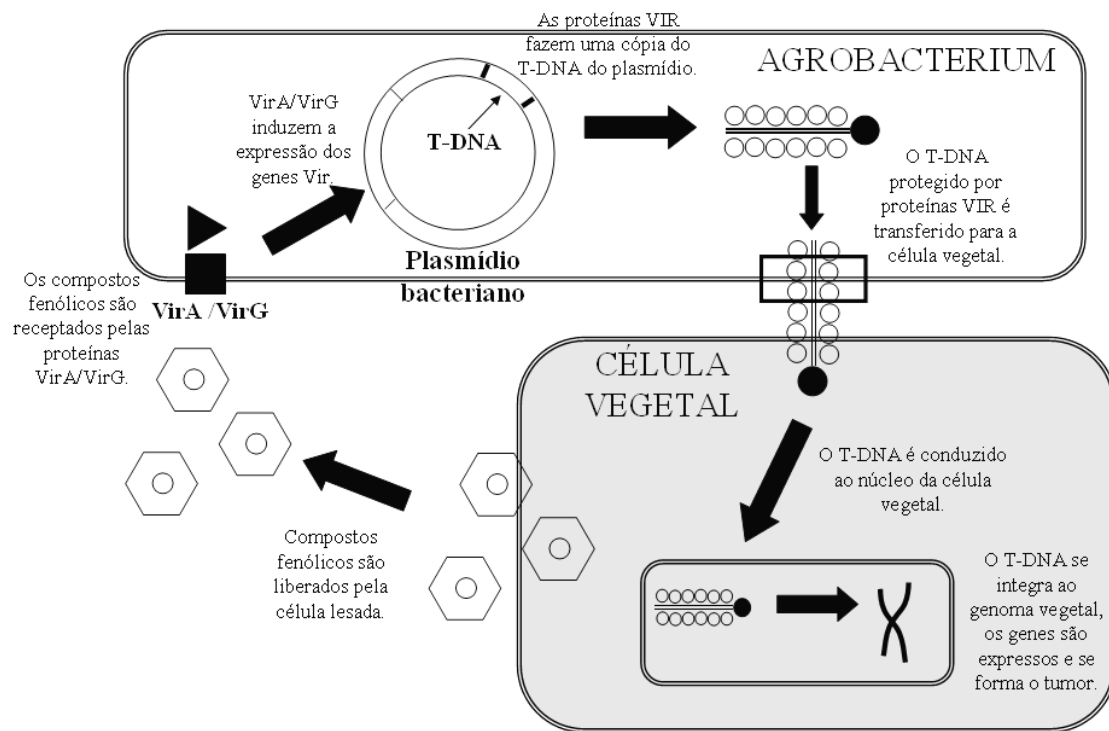


Figura 6. Esquema representativo do mecanismo de transformação genética via *Agrobacterium tumefaciens*.

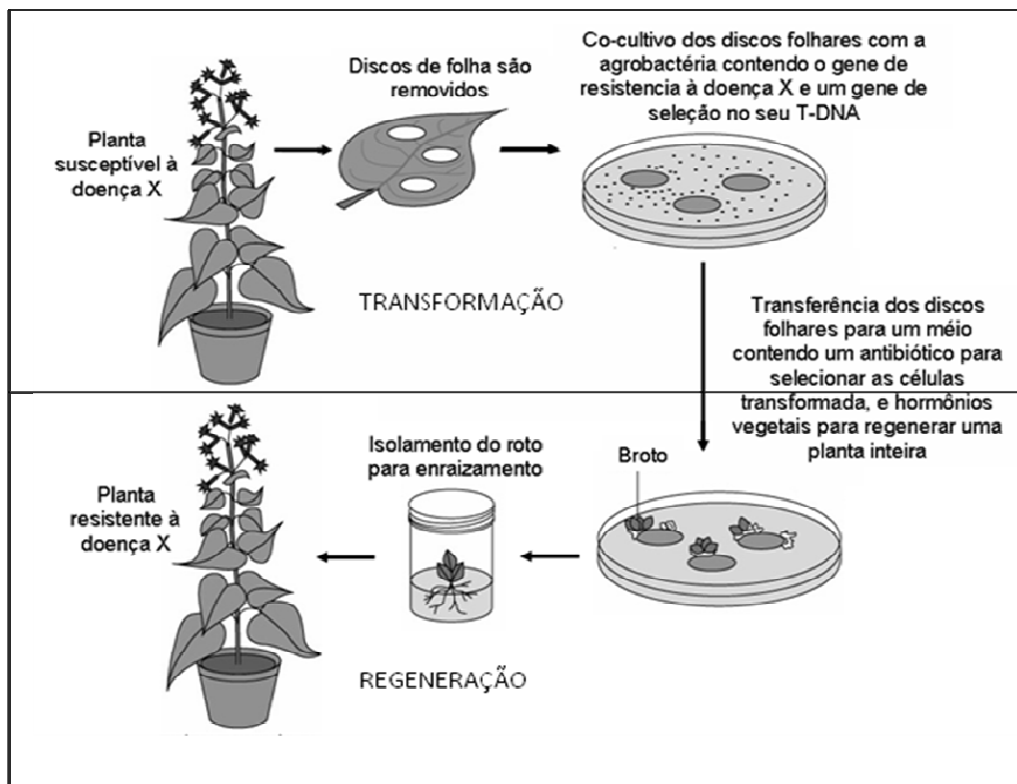


Figura 7. Obtenção de uma planta transgênica via *Agrobacterium tumefaciens*.



Quando este mecanismo natural de transformação genética foi descoberto, imediatamente surgiu a idéia de utilizá-lo para introduzir genes de interesse nas plantas, modificando apenas o conteúdo do T-DNA. Já tínhamos então uma maneira de introduzir um gene de interesse numa célula vegetal, mas a incógnita ainda era como reconstruir uma planta transgênica normal a partir dessa transformada? A resposta para este ponto já estava formulada, uma vez que já há muito tempo vinha-se trabalhando em cultura de tecidos e era conhecida a totipotencialidade das células vegetais: já se sabia como regenerar plantas modelo a partir de uma única célula. Desta maneira, surgiram as primeiras plantas transgênicas de fumo que expressavam uma proteína que conferia resistência a um antibiótico que mata células vegetais. Resumindo, para obter uma planta transgênica é necessário modificar o plasmídeo pTi de maneira a: 1) manter os genes Vir intactos, para garantir a transferência do T-DNA para a célula vegetal; 2) retirar do T-DNA os genes de síntese de opinas e hormônios vegetais; 3) colocar no T-DNA um gene que codifique uma proteína de resistência a um antibiótico que permita deixar vivas unicamente as células vegetais que tenham sido transformadas; e 4) incorporar ao T-DNA o gene de interesse. Por outro lado, é necessário conhecer um protocolo que permita regenerar uma planta inteira a partir de uma única célula transformada da espécie de interesse (Figura 7).

A tecnologia dos transgênicos é uma poderosa ferramenta, hoje essencial para o avanço do conhecimento nas mais diversas áreas da biologia. Em particular, a obtenção de plantas transgênicas está revolucionando a produção agrícola mundial, permitindo o aumento da produção sem necessariamente aumentar a área cultivada, melhorando a qualidade nutricional e industrial e reduzindo a necessidade de aplicação de pesticidas, reduzindo assim o impacto ambiental.

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

- LEWIN, 2004. Genes VIII. Pearson Education Inc., Nova Iorque, 1027p.
- MIR, L. 2004. Genômica. Editora Atheneu, São Paulo, 1114p.
- WATSON, J.D.; BAKER, T.A.; BELL, S.P.; GANN, A.; LEVINE, M. & LOSICK, R. 2004. Molecular Biology of the Gene. Pearson Education Inc, São Francisco, 732p.
- BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W. & JONES, R.L. 2000. Biochemistry and Molecular Biology of Plants. American Society of Plant Physiologists, Rockville, 1367p.
- WATSON, J.D. 2005. DNA: o Segredo da Vida. Companhia das Letras, São Paulo, 470p.
- MARINO, C.L. 2006. Melhoramento Genético de Plantas e os Transgênicos. *Genética na Escola*: 1 (2), p. 75-78.



19. DESCOBRINDO GENES

Maria Magdalena Rossi (magda1708@yahoo.com)

Douglas Silva Domingues (doug@ib.usp.br)

Podemos ter dois tipos de Projetos Genoma:

- 1) Projeto genoma propriamente dito, ou seja, quando o genoma completo é seqüenciado.
- 2) Projeto transcriptoma, quando unicamente são seqüenciadas cópias dos mRNA (transcritos) expressos.

Veremos agora alguns detalhes técnicos de cada caso.

No primeiro caso, se parte de DNA total extraído de qualquer tecido do organismo. Esse DNA é fragmentado e cada fragmento seqüenciado. Sobrepondo as seqüências dos diferentes fragmentos, processo que se denomina **montagem**, é obtida a seqüência total do genoma. Finalmente, a seqüência é analisada, **anotação**, para descobrir os genes nela codificados, procurando o início e o término da tradução (Figura 5 - capítulo 18).

Para realizar um projeto transcriptoma, o ponto de partida é o mRNA extraído de um tecido particular numa condição fisiológica determinada. Esse mRNA é copiado numa molécula de DNA dupla fita que posteriormente será seqüenciada. Cada mRNA produzirá uma seqüência diferente e não temos conhecimento a respeito da ordem em que os diferentes genes estão distribuídos no genoma. A seqüência de cada mRNA é analisada separadamente, **anotação**, procurando o início e o término da tradução para conhecer a proteína codificada (Figura 5 - capítulo 18).

Para conhecer a possível função das proteínas identificadas (para qualquer um dos casos), a seqüência de aminoácidos é comparada com a seqüência de proteínas previamente descritas e disponíveis em bancos de dados. Quando uma seqüência é semelhante (homóloga) à seqüência de uma proteína de função conhecida, é possível assumir que a nova proteína identificada possui uma função também semelhante. Se a proteína identificada não possui homologia com nenhuma proteína conhecida até então, não é possível ter evidências da função que ela desenvolve a partir unicamente da seqüência obtida.

JOGO PARA COMPREENDER COMO DESENVOLVER UM PROJETO GENOMA E COMO DECODIFICAR A INFORMAÇÃO PRODUZIDA.

Cada grupo receberá dois kits, um projeto genoma e um projeto transcriptoma. O objetivo é descobrir as proteínas codificadas nas seqüências correspondentes.

Projeto genoma

- 1) Monte as seqüências para conhecer a seqüência completa.
- 2) Anote a seqüência identificando a seqüência de aminoácidos da proteína codificada.
- 3) Que proteína você identificou?

Projeto transcriptoma

- 1) Anote a seqüência identificando a seqüência de aminoácidos da proteína codificada.
- 2) Que proteína você identificou?

