



Germinação de sementes

Prof^a. Aline Saavedra

Descrição

O processo de fecundação, desenvolvimento e maturação de um embrião até a etapa de germinação e crescimento de novas plantas.

Propósito

O entendimento da embriogênese e dos mecanismos que desencadeiam a germinação de uma planta oferece ferramentas para lidar com banco de sementes, recuperação de áreas degradadas, manutenção e início de cultivos vegetais, iniciação de culturas *in vitro* e pesquisas na área de botânica em geral.

Objetivos

Módulo 1

Semente: órgão de proteção ao gametófito jovem

Descrever a estrutura da semente e as estratégias de proteção ao gametófito jovem.

Módulo 2

Germinação de sementes

Reconhecer o processo de germinação das sementes.

Módulo 3

Embriogênese das Espermatófitas

Descrever a caracterização anatômica da embriogênese das Espermatófitas.

Introdução

As sementes, além de serem estruturas vantajosas para a dispersão das plantas, também estão presentes nas relações mais antigas de alimentação com diversos animais. Para o ser humano, principalmente, inúmeras sementes são utilizadas em todas as regiões do Brasil como alimento; por exemplo, um alimento típico da região Sul é o pinhão, assim como outros grãos: arroz, feijão, trigo, aveia. Na região Norte, é comum o famoso açaí ser complementado com uma deliciosa mistura de sementes que chamamos de granola.

O surgimento das sementes foi um significativo passo evolutivo para a proteção e nutrição do embrião nas etapas iniciais de seu desenvolvimento.

Neste conteúdo, analisaremos o processo de formação das sementes e conheceremos as características da sua estrutura anatômica, assim como a fisiologia do seu desenvolvimento.

Aprenderemos sobre as estratégias que estão envolvidas na proteção do embrião, para que ele só seja exposto ao ambiente em condições satisfatórias. Esses foram mecanismos que evoluíram ao longo do tempo e que permitiram o sucesso da dispersão e do estabelecimento das Espermatófitas nos mais diversos ambientes.

Aviso: [orientações sobre unidade de medida](#).

Orientações sobre unidade de medida

Em nosso material, unidades de medida e números são escritos juntos (ex.: 25km) por questões de tecnologia e didáticas. No entanto, o Inmetro estabelece que deve existir um espaço entre o número e a unidade (ex.: 25 km). Logo, os relatórios técnicos e demais materiais escritos por você devem seguir o padrão internacional de separação dos números e das unidades.



1 - Semente: órgão de proteção ao gametófito jovem

Ao final deste módulo, você será capaz de descrever a estrutura da semente e as estratégias de proteção ao gametófito jovem.

Evolução das plantas: dos esporos às sementes.

A imagem de um deserto talvez seja a ideia de como eram os ambientes primitivos, quando as plantas ainda não tinham ocupado os ambientes terrestres. Sim, as plantas nem sempre habitaram os ambientes terrestres, pois dependiam exclusivamente da água para sobreviverem. Com o passar do tempo, as dificuldades encontradas pelos organismos fotossintetizantes aquáticos levaram ao surgimento de adaptações de algumas espécies para o ambiente terrestre. Entretanto, a reprodução sexuada desses indivíduos permaneceu dependente da água, como ainda vemos em musgos e samambaias, por exemplo, dos grupos das briófitas e pteridófitas, respectivamente.

Muito ainda se discute sobre o primeiro organismo vivo fotossintetizante, que deu origem aos outros seres autótrofos até que chegássemos a plantas mais complexas, como as árvores. Entretanto, uma das hipóteses mais aceitas é que esse organismo era um ser unicelular, aquático, carregado pelos movimentos marinhos e que se direcionava por sensores fóticos em direção à luz, para realizar a fotossíntese. Além disso, reproduzia-se por processos simples de divisão, tal qual as bactérias atualmente.

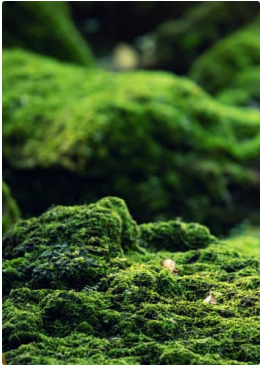
Comentário

Acredita-se que esses seres unicelulares tenham passado por processos de [endossimbiose](#), dando origem a organismos multicelulares, que permitiram a grande variedade de vida que temos atualmente, tanto de algas quanto de plantas.

Endossimbiose

A teoria da endossimbiose está relacionada com a origem dos cloroplastos e das mitocôndrias em organismos eucariontes.

As algas, provavelmente, foram os seres vivos que deram origem às plantas. Acredita-se que o ancestral das primeiras plantas terrestres, denominadas briófitas, tenha pertencido ao grupo das algas verdes ou *Chlorophytas*.



Musgos sobre rocha em ambiente úmido.

As briófitas são um grupo de plantas avasculares de porte bem pequeno e que necessariamente se desenvolvem em locais extremamente úmidos.

Isso porque sua reprodução sexuada é realizada com a junção das estruturas chamadas de oosfera (gameta imóvel) e anterozoide (gameta móvel), e essa movimentação é realizada exclusivamente com o auxílio de gotículas de água.

Além disso, a sustentação do seu corpo é mantida pela turgidez das células cheias de água, razão por que seu corpo é tão pequeno.

Durante o processo evolutivo, a partir das briófitas, surgiu uma **apomorfia** importante: os tecidos condutores, por onde a seiva passou a fluir. A rigidez desses tecidos deu forte sustentação ao corpo das plantas, tornando esses vegetais maiores e erguidos. Este foi, resumidamente, o surgimento das pteridófitas, que têm representantes bem conhecidos, como as samambaias e as avencas, por exemplo.

Apomorfia

Novidade evolutiva.



Espécie de samambaia, uma pteridófita.

Sua reprodução pode ser:

Assexuada



Por brotação de seu rizoma.

Sexuada



A partir da fecundação da oosfera pelos anterozoides, que também dependem de água para a movimentação e, portanto, para a fecundação, assim como nas briófitas.

A partir de pteridófitas ancestrais, surge uma apomorfia que muda o rumo da história das plantas no planeta: as **sementes**. Se antes as plantas terrestres ficavam restritas a áreas úmidas, onde os novos seres se desenvolviam perto da sua matriz, com o surgimento da semente a dispersão das espécies tomou enorme proporção, permitindo que os embriões se desenvolvessem e colonizassem áreas muito distantes da planta mãe.



Sementes aladas de ipê amarelo.

Imagine, por exemplo, a semente de um ipê amarelo, que é alada e plana por longas distâncias carregada pelo vento, até repousar sobre o solo onde irá germinar!

Etapas de desenvolvimento de uma semente na planta mãe

Nas Espermatófitas (plantas com sementes), a reprodução sexuada pode acontecer por dois ciclos distintos para a produção das sementes ao final.

Nas Gimnospermas, em sua fase adulta, são produzidos **estróbilos**, tanto masculinos quanto femininos, que passam por vários processos independentes e concomitantes, até que os gametas se encontrem para a

fecundação. Vamos então falar delas isoladamente e logo depois falaremos do seu encontro.

Estróbilos

Estruturas reprodutivas que dão origem a células gaméticas masculinas e femininas.

Estróbilo masculino

No estróbilo masculino (representado pelo ciclo de setas laranja na figura a seguir), serão produzidos os microesporângios, que geram em seu interior os micrósporos. Esses micrósporos sofrem meiose e se rediferenciam em grãos de pólen, os quais vão se dispersar em busca de uma estrutura feminina para que ocorra a fecundação.

Estróbilo feminino

Já no estróbilo feminino serão produzidos os megasporângios, que são compostos normalmente por quatro células. Uma dessas células sofre meiose e dá origem ao megásporo, enquanto as outras células são degeneradas. O megásporo posteriormente se desenvolve em oosfera, no interior de um óvulo, e necessita de uma estrutura masculina para ser fecundado e então dar prosseguimento ao processo reprodutivo.

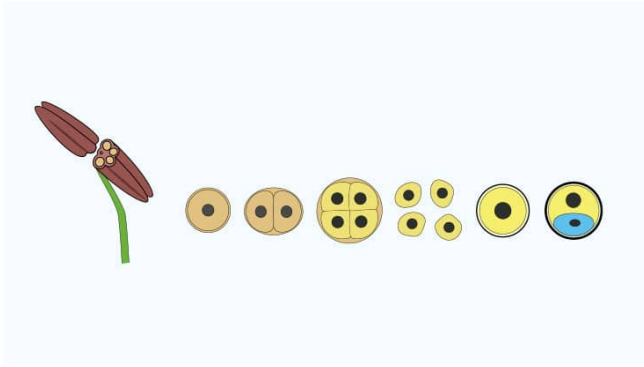
Quando o grão de pólen alcança um estróbilo feminino (polinização) e encontra um óvulo apto dentro de um gametófito feminino (representado pelas setas azuis), ocorre o transporte dos gametas masculinos até a oosfera. Esse processo desencadeia a fecundação, que dará origem a uma semente.

Observe na imagem o ciclo de vida de Gimnosperma com a gametogênese (setas marrons) e fecundação (setas azuis).



Ciclo de vida de Gimnosperma.

Nas Angiospermas, os órgãos responsáveis pela reprodução sexuada são as flores. Nelas, os microesporângios são formados nas anteras e lá são gerados os micrósporos ou grãos de pólen.

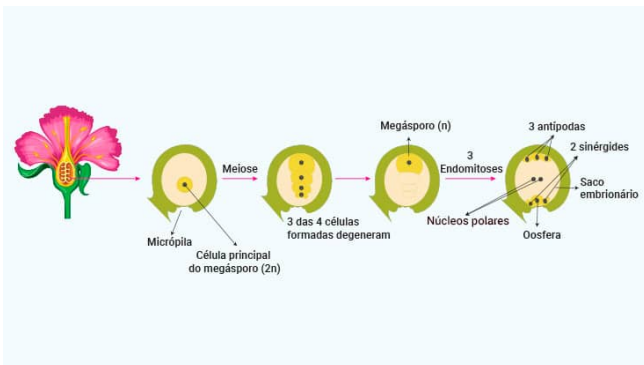


Formação dos grãos de pólen.

Os megasporângios correspondem aos óvulos encontrados no ovário de uma flor. Dos quatro esporos que estão no óvulo, um se desenvolve em megásporo funcional, que sofre diversas divisões mitóticas e origina sete células; são elas:

- Três antípodas;
- Duas sinérgides;
- Uma oosfera;
- Uma última célula central que contém dois núcleos polares.

Toda essa estrutura, já madura, poderá também ser chamada de saco embrionário.



Formação do óvulo nas Angiospermas.

Ao ser liberado das anteras, o grão de pólen deverá encontrar o estigma de uma flor, processo chamado de polinização.

Ao alcançar o estigma, o grão de pólen germina e forma o tubo polínico por onde os seus 2 núcleos migram até chegar ao óvulo.

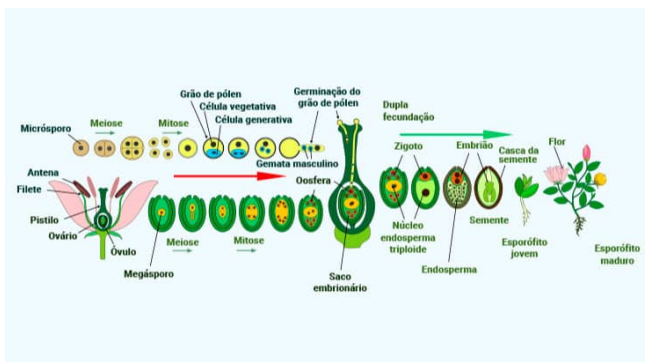
Os núcleos entram pela micrópila do óvulo e o núcleo germinativo fecundará a oosfera, enquanto o núcleo vegetativo se unirá aos núcleos polares.

Esse processo é chamado de **dupla fecundação** e é importante, pois formará o zigoto ($2n$) na fecundação da oosfera pelo núcleo espermático, que se desenvolverá em embrião; e formará o endosperma da semente ($3n$), resultado da união do núcleo vegetativo com os dois núcleos polares.

A partir da dupla fecundação, uma série de processos fisiológicos ocorre, enquanto o pequeno embrião se desenvolve, levando à hipertrofia do óvulo e, conseqüentemente, do ovário.

Logo, as sementes correspondem ao óvulo hipertrofiado e desenvolvido após o processo de fecundação. A hipertrofia do ovário leva à formação dos frutos.

Repare que nas Angiospermas há formação de um fruto a partir do ovário das flores, enquanto nas Gimnospermas não há formação de frutos, pois elas não possuem flores ou estrutura que corresponda ao ovário. Por isso, as sementes de Gimnospermas são chamadas de sementes nuas.



Agora que vimos como surge a semente, vamos conhecer como ela se desenvolve até originar uma nova planta.

Podemos então dizer que o desenvolvimento das sementes compreende uma série de processos que levam a alterações fisiológicas e histológicas enquanto estão retidas na planta mãe, e esse desenvolvimento pode ser resumido em três etapas.

Veja cada uma dessas etapas:

Histodiferenciação

Etapa de formação dos tecidos que irão compor o embrião e o crescimento celular nos tecidos que já estão prontos, porém ainda necessitam expandir. Dentre eles, podemos citar o tegumento, o endosperma e o próprio embrião.

Maturação

Nesta etapa, toda a energia é voltada de fato para a expansão celular, alocação de substâncias necessárias no endosperma, que você verá que é um tecido de reserva nutricional da semente, e maturação do embrião que, neste momento, já sofreu todas as diferenciações necessárias.

Dessecação

Última etapa de desenvolvimento da semente, caracteriza-se pela desidratação da semente. Além disso, haverá a redução do metabolismo do embrião e o rompimento das ligações tróficas que ainda estavam acontecendo com a planta mãe, para, então, estar pronta para a etapa de dispersão. Depois desta etapa, podemos classificar uma semente de acordo com as suas necessidades para germinação.

No processo de desenvolvimento das sementes, estão envolvidos **hormônios vegetais**, que são substâncias químicas que regulam e influenciam o desenvolvimento, o crescimento, o movimento e a diferenciação nos vegetais. Esses hormônios atuam promovendo ou inibindo os processos, individualmente ou de forma integrada, em tecidos, células ou órgãos onde estão sendo sintetizados ou distantes do local de produção.

Conhecemos cinco classes principais de hormônios vegetais:

- **Auxina;**
- **Citocinina;**
- **Giberelina;**
- **Ácido abscísico;**
- **Etileno.**

Os **brassinosteroides**, os **jasmonatos** e os **salicilatos** são considerados um novo grupo de hormônios vegetais.

No desenvolvimento das sementes, ocorre a ação dos seguintes hormônios vegetais:

Ácido abscísico (ABA)

Inibe a germinação das sementes. É sintetizado durante a fase de maturação; responsável pela tolerância à dessecação e mantém o embrião maduro em estado de dormência.

Giberelina

Promove a germinação das sementes; é sintetizado e liberado pelo embrião durante a germinação. Atua na produção de enzimas que hidrolisam o endosperma e outras que reduzem a resistência do tegumento.

Auxina

Regula a formação dos cotilédones na embriogênese e atua na determinação da polaridade do embrião, bem como na formação da raiz embrionária. Pode fluir no corpo da planta por transporte polar. Não é, necessariamente, transportado pelos tecidos vasculares.

Estrutura da semente

As sementes são estruturas que possibilitaram uma grande expansão e o sucesso evolutivo das Espermatófitas. Esses grupos são de longe as mais diversas linhagens dentro das plantas vasculares.

Saiba mais

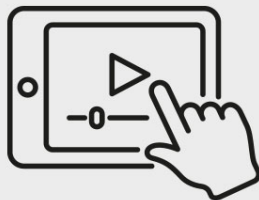
Charles Darwin descreveu a rápida ascensão e a diversificação precoce dentro das Angiospermas durante o Cretáceo como "um mistério abominável".



O mistério abominável de Charles Darwin

Neste vídeo, vamos analisar o surgimento rápido, além da diversificação e dominância, das Angiospermas no registro fóssil analisado por Charles Darwin, e contrapor com o que sabemos atualmente.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Reflexão

Você já parou para se perguntar o porquê da existência de uma semente?

As sementes são estruturas que têm como principal função a proteção do embrião da planta, para que ele possa germinar em ambientes adequados, quando e se as condições ambientais estiverem favoráveis para que a **plântula** se desenvolva plenamente.

Podemos dividir as sementes, no geral, em três partes principais, sendo elas, o embrião, o endosperma e o tegumento.

Plântula

Pequena planta, recém-germinada, ainda dependente dos cotilédones ou endosperma para nutrição e desenvolvimento.

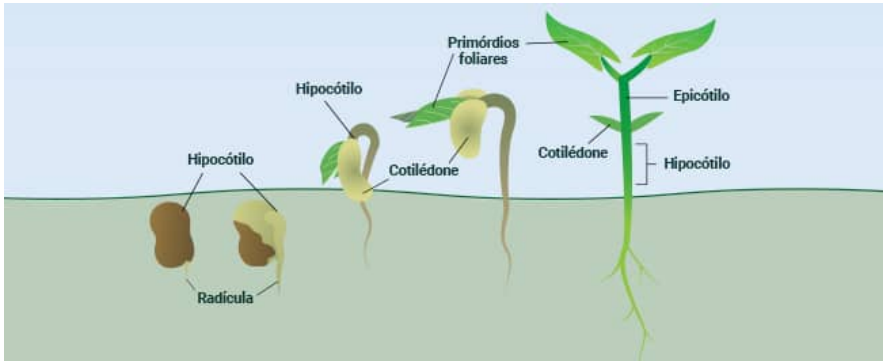
Embrião



Da oosfera fertilizada ao zigoto ocorrem diversas divisões mitóticas e delas é formado o embrião. Em Angiospermas, o embrião maduro consiste em uma estrutura alongada, com um ou dois

cotilédones, sendo os cotilédones as primeiras estruturas foliares da planta; podemos diferenciar Monocotiledôneas de Eudicotiledôneas pelos cotilédones.

O embrião das Eudicotiledôneas consiste das seguintes partes: região desde o ápice da radícula até o cotilédone, denominada **hipocótilo-raiz**, e a porção que compreende o início do caule, primórdios foliares até os cotilédones é chamada **epicótilo**.



Início do desenvolvimento de plântula de feijão.

Endosperma



Tecido de reserva nutritiva das sementes. É originado pela fecundação dos núcleos polares, fornecerá nutrientes essenciais para o desenvolvimento do embrião e em alguns casos até mesmo para a plântula.

Temos duas subdivisões dentro dos diferentes desenvolvimentos de endosperma. Uma delas é o endosperma nuclear, que consiste na múltipla divisão desorganizada dos núcleos, sem que, no entanto, ocorra a divisão citoplasmática, e com isso, forme-se uma grande massa multinuclear ao longo de uma estrutura de vacúolo. Posteriormente, a parede celular é formada dando origem ao tecido de reserva. Como exemplo temos o coco (*Cocos nucifera*), cujo endosperma é a água que bebemos.



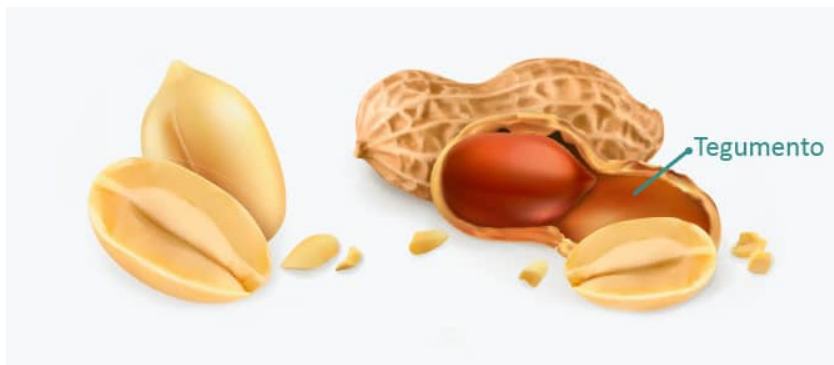
E temos também o desenvolvimento de endosperma celular: nesse tipo de endosperma, a divisão ocorre normalmente, assim como a divisão mitótica de qualquer célula.

Outra curiosidade a respeito desse tecido, é o fato de que seu desenvolvimento costuma variar também de espécie para espécie. Nas Monocotiledôneas, como arroz, milho, trigo, por exemplo, as reservas estão no endosperma das sementes. Para as Eudicotiledôneas, como o feijão e a soja por exemplo, o endosperma é parcial ou totalmente absorvido durante o desenvolvimento da semente, dando lugar aos cotilédones. Essa estrutura, então, assume a função de tecido de reserva.

Tegumento da semente



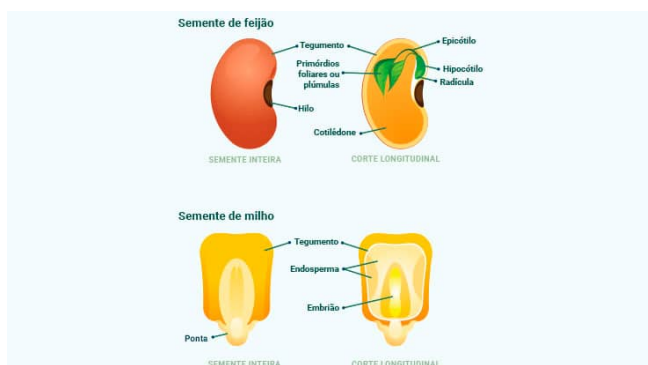
É o tecido formado para proteção mecânica do embrião. Sua origem normalmente é o desenvolvimento do integumento do óvulo que foi fecundado e que podemos chamar também de testa da semente. Existe uma grande variedade de envoltórios de sementes, de diferentes espessuras, formatos e texturas, e pela quantidade de tegumentos.



Hilo

É uma cicatriz, normalmente mais permeável e frágil do tegumento da semente. Permite a entrada de água na semente, e trocas gasosas efetivadas ao longo do processo germinativo. Além disso, é a região também para o aparecimento das primeiras estruturas da plântula, como a radícula, por exemplo.

Veja a seguir o esquema representativo da morfologia de uma semente:



Agora que você já conhece a morfologia de uma semente, vamos falar das estratégias fisiológicas que levaram ao grande sucesso das Espermatófitas.

Estratégias de dispersão da semente

Além do papel de proteção e nutrição desempenhado pelas sementes, elas contam com um arsenal de diferentes estratégias de propagação e dispersão. Você provavelmente já se deparou, em alguma época do ano, com sementes que possuem estruturas semelhantes a asas membranosas, e que “voam” ou planam ao sabor do vento.

Essas são as sementes aladas, e o vento é o meio para que possam ser levadas para áreas distantes da planta mãe. Ao encontrar um ambiente propício, desencadeiam o processo germinativo. Esse tipo de dispersão pelo vento é denominado **anemocoria**.



Outras sementes são carregadas por animais para áreas mais distantes. E, para isso, contam com estruturas como os frutos ou tegumentos de cores fortes para atrair os animais para comê-los e posteriormente dispersar o embrião, ainda protegido, em outras áreas. Essa estratégia de dispersão é chamada de **zoocoria**.

Outra estratégia de dispersão observada, normalmente em plantas que vivem em margem de rios e lagos, é a dispersão pela água, chamada **hidrocoria**. Com ela, as sementes são levadas para áreas mais longínquas.

Então, todas as sementes possuem esses tipos de dispersão?

Na verdade, existem características morfológicas adquiridas por coevolução que nos dão uma boa dica do tipo de dispersão que aquela espécie vegetal possui. Veja a seguir:

Anemocoria



Para ser dispersadas pelo vento, as sementes deverão ser leves, com presença de estruturas que permitam que elas planem por longas distâncias. Você, provavelmente, já deve ter brincado de soprar sementes aladas.



Hidrocoria



As sementes hidrocóricas normalmente têm adaptações que conferem uma densidade menor, dadas por tecidos especializados que armazenam ar, permitindo assim a flutuação e impedindo que a semente sofra com embebição precoce e/ou cause danos ao embrião. Um exemplo de uma semente que utiliza a água para ser carregada é o coco.



Zoocoria



As sementes possuem adaptações que conferem aderência a superfícies, como tricomas ou espinhos. Quem nunca foi passear no meio do mato e voltou cheio de pequenas estruturas grudadas na roupa, que chamamos de carrapichos (*Cenchrus echinatus* L.)?



Mas e se, depois de sua dispersão, as sementes caírem em um local que não está propício para a sua germinação ou se elas forem dispersas em um período de seca ou neve?

Você acha que todo o gasto de energia terá sido em vão?

Estratégias de proteção da semente

O gasto de energia pode sim ser desperdiçado e a semente simplesmente não chegar a germinar. Mas as sementes devem ter estratégias para evitar ou minimizar esse problema.

O desenvolvimento da semente é definido pelas alterações que ela sofre durante o período que ainda está retida na planta mãe. Vimos que, durante o seu desenvolvimento, ocorre a formação de um envoltório e, no estágio final, elas perdem água. Algumas sementes chegam a perder até 90% da água que contêm.

Quando alcança esse estágio de desidratação, a semente passa a apresentar-se como **quiescente** ou **dormente**, características que permitem que ela só germine sob condições adequadas do ambiente, para que haja a retomada do desenvolvimento do embrião e a formação da nova planta por meio da germinação.

Quiescência

A quiescência é um estado de repouso da semente, ao ser reprimido o processo de divisões celulares. Com ela, a semente pode retardar o seu desenvolvimento, aguardando condições adequadas para que possa germinar. A semente quiescente germina **desde que todos os fatores ambientais estejam presentes e adequados, de acordo com a necessidade de cada espécie**. A semente quiescente não germina quando um ou mais fatores ambientais está ausente ou insuficiente para promover a germinação.

Quais são os fatores ambientais que devem estar presentes?

Todas as sementes necessitam, para germinar, de: **água, luz, oxigênio e temperatura ideal**. Com esses fatores ambientais adequados e presentes, as espécies quiescentes germinam.

Dormência

Existem sementes que, mesmo em presença de todos os fatores necessários e adequados, não germinam. Essa característica é denominada **dormência**.

Uma semente dormente é aquela que necessita de um fator específico para germinar. Mesmo que, como mencionado, essa semente esteja em um ambiente com boas condições de germinação.

Em ambientes com variações acentuadas de temperaturas, por exemplo, a germinação de muitas espécies é marcada pela exposição das sementes a temperaturas muito frias por determinado período, para que ocorra a quebra da dormência e germinem. Para algumas espécies de interesse econômico, esse processo é realizado de forma artificial, isso é chamado de estratificação e é muito utilizada na horticultura, por exemplo. Outras sementes necessitam ser submetidas ao fogo para haver a quebra da dormência.

Comentário

No Brasil, muitas espécies do Cerrado necessitam que o fogo passe por elas para germinarem. Outras sementes precisam passar pelo trato digestório dos animais, para serem submetidas à acidez forte, para quebrar a dormência. Há sementes que só têm a dormência quebrada após passarem por processo de abrasão mecânica entre rochas ou pedras.

Existem diferentes classificações para a dormência de uma semente. Quando a dormência é classificada quanto à sua origem, pode ser:

Dormência inata

Também denominada dormência primária, é estabelecida logo depois da maturação da semente, ainda na planta mãe. Esse mecanismo impede que a semente continue o seu desenvolvimento quando ainda está anexada na planta matriz. Quando uma semente germina ainda anexada na planta, chamamos de viviparidade.

Dormência induzida



Semente após a germinação.

Também conhecida como dormência secundária, é originada a partir de um estímulo do ambiente externo, como, por exemplo, a falta de umidade. Mesmo que tenha o seu mecanismo inibitório de germinação

inativado, a semente continua sem germinar, até que tenha todos os requisitos mínimos ambientais estabelecidos para a germinação.

Dormências físicas

São mecanismos físicos de fato, como, por exemplo, quando o tegumento da semente é impermeável e, com isso, não ocorre troca gasosa e entrada de água na semente para que ela possa germinar. Podemos citar a produção de ácido abscísico (ABA) pelo tegumento, hormônio que é inibidor do processo de germinação.

Note que normalmente a produção de um hormônio inibidor de germinação seria classificado como dormência fisiológica. Entretanto, quem está induzindo a produção é o tegumento e não o embrião, e caso seja retirado o tegumento, o embrião irá germinar normalmente e, por isso, a dormência é considerada física.

Dormência fisiológica

Determinada pelos processos fisiológicos do embrião e dada pelo balanço entre ABA e Giberelina (GA), encontrados no metabolismo do embrião. Enquanto o ABA é responsável pela inibição do desenvolvimento, a GA é responsável por desencadear os mecanismos metabólicos de desenvolvimento e crescimento de uma nova planta.

Perceba que esse tipo de dormência nada tem a ver com o tegumento ou outros tecidos circundantes da semente, mas com processos fisiológicos estabelecidos pelos tecidos do próprio embrião.

Reflexão

Agora que já falamos dos tipos principais de dormência, pense e responda:

Qual a importância da dormência para as plantas?

Você pode responder à reflexão lendo, atentamente, as informações que seguem:

De forma geral, o mecanismo de dormência permite que as sementes se dispersem em ambientes e momentos diferentes. Com isso, permite a sobrevivência de cada uma das sementes e, portanto, aumenta a quantidade de indivíduos no ambiente.

O tempo de dormência pode chegar a anos, e isso confere muita vantagem para as plantas, uma vez que esse espaço temporal pode ser o tempo necessário para uma variação climática desfavorável, por exemplo, passar.

Embora pareça que os conceitos de quiescência e dormência sejam iguais, eles têm diferenças entre si. Em comum, eles têm a característica de serem dois mecanismos de inibição de germinação.

Conheça a principal diferença entre eles:

Dormência

As condições propícias do ambiente não irão causar o desenvolvimento de uma nova planta.



Quiescência

Ao encontrar condições ambientais adequadas, rapidamente o embrião irá se desenvolver e promover a germinação e, conseqüentemente, o crescimento de um novo indivíduo.

Processos de quebra de dormência

Para a horticultura, muitas vezes a quebra de dormência deverá ser feita de forma artificial, de modo a propiciar a germinação de algumas espécies. Esses protocolos artificiais de indução da germinação foram pensados para mimetizar acontecimentos naturais que ocorrem com as espécies vegetais e desencadeiam o processo germinativo.

São eles:

Estratificação

As sementes são submetidas a períodos de resfriamento que podem chegar até 4°C.

Lixiviação

As sementes são expostas a correntes de água.

Alternância de temperatura

As sementes são embebidas em água, em condições de alternância de temperatura e de fotoperíodo.

Tratamentos hormonais ou químicos

As sementes são embebidas em soluções contendo hormônios vegetais, como a giberelina, ou substâncias químicas como o nitrato.

Escarificação

Quando as sementes são expostas à abrasão de seu tegumento, de forma física (lixando o tegumento) ou química (expondo a semente a soluções ácidas e/ou corrosivas).

Pós-maturação a seco

As sementes são hidratadas, normalmente com o uso de imersão em água, e levadas a altas temperaturas, acima de 40°C, onde são deixadas por diferentes períodos, que podem ser de dias ou até meses de exposição.

Tolerância das sementes à desidratação e a baixas temperaturas

As plantas adultas desenvolveram, ao longo de sua evolução, mecanismos fisiológicos para suportar a perda de água, que permitiram que as primeiras plantas colonizassem o habitat terrestre. Da mesma forma, as sementes também se beneficiaram com mecanismos de tolerância à dessecação, uma vez que podem ser dispersadas em locais com diferentes climas.

Se a quantidade de água de um ambiente é fator limitante para a sua germinação, como as sementes lidam com ambientes de climas extremos? A tolerância à dessecação e a baixas temperaturas é uma característica que define as sementes em dois grupos:

Sementes ortodoxas

A maturação das sementes ortodoxas é acompanhada por uma perda de água expressiva da semente, chegando a ser de 90% a 95%. Isso permite que suportem condições ambientais desfavoráveis, como a de temperaturas extremamente altas ou baixas, além de resistirem em ambientes de seca.

Os mecanismos para a tolerância à dessecação são ativados nos estágios finais de maturação, quando a semente ainda está presa ao corpo da planta mãe. A tolerância à dessecação é perdida durante o início da germinação, precisamente no momento da **protrusão** da radícula. Os mecanismos moleculares que levam à tolerância, à dessecação e ao início da sua perda durante a germinação das sementes ainda estão longe de serem elucidados.

Protrusão

Rompimento do tegumento pela radícula.

Já se sabe que o estoque de algumas proteínas e oligossacarídeos, por exemplo, são mecanismos que protegem as estruturas celulares dos tecidos vegetais e conferem manutenção na capacidade de reparação do DNA e, com isso, protegem as células de danos irreparáveis causados pela falta de água.

Além disso, essas sementes acabam tendo em seu estado desidratado uma ótima proteção, e por que não dizer adaptação, para tolerar climas inverniais, com temperaturas abaixo de 0°C, quando ocorre o congelamento da maior parte dos líquidos e fluidos encontrados em uma planta. Entretanto, como as sementes têm estoques de substâncias que as protegem da desidratação, acabam protegidas de danos estruturais causados pelo congelamento da água intracelular que, por conta da organização de suas moléculas, em forma de cristais, podem acarretar ruptura de estruturas, tecidos e organelas.

As sementes ortodoxas correspondem à maior parte das espécies cultivadas, chegando a 80% das sementes de Angiospermas.

São exemplos de espécies de importância econômica com sementes ortodoxas:



Arroz – *Oryza sativa* L.



Feijão – *Faseolus vulgaris* L.



Girassol – *Helianthus annuus* L.



Milho – *Zea mays* L.



Soja – *Glycine max* (L.) Merr

Sementes recalcitrantes

Em contraste com as sementes ortodoxas, a perda de água expressiva durante a maturação é uma característica **ausente** em sementes recalcitrantes. Essas sementes são sensíveis à desidratação, assim como a baixas temperaturas e, da mesma forma que os tecidos das plantas vasculares maduras, são danificadas durante uma forte dessecação, que ocasiona a perda de água estrutural do organismo.

Assim, a viabilidade de sementes recalcitrantes é altamente dependente das condições ambientais. Alguns estudos apontam que por conta desse fato sua distribuição é muito restrita a ambientes de alta umidade, como é o caso das florestas tropicais. Alguns autores ainda discutem que as espécies de plantas com sementes recalcitrantes evoluíram de ancestrais com sementes ortodoxas como resultado da adaptação ao clima úmido com chuvas constantes, onde a germinação imediata após a separação da planta parental seria uma vantagem evolutiva, uma vez que o ambiente está sempre propício para o seu desenvolvimento, e a manutenção em um solo muito úmido poderia favorecer a degradação dos tecidos das sementes por microrganismos.

Aproximadamente 10% das Angiospermas possuem sementes recalcitrantes, muitas delas de importância econômica e cultivadas nas áreas tropicais.

Veja alguns exemplos abaixo:



Abacate – *Persea americana* Mill.



Açaí – *Euterpe oleracea* Mart.



Cacau – *Theobroma cacao* L.



Guaraná – *Paullinia cupana* Mart.



Pitanga – *Eugenia uniflora* L.



Pinheiro-do-paraná – *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze

Existem também a dendê – *Elaeis guineenses* Jacq., a manga – *Mangifera indica* L., a seringueira – *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., entre outras.

Outro fator ligado às sementes recalcitrantes e ortodoxas é a longevidade, ou seja, o tempo que uma semente se mantém dormente e viável até a germinação. Essa característica vai variar de espécie para espécie, mas as sementes ortodoxas possuem maior longevidade, enquanto as recalcitrantes possuem longevidade curta.

Do ponto de vista agrônomo, a identificação de sementes recalcitrantes e ortodoxas é fundamental para o tratamento adequado na estocagem, no que diz respeito às condições de temperatura, à desidratação e ao tempo de armazenamento.

Curiosidade

Por causa dessas estratégias no retardo do desenvolvimento e germinação das sementes, é possível que um ambiente degradado possa se recuperar. Como isso acontece?

Chamamos de banco de sementes natural. Com a abertura de clareiras, por exemplo, as sementes recebem estímulos necessários para a germinação. Aquelas que já estavam presentes no solo, mas não recebiam, por exemplo, luminosidade adequada ou suficiente, permaneceram no estado de quiescência, podem então germinar e restabelecer a flora local ao serem expostas à luminosidade. Ao ser restabelecida a flora, a fauna também acaba voltando por conta da oferta de abrigo e alimento.

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Uma apomorfia importante para o sucesso evolutivo das plantas foi um tipo de estrutura reprodutiva que garante, por exemplo, a proteção do embrião. Que estrutura é essa e em que grupo ela surgiu primeiro?

- A Esporos em algas.
- B Embriões em briófitas.
- C Sementes em pteridófitas.
- D Sementes em Gimnospermas.
- E Grão de pólen em Angiospermas.

Parabéns! A alternativa D está correta.

A novidade evolutiva, ou apomorfia das sementes, surgiu primeiramente no grupo das Gimnospermas. Essa estrutura, entre outros benefícios, proporcionou a proteção mecânica ao embrião da planta.

Questão 2

Suponha que você esteja tentando germinar uma semente de uma espécie de planta que conhecidamente só germina após passar pelo sistema digestivo de uma espécie de ave. Quais devem ser os procedimentos para que essa espécie germine, fora do seu habitat natural, e sem ser ingerida pelo animal?

- A Apenas enterrar a semente e regá-la será o suficiente para a sua germinação.
- B A semente deverá passar por um banho de água quente para imitar a temperatura corporal da ave, antes de ser plantada.

- C A semente deverá passar por processos como o de embebição e posterior exposição a substâncias ácidas, antes de ser plantada.
- D A semente deverá ser cortada em alguns pedaços, antes de ser plantada.
- E A semente deverá passar por períodos alternados de temperatura, para mimetizar o ambiente em que ela se desenvolve naturalmente.

Parabéns! A alternativa C está correta.

Algumas estratégias artificiais são utilizadas por produtores agrícolas para mimetizar os processos naturais necessários para haver a quebra da dormência de sementes. Como o sistema digestivo dos animais apresenta substâncias ácidas, essa semente deverá ser submetida à exposição em solução ácida para que possa germinar.



2 - Germinação de sementes

Ao final deste módulo, você será capaz de reconhecer o processo de germinação das sementes.

Germinação de sementes

Após a formação e maturação da semente ainda no corpo da mãe e posteriormente sua dispersão, a semente poderá entrar no processo de germinação. A germinação propriamente dita pode ser denominada como o processo fisiológico de retomada de desenvolvimento do embrião, originando uma planta completa ao final.

Repare que dissemos retomada, isso porque o desenvolvimento de uma semente começa na planta mãe, e quando o embrião está pronto para o desenvolvimento de uma nova planta, ele tem o seu metabolismo paralisado fisiologicamente, em geral com a manutenção do estado de dormência ou quiescência induzido pelo hormônio ABA. A volta do desenvolvimento dessa semente só acontecerá quando ela de fato for germinar.

Definição de germinação

A germinação compreende o desenvolvimento do embrião que estimula o rompimento do tegumento, para que uma plântula possa se desenvolver fora do ambiente tegumentar. Esse momento tem início com a **embebição** da semente, e encerra com a protrusão da radícula para o ambiente externo. Assim, a plântula poderá desenvolver órgãos essenciais para a sua sobrevivência, como raiz, caule e folhas.

Embebição

Processo de entrada de água na semente.



Sequência do desenvolvimento de uma semente de feijão em plântula.

O processo de germinação é dividido em três principais etapas: iniciado pela embebição, crescimento do embrião e, por fim, o crescimento da radícula.

Processo germinativo

Tem início com a embebição de uma semente, pela entrada de água no seu interior, iniciando a hidratação dos tecidos e das membranas. Antes de abordarmos o processo de embebição, precisamos rever um pouco sobre potencial hídrico.

Potencial hídrico

As substâncias que conhecemos têm a capacidade de realizar trabalho.

O trabalho, na Física, pode ser compreendido pela transferência ou transformação de energia de uma substância, um corpo ou objeto, ao serem submetidos à aplicação de uma força externa.

Com isso, podemos chamar a energia livre intrínseca à água, por exemplo, como potencial hídrico, que frequentemente é representado pela letra grega Ψ .

A força de potencial de trabalho da água é utilizada em hidroelétricas para movimentação de turbinas e transformação de trabalho em energia elétrica.

Comentário

É importante você saber também que a água poderá se mover em um sentido ou em outro, dependendo da diferença de potencial hídrico (Ψ_w) entre ambientes. A regra é que a água irá se movimentar das regiões em

que exista maior potencial hídrico (e, portanto, com maior energia disponível na água) para regiões com menor potencial hídrico, regiões com menor energia, digamos assim.

Vamos nos concentrar em **embebição** e conhecer como esse processo acontece.

Como a maior parte das sementes tem um potencial hídrico interno muito menor do que o meio externo, a entrada de água acontece de forma muito rápida.

Ao invadir o tegumento, a água começa a fazer ligações com os tecidos e as membranas do embrião e, com isso, hidrata todos os componentes do interior da semente.

Ao atingir um nível de hidratação plena, o Ψ_w continua atuando de forma que a água continue entrando no tegumento da semente até que seja atingido o **turgor**.

Turgor

O turgor é atingido quando a semente está plenamente cheia de água.

Quando esse nível é atingido, o conteúdo hídrico do interior da semente fica estável por um tempo, essa manutenção do conteúdo hídrico é chamada também de **fase de preparação** ou **ativação do metabolismo da semente**.

Veja a seguir um exemplo de sementes sendo embebidas em água artificialmente para depois serem plantadas.



Apesar de a germinação ser dividida em três diferentes etapas, a presença de água é tão importante para a germinação que, em uma escala de tempo, a embebição perdura, acompanhando as outras duas etapas.

Na fase de ativação do metabolismo, as células do embrião não estão mais absorvendo água, mas sim iniciando processos metabólicos necessários para que comece a ocorrer o crescimento do embrião por meio de mitoses até que haja a ruptura do tegumento pela radícula, normalmente na região do hilo da semente. Além do investimento em crescimento tecidual, podemos citar também o aumento de diversas reações metabólicas como: respiração, síntese proteica, mecanismos antioxidantes para proteção dos tecidos e reparo das organelas mitocondriais, por exemplo.

Com o crescimento de tecidos e aumento de células, durante o alongamento celular, é necessário novamente que as células voltem a absorver água. Lembrando ainda que, ao iniciar o processo de divisão celular, a presença de água é imprescindível, e caso algo interfira nesse processo, a semente perderá a sua viabilidade, pois os tecidos jovens são extremamente sensíveis à desidratação.

Com isso, podemos representar esse processo com um gráfico de absorção de água, relacionando o conteúdo hídrico da semente durante a germinação e o tempo que ela dura.

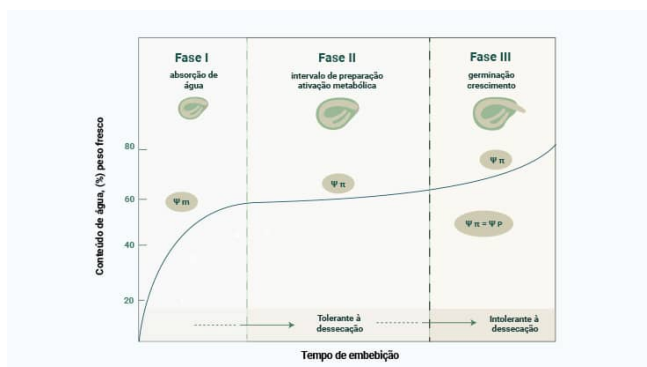


Gráfico: Representação do teor de água no interior da semente em germinação.

Controle hormonal durante a germinação

O controle hormonal durante a germinação tem dois atores principais. A giberelina e o ácido abscísico (ABA).

Como já falado, esses dois hormônios são antagônicos fisiológicos durante o processo germinativo. Enquanto a giberelina fomenta o processo, o ABA inibe a germinação.

Mas como isso ocorre?

Giberelina

A giberelina atua como um mediador entre os fatores abióticos ambientais que podem influenciar o processo germinativo, como luz, temperatura e umidade ambiental.

Ácido abscísico

Já para a atuação do ácido abscísico na inibição do processo germinativo, algumas pesquisas indicam que ele atua diretamente na inibição da síntese de giberelina e, com isso, impede o desenvolvimento do embrião.

Ainda existem poucos estudos que comprovem os mecanismos de mediação exercidos e que expliquem a fundo o funcionamento desses hormônios durante a mediação.

Entretanto, existem pesquisas que sugerem que a mediação da giberelina, por exemplo, pode decorrer da produção de enzimas que atuam no desgaste das membranas que tornam o revestimento da semente impermeável e, com isso, a água poderá invadir o interior da semente com mais facilidade. Ou que induza o crescimento celular do embrião, para que a pressão dele possa romper o tegumento e, com isso, facilitar a entrada de água no interior da semente para o início da embebição.

Outros hormônios também atuam no processo germinativo.

A auxina e a citocinina, por exemplo, atuam no papel antioxidativo durante a etapa de reabilitação do metabolismo, podem inibir a produção de ABA e estimular a produção de etileno, alteram a permeabilidade de membranas da semente.

Além disso, as auxinas atuam no processo de alongamento do hipocótilo, enquanto as citocininas ajudam a semente a superar dormências induzidas por altas temperaturas ou mesmo por falta de luminosidade.

O etileno tem ligação direta com o estímulo de algumas espécies à germinação, normalmente induzido pela luminosidade. Alguns estudos científicos apontam o etileno como um inibidor de ABA, que por conseguinte acaba estimulando o processo germinativo.

O fato é que a diversidade vegetal é tão extensa, que ainda é preciso muitos esforços de estudos fisiológicos para que o entendimento a respeito da germinação seja mais amplo.

Fatores extrínsecos ou ambientais que influenciam a germinação

Assim como as plantas adultas, as sementes também respondem de maneiras diferentes às condições ambientais.



Desenvolvimento de uma plântula.

Isso porque os estímulos abióticos influenciam diretamente o sucesso do indivíduo após a germinação e, após o seu início, as estruturas jovens são muito frágeis e morreriam sem uma condição ideal para o seu desenvolvimento. Podemos citar então os fatores que estão diretamente ligados ao processo germinativo: água, temperatura, luz e fatores químicos.

Água

Vimos que a embebição é o ponto de partida para a germinação. A disponibilidade de água é um fator que limita a velocidade e a capacidade de germinação das sementes, e o teor de água ideal para que a

germinação ocorra é diferente para cada espécie vegetal. Sabemos que, na sua maioria, as sementes maduras são extremamente secas, logo, a água é necessária para que ocorram as atividades metabólicas.

A entrada de água na semente promove a ativação e a síntese de enzimas para a quebra, mobilização e utilização das reservas nutritivas e intensifica a respiração. Além disso, a pressão de turgor dentro das células é necessária para a expansão celular e, conseqüentemente, o crescimento do embrião.

Dessa forma, é necessário um aporte permanente de água para a semente germinar e uma nova planta se desenvolver.

Temperatura

No geral, a temperatura atua tanto na indução e/ou quebra de dormência quanto no crescimento do eixo embrionário. Em temperaturas extremas, como em áreas de muito calor ou frio, as sementes também podem responder a esse estímulo com produção de proteínas, aumento do tempo de dormência e concentração de sacarose para promover a proteção dos tecidos do embrião.



Mudanças de temperatura e ambientais podem influenciar a germinação.

A diminuição de temperatura durante a embebição pode causar uma injúria, denominada dano de embebição. Esses danos podem ocasionar rupturas de membrana, restrição de mobilidade, e a água poderá carregar alguns íons importantes para fora das células. São danos irreparáveis que podem levar tanto à inviabilidade da semente quanto ao desenvolvimento anormal da plântula.

Em sementes não dormentes, a temperatura poderá ser um norteador para o processo de germinação. São as chamadas temperaturas cardiais. Diferentes espécies demandam faixas de temperatura diferentes para a germinação das sementes.

Para grande parte das espécies, as faixas de temperatura são definidas como:

Temperatura mínima ou base (T_b)

Entre 0°C e 5°C e a máxima (T_m) entre 45°C e 48°C.

Temperatura ótima (T_o)

De 25°C a 30°C.

Isso significa que as faixas T_b e T_m permitem a germinação, mas em uma velocidade e taxa bem reduzidas. A faixa T_o é a que proporciona maior velocidade e taxa de germinação das sementes, isto é, maior número de sementes germinadas em menor tempo.

Um estudo realizado com sementes de jenipapo (*Genipa americana* L.) mostrou que as melhores taxas e velocidade de germinação ocorreram na faixa entre 25°C e 35°C, sendo essa a faixa considerada ótima (T_o). Com sementes de cornichão (*Lotus subbiflorus* Lag.), a T_o está na faixa entre 15°C e 20°C.

Observe os gráficos a seguir:

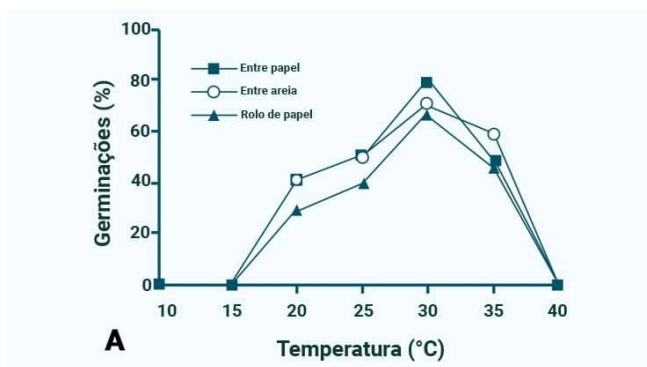


Gráfico: Faixas ótimas de temperatura de germinação de sementes de jenipapo.

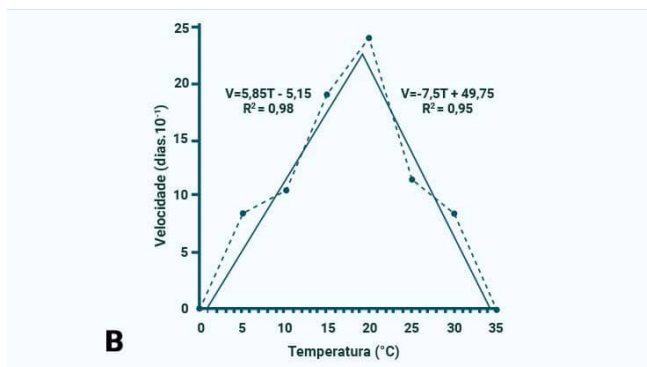


Gráfico: Faixas ótimas de temperatura de germinação de sementes de cornichão.

Luz

As sementes, assim como as plantas, percebem a luminosidade ambiental com a utilização de um pigmento proteico vegetal chamado fitocromo.

- Esse pigmento absorve principalmente duas faixas luminosas e responde diferentemente a cada uma delas: a faixa de espectro de luz vermelha (V) e o espectro da faixa de luz vermelho extremo (VE).

- Logo, o fitocromo pode ser encontrado de duas formas distintas. A primeira será a forma fitocromo vermelho (FV) e a segunda na forma de fitocromo vermelho extremo (FVE).
- A ativação desses fitocromos será determinada pela faixa de luz da radiação solar. Caso o comprimento de onda da luz solar seja 660nm, o fitocromo que estará ativo será o FV, caso o comprimento de onda da luz seja de 760nm, o fitocromo que estará ativo será o FVE.
- O balanço ou desbalanço da ativação desses pigmentos irá desencadear ou não o processo germinativo, dado pela razão (FV:FVE). E isso será individual para cada grupo de sementes.

As sementes são classificadas em três diferentes grupos, de acordo com a influência da luz na germinação:

Sementes fotoblásticas positivas

São aquelas que necessitam de luz para desencadear o processo de germinação. Como exemplo, podemos citar a Embaúba (*Cecropia* sp.), Sambacaitá (*Hyptis pectinata* L. Point.) e baldroega (*Portulaca oleracea* L.).



Embaúba



Sambacaitá



Baldroega

Sementes fotoblásticas negativas

São as que germinam melhor no escuro, em camadas mais fundas do solo. Por exemplo, podemos citar a vinca (*Catharanthus roseus*) e algumas daninhas, como *Ipomoea nil* e *Merremia aegyptia*, conhecidas como corda-de-viola.



Vinca



Ipomoea nil



Merremia aegyptia

Sementes afotoblásticas ou fotoblásticas neutras

Estas não modificam sua taxa de germinação em relação à luminosidade do ambiente. As sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris*), pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e calêndula (*Calendula officinalis* L.) são exemplos de fotoblásticas neutras.



Feijão



Pinhão manso



Calêndula

Comentário

No meio de florestas a luminosidade que passa pelo dossel das árvores é rica no comprimento de onda vermelho extremo, isso faz com que normalmente as sementes de espécies pioneiras não germinem até que tenham um balanço de FV favorável, ou seja, que identifiquem fisiologicamente a passagem de radiação do comprimento de onda vermelho, indicando assim clareiras ou mesmo a destruição da flora.

O balanço entre os fitocromos ativados está diretamente relacionado com a produção hormonal de ABA e de giberelina.

Vamos aprender na prática?

O feijão é uma espécie com sementes fotoblásticas neutras, certo? Faça essa experiência em casa:

- Coloque umas três sementes de feijão para germinar em um local bem iluminado;
- Coloque outras três sementes em local escuro;
- Lembre-se de regá-las com água;
- Aguarde de três a cinco dias e observe o que acontece.

Resultado:



Feijões germinados estiolados

Ambas irão germinar, entretanto, com fenótipos diferentes. Isso porque acontecerá um fenômeno chamado estiolamento, que é caracterizado por um rápido alongamento da estrutura caular, com uma coloração extremamente pálida.



Feijões germinados normais

Ambas irão germinar porque utilizam o endosperma, que é o tecido de reserva, para crescer, entretanto, caso o feijão estiolado não encontre a luz, acabará morrendo por não poder realizar fotossíntese.

Fatores químicos que influenciam a germinação

Clique abaixo para conhecer cada fator:

Oxigênio



Nos estágios iniciais da germinação, a quebra da glicose pode ocorrer completamente de forma **anaeróbica**. Entretanto, logo que o tegumento da semente é rompido, a rota passa a ser aeróbica, portanto, dependente da presença de oxigênio.

Solos pobres em oxigênio, como dos pântanos ou dos mangues, prejudicam a germinação das sementes, impedindo que haja o desenvolvimento e a diferenciação do embrião em uma plântula.

Nitrato



De forma geral, as sementes são muito bem nutridas em reservas de íons que necessitam para o seu desenvolvimento e, com isso, não têm necessidade de mecanismos de percepção de concentração/presença de substâncias químicas do solo. Porém, uma das únicas exceções é o íon nitrato.

Para muitas espécies, essa substância no ambiente é um sinal químico que, em conjunto com luminosidade, umidade e temperatura, desperta a semente para a germinação por apontar um ambiente propício para o desenvolvimento de uma planta.

Grandes quantidades de nitrato no solo podem indicar o aparecimento de clareiras, uma vez que essa substância é produzida em maior quantidade com o aumento de luz e de temperatura do ambiente.

anaeróbica

Em ausência de oxigênio.

Fatores bióticos que influenciam a germinação

A **alelopatia** é um exemplo de fator biótico que pode afetar a germinação das plantas. Ela consiste na interação das plantas com outros seres vivos por meio da liberação de substâncias produzidas pelo metabolismo vegetal.

Este fator biótico pode ser:

Alelopatia positiva

Pode ser benéfica, e nesse caso é denominada de alelopatia positiva, quando um indivíduo garante benefícios a outro pela liberação de determinadas substâncias.



Alelopatia negativa

Pode induzir a inibição de germinação de alguma espécie, sendo assim definida como alelopatia negativa.

Essa interação poderá acontecer em qualquer momento do ciclo de vida de uma planta e durante a germinação não é diferente. Podemos citar, por exemplo, a alelopatia positiva de germinação da cebola (*Allium cepa*) na presença de falso-boldo (*Plectranthus barbatus*). A ação alelopática negativa sobre a germinação de sementes de várias espécies é bastante conhecida, principalmente a das folhas do eucalipto (*Eucalyptus globus*).

Outro fator que pode acarretar malefícios para as sementes é a ação de larvas de insetos e microrganismos do solo que podem invadir o tegumento e causar danos ao embrião, inviabilizando a germinação e, conseqüentemente, o seu desenvolvimento.

Curiosidade

As sementes de orquídeas têm uma peculiaridade: por causa de seu baixo teor de substâncias de reservas, elas necessitam de um processo simbiótico com um fungo micorrízico para que fiquem viáveis e germinem. Assim, o fungo produz os açúcares necessários para o desenvolvimento do embrião, enquanto a planta hospeda a micorriza.

Sendo assim, uma vez que a semente foi liberada pela planta mãe, ela estará suscetível a vários fatores do ambiente: competição, predação, deslocamento por insetos, principalmente formigas, para ambientes não propícios para a germinação, substâncias voláteis liberadas por fungos que estimulam a germinação e

substâncias de outras plantas que são liberadas no solo e que podem tanto inibir quanto estimular a semente a se desenvolver.

Na agricultura, quando se sabe que as sementes liberam substâncias que possam prejudicar a germinação, elas são enterradas distantes umas das outras.

Outros fatores que podem afetar a germinação

Principalmente quando se trata de germinação para a agricultura, em ambientes produzidos pelo homem, outros fatores também podem afetar a germinação das sementes.

São eles:

- Encharcamento do solo;
- Esgotamento/fertilidade do solo;
- Momento de colheita da semente;
- Injúrias mecânicas;
- Tratamentos químicos;
- Herbicidas;
- Secagem das sementes;
- Armazenamento incorreto das sementes;
- Tempo de armazenamento.

Fatores intrínsecos ou internos que influenciam a germinação

Dormência do embrião

Este tipo de dormência está relacionado exclusivamente ao próprio embrião. Podem ser observadas duas formas de dormência do embrião:

- **Ação inibitória** - os cotilédones agem sobre o desenvolvimento do embrião e a germinação;
- **Maturidade do embrião** – há sementes cujos embriões necessitam de um tempo adicional para alcançarem a maturidade completa e estarem prontos para se desenvolverem em uma plântula. Mudanças enzimáticas e bioquímicas ocorrem para que a semente adquira a maturidade adequada para

a germinação. Este processo, em geral, coincide com condições desfavoráveis do ambiente, como baixas temperaturas ou indisponibilidade de água.

Relação entre as concentrações dos hormônios ABA e GA

O ABA é o hormônio responsável pela dormência das sementes.

Logo, concentrações elevadas de ABA inibem a germinação, enquanto a sua redução e o aumento da concentração de GA promovem a germinação. As sementes imaturas apresentam alto teor de ABA e baixo teor de GA.

Características dos tecidos ou envoltório da semente

A dormência imposta pelo envoltório é denominada dormência da casca e é observada nas Coníferas, em cereais e em muitas Eudicotiledôneas.

Como vimos, a quebra natural ou artificial deste tipo de dormência tem particularidades conforme a espécie.

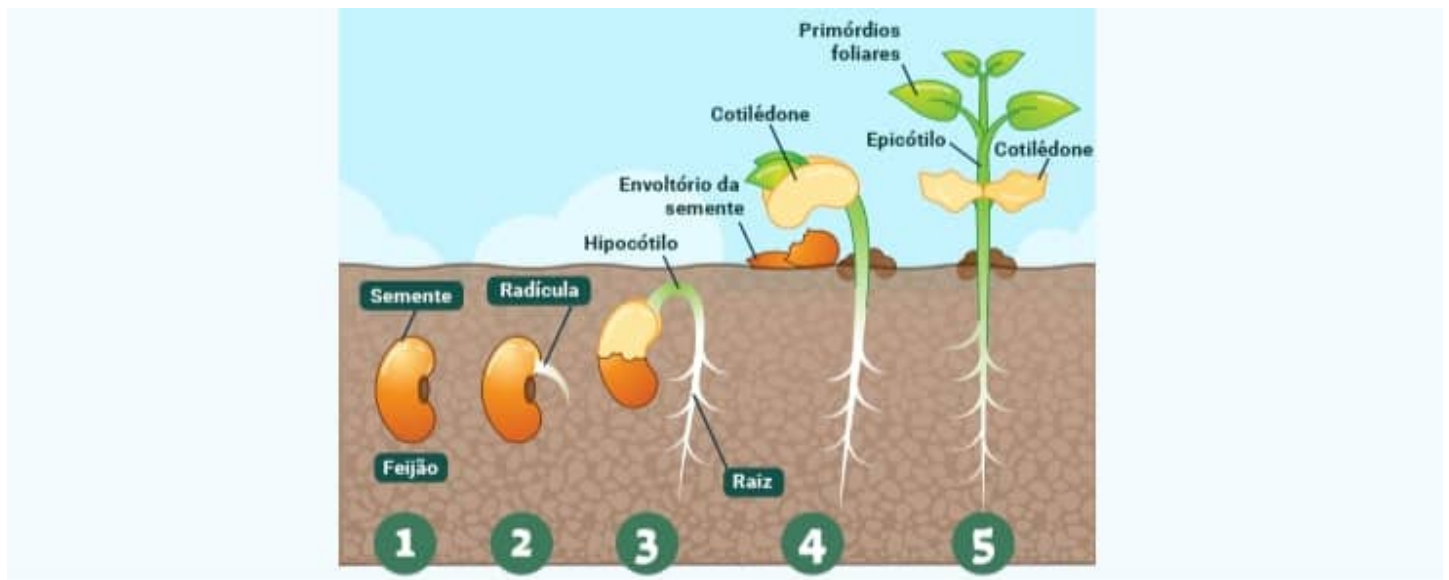
Tipos de desenvolvimento após a germinação

Nas Espermatófitas, encontramos dois tipos de desenvolvimento caulinar em relação à posição dos cotilédones durante o desenvolvimento do embrião após o fim do processo germinativo, quando ocorre a protrusão da raiz.

A seguir observe as plantas de **germinação epígea** e as de **germinação hipógea**.

Epígea

Processo das sementes que, ao germinarem, realizam o alongamento do hipocótilo, o qual será a primeira estrutura a “romper” a camada de solo e alcançar o ar. Forma-se um gancho que puxará os primórdios foliares e os cotilédones para fora do solo, dando proteção à estrutura apical, extremamente frágil.

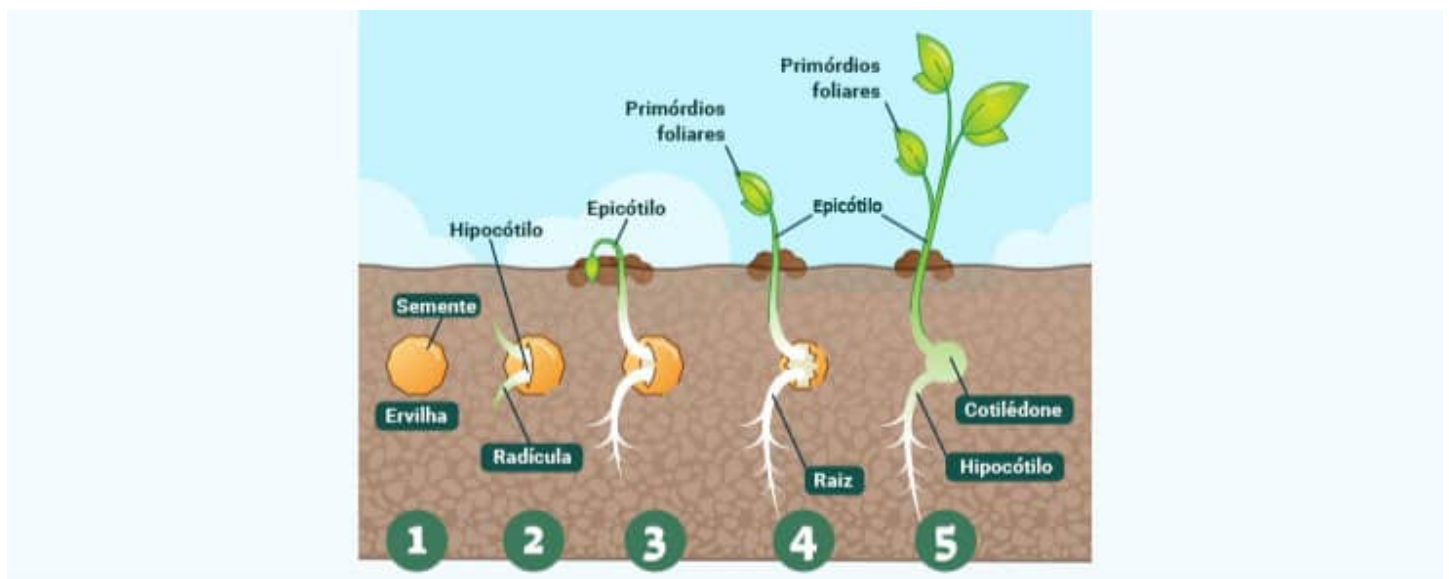


Esquema que demonstra o tipo de germinação epigea.

Nesse tipo de desenvolvimento, os cotilédones, ou mesmo o envoltório seminal com o endosperma, tornam-se inicialmente como estruturas fotossintetizantes e gradativamente são degenerados pela planta e consumidos, até que não apresentem mais atividade.

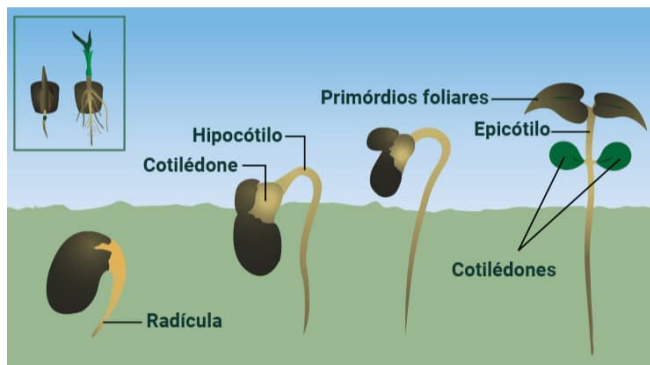
Hipógea

A primeira estrutura a se alongar e emergir do solo será o epicótilo, que também formará um gancho e trará a estrutura de primórdios foliares e o ápice caulinar, protegidos de danos mecânicos. Entretanto, diferentemente do caso anterior, os cotilédones da semente permanecem dentro do substrato e não são utilizados no processo fotossintético.

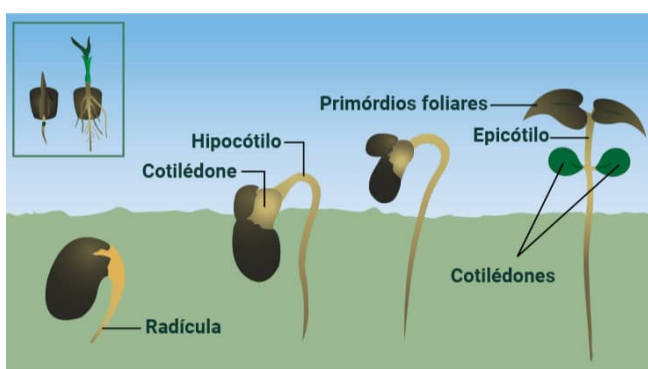


Esquema que demonstra o tipo de germinação hipógea.

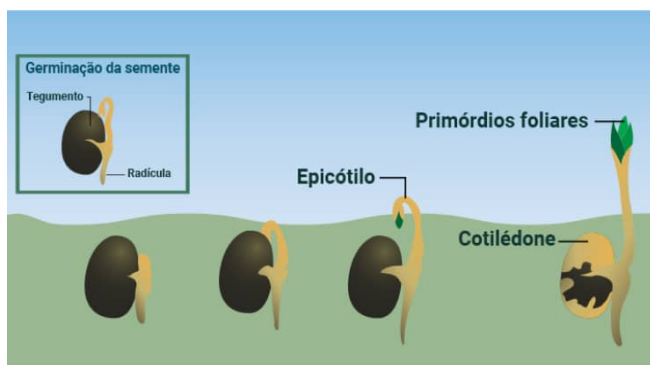
Agora, você já é capaz de identificar esses tipos de germinação nas imagens a seguir. Vamos lá!



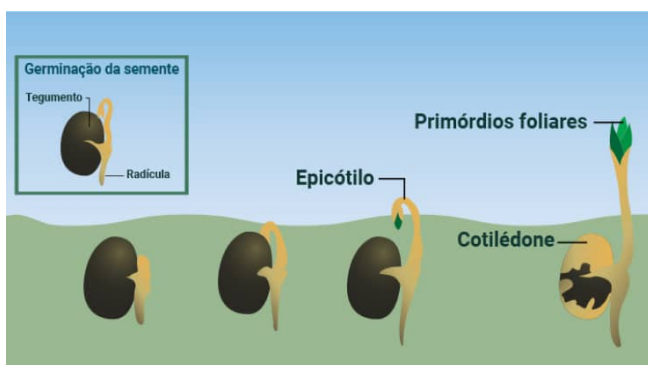
Esta imagem representa qual tipo de germinação?



Germinação epígea.



Esta imagem representa qual tipo de germinação?



Germinação hipógea.



Banco de sementes

A especialista, Aline Saavedra, apresentará as vantagens e desvantagens da utilização de bancos de sementes como coleções biológicas e suas utilidades.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Considere o texto a seguir.

Sementes enterradas em camadas profundas de solo (I) germinar, pois (II) as sementes necessitam de (III) para se desenvolverem. Caso essas sementes germinem, irão produzir plantas com característica de (IV), que crescem rapidamente em direção à superfície, com coloração (V). Atingindo a luz, as plantas passam a ter desenvolvimento (VI).

Complete e assinale a alternativa que torna o texto correto.

- A (I) podem; (II) nem todas; (III) luminosidade; (IV) estiolamento; (V) pálida; (VI) normal.
- B (I) não podem; (II) todas; (III) luminosidade; (IV) estiolamento; (V) pálida; (VI) normal.

- C (I) podem; (II) todas; (III) luminosidade; (IV) plantas saudáveis; (V) pálida; (VI) normal.
- D (I) não podem; (II) nem todas; (III) luminosidade; (IV) estiolamento; (V) pálida; (VI) normal.
- E (I) podem; (II) nem todas; (III) luminosidade; (IV) estiolamento; (V) escurecida; (VI) insuficiente.

Parabéns! A alternativa A está correta.

Nem todas as sementes necessitam de estímulos luminosos para sua germinação, isso dependerá de como a semente é classificada quanto ao seu fotoblastismo.

O estiolamento é um fenômeno que acontece com plantas que se desenvolvem em carência de luz e pode acontecer também com sementes recém-germinadas, que embora se desenvolvam, apresentarão uma morfologia diferente das plantas normais, com indução de alongamento do caule e falta de pigmentação, fazendo com que a planta apresente coloração pálida. Caso a planta volte a ter contato com a luz, poderá se desenvolver normalmente.

Questão 2

O endocarpo é a região mais interna do fruto, muitas vezes lenhoso ou de consistência óssea, que pode aderir às sementes, dando reforço na proteção. Ex.: nozes, pêssigo, coco. Com base nesse conceito, leia atentamente o fragmento retirado de um estudo de germinação, em que o endocarpo foi removido antes de as sementes serem colocadas para germinar:

“(…) o período de germinação das sementes de tucumã, com endocarpo, pode se estender por dois a três anos. No presente trabalho, o tempo médio de germinação foi de 104 dias, sugerindo que a retirada do endocarpo favoreceu a redução desse período. Contudo, a germinação desuniforme e a porcentagem de sementes dormentes indicaram que outros fatores também limitam a capacidade germinativa dessas sementes. Ademais, a distribuição da germinação no período de quatro meses, entre a primeira (41 dias, em média) e a última (164 dias, em média) contagem das sementes germinadas, independentemente do período de embebição, evidenciou a existência de uma graduação na intensidade de dormência. Nas sementes não embebidas, além da porcentagem de germinação ter sido inferior, o processo germinativo foi mais lento, o que é confirmado pelo menor índice de velocidade

de germinação e maior tempo médio de germinação. A embebição, antes da semeadura, pode favorecer a velocidade de germinação de sementes, visto que a absorção de água representa o passo inicial do processo germinativo. Em tucumã, este efeito benéfico foi mais pronunciado nas sementes submetidas à embebição por nove dias, sendo por isso recomendado como tratamento pré-germinativo das sementes dessa espécie.”

FERREIRA, Sidney Alberto do Nascimento; GENTIL, Daniel Felipe de Oliveira. **Extração, embebição e germinação de sementes de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*)**. Acta Amazonica, v. 36, n. 2, p. 141-145, 2006.

A partir da leitura do texto e dos conhecimentos adquiridos, marque a opção correta:

- A A embebição é um fator extremamente importante para que uma semente possa germinar; sem água, o embrião continuaria com o metabolismo paralisado e as membranas em estado de dessecação. Uma das formas de possibilitar a reidratação e desencadear o processo de embebição é induzir a ruptura da camada impermeável da semente.
- B A embebição é o processo de retirada do tegumento da semente para que a água possa exercer o seu papel na germinação da semente. Logo, o que o autor propõe é realizar o processo de retirada de todo o tecido da semente para que a água não precise de tanto tempo para retirá-lo.
- C Algumas sementes têm a capacidade de germinar, mesmo na ausência total de água. Com isso, elas utilizam outras substâncias no processo de embebição e posteriormente realizam a germinação. Entretanto esse processo poderá ser mais demorado.
- D O autor sugere que o processo de embebição atrasa o desenvolvimento das sementes e, por isso, realiza a retirada de um tecido conhecido como endocarpo, para que a água não entre em contato com o embrião.
- E A embebição é caracterizada pelo processo de surgimento da raiz para o ambiente externo da semente. Ela marca o final do processo de germinação e o início do desenvolvimento de uma planta adulta.

Parabéns! A alternativa A está correta.

Todas as sementes necessitam de água para germinar e posteriormente se desenvolver, esse é o primeiro processo que deve acontecer para que uma semente reative o seu metabolismo. Entretanto, dependendo do tipo de semente, ela poderá ter mais de uma camada de tecido de proteção, que normalmente, além de proteger, também configura um grau de impermeabilidade.

Esse tecido pode retardar a germinação por anos, como foi visto no artigo do texto. A excisão da camada que confere impermeabilidade poderá acelerar e permitir que a semente germine.



3 - Embriogênese das Espermatófitas

Ao final deste módulo, você será capaz de descrever a caracterização anatômica da embriogênese das Espermatófitas.

Embriogênese

A embriogênese é o processo pelo qual, normalmente, duas células gaméticas (n), uma feminina e outra masculina, fundem-se e dão origem a uma única célula (2n), denominada zigoto. Essa célula, após diversas divisões mitóticas, desenvolve-se em uma estrutura multicelular com organização característica conhecida e normalmente rudimentar, chamada de embrião. O processo como um todo se estende desde a fecundação até o estabelecimento da dormência do embrião dentro da semente.

Mas por que estudar a embriogênese?

A embriogênese é estudada para elucidar a origem dos tecidos e das partes vegetativas das plantas. Logo, essa área é importante porque serve de base introdutória para os estudos de anatomia de um vegetal adulto. Além disso, com a embriologia, podemos entender o funcionamento e desenvolvimento de uma semente.



Podemos dizer que a embriogênese acontecerá sempre por reprodução sexuada?

Não. Na natureza, outro processo pode acontecer, decorrente de diferenciação de células da planta mãe, formando assim um clone natural. Entretanto, apenas algumas espécies vegetais podem formar naturalmente o que chamamos de embriões apomíticos.

Veremos agora como ocorre a embriogênese de forma geral, tomando como base as Eudicotiledôneas. Ela compreende 5 estágios distintos.

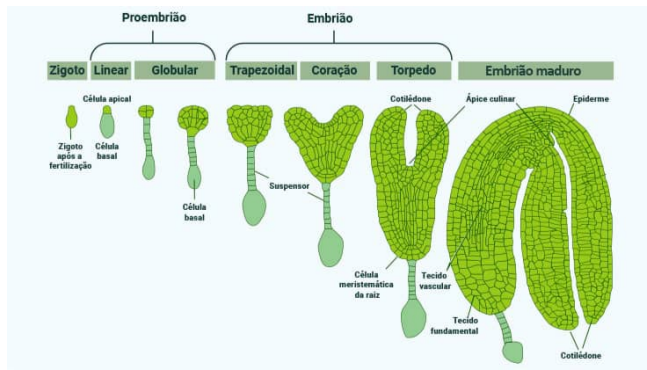
Vamos conhecê-los a seguir:

Estágio zigótico

Tem início com a formação de um zigoto diploide unicelular. A primeira divisão do zigoto é assimétrica, originando uma célula basal maior e outra apical menor. Essa primeira etapa é extremamente importante para a planta, pois em seguida o que normalmente ocorre é um processo chamado **polarização**, que define, nas plantas, onde será o ápice caulinar e o ápice radicular.

Mesmo que a planta seja podada, continua com a polaridade definida e com desenvolvimento de parte aérea e raiz diferenciados. Esse processo é orientado pelo fitormônio da classe das auxinas.

Observe a imagem abaixo:



Estágios de desenvolvimento morfológico do zigoto até a formação de um embrião maduro.

Estágio globular

Nesta etapa, a pequena célula apical sofre uma série de divisões, originando um embrião de forma esférica e de simetria radial. Ao mesmo tempo, a célula basal sofre divisões transversais originando um **suspensor** de forma filamentosa. Ao final desse estágio, o embrião globular apresenta uma camada periférica, de células pouco diferenciadas, denominada protoderme. Esta dará origem ao tecido de revestimento.

Em Angiospermas, o suspensor é a comunicação e o canal de nutrição e transferência de hormônios entre a planta mãe e o embrião. Entretanto, nas sementes, ele normalmente tem tempo de duração muito curto. Posteriormente, as células do suspensor sofrem [apoptose](#) e são degeneradas. Em Gimnospermas, o suspensor não tem atividade geral definida.

apoptose

Morte celular programada.

Curiosidade

Algumas vezes o suspensor não é degenerado e as células constituintes dessa estrutura acabam se diferenciando em mais um zigoto. Com isso, a semente desenvolverá mais de um embrião, sendo esse processo chamado de poliembria.



Foto ilustrativa de árvore de Ipê amarelo.

Algumas espécies são mais propensas a sofrerem esse tipo de processo, como em *Tabebuia alba*, o popularmente conhecido ipê amarelo.

Estágio de coração ou cordiforme

O início deste estágio é chamado de trapezoidal, quando já há polarização, e tem início a formação dos cotilédones. Na etapa cordiforme, o embrião assume uma forma de coração, em consequência de divisões celulares concentradas em duas regiões, formando os dois cotilédones, e começa o alongamento e a diferenciação dos ápices, tanto caulinar quanto radicular.

Neste estágio, o embrião tem uma simetria bilateral e, na sua região central, células pouco diferenciadas do procâmbio são visíveis; elas darão origem aos tecidos vasculares. É possível perceber o endosperma bem desenvolvido.

Estágio de torpedo

Neste estágio, percebe-se o embrião maior do que o suspensor. O eixo embrionário sofre alongamento e diferenciação celular, percebendo-se a presença do meristema fundamental envolvendo o procâmbio. Este novo meristema dará origem aos tecidos fundamentais. O endosperma já ocupa boa parte do saco embrionário.

Este estágio é marcado principalmente pelo desenvolvimento do hipocótilo, radícula e pelo início do desenvolvimento do tecido vascular da planta.

Estágio maduro

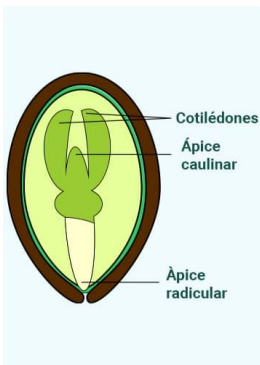
Etapa final da embriogênese, em que o eixo embrionário ocupa boa parte da semente. É um estágio de acúmulo de reservas. Percebem-se os meristemas apicais do caule e da raiz. A região abaixo dos cotilédones passa a ser denominada hipocótilo; e na região final do eixo embrionário encontra-se uma raiz embrionária ou radícula.

Ao final do amadurecimento, o embrião e a semente perdem água, entrando em dormência ou em quiescência.

Diferenças anatômicas encontradas entre Monocotiledôneas e Eudicotiledôneas

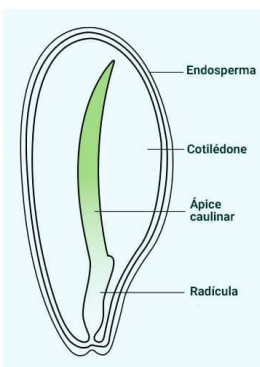
O desenvolvimento primordial do embrião é praticamente igual para os dois clados, entretanto ao serem formados números diferentes de cotilédones, a posição do ápice caulinar dos embriões será diferente.

Veja a seguir:



Eudicotiledôneas

Em Eudicotiledôneas, o ápice caulinar estará localizado entre os dois cotilédones.



Monocotiledôneas

Nas Monocotiledôneas, estará localizado logo acima da base do seu único cotilédone.

Entre as Monocotiledôneas, as gramíneas apresentam estruturas de proteção do ápice caulinar – **coleóptilo** – e do ápice radicular – **coleorriza**. São bainhas de proteção resistentes, provavelmente por serem regiões

extremamente frágeis e estarem em posições muito expostas ao germinar, tendo que romper as camadas de solo para darem origem a uma nova planta. Tanto o coleóptilo quanto a coleorriza são degradados dias após o processo de germinação, dando lugar respectivamente às primeiras folhas e a raízes bem desenvolvidas. Observe, na imagem a seguir, os primórdios foliares saindo de dentro dos coleóptilos.



Coleóptilos, revestimento esbranquiçado de *Triticum aestivum*.

O único cotilédone presente nas Monocotiledôneas é denominado escutelo, e tem função diferente dos cotilédones de Eudicotiledôneas: ele tem função de levar os nutrientes para o embrião que ainda está em desenvolvimento, e não de armazenamento. Além disso, proporcionalmente, o endosperma das Monocotiledôneas ocupa um espaço muito maior, quando comparado com algumas espécies de Eudicotiledôneas que contêm esse tecido.

Embriogênese somática

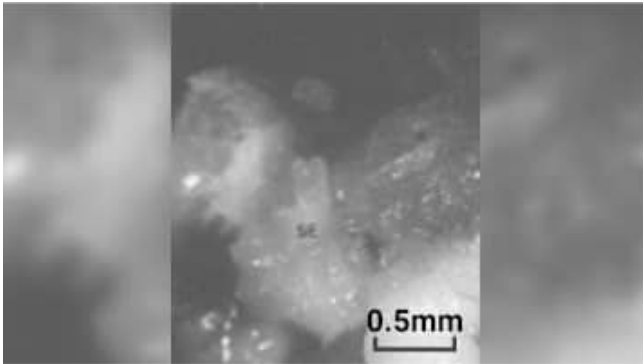
A embriogênese naturalmente sempre acontecerá a partir de uma reprodução sexuada de Gimnospermas e Angiospermas. Entretanto, existe um fenômeno, na cultura de tecidos *in vitro*, que é a embriogênese somática. É a formação de um embrião a partir de células somáticas, ou seja, por divisões mitóticas. Esse embrião é capaz de dar origem a uma planta completa.

Esse estágio de desenvolvimento *in vitro* pode ser alcançado a partir de manipulação hormonal, ou mesmo de fatores de estresse impostos à planta durante a cultura. O processo apresenta duas principais origens: embriogênese direta, quando uma célula diferenciada de tecido dá origem, em sua superfície, ao embrião. Embriogênese indireta, quando um aglomerado celular indiferenciado (calo) ou células indiferenciadas em suspensão dão origem a um embrião.

A embriogênese somática apresenta vantagens, como:

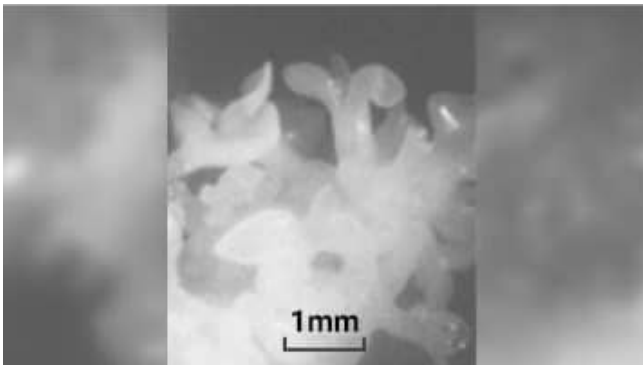
- Sua utilização como um sistema modelo em estudos embriológicos e investigações sobre os mecanismos celulares, moleculares e genéticos envolvidos na aquisição de competência para embriogênese;
- Propagação em larga escala e/ou comercial do genótipo selecionado;

- Produção de sementes sintéticas;
- Conservação de germoplasma;
- Técnica muito utilizada no melhoramento genético das plantas.



Embriogênese direta

Embriogênese indireta em calos de mamão *in vitro*. Embrião somático cordiforme (SE).



Embriogênese indireta

Embriões somáticos em etapa de desenvolvimento avançado na superfície de calos.

Apesar de ser muito estudada, não existem protocolos específicos para a indução de embriogênese somática nas plantas e, por isso, um protocolo individual deverá ser desenvolvido exclusivamente para cada espécie vegetal. Os principais fitoreguladores utilizados nesses protocolos são as citocininas e a auxina, que podem ser utilizadas em diferentes meios, proporções em combinações ou sozinhas, para a indução de respostas embriogênicas.

Curiosidade

A primeira espécie a ter a embriogênese somática descrita em um artigo foi a cenoura.

Início do desenvolvimento de uma plântula

Após a germinação, o embrião começa a se desenvolver numa planta em crescimento primário, que podemos chamar de plântula. Esse organismo começará a especializar os tecidos e órgãos para deixar de utilizar as reservas e começar a sintetizar seus próprios meios de energia.

Na organização dos tecidos, seu corpo apresentará, em todos os órgãos, tecidos primários de revestimento, de condução e de preenchimento e sustentação. É importante notar que as células do tecido de revestimento, especialmente nas partes aéreas da planta, devem ser impregnadas de cutina, formando uma cutícula que protege a planta contra a perda de água.

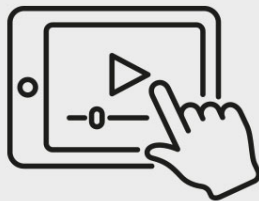
Com essas diferenciações, a planta poderá vingar no ambiente em que germinou e em breve será um indivíduo com todas as peculiaridades e adaptações que necessita para sobreviver nos mais diversos ambientes do nosso planeta, e quando estiver madura, poderá então desenvolver estruturas reprodutoras, que irão proporcionar a continuação do ciclo de vida de sua espécie.



As sementes na nossa alimentação

As sementes fazem parte da alimentação do ser humano há muitos anos e ainda hoje fazem parte das nossas principais refeições. Vamos entender o que faz dessas estruturas vegetais um alimento perfeito para muitos animais.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Leia o trecho traduzido do artigo *Improvement of protein and amino acid contents in seeds of food legumes. A case study in Phaseolus* e responda:

“Sementes de leguminosas de grãos têm grandes teores de proteínas, variando de 20% a até 40% de sua matéria seca, de acordo com as espécies, genótipos dentro das espécies e ambientes. Proteínas de armazenamento em sementes de leguminosas estão localizadas principalmente nos tecidos cotilédones. Eixo embrionário e testas pouco contribuem para o teor de proteína total da semente, principalmente porque esses componentes representam pequenas proporções da massa da semente.”

BAUDOIN, J. P.; MAQUET, A. **Improvement of protein and amino acid contents in seeds of food legumes. A case study in Phaseolus**. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, v. 3, n. 4, p. 220-224, 1999.

De acordo com o que você aprendeu no módulo, complementado com o texto acima, podemos dizer que

A o cotilédone de Monocotiledôneas e Eudicotiledôneas é o único tecido que oferece reservas nutricionais para as sementes. Enquanto a maior parte das Eudicotiledôneas transfere os nutrientes do endosperma para os cotilédones como reserva energética para a germinação, as Monocotiledôneas normalmente utilizam os nutrientes do seu tegumento durante a germinação.

B os cotilédones e endospermas de Monocotiledôneas e Eudicotiledôneas são os tecidos que oferecem reservas nutricionais para as sementes. Entretanto, a maior parte das Eudicotiledôneas absorvem os nutrientes do cotilédone para reserva energética durante a germinação, e as Monocotiledôneas normalmente utilizam os nutrientes do seu endosperma durante a germinação.

C tanto em Monocotiledôneas quanto em Eudicotiledôneas, o principal tecido de reserva do embrião para a sua germinação é o endosperma. Todas as sementes que conhecemos na atualidade desenvolvem esse tecido e utilizam os nutrientes dele para todas as etapas de desenvolvimento da semente, desde a sua maturação até a sua germinação.

D

sementes de Eudicotiledôneas têm seus dois cotilédones reduzidos para que o endosperma possa ocupar a maior área possível da semente, enquanto em sementes de Monocotiledôneas o seu único cotilédone é extremamente desenvolvido, ocupando muitas vezes o lugar do endosperma, que será substituído pelo cotilédone.

E

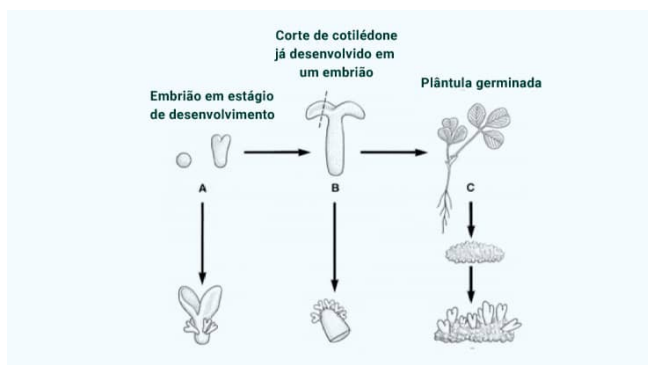
Os cotilédones e endospermas de Monocotiledôneas e Eudicotiledôneas são os tecidos que oferecem reservas nutricionais para as sementes. Entretanto, enquanto a maior parte das Eudicotiledôneas absorve os nutrientes do endosperma para reserva energética durante a germinação, as Monocotiledôneas normalmente utilizam os nutrientes do seu cotilédone durante a germinação.

Parabéns! A alternativa B está correta.

As sementes de Eudicotiledôneas, na maioria dos casos, transferem os nutrientes do endosperma para seus cotilédones a fim de dar suporte nutricional para que a semente possa germinar e desenvolver posteriormente um novo indivíduo. Enquanto isso, nas Monocotiledôneas, a maioria dos indivíduos apresenta cotilédone reduzido e grande parte da semente é ocupada pelo tecido de reserva energética, denominado endosperma, que dá suporte nutricional para que a semente possa germinar e desenvolver posteriormente um novo indivíduo.

Questão 2

Observe a figura adaptada do livro *In vitro embryogenesis in plants* e responda à pergunta abaixo.



De acordo com os seus conhecimentos a respeito de organogênese direta e indireta, avalie que tipo de organogênese está ocorrendo em "A" "B" e "C".

- A A- Organogênese direta, B- Organogênese indireta, C- Organogênese indireta.
- B A- Organogênese indireta, B- Organogênese indireta, C- Organogênese indireta.
- C A- Organogênese indireta, B e C- Organogênese direta.
- D A- Organogênese direta, B- Organogênese direta, C- Organogênese indireta.
- E A- Organogênese indireta, B- Organogênese indireta, C- Organogênese direta.

Parabéns! A alternativa D está correta.

No sentido das seções “A” e “B”, temos a organogênese direta, porque o desenvolvimento dos embriões cordiformes está sendo diretamente em um tecido diferenciado, ou seja, na superfície do próprio explante de embrião ou de cotilédone já diferenciado. Para ser indireta, ele necessitaria passar por uma forma intermediária que chamamos de calos, como podemos ver no sentido da seção “C”, onde o fragmento de plântula desenvolve primeiramente um aglomerado celular indiferenciado (calos) e nele é desenvolvido o embrião somático; por isso, essa organogênese é considerada organogênese indireta.

Considerações finais

Vimos o ciclo de vida das plantas espermatófitas e estudamos sobre a novidade evolutiva que provavelmente foi uma das estruturas mais importantes para o sucesso e a expansão das plantas por todo o nosso planeta, as sementes.

Falamos sobre o desenvolvimento das sementes enquanto anexadas no corpo da planta matriz, o processo de dispersão, o desenvolvimento ontogênico das sementes e suas estruturas anatômicas.

Além disso, fizemos uma breve revisão da embriogênese somática, técnica de muito interesse comercial dentro da biotecnologia vegetal.



Podcast

Neste podcast, a especialista Aline Saavedra irá apresentar as principais metodologias e os materiais necessários para que sejam sintetizadas sementes sintéticas, bem como o principal uso dessa ferramenta no cotidiano de biólogos e agrônomos.

Para ouvir o *áudio*, acesse a versão online deste conteúdo.



Referências

BANASIAK, A. *et al.* **Glycoside hydrolase activities in cell walls of sclerenchyma cells in the inflorescence stems of *Arabidopsis thaliana* visualized *in situ*.** Plants, v. 3, n. 4, p. 513-525, 2014.

BAUDOIN, J. P.; MAQUET A. **Improvement of protein and amino acid contents in seeds of food legumes. A case study in *Phaseolus*.** Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, v. 3, n. 4, p. 220-224, 1999.

CHEN, M. H.; WANG, P. J.; MAEDA, E. **Somatic embryogenesis and plant regeneration in *Carica papaya* L. tissue culture derived from root explants.** Plant Cell Reports, v. 6, n. 5, p. 348-351, 1987.

CUTLER, D. F.; BOTHA, T.; STEVENSON, D. W. **Anatomia vegetal: uma abordagem aplicada.** Artmed, 2009.

FERREIRA, A. G; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado.** Porto Alegre: Artmed, 2004.

GIBSON, L. J. **The hierarchical structure and mechanics of plant materials.** Journal of the royal society interface, v. 9, n. 76, p. 2749-2766, 2012.

LOPES, R. R.; FRANKE, L. B. **Aspectos térmico-biológicos da germinação de sementes de cornichão anual sob diferentes temperaturas**. R. Bras. Zootec., v. 40, n. 10, p. 2091-2096, 2011.

MERKLE, S. A.; PARROTT, W. A.; FLINN, B. S. **Morphogenic aspects of somatic embryogenesis**. In: In vitro embryogenesis in plants. Springer, Dordrecht, 1995. p. 155-203.

NASCIMENTO, W. M. O.; CARVALHO, J. E. U.; CARVALHO, N. M. **Germinação de sementes de jenipapo (*Genipa americana* L.), submetidas a diferentes temperaturas e substratos**. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 22, n. 3, p. 47, 2000.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. In: Biologia vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007, p. 830-830.

TAIZ, L. et al. **Fundamentos de Fisiologia Vegetal-6**. Porto Alegre: Artmed, 2021.

Explore +

- Veja como ocorre a formação do embrião e o desenvolvimento das sementes no vídeo *Reproductive Cycle of Flower Plants / The Amazing Lives of Plants*, disponível no YouTube.
- Acesse o documentário *A Vida das Plantas*, disponível no canal *documentaryondemand*, no YouTube, que mostra a resiliência de muitas espécies vegetais.
- Que tal aproveitar os muitos conhecimentos adquiridos sobre sementes e testar uma receita para o almoço utilizando essas estruturas vegetais? Veja a dica de um risoto de pinhão com alho-poró disponível no site *Receitas sem Fronteiras*.
- Conheça mais sobre o desenvolvimento e a evolução de sementes no artigo *Biology of seed development and germination physiology*, de Tura Bareke.