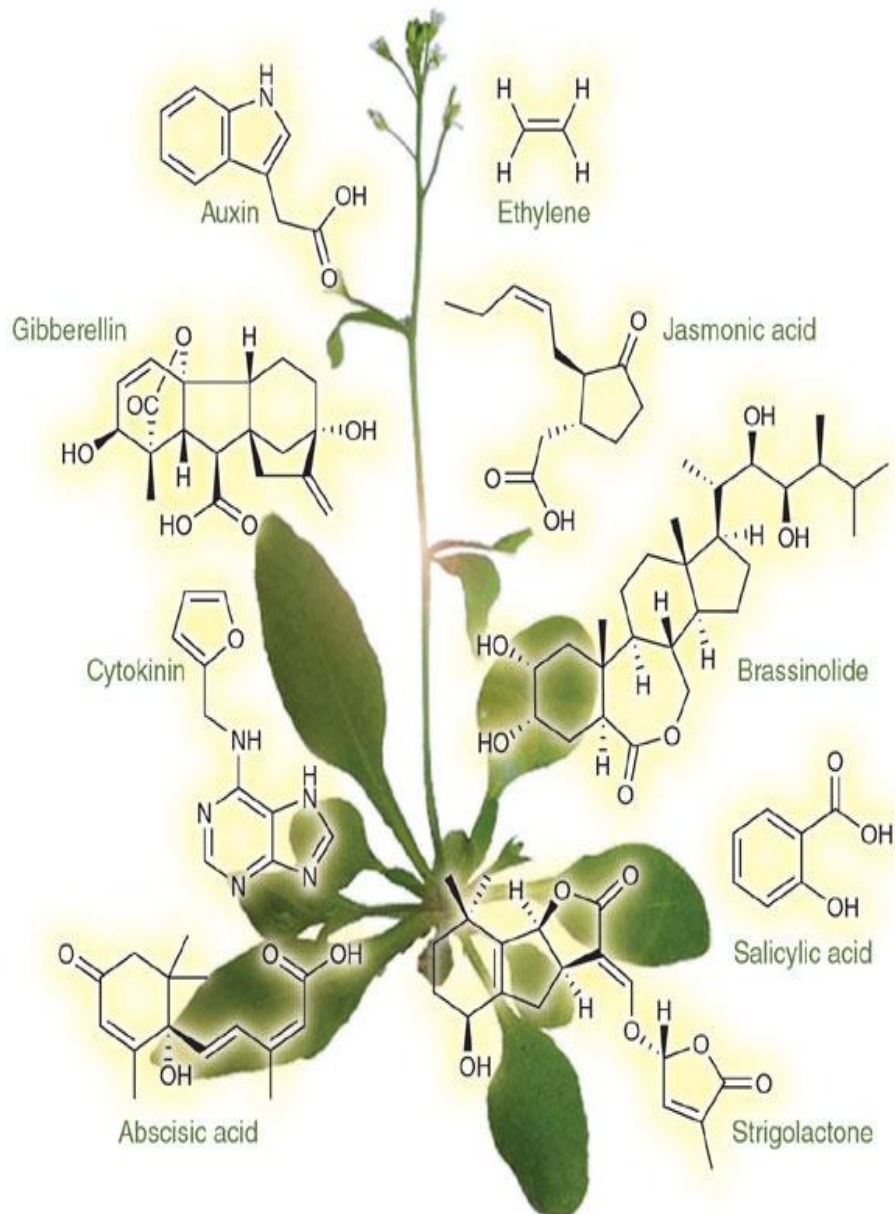


Crescimento e Desenvolvimento de Plantas

Fitormônios

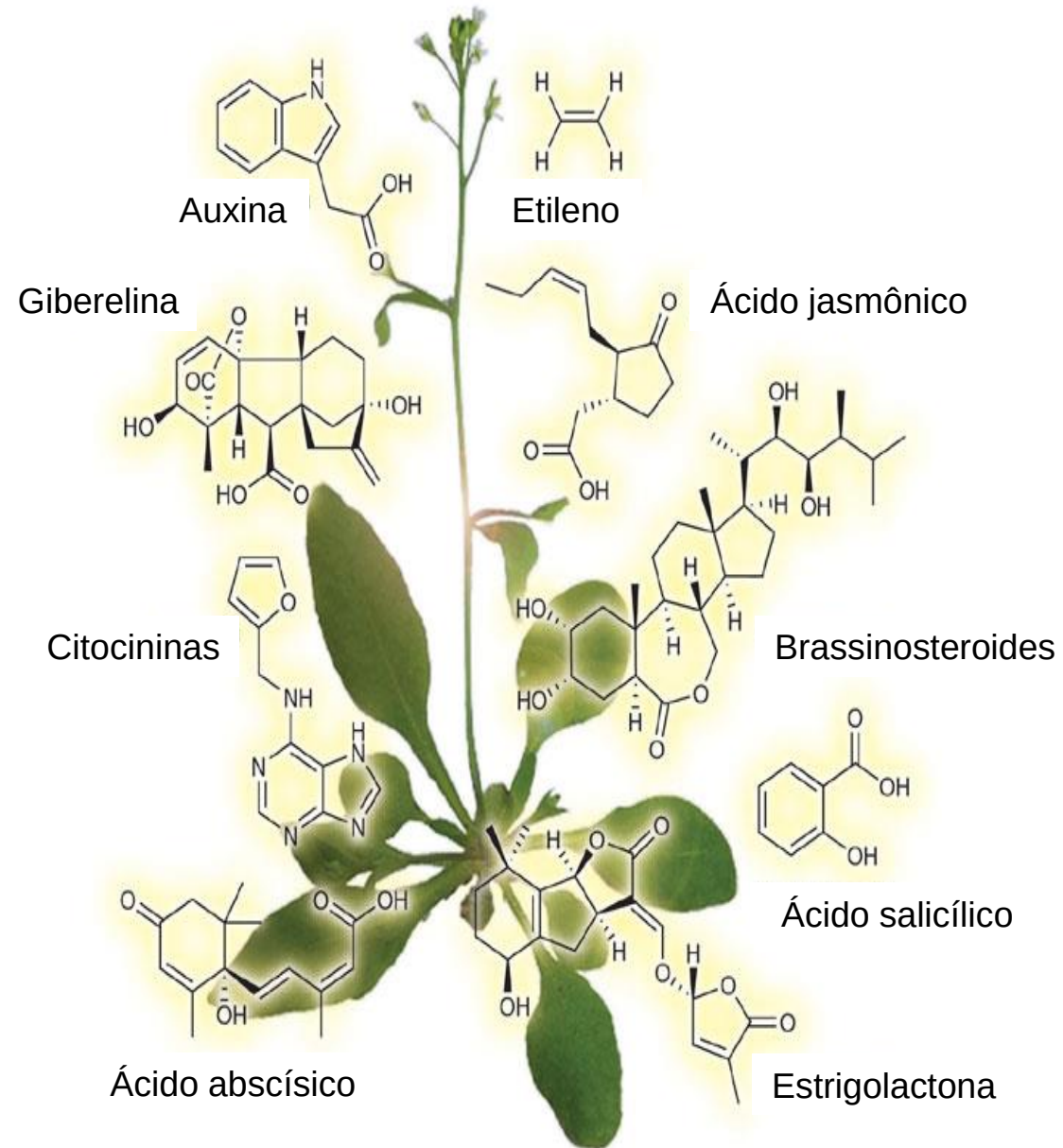
Biociclo Vegetal

CONCEITO

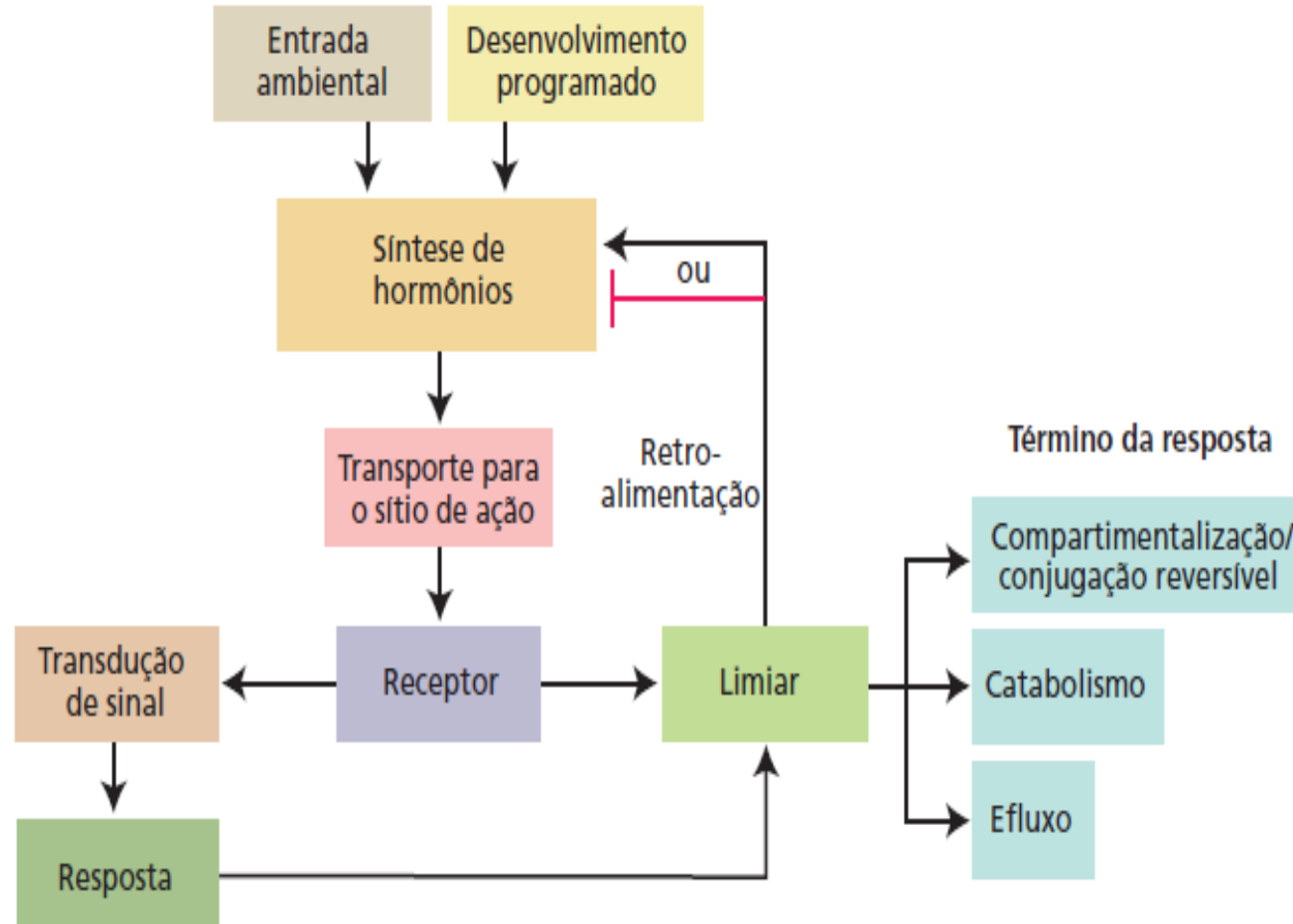


Mensageiros químicos produzido pela planta e que em **baixas concentrações** exercem influencia nos processos fisiológicos do vegetal.

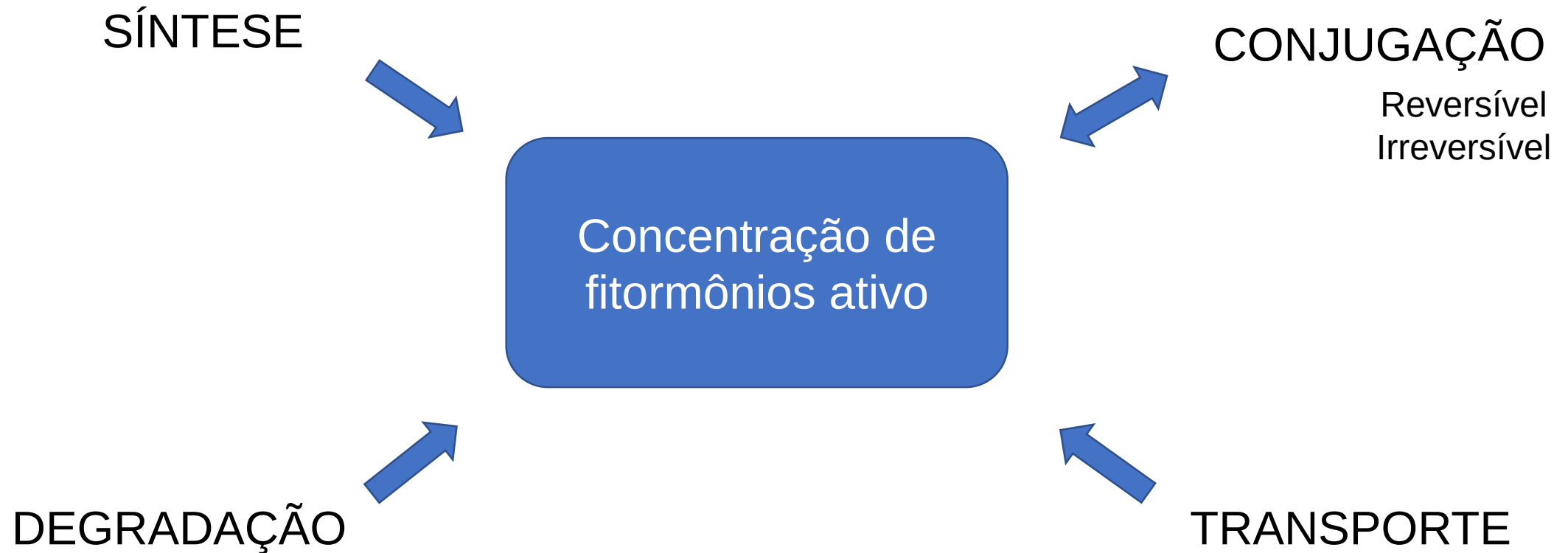
CONCEITO



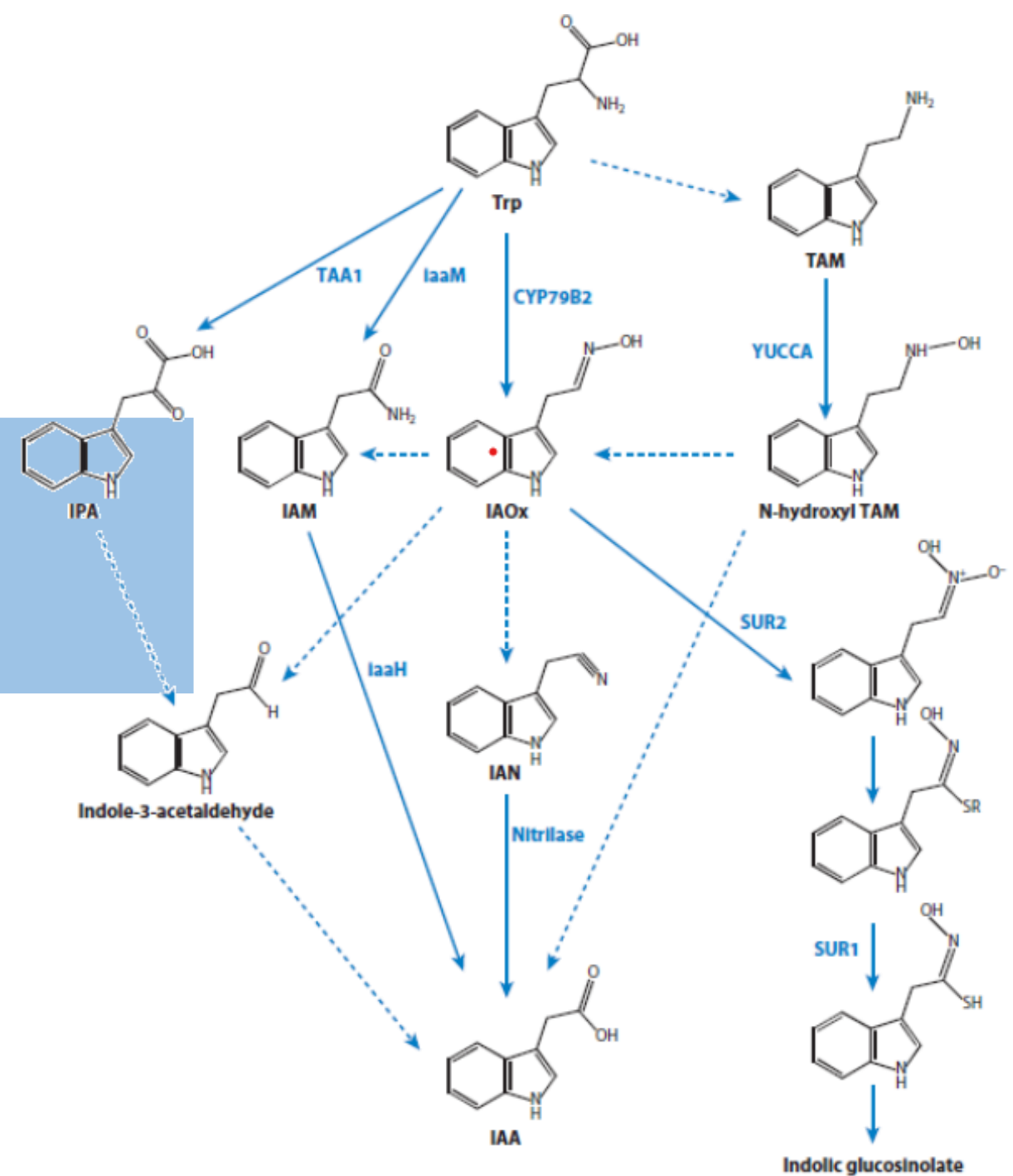
AÇÃO HORMONAL



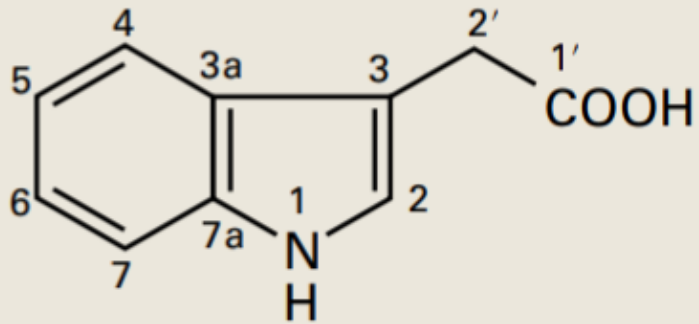
Regulação dos níveis internos dos fitormônios vegetais



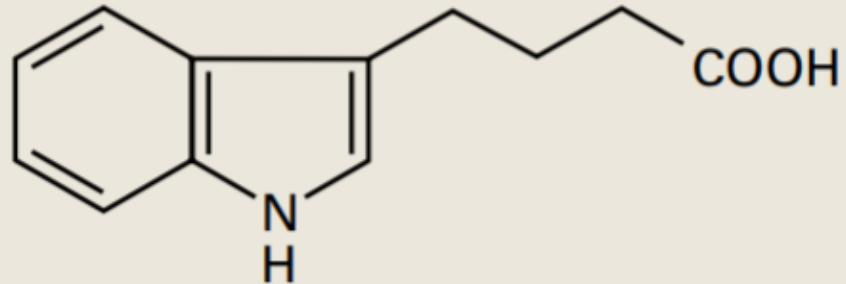
Auxinas - IAA



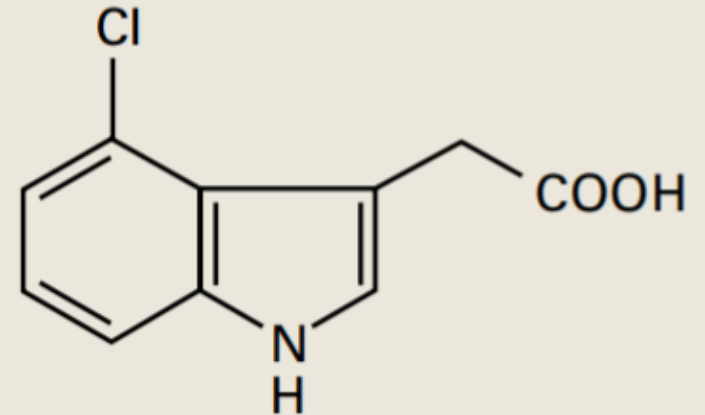
Auxinas naturais



**Indole-3-acetic acid
(IAA)**

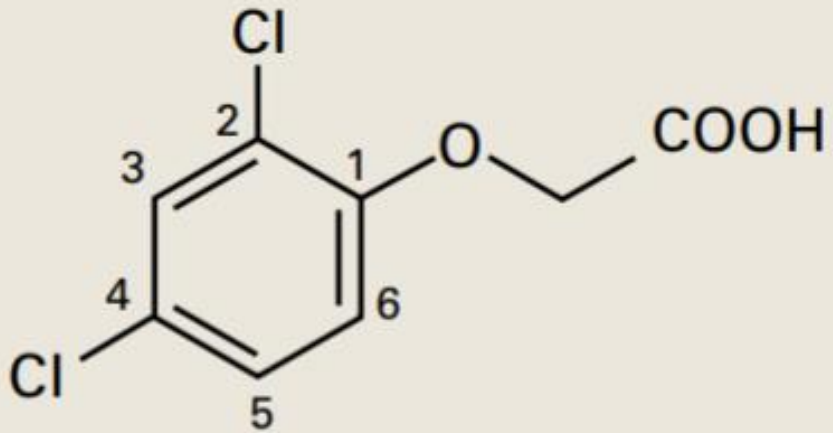


**Indole-3-butyric acid
(IBA)**

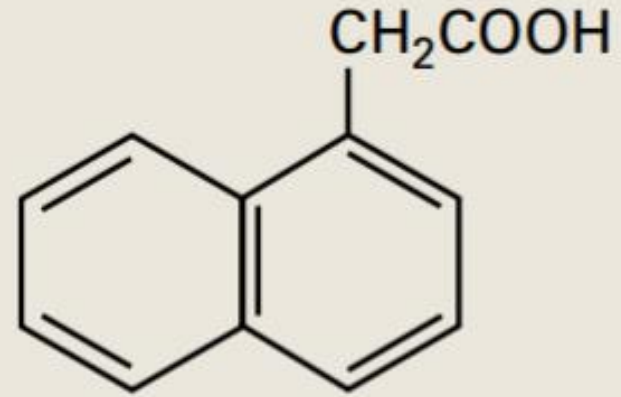


4-Chloroindole-3-acetic acid

Auxinas sintéticas



2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)



Naphthalene-1-acetic acid (NAA)

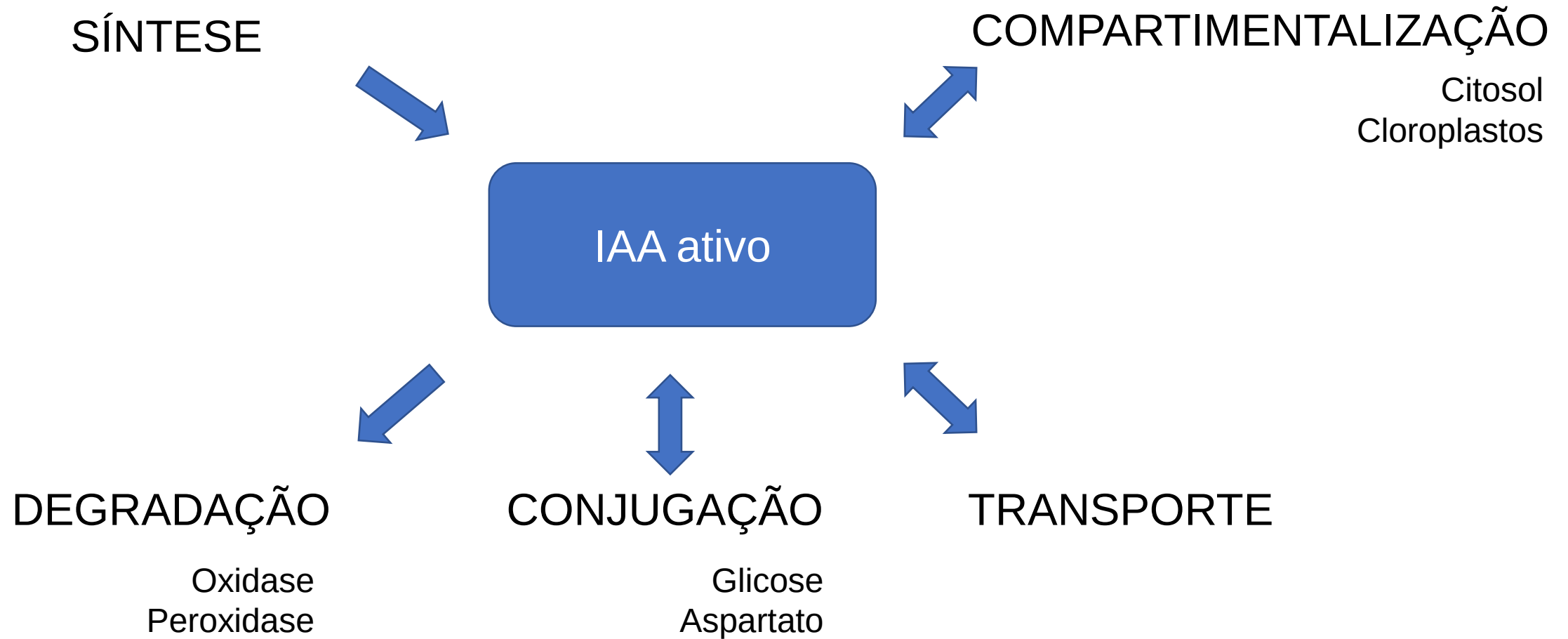
Principais locais de produção

Premissa - Tecidos jovens em desenvolvimento: meristemas apicais do caule e da raiz, folhas, flores, frutos e sementes em desenvolvimento.

Precursor - Triptofano



Regulação dos níveis internos de IAA



Transporte de IAA

- Polar (basípeto – do ápice para a base)

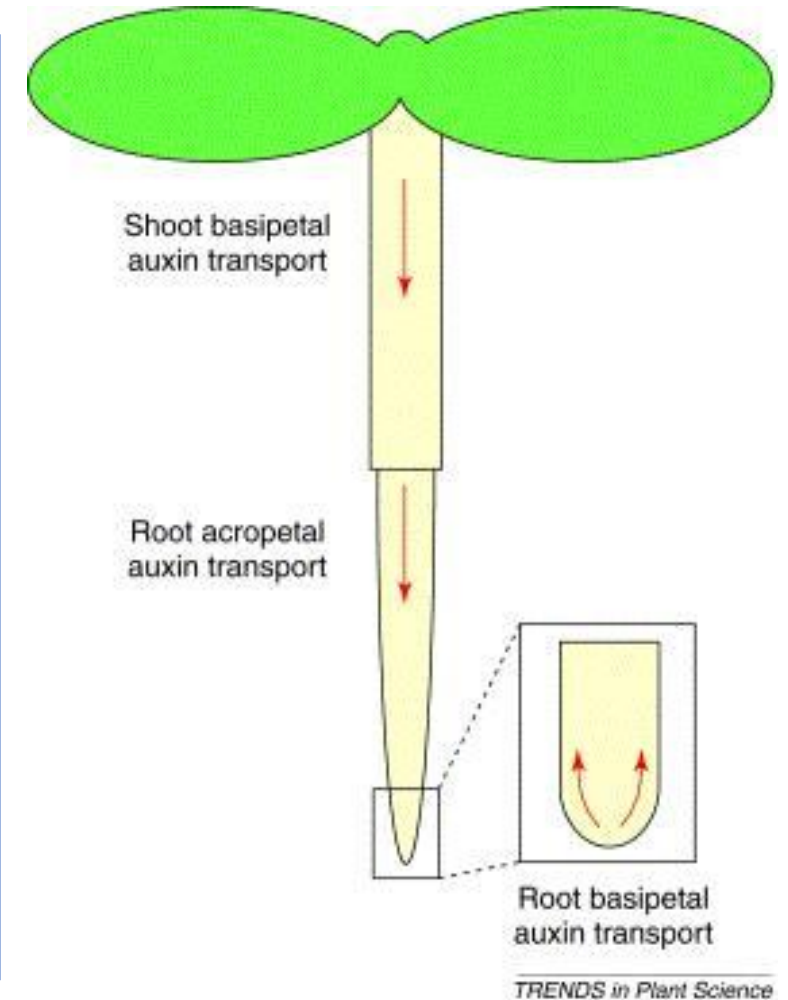
Lento ($5 - 20 \text{ cm.h}^{-1}$)

Independente da gravidade

Requer energia metabólica

Parênquima vascular

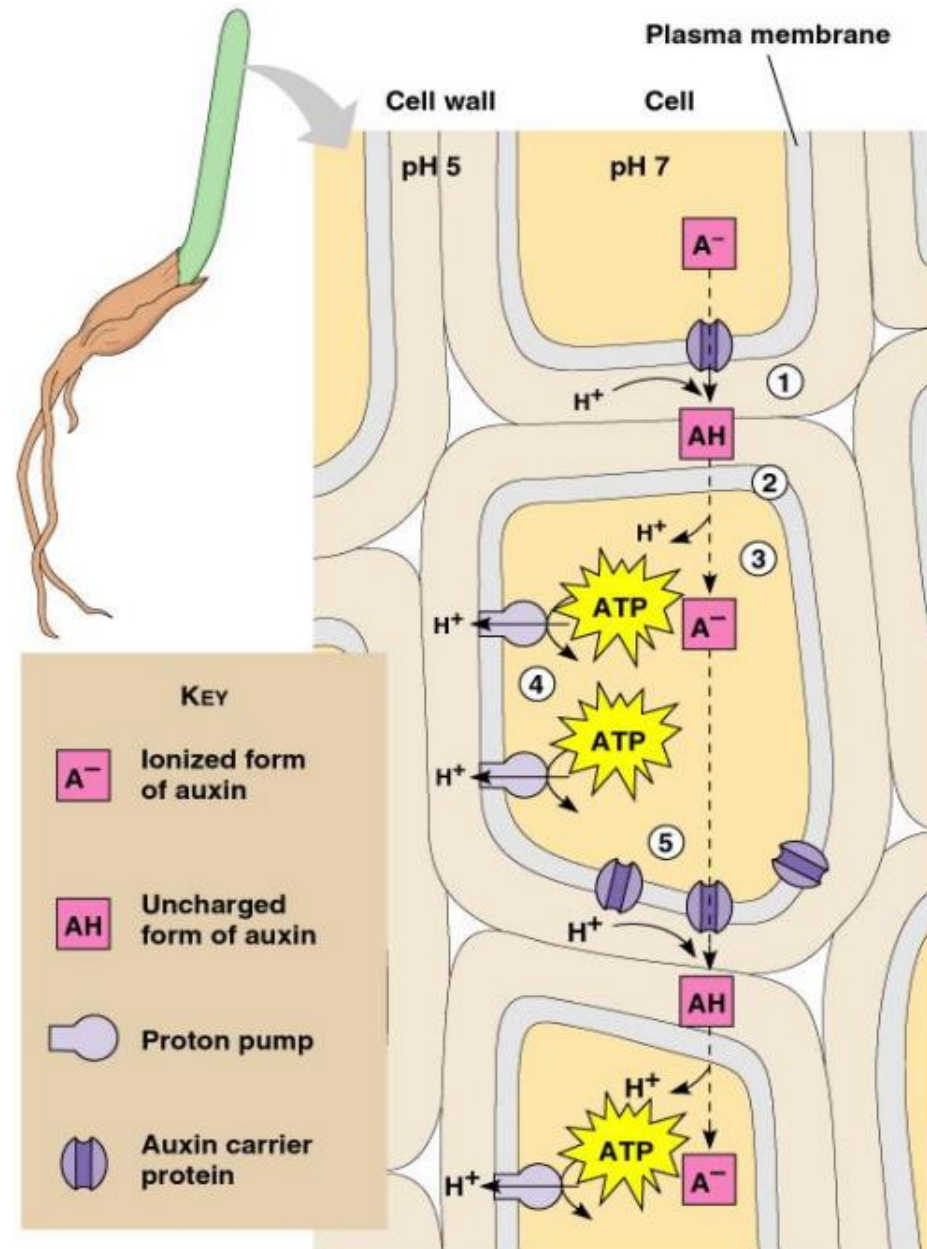
- Transporte acrópeto (via floema)



Modelo quimiosmótico para o transporte polar de Auxina

Requer **ENERGIA** metabólica

Bombas H^+ -ATPase:
equilíbrio de cargas por
extrusão de prótons e
gasto de energia (ATP).

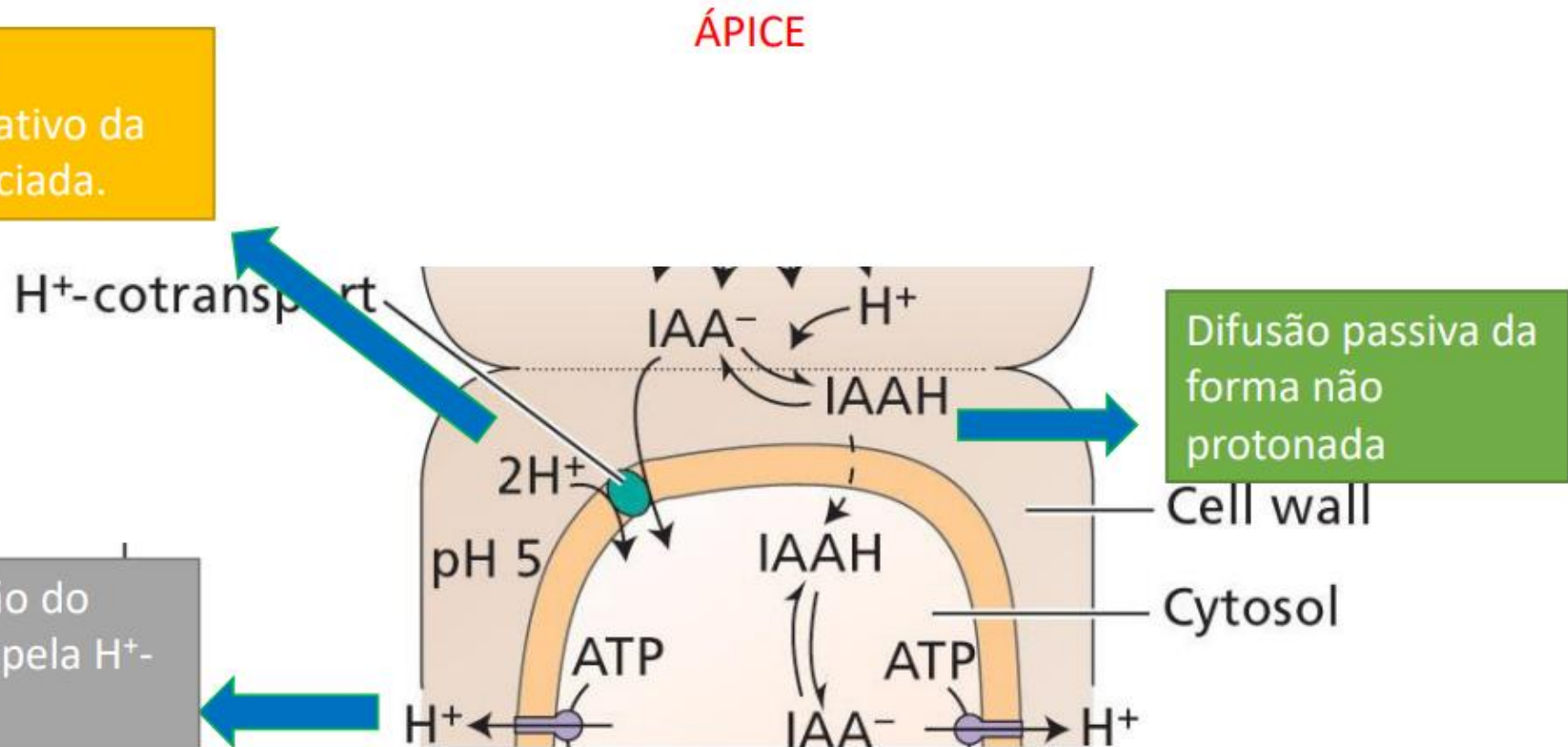


Modelo quimiosmótico para o transporte polar de Auxina

INFLUXO DE AUXINA

Transporte secundário ativo da forma dissociada.

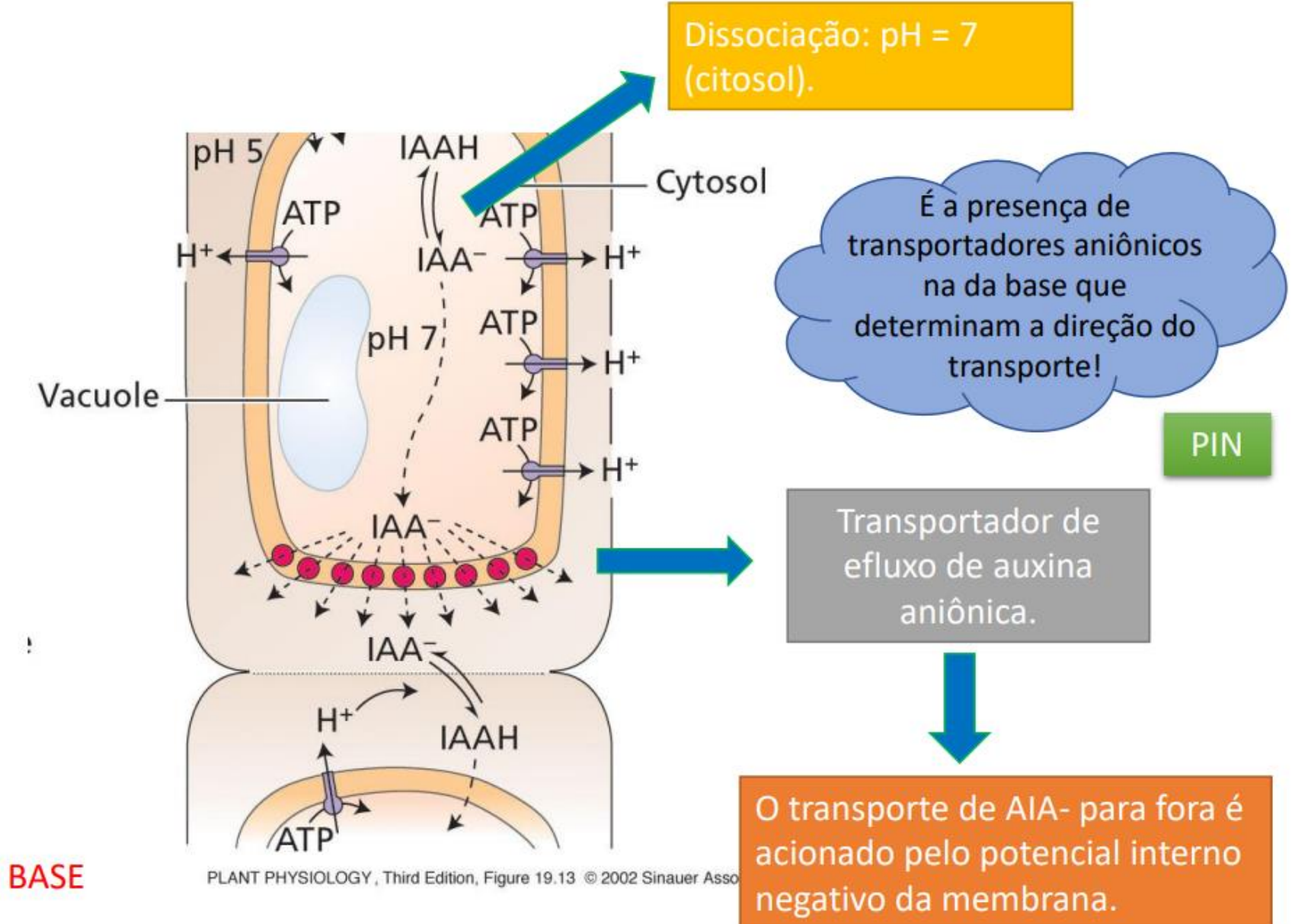
Acidificação do apoplasto pela H^+ -ATPase.



- Permeabilidade passiva depende do pH do apoplasto (em torno de 5)
- Cerca de 25% da auxina está na forma não dissociada
- Transporte secundário ativo: co-transporte H^+ - IAA^- (saturável).

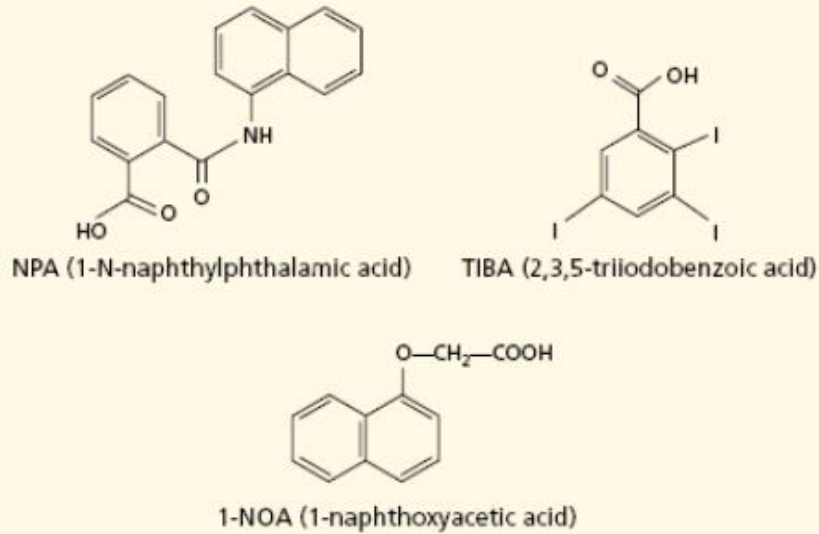
Modelo quimiosmótico para o transporte polar de Auxina

EFLUXO DE AUXINA

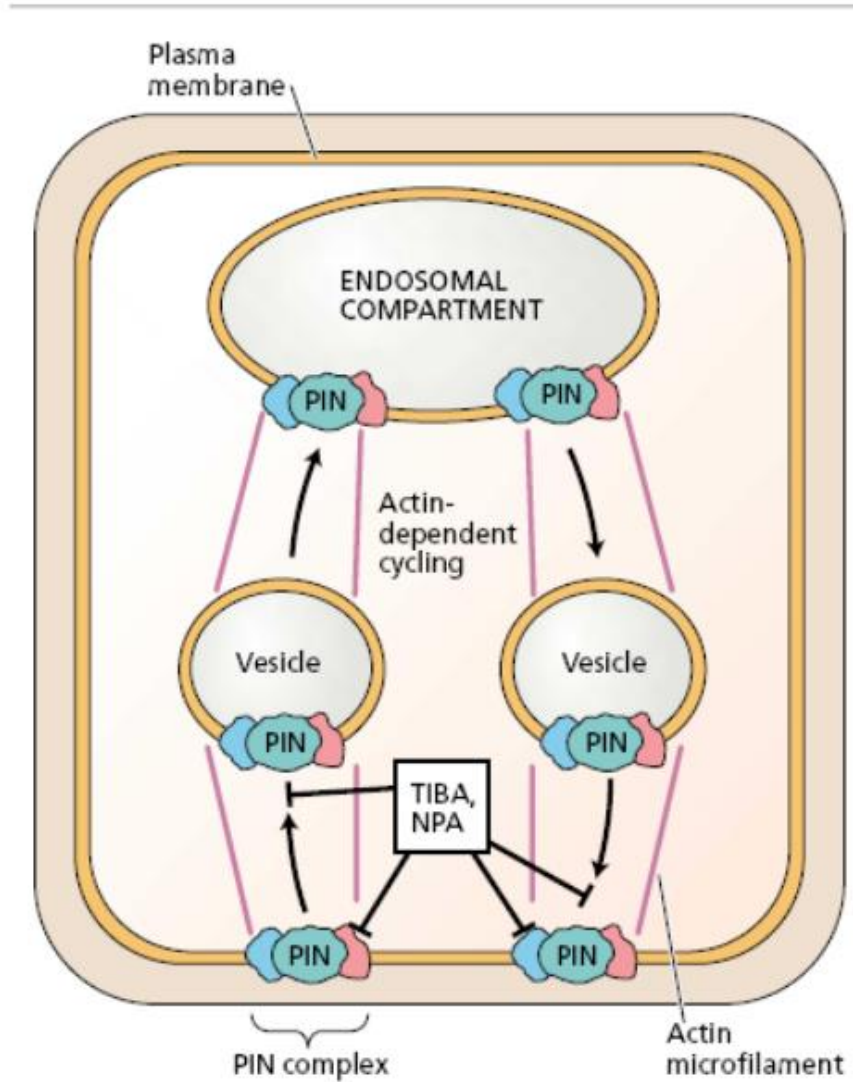
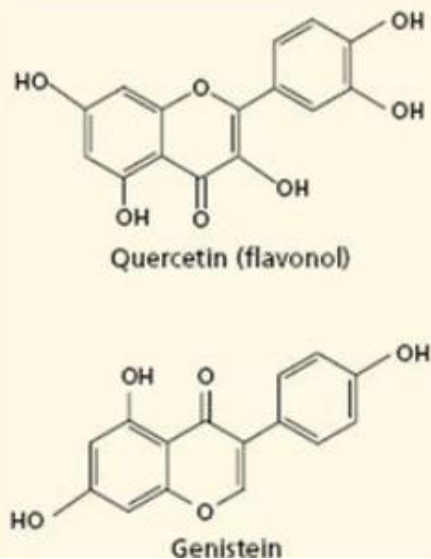


Inibidores de IAA

Auxin transport inhibitors not found in plants



Naturally occurring auxin transport inhibitors

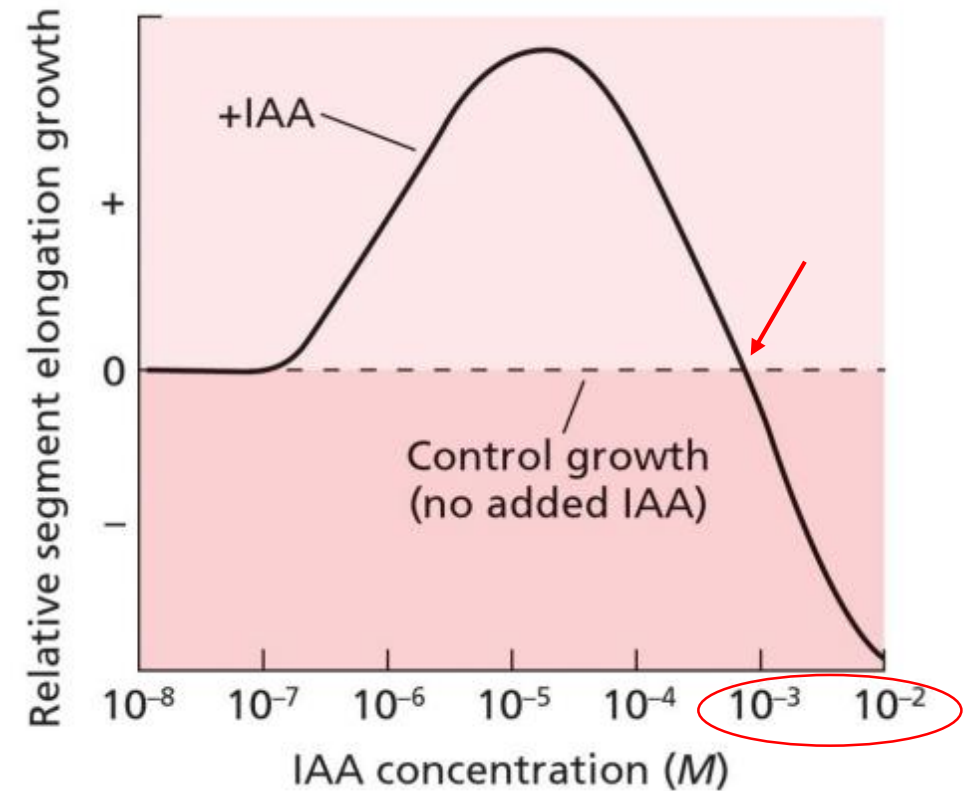


Efeitos Fisiológicos da IAA

- **Alongamento Celular;**
- **Tropismos (fototropismo e gravitropismo);**
- **Regulação da Dominância Apical;**
- Formação de Raízes Laterais;
- **Retardo da Abscisão Foliar;**

Alongamento Celular

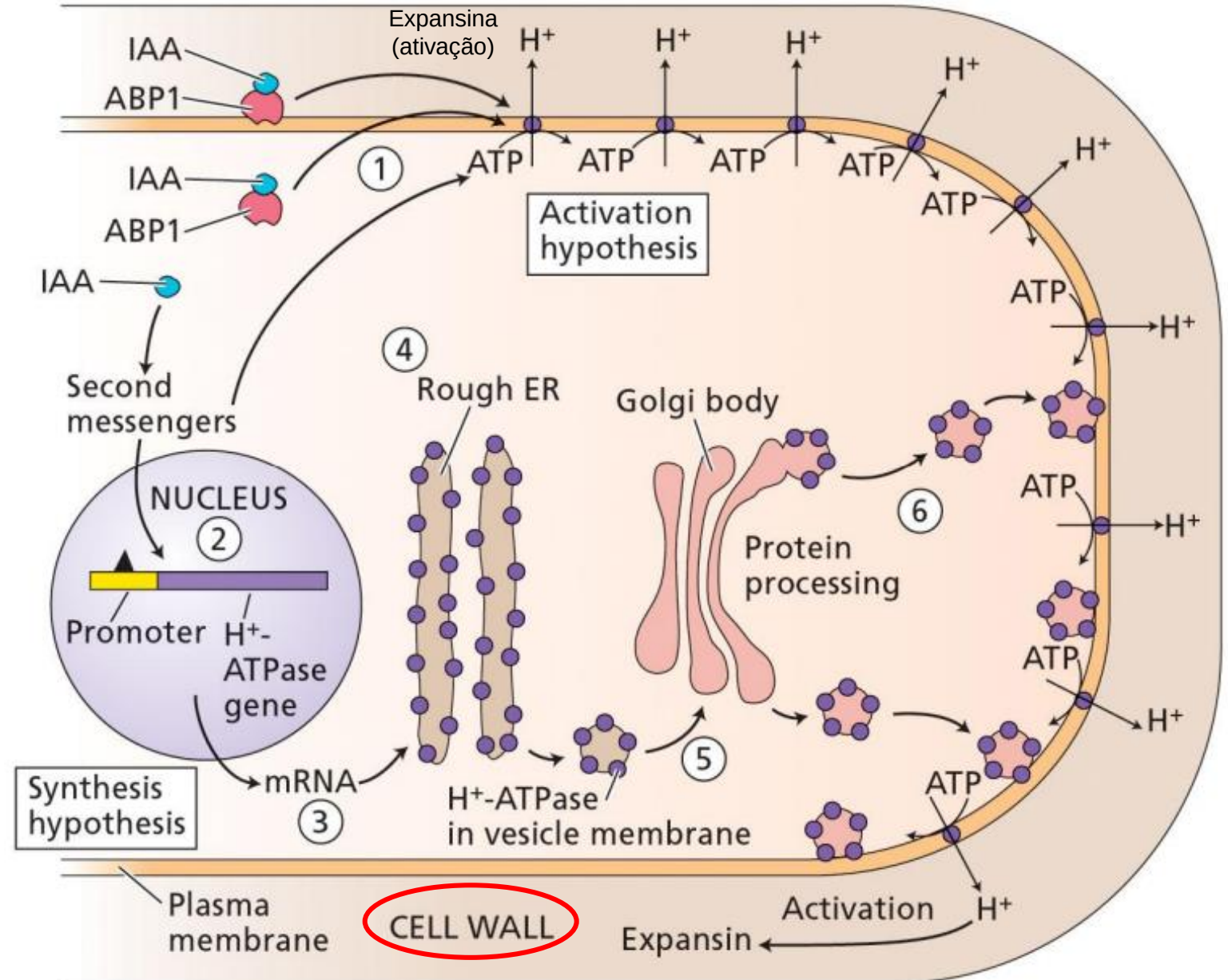
Segmentos de coleóptilos de aveia incubados por 18 h em água ou auxina



Tempo de atraso: tempo necessário para que o sistema bioquímico da célula efetue o aumento na taxa de crescimento;
Adição de um soluto (sacarose ou KCl) aumenta a taxa de alongamento – manutenção da turgidez e energia.

Alongamento Celular

Hipótese do crescimento ácido – extrusão de prótons



Tropismos

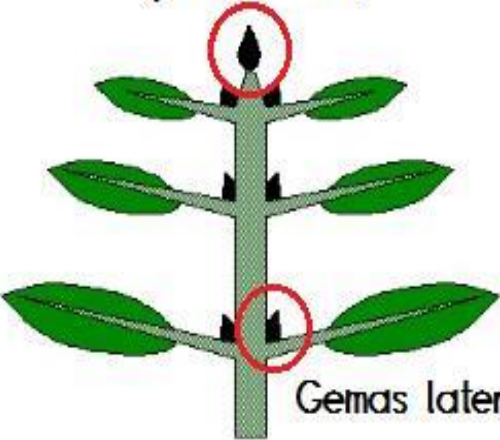


Gravitropismo

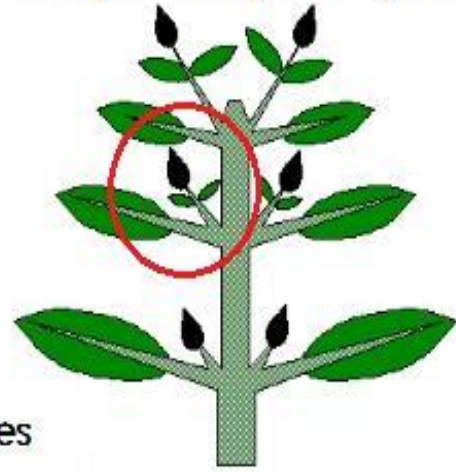
Efeitos Fisiológicos da IAA

Dominância apical

Gema apical
(produz AIA)

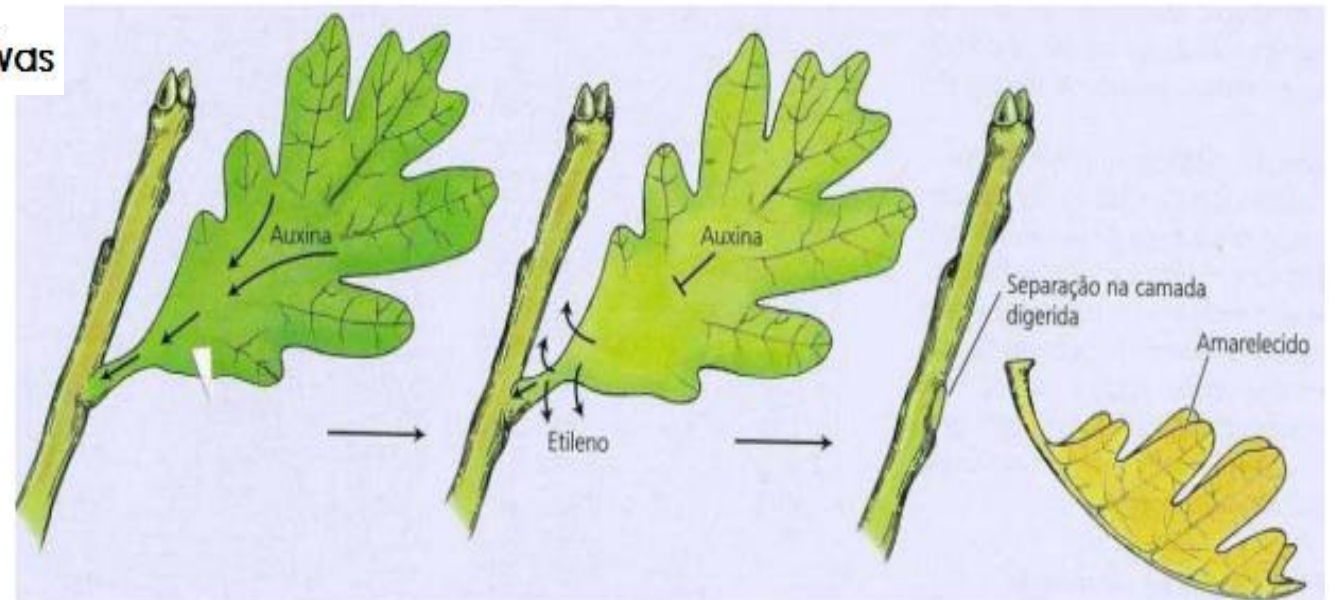


Remoção da gema apical



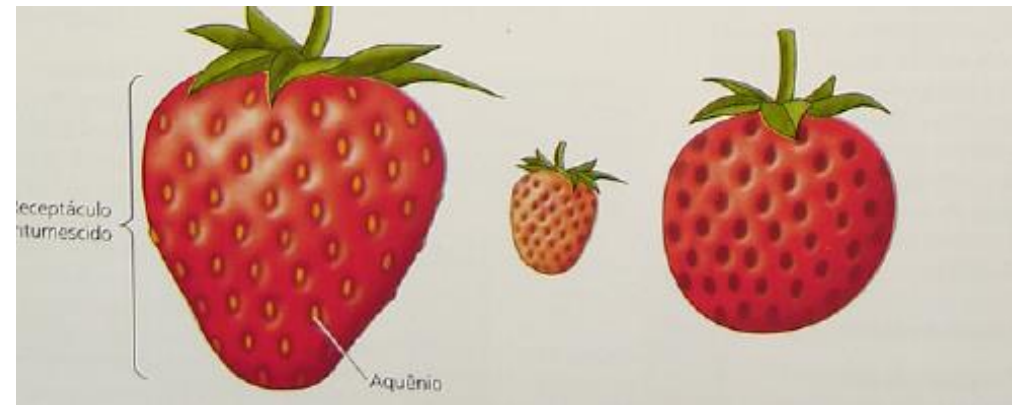
Gemas laterais ativas

Retardo da abscisão foliar

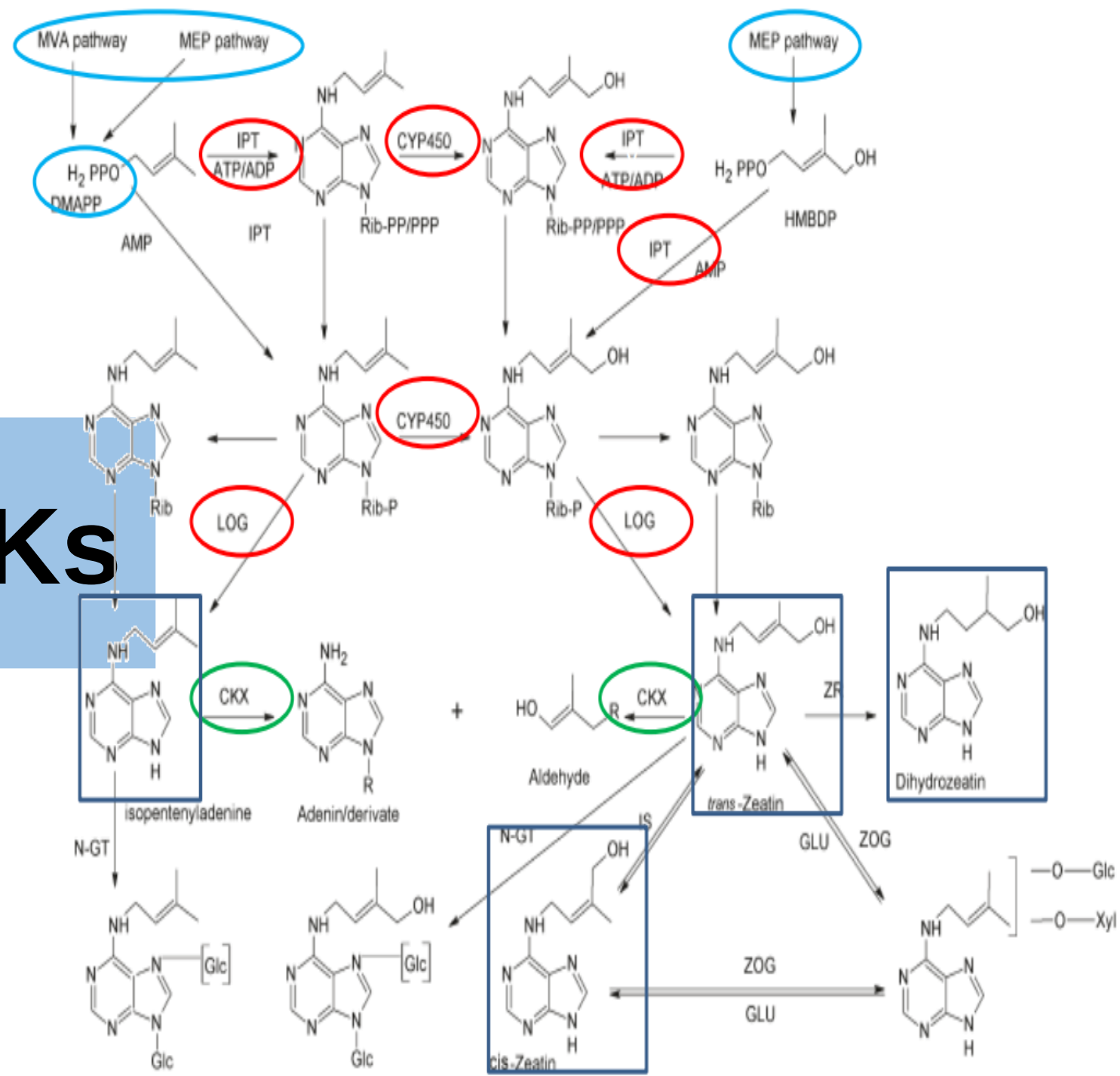


IAA: Usos comerciais

- Propagação assexuada de plantas como enraizador de estacas;
- Indução de partenocarpia (frutos sem sementes);
- Utilizada como herbicidas.

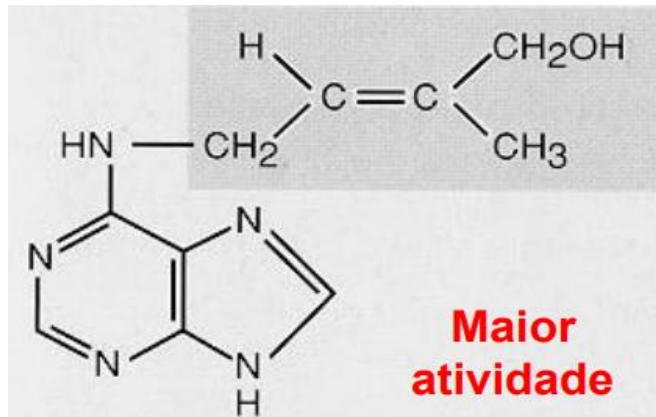


Citocininas - CKs

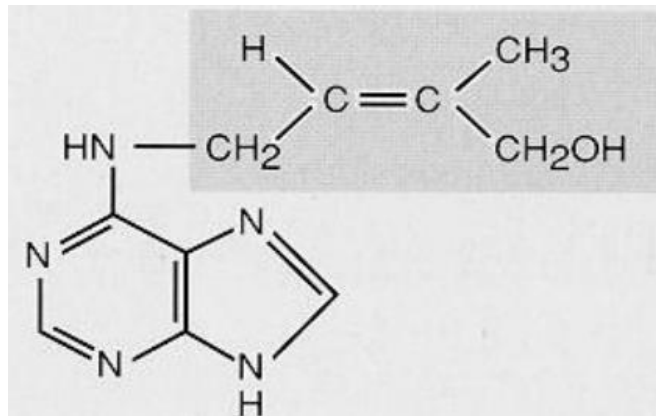


Citocininas naturais

Derivados de adenina (aminopurinas) com cadeias laterais que podem existir na forma cis ou trans.

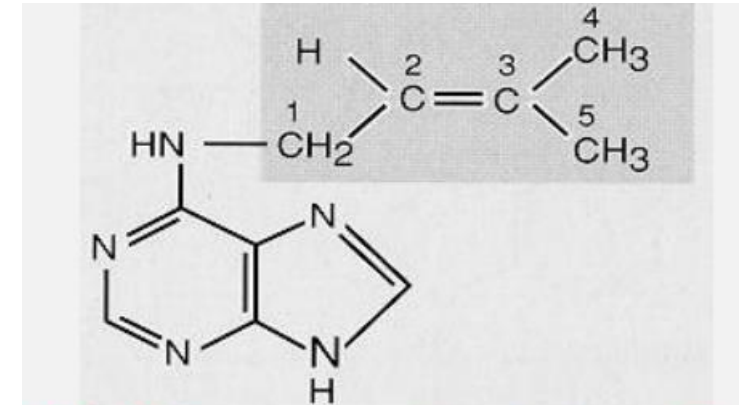


trans-Zeatina

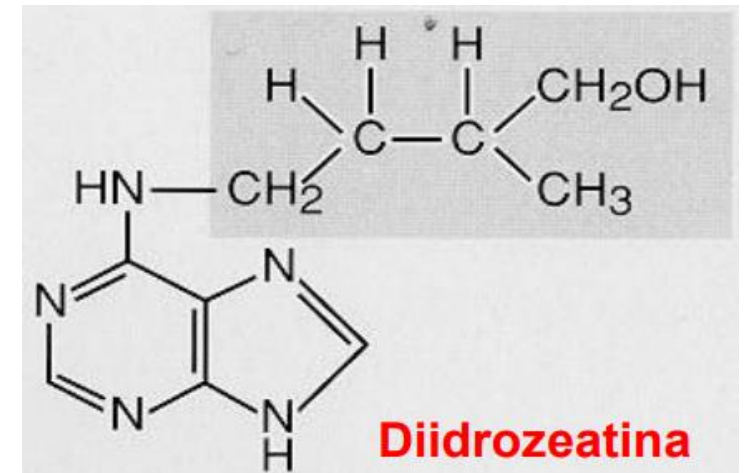


cis-Zeatina

Mais comuns
encontradas em
plantas

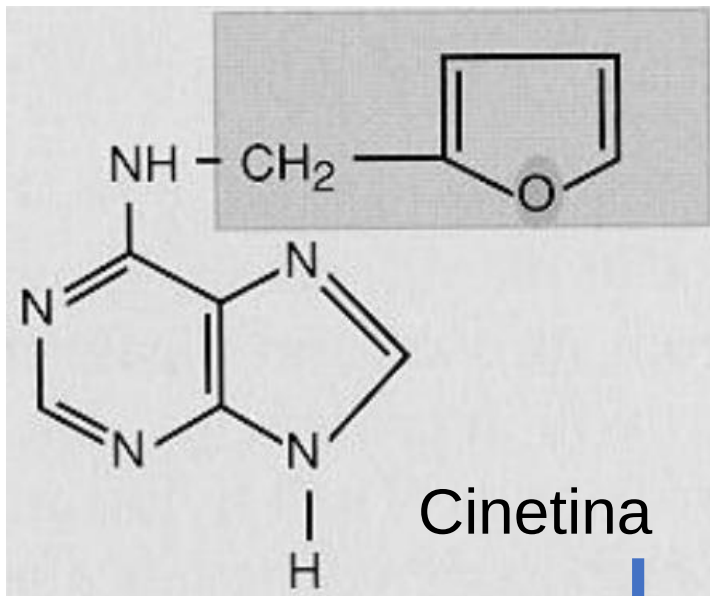


N⁶-(Δ²-Isopentenil)-adenina (iP)

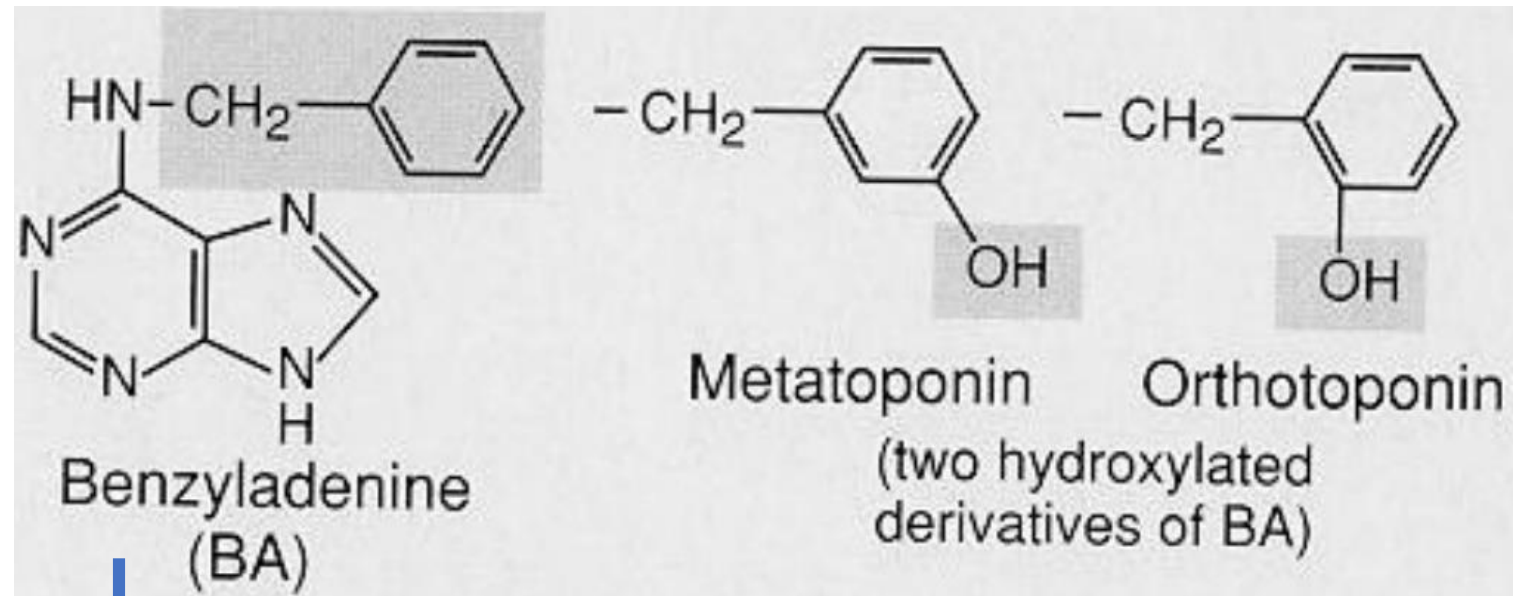


Diidrozeatina

Citocininas sintéticas



Cinetina



Benzyladenine
(BA)

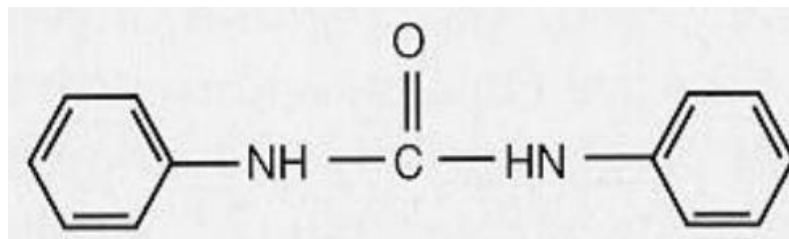
Metatoponin

Orthotoponin

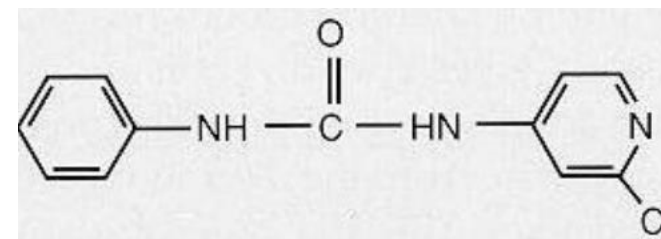
(two hydroxylated
derivatives of BA)

Cks + utilizadas

Imunes à Ck oxidase;
Não formam conjugados glicosilados na cadeia lateral e
Relativamente de menor custo.

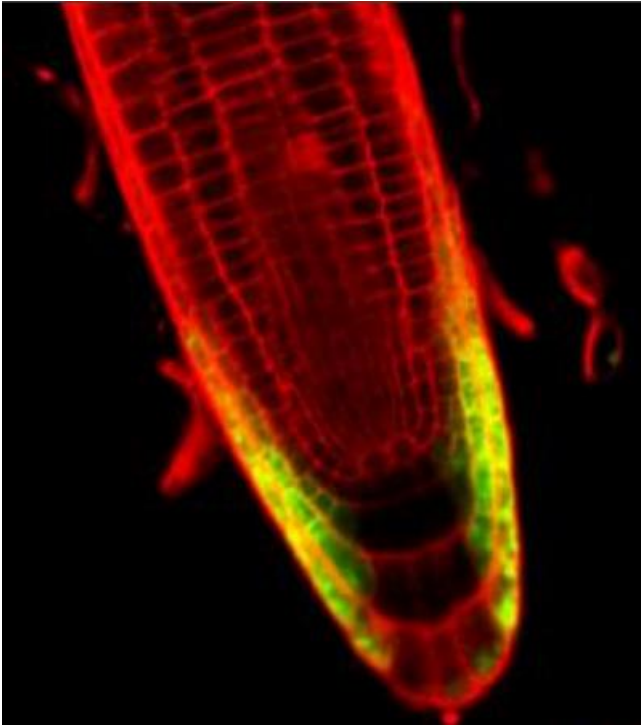


N, N' - Difeniluréia



Forclorofenuron

Principais locais de produção



Premissa - Tecidos com alta atividade meristemática
(meristema apical da raiz)

Embriões

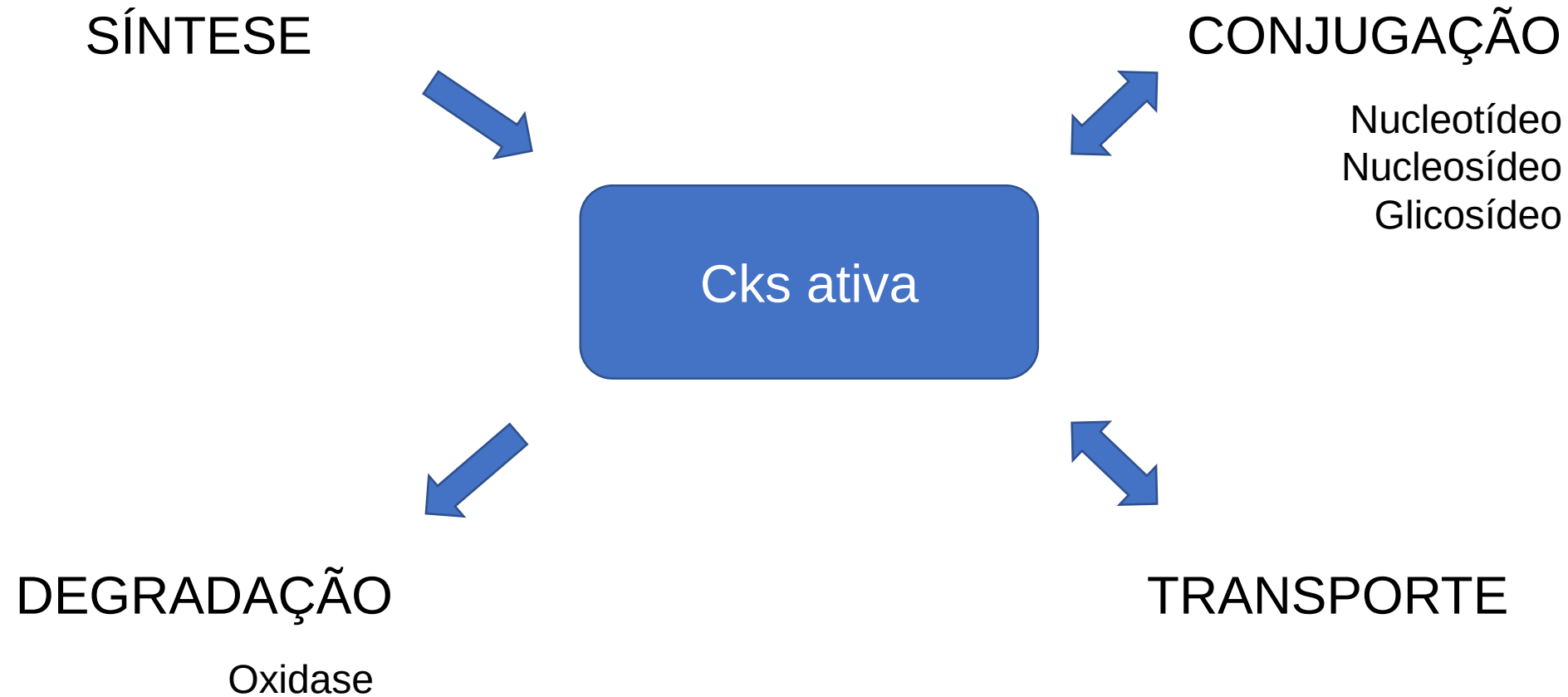
Folhas

Frutos

} Jovens



Regulação dos níveis internos de Cks



Transporte de CKs

- Xilema e floema;
- Na forma livre ou ligada: ribosídeos, nucleosídeo (açúcares) ou nucleotídeos (ligados ao P);
- Sintetizadas: **meristema apical da raiz** (principalmente).
- Atuam no local de síntese ou em longas distâncias;
- Citocinina oxidase (CKox) rapidamente inativa CKs e é ativada por altas concentrações de CKs;
- Sementes dormentes contém grande quantidade de CK conjugada com açúcar, porém ao iniciar a germinação as CKs tornam-se ativas.

Efeitos Fisiológicos da Cks

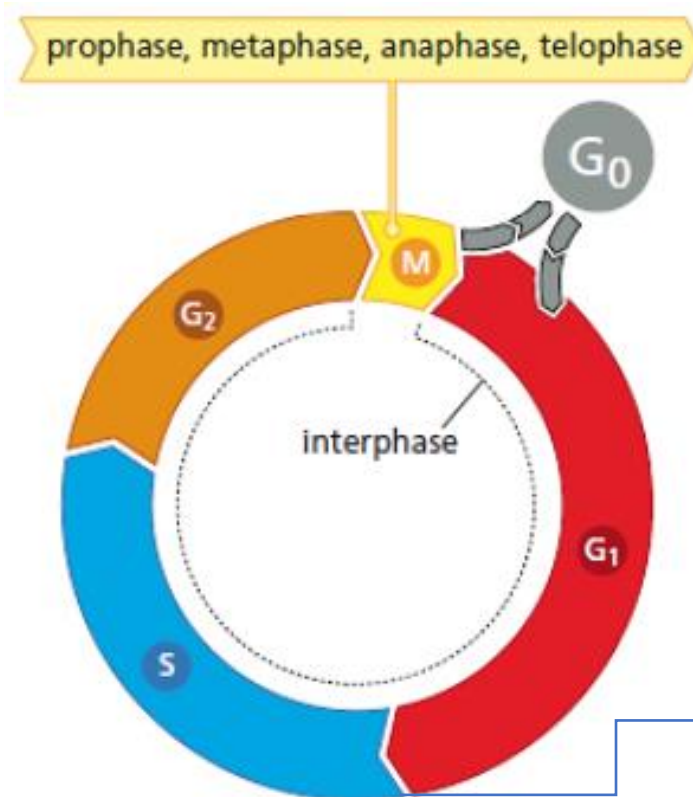
- **Promove a divisão celular e regula componentes específicos do ciclo celular;**
- **Promove o crescimento de gemas axilares;**
- **Regula a morfogênese na cultura de tecidos;**
- Retarda a senescência foliar;
- Promove o movimento dos nutrientes.

Promove a divisão celular e regula componentes específicos do ciclo celular

Induz **citocinese** na presença da **auxina**

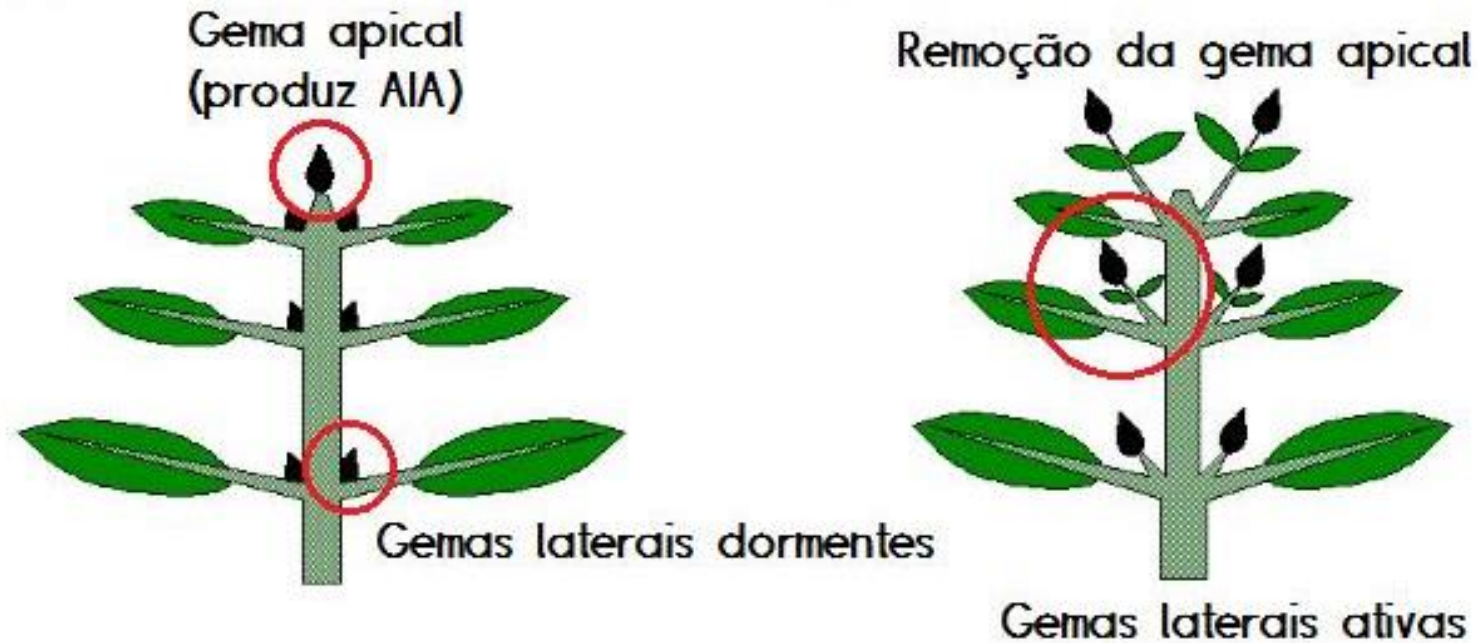
CKs - regulam eventos que levam à mitose

Ax e CK - controlam a atividade de quinases que regulam a divisão celular



Picos de Zeatina são encontrados no final da fase G1 e S e na transição da G2/M

CKs modificam a dominância apical e promovem o crescimento de gemas laterais



Dominância apical: o transporte polar de auxina do ápice do caule, suprime as gemas laterais

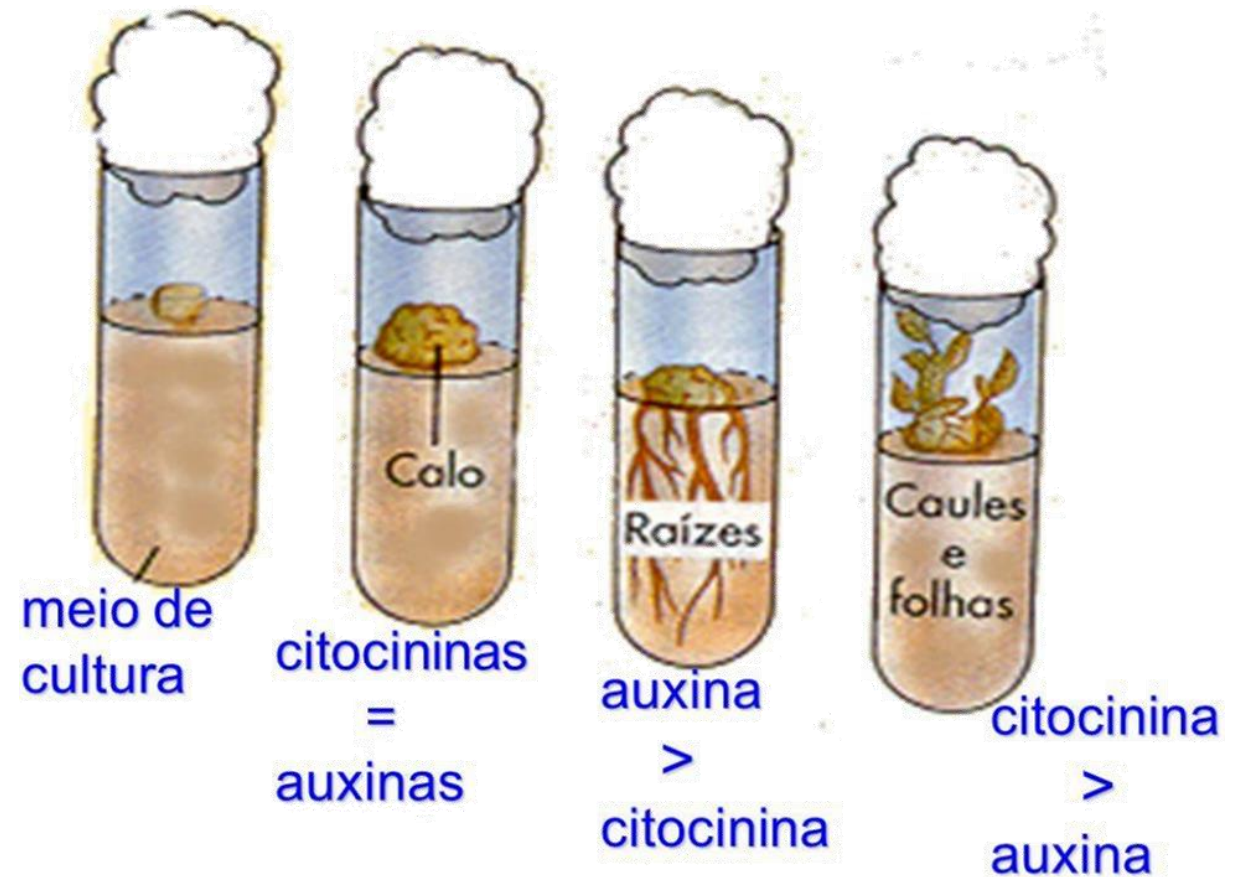
CKs: estimulam a divisão celular nas gemas axilares quando aplicadas diretamente ou em mutantes que superexpressam.

Razão CKs/IAA regula a morfogênese na cultura de tecidos

↑CK:IAA – parte aérea

↓CK:IAA – raízes

≅ CK:IAA – formação de calos
(tecido não diferenciado)



CKs: Usos comerciais

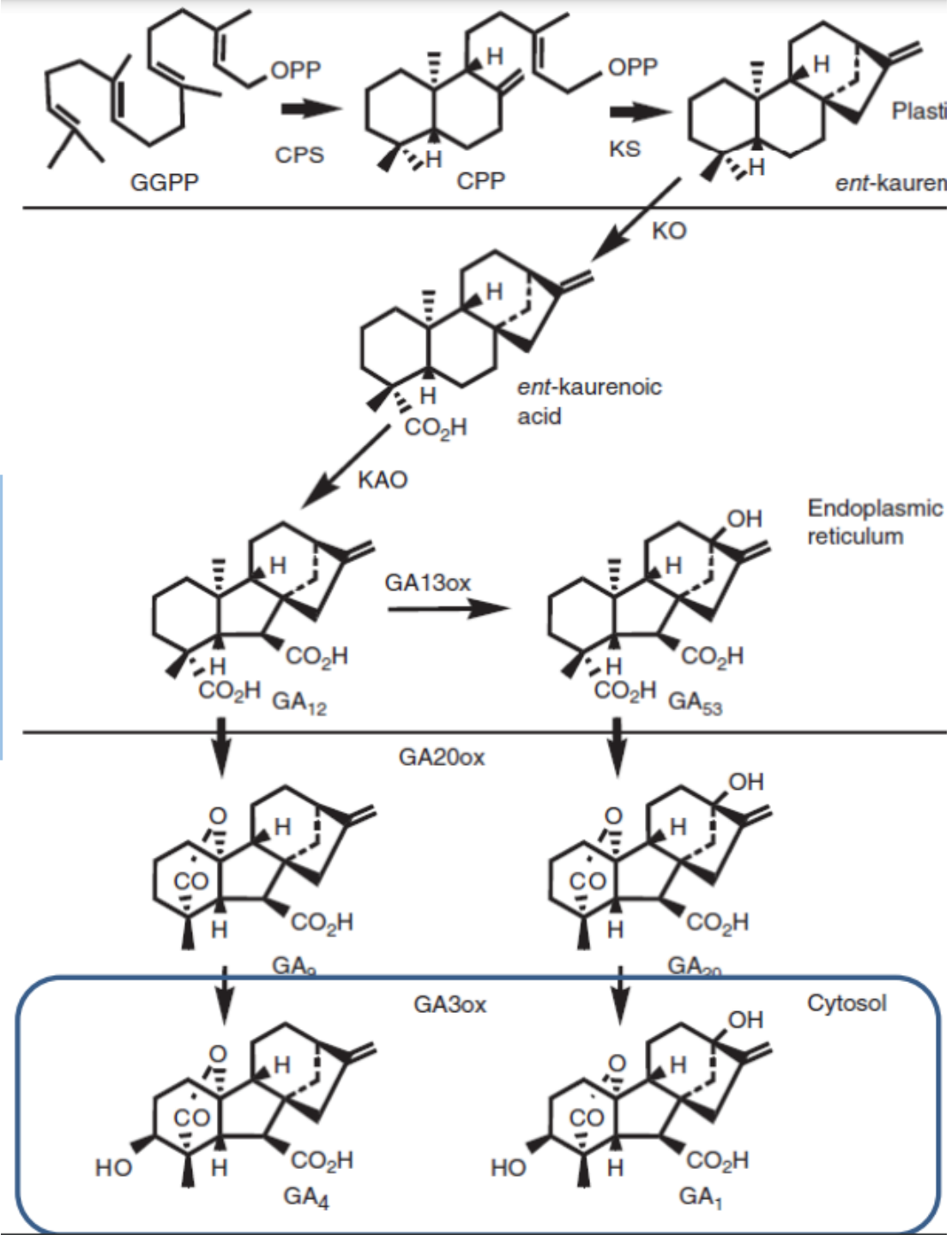
- Prevenção de abscisão de folhas e frutos
- Cultura de tecidos
- Aumento da produtividade (atividade do dreno)

Numero de frutos/plantas

Qualidade de frutos

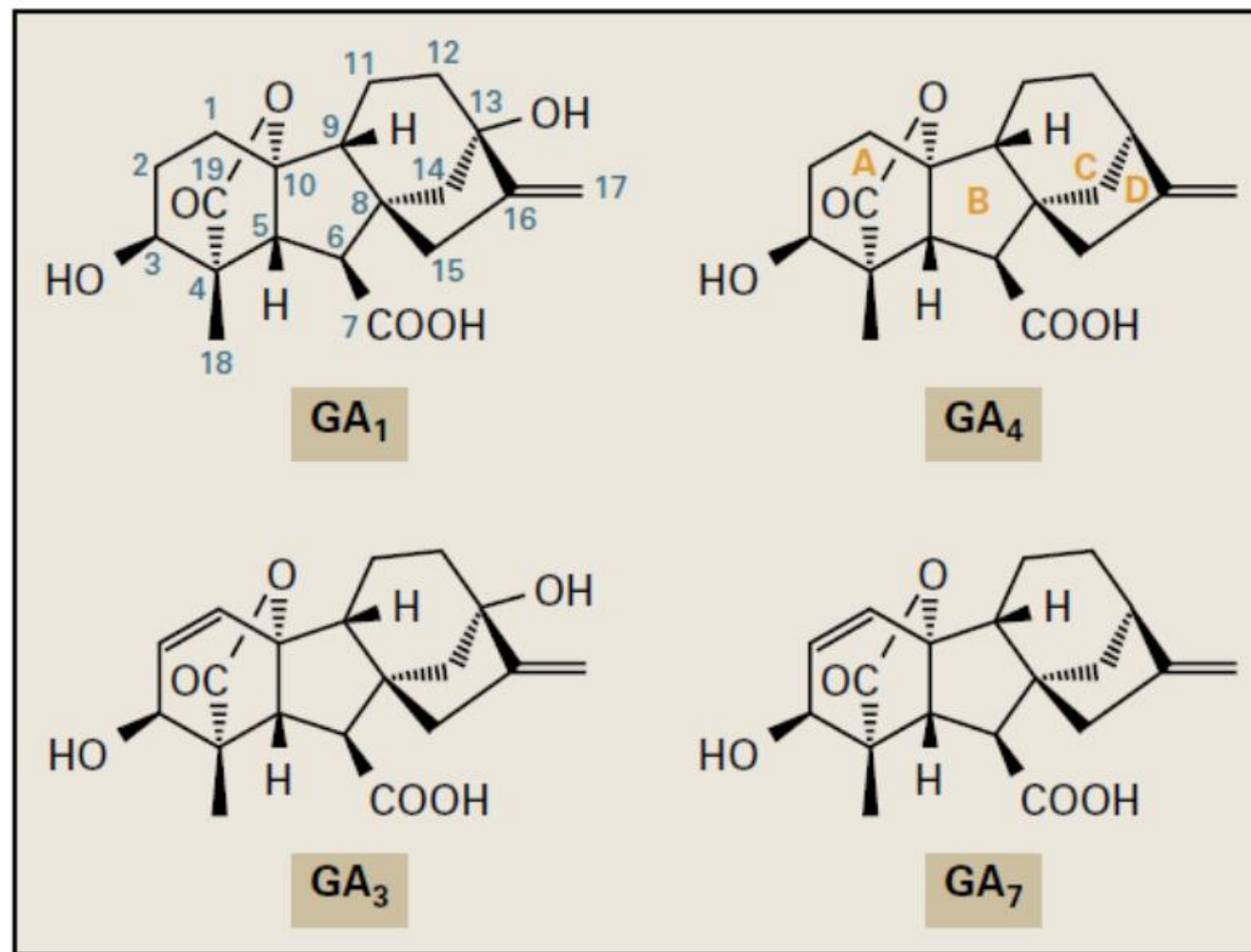
Gene inibidor proteases (menos herbívoros)

Giberelinas - GAs



Giberelinas

Em torno de 130 GAs já foram identificadas, entretanto somente 4 são bioativas.



Principais locais de produção

Premissa – Partes jovens - ápices caulinares e radiculares, anteras, embriões imaturos;

Sementes imaturas – feijão pelo menos 16 GAs;

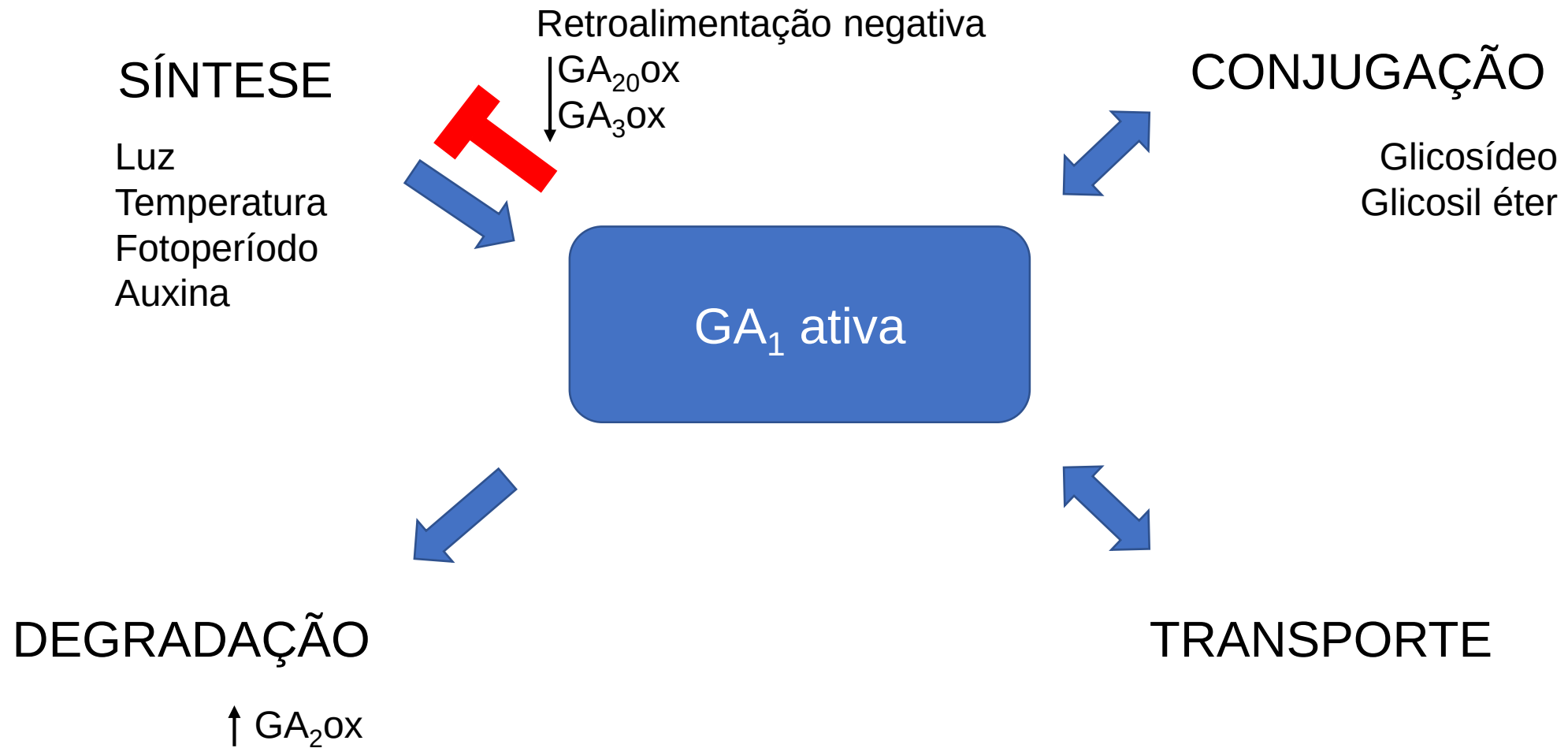
Influência da fase de desenvolvimento ;

Fatores ambientais – luz e temperatura.

Precursor: Ent-kaurene



Regulação dos níveis internos de GAs

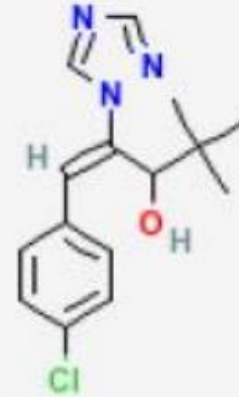
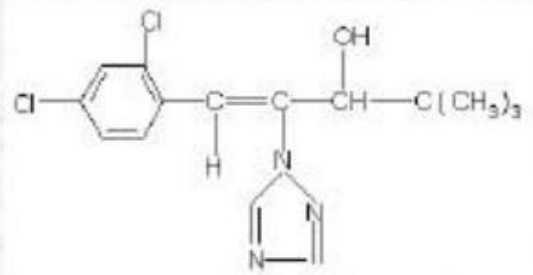


Transporte de GAs

- Via xilema e floema;
- Transporte simplástico via plasmodesmos;
- Aparentemente não polarizado, mas há evidências de polarização a partir do ápice radicular, porém em taxa muito menor que o transporte de IAA;
- GA_{12} (precursor comum de todas as GAs) é a mais encontrada no **xilema** e **floema**, também há indícios de transporte de GAs conjugadas.
- É provável que o transporte de outras formas de GAs também ocorra célula a célula.

Inibidores de GAs

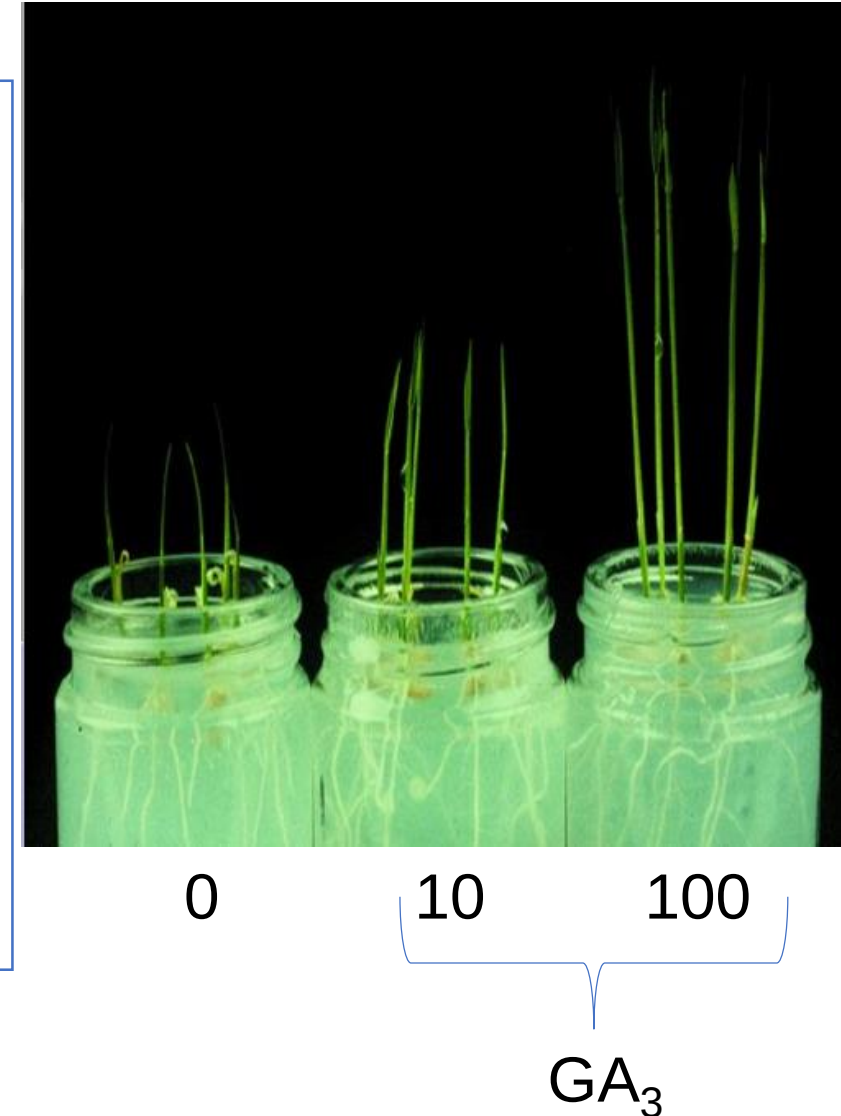
Paclobutrazol (PBZ)



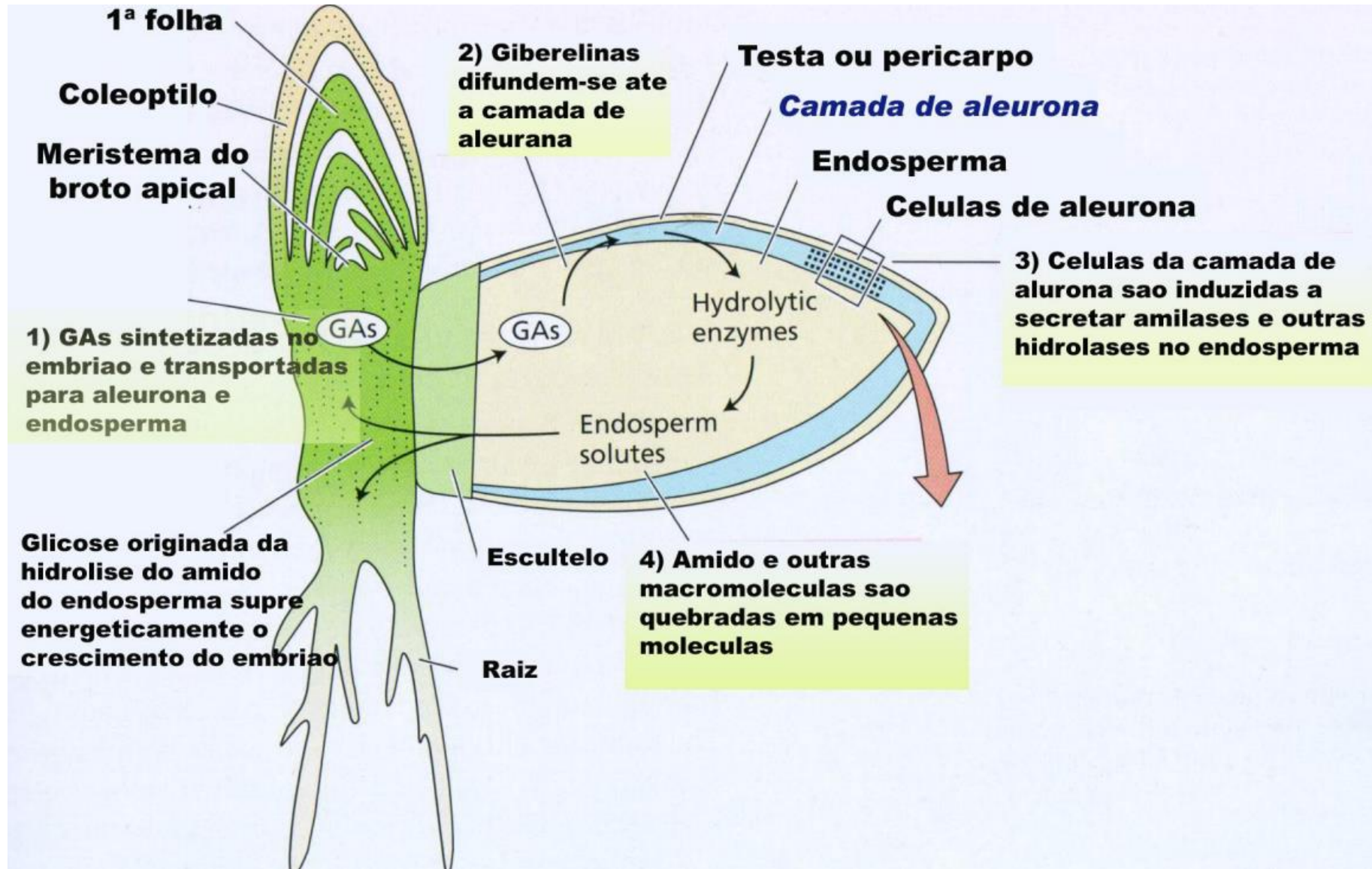
Uniconazole

Efeitos Fisiológicos da Gas: Alongamento celular

- Promovem tanto o alongamento quanto a divisão celular;
- Induzem modificações nas paredes celulares sem indução de efeito osmótico.
- Não promovem a extrusão de prótons no mecanismo de alongamento celular.
- Atuam sinergicamente com auxinas no alongamento celular - ativação de XET (xiloglucano endotransglicosilase/hidrolase) – facilitam a atuação de expansinas na parede celular.

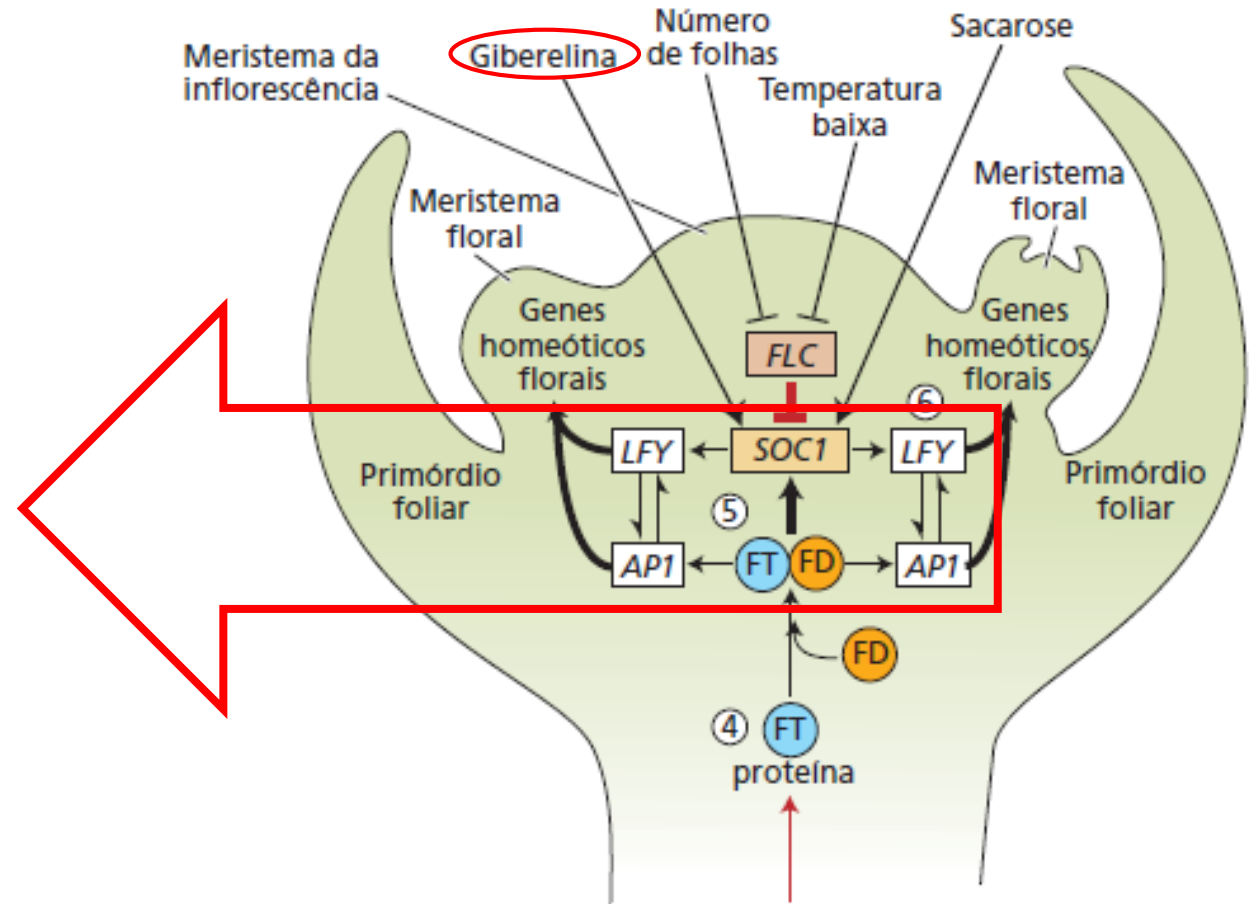


Promoção da germinação: estimula a mobilização de reservas



Indução da floração e transição da fase juvenil para a adulta

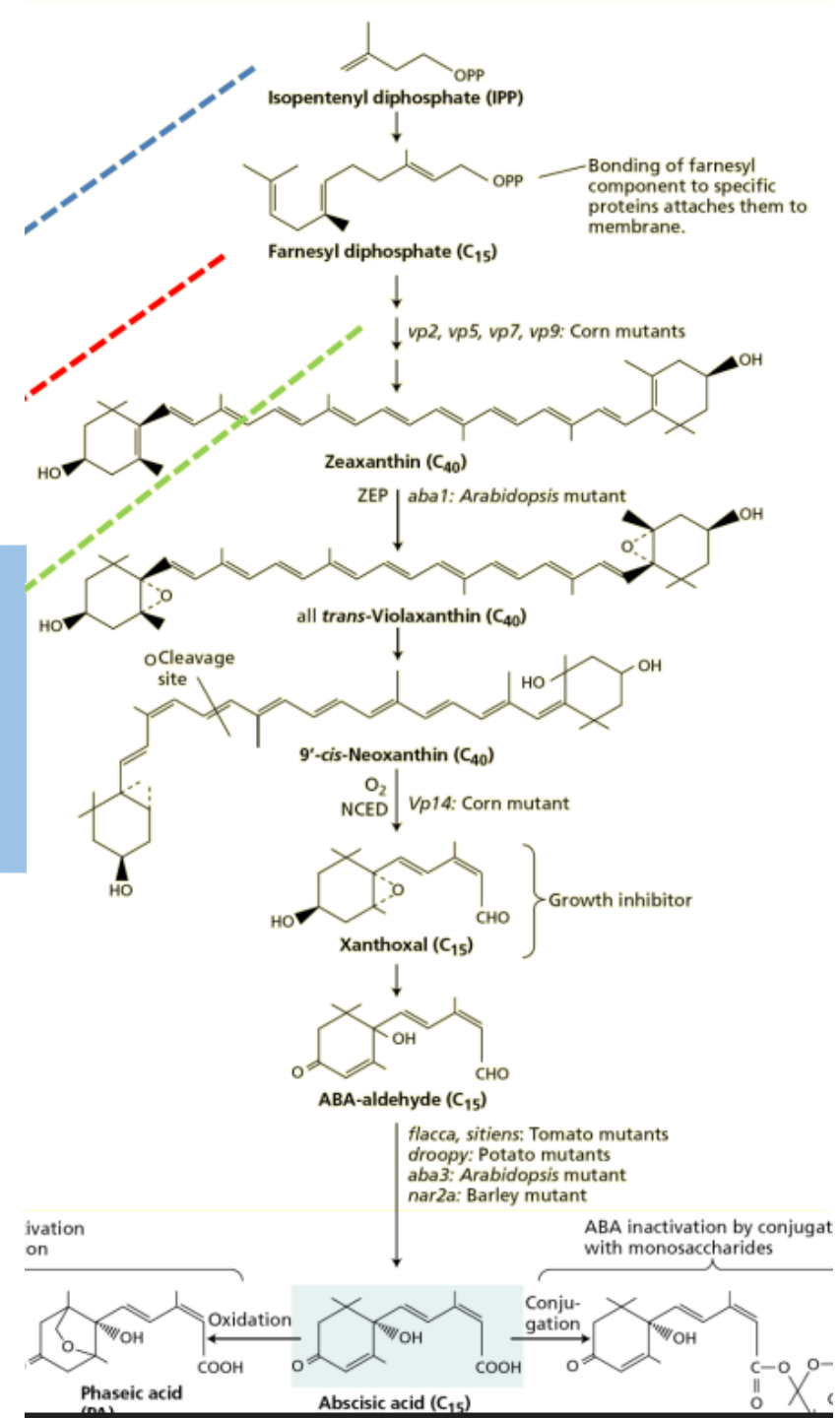
- Induzir genes que codificam as estruturas florais.



GAs: Usos comerciais

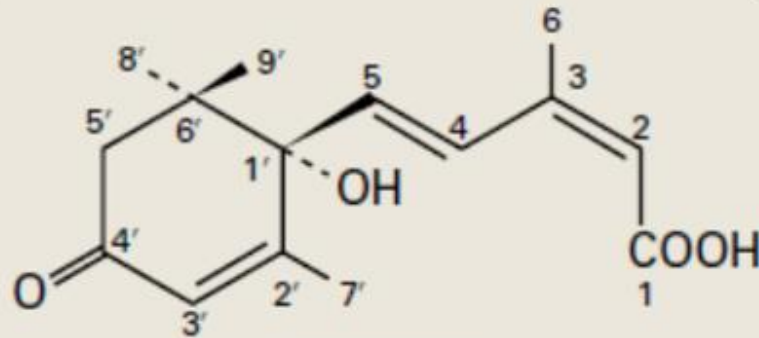
- Produção de frutos sem sementes – partenocarpia;
- Acelera processo de maltagem da cerveja;
- Provoca aumento dos entrenós em cana-de-açúcar: ↑ produção de sacarose;
- Inibidores da síntese: comercialmente para evitar o alongamento de algumas plantas (PBZ);
- Indução de floração em plantas de dias curtos.

Ácido Abscísico - ABA

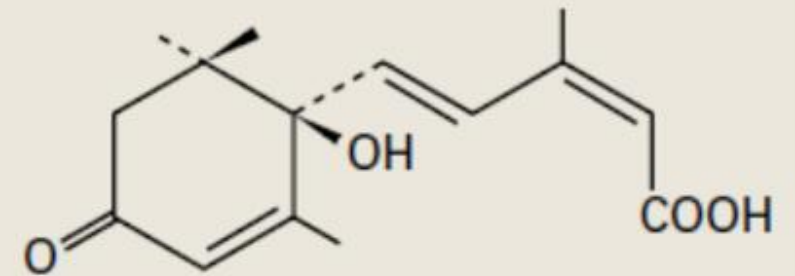


Ácido abscísico

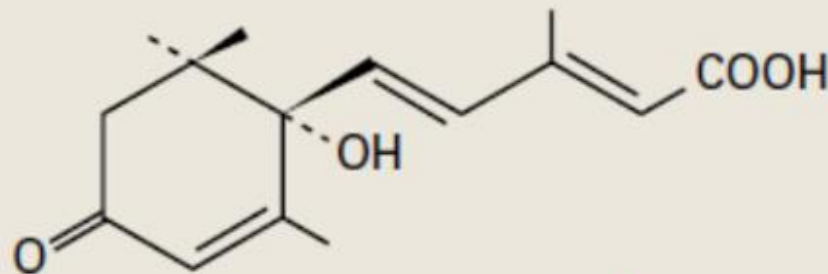
Forma
naturalmente
encontrada



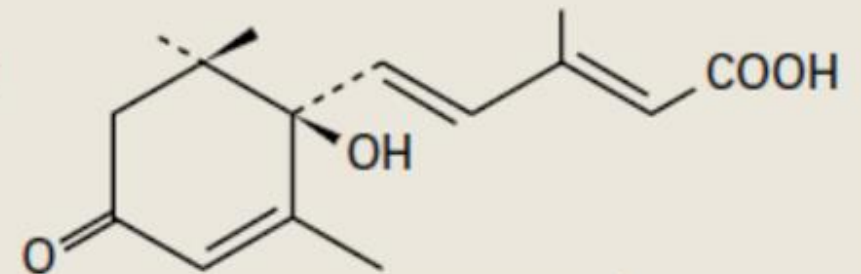
(S)-ABA



(R)-ABA



(S)-2-trans-ABA



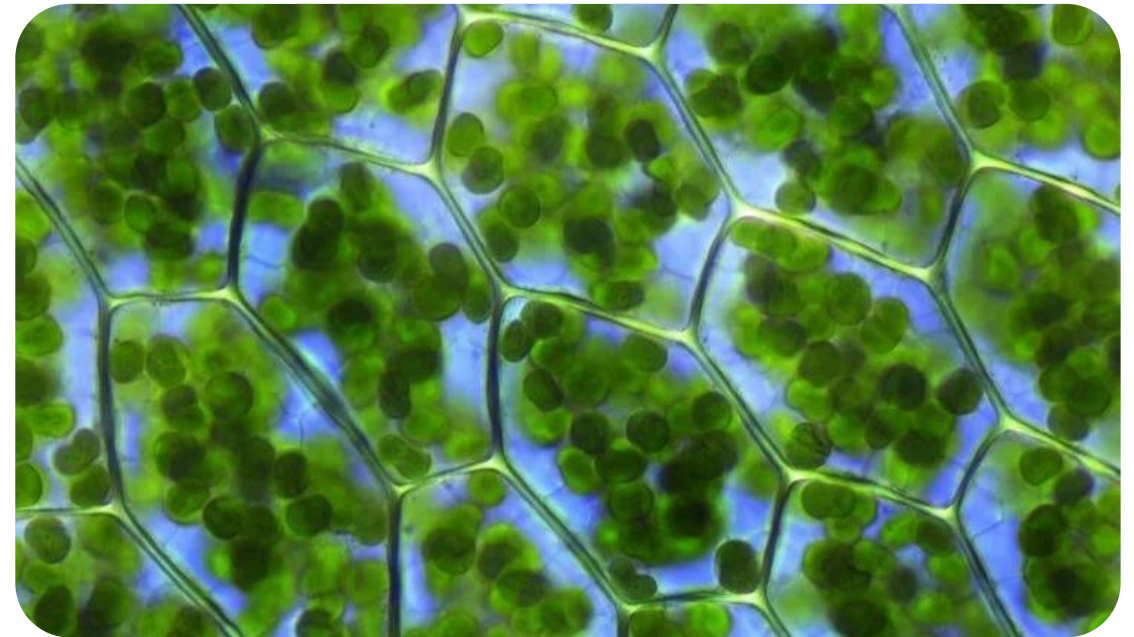
(R)-2-trans-ABA



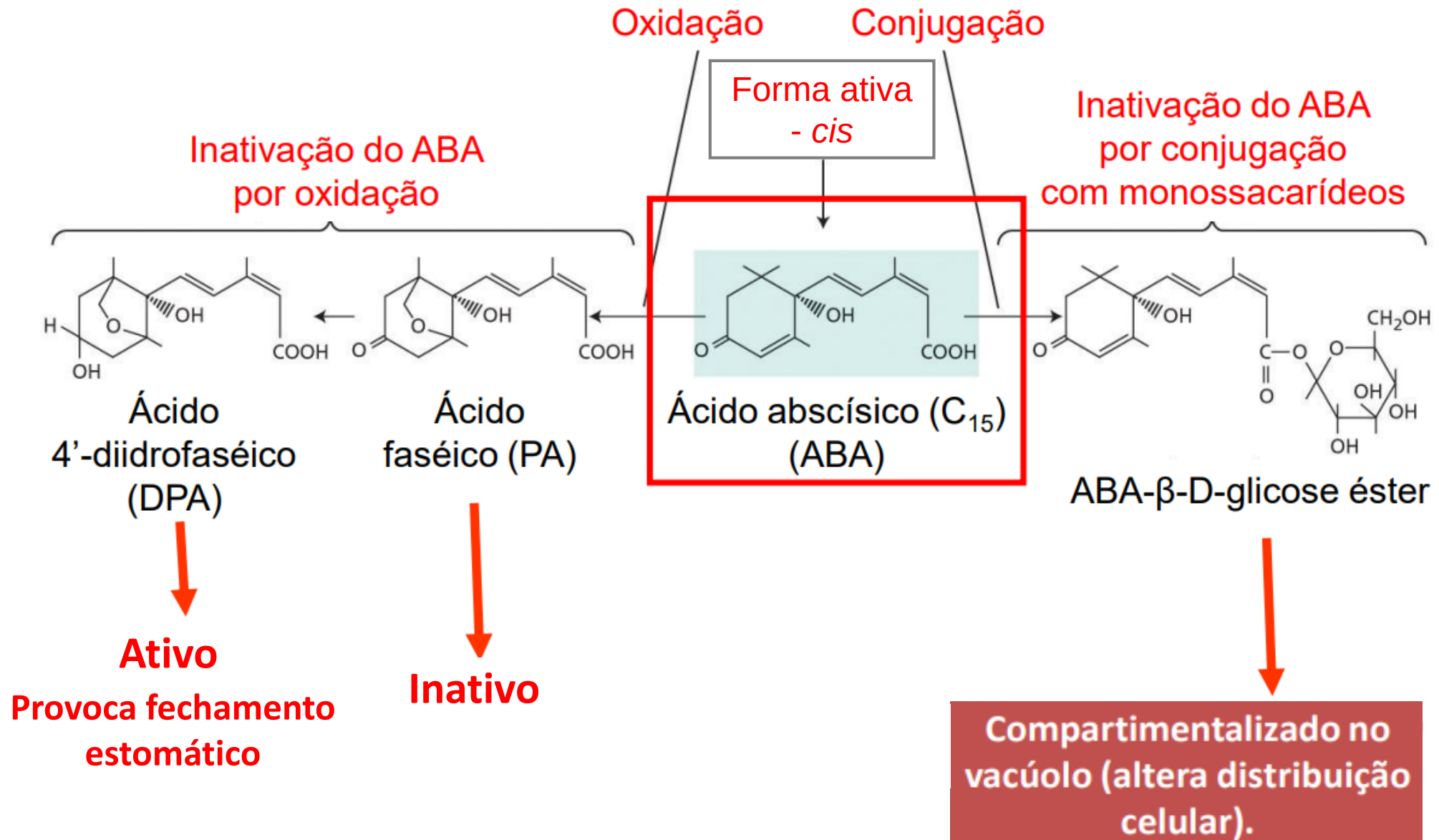
Principais locais de produção

Premissa – Sintetizado em quase todas as células que possuem cloroplastos ou amiloplastos.

ABA antagonista das IAA,
CKs e GAs

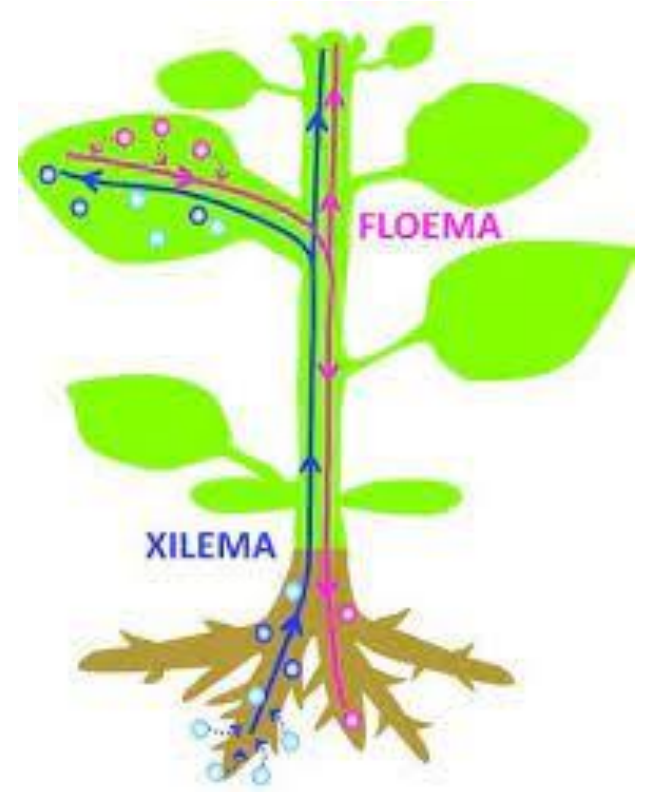


Regulação dos níveis internos de ABA

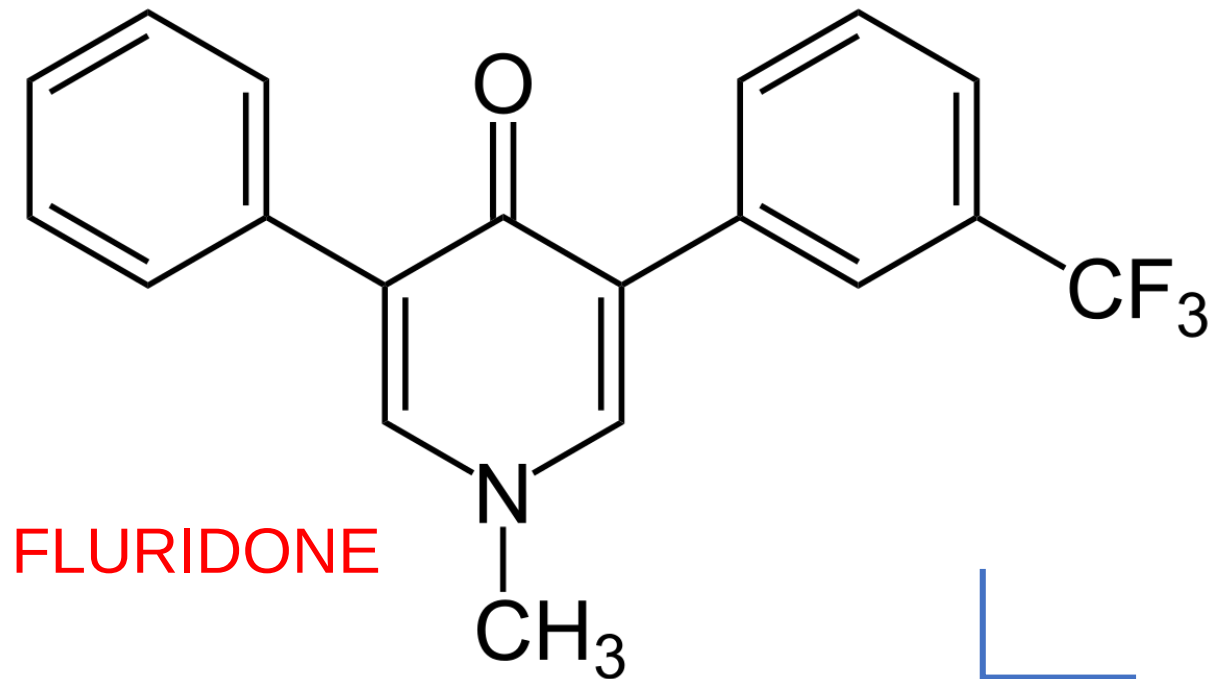


Transporte de ABA

- Via xilema e floema;
- Ácido fraco: difusão apoplástica e pela membrana sem necessidade de um transportador específico;
- Ou: transporte entre células via transportadores específicos e/ou transportador acoplado ao transporte de nitrato NRT1.

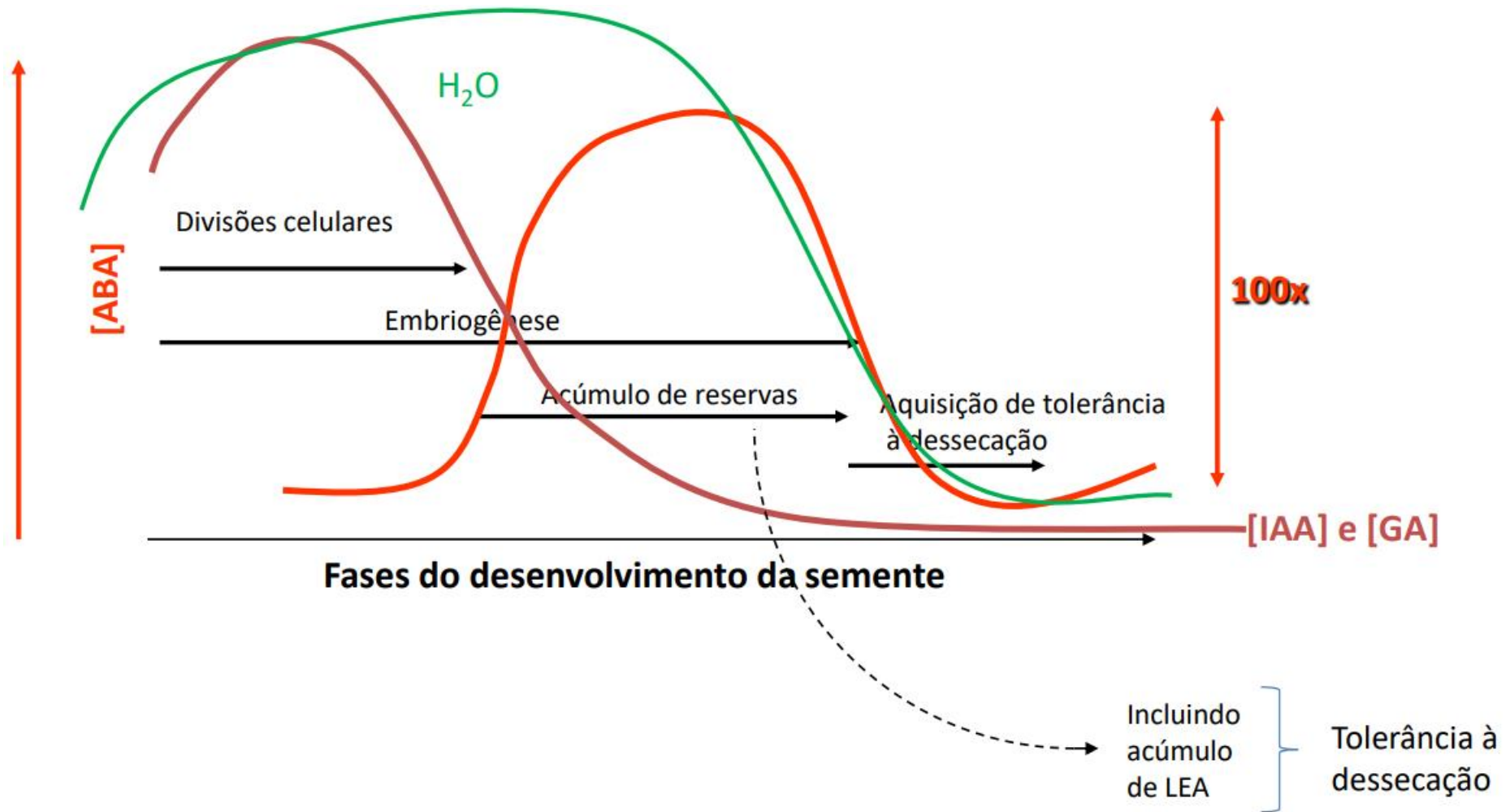


Inibidores de ABA



Inibidor da síntese de ABA (ou
síntese de novo)

Maturação de sementes e acúmulo de reservas



Inibição da germinação precoce (viviparidade)



Em plantas de mangue (*Avicennia*, fig.) são vivíparas.

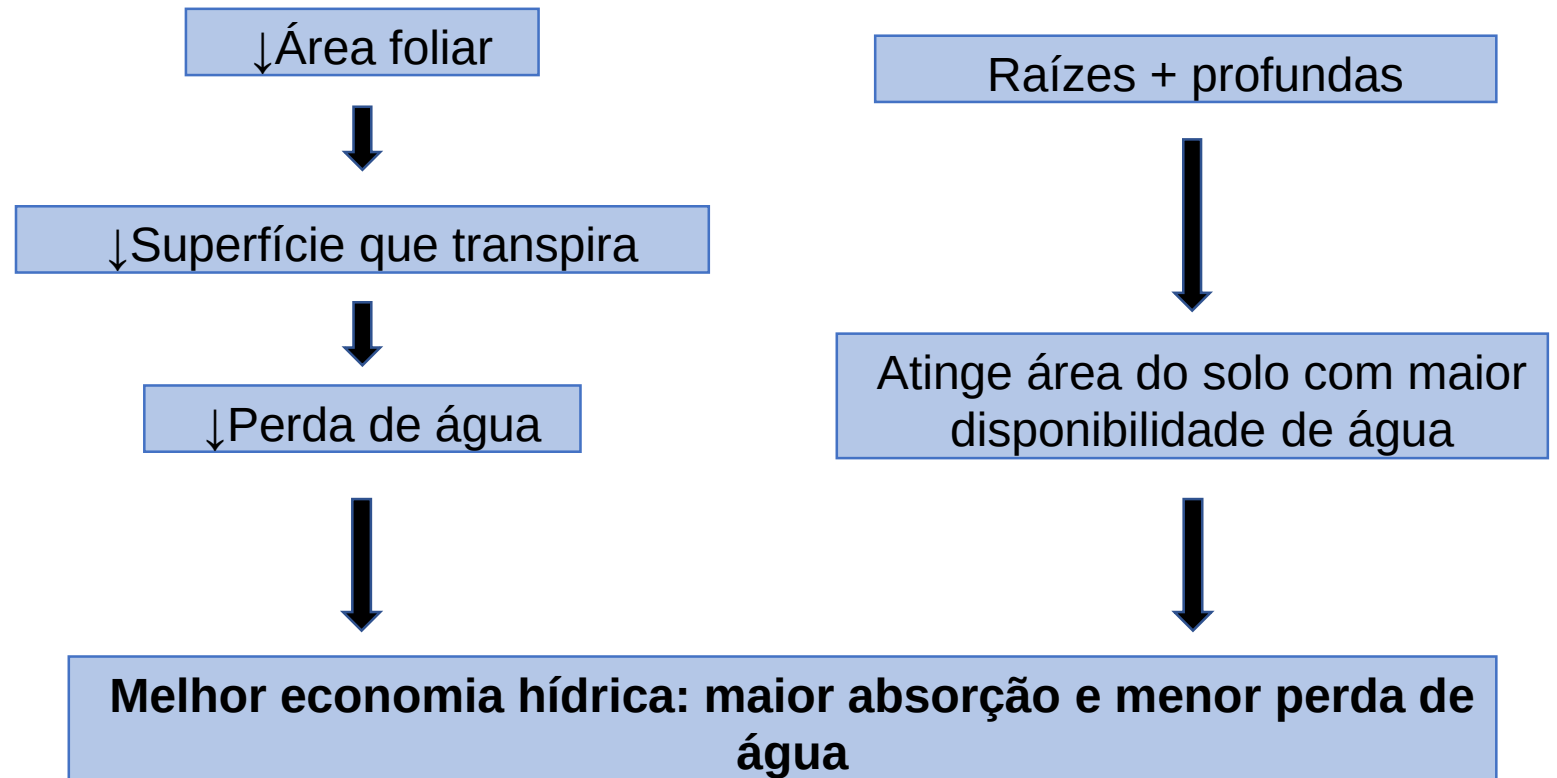
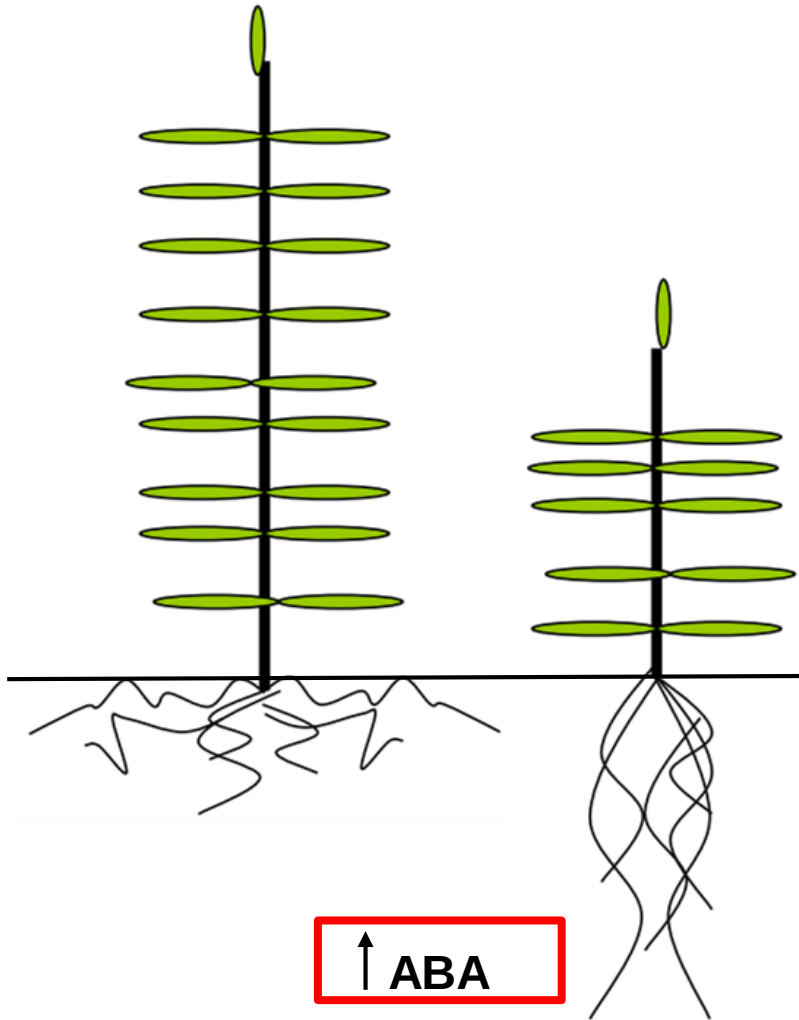


Germinação precoce (viviparidade) em um mutante de milho (vp14) deficiente na produção de ABA.

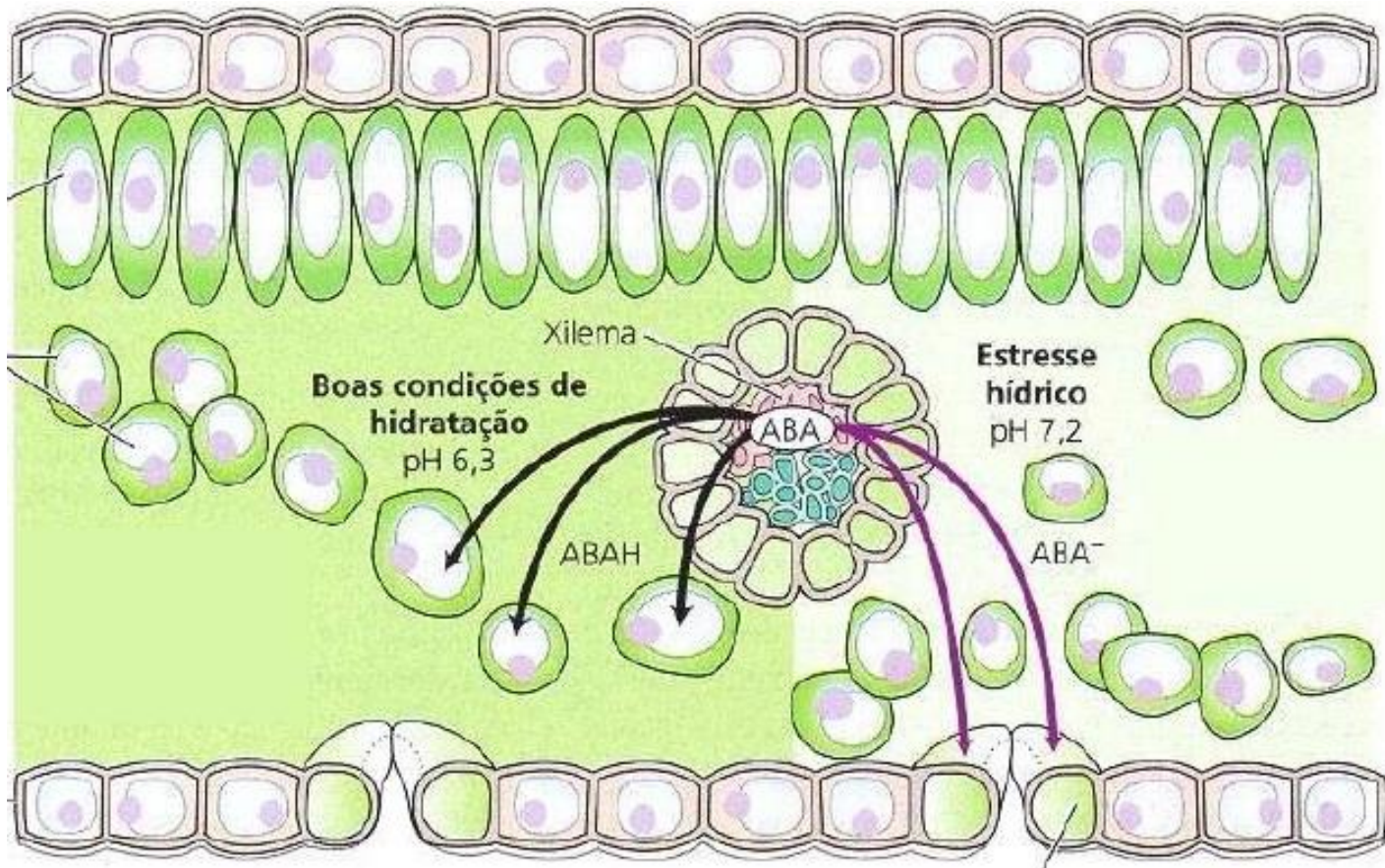
Razão GA/ABA

Promove o crescimento de raízes e inibe o crescimento do caule sob baixo Ψ_w

Sem estresse Estresse hídrico

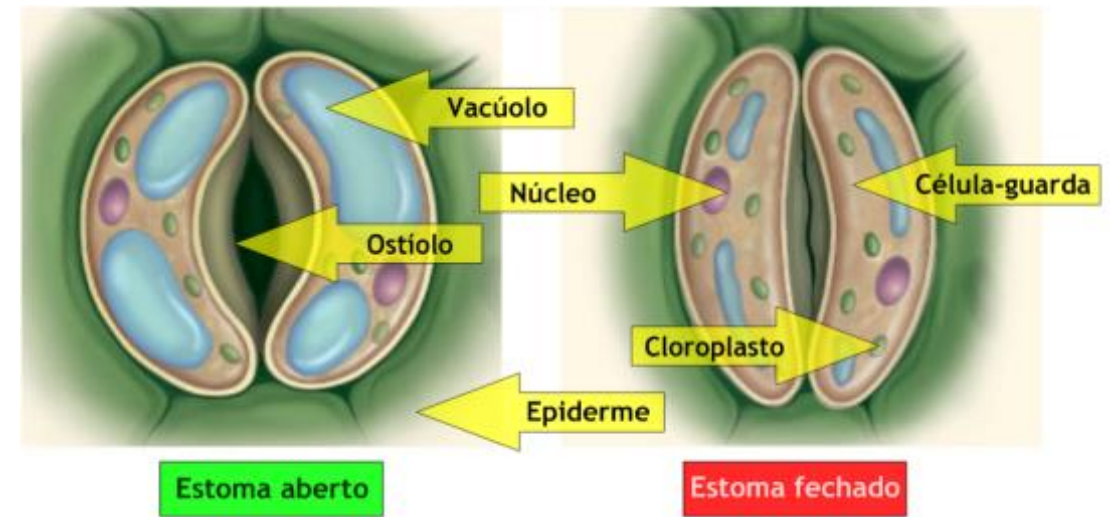
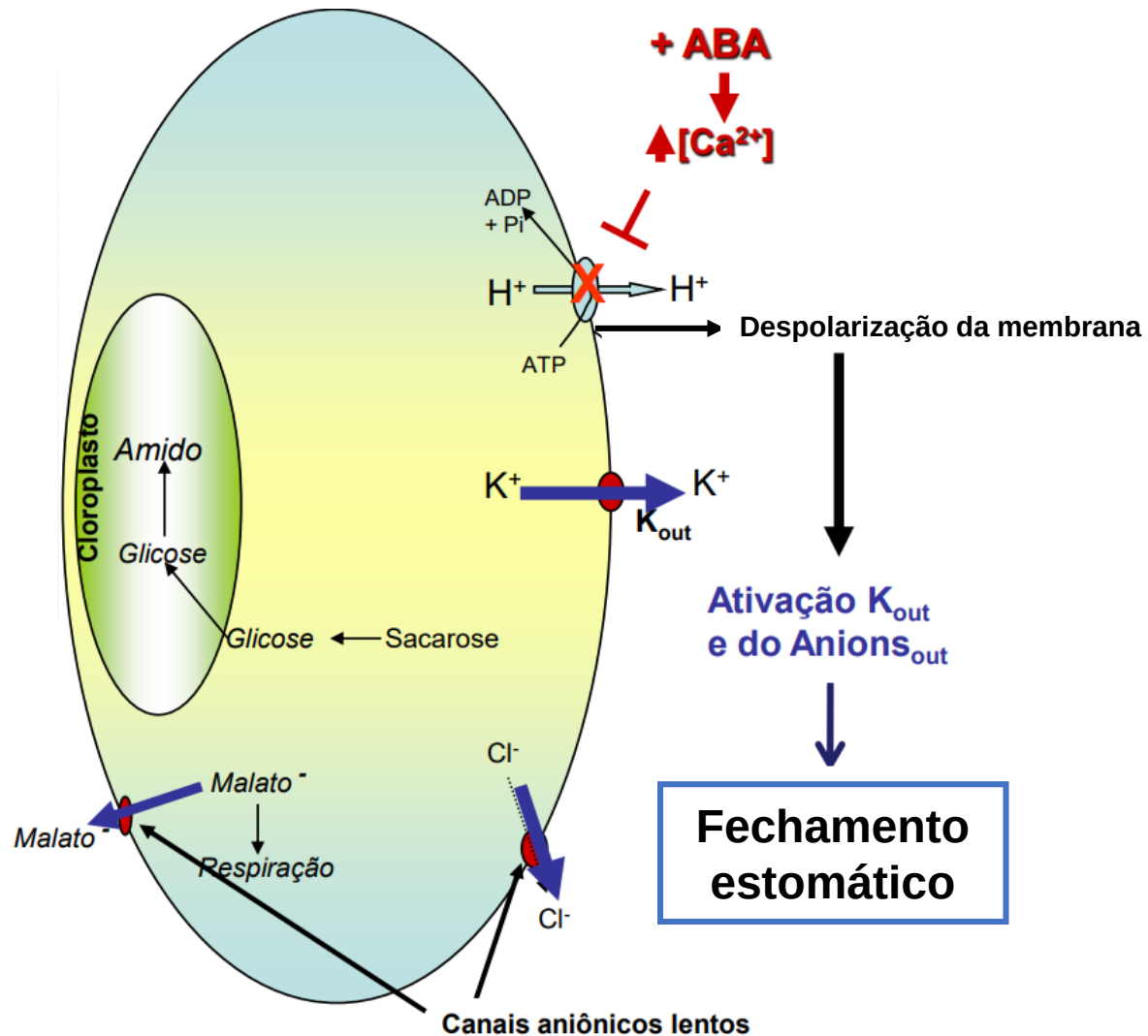


Promove o fechamento estomático em resposta ao estresse hídrico

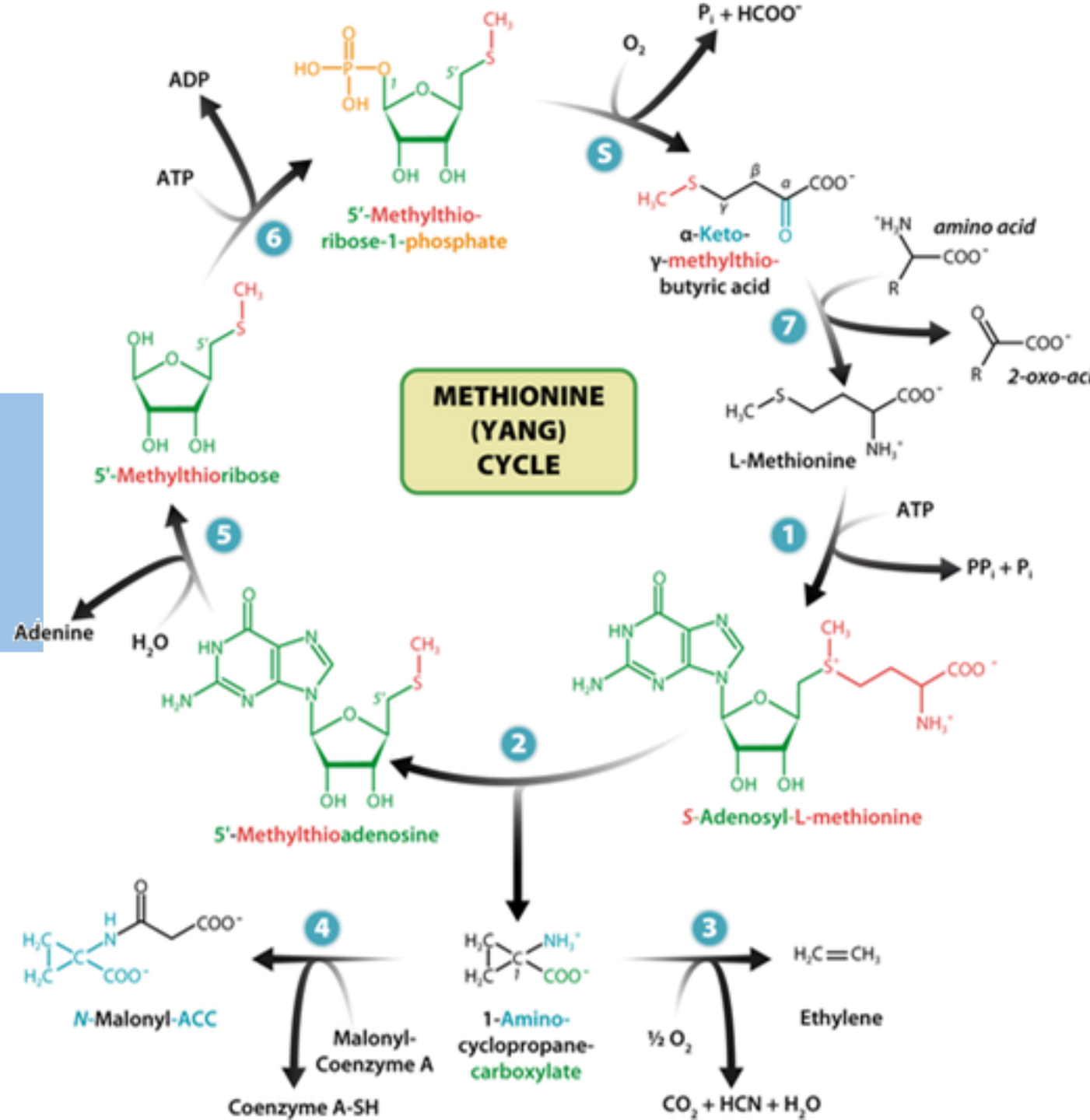


- Durante o **estresse hídrico**, o **pH** da seiva do **xilema** torna-se mais **alcalino**;
- Essa alcalinização também ocorre no **apoplasto** e favorece a produção da forma dissociada do ácido abscísico (**ABA⁻**) e a **redistribuição** do ABA na folha;
- A **absorção** de **ABA** pelas células do **mesofilo** é **reduzida**, e a quantidade de ABA que chega às **células guardas** é **aumentada**, promovendo o **fechamento estomático**.

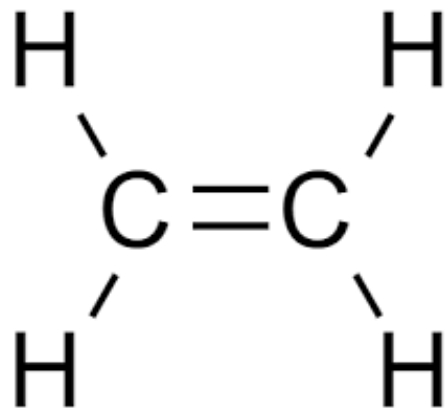
Promove o fechamento estomático em resposta ao estresse hídrico



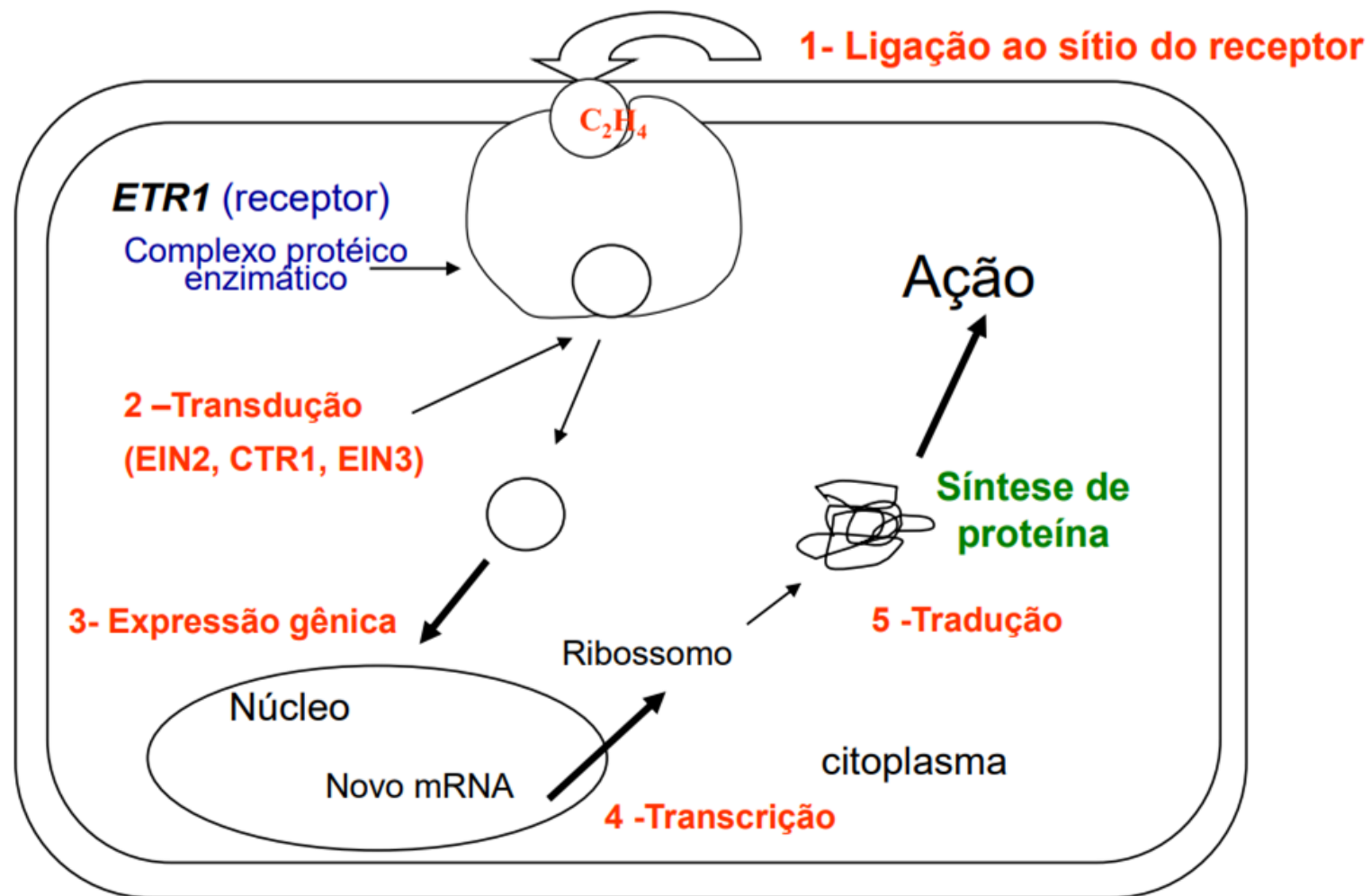
Etileno - ET



Etileno



Único fitormônio gasoso



Principais locais de produção

Premissa – Em todos os órgãos vegetais
Maiores níveis em órgãos
senescentes e frutos em
amadurecimento

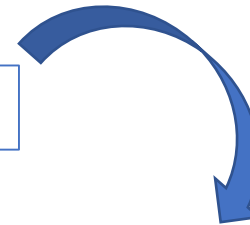


Precursor natural – Metionina (aa)

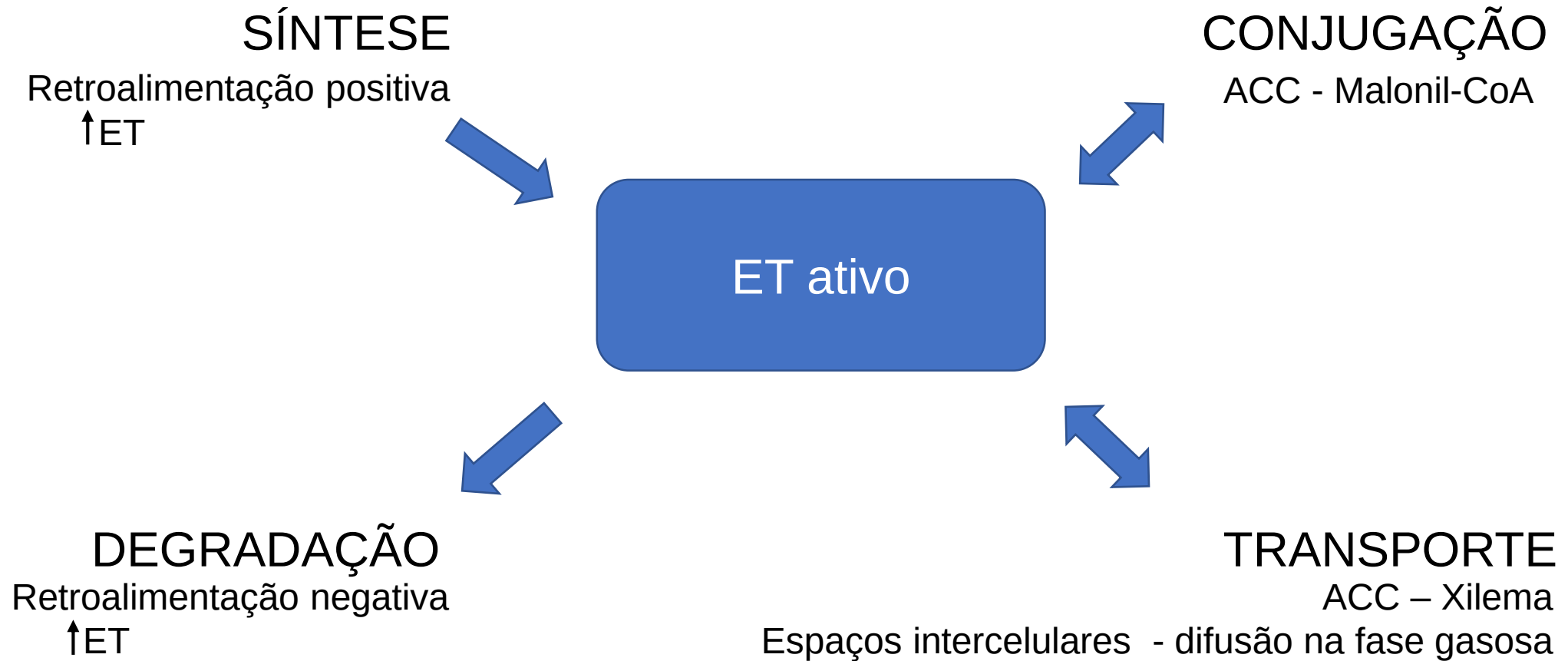
Precursor imediato – ACC (ácido-
1-aminociclopropano-1-
carboxílico)

Condições associadas com ↑ síntese de etileno

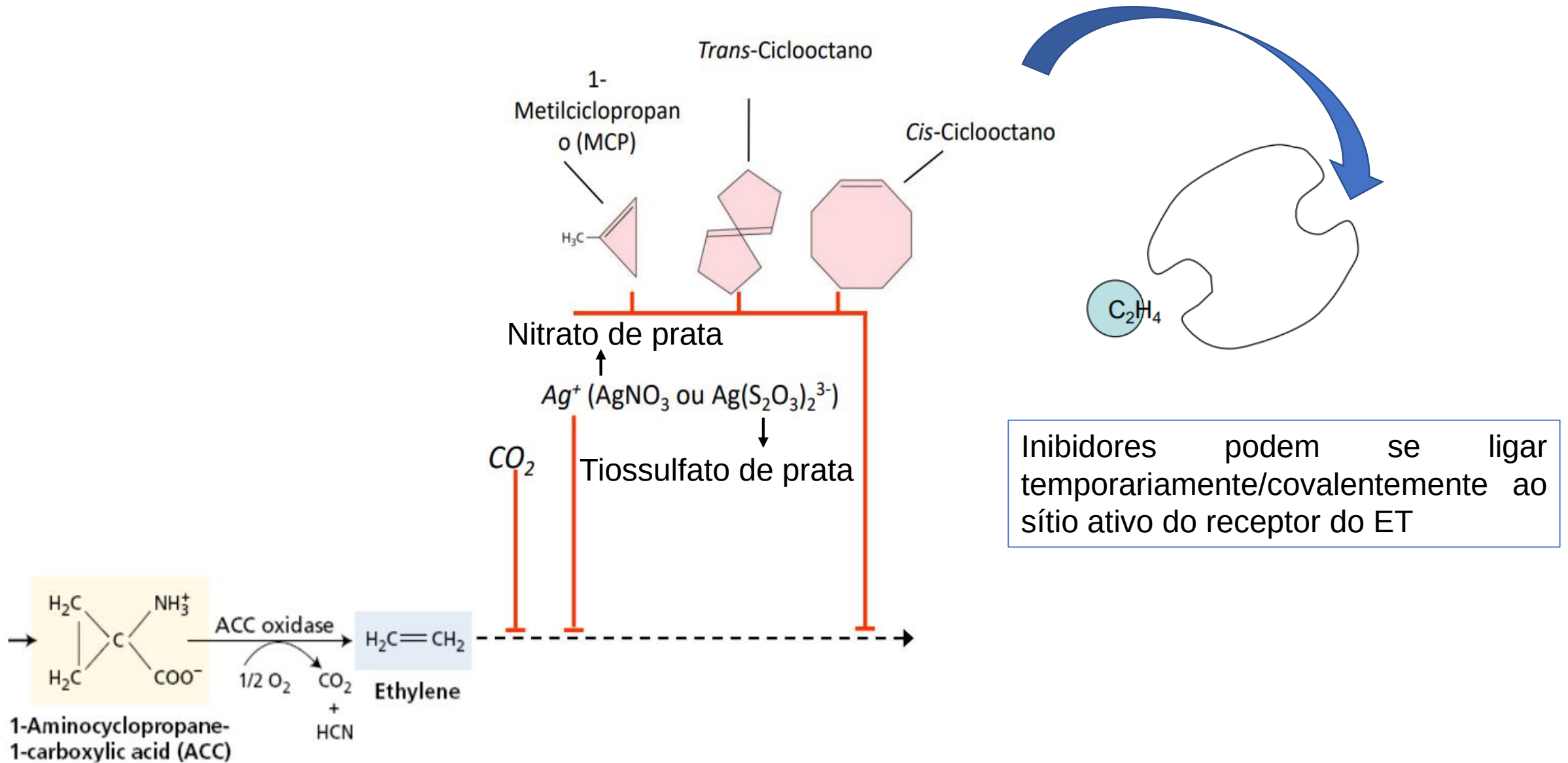
- Ferimento
- Amadurecimento de frutos climatéricos
- Senescência de flores, folhas e frutos
- Abscisão foliar



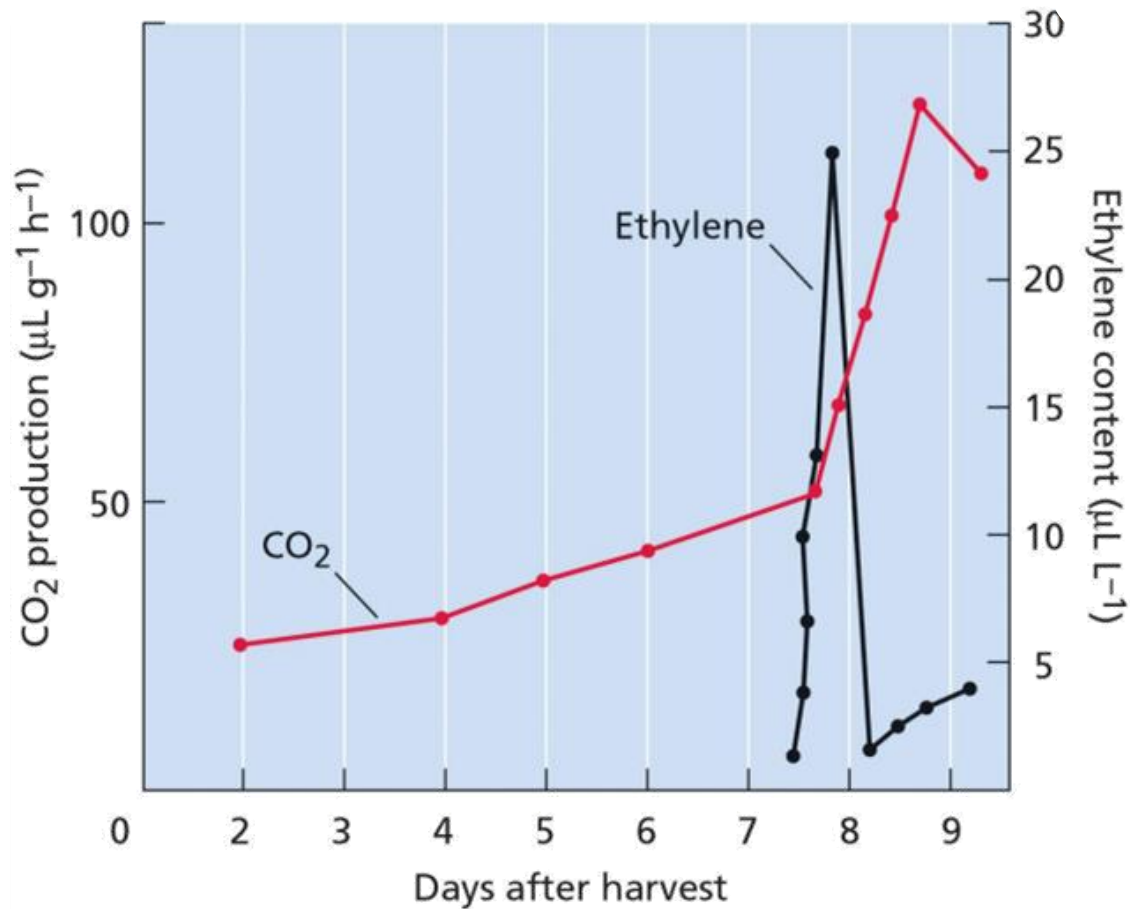
Regulação dos níveis internos de ET



Inibidores de ET



Promove o amadurecimento de frutos climatéricos



↑ Respiração antes do amadurecimento



Retroalimentação positiva: ↑ET
ET induz síntese de + ET



Pico de ET em geral antecede
ao pico de respiratório



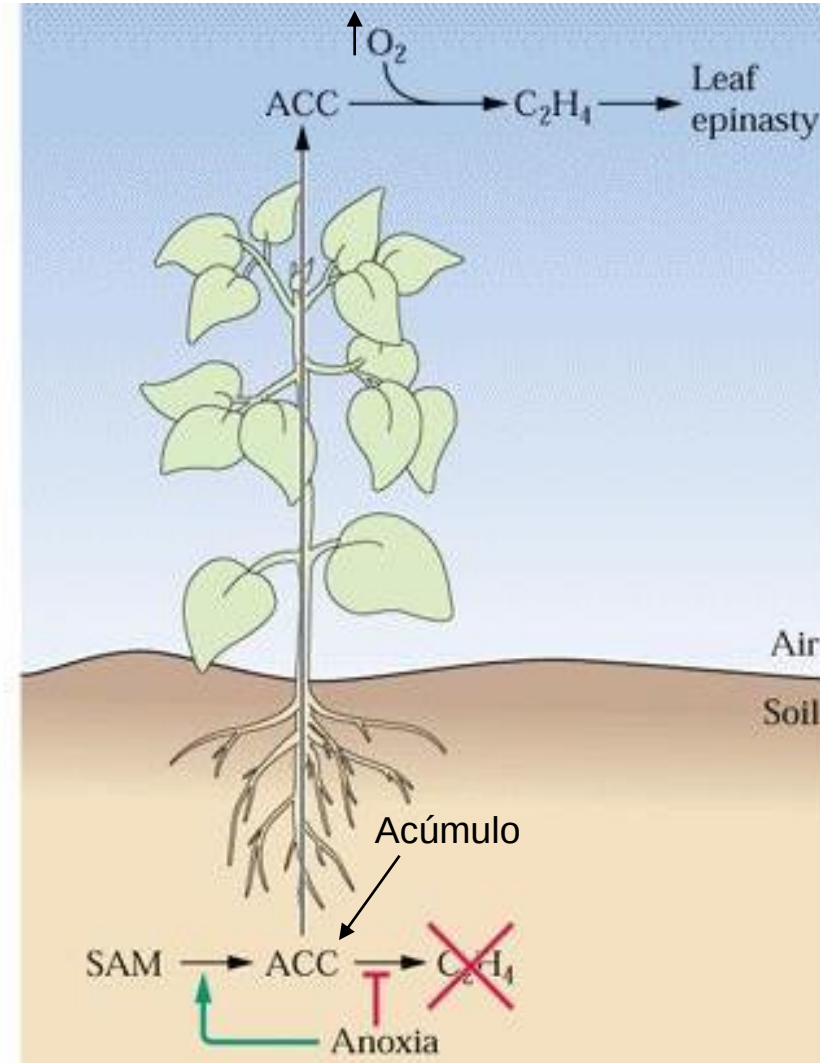
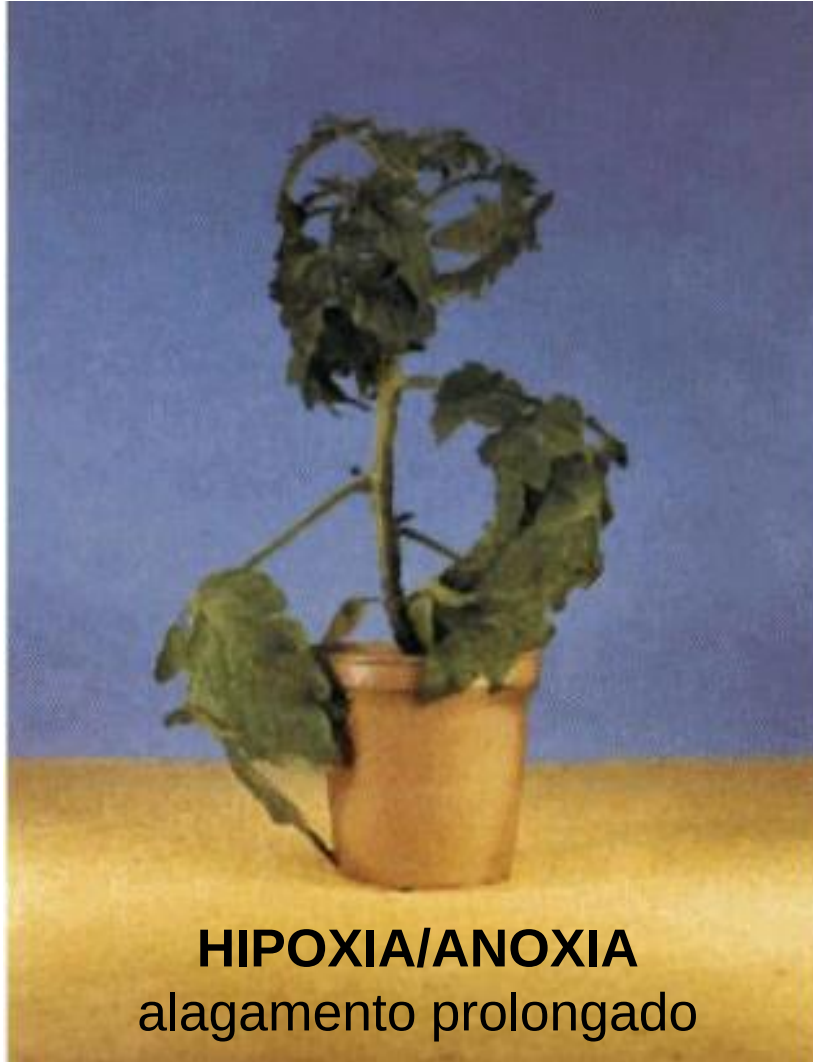
Promove o amadurecimento de frutos climatéricos

Aumenta a expressão gênica de enzimas do amadurecimento

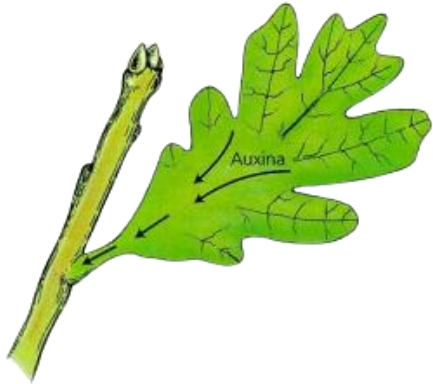
- Clorofilase
 - Celulase
 - Poligalacturonase
 - Pectinametilesterase
 - Fenilalanina amônia-liase
 - ACC sintase
 - Piruvato desidrogenase
- Hidrólise enzimática da parede celular
 - Hidrólise do amido
 - Síntese de açúcares
 - Redução no teor de ácidos orgânicos, fenóis e taninos
 - Síntese de compostos voláteis e pigmentos



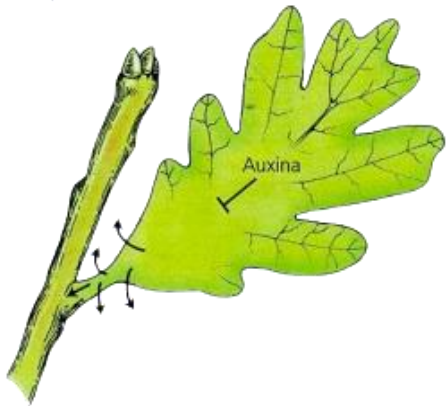
Epinastia



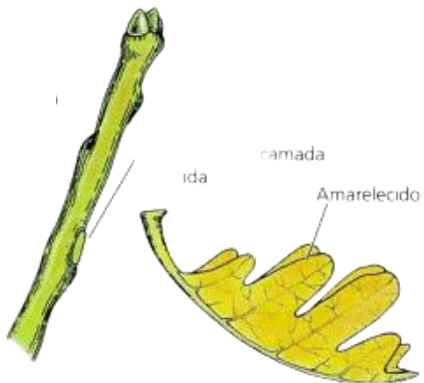
Estímulo à senescência e abscisão foliar



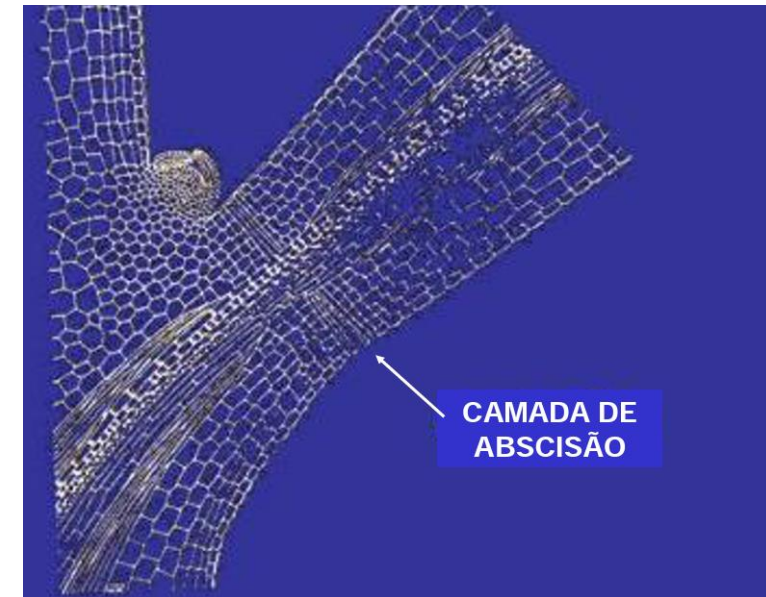
Auxina inibe a senescência por reduzir a sensibilidade ao etileno da camada de abscisão



Senescência ocorre após a redução da síntese de auxina e aumenta a taxa de síntese de etileno



Síntese de enzimas que hidrolisam polissacarídeos da parede celular



Considerações gerais

- Crescimento e desenvolvimento dependem de sinais ambientais (abióticos ou exógenos), principalmente presença de água, nutrição, luz, fotoperíodo e temperaturas.
- Estes induzem a síntese de sinais endógenos, os hormônios vegetais ou mensageiros primários.
- Hormônios vegetais ou fitormônios atuam no controle do ciclo celular, da expressão gênica e da ativação enzimática.
- Os primeiros hormônios vegetais a serem estudados foram: AUXINAS, GIBERELINAS, CITOCININAS, ETILENO E ÁCIDO ABSCÍSSICO.
- Mais tarde foram descobertos: BRASSINOSTERÓIDES, JASMONATOS, ÁCIDO SALICÍLICO, POLIAMINAS, SISTEMINAS E OLIGOSSACARINAS.
- “Ativação” e “repressão” de genes causam alteração nos padrões de síntese de proteínas e enzimas.
- Estas estão envolvidas na indução de divisão e diferenciação celular.

Questionário tutorial

(Para orientar, individualmente, os estudos e vamos definir se deverá ou não ser entregue em grupo)

1. Defina o que são fitormônios vegetais.
2. Qual a principal função da auxina? Explique como ocorre o transporte polar das IAA.
3. Auxina e citocinina estão relacionadas com o crescimento do vegetal. Qual a diferença entre elas neste aspecto.
4. Explique como as auxinas e citocininas controlam a dominância apical?
5. Explique como ABA e GA atuam na germinação de sementes.
6. Explique como ocorre o amadurecimento de frutos climatéricos?
7. Quais fitormônios estão envolvidos no processo de abscisão foliar e como este processo ocorre?