

Implicações Hormonais nas Doenças de Plantas

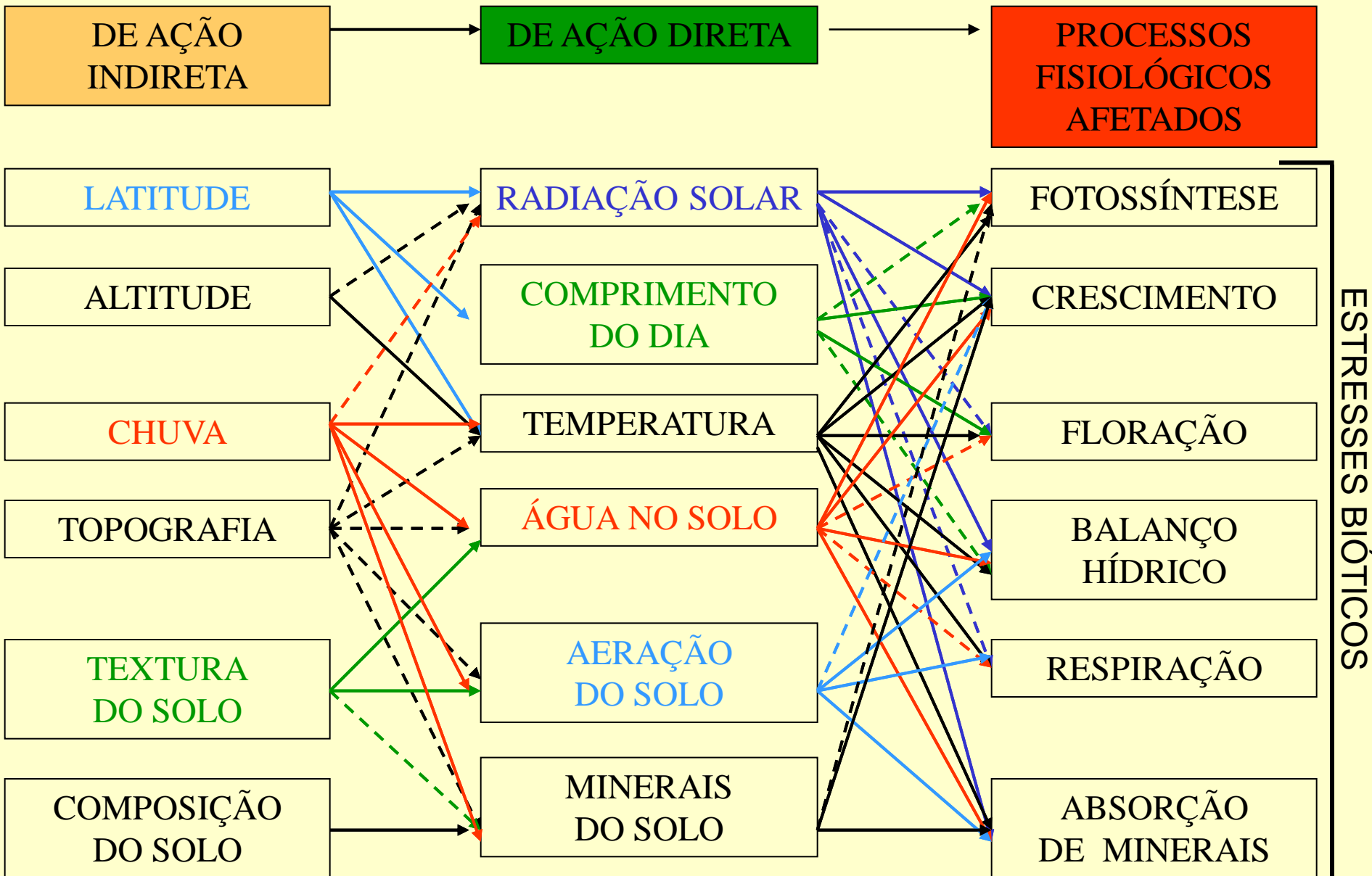
Paulo R.C. Castro
ESALQ/USP



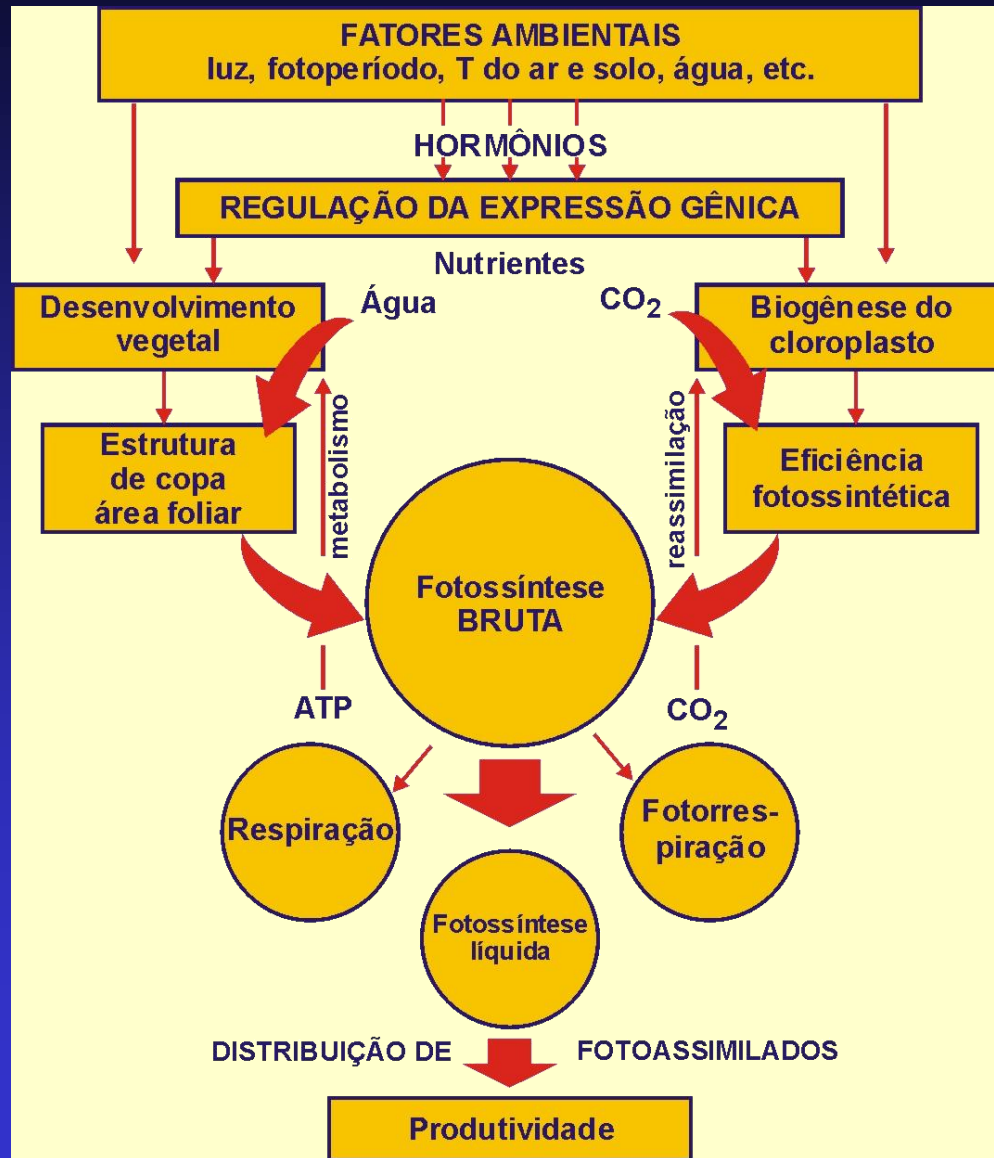
SIMPÓSIO SOBRE
RELAÇÕES ENTRE NUTRIÇÃO MINERAL
E INCIDÊNCIA DE DOENÇAS DE PLANTAS



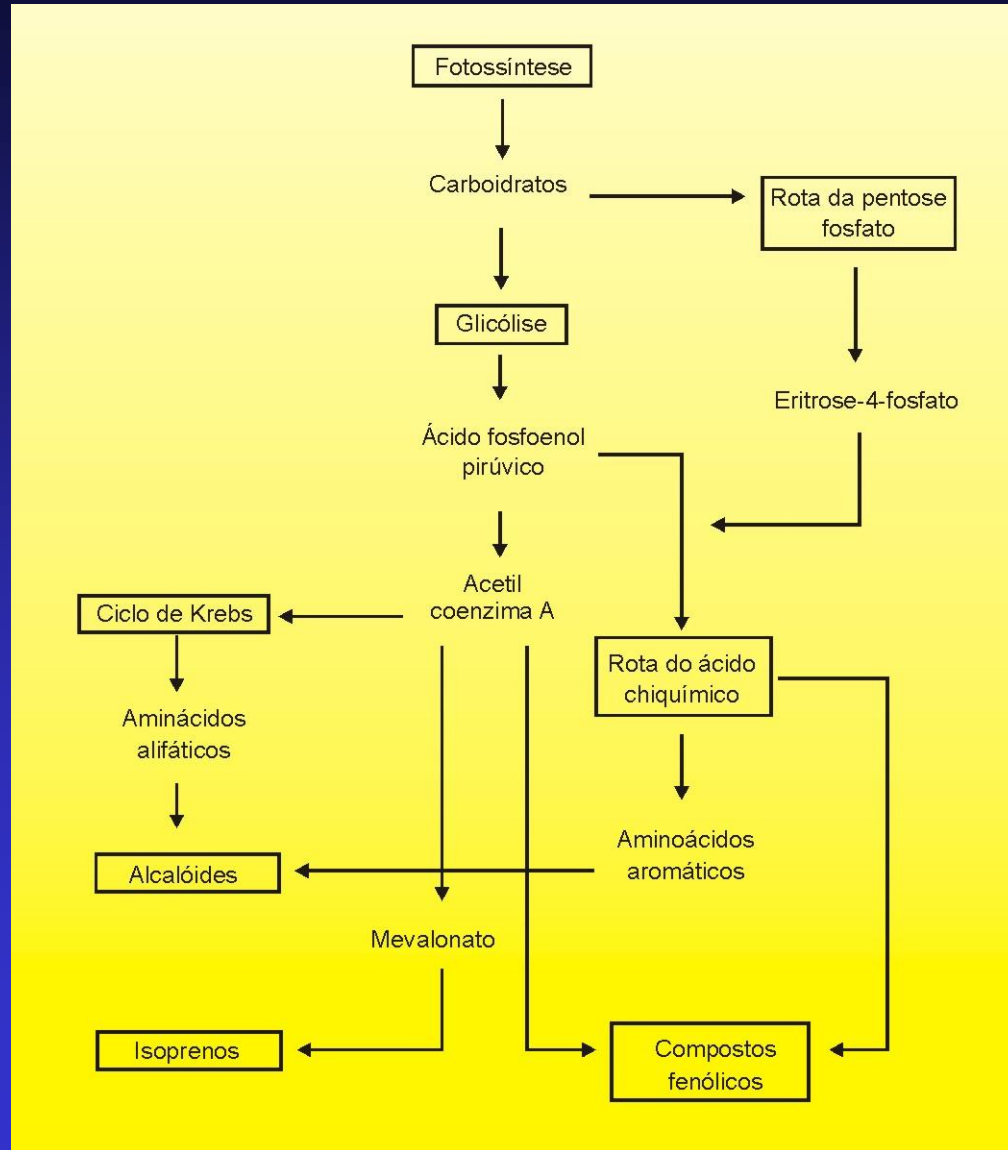
FATORES DA PRODUÇÃO VEGETAL



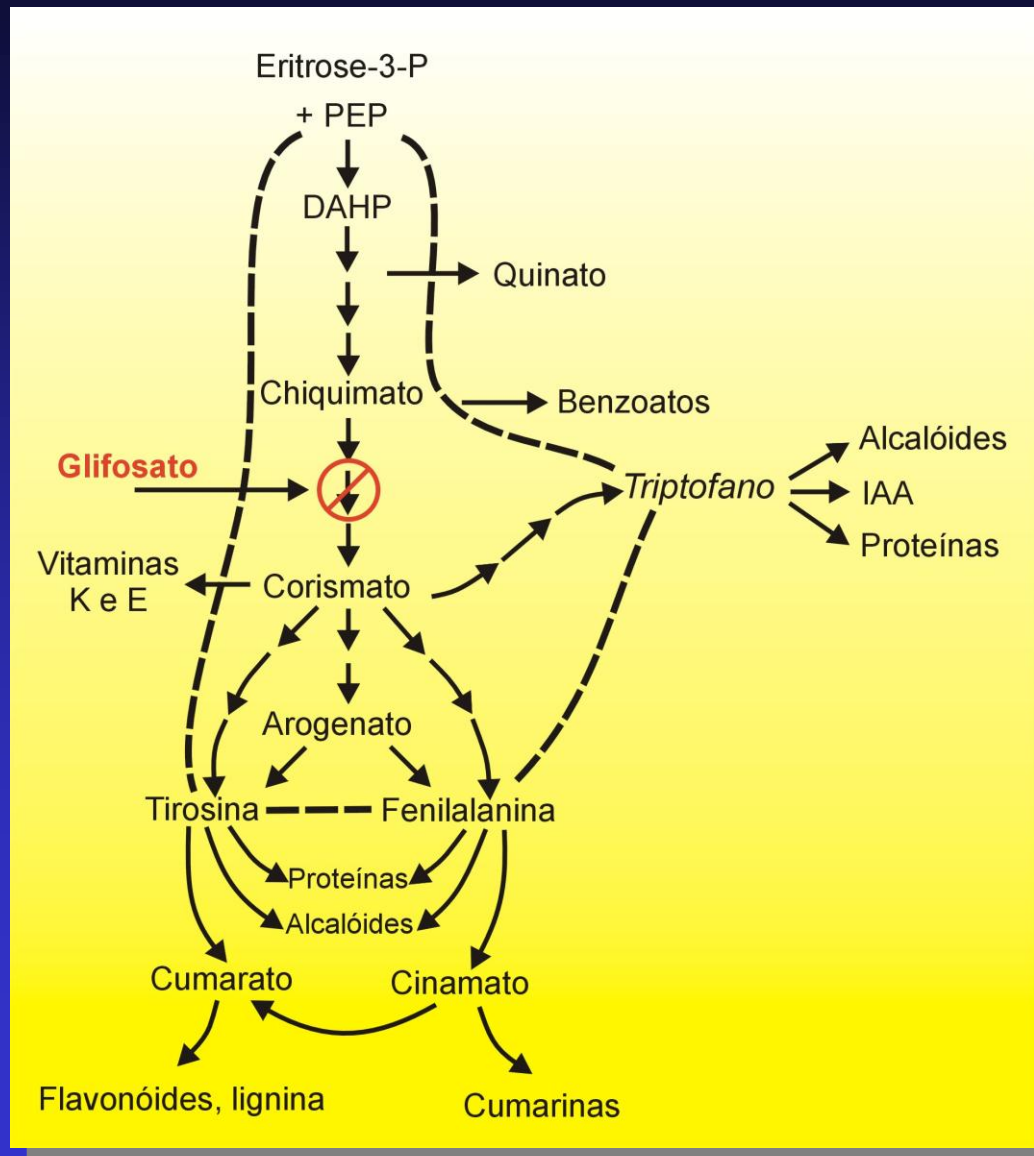
PRODUTIVIDADE VEGETAL



FOTOSSÍNTESE, METABOLISMO PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO



VIA DO CHIQUIMATO (TRAÇOS) E OUTRAS VIAS



Efeito de exsudatos de raízes de plantas de trigo tratadas com glifosato, no desenvolvimento de raízes de milho, ambos plantados no mesmo vaso.

Tratamento	Solo 1	Solo 2
	----- g -----	
Testemunha	0,83	0,78
Glifosato (1,1 kg ha ⁻¹)	0,48	0,38

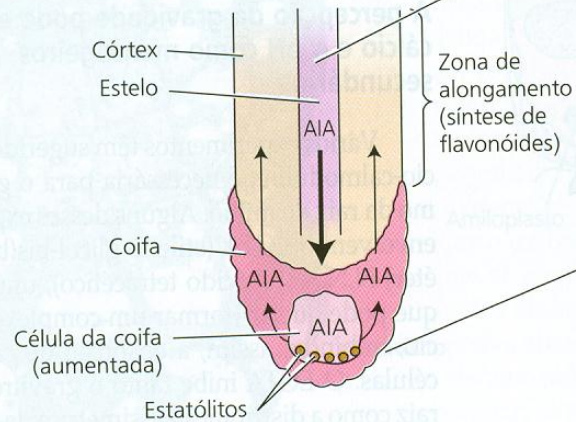
Fonte: Rodrigues et al. (1982).

GLIFOSATO APLICADO EM SOJA AFETANDO GIRASSOL



MECANISMO GEOTRÓPICO

(A) Orientação vertical



1. O AIA é sintetizado na parte aérea e transportado pelo estelo até a raiz.

2. Quando a raiz está na posição vertical, os estatólitos da coifa sedimentam na base das células. A auxina, transportada em direção acrópeta na raiz através do estelo, é distribuída igualmente em ambos os lados da coifa. O AIA é, então, transportado em direção basípeta do córtex para a zona de alongamento, onde regula o alongamento celular.

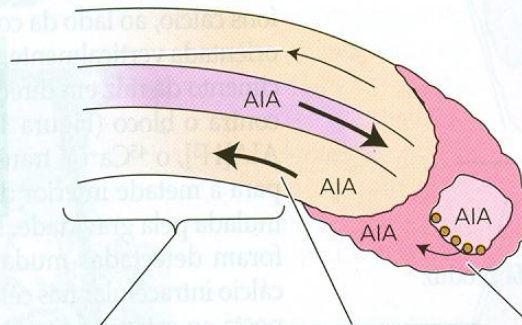
(B) Orientação horizontal

6. O decréscimo de auxina na metade superior estimula o crescimento desta região. Como resultado, a raiz curva-se para baixo.

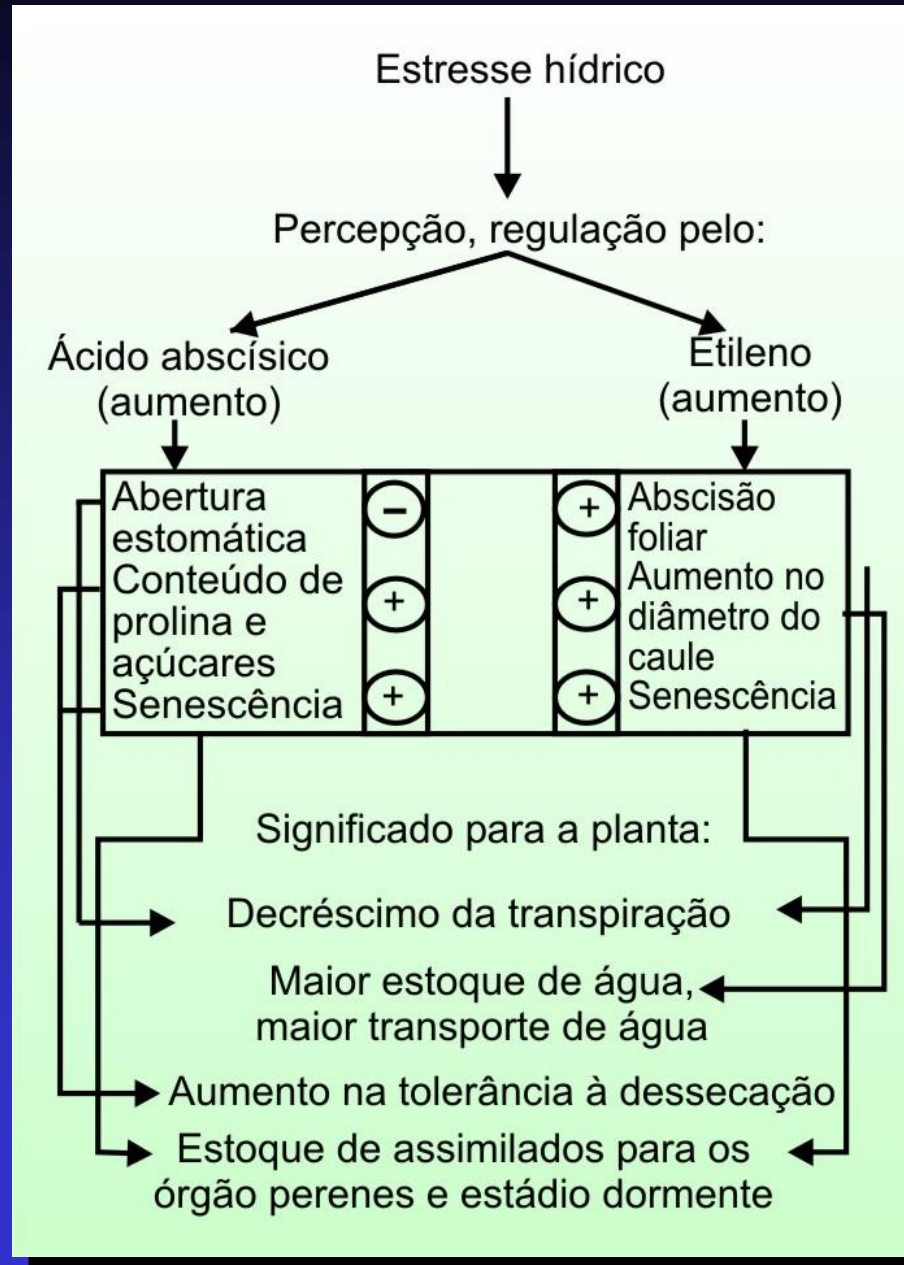
5. A alta concentração de auxina na metade inferior da raiz inibe o crescimento.

4. A maior parte da auxina da coifa é então transportada em direção basípeta no córtex na metade inferior da raiz.

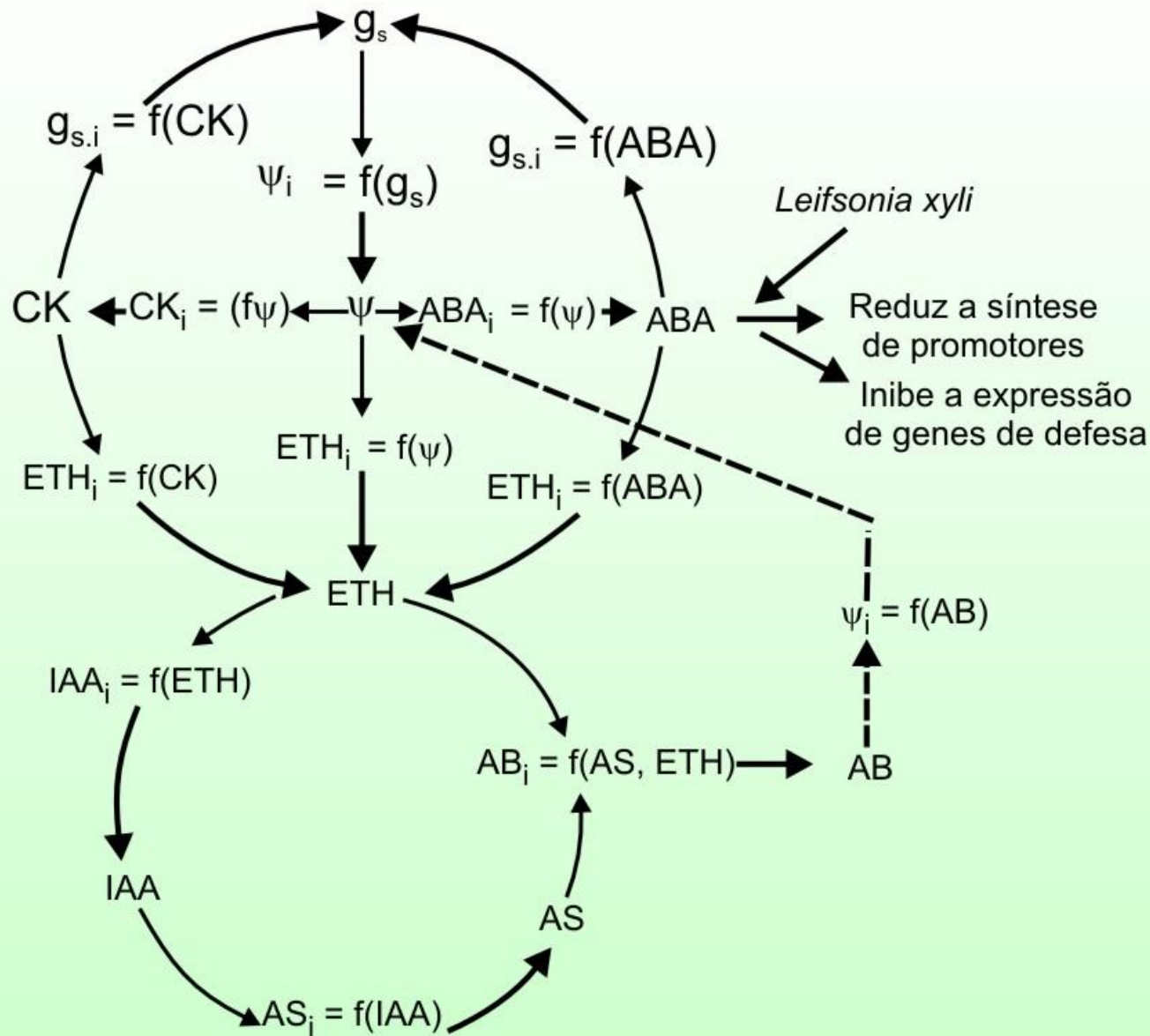
3. Em uma raiz horizontal, os estatólitos sedimentam para a lateral das células da coifa, desencadeando o transporte polar de AIA para a metade inferior da coifa.



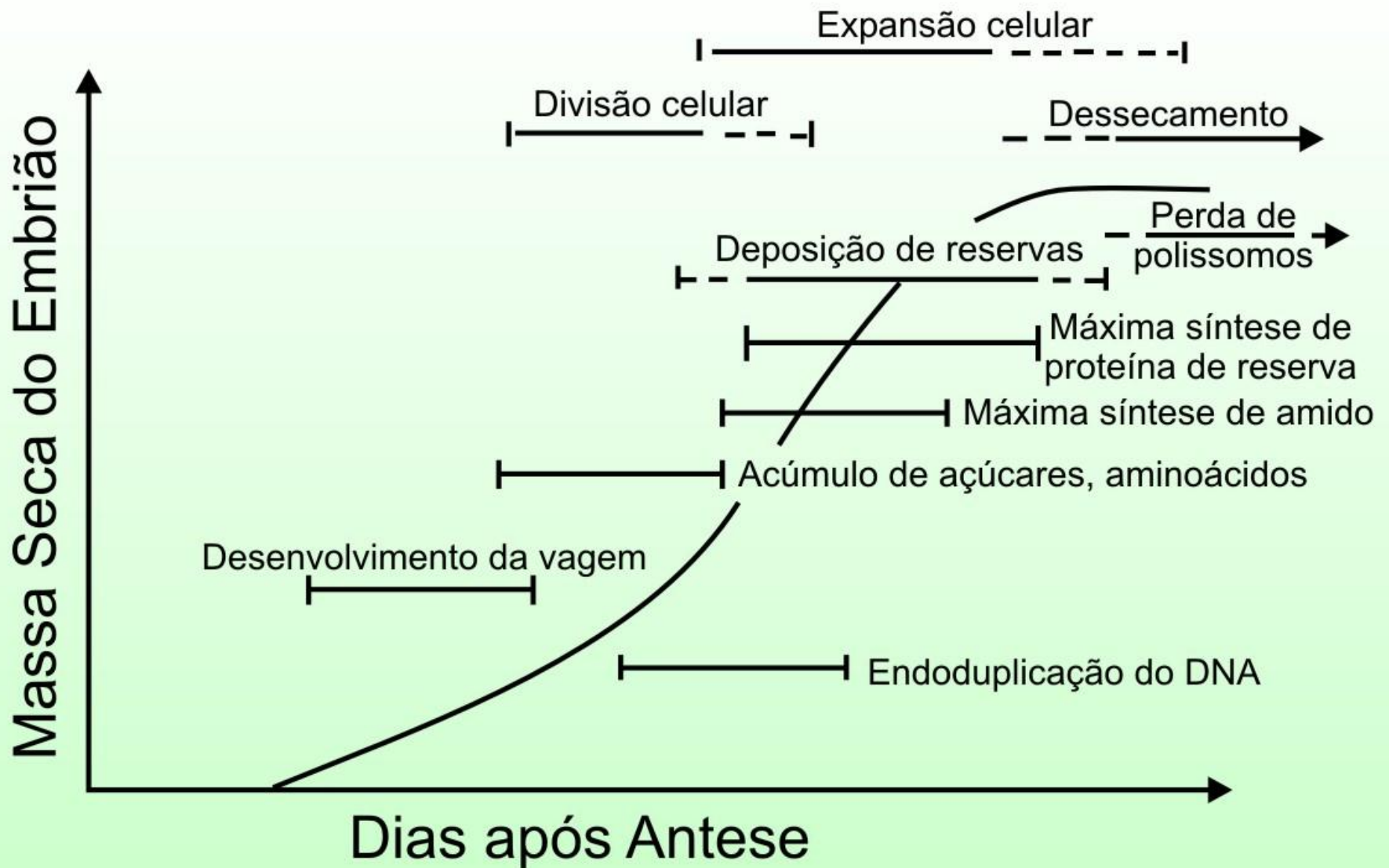
Regulação hormonal durante o estresse hídrico



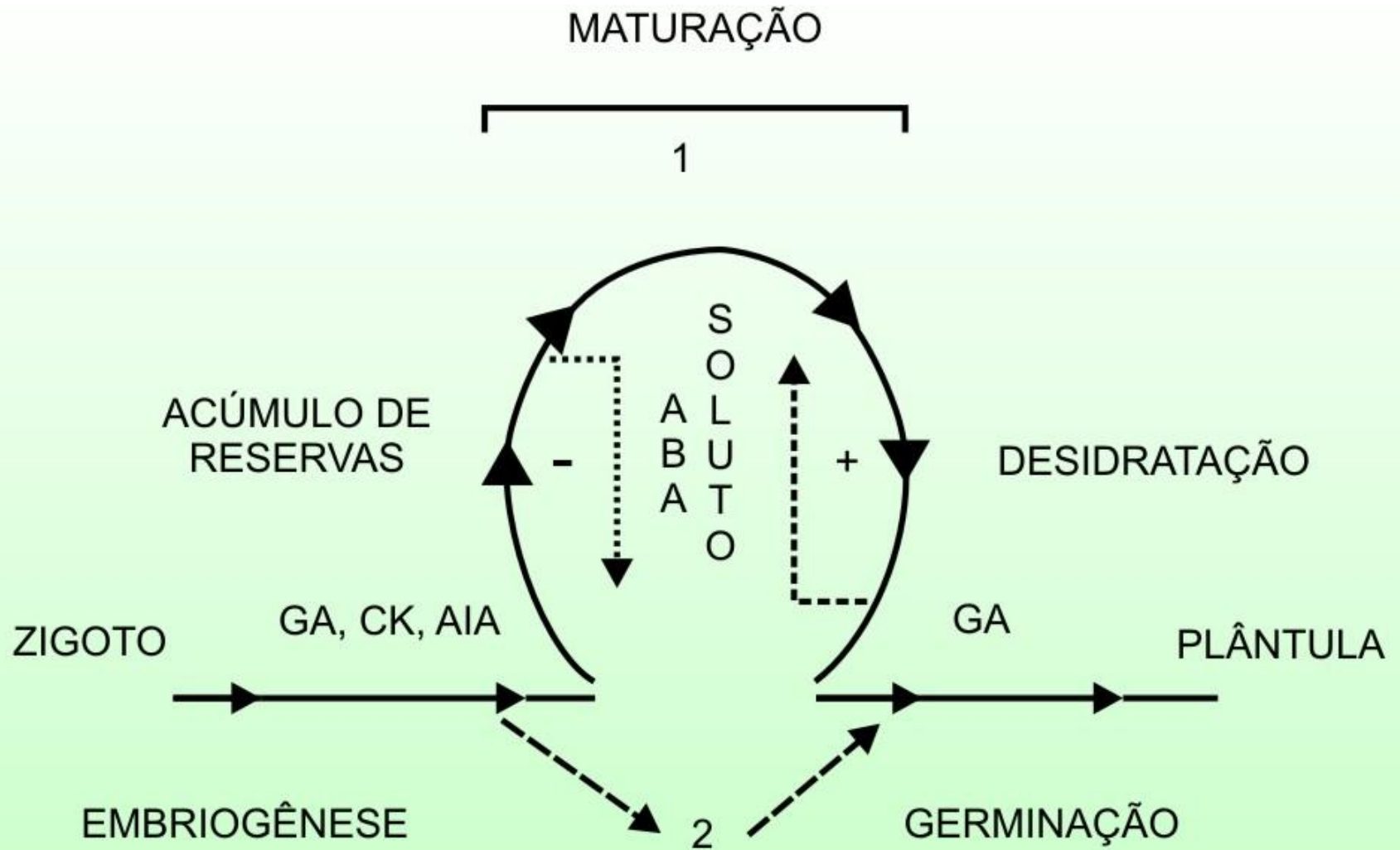
Relações hormonais no estresse hídrico



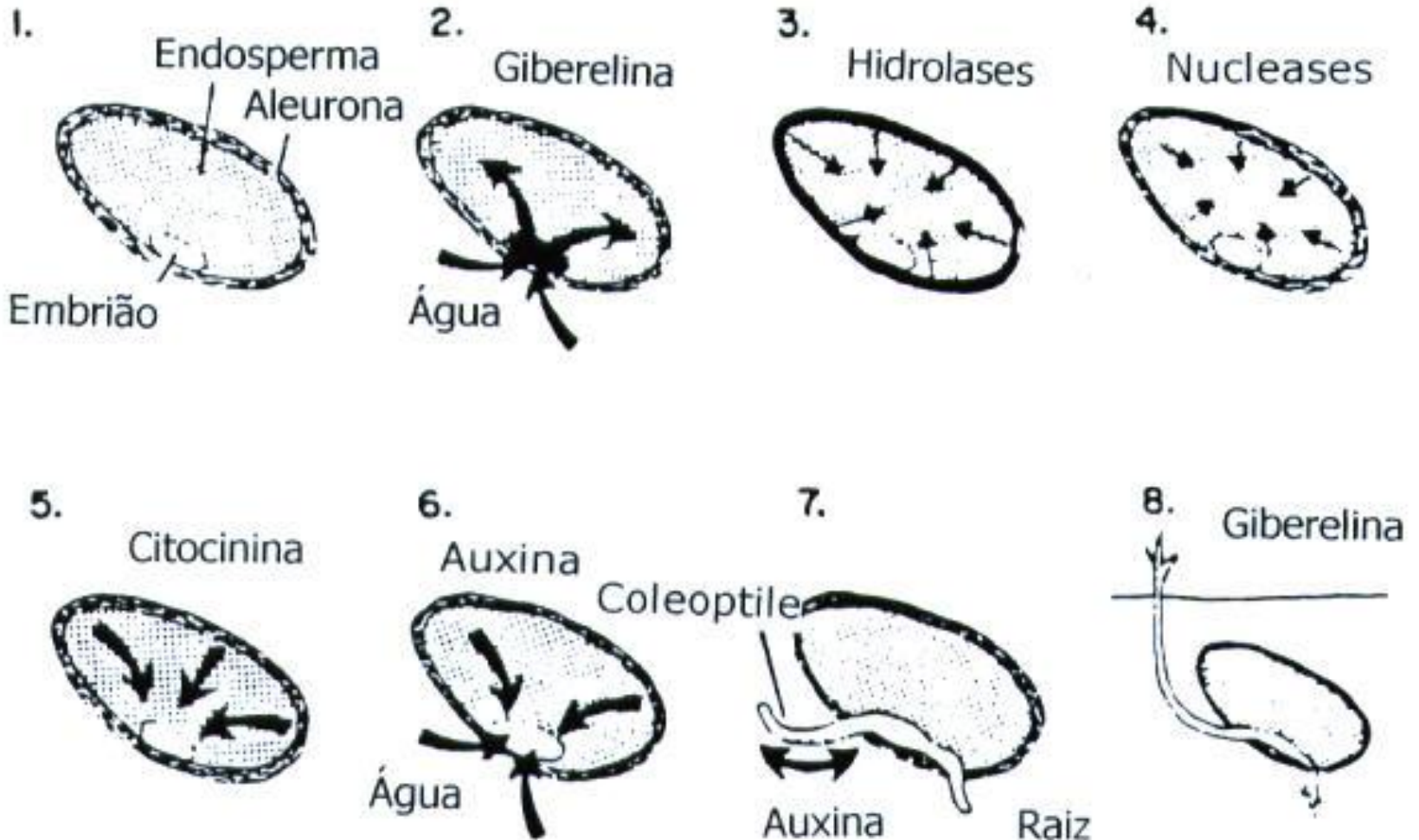
Desenvolvimento e deposição de reservas em sementes



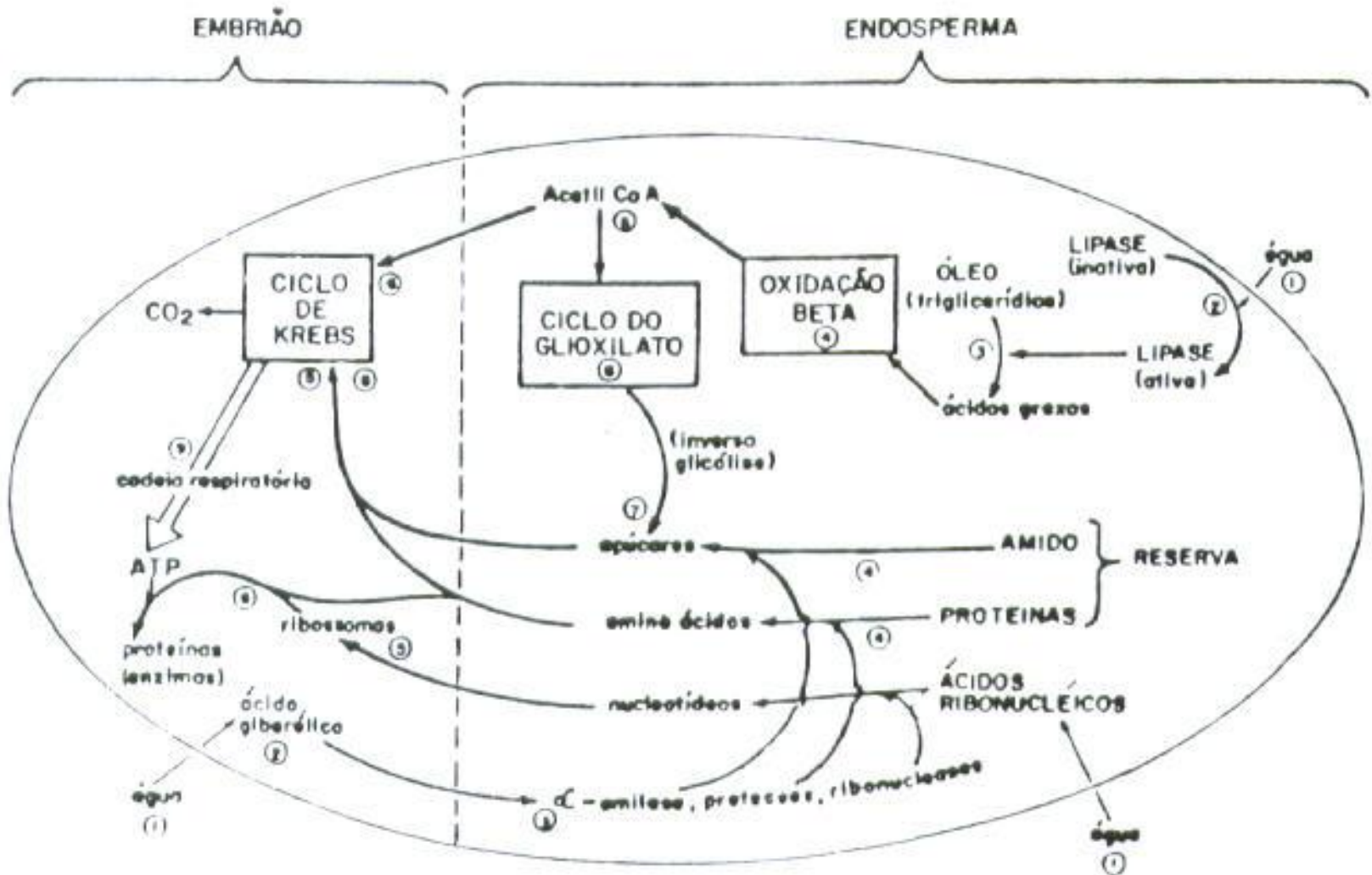
Alterações hormonais durante o desenvolvimento da semente



PROCESSO GERMINATIVO



METABOLISMO DA GERMINAÇÃO



- **Organismos fitopatogênicos modificam a atividade dos hormônios endógenos**
- **Pelo menos 75 espécies de fungos, pertencentes a 35 gêneros, assim como muitas bactérias produzem hormônios**
- **Dentre os fungos em meio de cultura ou na planta são bem conhecidos: *Gibberella*, *Exobasidium*, *Taphrina* e *Ustilago***

AUXINAS

- Aumentam concentração desse promotor de crescimento, os fungos:

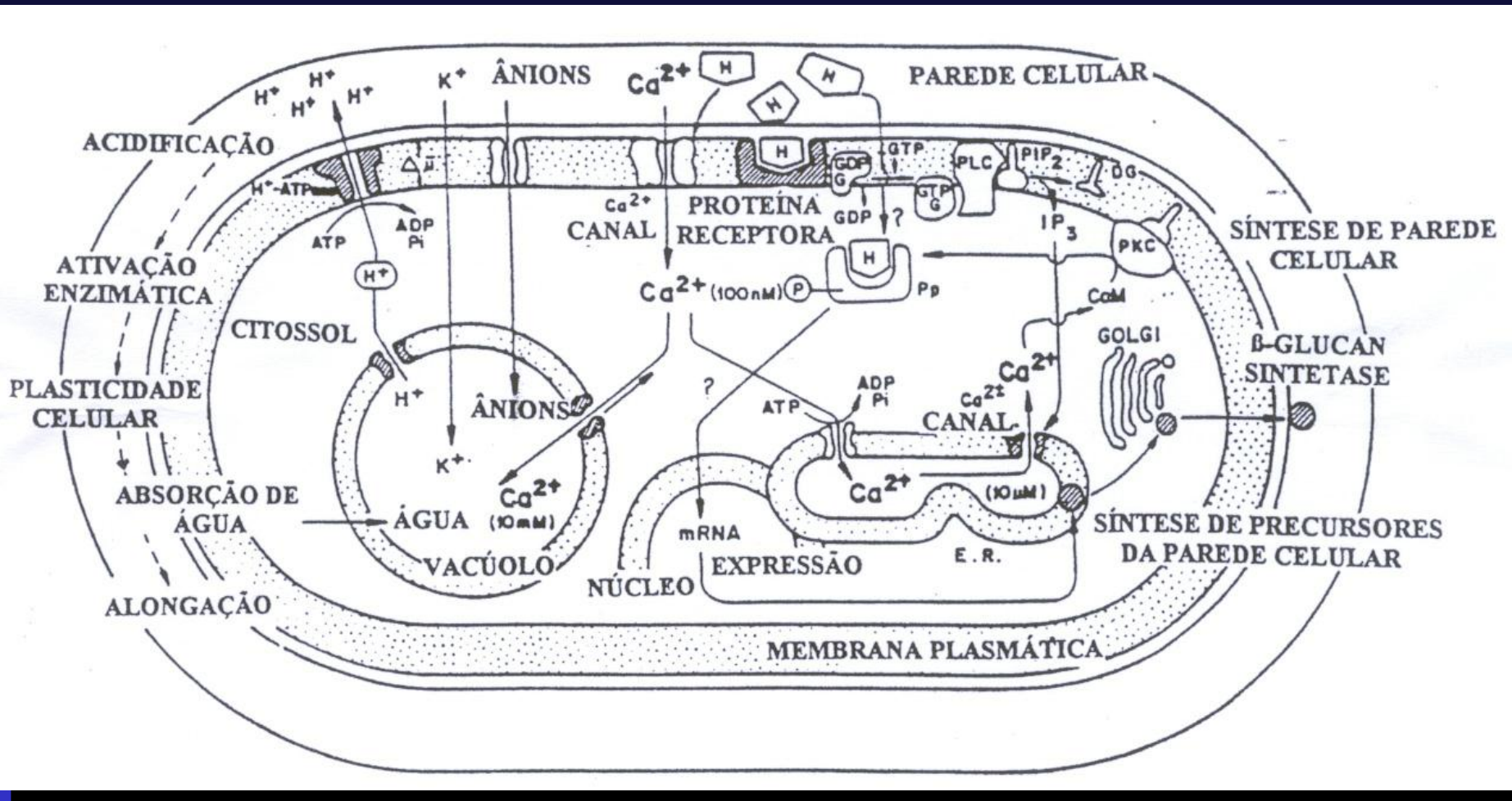
Puccinia graminis tritici em trigo (24x)

Ustilago maydis em milho

Synchytrium endobioticum em batata

Fusarium sp. em tomateiro (12x)

Ação auxínica na expansão celular



- **Aumenta conteúdo de auxina colonização da planta pelas bactérias:**

Pseudomonas solanacearum

P. syringae

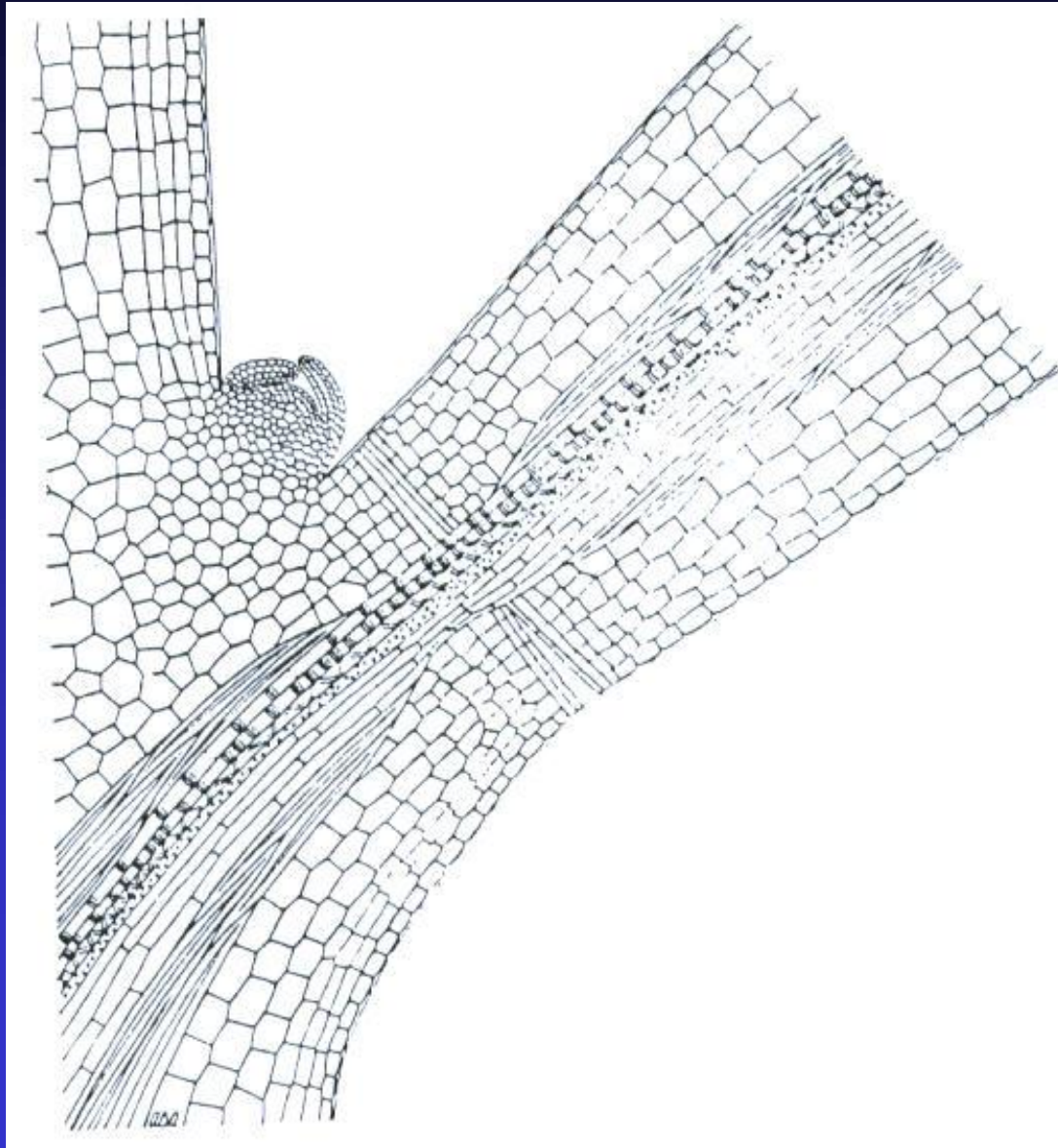
Bradyrhizobium leguminosarum

B. meliloti

- **A ação auxínica nem sempre é bem caracterizada por envolver outros hormônios, mas:**
- **Estimulação de desenvolvimento celular neoplástico é explicada pelo efeito da auxina na divisão e crescimento celular**
- **Alongamento de hastes, folhas e frutos têm sido descritos, como o aumento de frutos de ameixa atacados por *Taphrina deformans***

- Aumento em auxina causado pela ferrugem pode incrementar a taxa de respiração em trigo
- Auxinas formadas por *Ceratocystis ulmi* afetam a estrutura das paredes celulares do parênquima do xilema, levando a formação de tiloses pela ação de enzimas pectolíticas
- *Omphalia flavida* degrada auxina através da produção de IAA-oxidase resultando em queda de folhas. *Diplocarpon rosae* que ataca a roseira, causa efeitos semelhantes

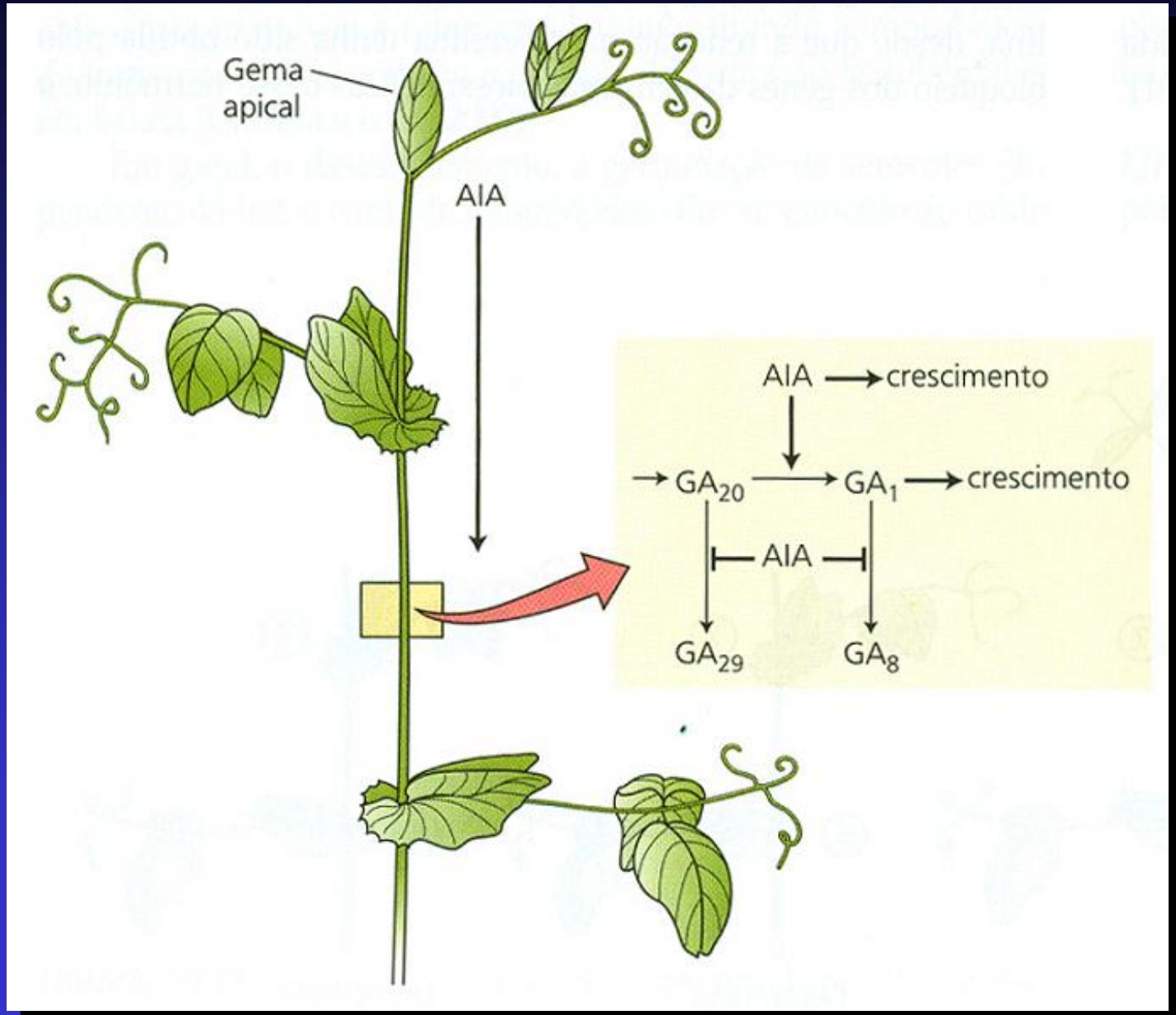
REGIÃO DE ABSCISÃO



GIBERELINAS

- Aumentam o desenvolvimento das células da região apical das plantas
- Podem afetar as auxinas através da síntese de ácidos polihidroxicinâmicos que inibem o efeito da IAA-oxidase
- Auxinas também podem afetar a produção de giberelinas ativas (GA_1 , GA_3 , etc.)
- Giberelinas atuam na germinação de sementes e na quebra de dormência de gemas

AUXINA E GIBERELINA



Quebra da Dominância Apical

REMOÇÃO DO ÁPICE



REMOÇÃO FONTE IAA



REDUÇÃO

CLIVAGEM

OLIGOSSACARIDEOS



REDUÇÃO

PRODUÇÃO

OLIGOSSACARIDEOS

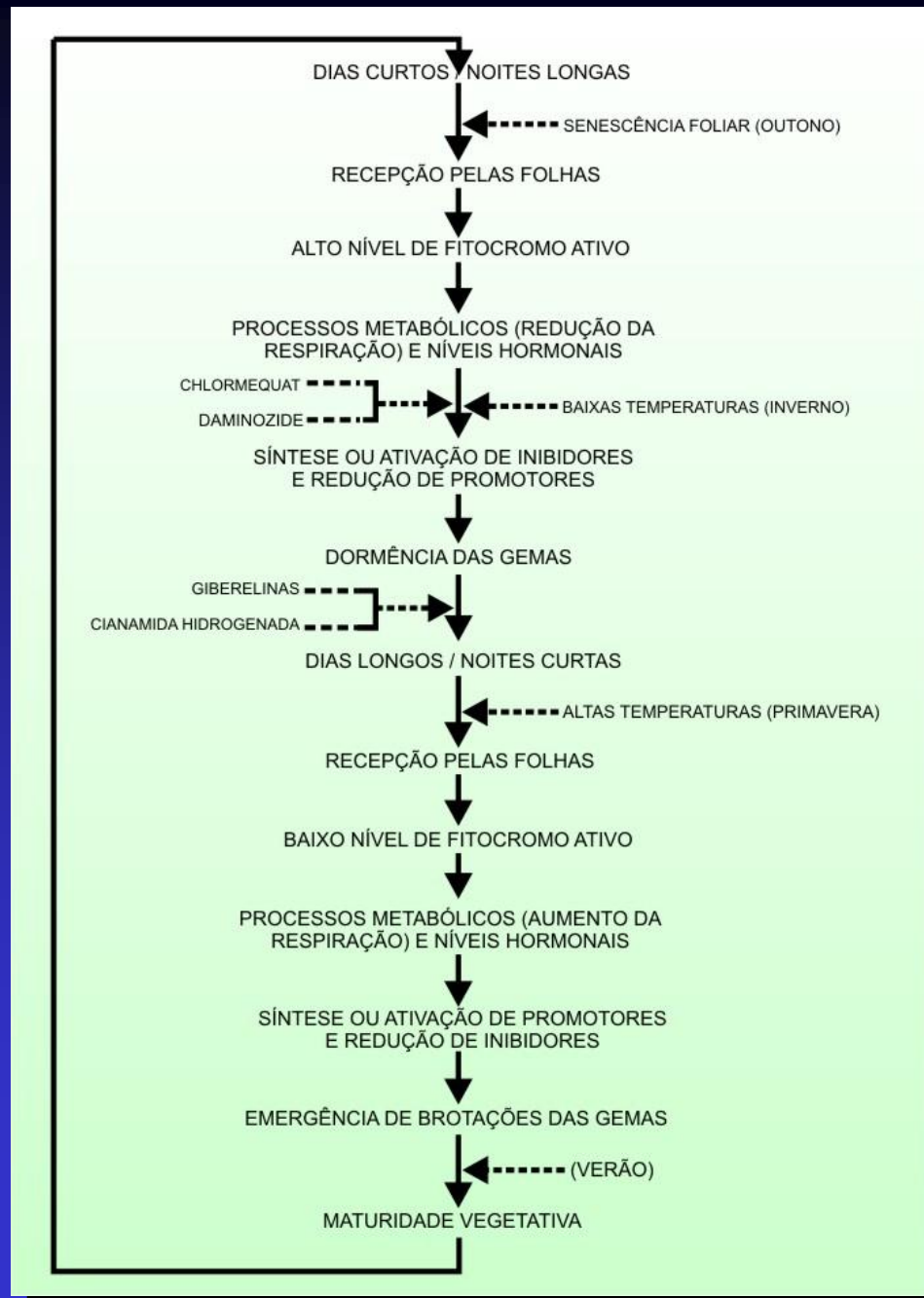


QUEBRA INIBIÇÃO BROTAÇÃO



PROMOVE BROTAÇÕES LATERAIS

DORMÊNCIA E EMERGÊNCIA DE GEMAS



- Substâncias semelhantes a giberelinas foram encontradas em diversos fungos basidiomicetos e em 26 espécies de bactérias do gênero *Pseudomonas*
- *Fusarium moniliforme* provoca severo estiolamento (bakanae) em plantas de arroz, alongação dos entrenós, clorose e pequeno perfilhamento (devido a grande dominância apical)
- Alongação dos entrenós foi também observada:

Uromyces pisi em *Euphorbia* sp.

Endophyllum cyparissias em *Simpervivum* sp.

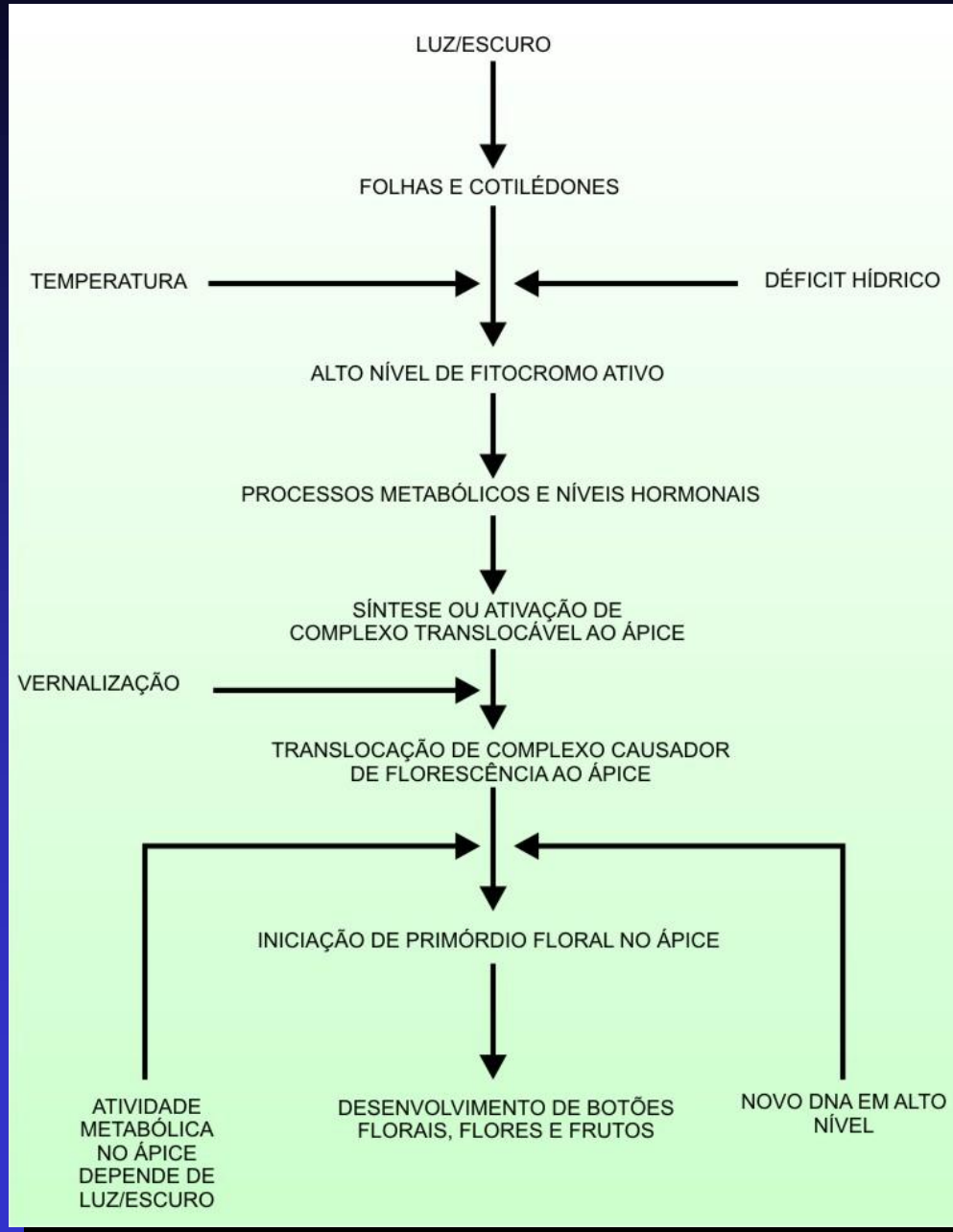
Puccinia suaveolens em *Cirsium* sp.

- Florescimento precoce em *Prímula* sp. afetada por *Uromyces primulae integrifoliae*
- Baixos níveis de giberelinas causados pela infecção produzem plantas compactas:

Ustilago violaceae em *Silene vulgaris* sub sp. *maritima*

- Plantas compactas de fumo atacadas pelo vírus da mancha do fumo mostram remissão dos sintomas quando são pulverizadas com giberelinas, demonstrando que o principal sintoma devia-se a baixos teores de giberelinas endógenas

Biologia do florescimento



CITOCININAS

- Diversas substâncias com atividade de citocininas foram isoladas de microrganismos
- Possuem a capacidade de estimular a divisão celular e de manter os tecidos verdes por indução da síntese de clorofila, atrasando a senescência
- Patógenos que aumentam ou diminuem o teor de citocininas alteram a ontogenia normal do desenvolvimento da planta. Ocorre aumento ou redução da divisão celular, causando hipoplasia ou hiperplasia nos tecidos infectados:

Tumor neoplástico de *Agrobacterium tumefaciens* em tomateiro



FUNGOS

- *Plasmodiophora brassicae* provoca aumento em citocinina e hiperplasia em tecidos de raízes e hipocótilos de crucíferas
- *Exobasidium* incrementa citocinina e auxina provocando hiperplasia em folhas de azaléia
- *Cronartium fusiforme* aumenta em 10x o teor de citocinina em hiperplasia de ramos de pinus

BACTÉRIAS

- *Agrobacterium tumefaciens* causadora de tumor, é uma ativa produtora de citocinina, sendo que as células infectadas formam sua própria auxina e citocinina
- *Rhodococcus fascians* causa fascinação em plântulas de dicotiledôneas com produção de citocinina e auxina
- *Pseudomonas syringae* pv. *Savastanoi* produz citocinina e hiperplasia em loureiro rosa

- Como a citocinina é produzida nas raízes e translocada pelo apoplasto (xilema) para a parte aérea das plantas, seu transporte pode ser restringido por:

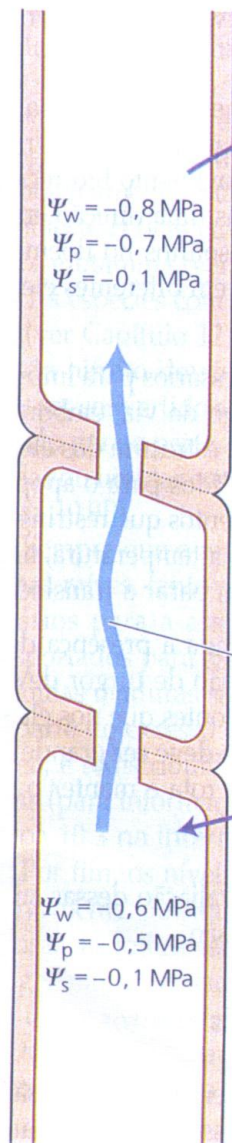
Verticillium sp. em algodoeiro

V. dahliae em tomateiro

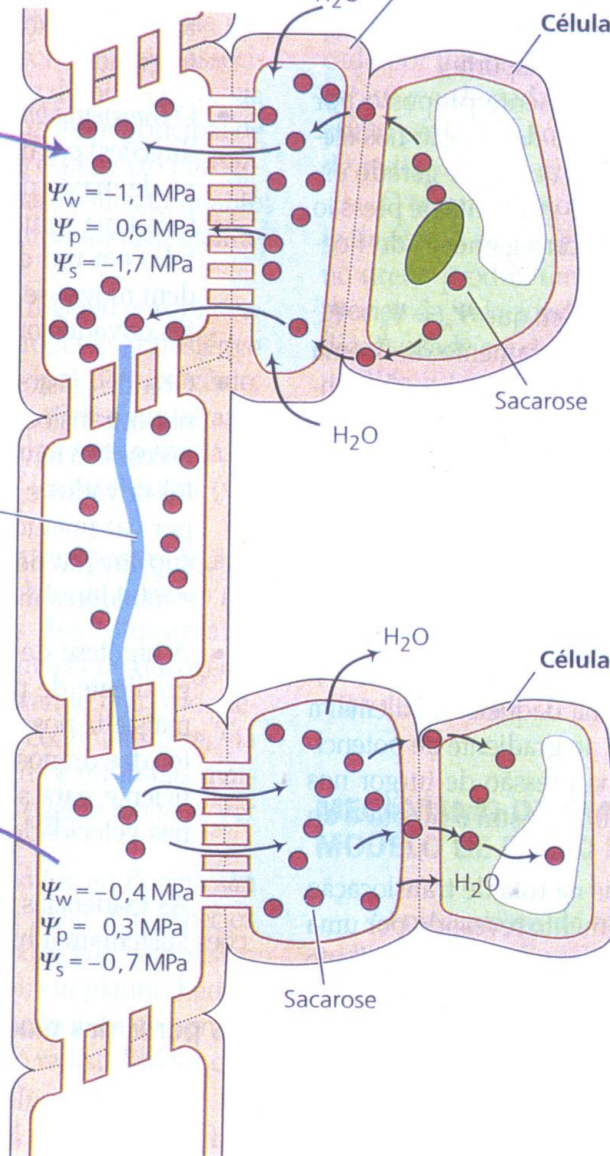
V. albo-atrum causando nanismo

Sistema vascular das plantas

Elemento de vaso do xilema



Elementos crivados do floema



Célula companheira

Célula-fonte

Açúcar na fonte, aqui ilustrado como sacarose (esferas vermelhas), é carregado ativamente no complexo elementos de tubo crivado-célula companheira.

Célula-dreno

No dreno, os açúcares são descarregados.

O carregamento ativo do floema para os elementos crivados causa diminuição do potencial de soluto, a água entra, resultando em alta pressão de turgor.

Fluxo de massa da água e de soluto gerado por pressão, da fonte para o dreno

Corrente de transpiração

O descarregamento ativo do floema aumenta o potencial de soluto, a água sai, resultando em pressão de turgor mais baixa.

- **Citocininas podem incrementar a síntese de clorofila causando a formação de “ilhas verdes” em partes da planta infectada por parasitas obrigatórios:**

***Eryiphes graminis* (míldio) em cereais**

***Uninula aceris* (míldio) em bordo arbóreo**

***Uromyces phaseoli* (ferrugem) em feijoeiro**

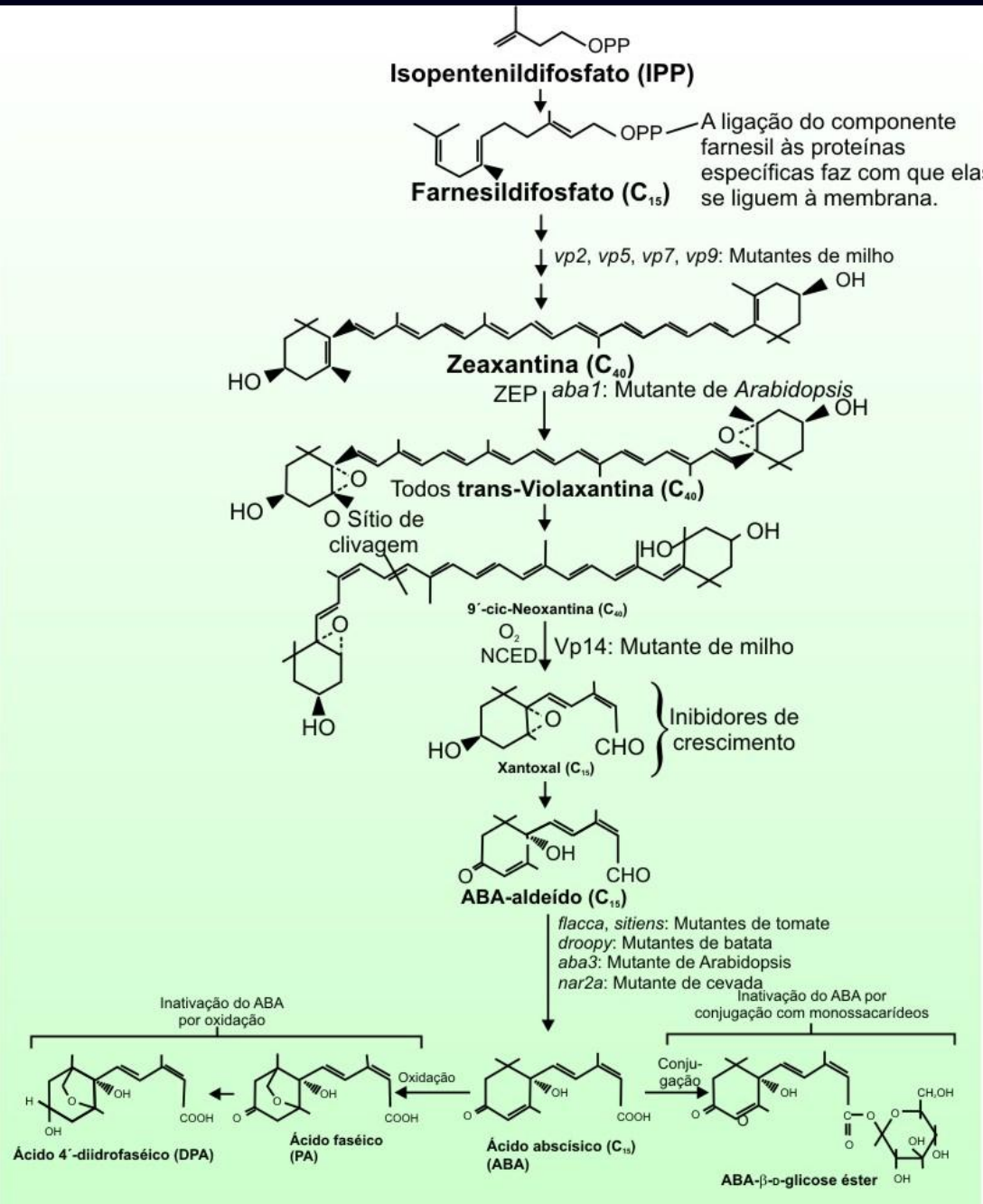
ÁCIDO ABSCÍSIKO

- Inibidores de crescimento como o ácido abscísico (ABA) restringem processos de crescimento e induzem dormência

Pseudomonas solanacearum em fumo causando nanismo

- Doenças vasculares em feijoeiro, tomateiro e trigo aumentam teor de ABA no sistema de transporte da seiva
- *Verticillium dahliae* em algodoeiro causa aumento da ABA e desfolhamento

Biossíntese e metabolismo do ABA



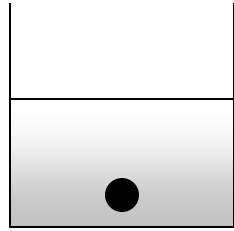
Inibição do crescimento em trigo



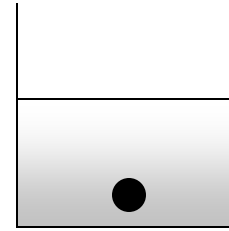
MECANISMOS DE ABSCISÃO

Fatores que aumentam o suprimento de etileno:

- ABA
- Lesão
- Doença
- Senescência
- Escuro
- Seca
- Movimento de ACC
- Etileno

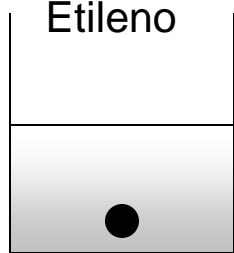


Fatores que influenciam o suprimento a partir do órgão distal



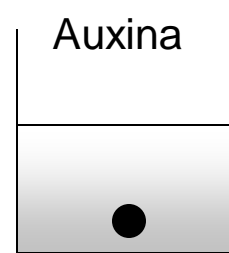
Fatores que aumentam o suprimento de auxina:

- Crescimento ativo
- Fecundação
- Crescimento da semente



Etileno

Concentração na zona de abscisão



Auxina

Fatores que diminuem o suprimento de auxina:

- Etileno
- Baixa Luminosidade
- Lesão
- Senescência

Fatores que aumentam a sensibilidade ao etileno:

- Déficit de água
- ABA
- Etileno
- Idade
- Polinização
- Baixa luminosidade



Fatores que aumentam a sensibilidade a auxina:

- Citocinina
- Juvenildade
- Cálcio
- Fecundação
- Alta luminosidade
- Auxina

ETILENO

- Hormônio gasoso relacionado com os processos de maturação, abscisão e senescência. Sua formação é estimulada por auxinas, injúrias e patógenos
- Produzido em meio de cultura por:

Penicillium digitatum que ataca frutos de citros

Pseudomonas solanacearum

Erwinia e *Xanthomonas*

- Causa sintomas de senescência e desfolha:

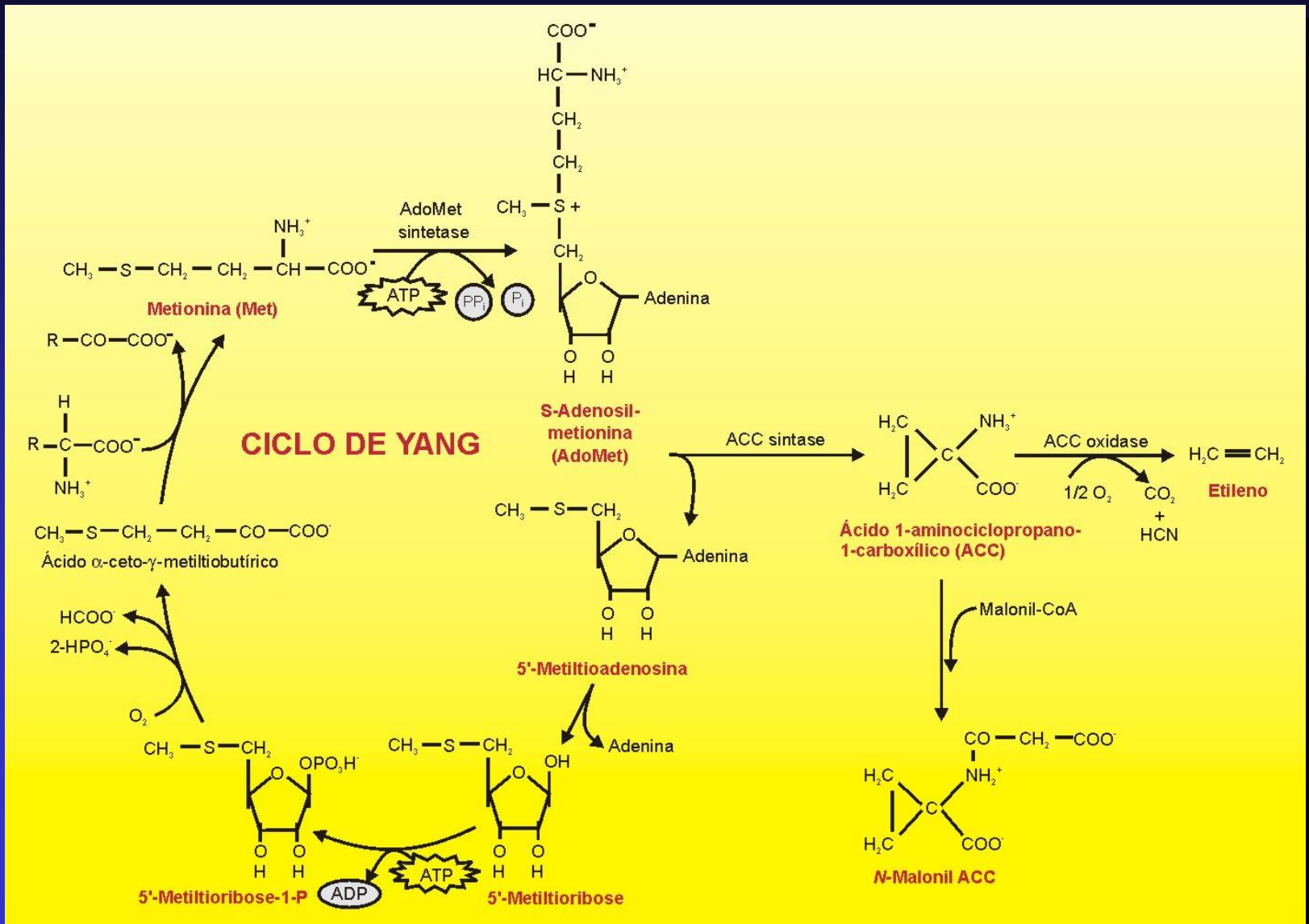
Diplocarpon rosea em roseira

Cercospora personata em tomateiro

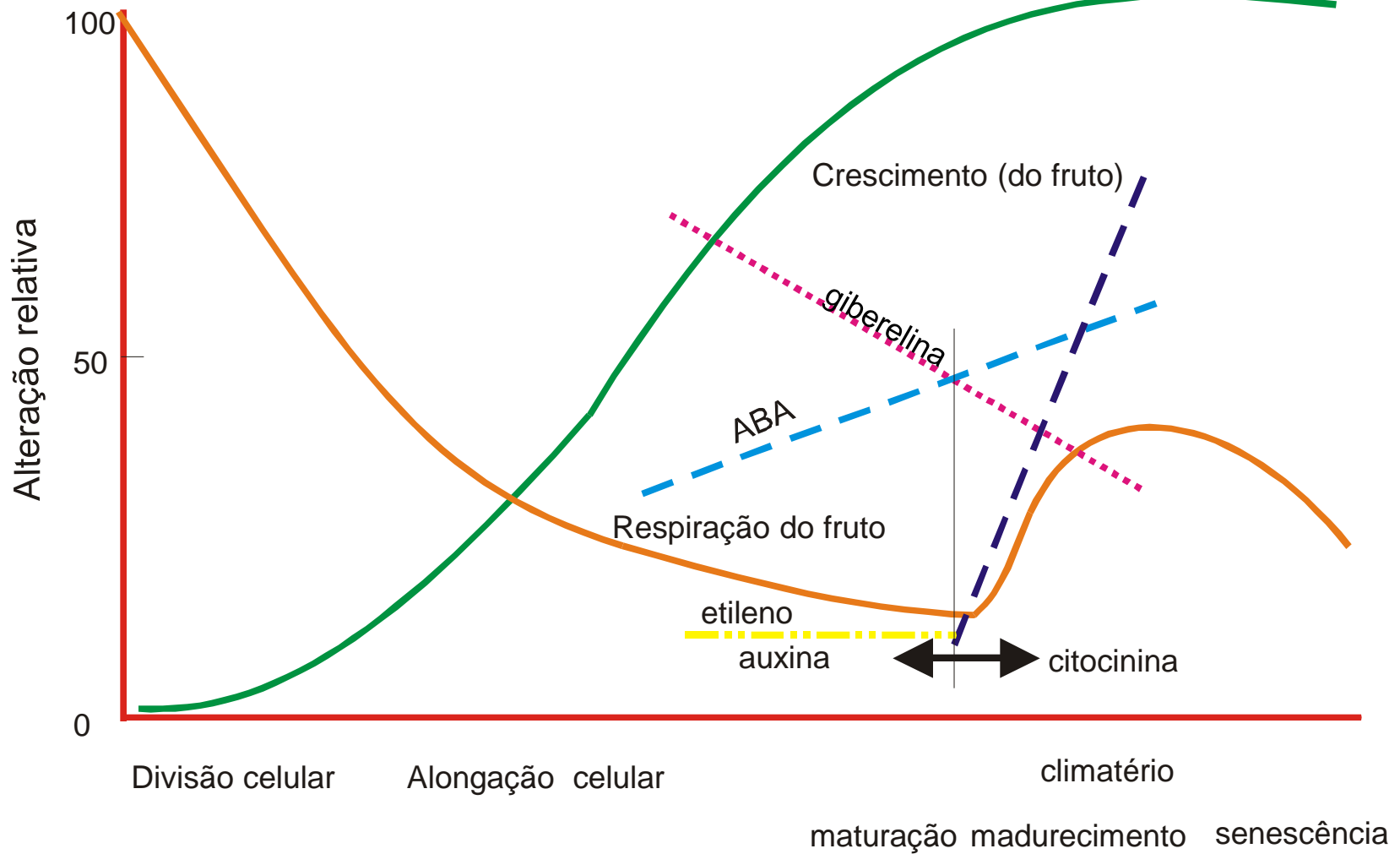
Botrytis sp. em cravo

Pseudomonas solanacearum em banana promove maturação precoce

BIOSSÍNTESE DE ETILENO



CONTROLE HORMONAL DA MATURAÇÃO



- Frutos e folhas lesionadas por artrópodos-pragas aumentam seus teores de etileno, causando amarelecimento e queda precoce

Ácaros em folhas de cerejeira e roseira

Laspeyresia pomonella (lagarta do fruto) em macieira e pereira

Cydia molesta (lagarta do fruto) em pessegueiro

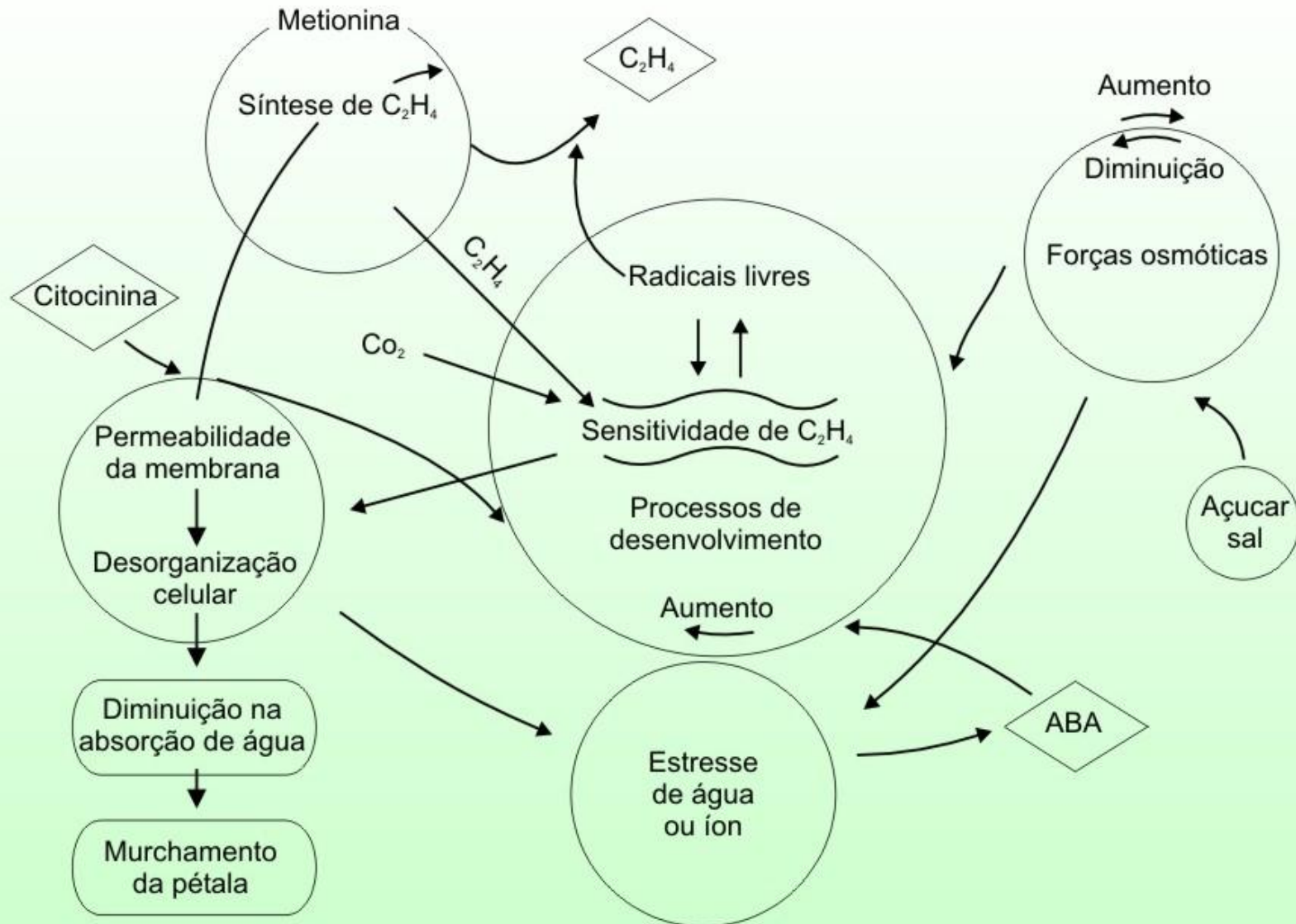
- Etileno, assim como altos teores de auxina que levam à síntese de C_2H_4 , causam epinastia foliar:

Fusarium oxysporum f. sp. *lycopersici* em tomateiro

Verticillium sp. em lúpulo e macieira

- Etileno estimula a respiração em plantas, o que pode levar à senescência de órgãos vegetais

Biologia da senescência



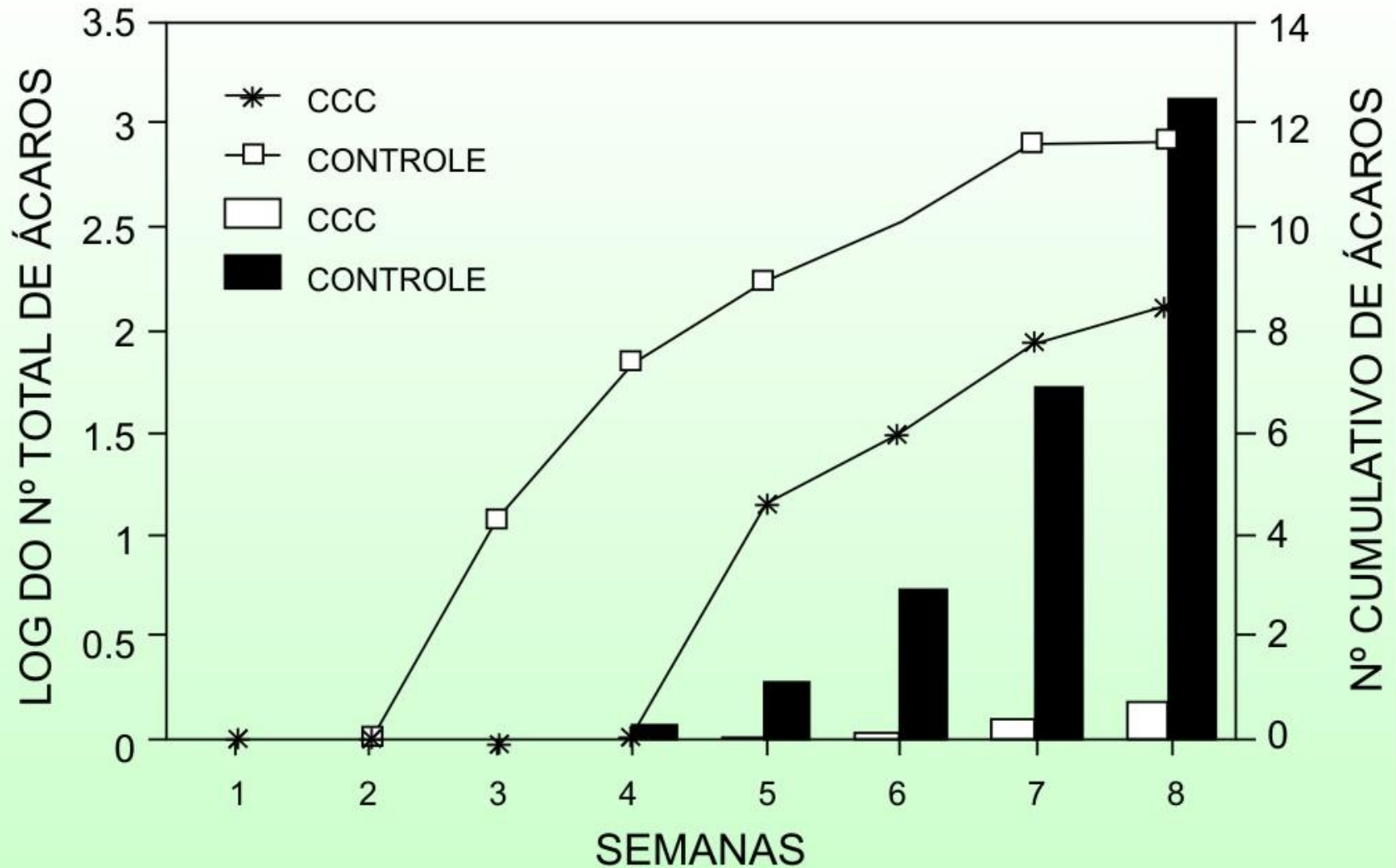
CONTROLE COM BIORREGULADORES

Parasita	Cultura	Produtos	Autores
Mosca das Frutas	Citros	GA10-20ppm	Greany et al., 1993
<i>Aphis gossypii</i>	Algodoeiro	GA100xCCC1000ppm	Castro & Rossetto, 1977
Declínio (anomalia)	Citros	GA50+2,4-D10ppm	Prates et al., 1983
Declínio (anomalia)	Citros	GA50+NAA20ppm	Prates et al., 1988
<i>Xylella fastidiosa</i>	Citros	GA20+NAA20ppm	Castro et al., 2001
<i>Xylella fastidiosa</i>	Citros	GA50+2,4-D8ppm	Castro et al., 2003
<i>Brevicoryne brassicae</i>	Couve	CCC	Van Emden, 1964
Afídeos	Diversas	CCC	Tahori et al., 1965
Lepidópteros	Diversas	CCC	Zummo et al., 1984
Mosca Branca	Diversas	CCC	Fisher & Shanks, 1979
<i>Tetranychus urticae</i>	<i>Hibiscus</i>	CCC	Osborne & Chase, 1990
	<i>rosa-sinensis</i>	●	
<i>Cecidophyopsis ribis</i>	Groselheira negra	CCC	Smith & Corke, 1996

CONTROLE COM BIORREGULADORES

Parasita	Cultura	Produtos	Autores
<i>Cladosporium cucumerinum</i>	Pepino	CCC	Van Andel, 1968
Murcha de Verticillium	Tomateiro	CCC	Sinha & Wood, 1967
<i>Cercospora herpotrichoides</i>	Trigo	CCC	Diercks, 1965
<i>Cladosporium cucumerinum</i>	Pepino	SADH	Van Andel, 1968
<i>Xanthomonas visicatoria</i>	Pimenteira	SADH	Crossan & Fieldhouse, 1964
Vírus da Mancha Anelar	Fumo	SADH	Karas et al., 1964
<i>Verticillium dahliae</i>	Algodoeiro	Pydanon 200 mg/pl.	Buchenauer & Erwin, 1976
<i>Verticillium dahliae</i>	Tomateiro	Pydanon 200 mg/pl.	Buchenauer & Erwin, 1976
Declínio (anomalia)	Citros	Cytex	Plimpton, 1976
Declínio (anomalia)	Citros	Eritorbato de Sódio + ácido de cítrico	Leonard, 1976

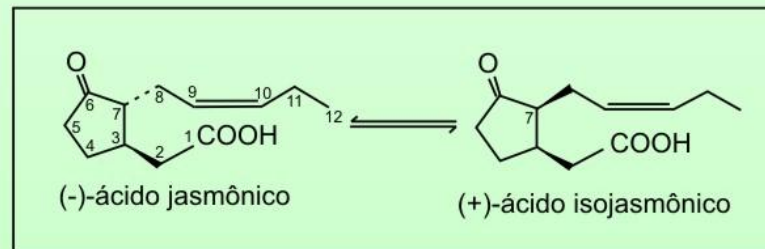
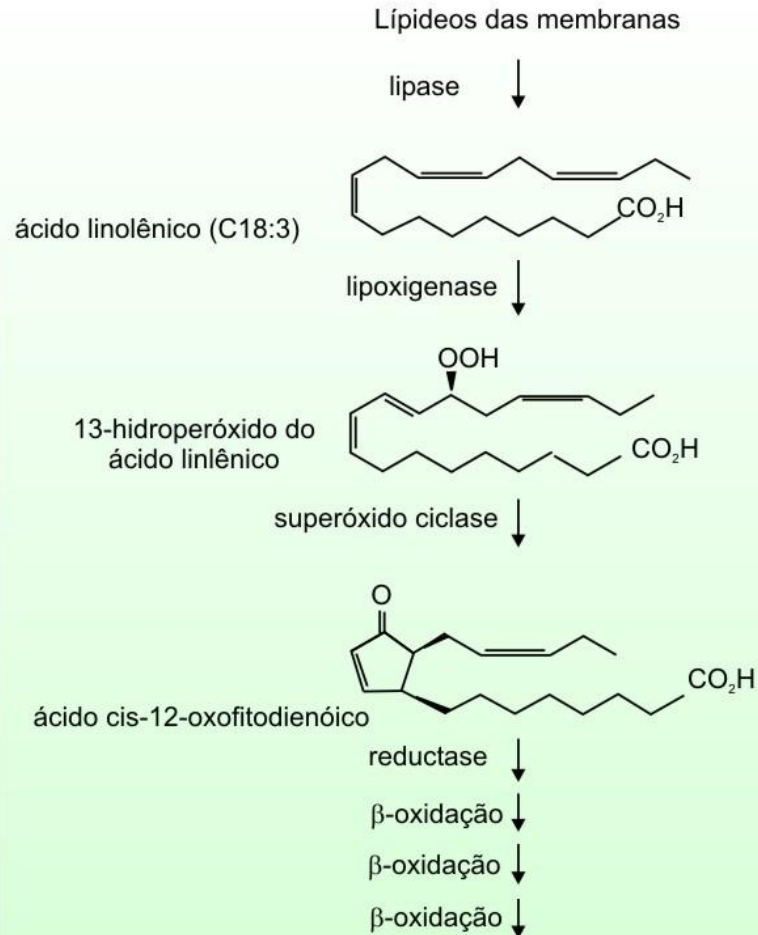
Redução na infestação de *Tetranychus urticae* em *Hibiscus* tratado com CCC



ÁCIDO JASMÔNICO

- Descoberto no óleo de *Jasminum grandiflorum* e de *Rosmarinus officinalis* e em filtrados do fungo *Lasiodiplodia theobromae*, possuindo propriedades inibidoras do crescimento das plantas e causa senescência das folhas de aveia na obscuridade
- Forma-se a partir do ácido linolênico nos tecidos vegetais
- Estresses osmótico e salino aumentam a biossíntese de jasmonatos
- Metil-jasmonato estimula a produção de etileno em jitomate e maçã, acelerando a senescência de flores cortadas de petúnia e dendrobium e a queda de folhas de feijoeiro
- Jasmonatos favorecem a produção de bulbos e tubérculos

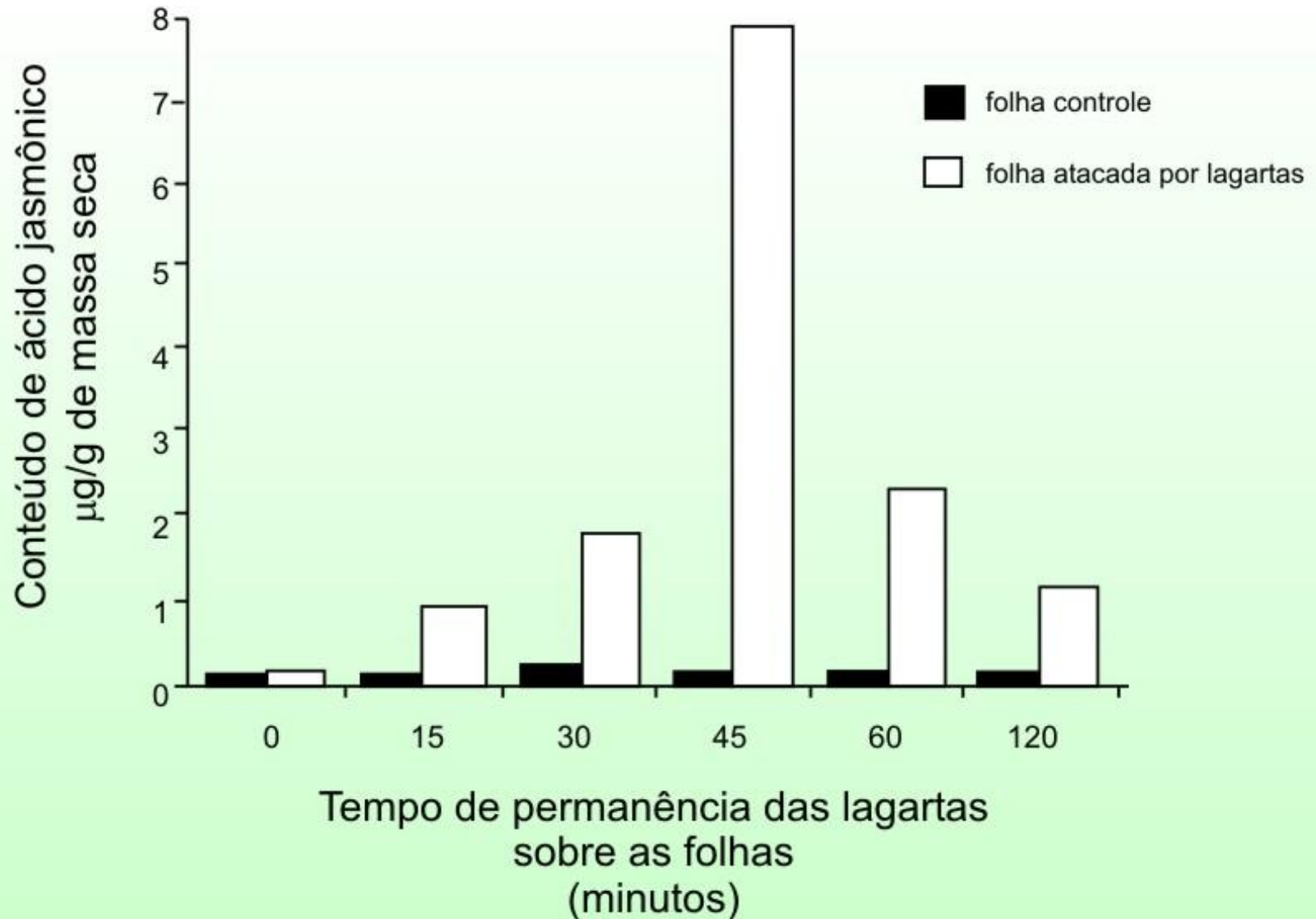
Biossíntese de ácido jasmônico



- **Metil-Jasmonato volátil** pode induzir reação de defesa contra insetos promovendo a biossíntese de inibidores de proteinases que atuam como toxinas que impedem a digestão de proteínas pelos insetos
- **Jasmonatos** protegem aveia contra infecção de *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* e batata e jitomate contra *Phytophthora infestans*
- Na resistência sistêmica adquirida o ácido salicílico desempenha papel chave como um sinal que causa a expressão de genes responsáveis pela resistência
- Plantas silvestres de *Arabidopsis thaliana* produzem abundante etileno e JA ao serem inoculadas com *Alternaria brassicicola*, produzindo também defensina (proteína de resistência)

- **Aplicação simultânea de etileno e JA nessas plantas, sem inoculação, também levam à produção de defensina**
- **Jasmonatos participam ainda de outras reações de defesa: após ataque por lagarta (*S. littoralis*) em folhas de fava verificou-se um rápido, mas efêmero, aumento no teor de JA**

Efeitos dos danos causados por *Spodoptera littoralis* na biossíntese de ácido jasmônico em folhas de *Vicia faba*



Ácido jasmônico no sistema de resistência de plantas

