



GIBERELINAS

Katia Christina Zuffellato-Ribas

GIBERELINAS

1926 – Kurosawa

“BAKANAE” (DOENÇA DAS PLANTINHAS LOUCAS)

Giberella fujikuroi – FUNGO CAUSADOR DO ALONGAMENTO EXAGERADO EM PLANTAS DE ARROZ



GIBERELINAS

1926 – Kurosawa

“BAKANAE” (DOENÇA DAS PLANTINHAS LOUCAS)

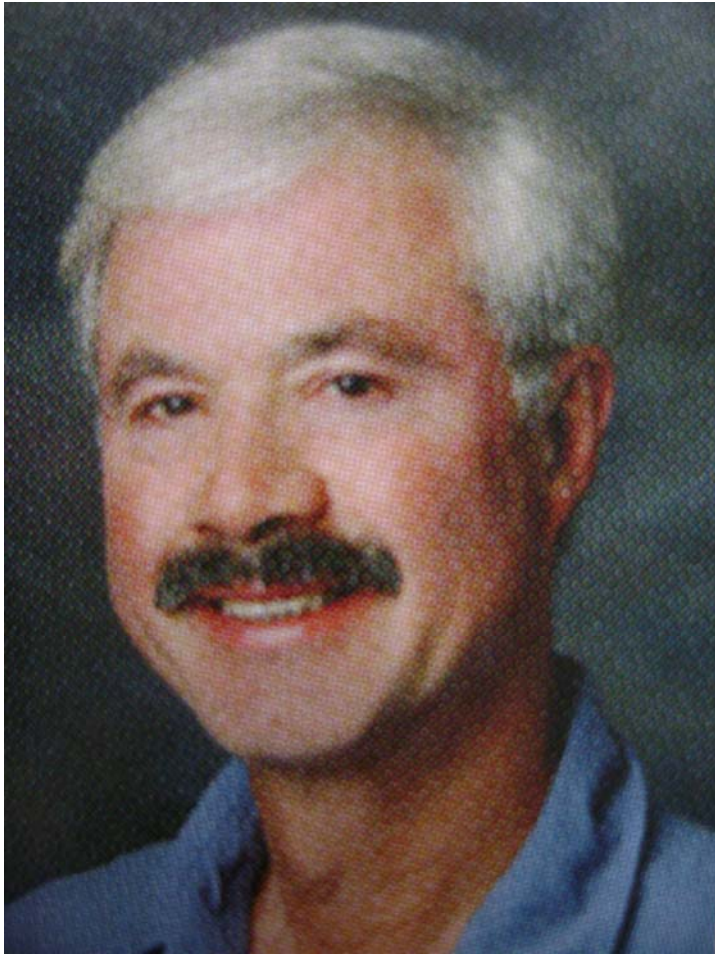
Giberella fujikuroi – FUNGO CAUSADOR DO ALONGAMENTO EXAGERADO EM PLANTAS DE ARROZ

1955 – GRÃ-BRETANHA

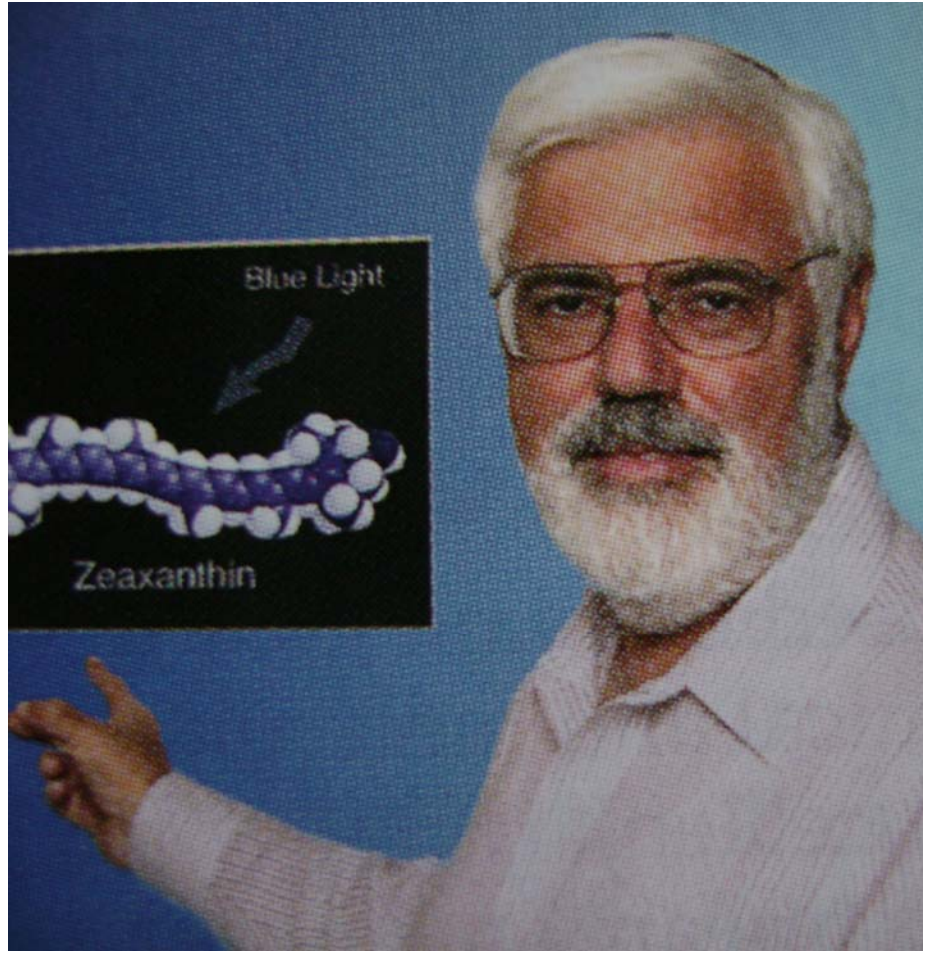
COMERCIALIZAÇÃO E POPULARIZAÇÃO DAS GIBERELINAS

1990 – 84 GIBERELINAS FORAM DESCOBERTAS EM VÁRIOS FUNGOS E PLANTAS

2006 – Taiz & Zeiger – MAIS DE 136 GAs CONHECIDAS



Lincoln Taiz



Eduardo Zeiger

ESTRUTURA:

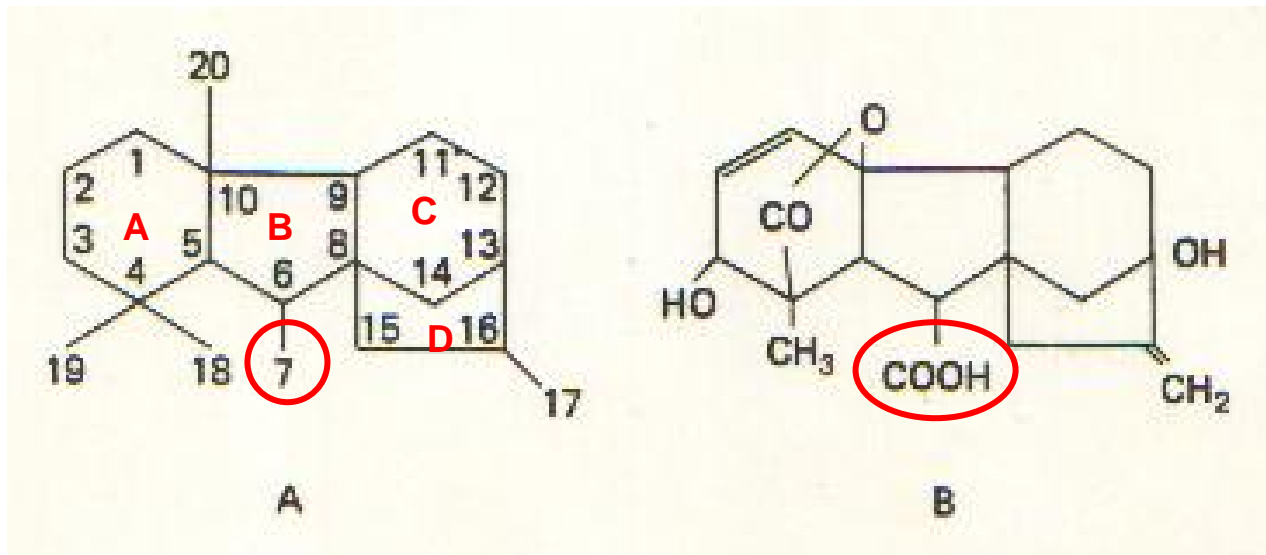
Gas SÃO DITERPENOS CÍCLICOS (COM 19 OU 20 C)

POSSUEM ESQUELETO ENT-GIBERELANO COM 4 OU 5 ANÉIS

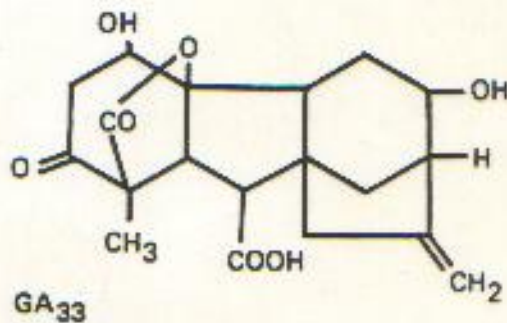
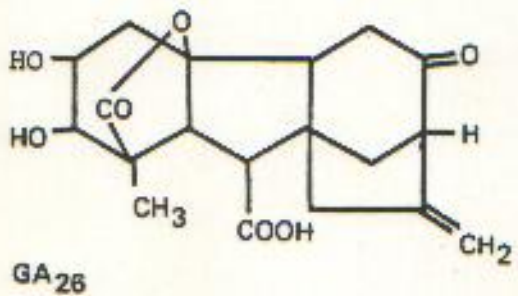
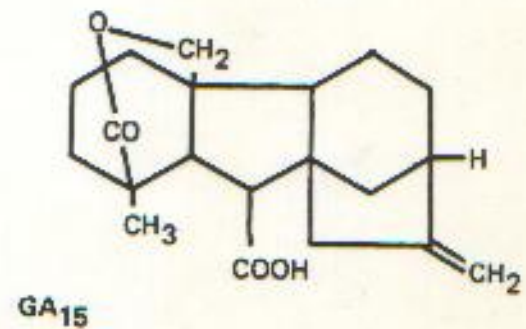
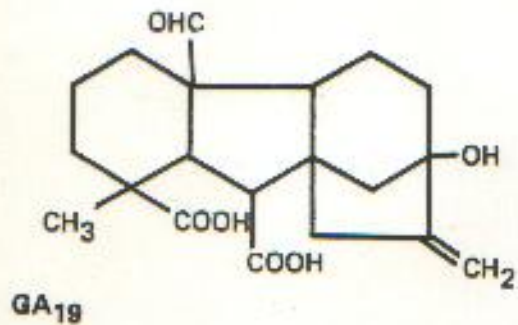
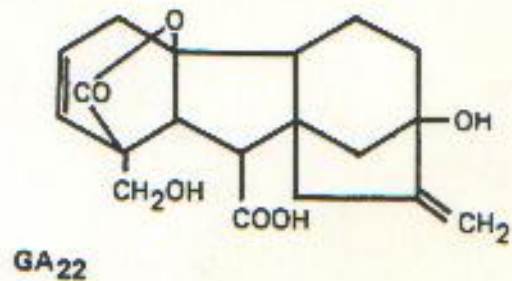
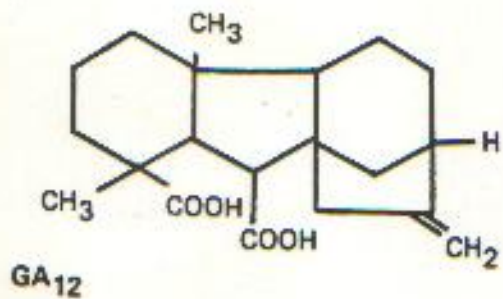
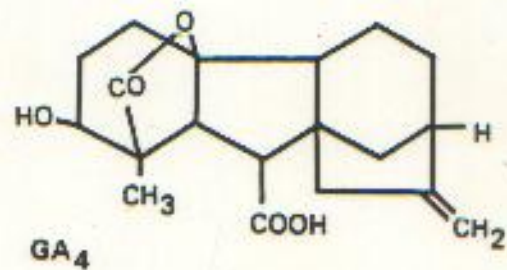
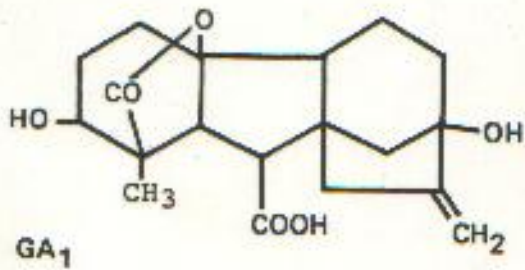
O 5º ANEL É A LACTONA

(NÃO PRESENTE NO ESQUELETO ENT-GIBERELANO, SE LIGA AO ANEL A)

TODAS AS Gas TEM UM GRUPO CARBOXÍLICO PRESO NO C₇



GIBBERELINAS



ANÁLOGOS:

ECDISONA

ESTEVIOSÍDIOS

ESTERÓIDES

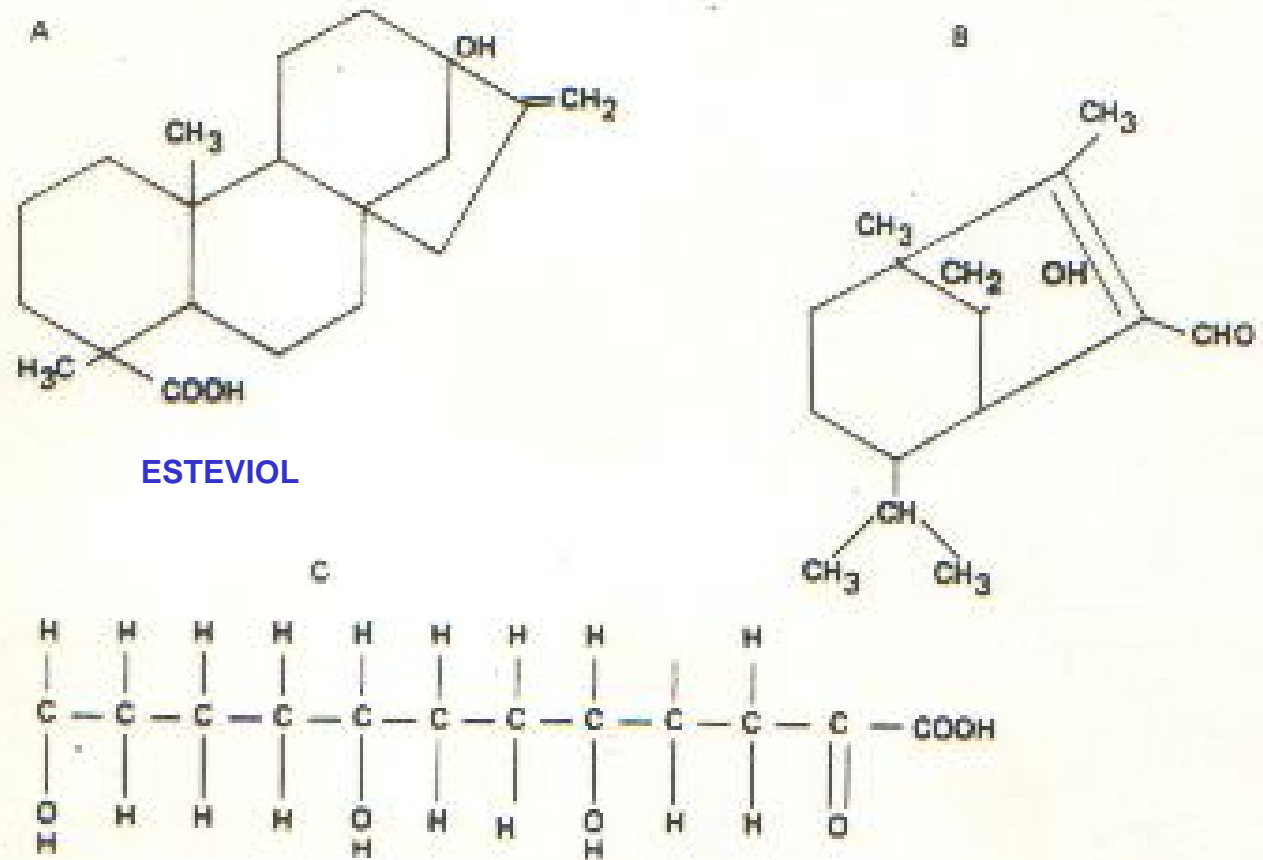


Figura 3. Fórmulas estruturais de compostos que mostram atividade giberélica. A — Esteviol; B — Helminthosporol; C — Ácido fusicóico.

ANÁLOGOS:

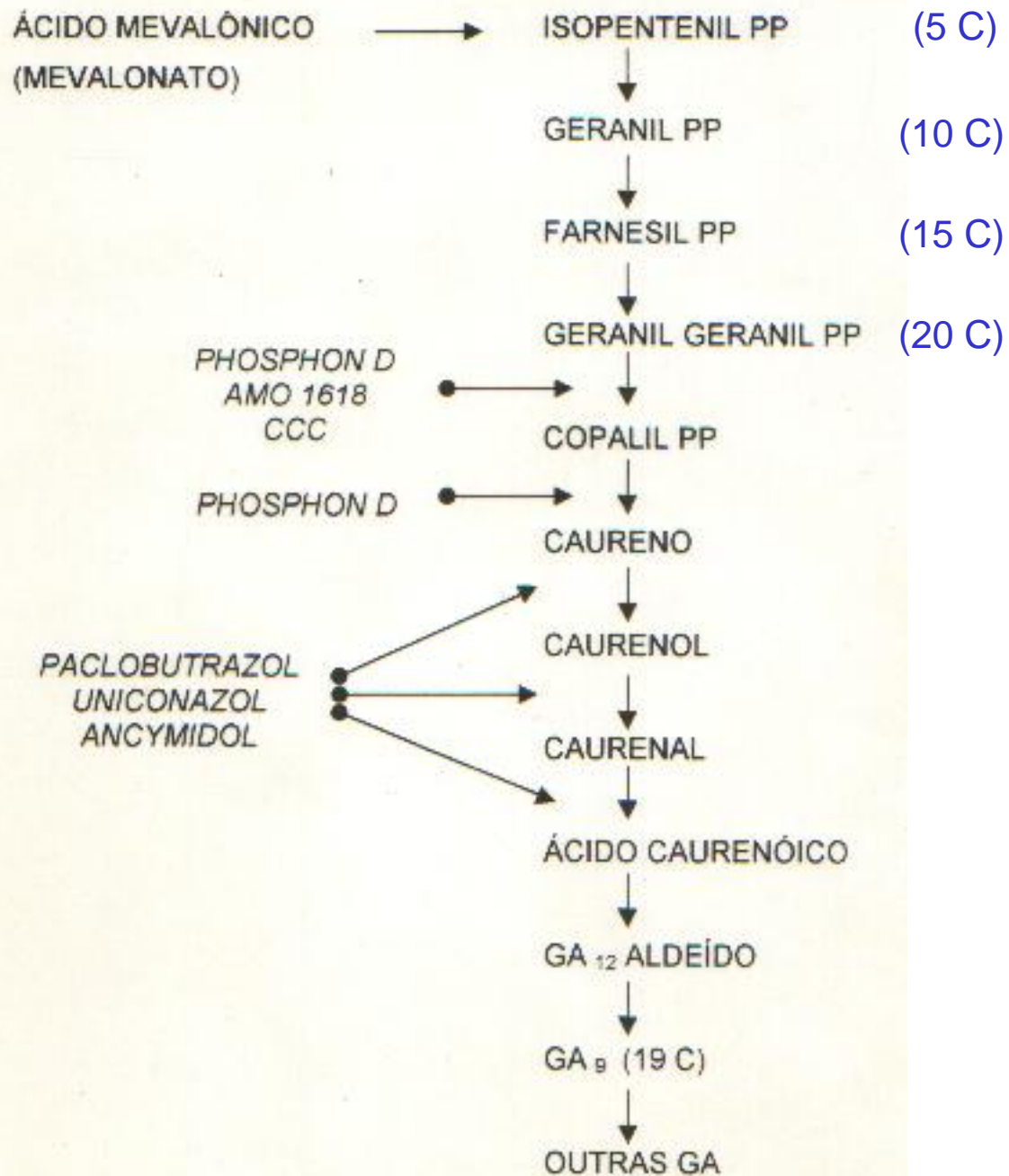
ESTEVIOSÍDIOS



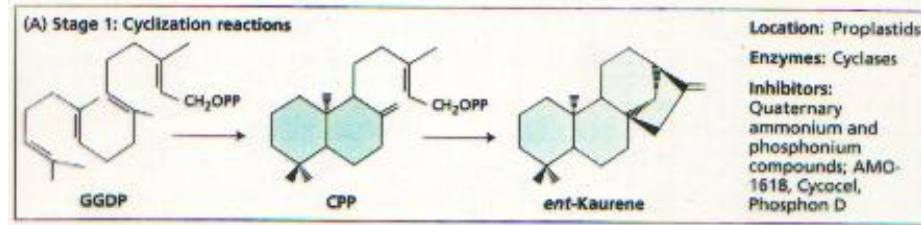
***Stevia rebaudiana* - ASTERACEAE**



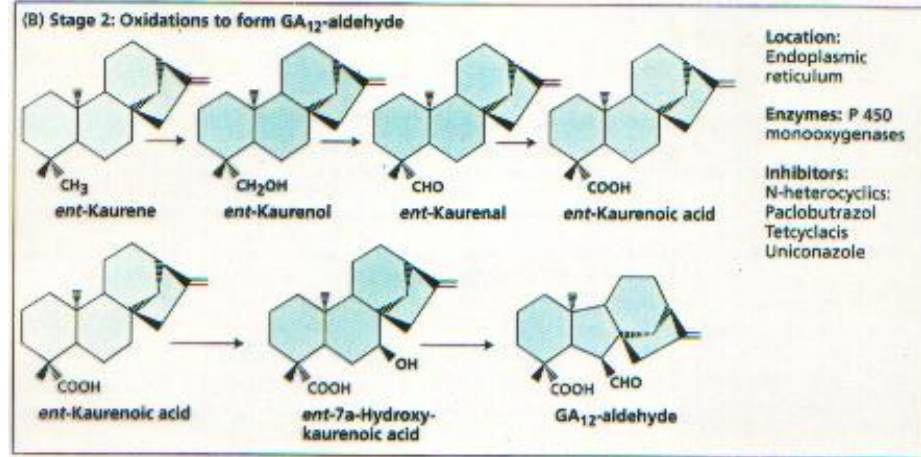
SÍNTESE DE GIBERELINAS



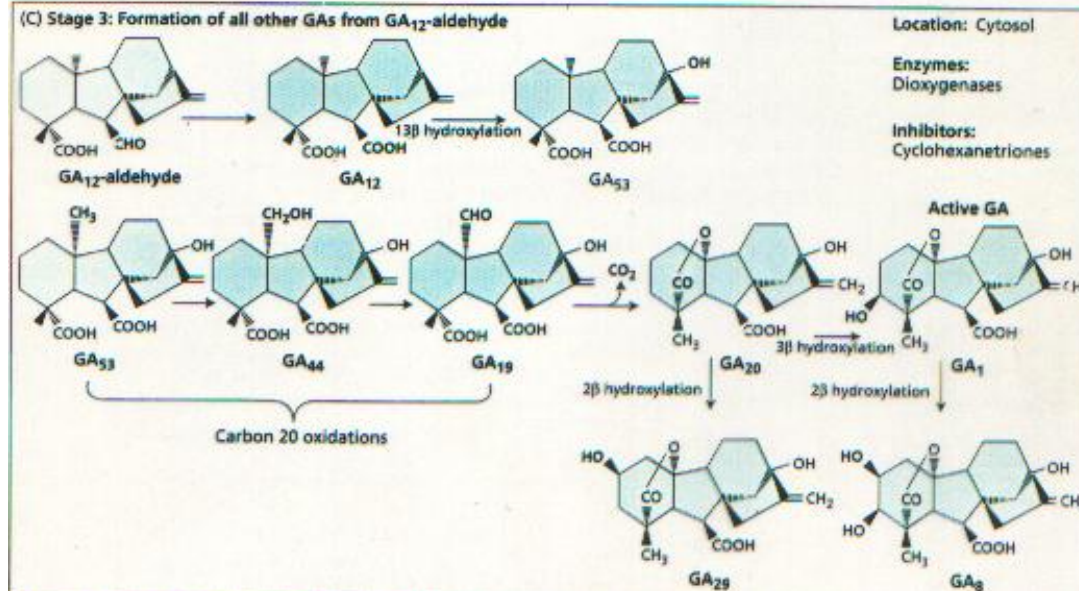
SÍNTESE DE GIBERELINAS



REAÇÃO DE CICLIZAÇÃO
(PROPLASTÍDEOS)



OXIDAÇÃO PARA FORMAR GA₁₂-ALDEÍDO
(RETÍCULO ENDOPLASMÁTICO)



FORMAÇÃO DE OUTRAS Gas A PARTIR DE GA₁₂-ALDEÍDO
(CITOSSOL)

SÍNTESIS DE GIBERELINAS

ENZIMAS

geranil geranil-PP → ent-copalil-PP → ent-caureno
PLASTÍDEO

CICLASES

GA₅₃ ← GA₁₂ ← GA₁₂-aldeído ← ent-caureno
RETÍCULO ENDOPLASMÁTICO

P450 MONO-
OXIGENASES

GA₄₄ → GA₁₉ → GA₂₀ → GA₁
CITOPLASMA

DIOXIGENASES

GA₂₉

GA₈

SÍNTESE DE GIBERELINAS

INIBIDORES

geranyl geranyl-PP → ent-copalil-PP → ent-caureno

PLASTÍDEO

AMÔNIA
QUATERNÁRIA

AMO-1618

CYCOCEL

PHOSPHON D

GA₅₃

GA₁₂

GA₁₂-aldeído

ent-caureno

RETÍCULO ENDOPLASMÁTICO

N-HETEROCÍCLICOS

PACLOBUTRAZOL

TETRACICLASES

UNICONAZOL

GA₄₄

GA₁₉

GA₂₀

GA₁

CITOPLASMA

CICLO-
HEXANOTRIONAS

ETIL-TRINEXAPAC

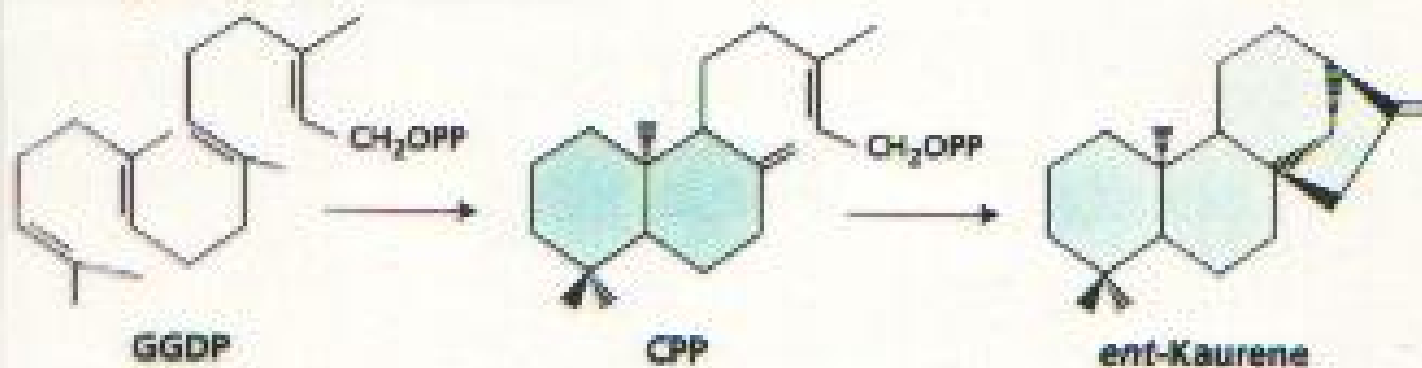
DAMINOZIDE

GA₂₉

GA₈

SÍNTESE DE GIBERELINAS

(A) Stage 1: Cyclization reactions



Location: Proplastids

Enzymes: Cyclases

Inhibitors:
Quaternary ammonium and phosphonium compounds; AMO-1618, Cycocel, Phosphon D

SÍNTESE DE GIBERELINAS

1) *Reação de ciclização*

Local: *plastídeos*

geranil geranil-PP → ent-caureno

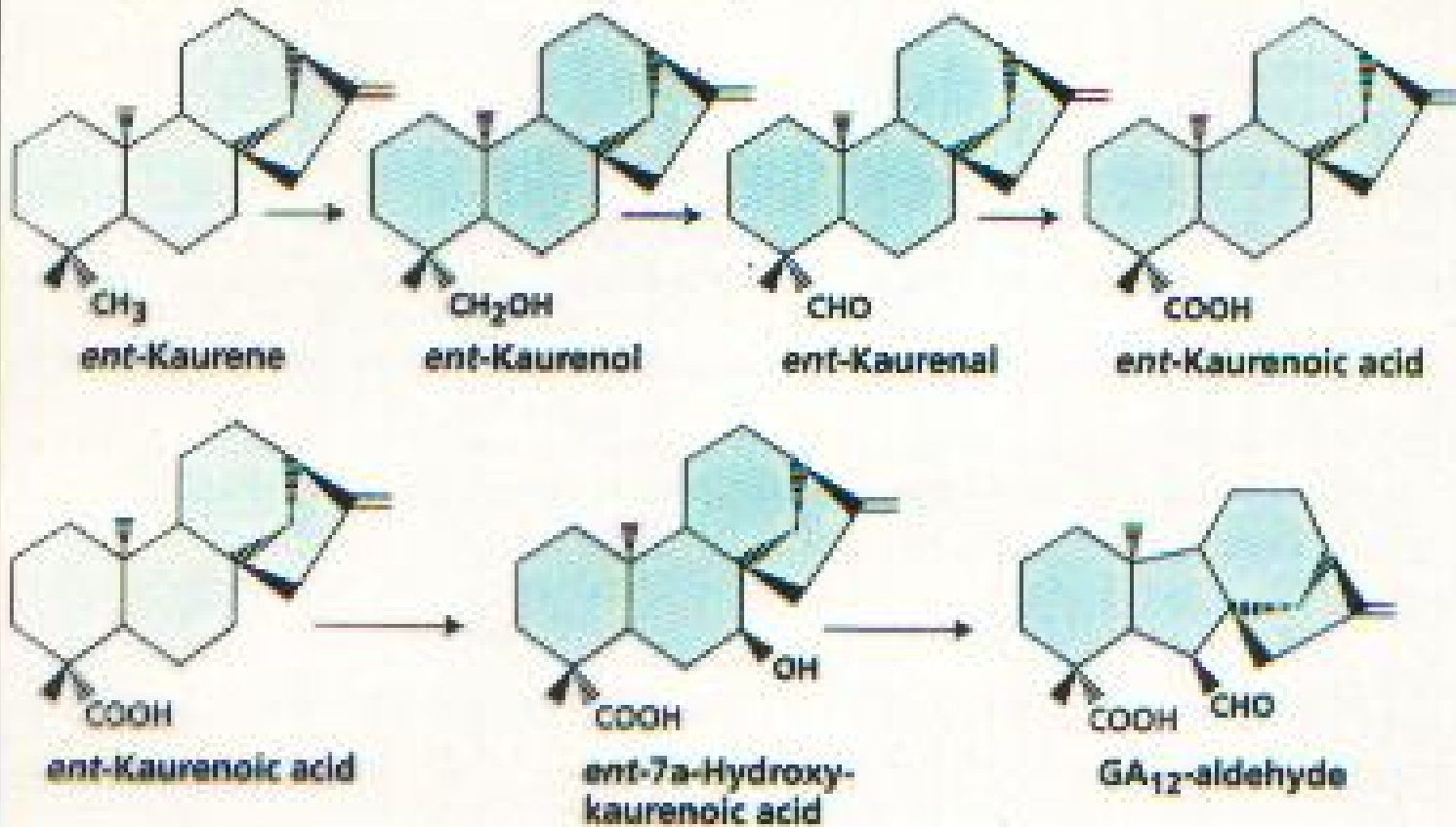
enzimas → terpeno ciclases (encontradas em plastídeos de tecidos meristemáticos da parte aérea)

INIBIDORES:

Chlormequat, Phosphon-D, AMO 1618, cloreto de mepiquat → bloqueiam a atividade da ent-caureno sintetase A

SÍNTESE DE GIBERELINAS

(B) Stage 2: Oxidations to form GA₁₂-aldehyde



Location:
Endoplasmic
reticulum

Enzymes: P 450
monooxygenases

Inhibitors:
N-heterocyclics:
Paclobutrazol
Tetacyclacis
Uniconazole

SÍNTESE DE GIBERELINAS

2) *Oxidação para formar GA₁₂-aldeído*

Local: *retículo endoplasmático*

ent-caureno → GA₁₂-aldeído

ent-caureno → transportado ao R.E.

enzimas → citocromo P450 monoxigenases → R.E.

INIBIDORES:

PBZ, uniconazol, ancymidol, flurprimidol, tetraciclasas, norbornanodiazetina → bloqueiam as reações de oxidação de ent-caureno à ác. ent-7 α -hidroxicaurenóico

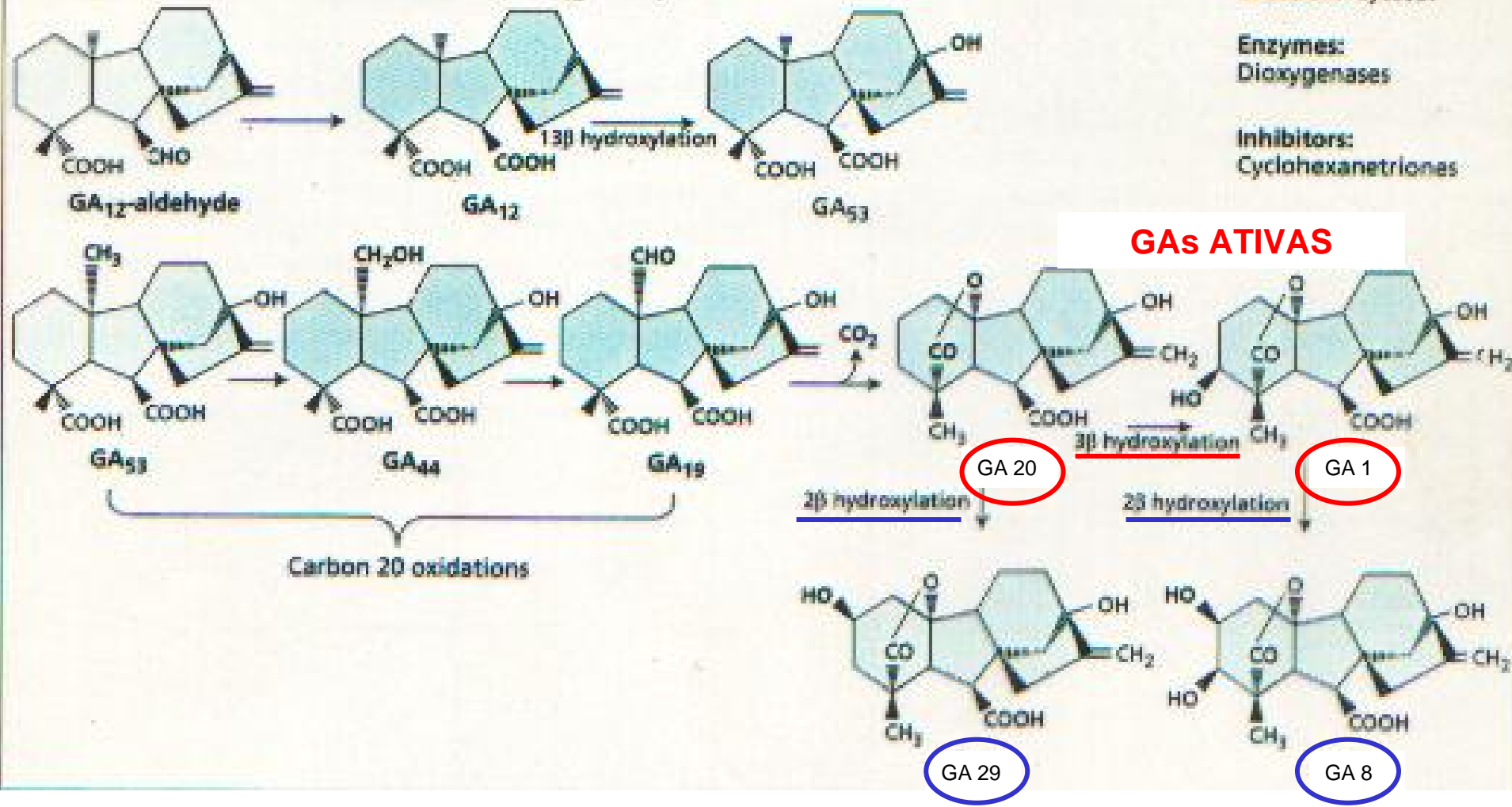
SÍNTESE DE GIBERELINAS

(C) Stage 3: Formation of all other GAs from GA₁₂-aldehyde

Location: Cytosol

Enzymes:
Dioxygenases

Inhibitors:
Cyclohexanetriones



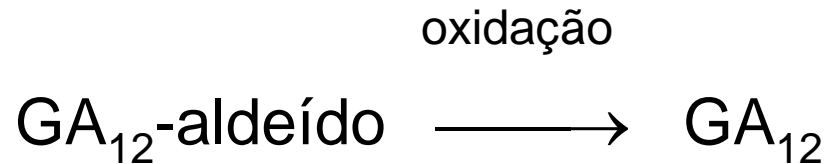
GA_s ATIVAS

GA_s INATIVAS

SÍNTESE DE GIBERELINAS

3) *Formação de GAs a partir de GA₁₂-aldeído*

Local: *citoplasma*



enzimas → dioxigenases do citoplasma

SÍNTESE DE GIBERELINAS

3) Formação de GAs a partir de GA₁₂-aldeído

INIBIDORES:

Prohexadiona-Ca

(ácido Ca-3,5-dioxo-4-propionil ciclo-hexanocarboxílico)

LAB198999

(ácido etil-éster-4(n-propil- α -hidroximetilene)-3,5-dioxo-
ciclohexanocarboxílico)

Etil-trinexapac, daminozide

Prohexadiona-Ca \rightarrow inibe 3 β -hidroxilase \rightarrow converte GA₁₂ à GA₁

16, 17 dihidro-GA₅, 16, 17 dihidro-GAs \rightarrow muito efetivo para retardar o crescimento de trigo e cevada

CONTROLE DOS NÍVEIS DE GIBERELINA:



CONTROLE DA BIOSÍNTESE DE GIBERELINAS

1) “Feedback”

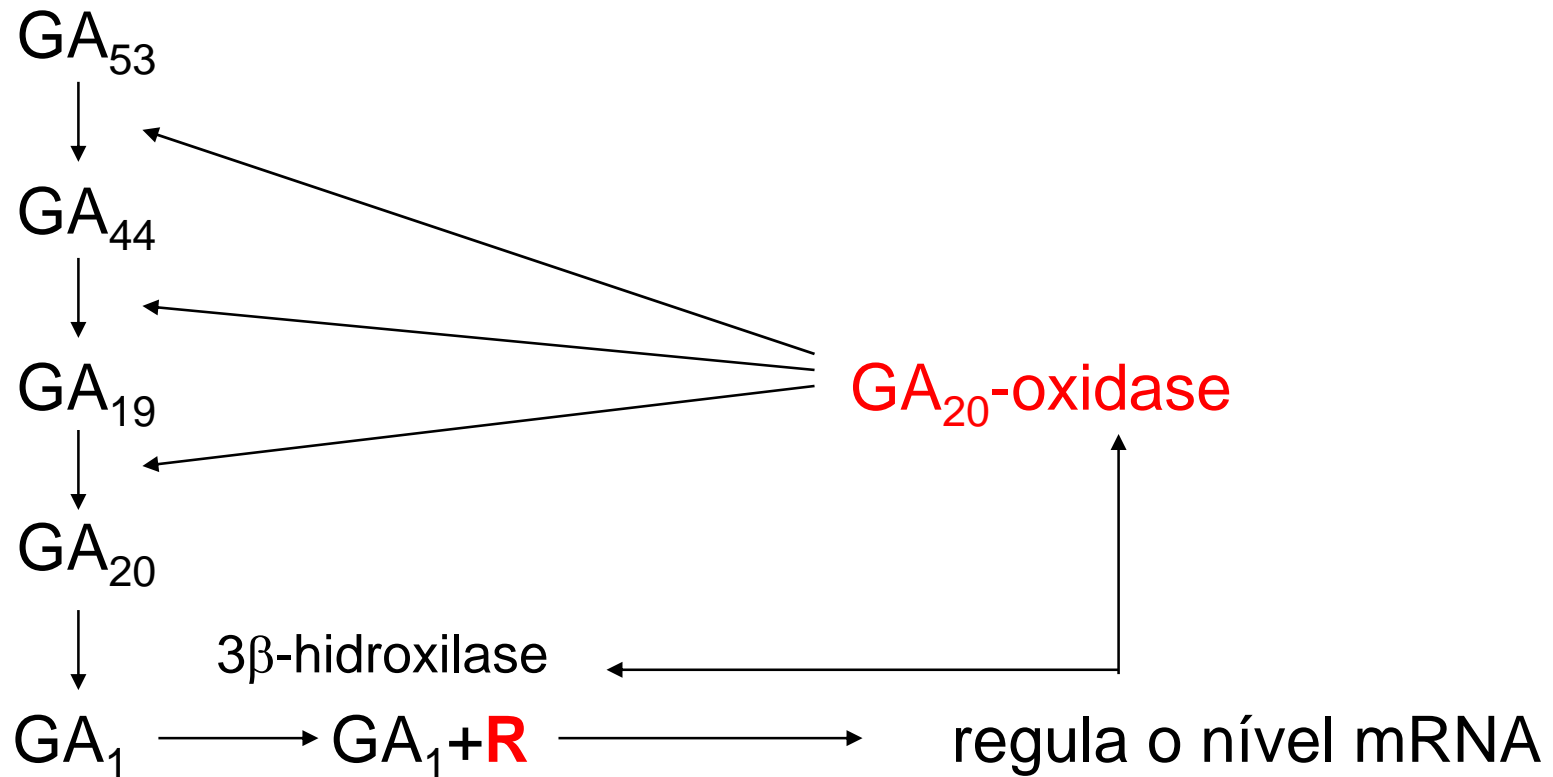
Ação da GA → produção de repressor da transcrição → limita a expressão de enzimas da biossíntese de GA

GA 20-oxidase → alvo primário do “feedback”

↑[GAs de 19 C] → inibem a síntese de GA₂₀-oxidase
atividade da 3β-hidroxilase também controlada pelo “feedback”

CONTROLE DA BIOSÍNTESE DE GIBERELINAS

1) "Feedback"



2) Fotoperíodo

DL \rightarrow \uparrow [GA 20-oxidase] e \uparrow síntese ent-caureno

DL \rightarrow \uparrow atividade da GA₅₃ e GA₁₉ oxidase

DL \rightarrow não altera a atividade da GA₄₄ oxidase

\therefore correlação com o fitocromo

luz verm. longo \rightarrow \uparrow [GA₁] por aumentar a 3 β -hidroxilação de GA₂₀ e reduzir a 2 β -hidroxilação de GA₁ \rightarrow \uparrow taxa de alongamento da parte aérea

SÍNTESE DE GIBERELINAS

geranyl geranyl-PP → ent-copalil-PP → ent-caureno

PLASTÍDEO

GA₅₃ ← GA₁₂ ← GA₁₂-aldeído ← ent-caureno

RETÍCULO ENDOPLASMÁTICO

GA₄₄

GA₁₉

GA₂₀

GA₁

GAs ATIVAS

CITOPLASMA

GA₂₉

GA₈

GAs INATIVAS

3β-hidroxição

2β-hidroxição

2) Fotoperíodo

PDL → DL → transferência para DC → alteração no metabolismo de GAs

Ex.: espinafre (PDC)

DC → forma roseta → ↓ nível de GAs 13-hidroxiadas

DL → começam a crescer → não forma roseta

⇒ ↑ nível de GAs 13-hidroxiadas

2) Fotoperíodo

Plantas em fotoperíodo de DL → altas quantidades de RNAm de GA 20-oxidase (GAs de 20C → 19C)

DL → aumenta a síntese de ent-caureno

2) Fotoperíodo

Sementes fotoblásticas +

luz verm. → ↑ expressão de GA 3β-hidroxilase



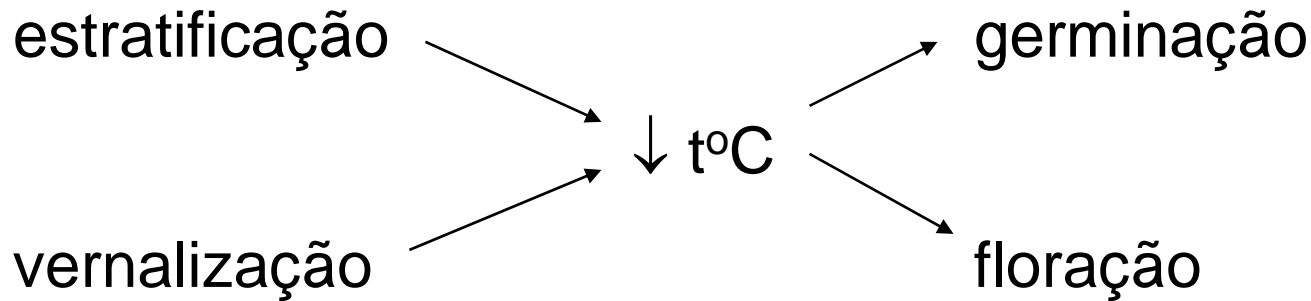
↑[GA₁] nas sementes → germinação

luz verm. → luz verm. longo → expressão GA
3β-hidroxilase
não é alterada



não germinação

3) Temperatura



s/ ↓ t°C → acúmulo de ácido ent-caurenóico

↓t°C e ↑t°C → ác. ent-caurenóico → GA₉ → floração

regula a atividade do ác. ent-caurenóico 7β-hidroxilase e caureno oxidase (↑)

LOCAIS DE SÍNTESE DE GA:

ÁPICES DE CAULES E RAÍZES

INTERNÓS

FOLHAS JOVENS

SEMENTES IMATURAS ***

REGIÕES MERISTEMÁTICAS

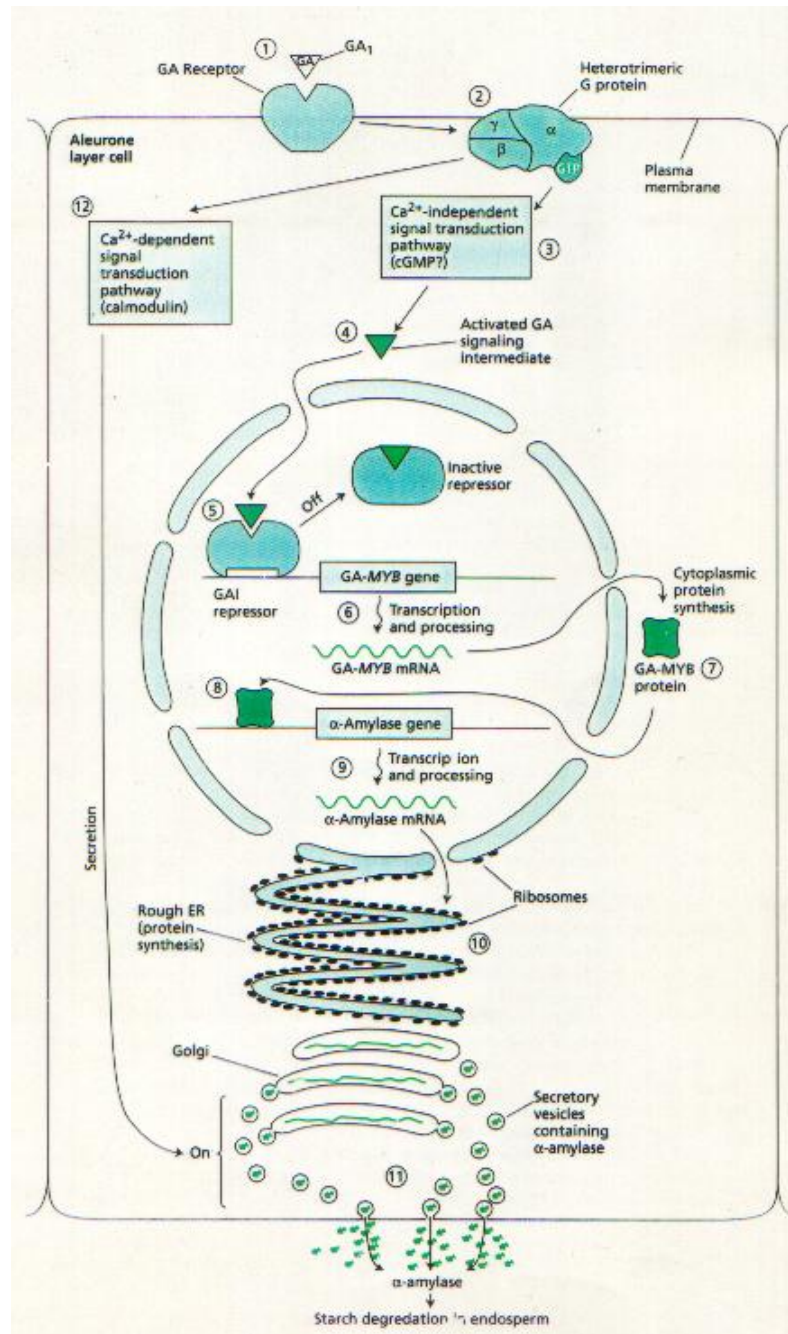
EMBRIÕES EM GERMINAÇÃO

TRANSPORTE DE GA:

PARA TECIDOS NÃO DIFERENCIADOS → TRANSPORTE POLAR

PARA TECIDOS DIFERENCIADOS → XILEMA E FLOEMA

MODO DE AÇÃO DAS GIBERELINAS



MODO DE AÇÃO DAS GIBERELINAS

1. GA₁ do embrião liga-se ao receptor na superfície da célula.

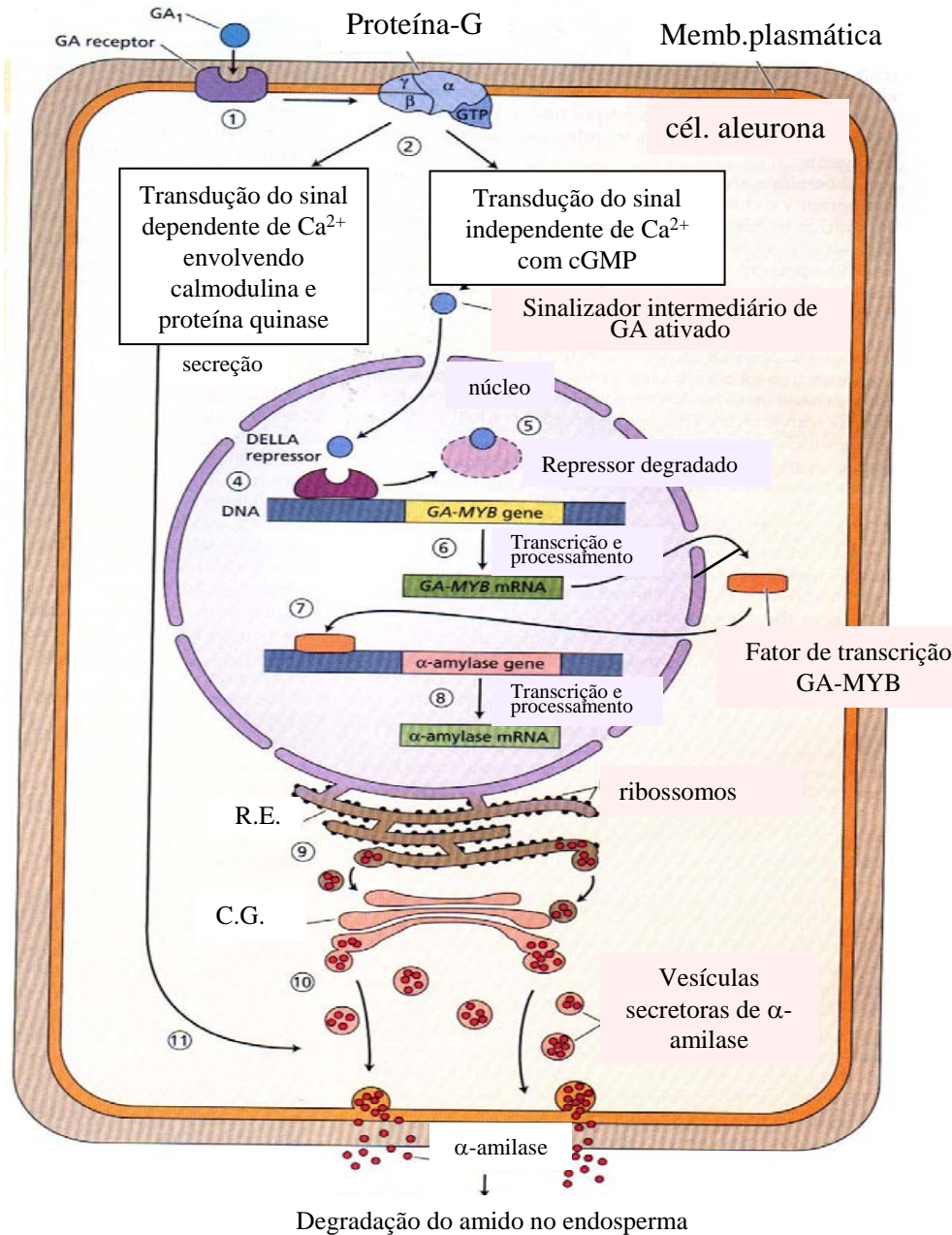
2. O complexo GA-R interage com a proteína-G iniciando duas cadeias separadas de transdução do sinal.

3. O caminho independente de Ca²⁺, envolvendo cGMP, resulta na ativação de um sinalizador intermediário.

4. O sinalizador intermediário ativado liga-se ao repressor DELLA no núcleo.

5. O repressor DELLA é degradado quando liga-se ao sinal do GA.

6. A inativação do repressor DELLA permite a expressão do gene *MYB* e outros genes, para prosseguir com a transcrição, processamento e tradução.



7. A proteína MYB sintetizada entra no núcleo e liga-se ao gene promotor para α -amilase e outras enzimas hidrolíticas.

8. Transcrição de α -amilase e outros genes hidrolíticos são ativados.

9. α -amilase e outras hidrolases são sintetizadas no retículo endoplasmático (tradução).

10. Proteínas são secretadas via complexo de Golgi.

11. A via de secreção necessita da estimulação pelo GA, dependente de Ca²⁺-calmodulina.

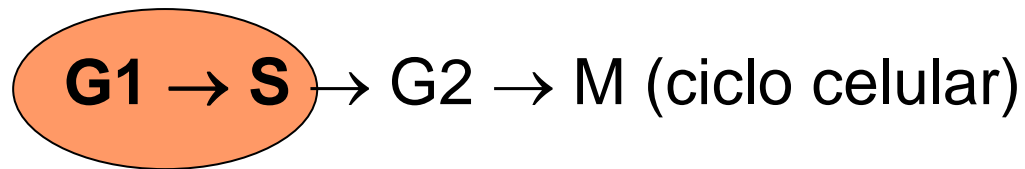
Degradação do amido no endosperma

MODO DE AÇÃO DAS GIBERELINAS

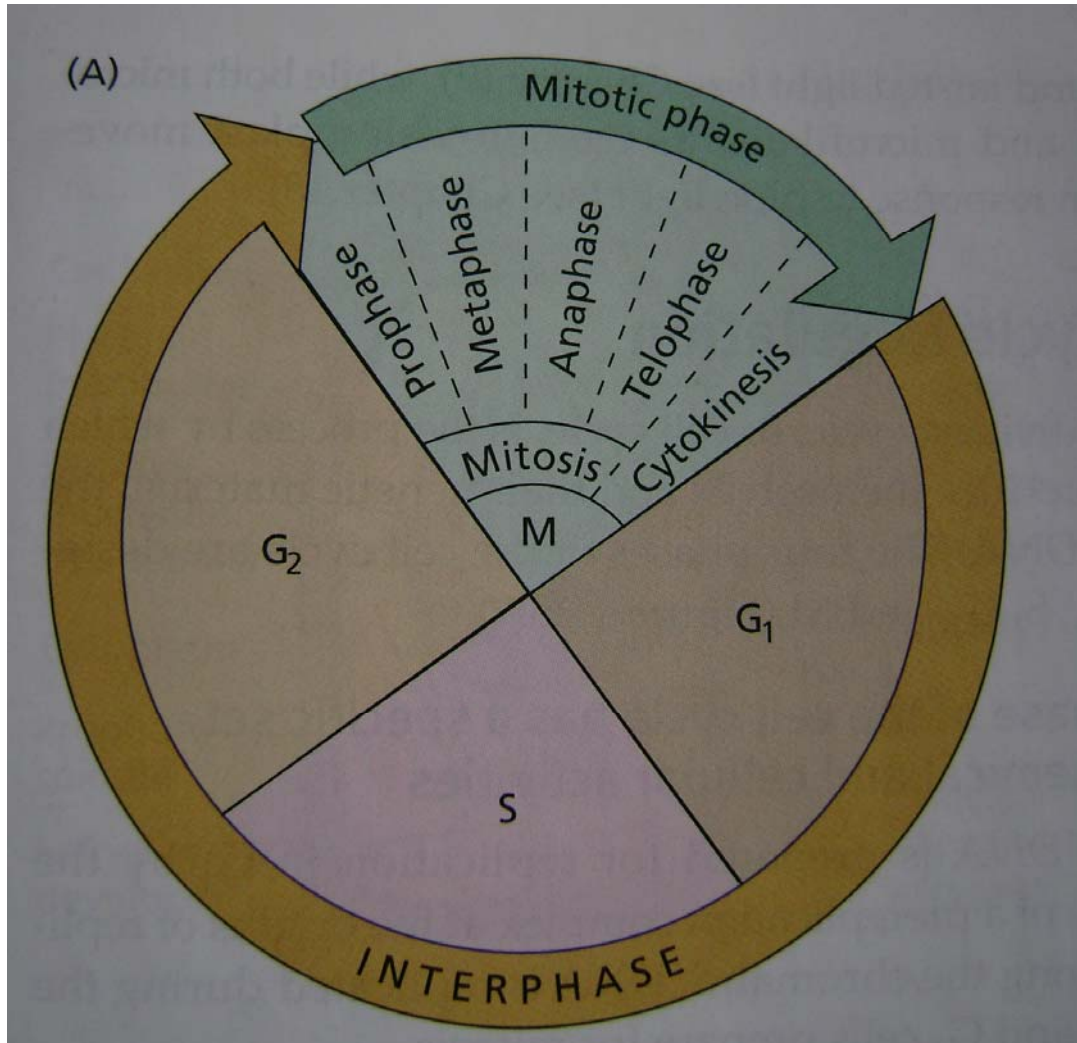
APRESENTAM MAIS DE UM MODO DE AÇÃO:

1) DIVISÃO CELULAR

GAs ESTIMULAM AS CÉLULAS NA FASE G1 DA INTÉRFASE, ENTRANDO RAPIDAMENTE NA FASE S



INTÉRFASE – CICLO CELULAR



MODO DE AÇÃO DAS GIBERELINAS

2) GAs AUMENTAM A HIDRÓLISE DE AMIDO, FRUTANOS E SACAROSE EM MOLÉCULAS DE GLICOSE E FRUTOSE

ESSAS HEXOSES FORNECEM ENERGIA VIA RESPIRAÇÃO, CONTRIBUINDO COM A FORMAÇÃO DA PAREDE CELULAR E TORNANDO O ψ_w MOMENTANEAMENTE MAIS NEGATIVO

ATIVAÇÃO DA SÍNTESE DA ENZIMA α -AMILASE, CONVERTENDO AMIDO EM GLICOSE

A ÁGUA ENTRA RAPIDAMENTE LEVANDO AO ALONGAMENTO CELULAR

MODO DE AÇÃO DAS GIBERELINAS

3) AUMENTO DA PLASTICIDADE DA PAREDE CELULAR (ALONGAMENTO CELULAR)

ATUAM A NÍVEL DE SÍNTESE PROTÉICA → ENZIMAS VÃO QUEBRAR LIGAÇÕES GLICOSÍDICAS

(*XET* – XILOGLUCAN ENDOTRANSGLICOSILASE)

GA DIMINUI $[Ca^{+2}]$ NA PAREDE, ENVIANDO $[Ca^{+2}]$ PARA O CITOPLASMA

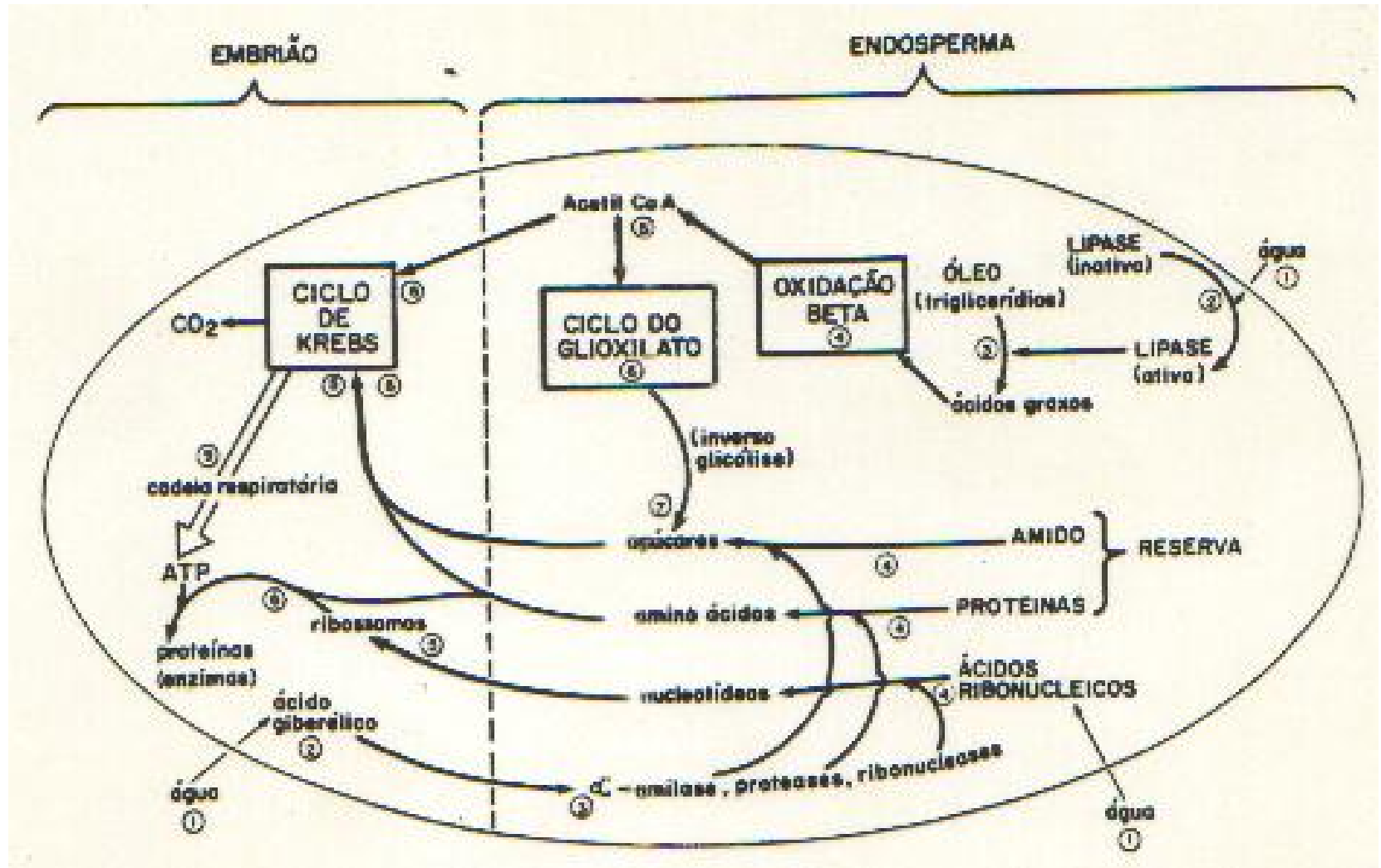
GA INIBE PEROXIDASES DA PAREDE CELULAR, EVITANDO ASSIM A LIGAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS (LIGNINA)

$\uparrow [GA] \Rightarrow \downarrow \text{IAA-OXIDASE}$ $\uparrow [IAA]$

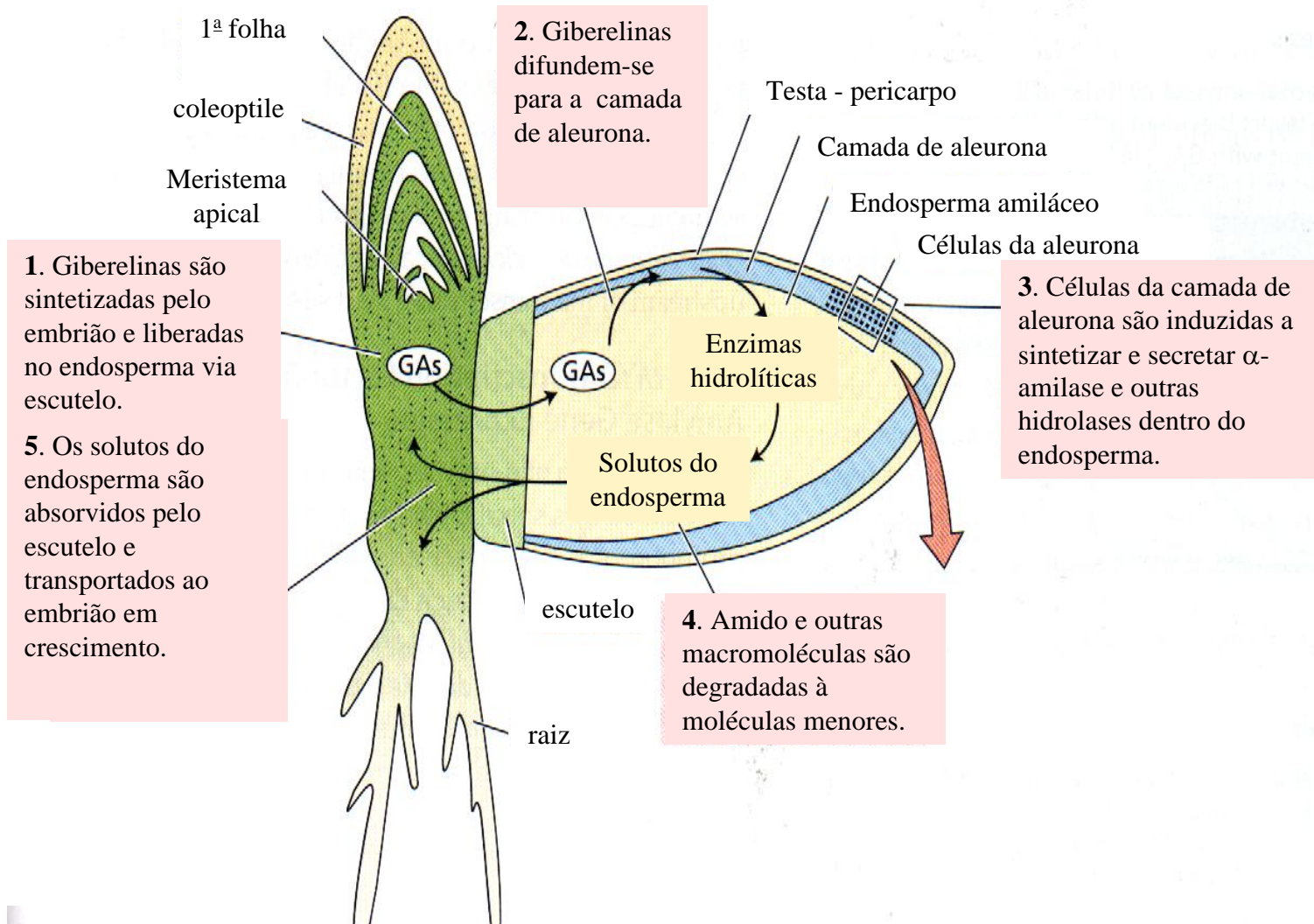
$\downarrow [GA] \Rightarrow \uparrow \text{IAA-OXIDASE}$ $\downarrow [IAA]$

EFEITOS FISIOLÓGICOS DAS GIBERELINAS

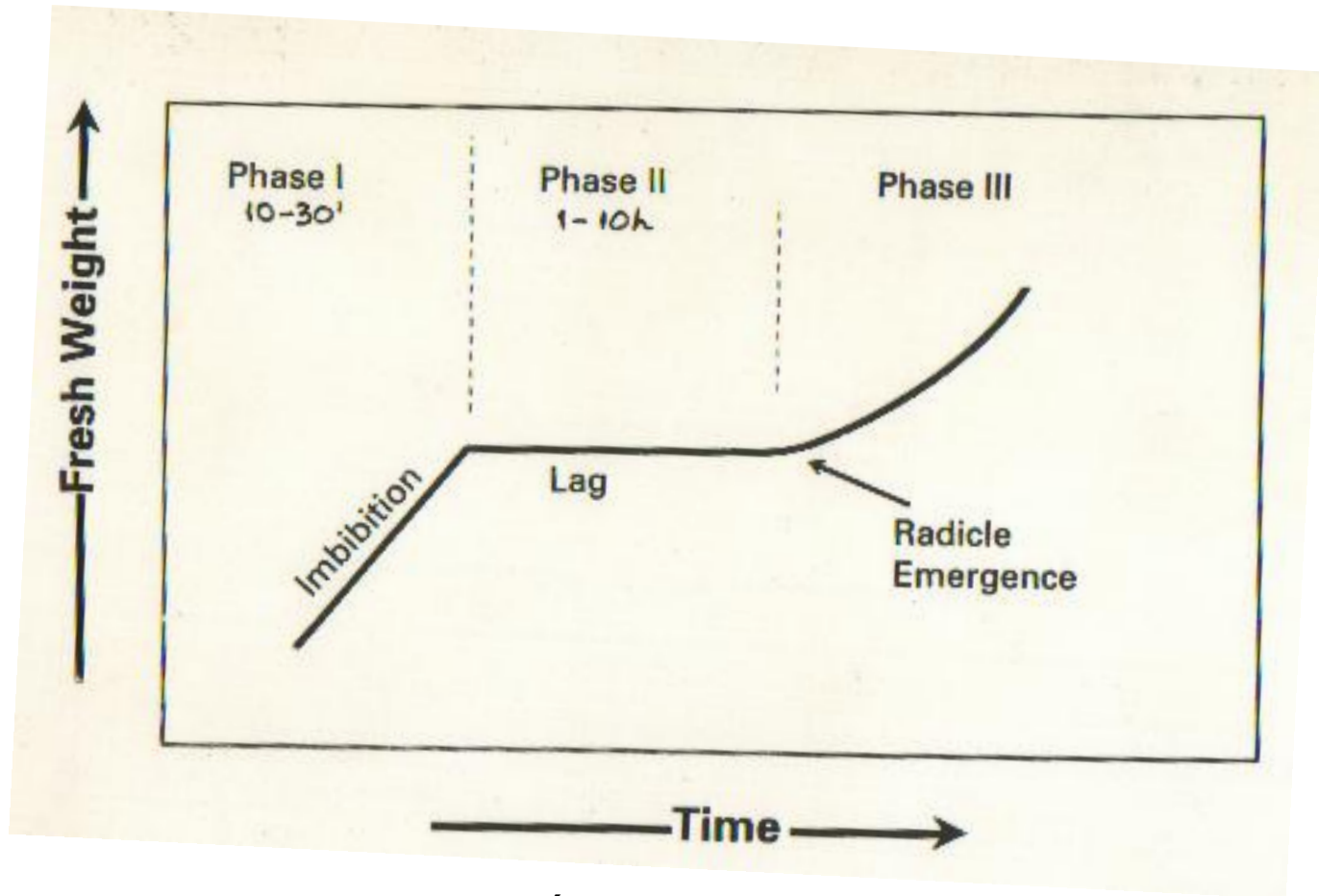
✓ GERMINAÇÃO DE SEMENTES



GERMINAÇÃO DE SEMENTES



FASES DA GERMINAÇÃO DE SEMENTES

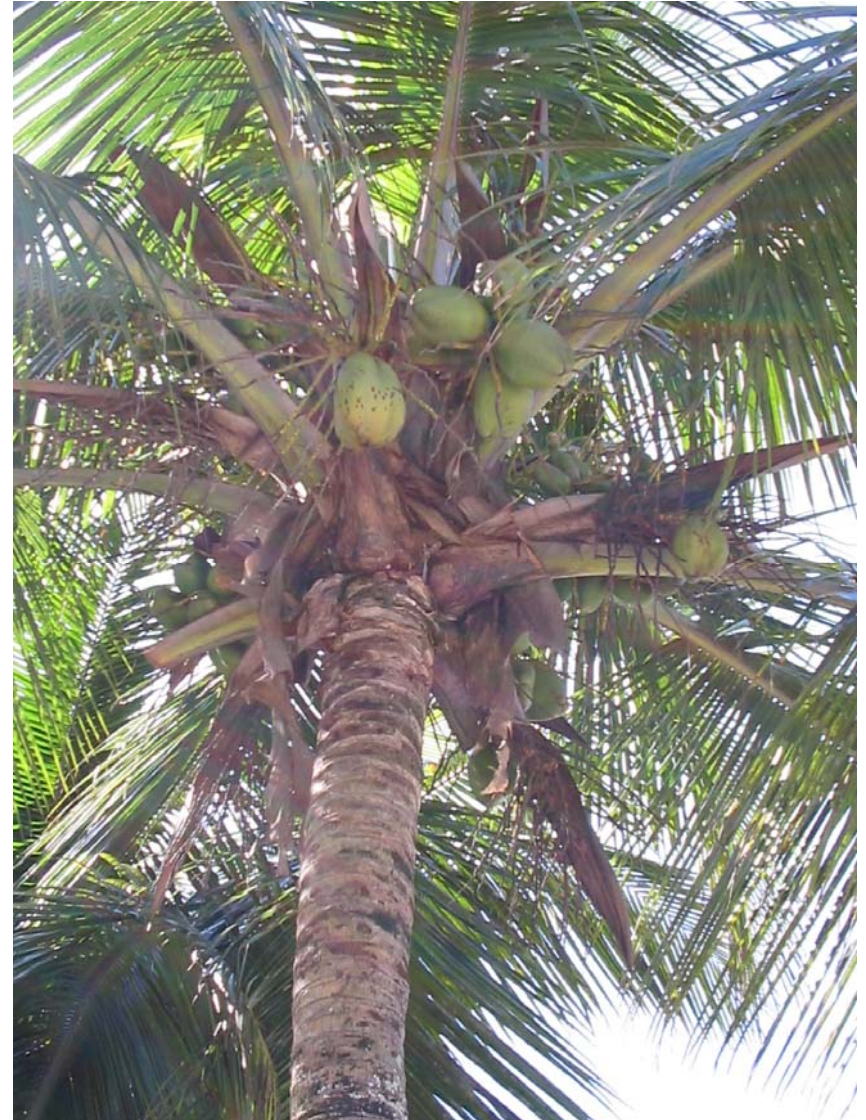


FASE LAG: POUCA ENTRADA DE ÁGUA

ATIVIDADES CELULARES CRÍTICAS
(MATURAÇÃO DE MITOCÔNDRIA, SÍNTESE DE PROTEÍNAS,
METABOLISMO DE RESERVA DE MATERIAL, PRODUÇÃO DE
ENZIMAS)

EFEITOS FISIOLÓGICOS DAS GIBERELINAS

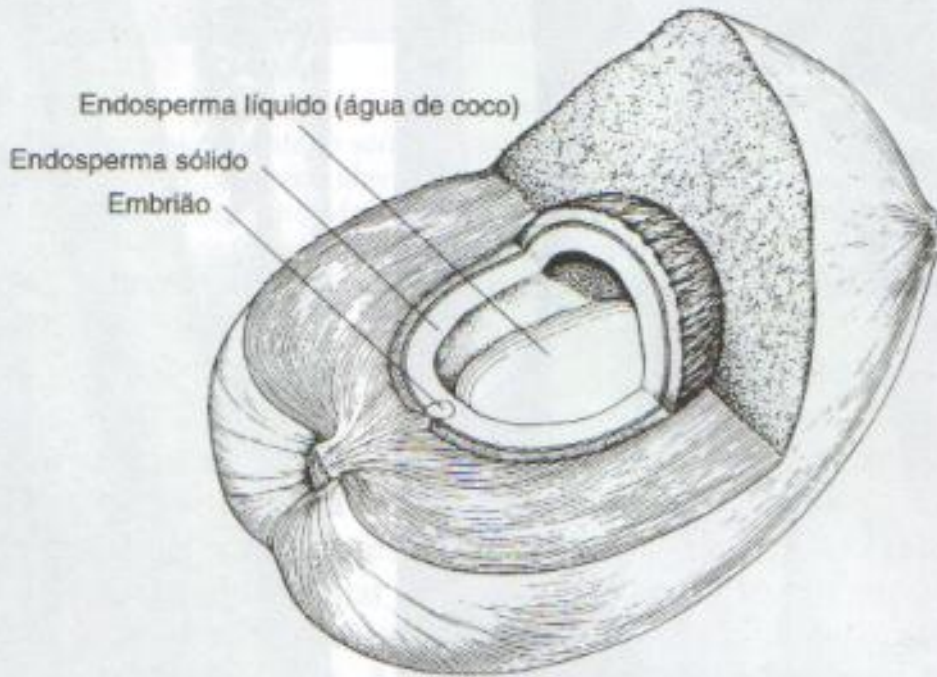
✓ GERMINAÇÃO DE SEMENTES



GERMINAÇÃO DE SEMENTES



(a)



(b)



GERMINAÇÃO DE SEMENTES



A planta
não é
burra...





PUPUNHA (*Bactris gasipaes* – ARECACEAE)



PUPUNHA (*Bactris gasipaes* – ARECACEAE)



PUPUNHA (*Bactris gasipaes* – ARECACEAE)

EFEITOS FISIOLÓGICOS DAS GIBERELINAS

GERMINAÇÃO E QUEBRA DE DORMÊNCIA DE SEMENTES

GA e luz

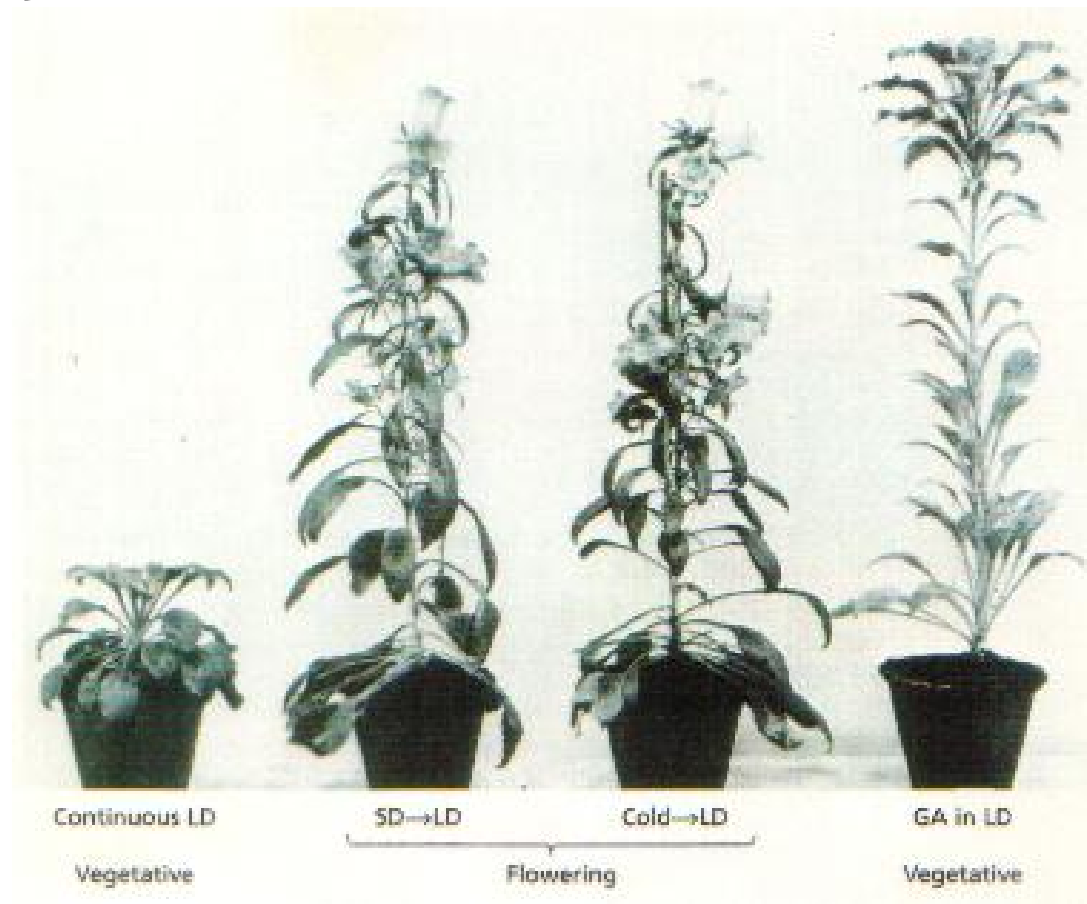
GA e t°C

GA e ABA → balanço entre a [GA] e [ABA]

Sementes → GA → quebra dormência e estimula a germinação (enzimas hidrolíticas)

EFEITOS FISIOLÓGICOS DAS GIBERELINAS

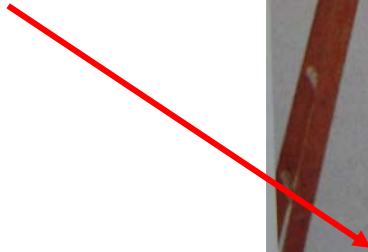
- ✓ ALONGAMENTO DE PLANTAS ANÃS OU BIENAS EM ROSETA
- ✓ FLORAÇÃO (PDL)
- ✓ VERNALIZAÇÃO (FRIO)



***Brassica* sp. (PDL)**



ROSETA (DC)



**CRESCIDA E COM
FLOR (DC COM
APLICAÇÃO DE GA₃)**



EFEITOS FISIOLÓGICOS DAS GIBERELINAS

CRESCIMENTO DE PLANTAS ANÃS

Planta anã → característica genética

Falta de gene responsável pela síntese de 3β-hidroxiase
(GA₂₀ → GA₁) → deficiência de GA₁

Ausência total GA → ent-caureno ~~→~~ GA₁₂-aldeído

Sistema IAA-oxidase mais ativo

Aplicação de GA → crescimento

- alongamento celular
- síntese de IAA
- ↓ativ. sist. IAA-oxidase
- ↑entrada água célula

EFEITOS FISIOLÓGICOS DAS GIBERELINAS

FLORAÇÃO

Estimula a floração de PDL e plantas que necessitam de vernalização

GA substitui o fotoperíodo indutor

PDL → FPNI → ↑↑ [GA₁₉] → não floração

PDL → FPI → ↑↑ [GA₂₀] → floração

3β-hidroxilação

GA₁₂ aldeído → GA₁₂ → GA₅₃ → GA₄₄ → GA₁₉ → GA₂₀ → GA₁

GA₁ → ++ eficiente

EFEITOS FISIOLÓGICOS DAS GIBERELINAS

- ✓ MODIFICAÇÃO DA JUVENILIDADE
(ATRASAM A SENESCÊNCIA DE FOLHAS E FRUTOS)
- ✓ EXPRESSÃO DO SEXO (FLORES MASCULINAS)
- ✓ PEGAMENTO E CRESCIMENTO DE FRUTOS
- ✓ QUEBRA DE DORMÊNCIA DE GEMAS
- ✓ PARTENOCARPIA (MAÇÃ, PÊSSEGO, CEREJA, PÊRA, PEPINO, BERINGELA...)

EFEITOS FISIOLÓGICOS DAS GIBERELINAS

EXPRESSÃO SEXUAL

Promove a formação de flores masculinas em cucurbitáceas

GA em monocotiledôneas → flores femininas

GA em dicotiledôneas → flores masculinas

Et promove a formação de flores femininas → inibe crescimento de flores masculinas

Interação entre GA e Et

EFEITOS FISIOLÓGICOS DAS GIBERELINAS

PARTENOCARPIA

GA estimula a partenocarpia

GA → aumento do tamanho dos frutos (uva)

GA → mudança no formato do fruto (melão)

SENESCÊNCIA

GA₃ retarda a senescência de folhas e frutos cítricos

GA → inibe a quebra da clorofila

EFEITOS FISIOLÓGICOS DAS GIBERELINAS

MODIFICAÇÃO DA JUVENILIDADE

GA_3 → mantém a juvenilidade ou leva à juvenilidade

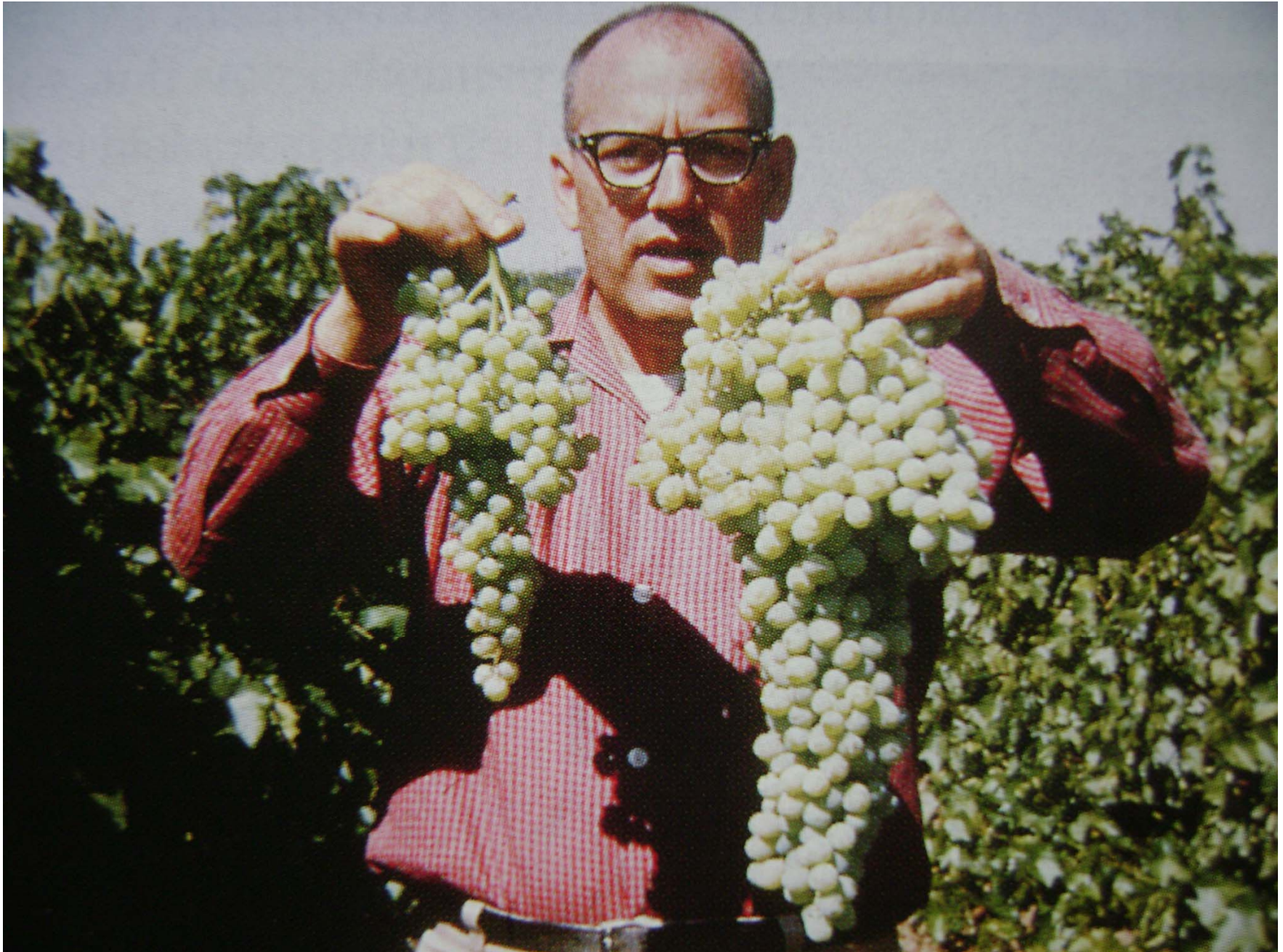
GA_4 , GA_7 , GA_{4+7} → aceleram a maturação da planta

PEGAMENTO E CRESCIMENTO DOS FRUTOS

GA_{4+7} → maçã → pegamento

GA_3 → uva → ↑ tamanho do fruto e do cacho

GA INDUZ O CRESCIMENTO EM UVA THOMPSON



EFEITOS FISIOLÓGICOS DAS GIBERELINAS

APLICAÇÕES COMERCIAIS DE GA

GA_3 = PRÓ-GIBB

GA_{4+7} = PROVIDE



PRODUÇÃO DE FRUTOS

Ex.: ponkan GA_3 15 mgL^{-1} → ↑ tempo na planta

GA impede degradação de clorofila

laranja → GA_3 + 2,4-D $12,5 \text{ mgL}^{-1}$ → muda época de
colheita

EFEITOS FISIOLÓGICOS DAS GIBERELINAS

APLICAÇÕES COMERCIAIS DE GA

PROVIDE → usado no crescimento de uvas (alongamento do cacho – uvas menos densas – sem amassamento – diminuição de infecções por fungos)

uvas sem sementes

BA + GA₄ + GA₇ → alongamento do fruto de maçã

GA em citros → atrasa a senescência

GA ↑ PRODUÇÃO DE MALTE EM CEVADA

↑ α-amilase → ↑ qualidade da fermentação

EFEITOS FISIOLÓGICOS DAS GIBERELINAS

GA EM CANA-DE-AÇÚCAR

↑ crescimento entrenós → ↑ produção de açúcar
↓ florescimento

PRODUÇÃO DE SEMENTES

GA₄₊₇ → melhoramento genético para diminuir a senescência ou para diminuir o ciclo → ↓ tempo de floração e produção de sementes

FIM!

