

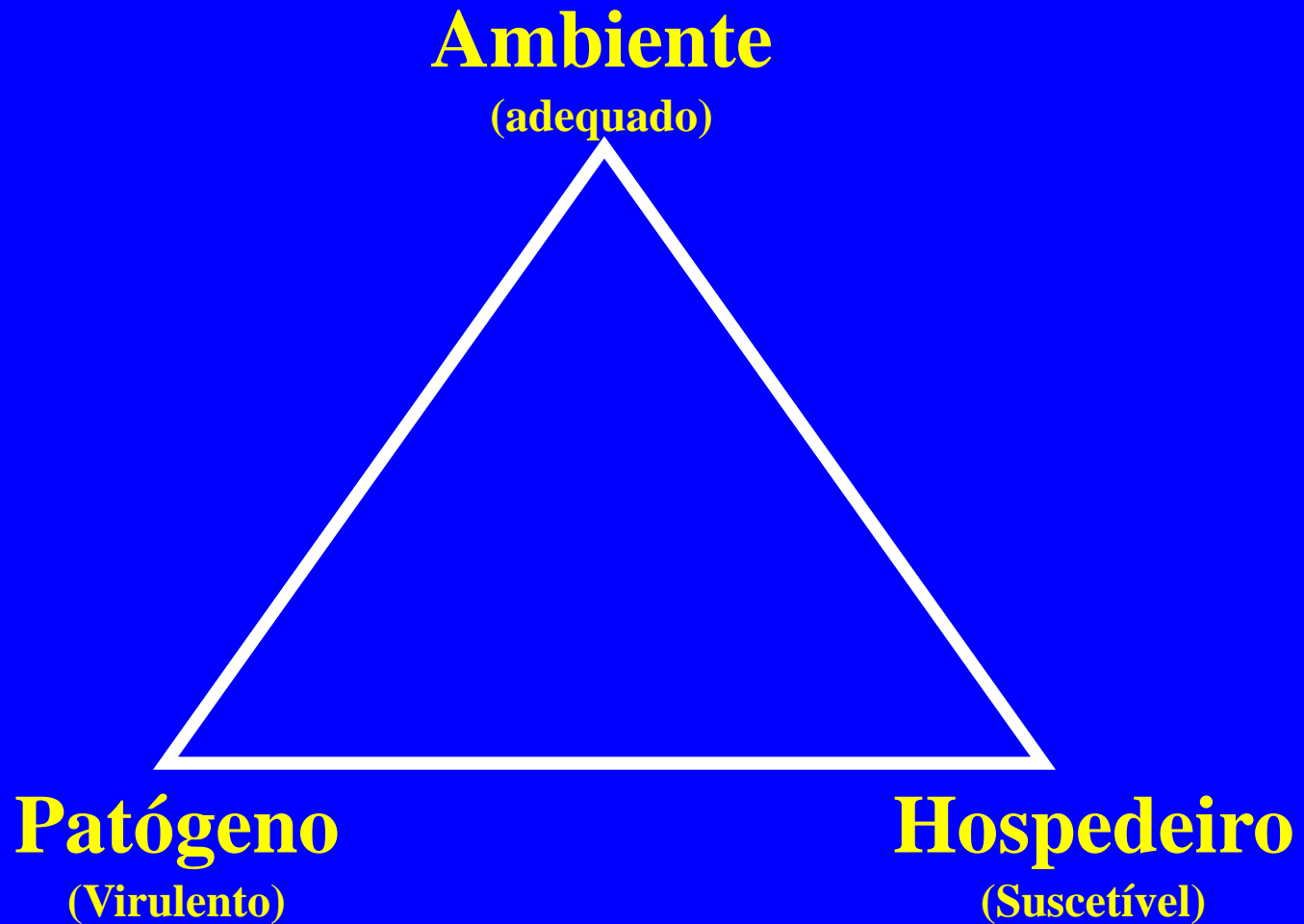


**MECANISMOS DE ATAQUE DE  
FITOPATÓGENOS  
E DE  
DEFESA DAS PLANTAS**

---

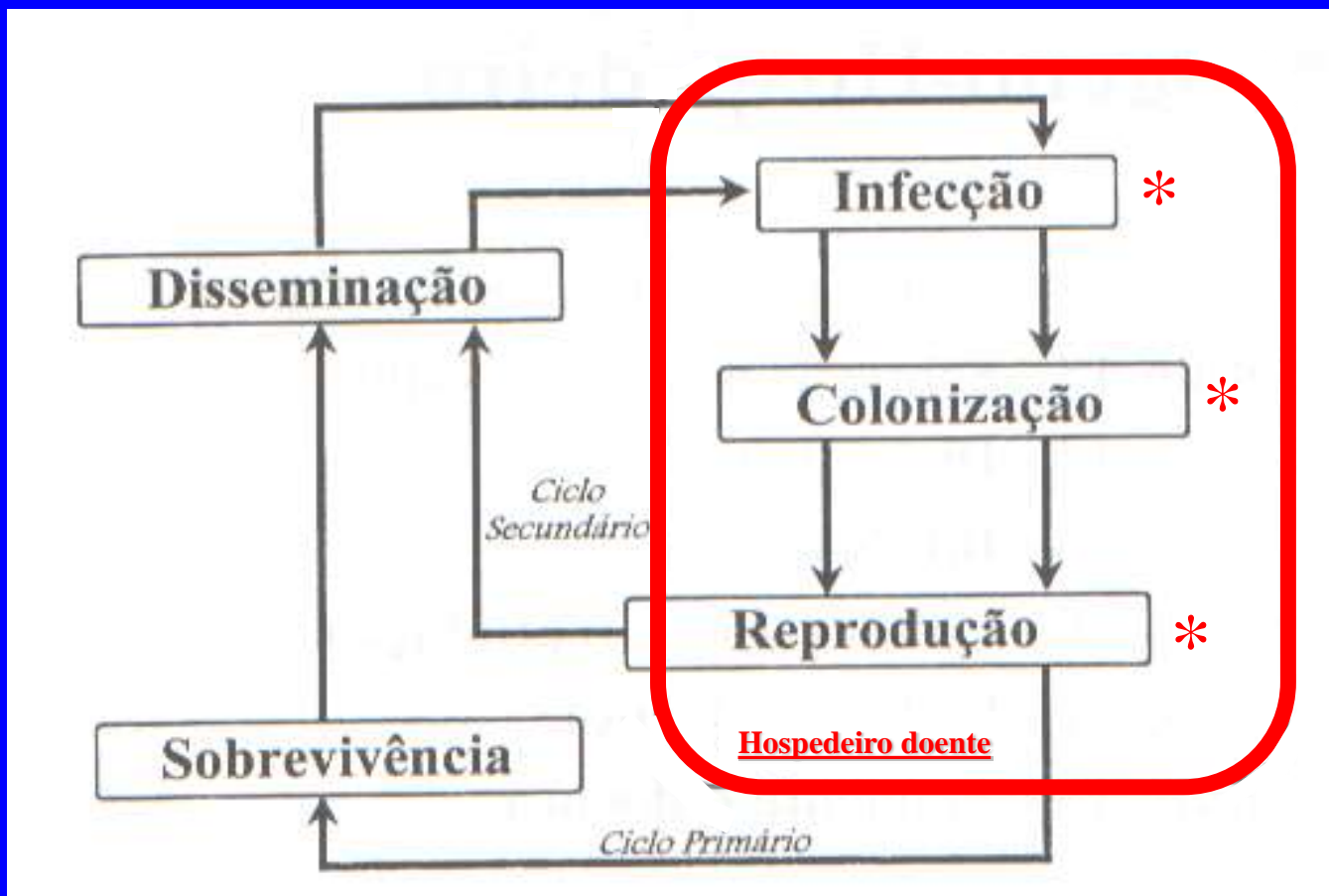
Prof. Sérgio F. Pascholati

# Componentes do triângulo da doença

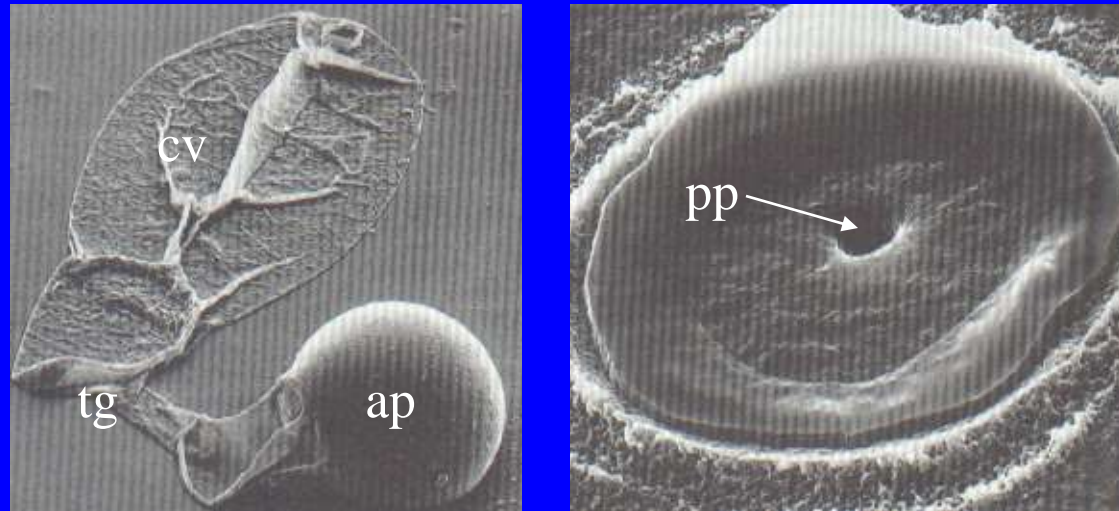


## Ciclo das relações patógeno-hospedeiro (Ciclo da doença)

O desenvolvimento de doenças infecciosas é caracterizado pela ocorrência de uma série de eventos sucessivos e ordenados.



## Infecção - penetração direta

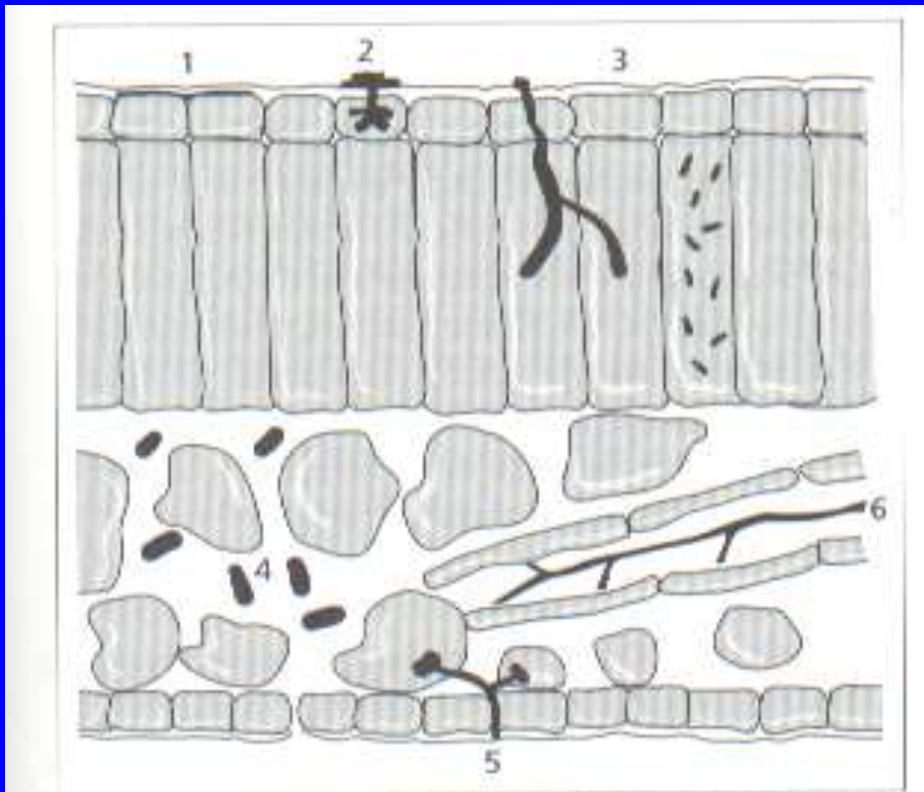


Formação de apressório (ap) por *Magnaporthe grisea* e poro de penetração (pp) em folha de arroz.

---

Conídio vazio (cv) e tubo germinativo (tg).

# Colonização

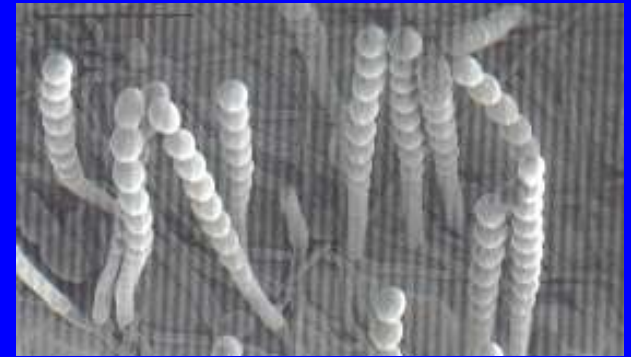
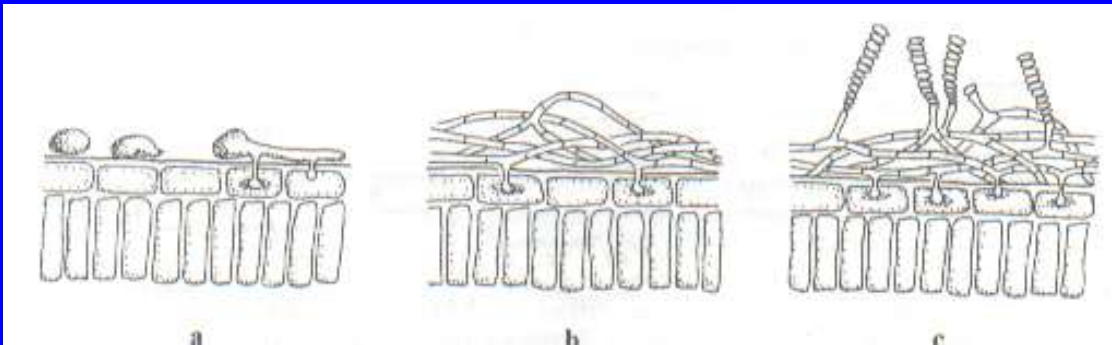


## Padrões de colonização de tecidos vegetais por patógenos:

1. Subcuticular
2. Epifítico com haustório
3. Intracelular
4. Intercelular
5. Intercelular com haustório
6. Vascular

## Reprodução

A grande maioria das bactérias e fungos fitopatogênicos reproduzem-se na superfície ou logo abaixo da superfície do hospedeiro.



Representação diagramática, cronológica, dos processos de a) infecção, b) colonização e reprodução c) de *Oidium* sp.

Oídio em pepino  
(*Sphaerotheca fuliginea*) –  
micélio, conidióforos,  
conídios.

# Fisiologia do Parasitismo

(Fisiologia / bioquímica fitopatológica)

Especialidade dentro da fitopatologia envolvida no esclarecimento das bases bioquímicas e fisiológicas das interações hospedeiro-patógeno

---

Tratado: **Die Exantheme der Pflanzen**

**Franz Unger (1833)**

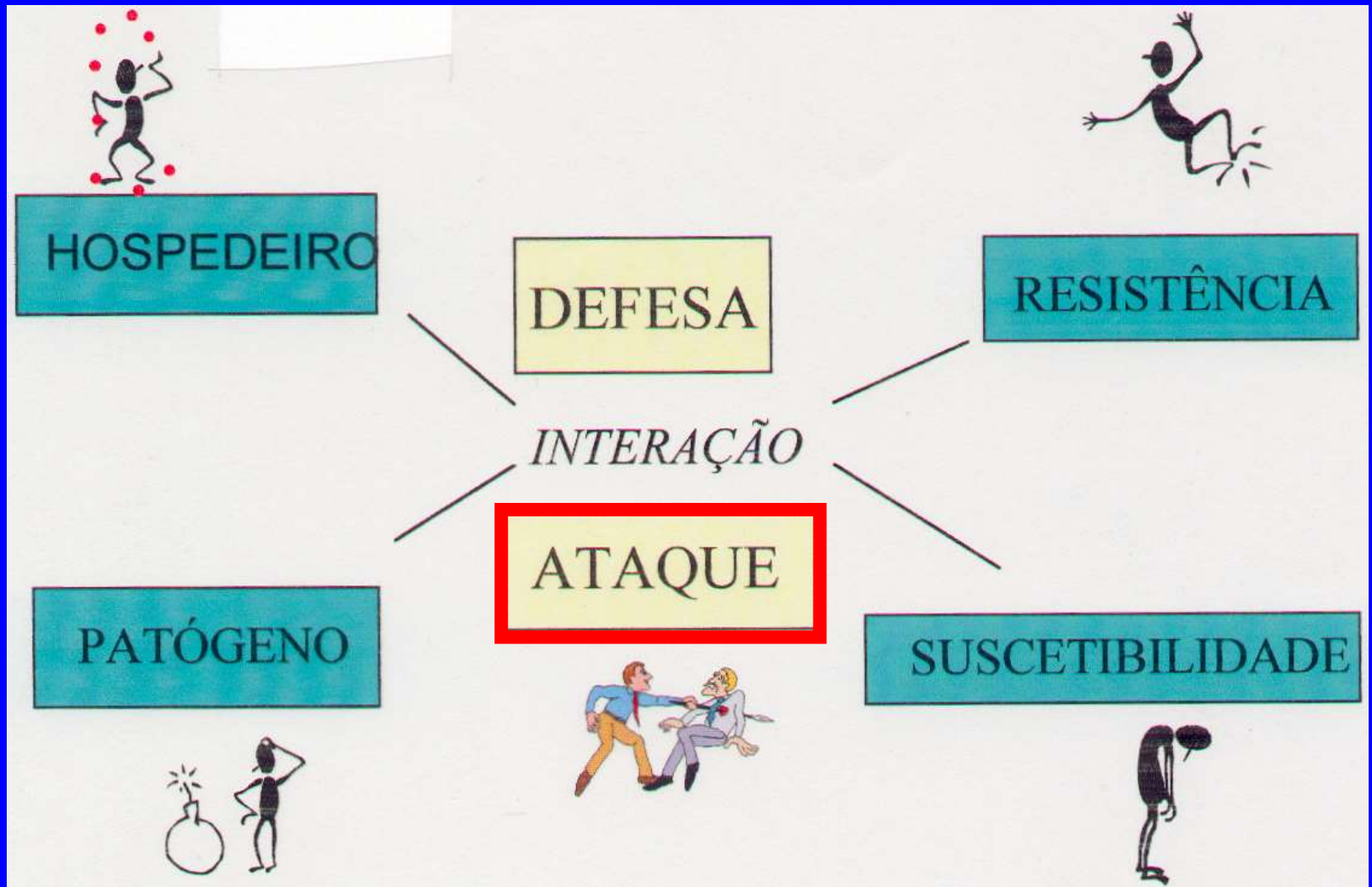
Pedra fundamental



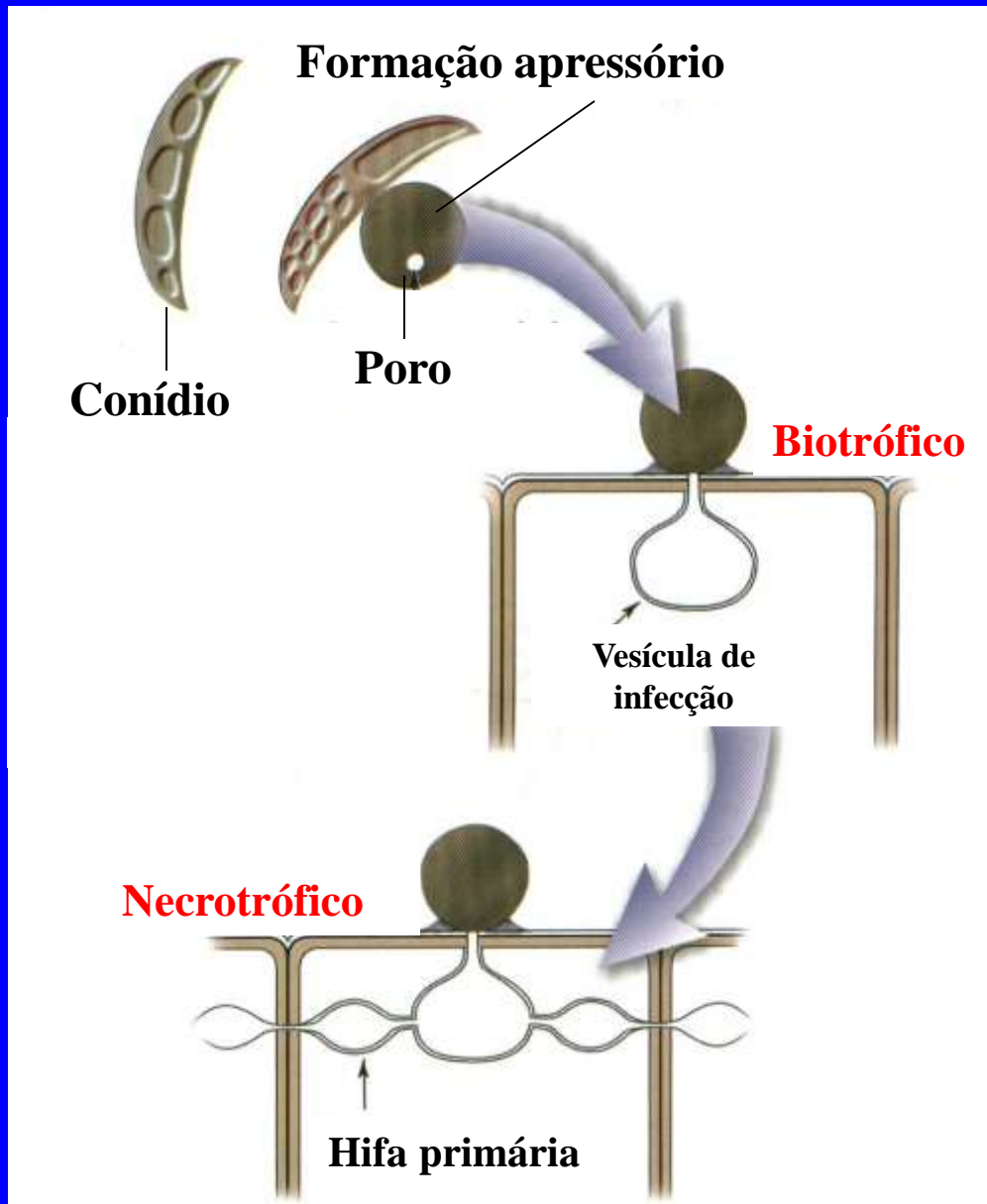
**ESTRATÉGIAS UTILIZADAS  
POR PATÓGENOS  
PARA CAUSAR DOENÇAS EM PLANTAS**



# Interação planta x microrganismo patogênico



# O processo da infecção fúngica



## Mecanismos de ataque

- Enzimas
- Toxinas
- Hormônios

# Enzimas

Proteínas responsáveis pela catálise das reações anabólicas e catabólicas nas células dos seres vivos

# Enzimas

- Desintegração dos componentes celulares
  - Desintegração de substâncias presentes nas células
- 

## Importância:

- Penetração
- Colonização
- Nutrição do patógeno

# Enzimas

- A maior parte: extracelular / induzível

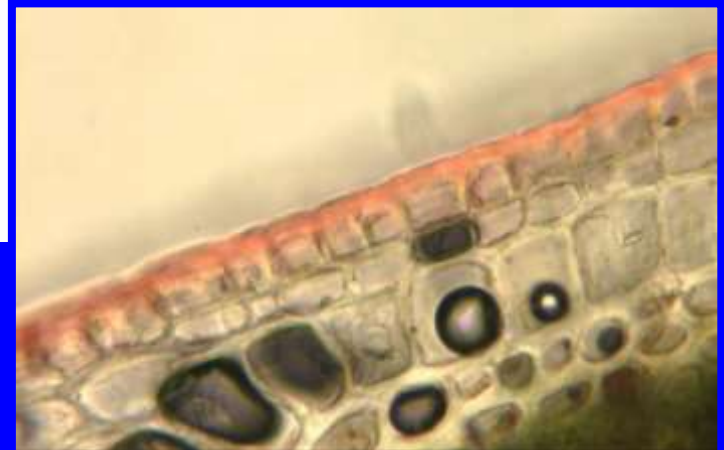
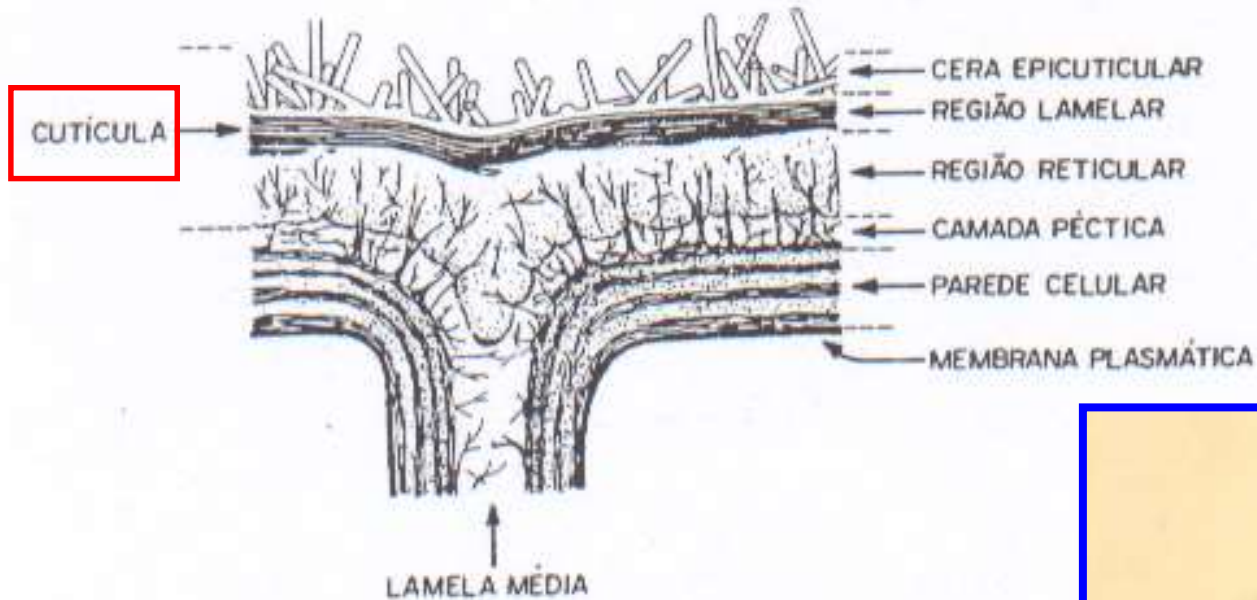
---

- Cutinases \*
  - Pectinases \*
  - Celulases
  - Hemicelulases
- 

- Proteinases
- Lipases
- Amilases
- Nucleases

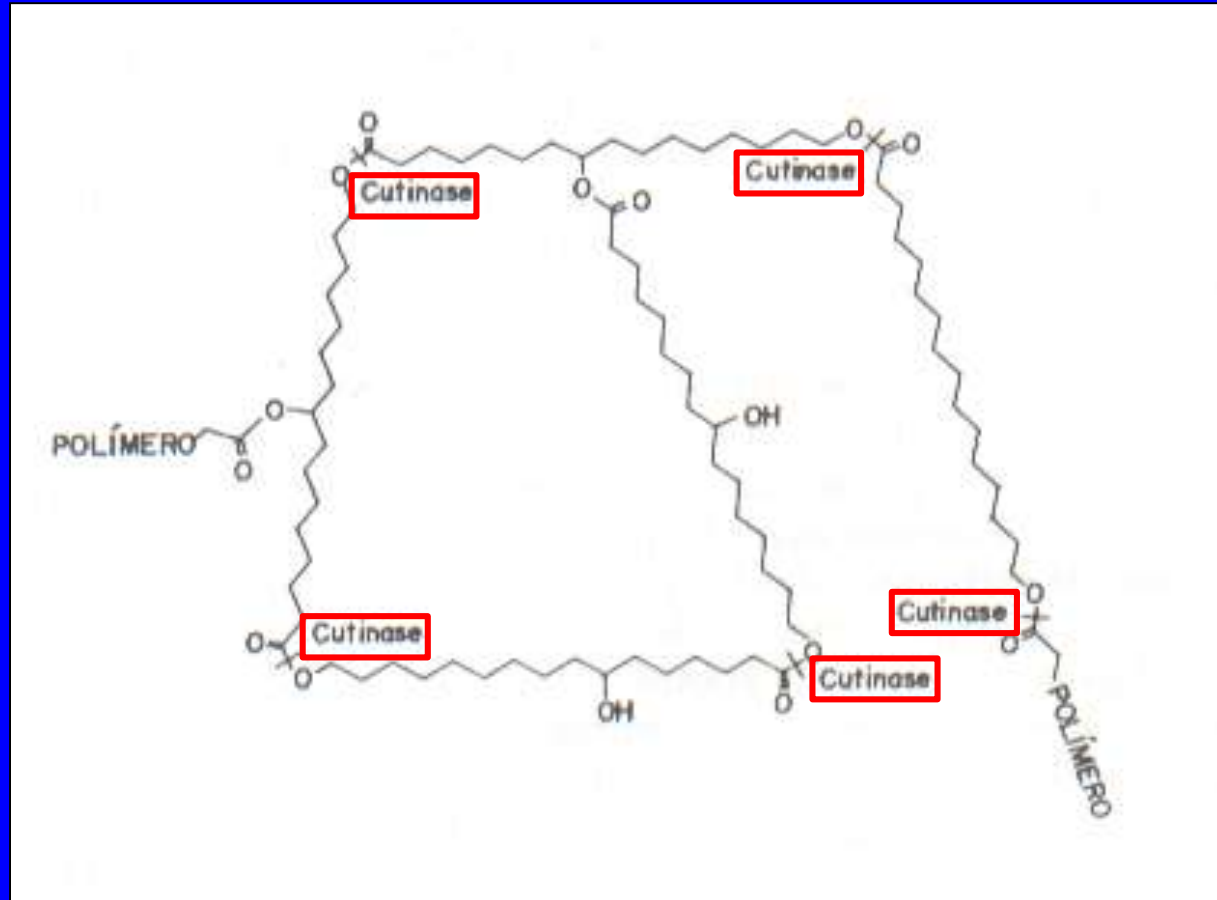
# Cutinases

## Cutícula



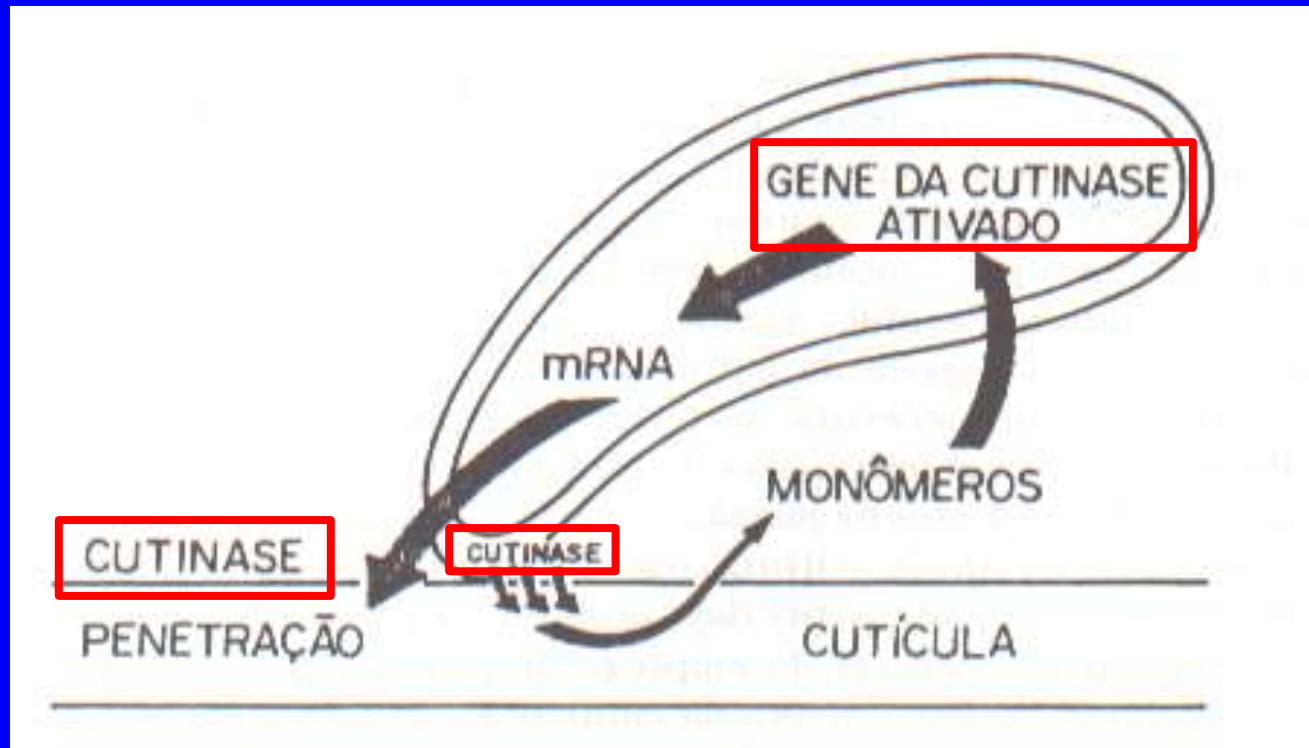
# Cutinases

Cutina  $\xrightarrow{\text{Cutinases}}$  monômeros + oligômeros



Cutinases são esterases com resíduo de serina no sítio catalítico / alteram a estrutura tridimensional

# Cutinases





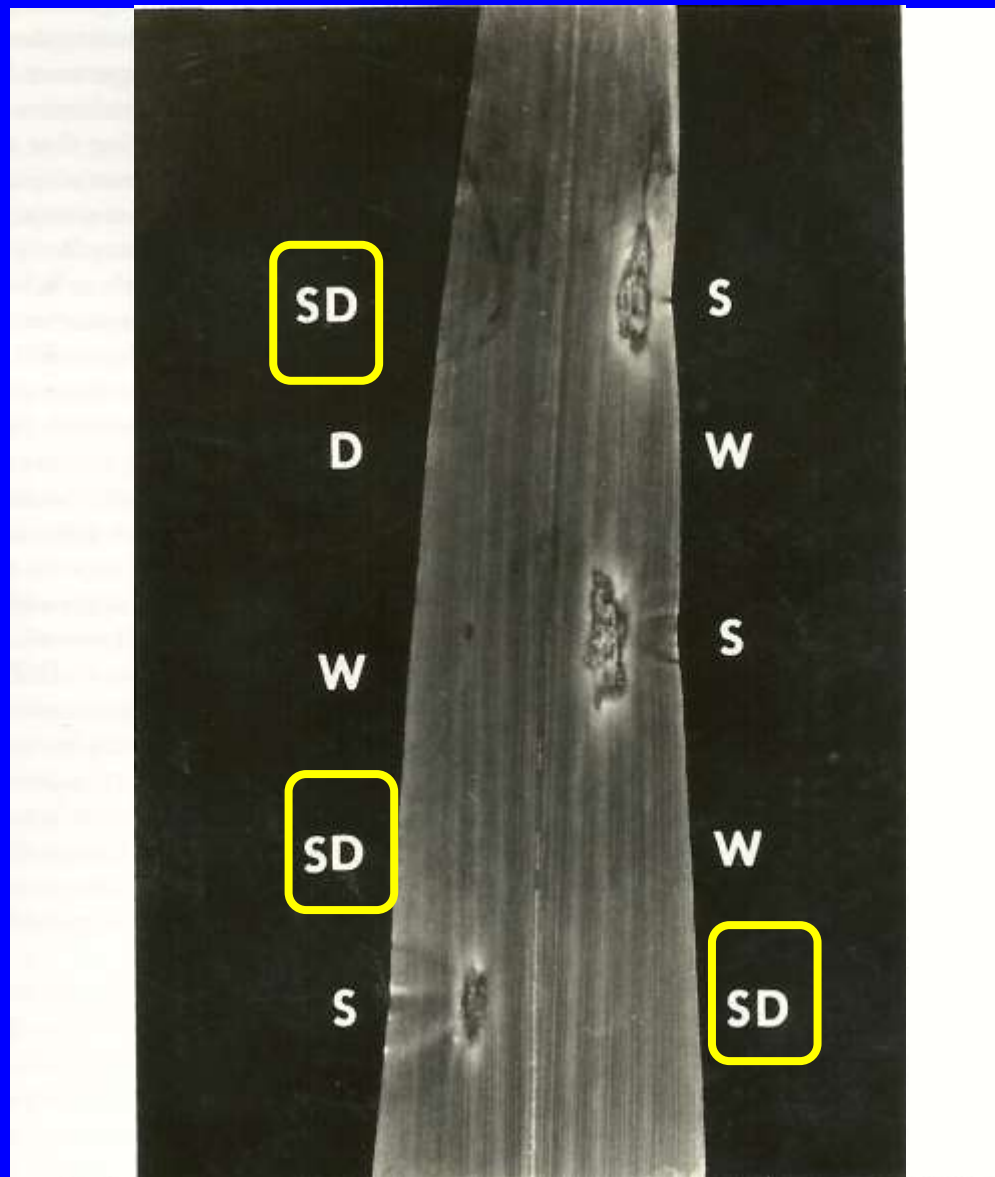
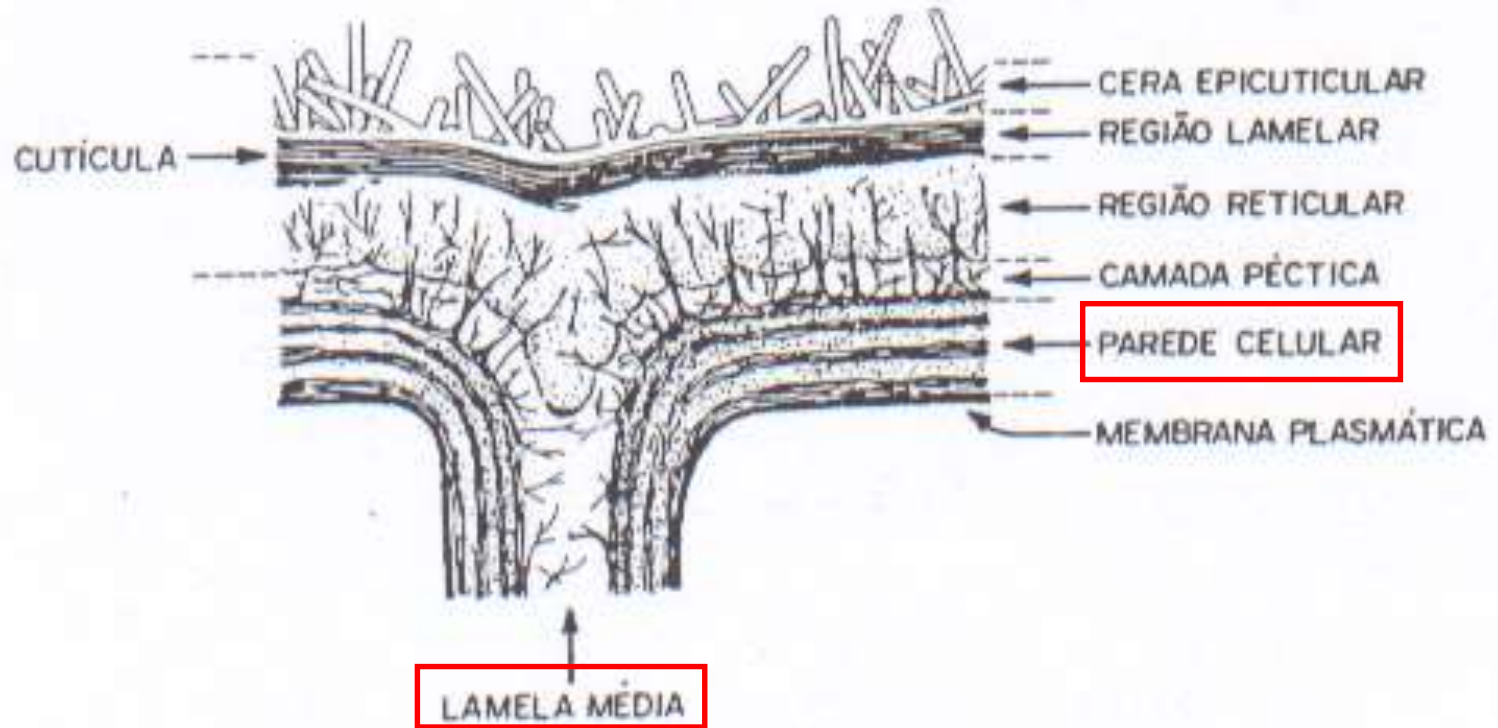
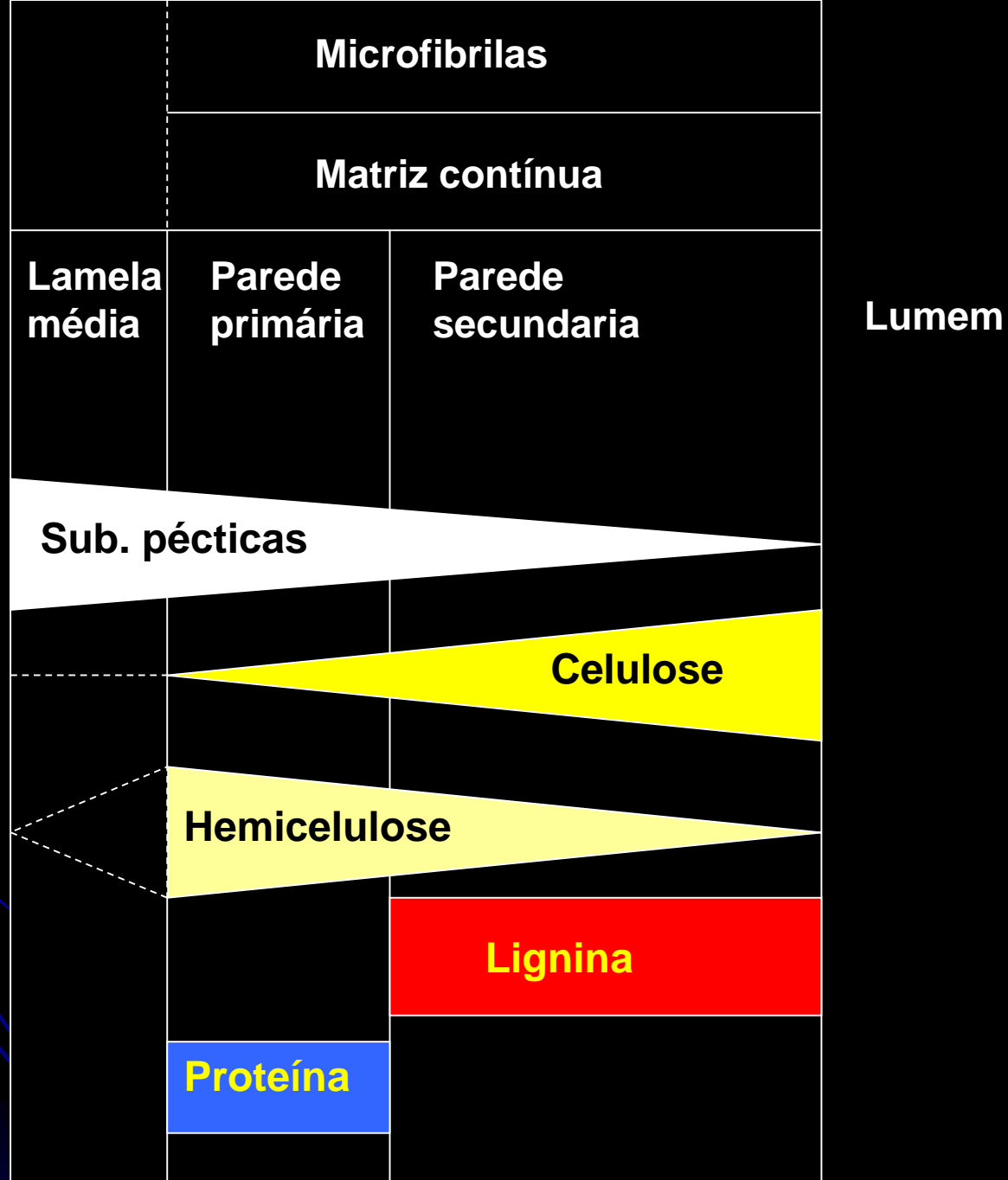


FIG. 7. Anthracnose lesion development on the corn inbred line Mo940 caused by *Colletotrichum graminicola* incubated in the presence or absence of DIPF. Letters indicate treatments applied to the leaf using the microhumidity chamber. Note that lesions only developed at sites where spores alone were placed on the leaf. S, spores alone; SD, spores plus DIPF; D, DIPF alone; W, water alone.

## Parede celular / lamela média





# Enzimas pectolíticas (pectinases)

- Envolvidas na degradação das substâncias pécticas
  - As enzimas mais estudadas no tocante ao papel durante a patogênese
- 

## Maceração dos tecidos

Separação das células e morte das mesmas, devido a destruição da integridade estrutural da lamela média

(Podridões de órgãos de reserva)

# Pectinases x podridões



*Erwinia* e *Pseudomonas* -  
Repolho



*Erwinia* - Batata



*Erwinia* - Tomate



*Phomopsis*- Morango

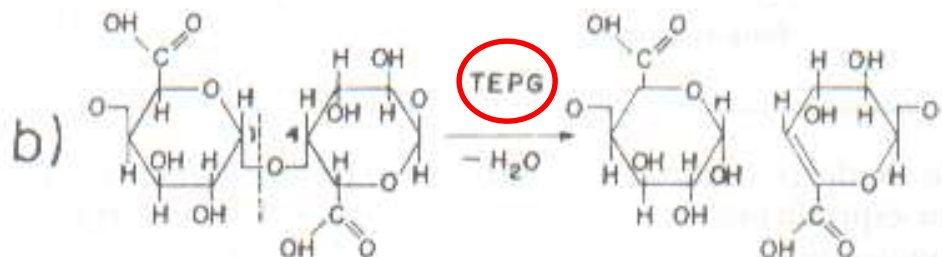
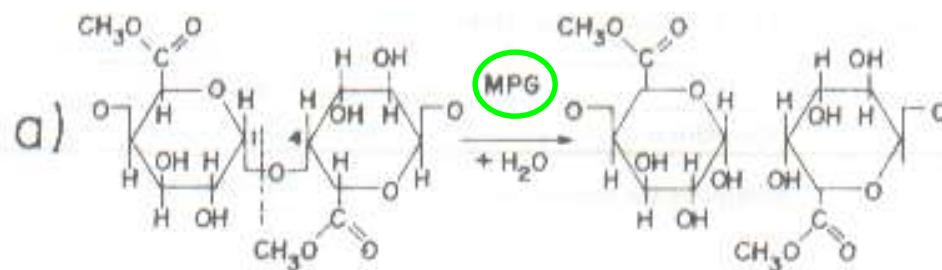


*Monilinia* - Pessego

# Enzimas pectolíticas (pectinases)

Tabela 19.2 - Classificação das principais enzimas degradadoras da pectina e ácido pectico.

Substrato	Mecanismo de ação	
	Hidrolítico	Beta-eliminativo
Pectina (ácido pectínico)	Metilpoligalacturonases (MPG)	Trans-eliminases do ácido pectínico (TE) (= pectina liases)
Ácido pectico (ácido poligalacturônico)	Poligalacturonases (PG)	Trans-eliminases do ácido poligalacturônico (TEPG) (= liases do ácido pectico)



## Enzimas produzidas por fitopatógenos x patogênese (Evidências)

*Escherichia coli*  
(enterobactéria)

*Erwinia chrysanthemi*  
(gene pectina liase)

Transformante [*E. coli* +  
gene *E. chrysanthemi*]

Altamente virulento em  
tubérculos de batata

# Toxinas

Produtos de patógenos microbianos que causam danos aos tecidos vegetais e estão envolvidos no desenvolvimento das doenças

---

- Massa molecular baixa (< 1.000 daltons)



# Toxinas

Produtos de patógenos microbianos que causam danos aos tecidos vegetais e estão envolvidos no desenvolvimento das doenças

---

- Massa molecular baixa (< 1.000 daltons)
- Móveis

# Toxinas

Produtos de patógenos microbianos que causam danos aos tecidos vegetais e estão envolvidos no desenvolvimento das doenças

---

- Massa molecular baixa (< 1.000 daltons)
- Móveis
- Ativas [fisiológicas] →  $10^{-6}$  a  $10^{-8}$  M

# Toxinas

Produtos de patógenos microbianos que causam danos aos tecidos vegetais e estão envolvidos no desenvolvimento das doenças

---

- Massa molecular baixa (< 1.000 daltons)
- Móveis
- Ativas [fisiológicas] →  $10^{-6}$  a  $10^{-8}$  M
- Não exibem características enzimáticas / hormonais

# Toxinas

## Importância:

- Estabelecimento do patógeno

- Sintomas:

- Queima

- Manchas

- Clorose

- Murchas



Necrose



# Toxinas

## Sítios de ação:

### ⇒ Membrana plasmática

- > Alteram permeabilidade / potencial
- > Balanço iônico é alterado
- > Saída de eletrólitos

# Toxinas

## Sítios de ação:

### ⇒ Membrana plasmática

- > Alteram permeabilidade / potencial
- > Balanço iônico é alterado
- > Saída de eletrólitos

### ⇒ Mitocôndrias

- > Fosforilação (ATP)
- > Membrana mitocondrial

# Toxinas

## Sítios de ação:

### ⇒ Membrana plasmática

- > Alteram permeabilidade / potencial
- > Balanço iônico é alterado
- > Saída de eletrólitos

### ⇒ Mitocôndrias

- > Fosforilação (ATP)
- > Membrana mitocondrial

### ⇒ Cloroplastos

- > Fosforilação

# Toxinas

## Sítios de ação:

### ⇒ Membrana plasmática

- > Alteram permeabilidade / potencial
- > Balanço iônico é alterado
- > Saída de eletrólitos

### ⇒ Mitocôndrias

- > Fosforilação (ATP)
- > Membrana mitocondrial

### ⇒ Cloroplastos

- > Fosforilação

### ⇒ Enzimas

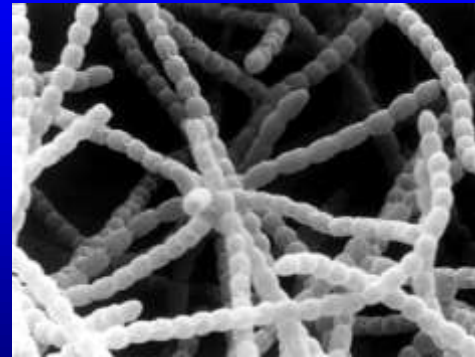
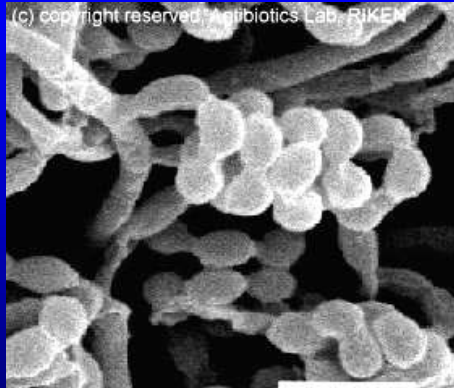
- > Sintetase da glutamina



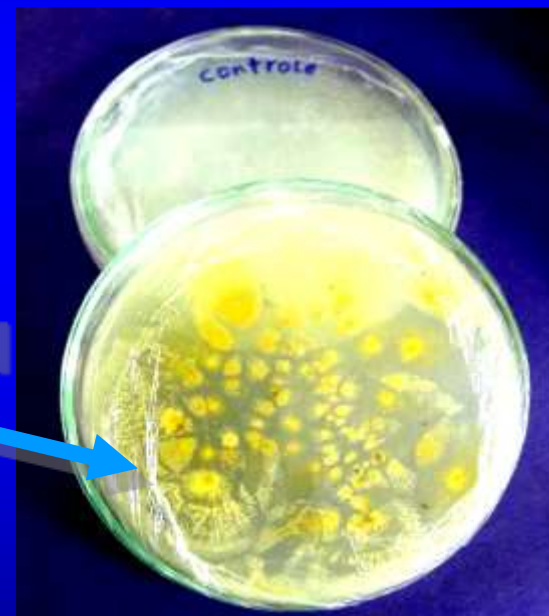
# Sarna comum – doença em batata



Agente causal – bactéria *Streptomyces* sp (*S. scabies* - mais comum)



# Taxtomina A – fitotoxina não-seletiva



Importante para a colonização dos tecidos pela bactéria e manifestação dos sintomas da doença

# Taxtomina A : produção por diferentes isolados da bactéria

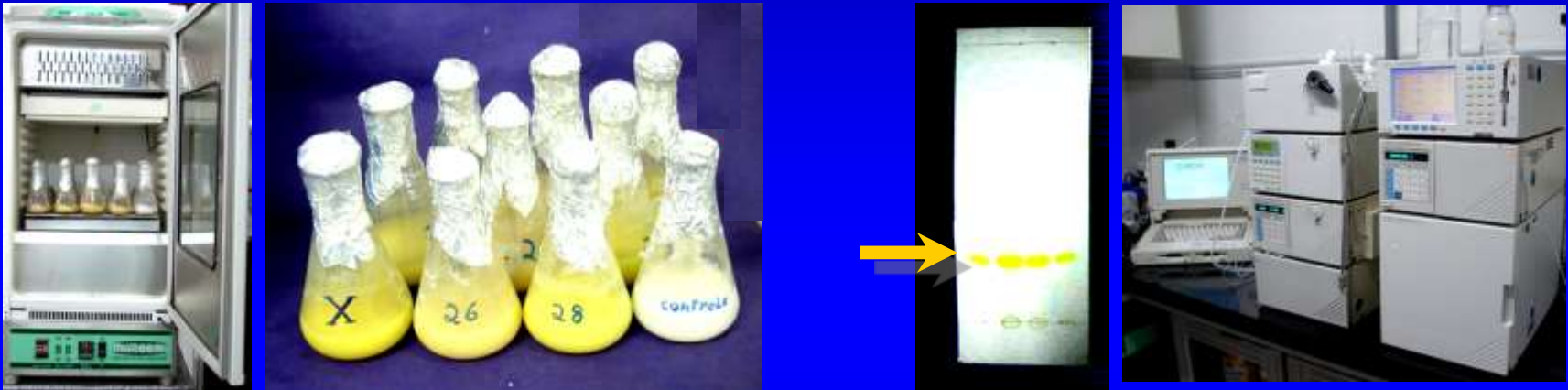


**16** – Altamente produtor

**79** – Intermediário

**26** – Pouco produtor

# Produção da taxtomina



cultivo em  
meio líquido  
(pH 7,2)

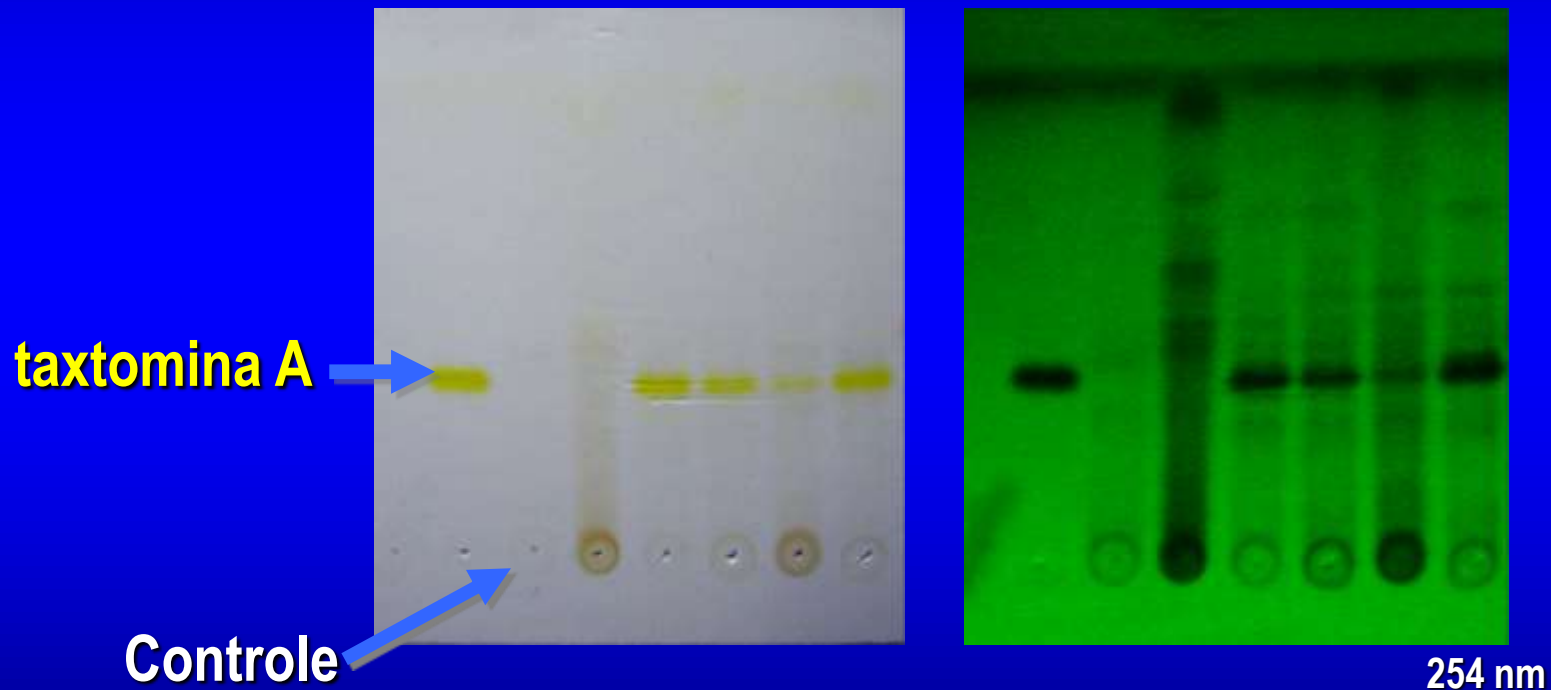
extração  
c/ acetato  
de etila

identificação por **TLC**

quantificação por **HPLC\***

\*(HPLC – high performance liquid chromatography)

# Taxtomina A : Identificação



TLC = thin layer chromatography

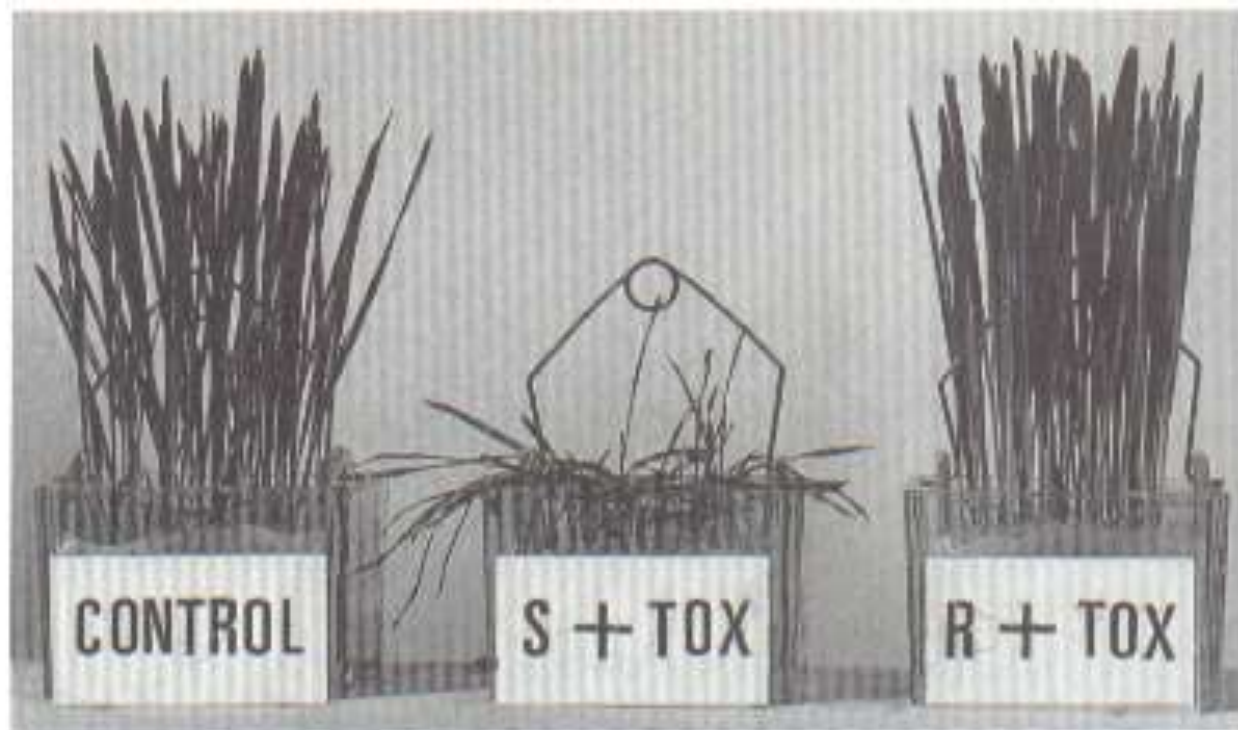
# Reação de cultivares de batata a Taxtomyia A



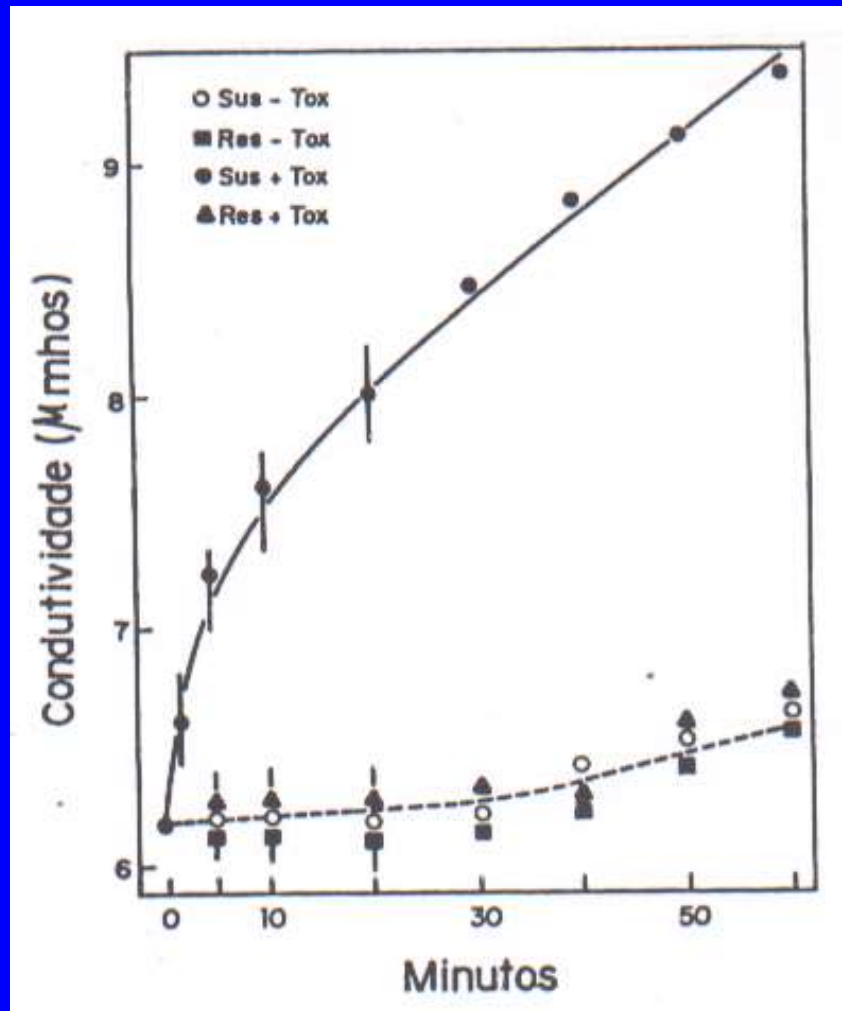
Fitotoxinas seletivas:  
*Helminthosporium victoriae*  
(victorina) x aveia



Fig. 8.6 Effects of victorin on resistant (R) and susceptible (S) oat seedlings. Toxin was added to the nutrient solution where indicated, 3 days before the photograph was taken. (From Scheffer & Yoder 1972.)



Fitotoxinas seletivas: *Helminthosporium victoriae*  
(victorina) x aveia



Saída de eletrólitos  
de tecido de aveia



# Hormônios

Compostos que ocorrem naturalmente nas plantas, ativos em concentrações baixas e que possuem a capacidade de promover, inibir ou modificar qualitativamente o crescimento das plantas, geralmente agindo à distância do sítio de produção

---

Auxinas / Giberelinas / Citocininas / Etileno / Ácido abscísico

# Hormônios vegetais

- **Auxinas** – Aumento da plasticidade da parede celular / alongamento celular
- **Giberelinas** – Manutenção da divisão celular (promoção do crescimento)
- **Citocininas** – Indução da divisão celular / inibição da senescência
- **Etileno** – Estimula senescência / epinastia / desfolha / maturação de frutos
- **Ácido abscísico** – Inibidor do crescimento (abscisão de folhas e frutos / fechamento de estômatos)

## Regulação hormonal da senescência em plantas

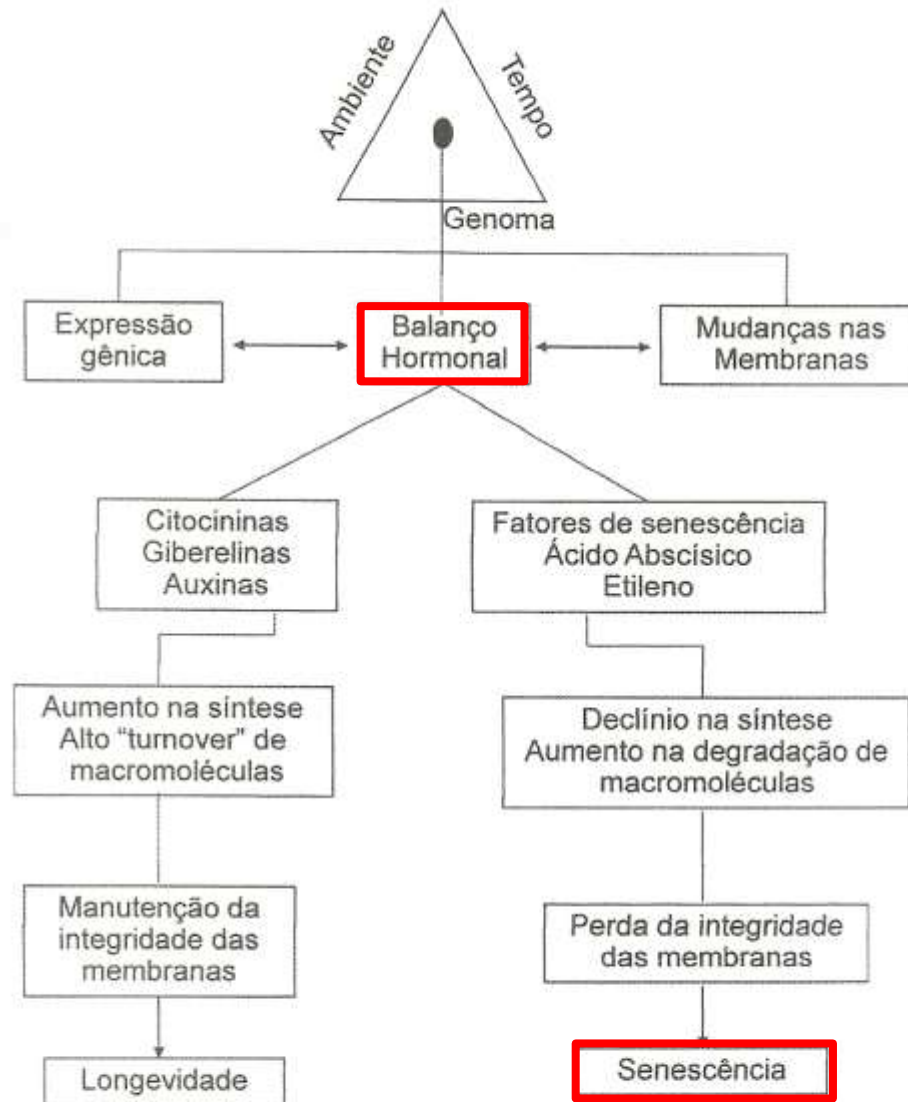


Figura 34.24 - Regulação hormonal da senescência em plantas. Fitopatógenos podem "acelerar" a senescência em função da produção de hormônios e consequente desequilíbrio hormonal no hospedeiro.

# Hormônios x sintomas

⇒ Enfezamento



⇒ Supercrescimento



⇒ Roseta

⇒ Epinastia

⇒ Desfolha

⇒ Ramificação excessiva raízes / ramos

⇒ Galhas



# Hormônios x doenças

“Alterações no equilíbrio hormonal podem redirecionar a atividade metabólica do hospedeiro favorecendo o desenvolvimento do patógeno”

---

⇒ *Pseudomonas savastanoi*

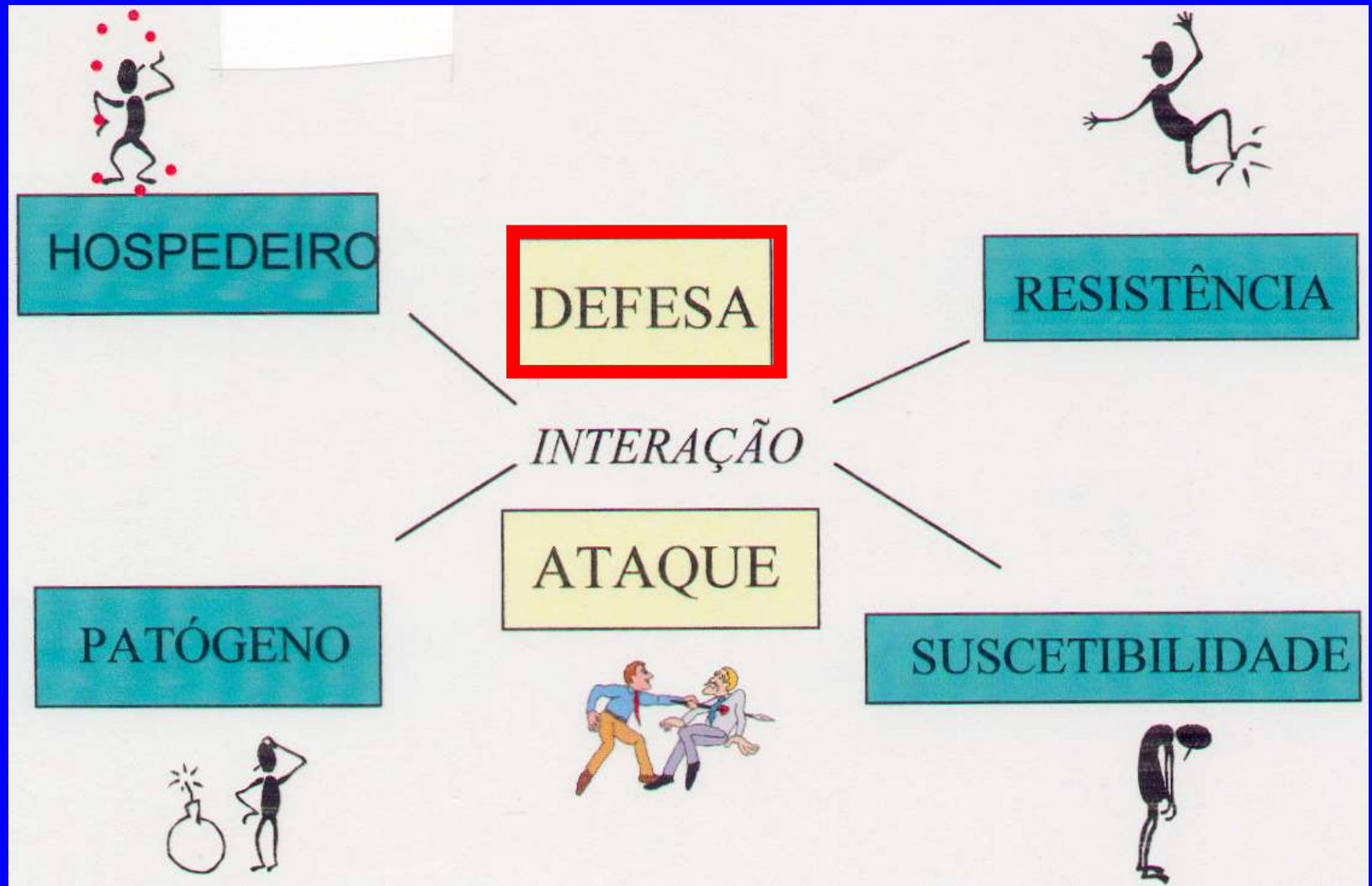
⇒ *Corynebacterium fascians*

⇒ *Agrobacterium* sp

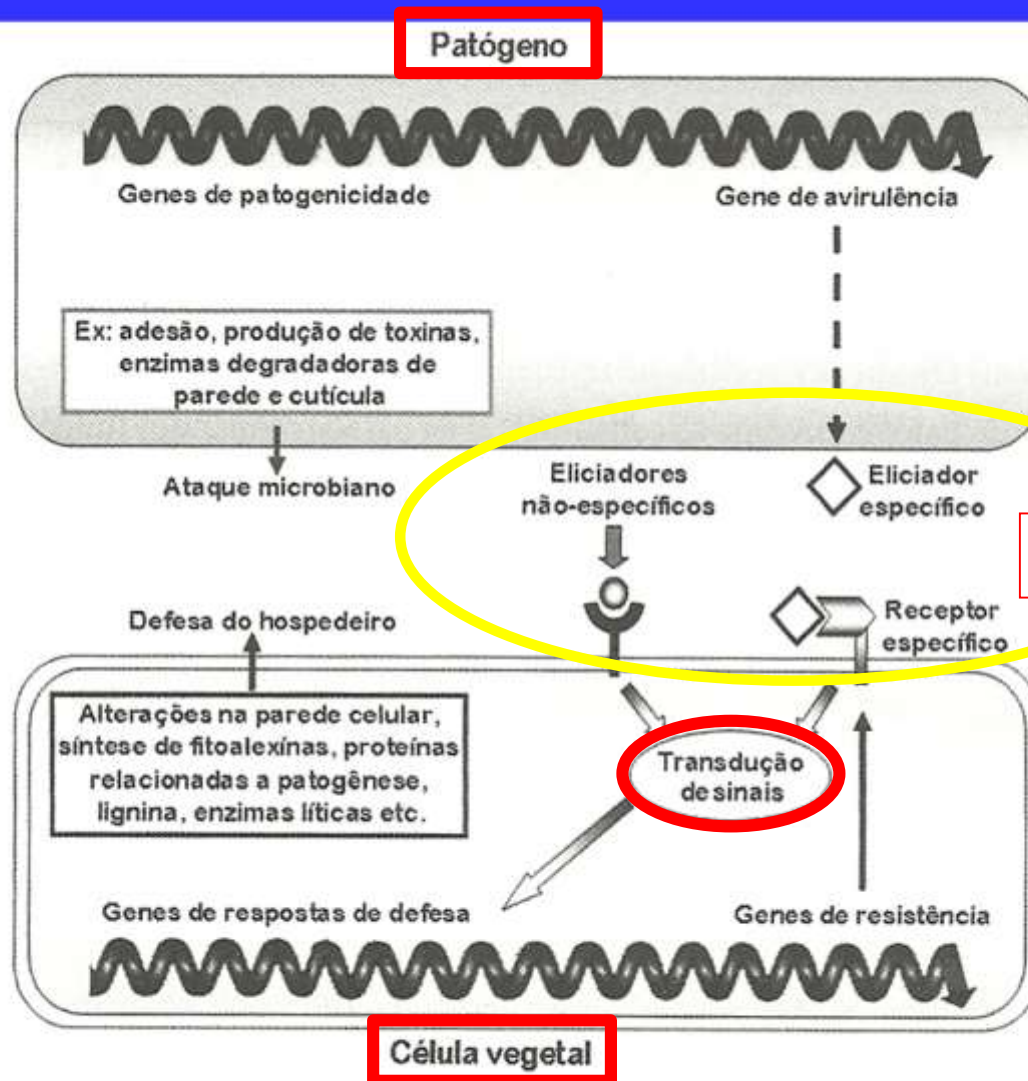


**MECANISMOS DE DEFESA DAS PLANTAS  
CONTRA  
FITOPATÓGENOS**

# Interação planta x microrganismo patogênico



# Patógeno x Planta



**Reconhecimento**

Figura 35.18 - Modelo molecular simplificado ilustrando a interação planta-patógeno (adaptado de Lucas, 1998).



# Patógeno x Planta

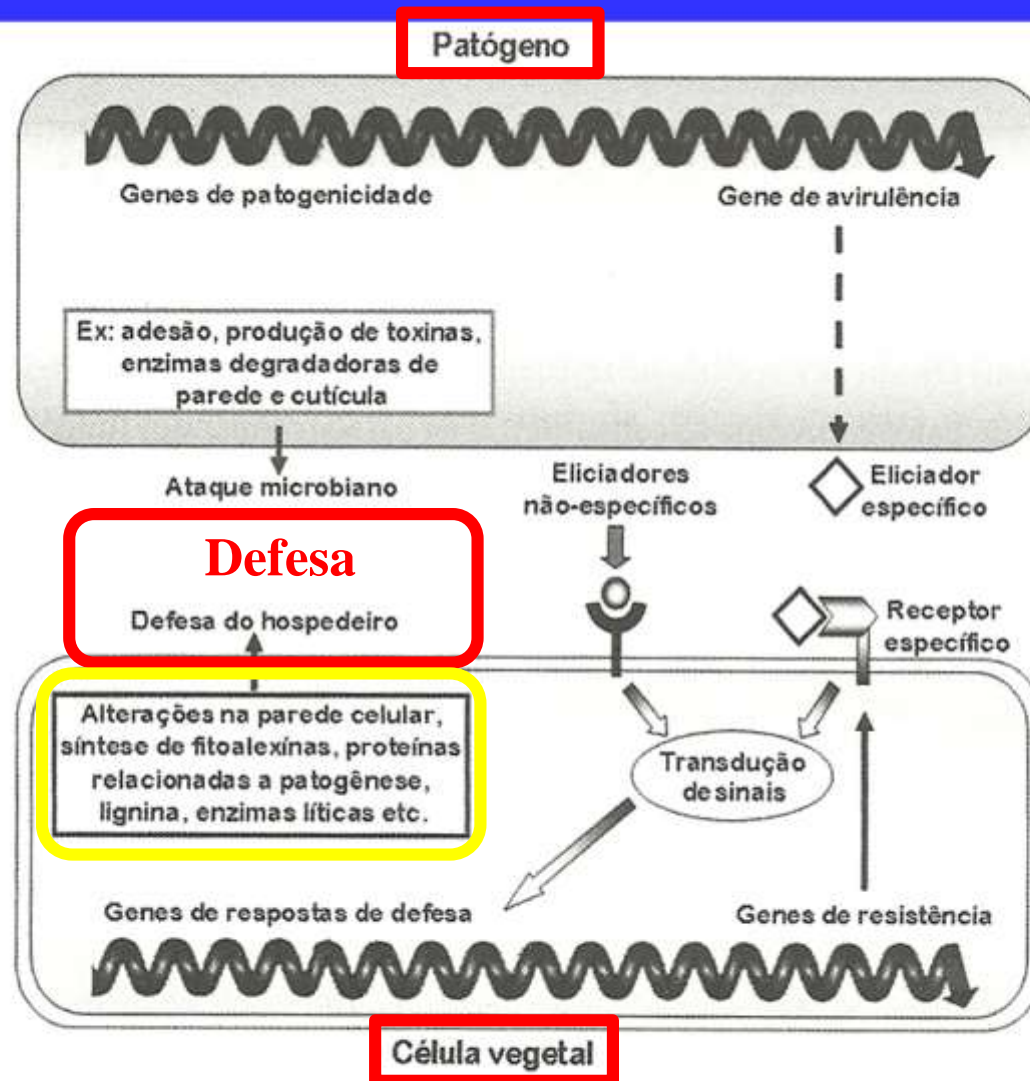


Figura 35.18 - Modelo molecular simplificado ilustrando a interação planta-patógeno (adaptado de Lucas, 1998).

# **“NA NATUREZA RESISTÊNCIA É A REGRA”**

---

“Capacidade da planta em evitar ou atrasar a entrada e/ou a subsequente atividade de um patógeno”

# MECANISMOS DE RESISTÊNCIA

(Fatores de resistência)

---

## 1) Estruturais (físicos) ⇒ Atraso na penetração



Pré-formados

- Cutícula
- Estômatos\*
- Pilosidade
- Vasos condutores

Pós-formados

- Halos
- Papilas\*
- Lignificação
- Camadas de cortiça
- Camada de abscisão
- Tiloses\*

# MECANISMOS DE RESISTÊNCIA

## Estruturais pré-formados

⇒ Estômatos

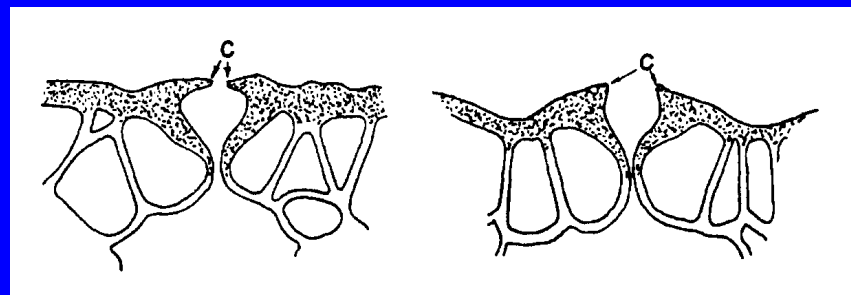
- Número
- Estrutura
- Período de abertura

Citros x *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*



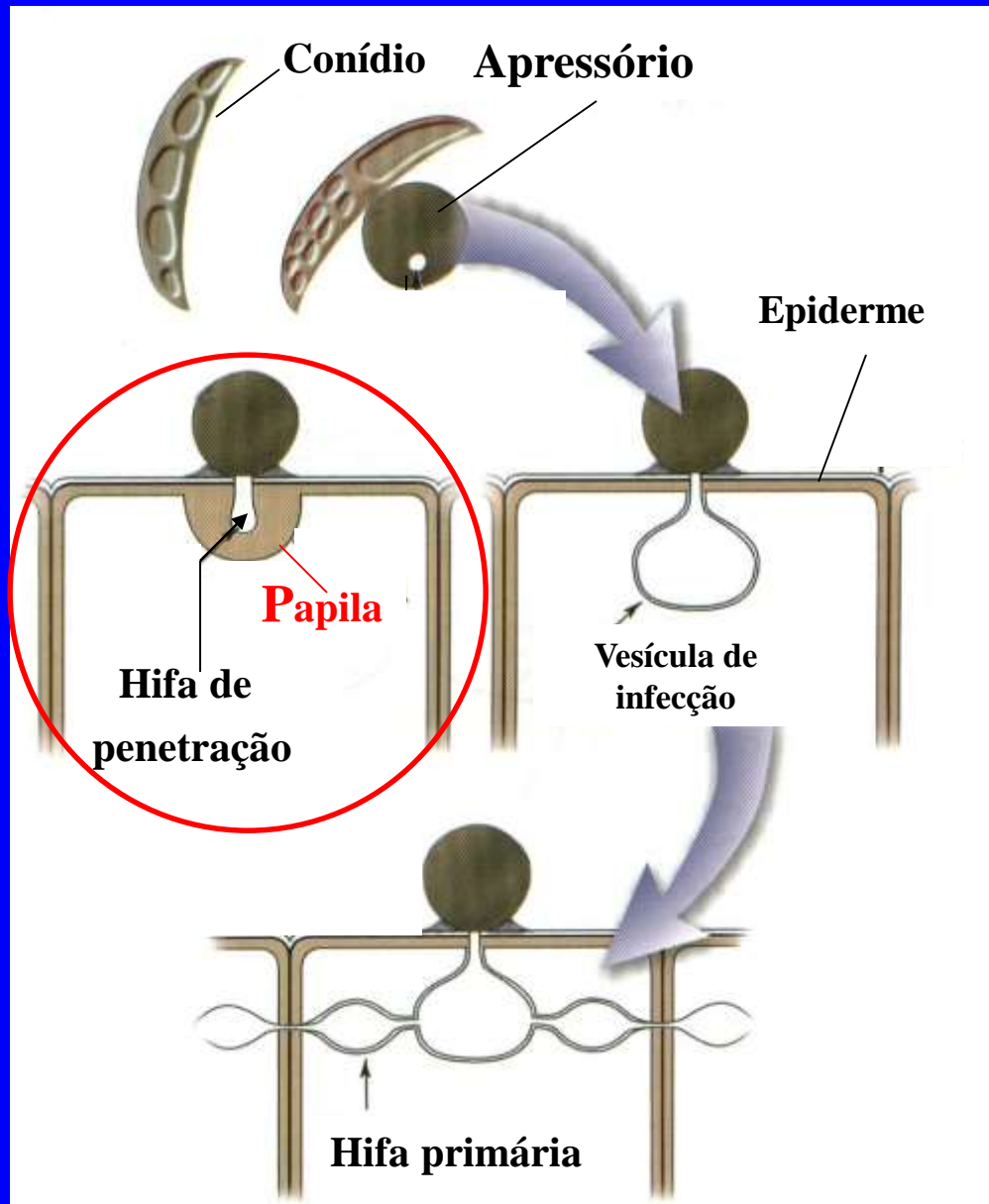
Resistente

Suscetível



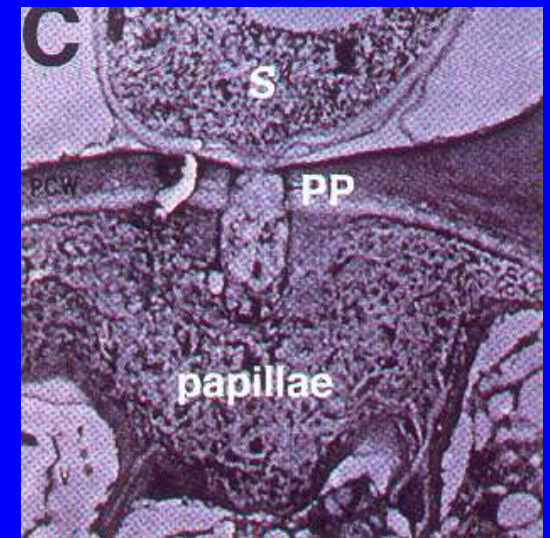
C - Crista cuticular

# MECANISMOS DE RESISTÊNCIA (estruturais pós-formados)



## ⇒ Papilas

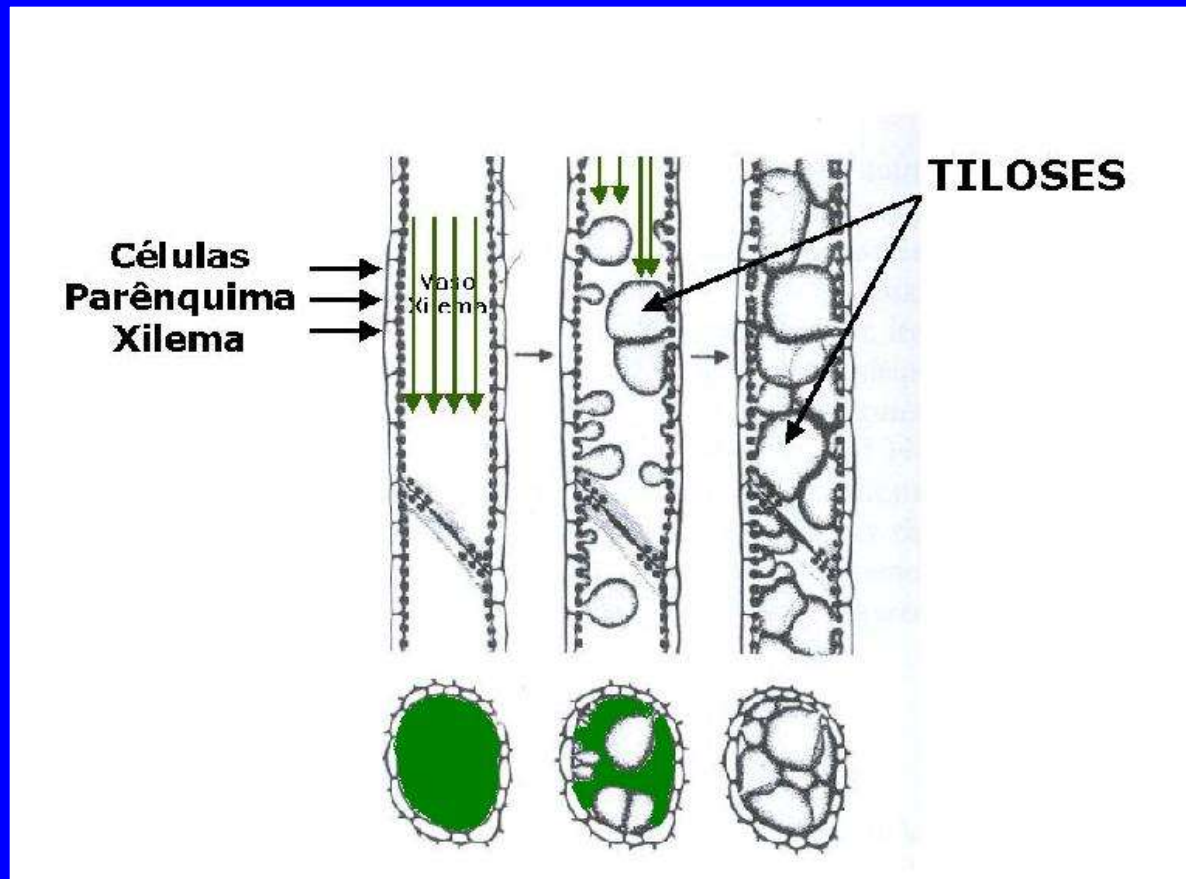
- Deposição de material heterogêneo entre a membrana plasmática e a parede celular no sítio de infecção.



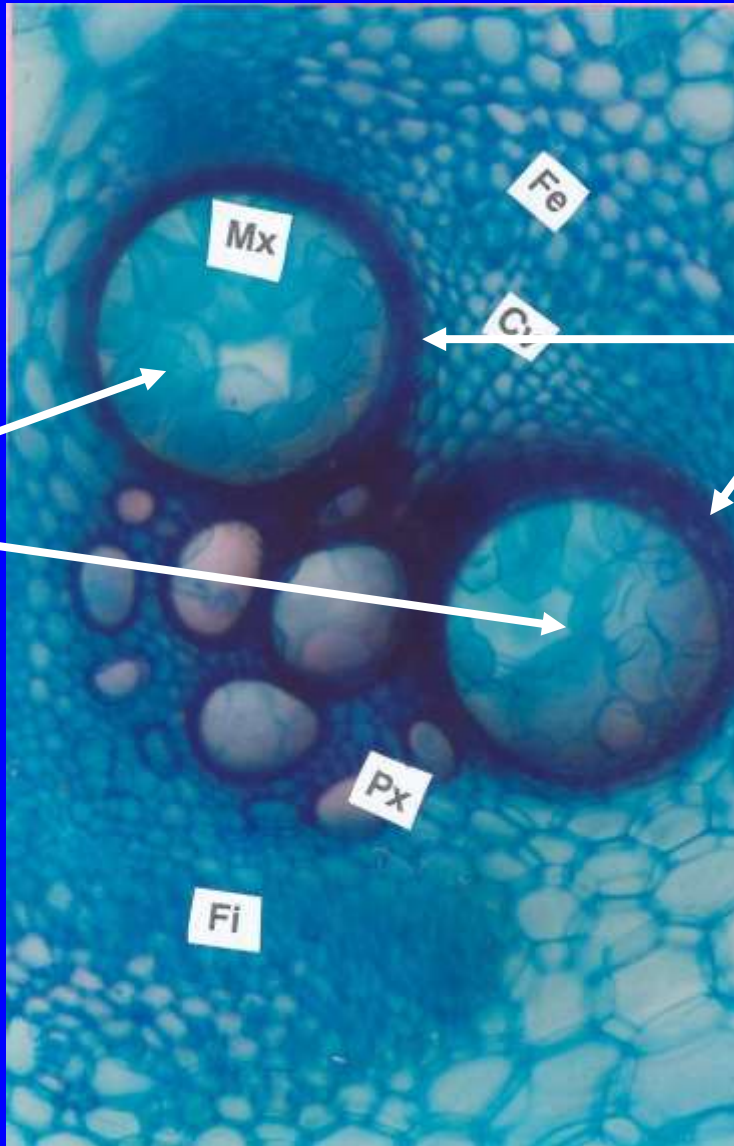
# MECANISMOS DE RESISTÊNCIA (estruturais pós-formados)

## ⇒ Tiloses

- Células do parênquima (xilema) emitem porções do protoplasma para o interior dos elementos condutores.

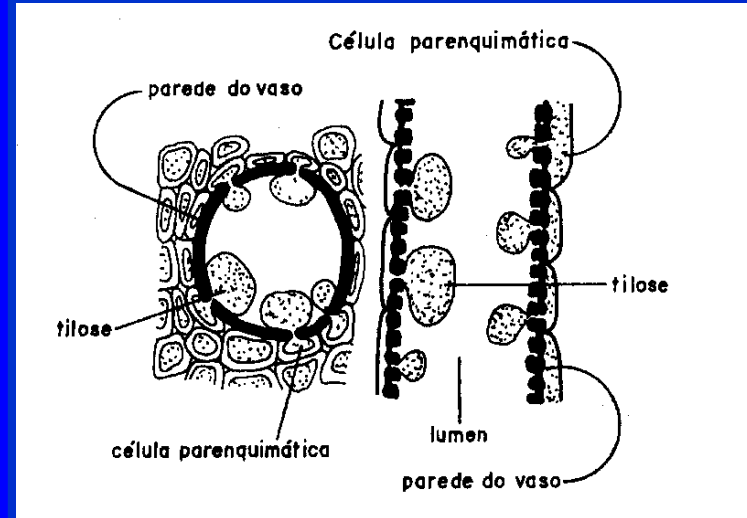


# TILOSES



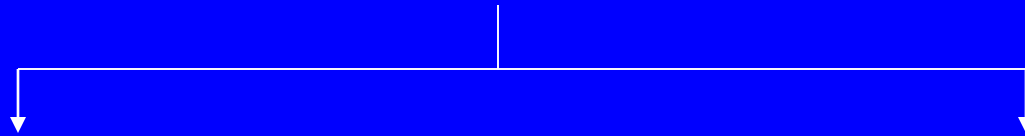
**Xilema**

**Tiloses**



2) **Bioquímicos** ⇒ Inibição do crescimento

⇒ Condições adversas para a sobrevivência



### **Pré-formados**

- Fenóis\*
- Alcalóides
- Lactonas insaturadas
- Glicosídeos fenólicos
- Glicosídeos cianogênicos\*
- Fototoxinas

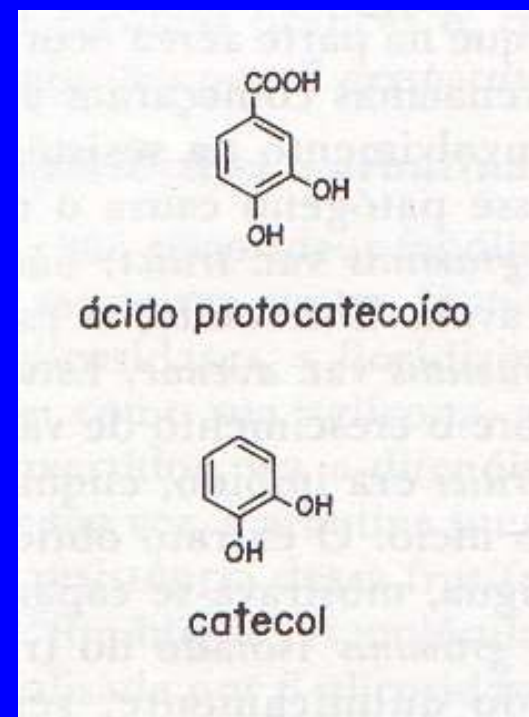
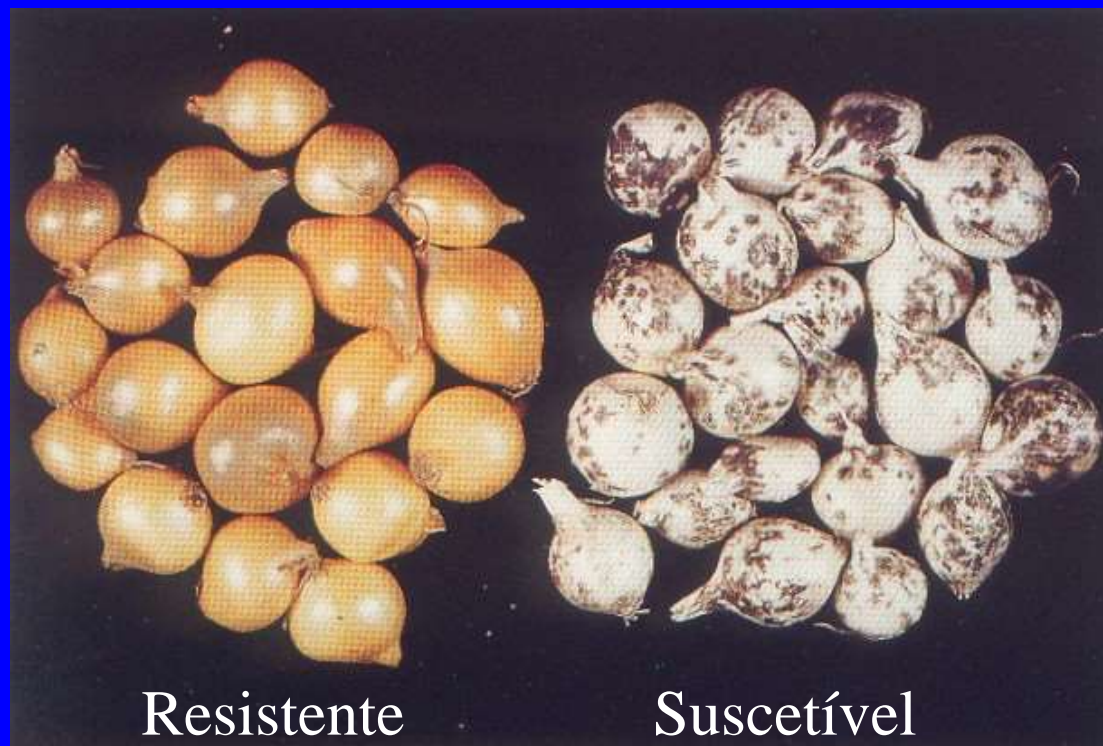
### **Pós-formados**

- Fitoalexinas\*
- Quitinases\*
- $\beta$ -1,3-glucanases\*
- Proteínas-RP
- Inibidores proteicos
- Espécies reativas de oxigênio



# MECANISMOS DE RESISTÊNCIA - Bioquímicos pré-formados

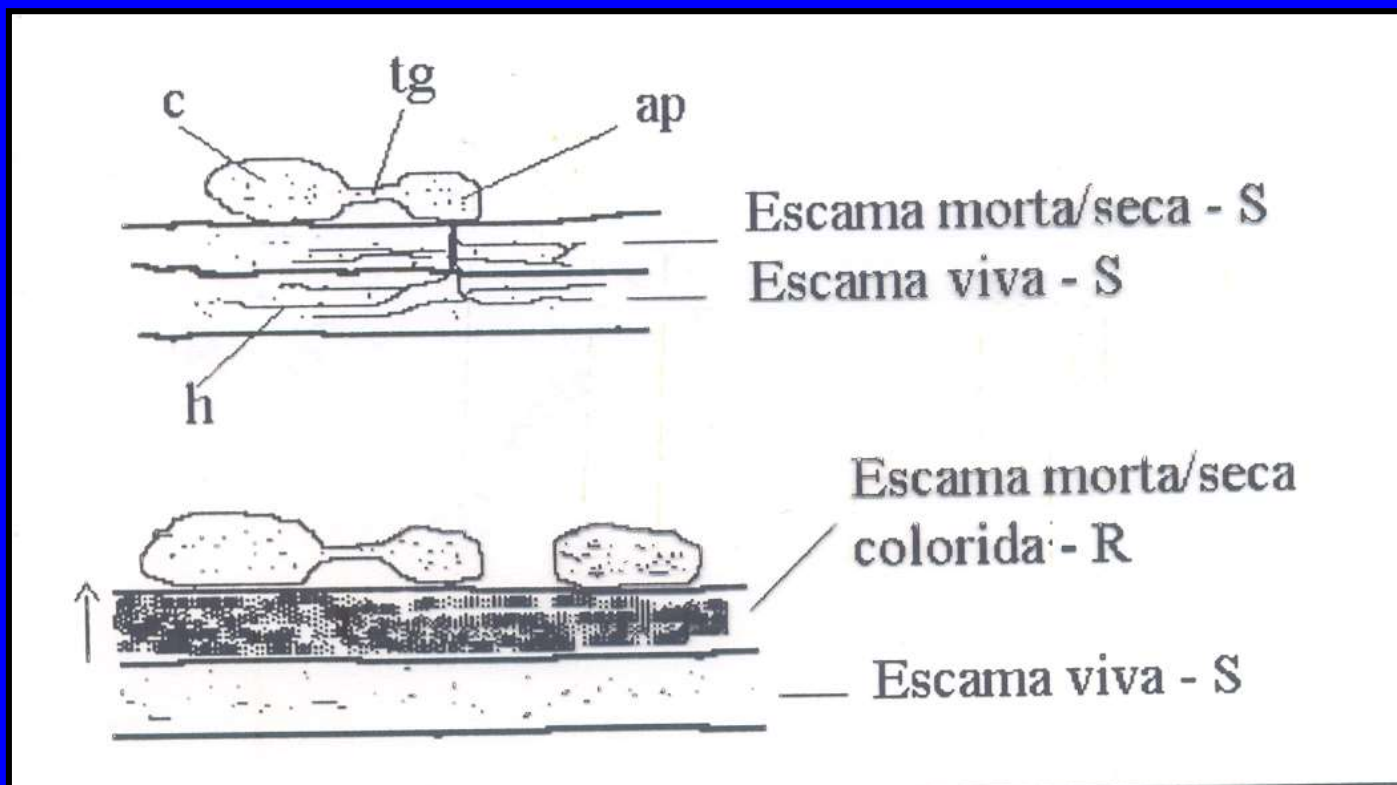
## Resistência de cebola x *Colletotrichum circinans*



J.C. Walker et al. (1930-1933)

# MECANISMOS DE RESISTÊNCIA - Bioquímicos pré-formados

## Resistência de cebola x *Colletotrichum circinans*



Cor = flavonas / antocianinas

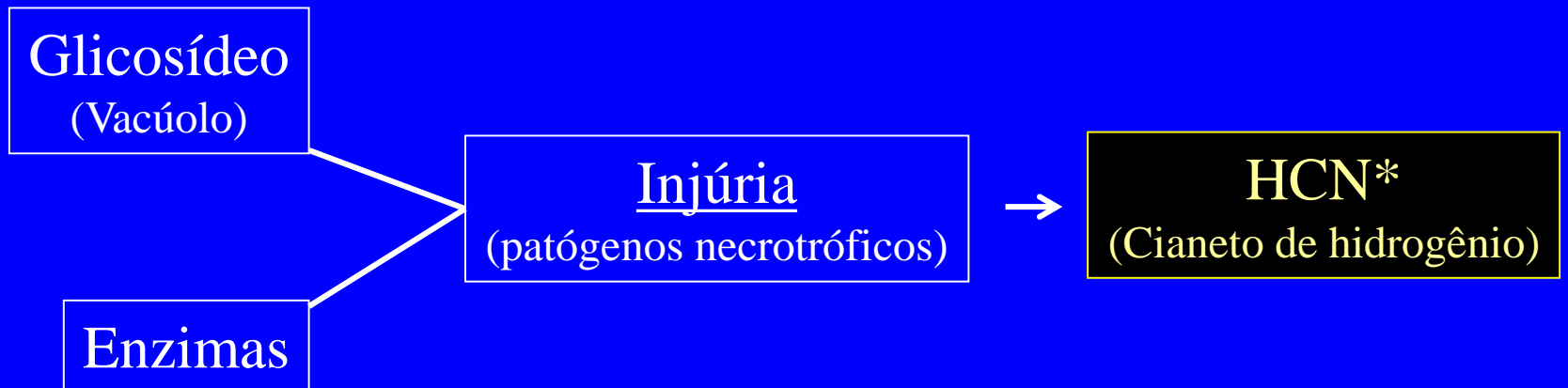
Ácido protocatecólico / catecol – incolores / solúveis água

# MECANISMOS DE RESISTÊNCIA

## Bioquímicos pré-formados

### ⇒ Glicosídeos cianogênicos

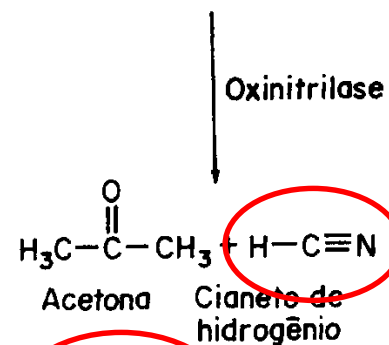
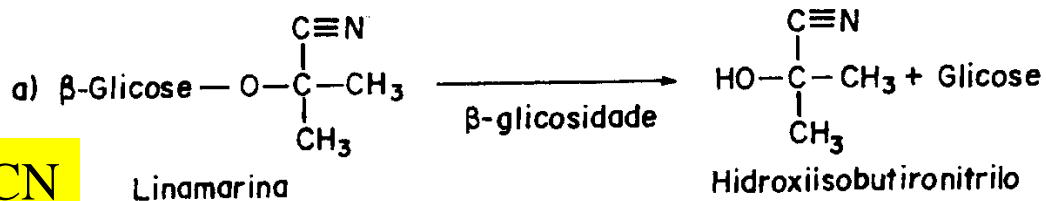
- Ocorrem em mais de 800 espécies de plantas  
(Exemplos – sorgo, mandioca, linho)
- Raízes / ramos / folhas / flores / frutos



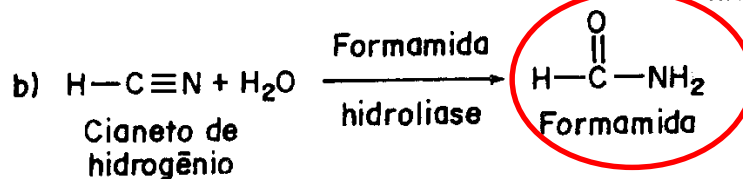
\* Produção instantânea do gás – inibe cadeia respiratória

## ⇒ Glicosídeos cianogênicos

Produção HCN



Detoxificação



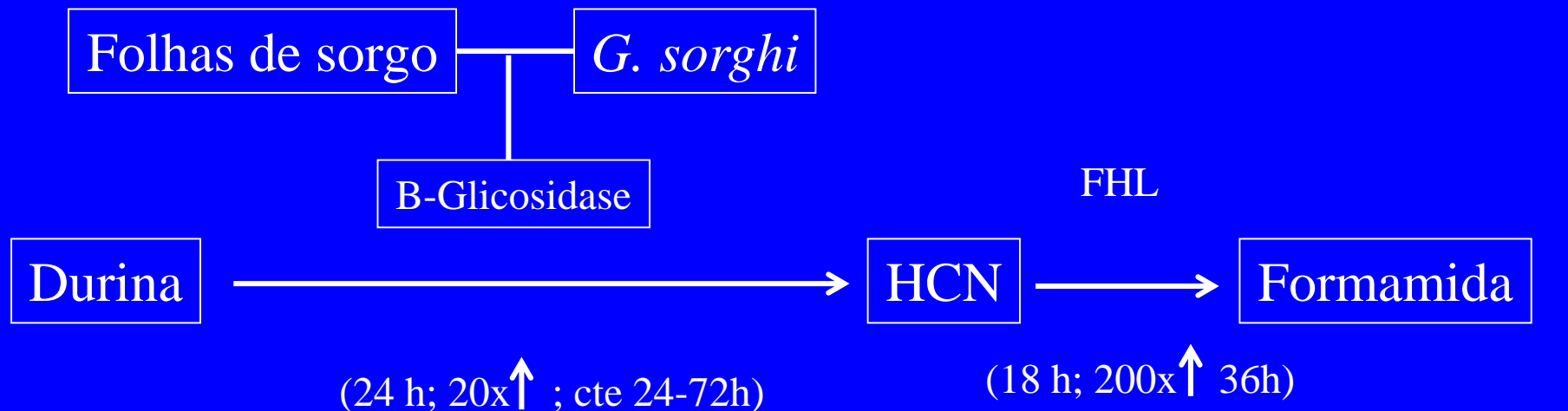
⇒ Linamarina — plantas de trevo (*Lotus corniculatus*)

## ⇒ Glicosídeos cianogênicos

Detoxificação do HCN



- Sorgho x *Gloeocercospora sorghi* (Mancha zonada)



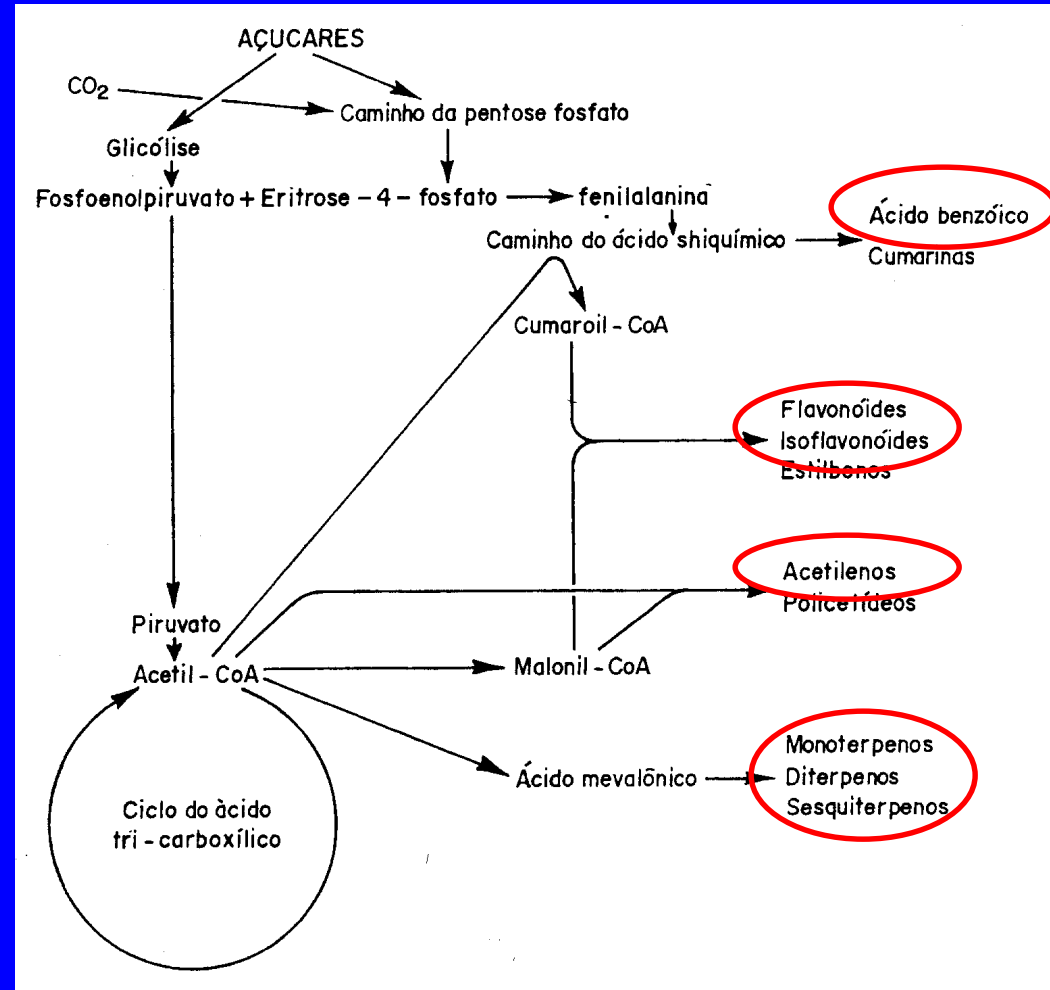
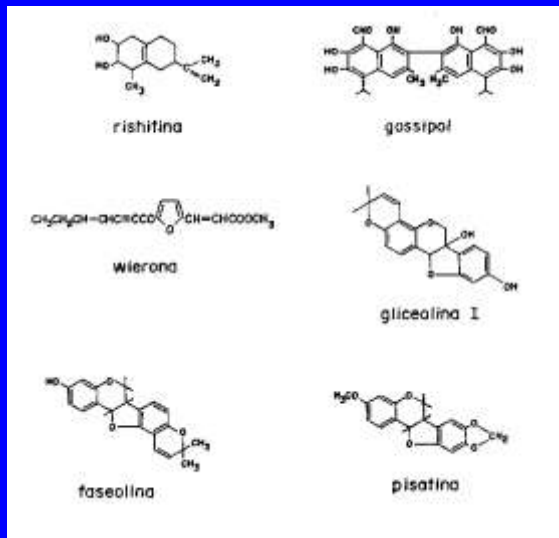
FHL = Formamida hidrolase

# MECANISMOS DE RESISTÊNCIA

## Bioquímicos pós-formados

### ⇒ Fitoalexinas

- Compostos antimicrobianos de baixa massa molecular, sintetizados pelas plantas, que acumulam em células vegetais em resposta à infecção microbiana.

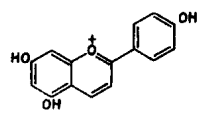


# Mecanismos de Defesa

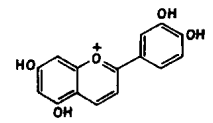
## Fitoalexinas

Sorgo  
X  
*Colletotrichum  
sublineolum*

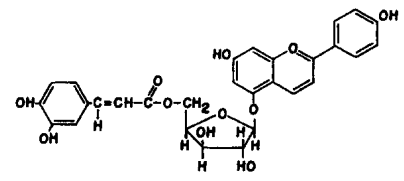
(Ralph L. Nicholson)



apigeninidina



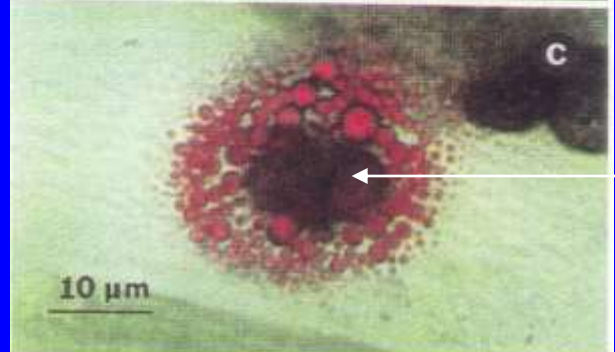
luteolinidina



éster do ácido cafeico com arabinosil 5-O-apigeninidina



22 horas



30 horas

Apressório



45 horas

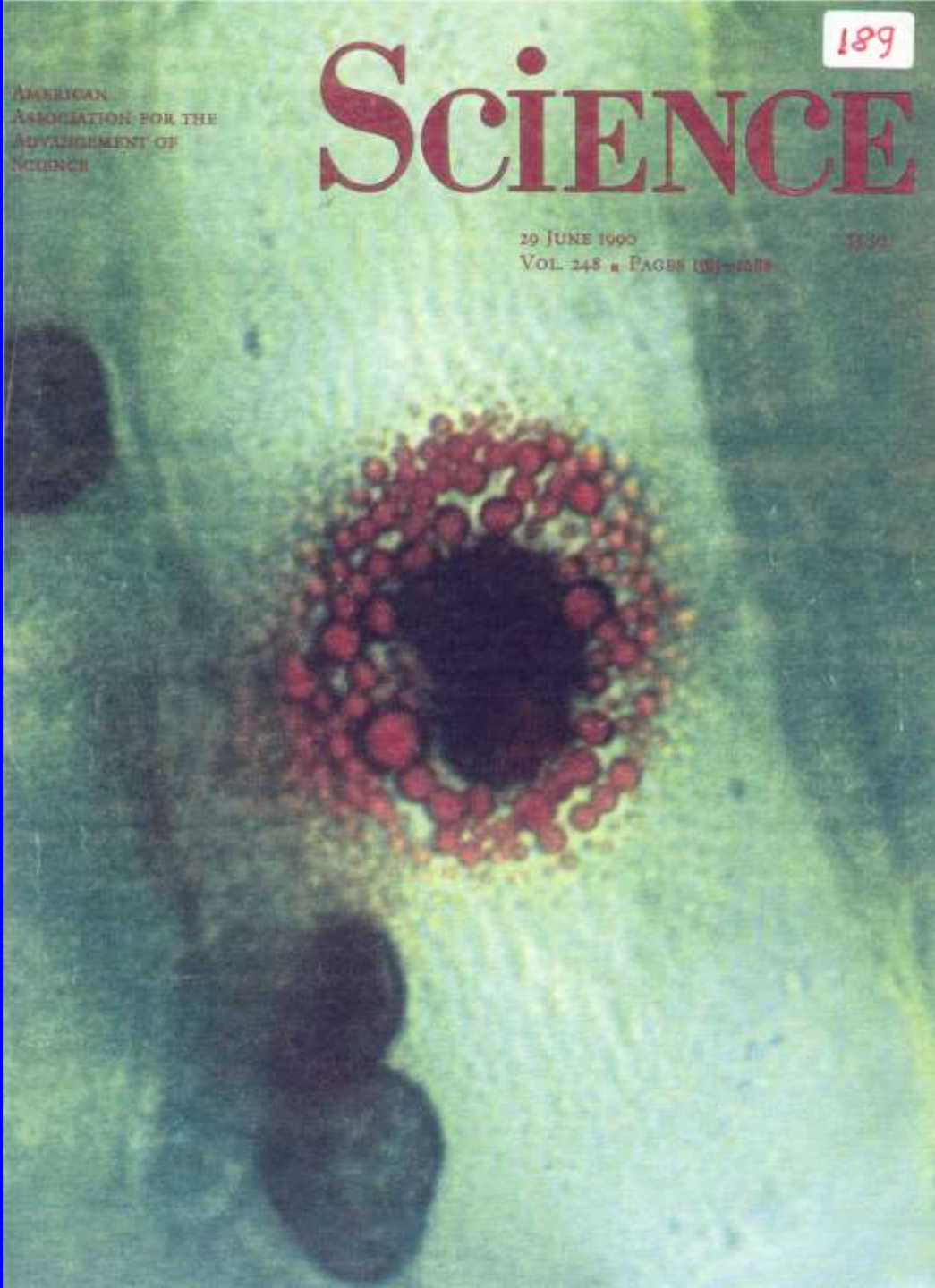
189

AMERICAN  
ASSOCIATION FOR THE  
ADVANCEMENT OF  
SCIENCE

# SCIENCE

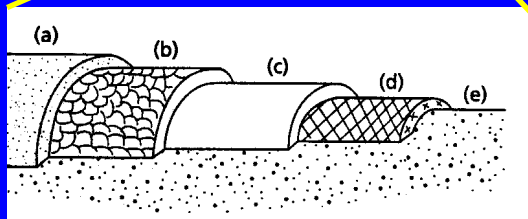
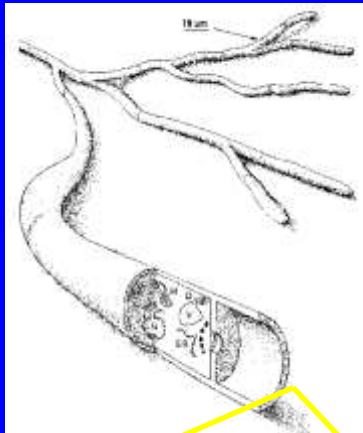
29 JUNE 1990  
VOL. 248 ■ PAGES 1051-1529

\$13.00



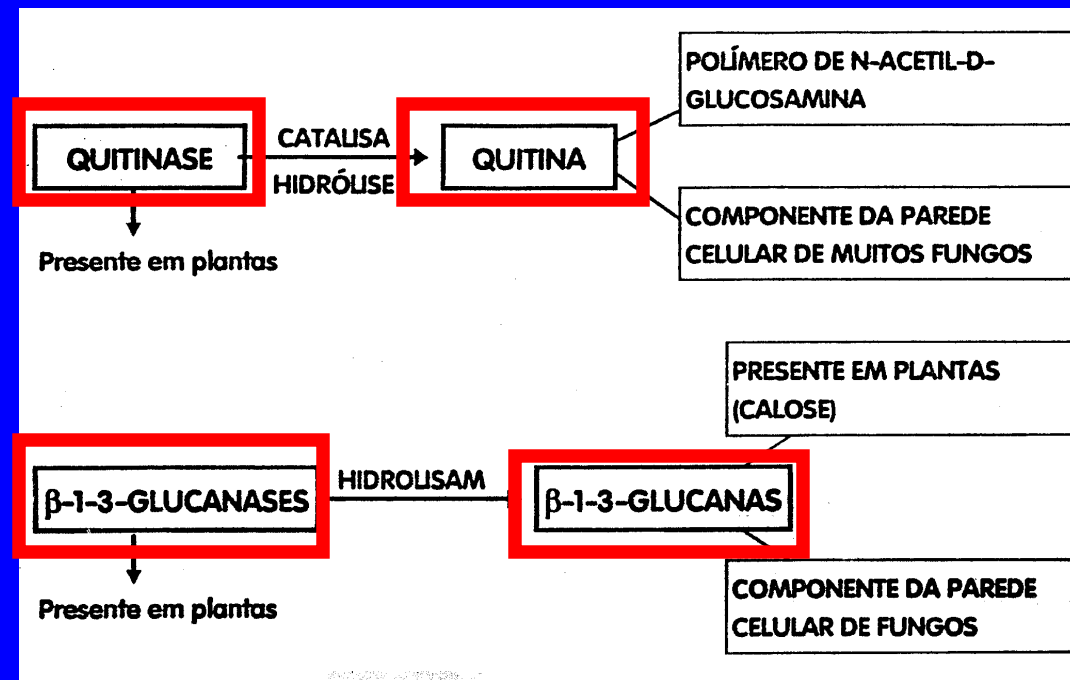


# MECANISMOS DE RESISTÊNCIA - Bioquímicos pós-formados

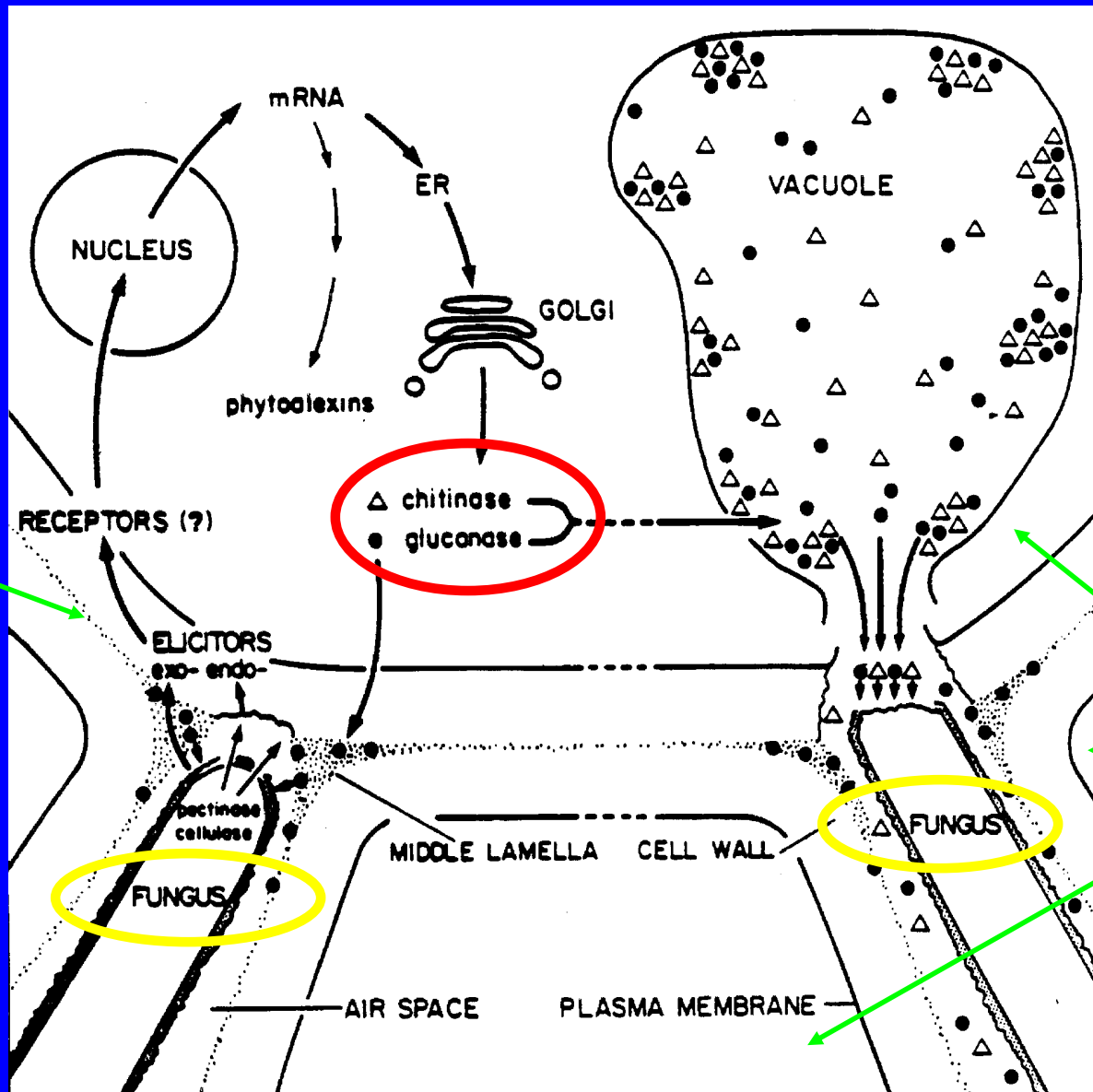


- (a) -  $\beta$ -1,3 e  $\beta$ -1,6-glucanas
- (b) - Retículo glicoproteico
- (c) - Proteína
- (d) - **Microfibrilas de quitina**
- (e) - Plasmalema

⇒  $\beta$ -1,3-glucanases e quitinases.



# Mecanismos de Defesa - Quitinases e B-1,3-Glucanases



Lamela média

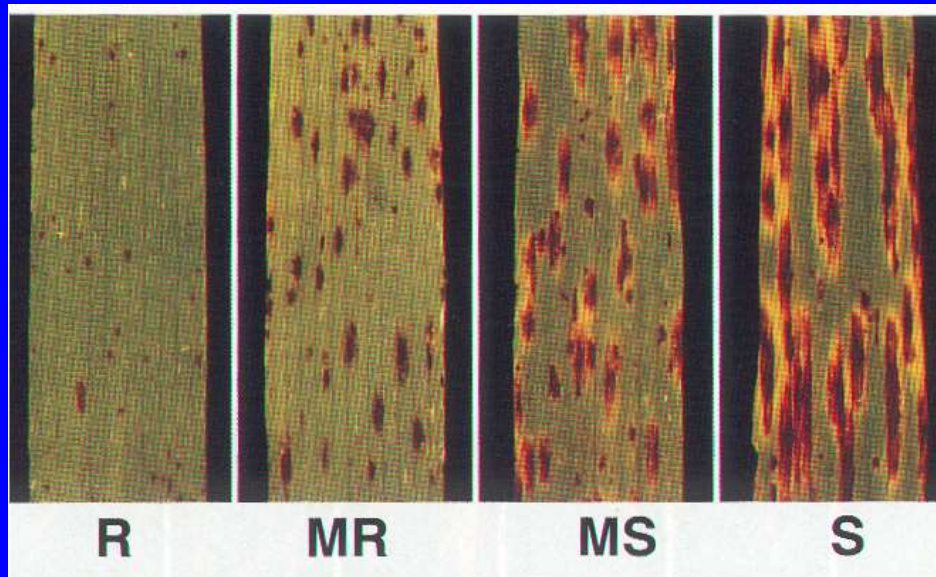
Célula vegetal

# Resistência

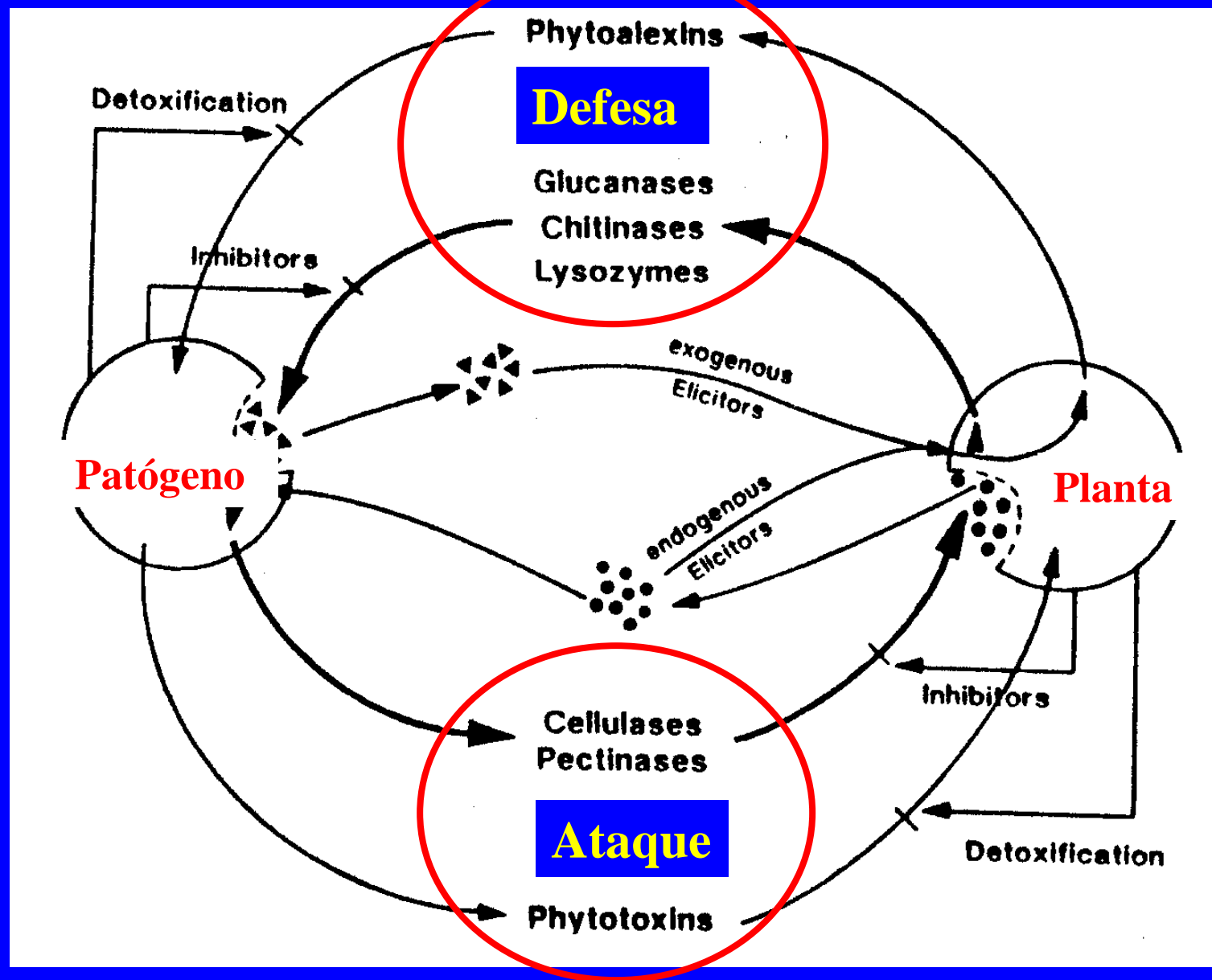
- Sistema multicomponente (resulta de um número de mecanismos operando de maneira integrada e coordenada)
- Para serem efetivos os mecanismos de defesa devem ocorrer em uma sequência específica durante a infecção e a colonização

# Nível de resistência

“Soma das contribuições de um número de mecanismos de resistência (constitutivos / induzidos)”



Cevada  
X  
*Cochliobolus sativus*



**Patógeno x Planta – complexidade da interação**

Qual é a utilidade dos estudos  
sobre os mecanismos de  
resistência em plantas ?

---

⇒ Indução de resistência

# Resistência induzida

---

Ativação de mecanismos de resistência latentes nas plantas em resposta ao tratamento com indutores (agentes bióticos ou abióticos)

A ação se dá sobre a planta hospedeira modificando a sua relação com o patógeno

# Resistência induzida

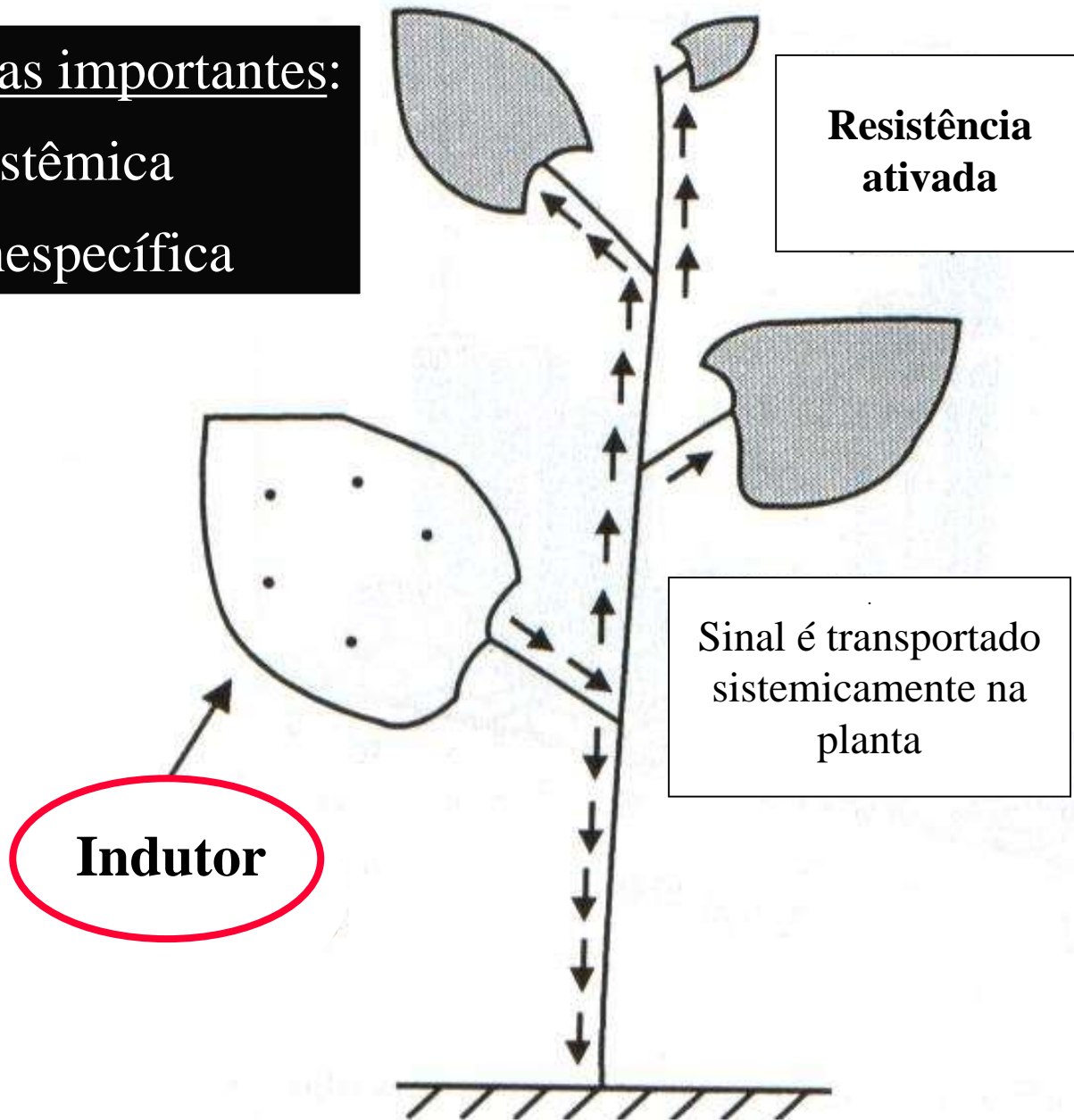


\*Provocador = desafiador = patógeno (“Challenger”)



Características importantes:

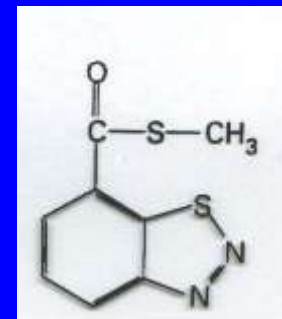
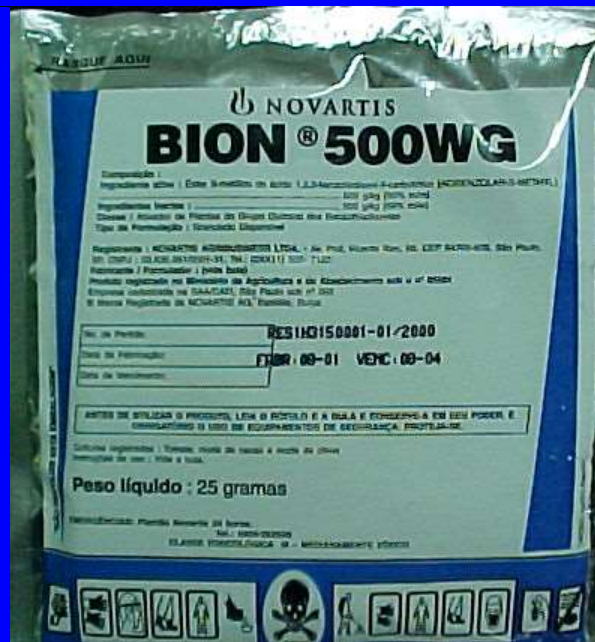
- Resposta sistêmica
- Resposta inespecífica



# Ativador de plantas (“Plant activator”)

(Ativadores químicos da “resistência induzida”)

BION (Acibenzolar-S-methyl) - Éster S-metílico do ácido  
1,2,3-benzotiadiazol-7-carbotióico – composto sintético  
(1996)





5 semanas  
Bion → *H. vastatrix*



8 semanas  
Bion → *H. vastatrix*

Indução de resistência em plantas de café contra *Hemileia vastatrix* (Ferrugem)

Tempo de duração entre a indução e a inoculação

## Tratamento Produtor + Bion

Incremento: 5% na produção e 6% na qualidade (especial/miúda)

**Especial**



**Miúda**



## Tratamento Produtor

**Especial**

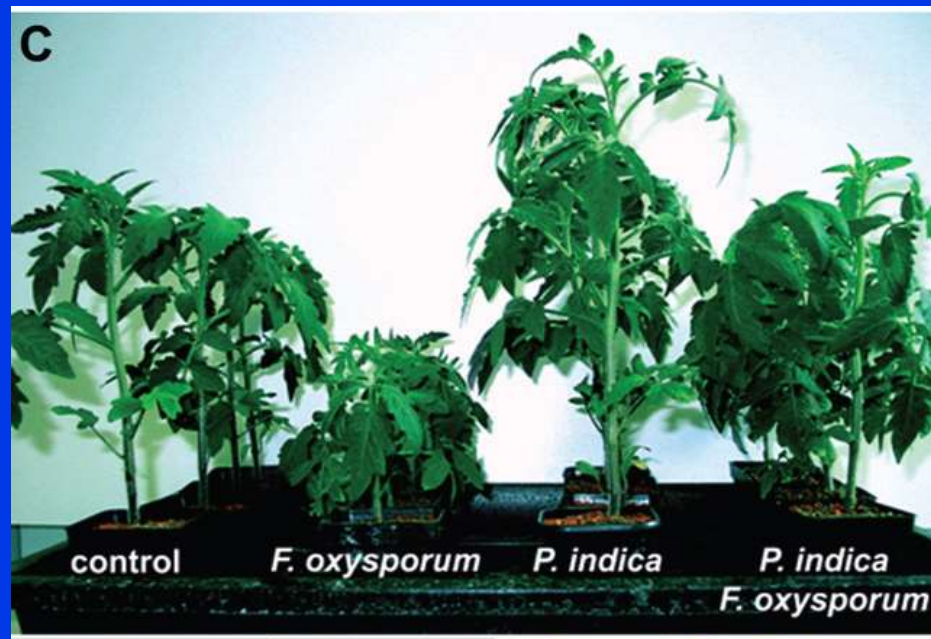


**Miúda**

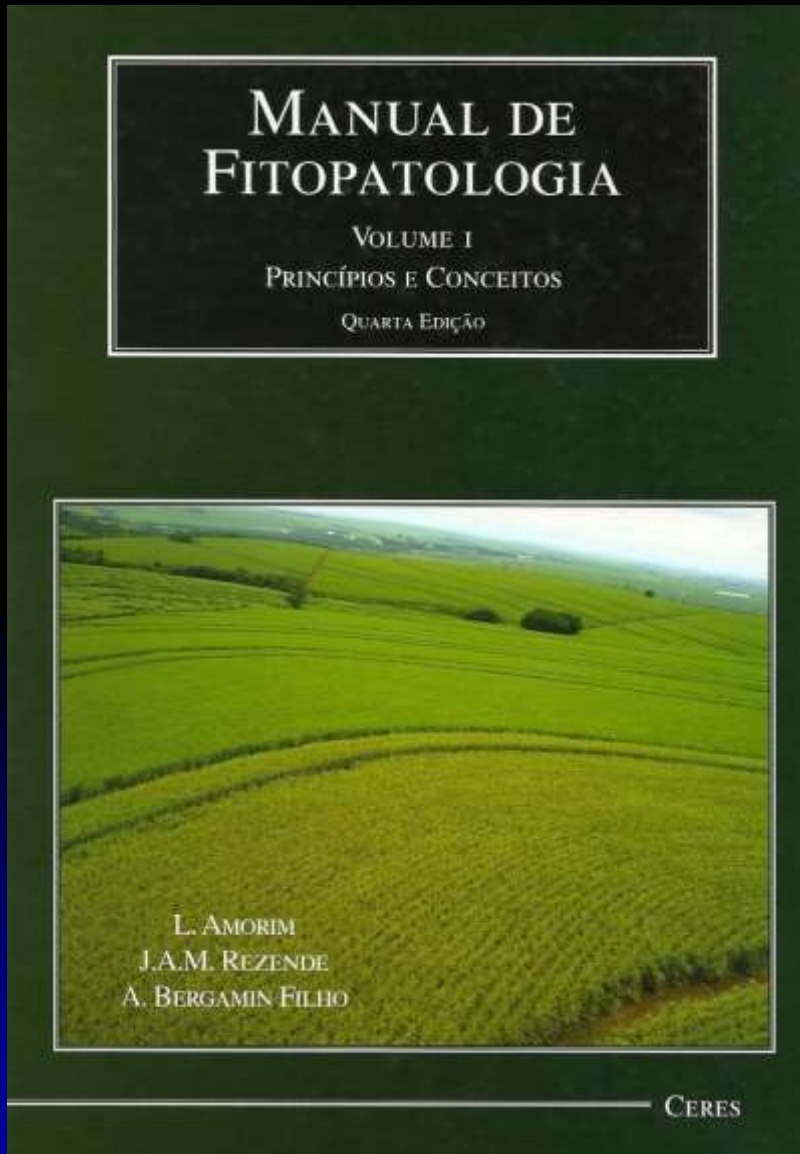


## *Piriformospora indica* – indutor de resistência

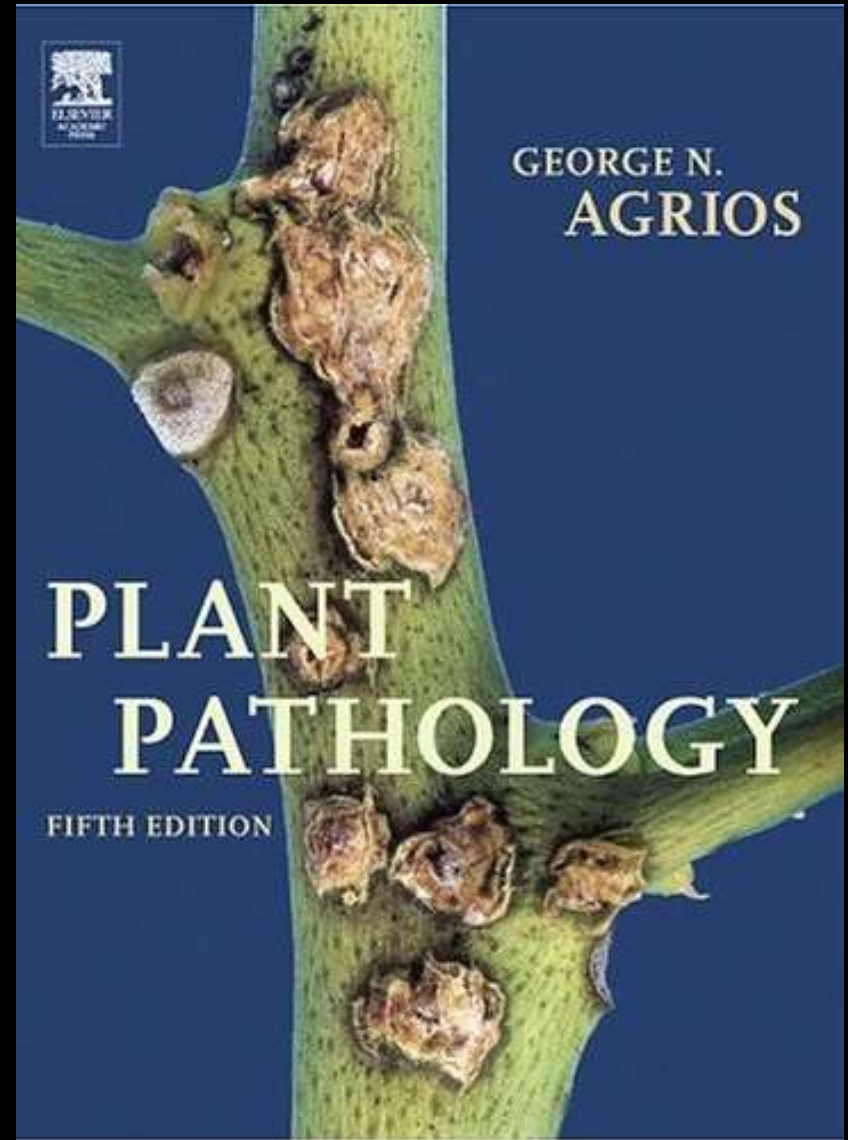
Tomateiro cv. Hildaris protegido por *P. indica* contra *Fusarium oxysporum*



# Principais livros



(2011)



(2005)

# Fisiologia do Parasitismo



UNB - 2003



Fealq - 2008