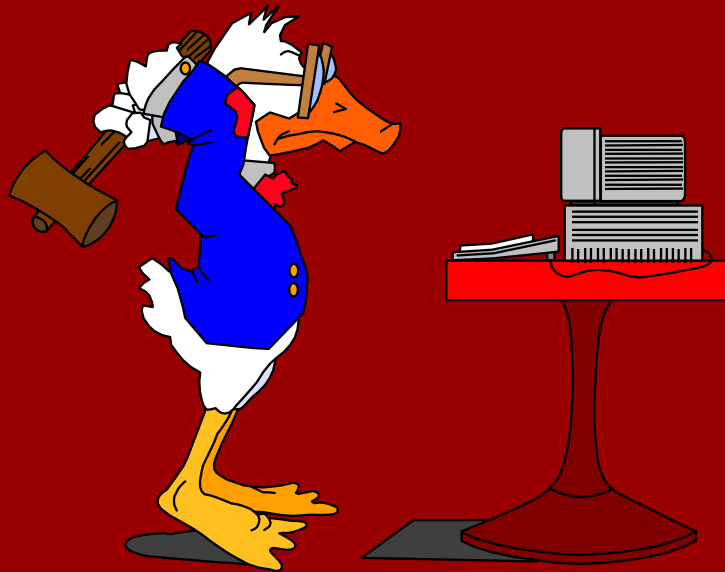


# *Modelagem e Simulação*

uma ferramenta para estudar sistemas dinâmicos



*Dra. Kátia R. P. A. Sgrillo*

*(ksgrillo@unimep.br)*

# Sistema



Conjunto de partes que interagem com um objetivo.

Não existem regras gerais para sistemas. O próprio *sistema* não tem fronteira

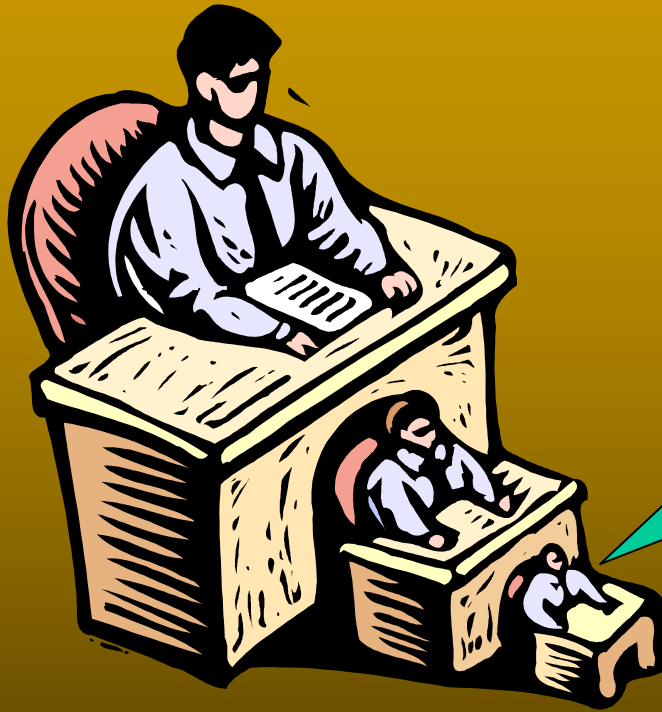
O observador define os limites do *sistema*



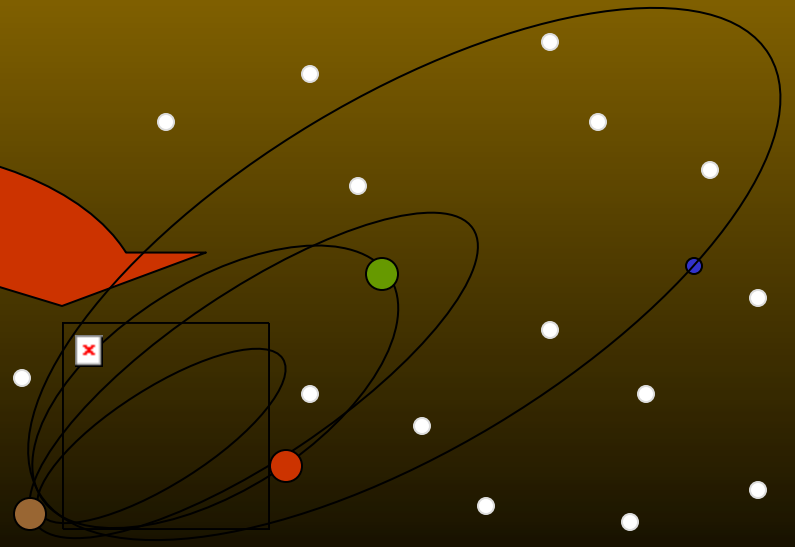
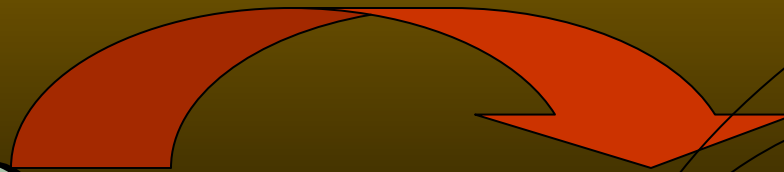
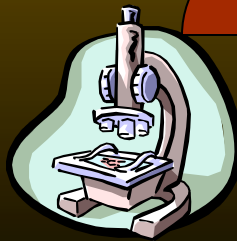
exemplos...

televisão

# Sub-sub-sub-sistemas

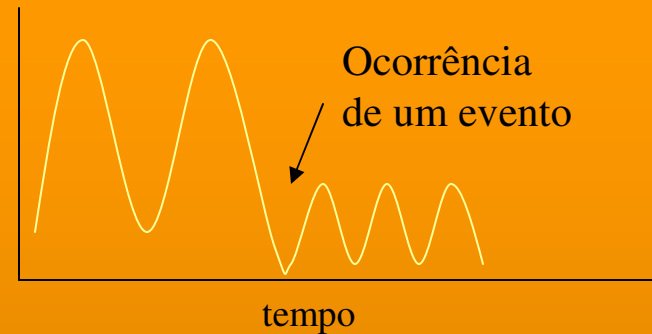


Os sistemas podem partir do micro e variar até o macro de acordo com visão do observador e dos objetivos que se pretende alcançar.





# Princípios



## Oscilações



*Os diferentes sistemas oscilam ao longo do tempo com diferentes frequências e amplitudes.*

## Homeostase



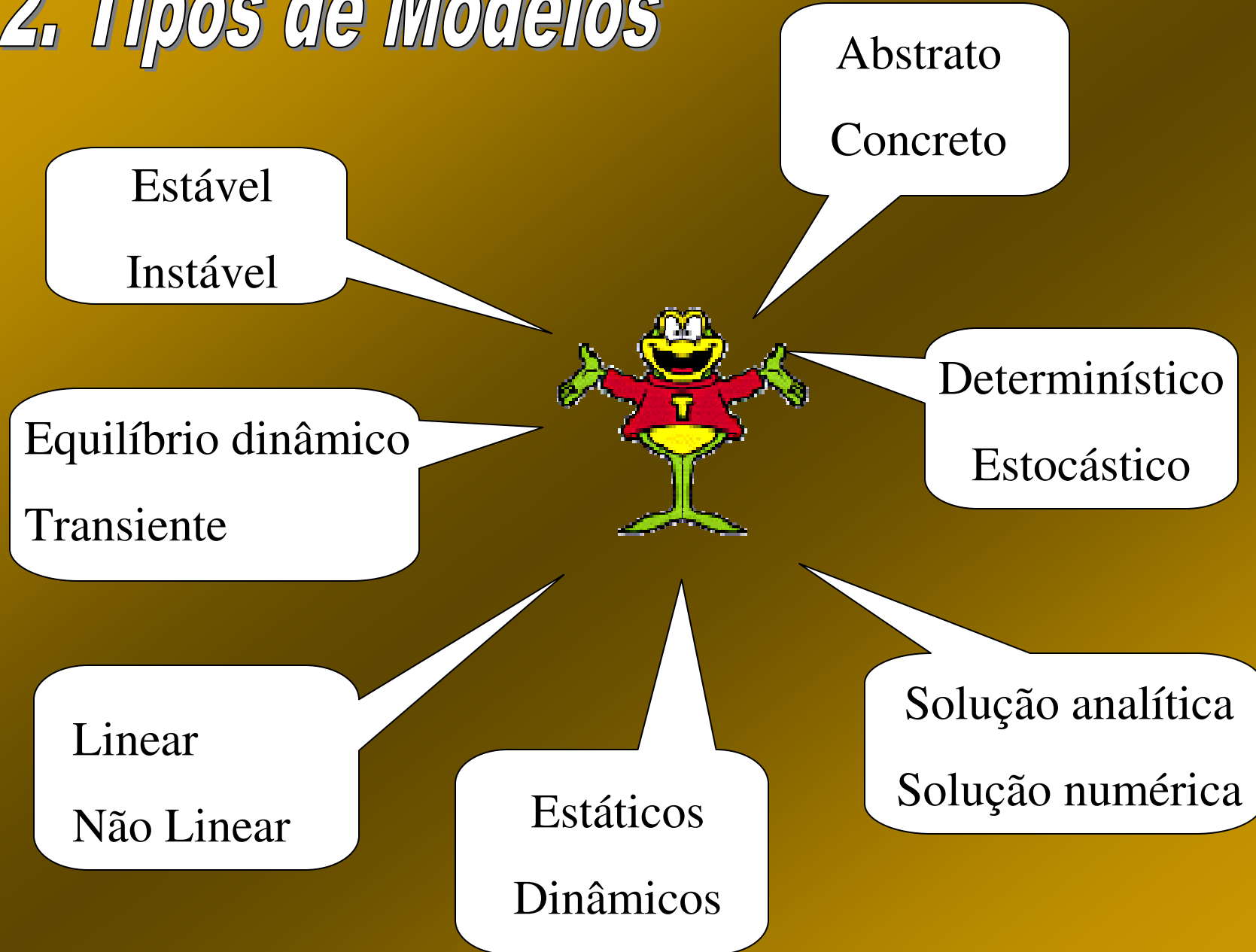
*Habilidade que os sistemas possuem de retornar ao equilíbrio.*

## Propriedades emergentes



*O sistema possui propriedades específicas que nenhuma das partes possui. A interação das partes é diferente (muito mais) do que a soma das partes.*

## 2. Tipos de Modelos



# Sistemas são dinâmicos

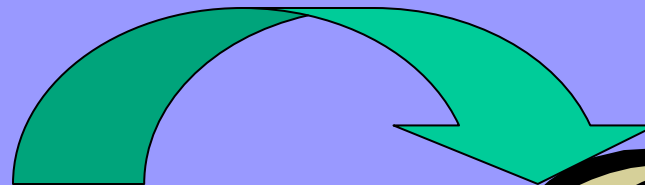
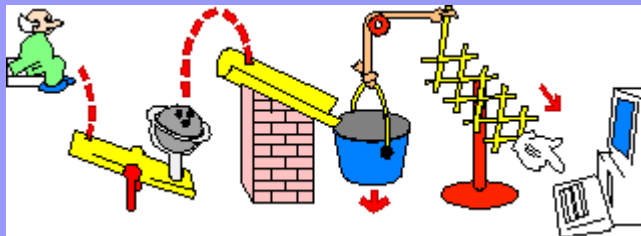


Quantidade  
varia ao longo  
do tempo

# O que são modelos para simulação ?

Tecnologia que consiste em construir  
**"maquetes virtuais"**, modelos da realidade, onde seus elementos têm "vida própria" e reagem, entre si e com o ambiente, como no mundo real.

Desta forma, pode-se projetar no tempo o efeito de mudanças e interferências neste ambiente ou nos elementos nele contidos. É possível projetar custos, prever receitas e analisar opções de ações distintas.



# no passado ... Solução Analítica

$$X(t+dt) = X(t) + dt * (taxa * X(t))$$

$$\frac{X_{t+dt} - X_t}{dt} = taxa \times X_t$$

$$\frac{dX}{dt} = taxa \times X$$

$$\int_{X_0}^{X_t} \frac{dX}{X} = \int_0^t taxa \times dt$$

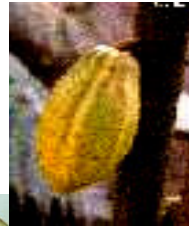
Integrando ...



$$X_t = X_0 \times e^{taxa \times t}$$



# O que se pode modelar ?



Ciclos de culturas



Sistemas de produção



clima

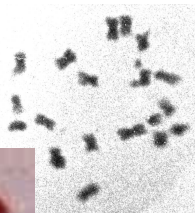


Fatores econômicos



Controle químico e biológico

Ciclos biológicos de pragas



Diversidade genética



Reações bioquímicas (intracelulares)

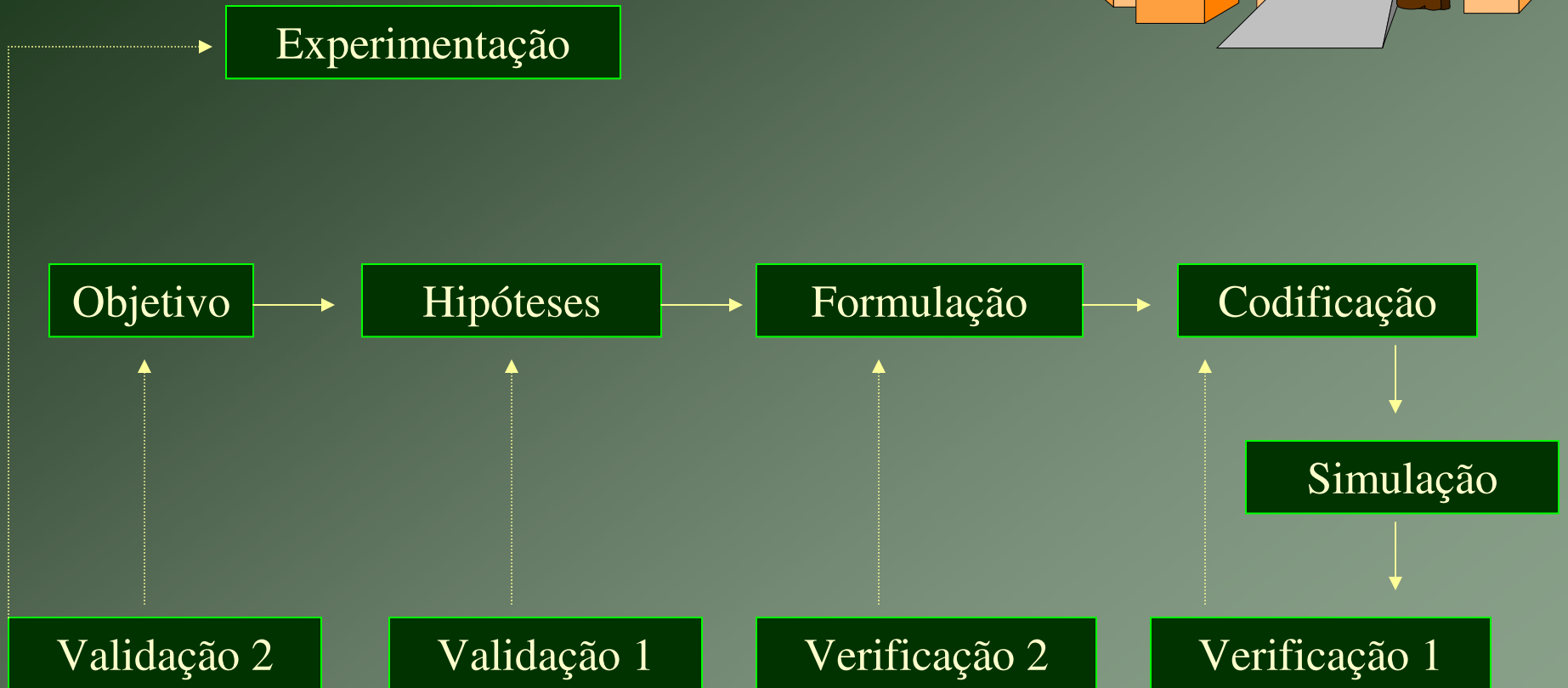


Meios de transporte

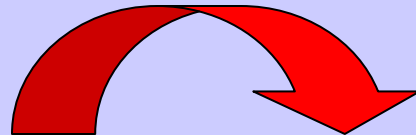


qualquer sistema

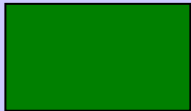
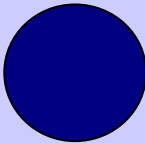


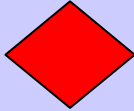



# Metodologia

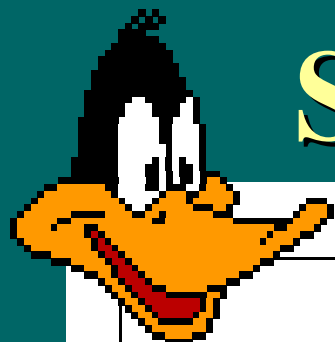


# Construção de um modelo para simulação



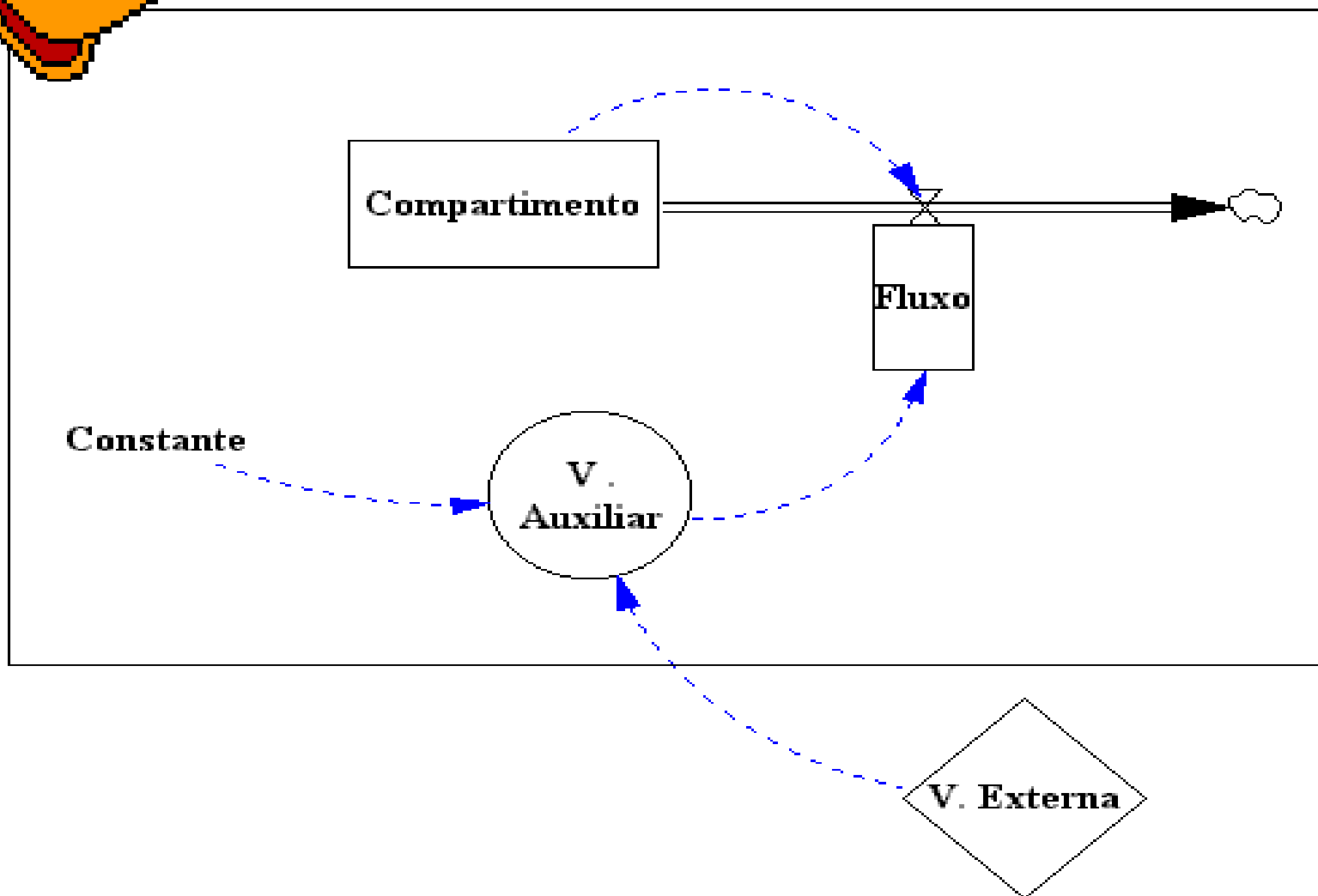
## Símbolos (Forrester)

A)		compartimento	e)		variável auxiliar
B)		fonte ou dreno	f)		taxa
c)		variável externa	g)		parâmetro
d)		fluxo de materia	h)		fluxo de informação

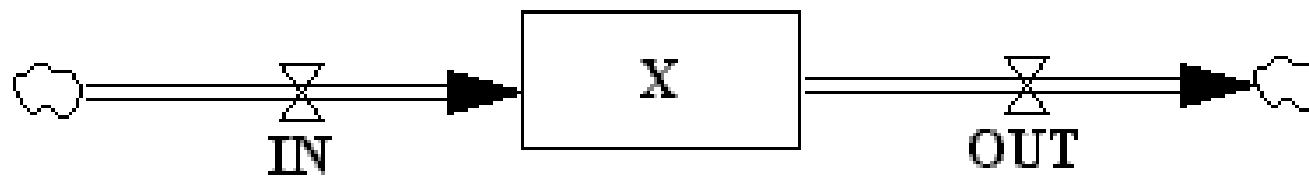


# Símbolos (Forrester)

Fronteiras Sistema



# ***EQUAÇÃO BÁSICA***



$$X(t+dt) = x(t) + dt * (IN - OUT)$$



# Taxas e fluxos



1

tempo

quantidade

tempo

Importante:



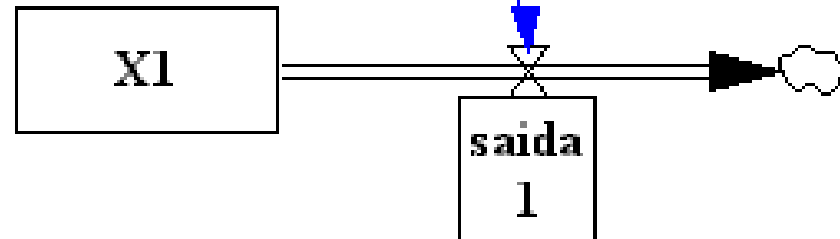
Significado das variáveis

Dimensões (unidade)

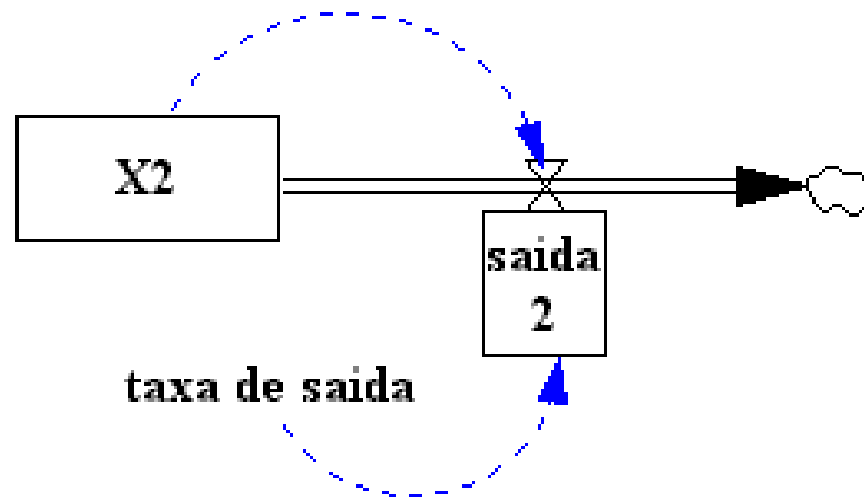
Efeito do dt

$X < 0$  ?

fluxo de saída



$$X1(t+dt) = X1(t) - dt * (saida)$$



$$X2(t+dt) = X2(t) - dt * (taxa * X2(t))$$

# Equações e unidades:

$$\text{População}_{(t+dt)} = \text{População}_{(t)} + dt * (\text{nascimentos} - \text{mortes})$$

$$\text{indivíduos} = \text{indivíduos} + \text{tempo} * (\text{indivíduos/tempo} - \text{indivíduos} / \text{tempo})$$

$$\text{mortes} = \text{população} / \text{longevidade}$$

$$\text{indivíduos/tempo} = \text{indivíduos} / \text{tempo}$$

$$\text{nascimentos} = \text{fêmeas} * \text{fertilidade} * \text{sobrevivência} / \text{gestação}$$

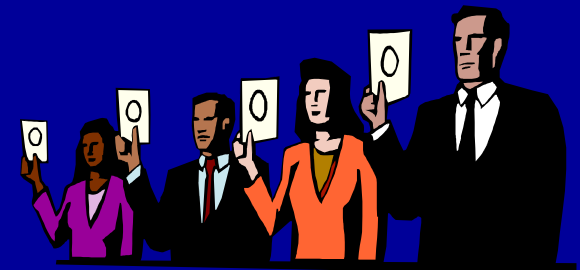
$$\text{indivíduos/tempo} = \text{indivíduos} * \text{indivíduos/indivíduos} * 1 / \text{tempo}$$

$$\text{fêmeas} = \text{população} * \text{proporção de fêmeas}$$

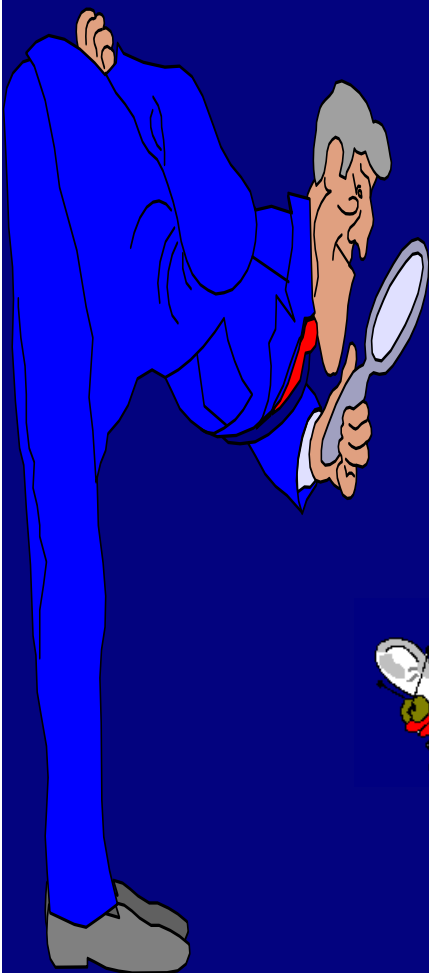
$$\text{indivíduos} = \text{indivíduos} * 1$$

$$\text{densidade populacional} = \text{população} / \text{área}$$

$$\text{indivíduos/m}^2 = \text{indivíduos/m}^2$$



# Exemplo



# MODELO-SIT

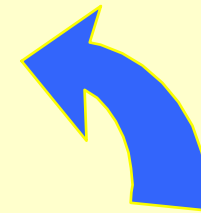
*Kátia R. P. de Araújo Sgrillo*

Doutorado - CENA/USP

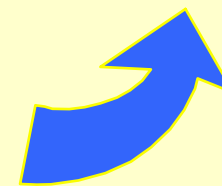




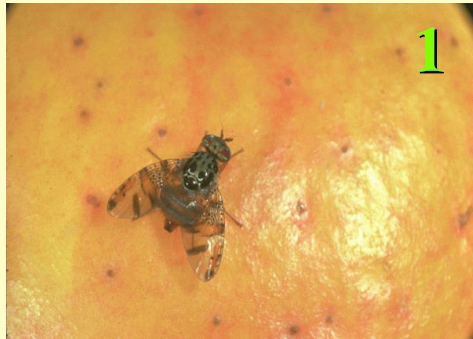
**Adultos** emergindo, irão acasalar e reiniciar o ciclo



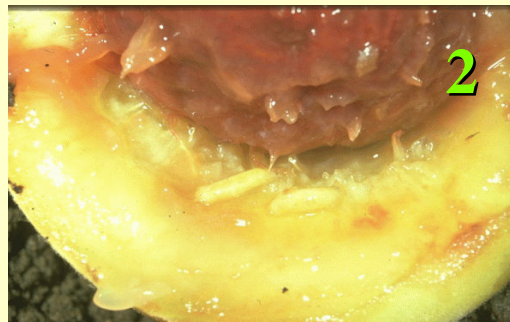
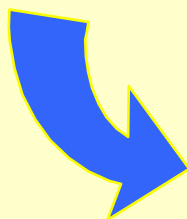
**Pupas** se desenvolvendo no solo



# Ciclo de Vida das moscas das frutas



**Ovos** ovipositados no fruto



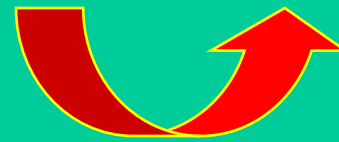
**Larvas** se alimentando do fruto



O que é a SIT ??

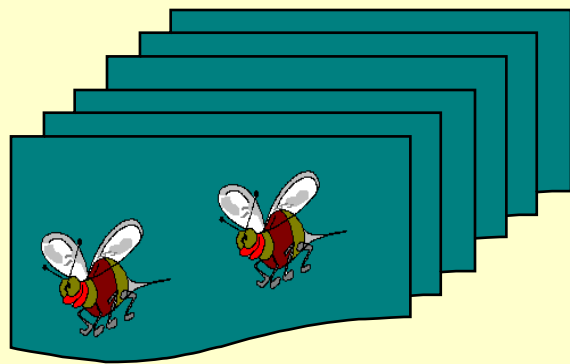
**Acasalamento  
estéril**

**Aniquilamento  
da população**

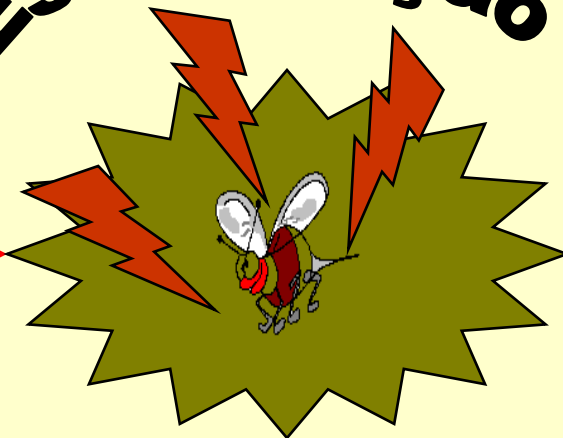


Como se consegue ??

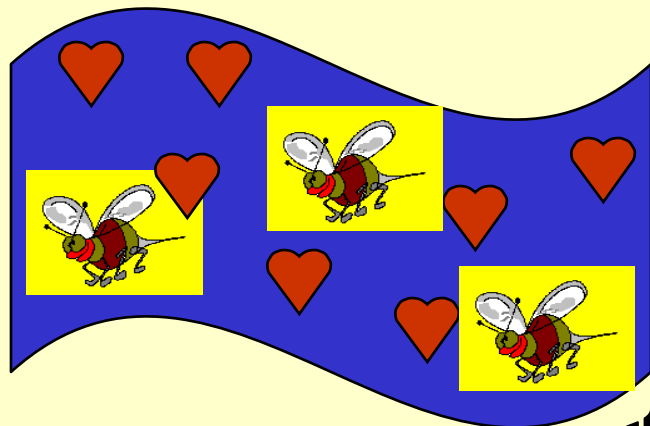
**Criação massal**



**Esterilização**



**Libração**

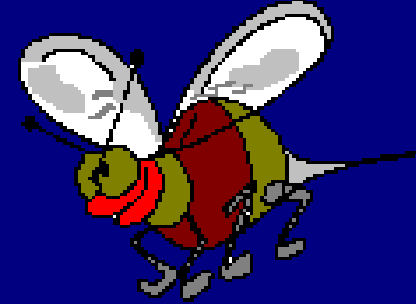


**acasalamento esteril**



**Erradicação**

# Objetivos:



Desenvolvimento de um modelo para simulação, que permita:

- ✓ determinar o número de insetos (machos) estéreis a ser liberado/produzido;
- ✓ determinar a frequência de liberação;
- ✓ necessidade de aplicação de outras táticas de controle;
- ✓ determinar a interferência do clima na SIT;
- ✓ avaliar o desenvolvimento de resistência à SIT, por comportamento.

# Hipóteses:

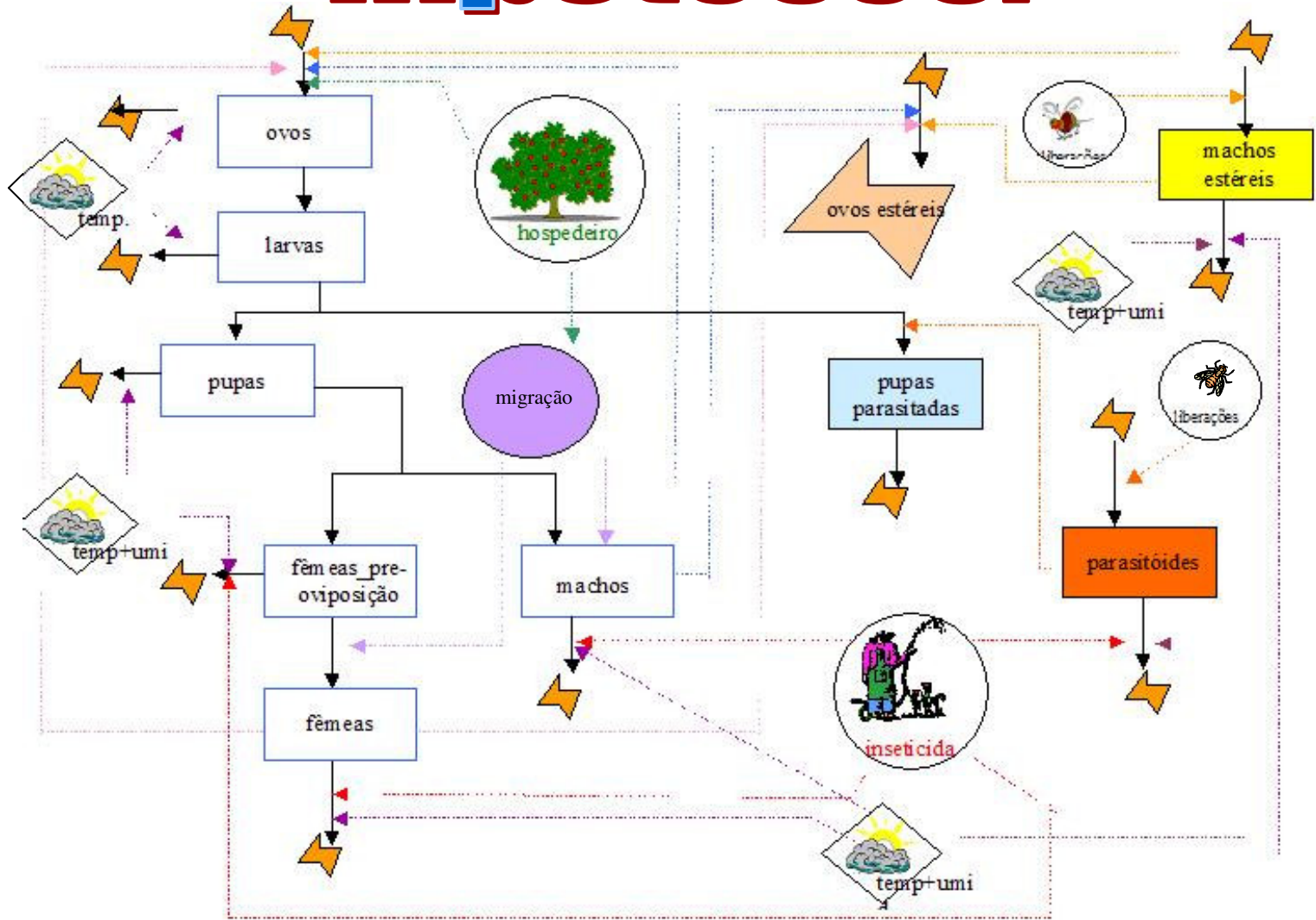


Diagrama segundo Forrester (1968), modificado, representando as interações das variáveis do sistema em estudo

# Equação Geral do Modelo:

---

$$X_{(t+dt)} = X_{(t)} + dt (\text{entrada} - \text{saída})$$

onde:

$X_{(t+dt)}$  - representa a quantidade de indivíduos no instante de tempo  $t+dt$ ;

$X_{(t)}$  - representa a quantidade de indivíduos no instante de tempo  $t$ ;

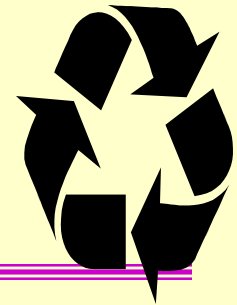
$dt$  - intervalo para integração;

entrada - funções que representam as interações entre as variáveis que influenciam o(s) fluxo(s) de entrada;

saída - funções que representam as interações entre as variáveis que influenciam o(s) fluxo(s) de saída



# Fluxos de Entrada



## Compartimento de Ovos:

$$Fe(\text{ovos}) = \sum_{i=1}^{n_{\text{classesfemeas}}} \text{femea}(i) * \text{fecdia}(i) * \text{prop} * \text{prob}_{\text{encontrar\_fruto\_disponivel}}$$

## Compartimento de Larvas:

$$Fe(\text{larvas}) = \text{Ovos\_ferteis}(\text{ultima\_classe}) * \frac{Z(\text{ovos})}{rt(\text{ovos})}$$

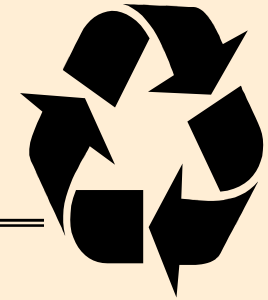


## Compartimentos de Pupas:

$$Fe(\text{pupas}) = \text{Larvas}(\text{ultima classe}) * (1 - \text{parasitismo}) * \frac{Z(\text{larvas})}{rt(\text{larvas})}$$

$$Fe(\text{pupas\_parasitadas}) = \text{Larvas}(\text{ultima classe}) * \text{parasitismo} * \frac{Z(\text{larvas})}{rt(\text{larvas})}$$

# Fluxos de Entrada



## Compartimento de Machos:

$$Fe(\text{machos\_ferteis}) = \text{Pupas}(\text{ultima\_clase}) * Z(\text{pupas}) * \frac{(1 - rs)}{rt(\text{pupas})}$$

## Compartimento de Fêmeas em pré-oviposição:

$$Fe(\text{femea\_pre}) = \text{Pupas}(\text{ultima\_clase}) * Z(\text{pupas}) * \frac{rs}{rt(\text{pupas})}$$

## Compartimento de Fêmeas em oviposição:

$$Fe(\text{femeas\_ferteis}) = \text{Femeas\_pre}(\text{ultima\_clase}) * \frac{Z(\text{femeas\_pre})}{rt(1)} + \text{imigr}$$

## Compartimento de Parasitiódes:

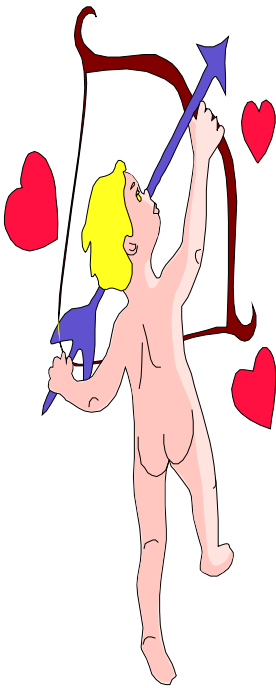
$$Fe(\text{parasitoides}) = \text{Pupas\_paras}(\text{ultima\_clase}) * \frac{Z(\text{parasitoides})}{rt(\text{pupas\_parasitadas})} + Fe(\text{paras\_liberado})$$





# Fecundidade

Depende da temperatura e idade das fêmeas

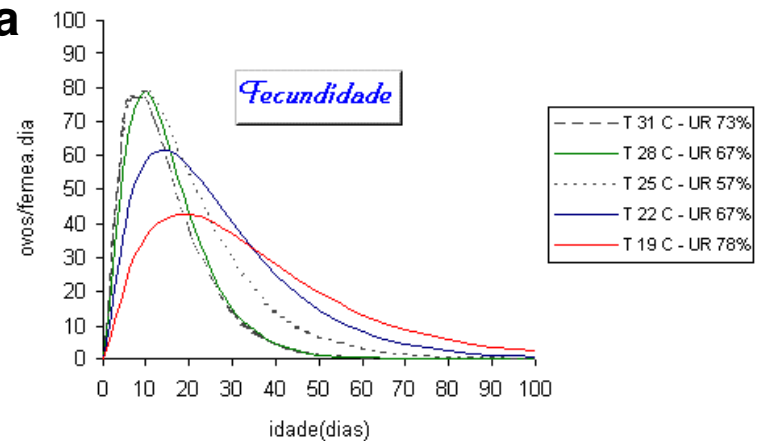


$$\text{Fecdia}(i) = k_4 * \exp [(-k_5) * \text{rt}(\text{femeas})] * (i * \text{rt}(\text{femeas}))^{k_6}$$

n\_classes\_femas

$$\text{Fecundid} = \sum_i \text{fecdia}(i)$$

$$\text{Fecdia} = \text{Fecdia}(i) * \frac{\text{Fec\_media}}{\text{Fecundid}}$$



(Muniz & Gil, 1984)

# Posturas e infestação



$$\text{Novas\_posturas} = \frac{\text{fe\_ovos\_ferteis}}{\text{Int}(k1+(k2-k3*\log(\text{Prob\_encontrar\_frutos\_disponiveis}))*10)}$$

$$\text{Prob\_encontrar\_frutos\_disponiveis} = \frac{\text{frutos\_disponiveis}}{\text{fr\_total}}$$

$$\text{frutos\_disponiveis} = \text{fr\_tot} * \text{pro\_max\_frut\_infes} - \text{frutos\_infestados}$$

$$\text{frutos\_infestados} = \text{frutos\_infestados} + \text{inteiro}(\text{novas\_posturas})$$

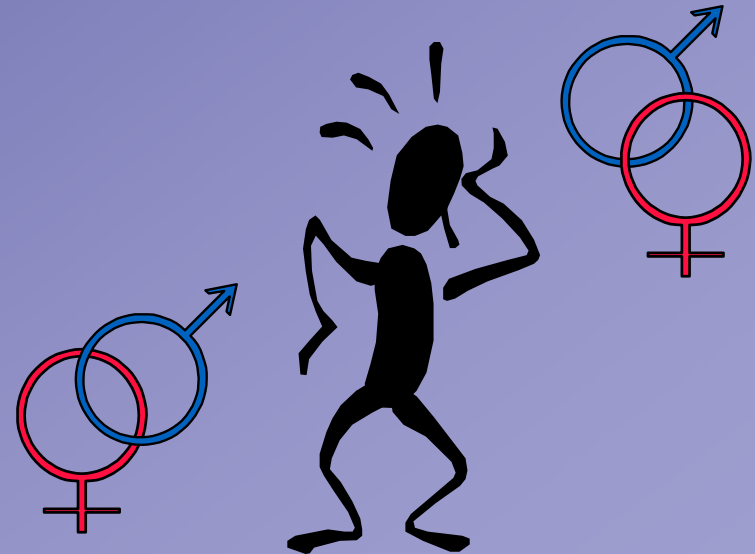
# Proporção entre Machos Nativos e Estéreis

$$\text{prop} = \frac{\text{Machos}}{\text{Machos} + \text{Mestereis} * \text{competiv} * (1 - \text{resist})}$$

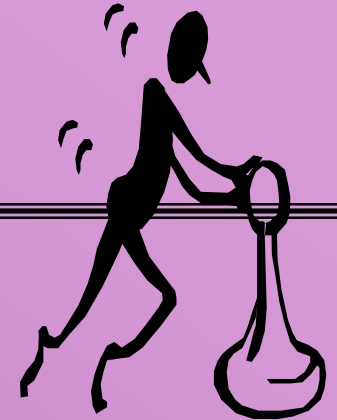
$$(\text{Machos} + \text{Mestereis}) > 0$$

$$\text{prop} = 0$$

$$(\text{Machos} + \text{Mestereis}) \leq 0$$



# Resistencia



$$\text{Diares} = \frac{\text{Ngeracoes} * (\text{K\_ovos} + \text{K\_larvas} + \text{K\_femeas\_pre})}{\text{Temp\_media} - \text{tbase}}$$

$$b = \frac{\ln(\text{Percent\_resistencia})}{\text{Diares}}$$

$$\text{Dia\_que\_ocorre\_resmax} = \frac{\ln(\text{resmax})}{b}$$

$$\text{resist} = \frac{e^{(b * \text{Dias})}}{100}$$

$$\text{Dias} < \text{dia\_que\_ocorre\_resmax}$$

$$\text{Resist} = \frac{\text{resmax}}{100}$$

$$\text{Dias} \geq \text{dia\_que\_ocorre\_resmax}$$



# Transferência e Atualização entre Classes

Pag. 167-169



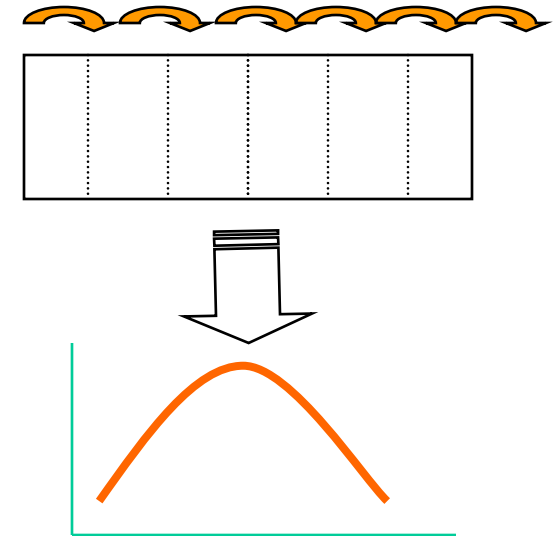
“Boxcar train”

Para primeira classe de cada compartimento (j=1):

$$\frac{\Delta x(i,j)}{\Delta t} = FE_{(i)} - \frac{x_{(i,j)}}{rt_{(i)}}$$

Para as demais classes (j>1):

$$\frac{\Delta x(i,j)}{\Delta t} = x_{(I,J-1)} * \frac{Z_{(i)}}{rt_{(i)}} - \frac{x_{(i,j)}}{rt_{(i)}}$$

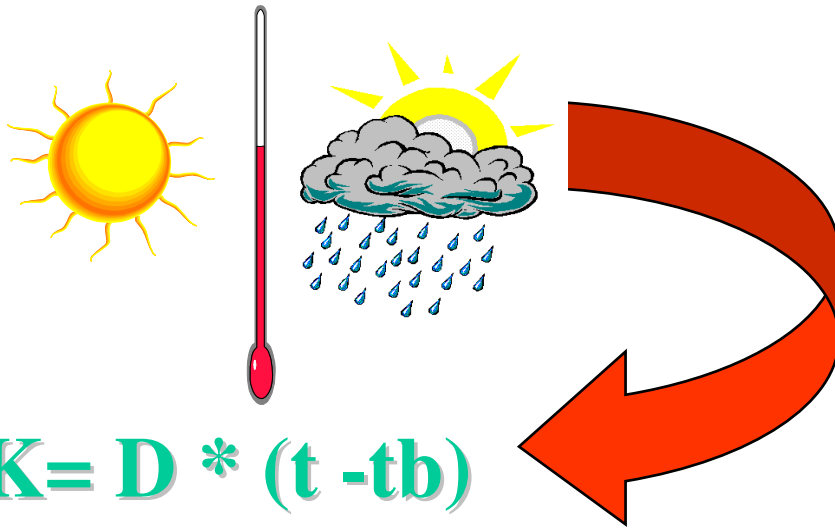


Para machos e fêmeas:

$$\frac{\Delta x(\text{machos\_ferteis})}{\Delta t} = \text{machos\_ferteis}(i,1) * Z(\text{machos\_ferteis}) * (1 - p\_migracao) - \text{machos\_ferteis}$$

$$\frac{\Delta x(\text{femeas\_ferteis})}{\Delta t} = \text{femeas\_ferteis}(i,1) * Z(\text{femeas\_ferteis}) * (1 - p\_migracao) - \text{femeas\_ferteis}$$

# Tempo de Residência



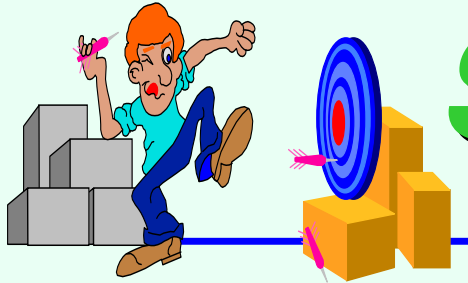
$$K = D * (t - t_b)$$

$$D = \frac{K}{(t - t_b)}$$

**K** = constante térmica  
**t** = temperatura  
**T<sub>b</sub>** = temperatura base  
**r<sub>t</sub>** = tempo de residência  
**D** = duração do desenvolvimento  
**N** = número de classes do compartimento

$$r_{(i)} = \frac{D_{(i)}}{N_{(i)}}$$





# Sobrevivência

nos compartimentos

Função exponencial, dependente da umidade (UR). Muñiz & Gil (1994)

Função linear, dependente da temperatura. Muñiz & Gil (1994)

## OVOS:

$$S_{\text{ovos\_ferteis}} = \frac{k7 + k8 * \text{temper}}{100}$$

## ADULTOS:

(0,287823 \* umidade)

$$S_{\text{adultos}} = 0,00001 * e$$

umidade ≤ 40

$$S_{\text{adultos}} = 1$$

umidade ≥ 40

## PUPAS:

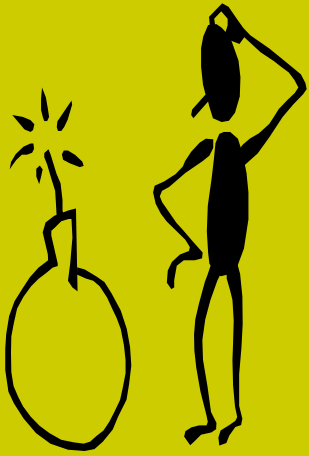
Constante, ajustada empiricamente

$$S_{\text{pupas}} = k$$

Função linear, dependente da densidade populacional.  
Valores ajustados empiricamente  
(Mariconi, 1963;  
Malavasi et al. 1994; Lobos, 1999;  
Muñiz & Gil 1984; Sudene, 1995)

## LARVAS:

$$S_{\text{larva}} = 1 - \left[ \frac{\text{mortal\_mínima} + \text{mortal\_maxima} - \text{mortal\_mínima}}{\text{pop\_max}} \right] * \text{larvas}$$



$$Z_{\text{ovo}} = S_{\text{ovo}} \left( \frac{1}{n_{\text{ovo}}} \right)$$

$$Z_{\text{larva}} = S_{\text{larva}} \left( \frac{1}{n_{\text{larva}}} \right)$$

## Sobrevivência

nas Classes

$$Z_{\text{pupa}} = S_{\text{pupa}} \left( \frac{1}{n_{\text{pupa}}} \right)$$

$$Z_{\text{adultos}} = S_{\text{adultos}} \left( \frac{1}{n_{\text{adultos}}} \right)$$

$$Z_{\text{parasitoides}} = S_{\text{parasitoides}} \left( \frac{1}{n_{\text{parasitoides}}} \right)$$



# Liberação de Estéreis

$Fe\_machos\_estereis = machos\_estereis\_liberados * efic\_libera$

$Libera = Libera + \Delta t$

$numlib = numlib + 1$

Compara se o número de liberações e o intervalo entre elas corresponde ao indicado no formulário "SIMULA"



# Migração

$p_{emigracao} = infestacao$

$infestacao \geq infest\_mínima\_emigracao$

$p_{emigracao} = 0$

$infestacao < infest\_mínima\_emigracao$



Emigração  
Chhhhaau...



Ooobbbbaa!!!

$fe\_femeas\_ferteis = migracao\_entrada * efic\_barreira$

$femeas\_ferteis < pop\_mínima\_imigracao$  e

$frutos\_disponiveis > (1 - pop\_max\_frut\_infest) * fr\_tot$

$Efic\_barreira = 1 - \underline{eficiencia\_bar}$



Modelo de Tompson: eficiência do parasito limitado pela fecundidade

# Controle Biológico

$$\frac{-\text{parasitoides} * \text{razao\_sexual\_parasitoides} * \text{fecundidade\_parasitoides}}{\text{larv(ultima\_classe)}}$$

**Parasitismo = 1 - e**

Pag.174-175

# Controle Químico

$$\text{femea\_fer}(i) = \text{femeas\_fer}(i) * (1 - \text{efic\_inset})$$

$$\text{femea\_pre}(i) = \text{femeas\_pre}(i) * (1 - \text{efic\_inset})$$

$$\text{macho\_fer}(i) = \text{macho\_fer}(i) * (1 - \text{efic\_inset})$$

$$\text{parasit}(i) = \text{parasit}(i) * (1 - (\text{efic\_inset} * 0,5))$$



Pag. 175

**efic\_inset**



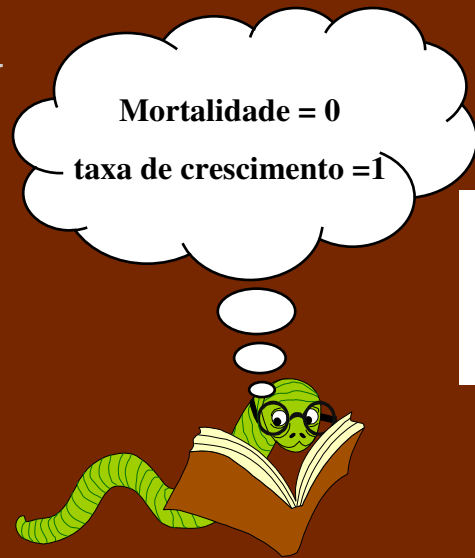
> 95% pulverização aérea

< 95% iscas tóxicas

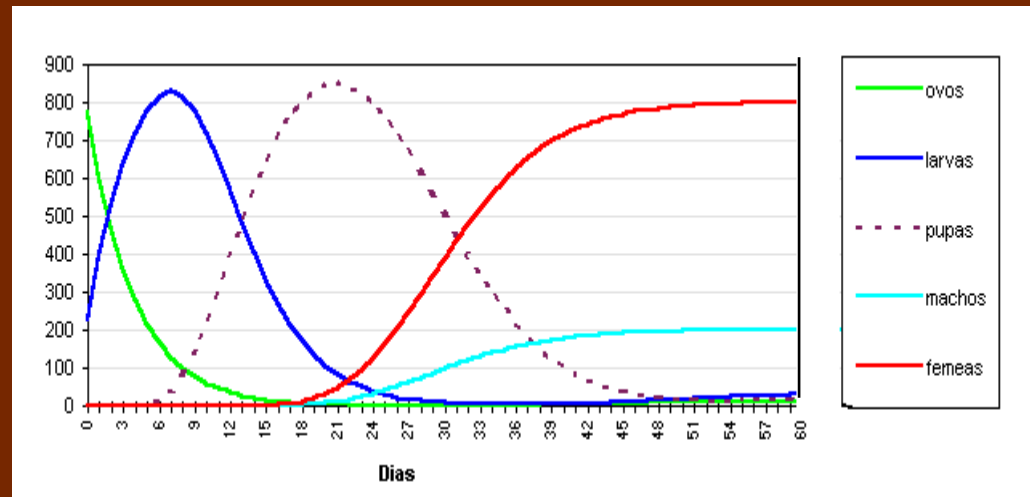
# Resultados

# Simulações

# Viveres individuais

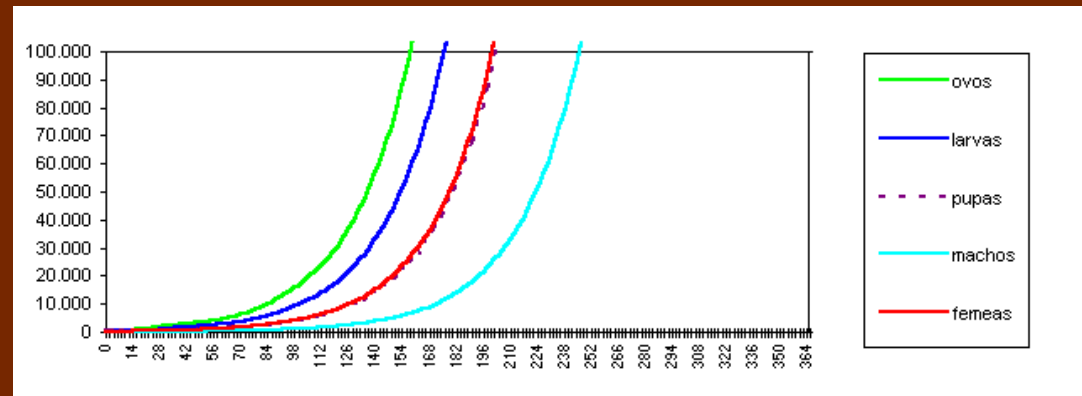


Indivíduos



Dinâmica populacional de *C. capitata*, em equilíbrio dinâmico

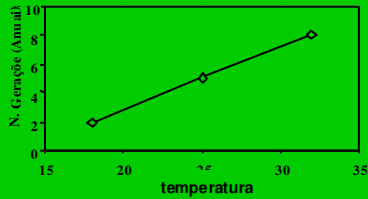
Indivíduos



Dinâmica populacional de *C. capitata*, com crescimento de 5 vezes por geração

# Sensitividade

## Temperatura



✓ Concorde com *Silveira Neto et al. (1976)*

maior temperatura  
maior número de  
gerações por ano

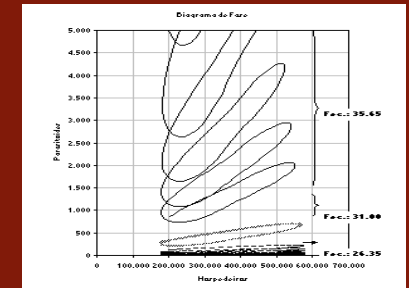
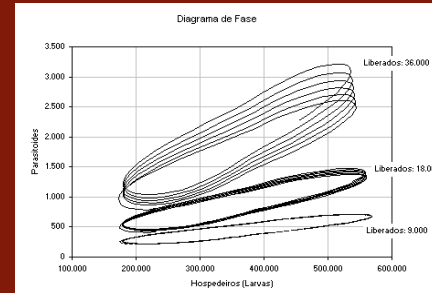
✓ Relação linear entre temperatura  
e número de gerações por ano

Poucos erros  
(1:1)

Pag. 202-204

# Sensitividade

## Eficiência de Parasitismo



➡ Baixa sensibilidade ao número de insetos liberados e  
Alta sensibilidade à fecundidade do parasitóide

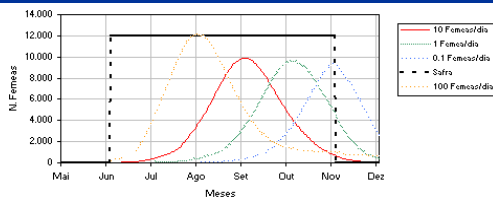
### RECOMENDA-SE

a determinação deste parâmetro para *C. capitata*  
(valor utilizado, Petcharat, 1997 - fecundidade em *Bactrocera papayae*  $34 \pm 3,9$ )

Pag. 205-211

# Sensitividade

## Migração

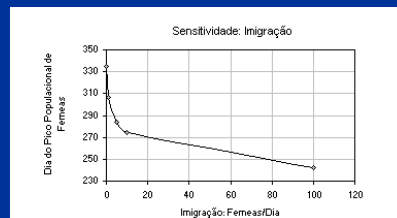


Fluxo 0,1 a 10 - mesmo  
comportamento populacional,  
aumento somente com 100  
fêmeas/dia

Relação aparentemente linear

Comparação entre migração  
e disponibilidade de frutos

Utilização de barreiras fitossanitárias podem  
atrasar o desenvolvimento da praga



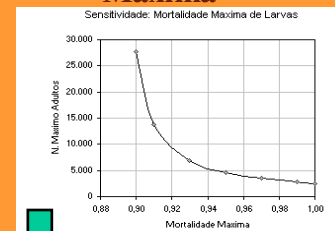
Pag. 212-213

# Sensitividade

## Mortalidade de Larvas

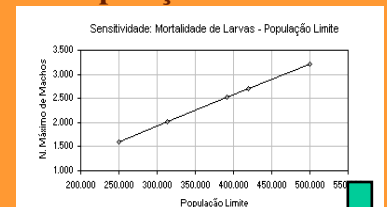
Pag. 193

### Máxima



Exponencial negativa - grande  
interferência no nível populacional

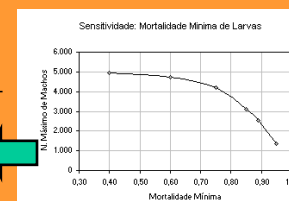
### População Limite



Relação linear - aumento  
proporcional na população

### Mínima

Decréscimo logarítmico -  
grande interferência no  
nível populacional



### RECOMENDA-SE

determinar a mortalidade  
de larvas de *Ceratitis  
capitata*

Pag. 213-218

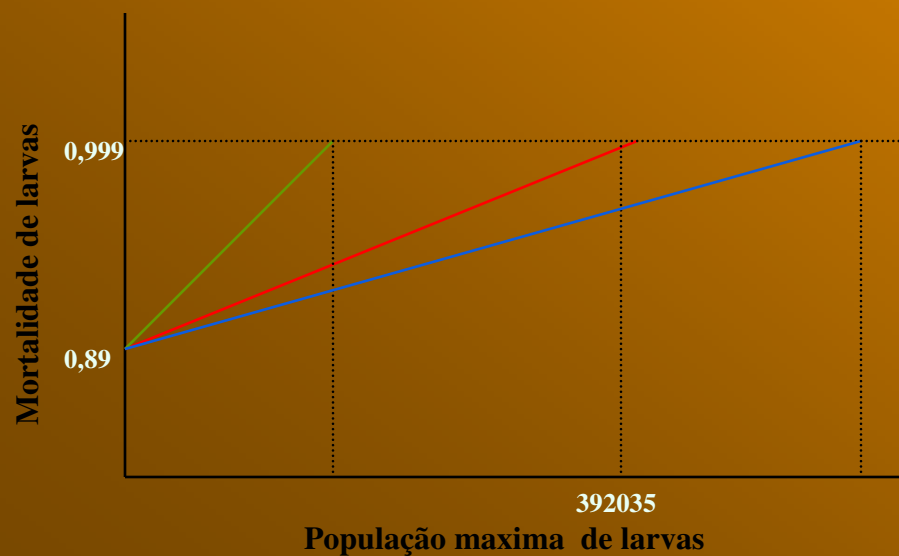
# Sensitividade

## Mortalidade de Larvas

População máxima de larvas

- frutos/ha: 114.704
- infestação "máxima" 46%
- média 1 postura/fruto ou 10 ovos/fruto
- eclosão média de 74,3%

$$\text{Pop\_max\_larvas} = 114704 * 0,46 * 10 * 0,743 = 392035$$



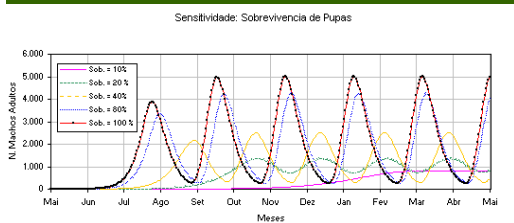
Pop\_max\_larvas = população de larvas na qual ocorre mortalidade máxima



# Sensitividade

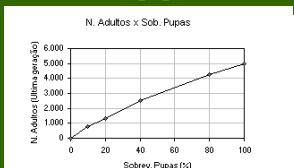
## sobrevivência de pupas

Pupas



Importância relativa menor que a mortalidade de larvas... Mas também deve ser determinado (validação - Aguiar, 1994)

### Sobrevivência de pupas - 10 a 100%



Relação quase linear entre o número de machos e a sobrevivência de pupas



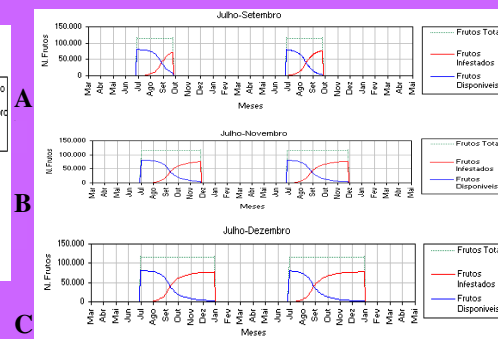
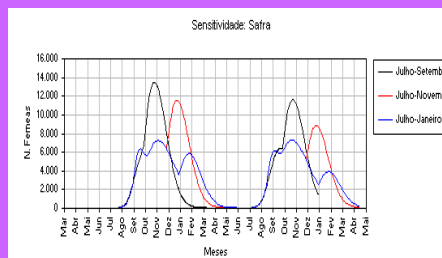
Pag. 216



Katia R.P.A. Sgrillo

# Sensitividade

## Relação com Hospedeiro



*C. capitata* é polífaga, a interferência do período de safra é relativamente pequena em áreas onde existem outras culturas, mas pode ter interferência em locais com um único tipo de hospedeiro





Pag. 218-220

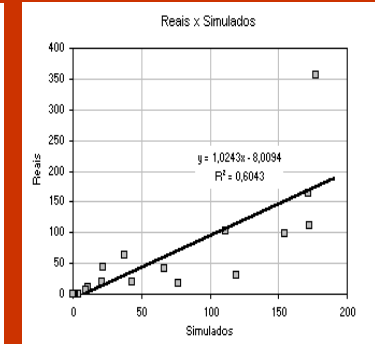
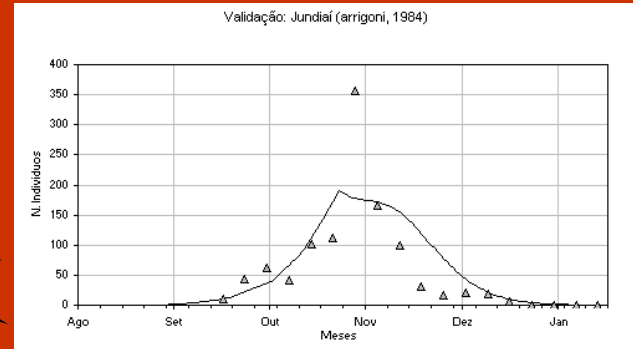


## Arigoni, 1984 - Jundiáí

( dados de 1980-81)

# Validação

 Dados reais  
 Dados simulados



(/15)



Teste t -  
significancia a  
1%

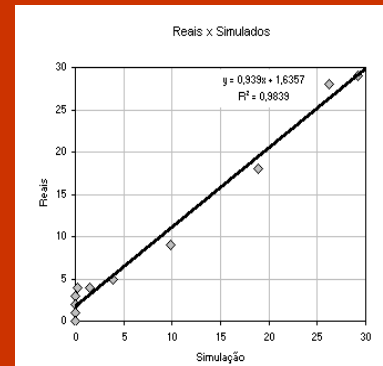
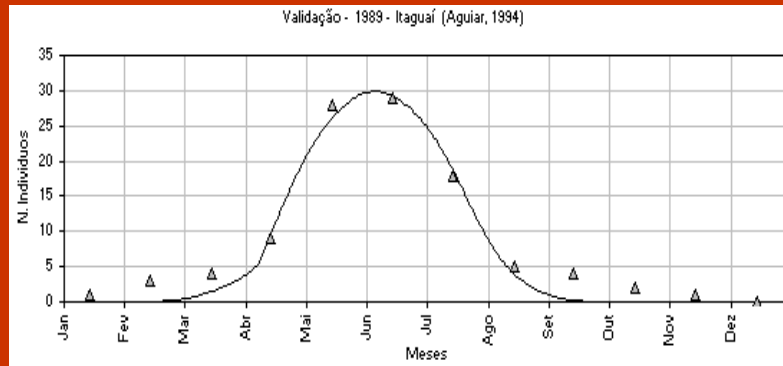
## Aguiar, 1994 - Itaguaí

( dados de 1989) (/130)

sobrevivência de pupas (40%)



Teste t -  
significancia a 1%

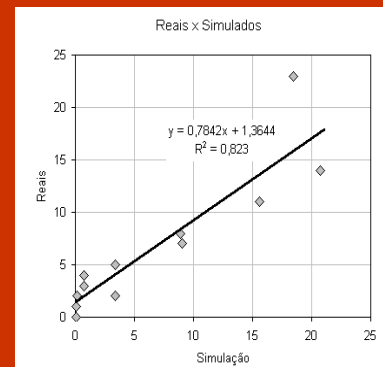
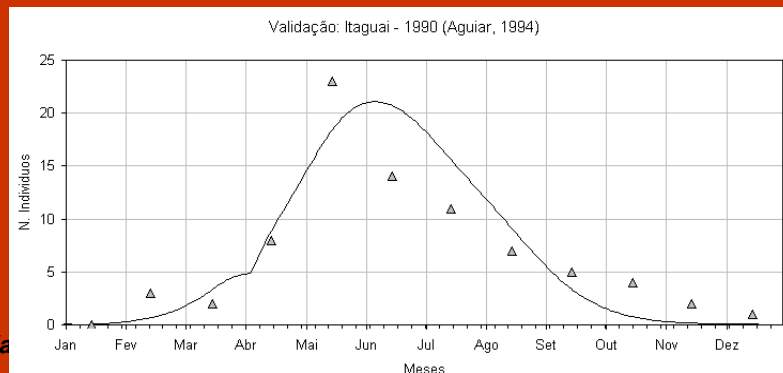


( dados de 1990) (/90)

sobrevivência de pupas (15%)



Teste t -  
significancia a 1%



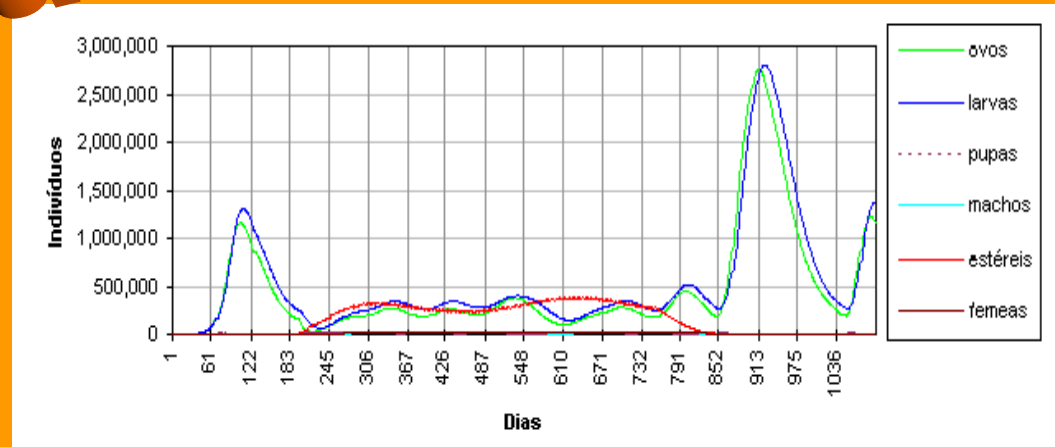
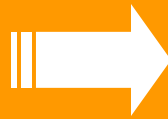
# Aplicação da SIT

São Paulo

Pag. 234-237

## Condições:

Início = dia 187  
machos estéreis = 50.000  
intervalo liber. = 7 dias  
total de liber. = 80  
competitividade = 80%

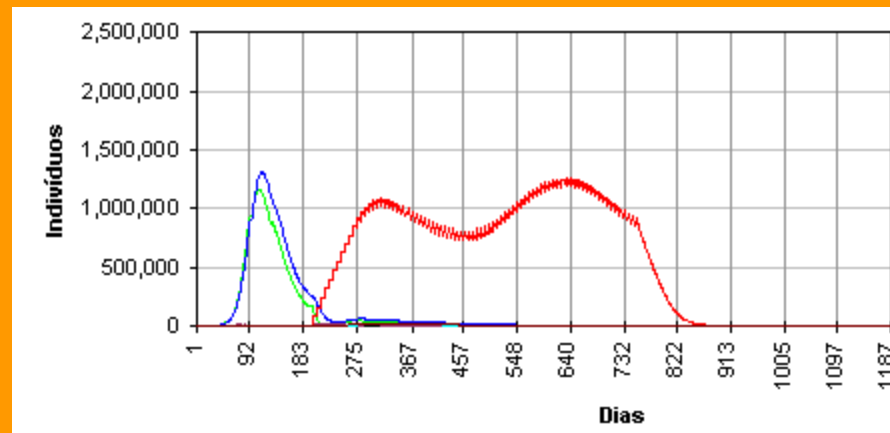


**Liberação de moscas estéreis sem controle populacional**



## Condições:

Início = dia 187  
machos estéreis = 160.000  
intervalo liber. = 7 dias  
total de liber. = 80  
competitividade = 80%



**Liberação de moscas estéreis com controle populacional**

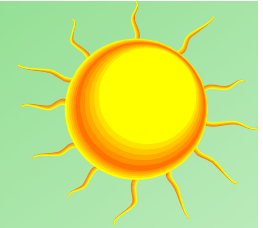


# Aplicação da SIT

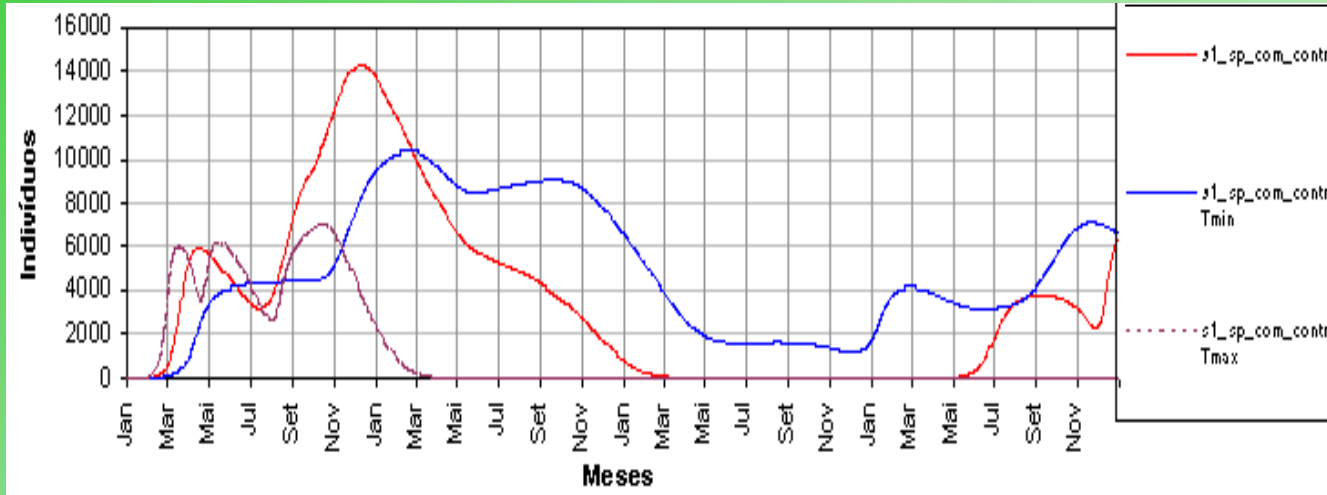
Fêmeas férteis



- 20%



+ 20%



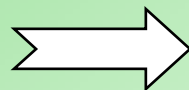
MAIOR  
temperatura



**Maior eficiência da SIT -**

(população controlada no mês de abril do 1o. ano,  
aproximadamente um ano antes do padrão )

MENOR  
temperatura

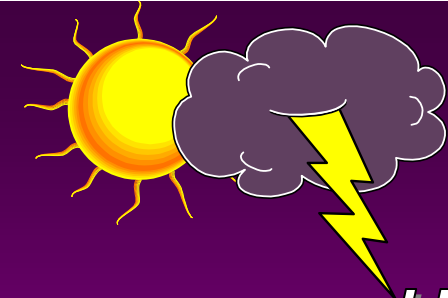


**Menor eficiência da SIT -**

(população não é controlada)

# Aplicação da SIT

## Diferentes condições climáticas

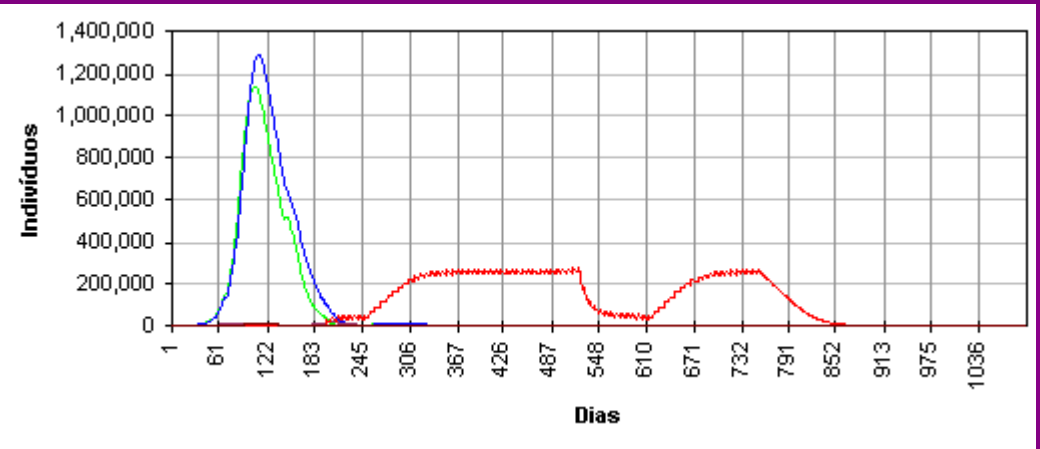
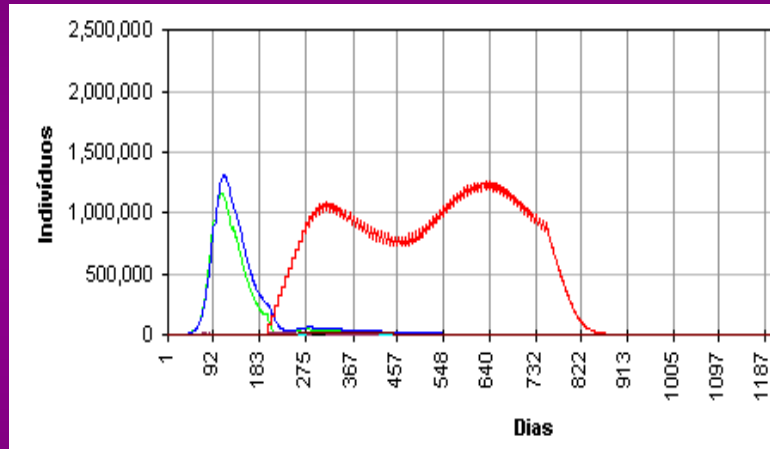


umidade



São Paulo

Brasília



### Condições:

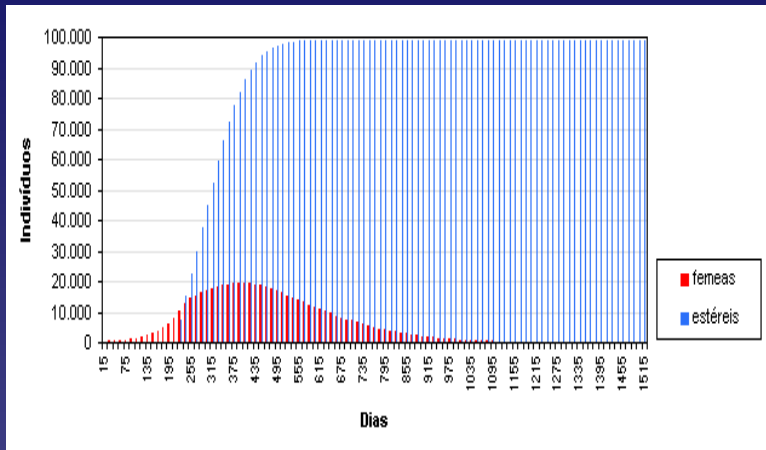
Início = dia 187  
machos estéreis = 160.000  
intervalo liber. = 7 dias  
total de liber. = 80  
competitividade = 80%

### Condições:

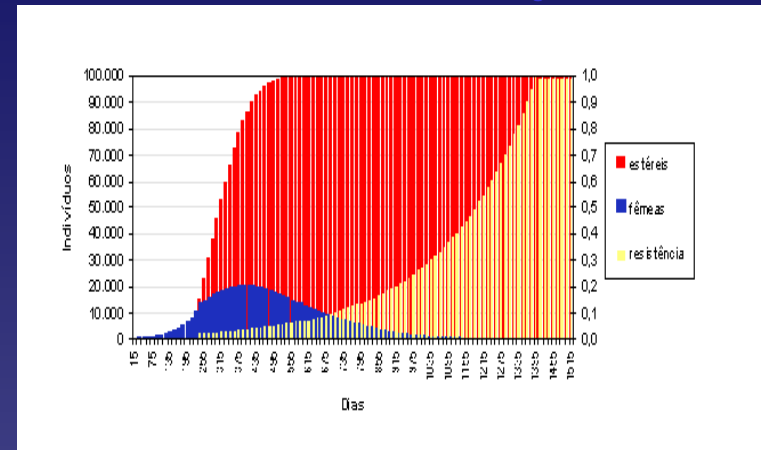
Início = dia 187  
machos estéreis = 50.000  
intervalo liber. = 7 dias  
total de liber. = 80  
competitividade = 80%

# SIT e Resistência

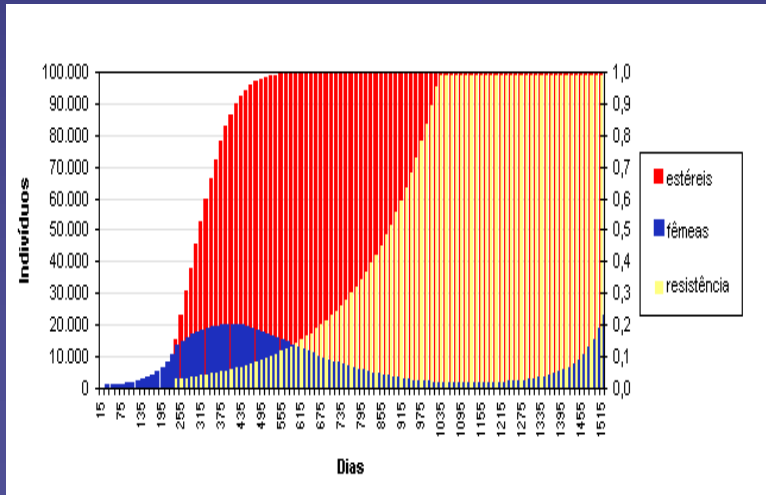
Sem resistência



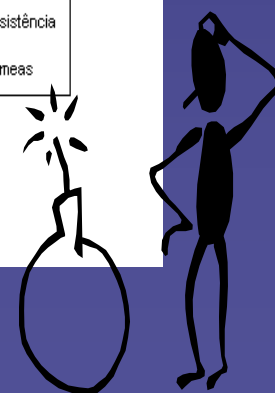
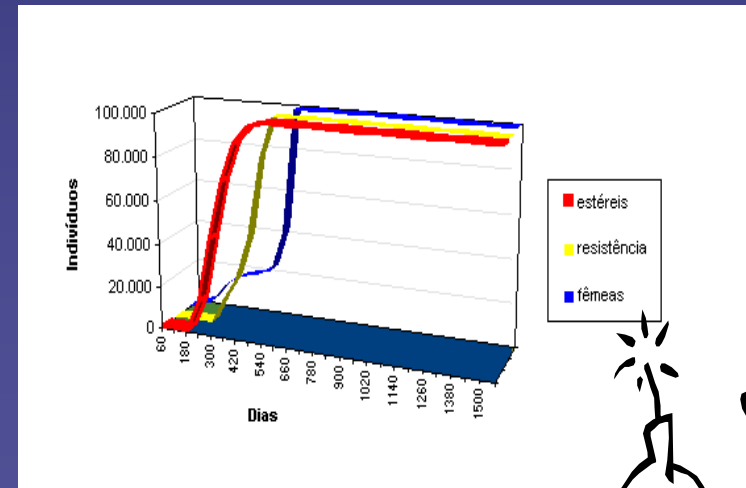
Resistência = 20a. Geração - 80%

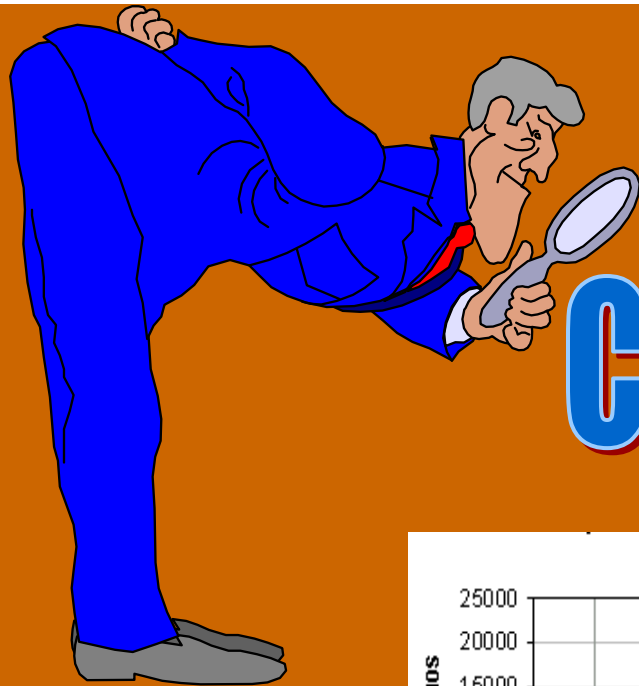


Resistência = 14a. Geração - 25%

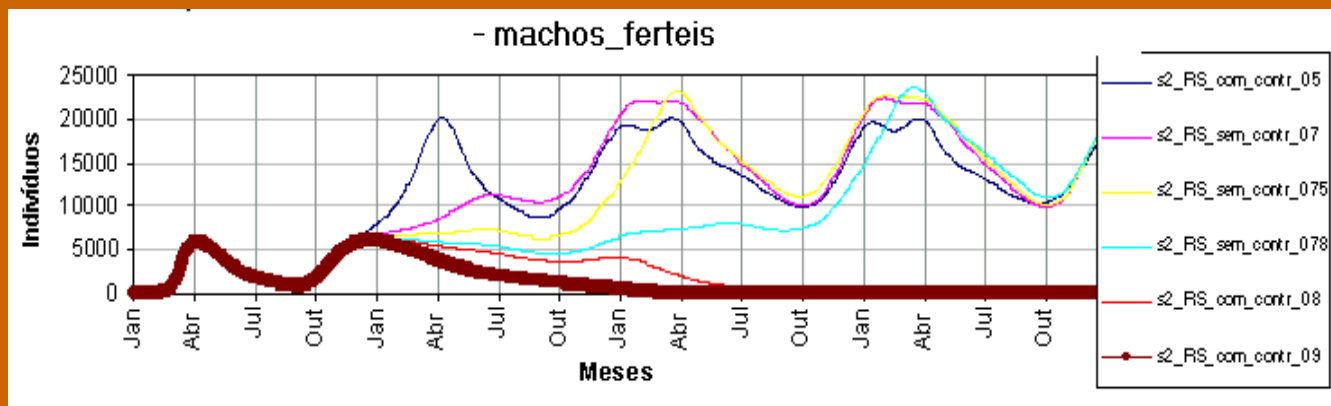


Resistência = 7a. Geração - 50%





# Competitividade



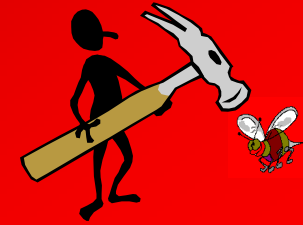
MENOR COMPETITIVIDADE



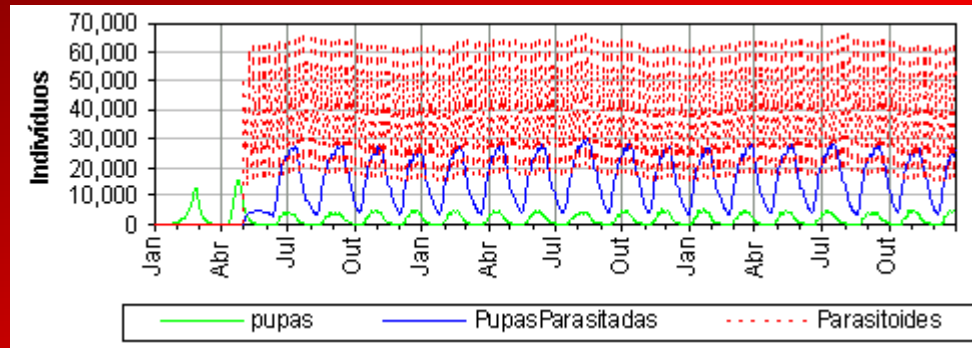
MENOR eficiência da SIT

MAIOR possibilidade  
de RESISTÊNCIA

# Controle Biológico



Liberação de 100.000 parasitóides por semana

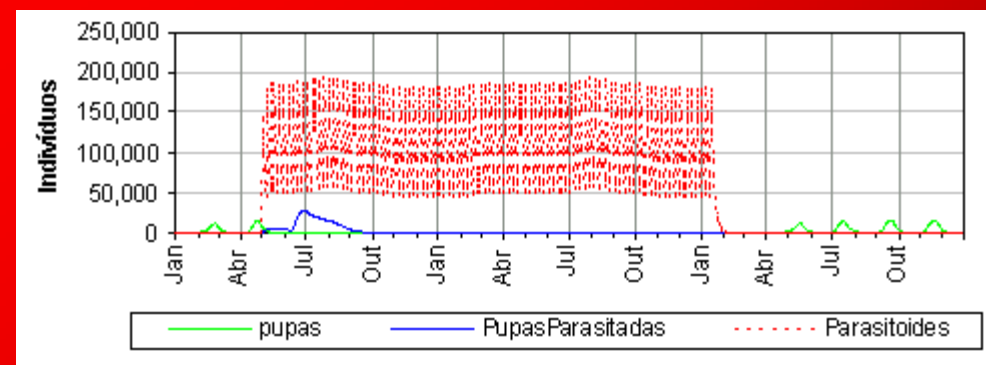


Coincide com dados de Montoya & Liedo (1996)

Altas porcentagens de parasitismo, mas com alto MTD

Somente a liberação de 300.000 parasitóides por semana foram suficientes para controlar a população.

Concorda com Sivinsky et al. 1996

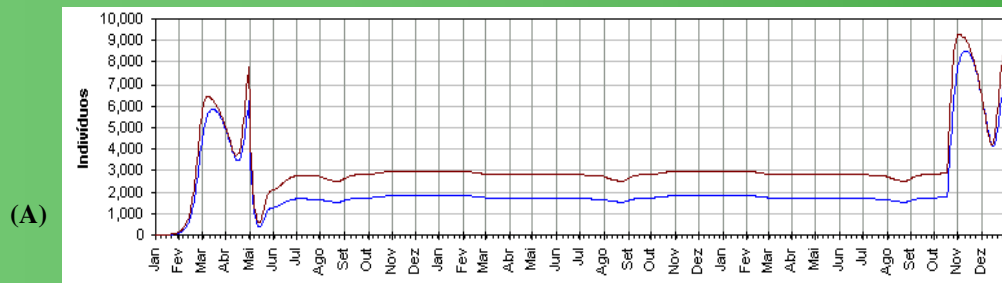


Concorda-se com Gerardo (1996) - é necessário muito estudo ainda nesta disciplina para explorar todas as possibilidades que oferece...

# Controle Químico

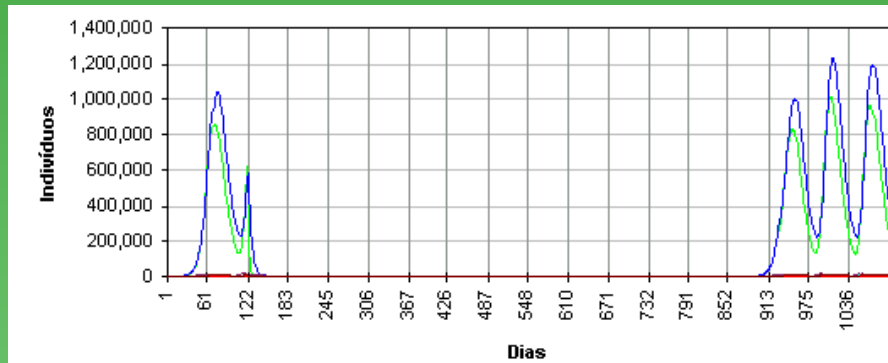
## 30% eficiência

Fortaleza, CE - 60% de redução da população com a aplicação de isca tóxica



Fortaleza, CE

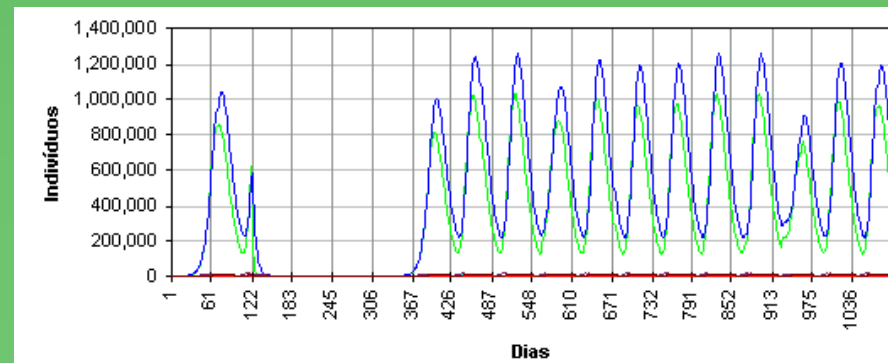
45 aplicações aéreas



## 98% eficiência

Fortaleza, CE

15 aplicações aéreas



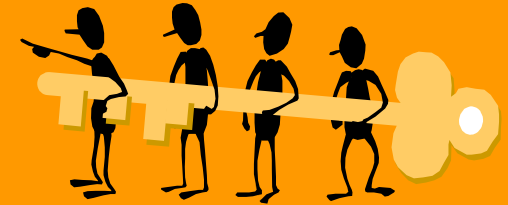
\* cyromacina - agente químico específico para *C. capitata* fértil



# SIT integrada



**controle biológico**  
**controle químico**  
**barreiras fitossanitárias**



**+ eficiência**  
**controle + rápido**  
**menos insetos estéreis liberados**

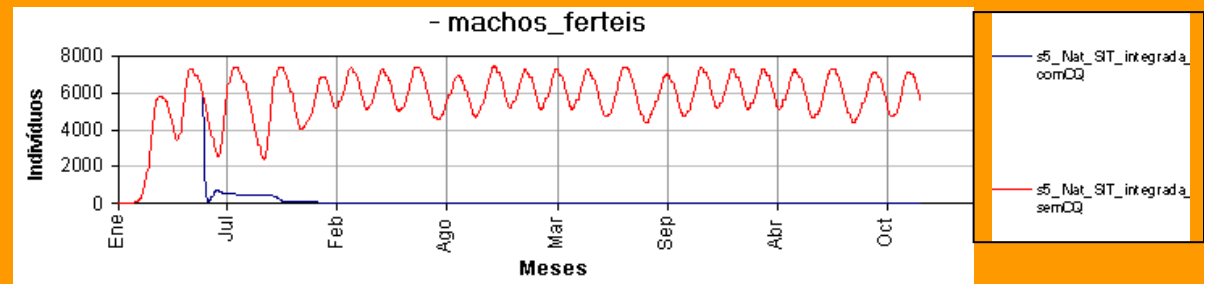
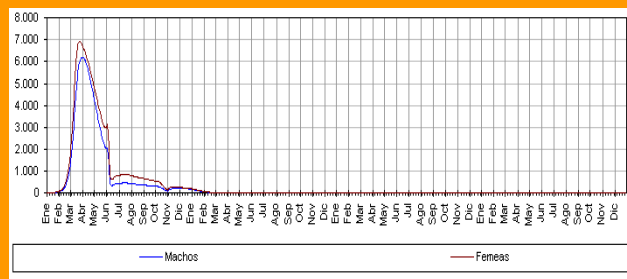
Pag. 254-259

**Londrina, PR**

**CQ (isca = 35%) + CB (50.000 paras.)  
+ SIT(3.000, junto com CB)**

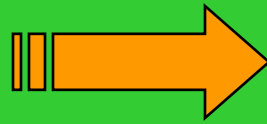
**Natal, RN**

**SIT (3.000 machos, junto com CB)+ CB (50.000 paras.)-  
com e sem aplicação de CQ (isca =35%)**



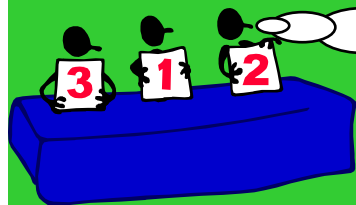
# Discussão dos resultados e Conclusões

Processo de  
**VALIDAÇÃO**



Valida a estrutura do modelo, permitindo seu uso para avaliar o comportamento de *C. capitata* em diferentes cenários.

## Aplicação da SIT no BRASIL:

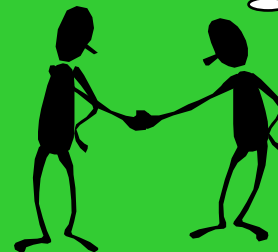
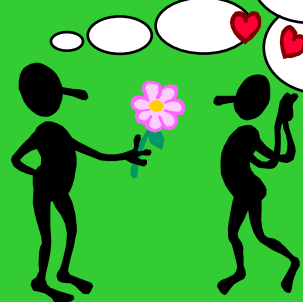


Número de insetos  
varia com o clima

Associação (YES...)

SIT + CB + CQ = zero moscas

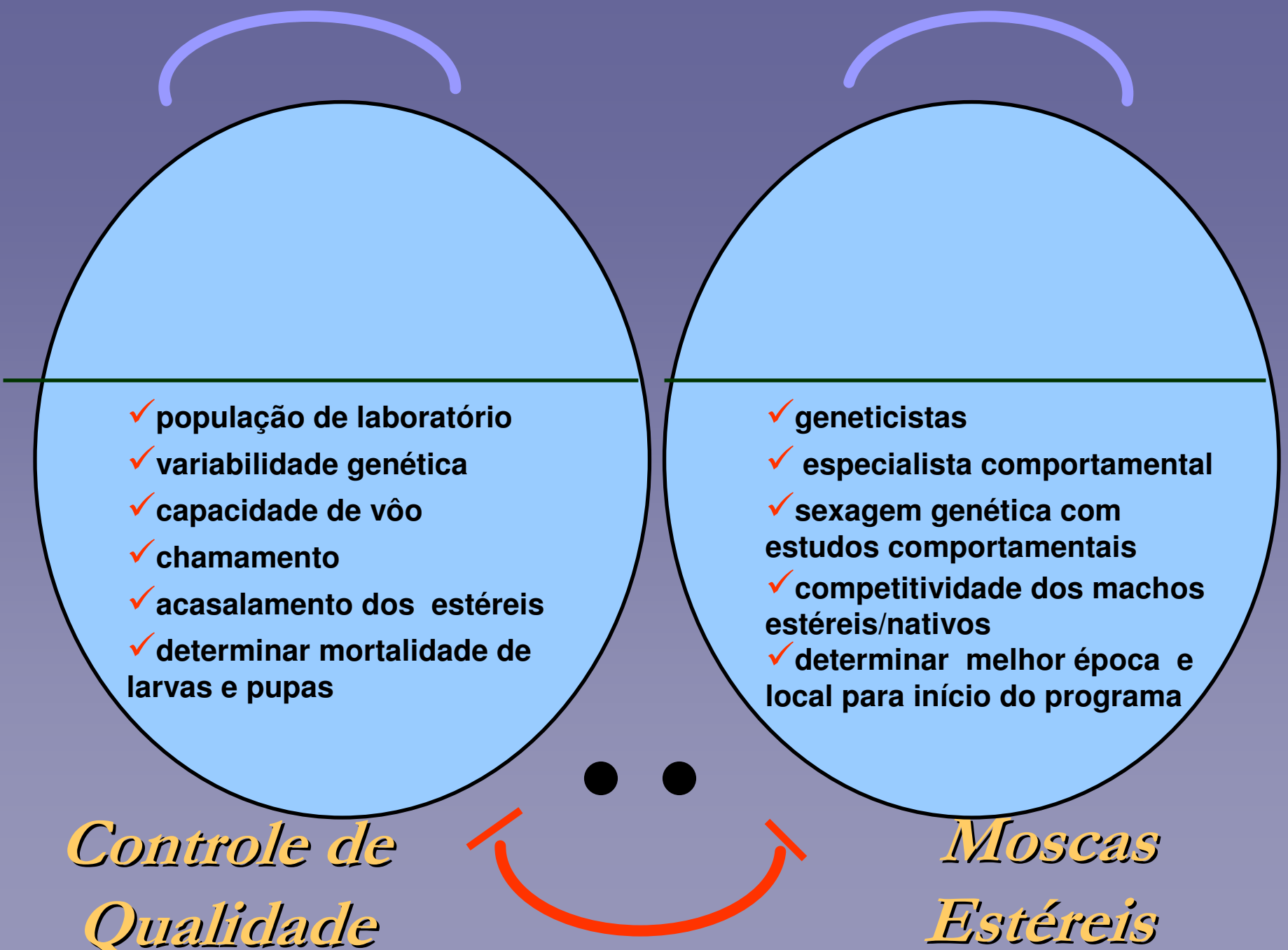
Resistência pode teoricamente  
manifestar-se, modelo  
permite estudá-la....



Climogramas

identificação de áreas mais  
propícias para o início do  
programa de controle



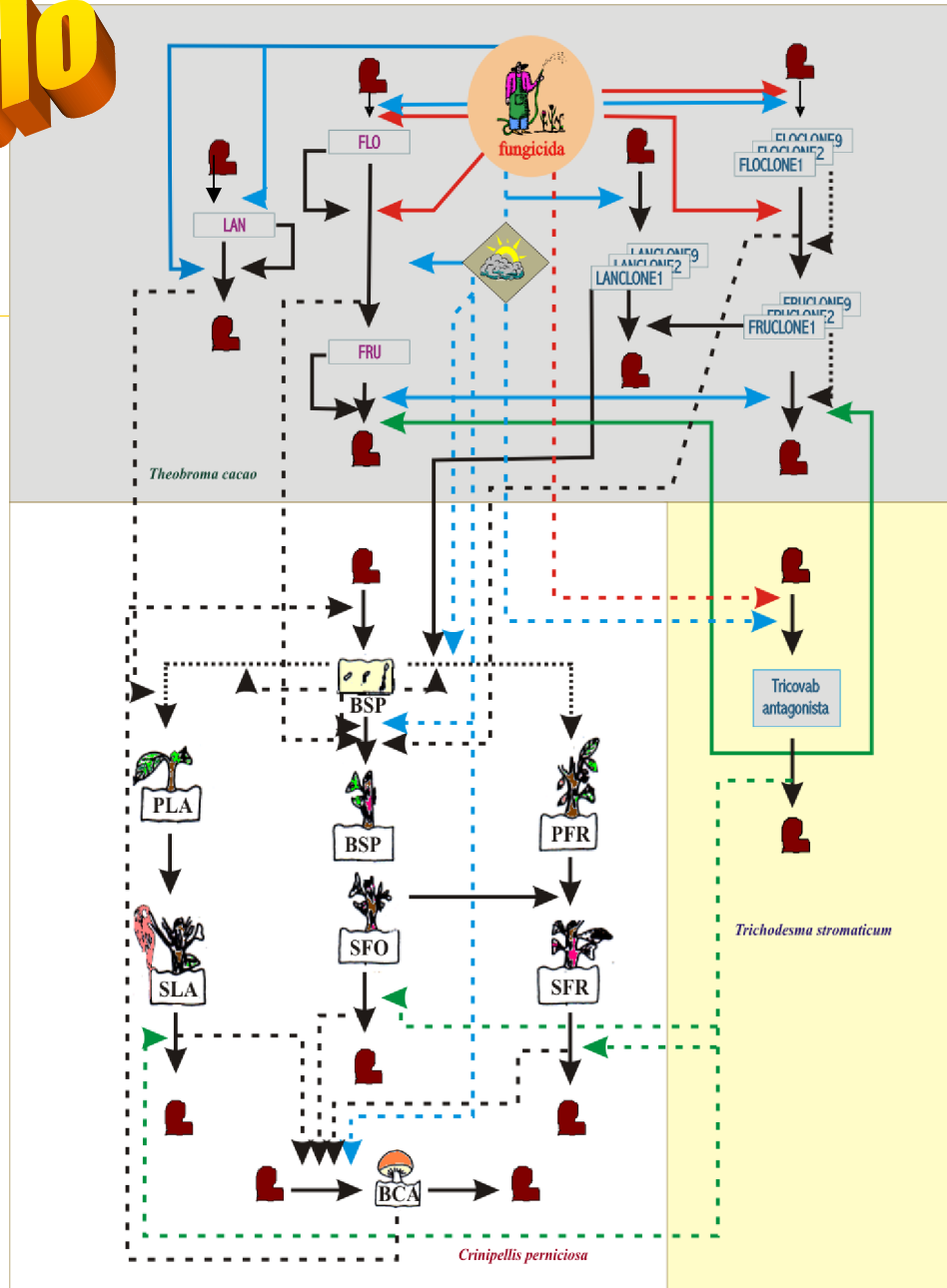
- 
- ✓ população de laboratório
  - ✓ variabilidade genética
  - ✓ capacidade de vôo
  - ✓ chamamento
  - ✓ acasalamento dos estéreis
  - ✓ determinar mortalidade de larvas e pupas

*Controle de  
Qualidade*

- ✓ geneticistas
- ✓ especialista comportamental
- ✓ sexagem genética com estudos comportamentais
- ✓ competitividade dos machos estéreis/nativos
- ✓ determinar melhor época e local para início do programa

*Moscas  
Estéreis*

# Exemplo



## Modelo UB

O modelo é composto por 3 sub-modelos interligados entre si, para:

**HOSPEDEIRO** - Sistema *Theobroma cacao* tradicional e clones, com aplicação de controle químico (protetivo) e cultural;

**DOENÇA** - Biologia do fungo causador da vassoura-de-bruxa, *Crinipellis perniciosa*;

**CONTROLE BIOLÓGICO** - *Trichoderma stromaticum* (TRICOVAB), para simular o controle biológico por antagonismo.

Modelagem e Simulação apoiando a Cacauicultura