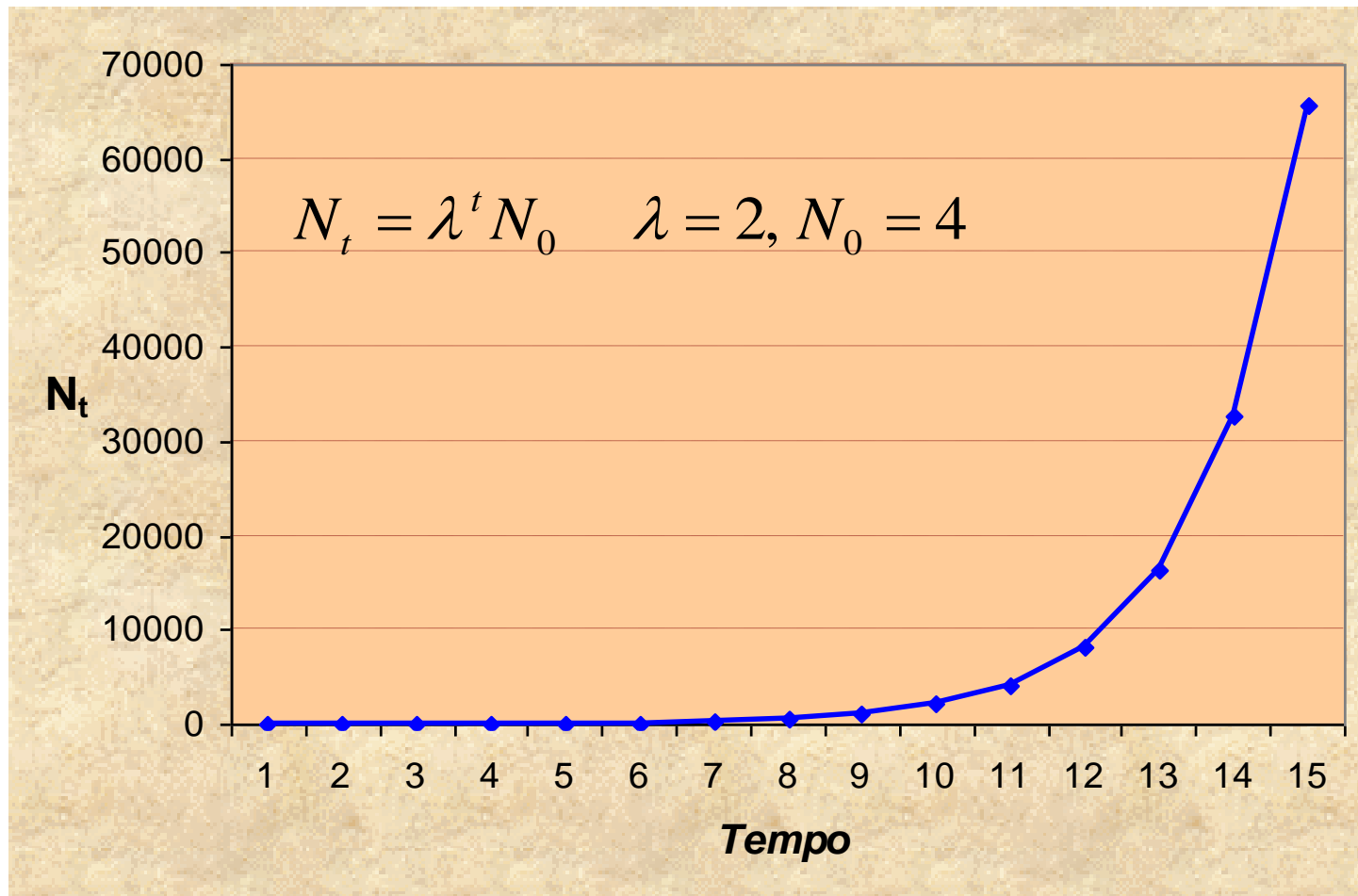




Crescimento com regulação

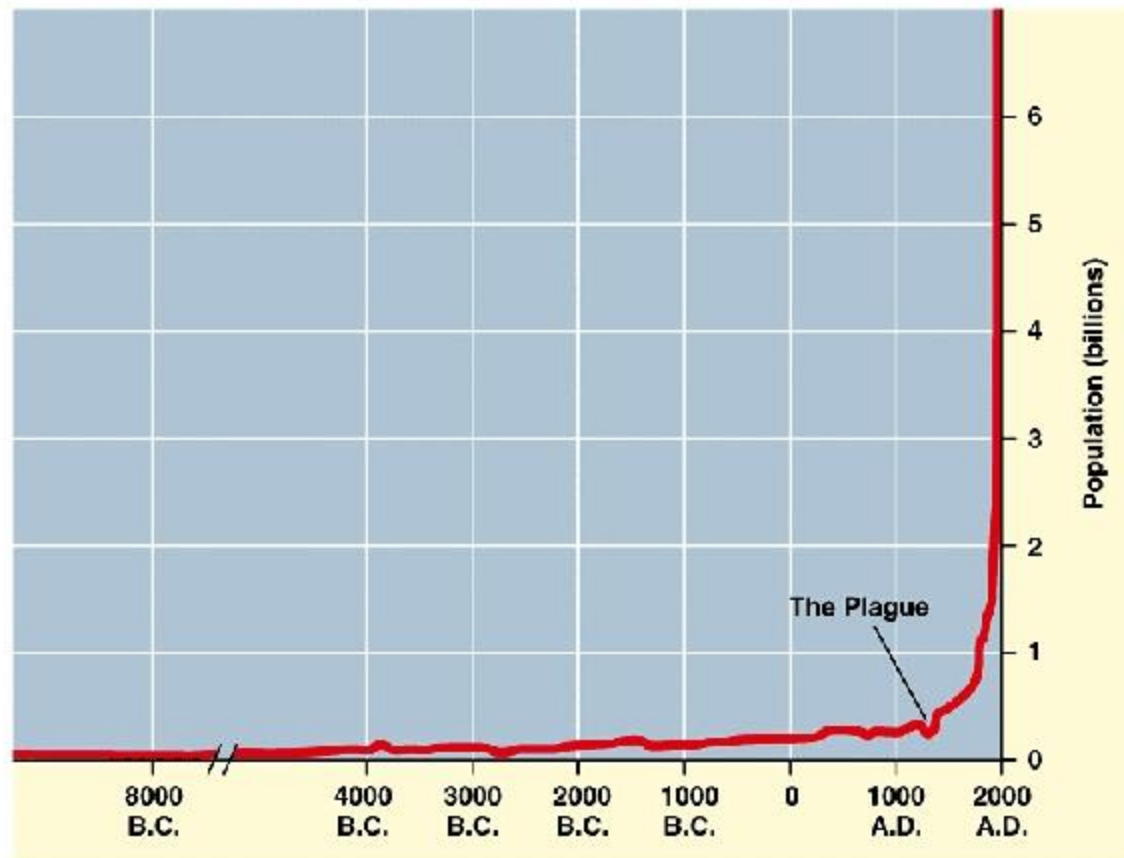
Módulo 13

O crescimento exponencial não é sustentável

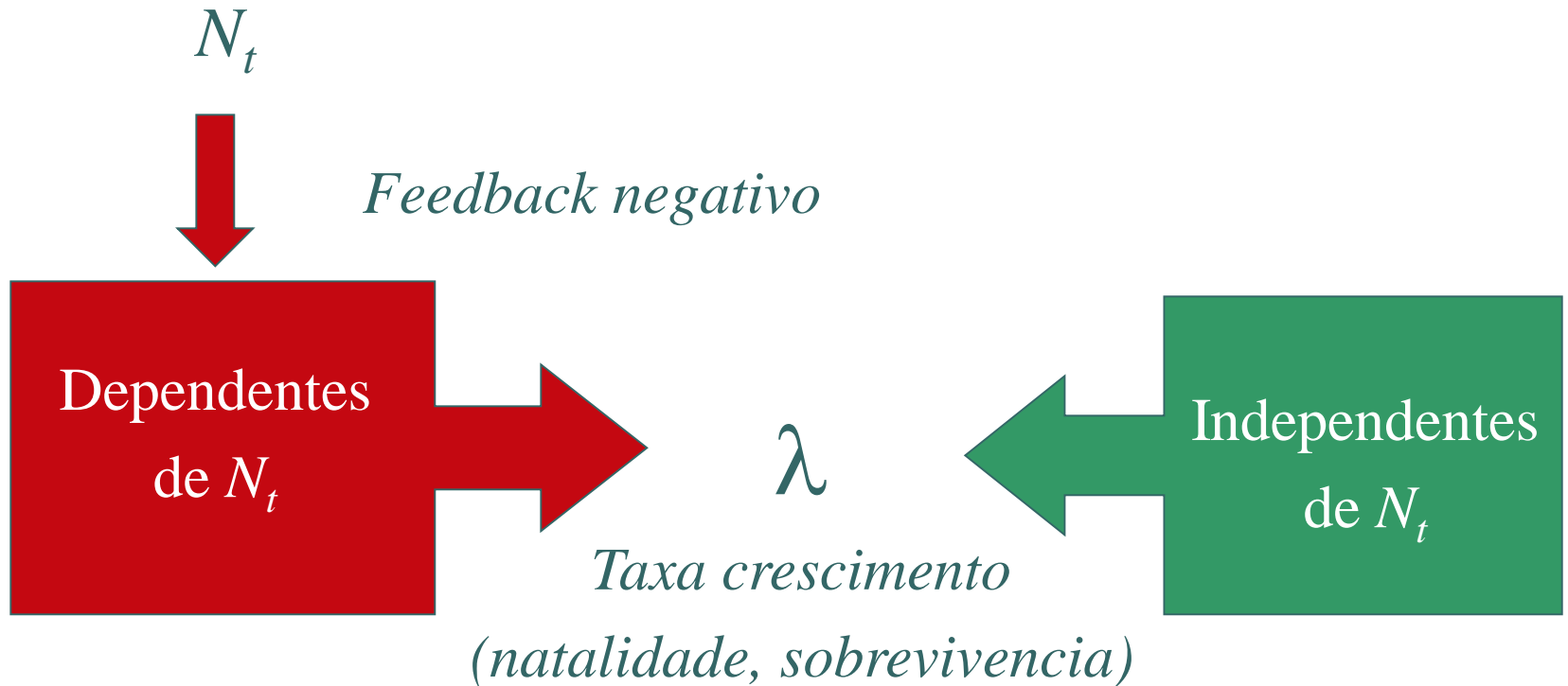


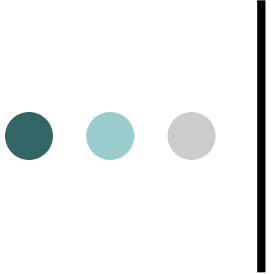
População humana

Figure 52.21 Human population growth



Factores de regulação





Mecanismos que podem produzir regulação dependente da densidade

Diminuição de recursos alimentares:

- consumo *per capita* diminui, tempo de pesquisa aumenta bem como exposição a predadores (afecta S e b)

Menos espaço:

- Diminui território médio ou aumenta o número de sem-território

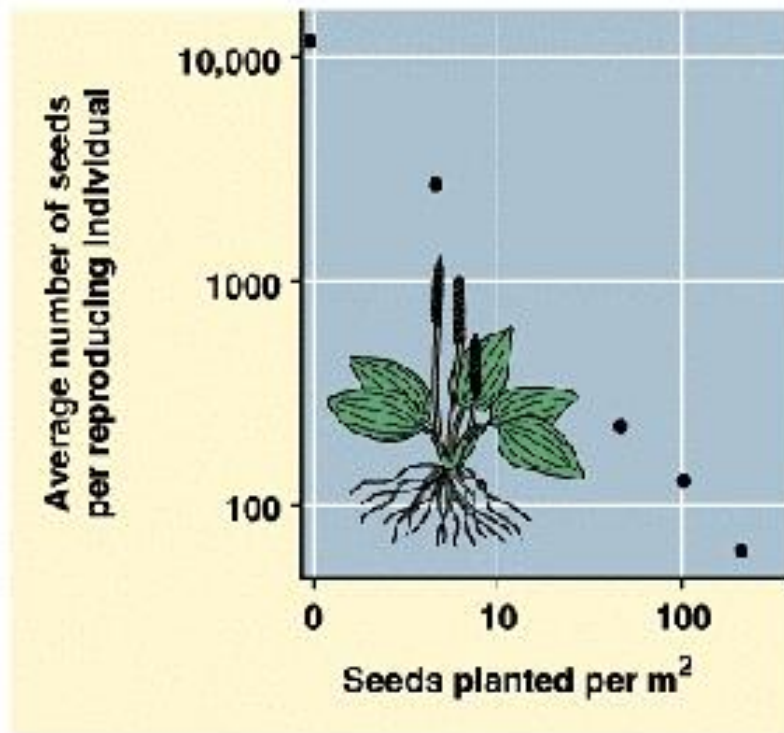
Acção de predadores e/ou de parasitas aumenta:

- Predadores “shiftam” para presas + densas; maior incidência de doenças transmissíveis.

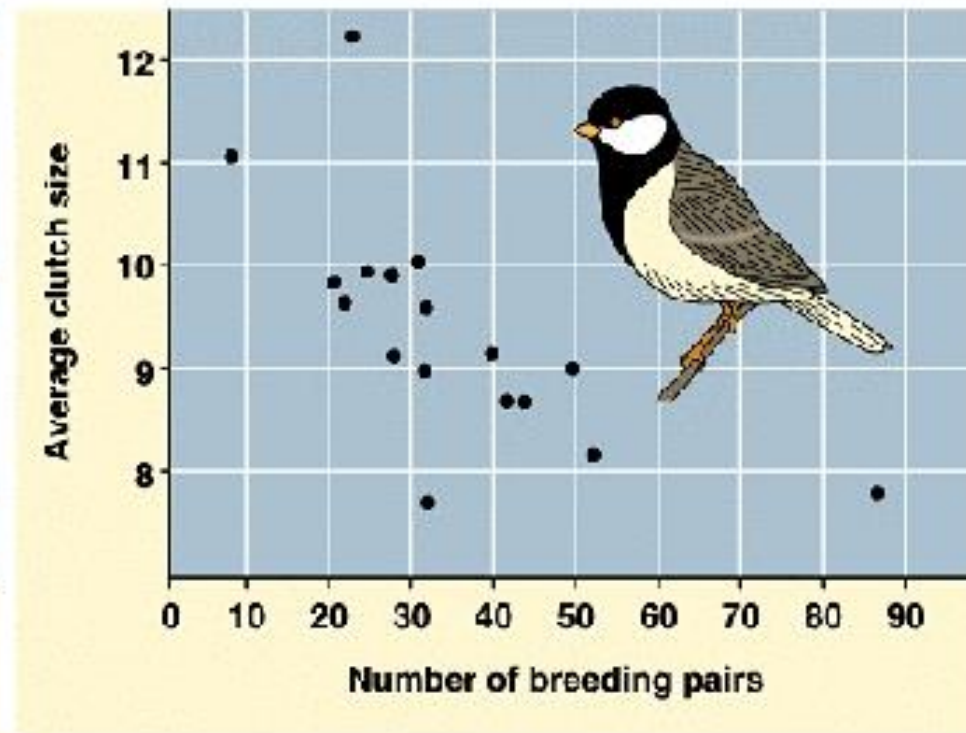
Uso de habitats marginais de menor qualidade

etc. etc...

Figure 52.16 Decreased fecundity at high population densities

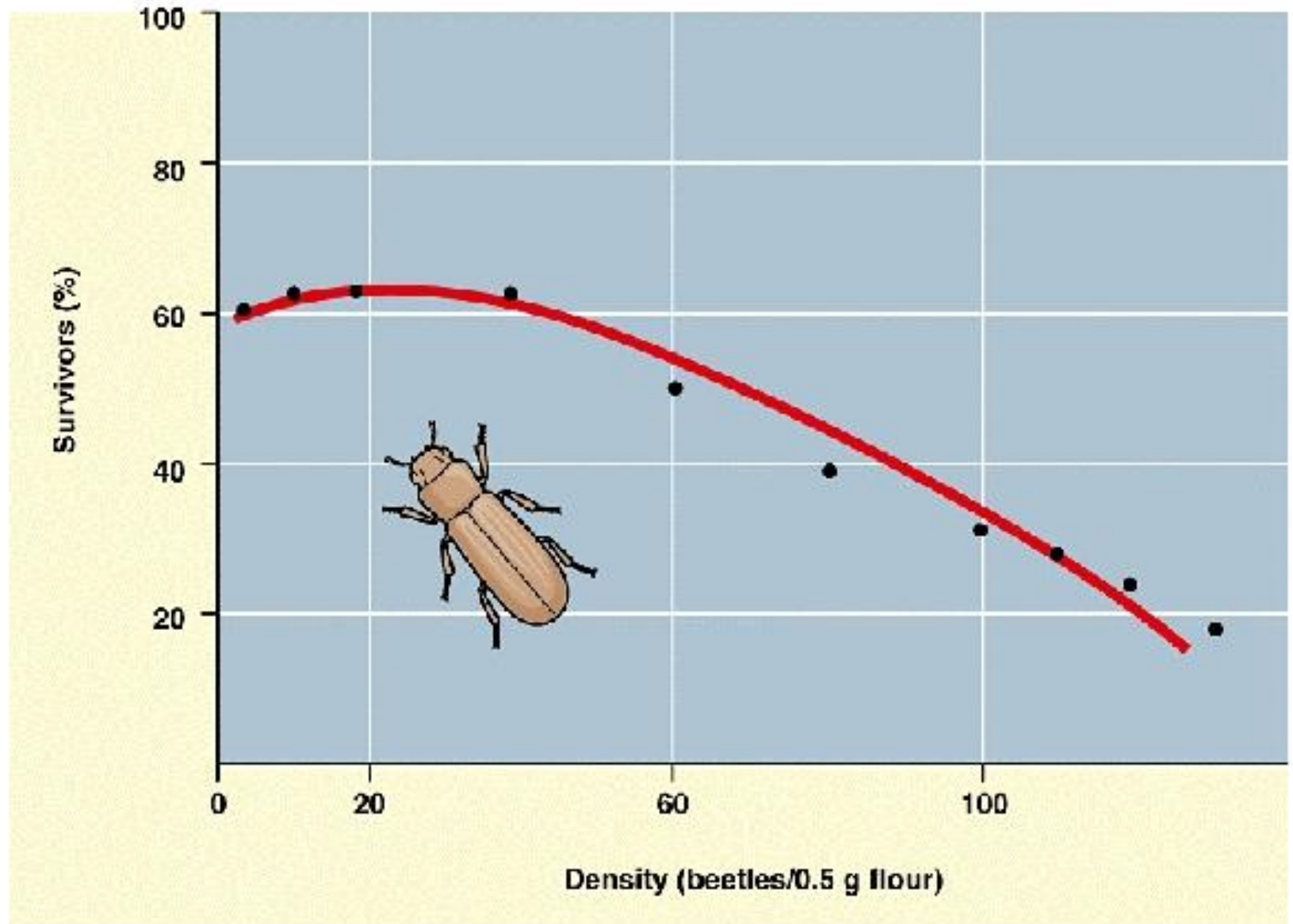


(a) Plantain



(b) Great tit

Figure 52.17 Decreased vigor and survivorship at high population densities





Competição intraespecífica

A competição entre indivíduos da mesma espécie é *em geral* um mecanismo de regulação dependente de N

Mas,

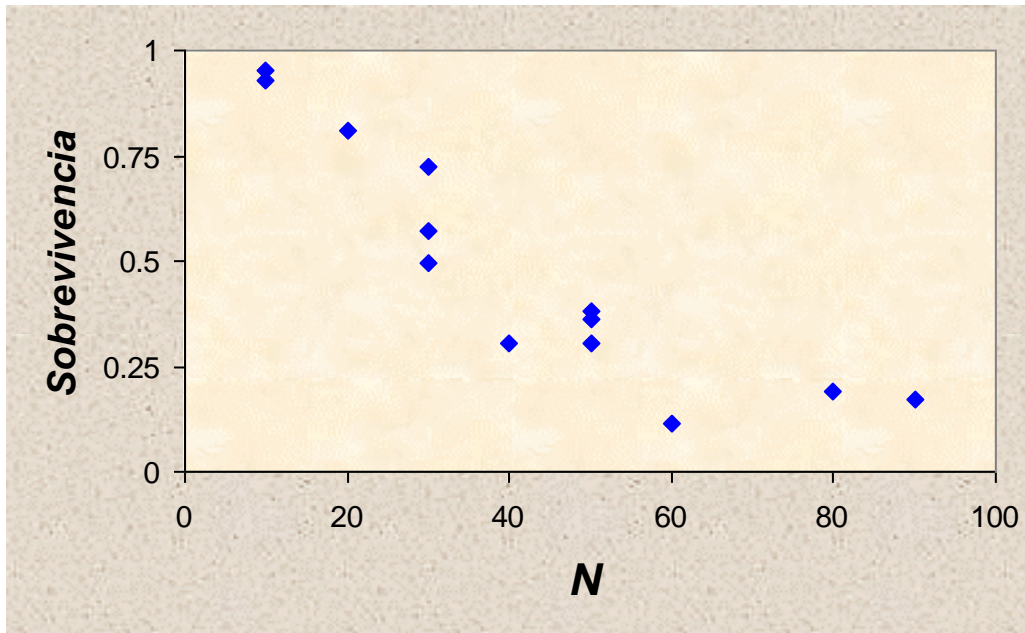
nem todos os mecanismos de regulação dependentes de N são fenómenos de competição intraespecífica

Begon M, JL Harper & CR Townsend. 1990. *Ecology. Individuals, Populations and Communities*. Blackwell Sci. -> Capítulo 6

Akçakaya H, M Burgman & L Ginzburg. 1999. *Applied Population Ecology*. Sinauer. Sunderland, Mass. -> Capítulo 3

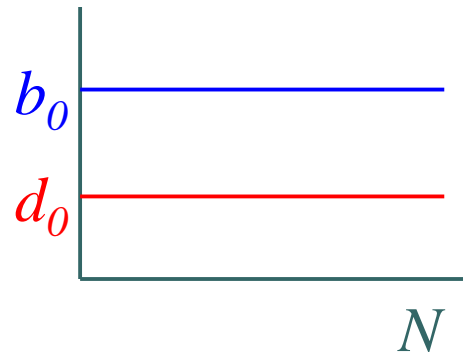
Demonstrar é difícil !

1. Domina regulação dependente ou independente de N ?
2. Existência de correlação negativa \neq demonstração ou de compreensão

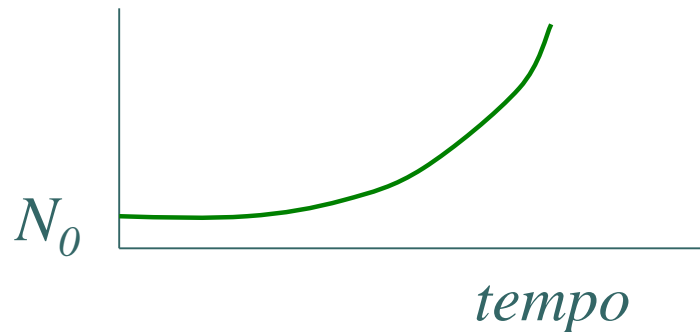


Exponencial contínuo: b e d constantes

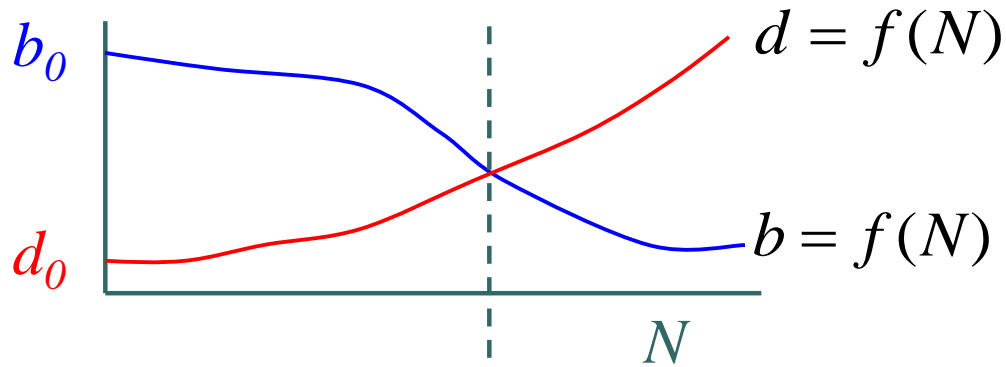
$$N_t = N_0 e^{r t} \quad r = b_0 - d_0 \quad \text{constantes}$$



$b_0 > d_0 \Rightarrow r > 0 \Rightarrow$ crescimento exponencial



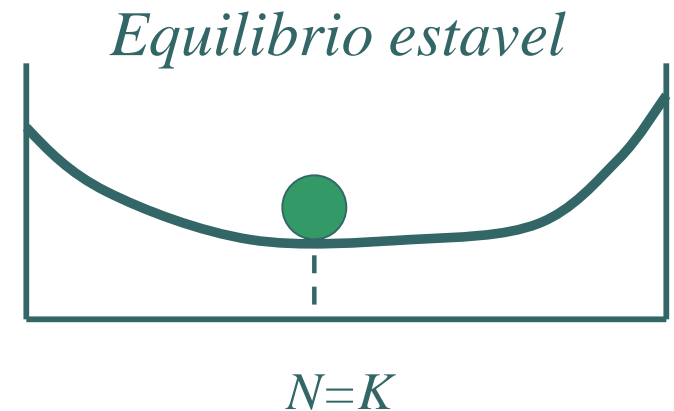
Regulação dependente da densidade



$b > d \Rightarrow$ cresce

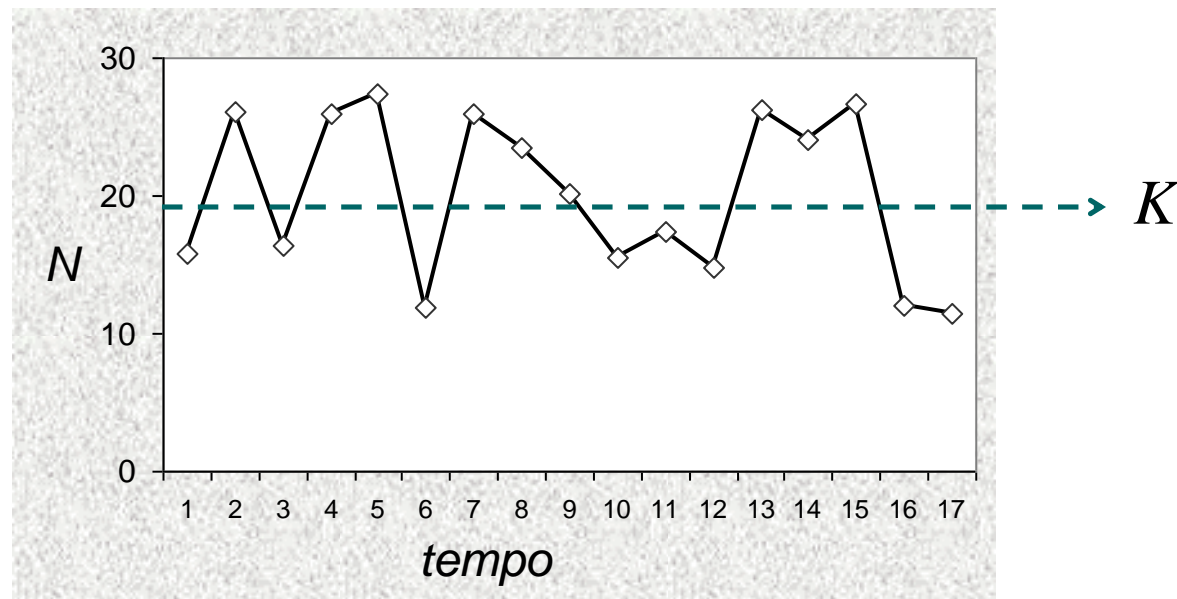
$b < d \Rightarrow$ decresce

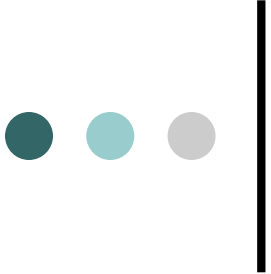
Equilíbrio, $N = K$



Carrying Capacity, K

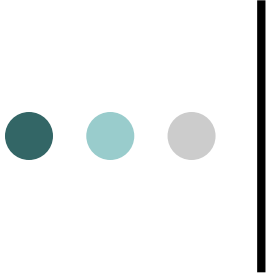
Carrying capacity \approx Capacidade sustentada,
densidade populacional equilibrada/sustentada





Representação da regulação d.-d.

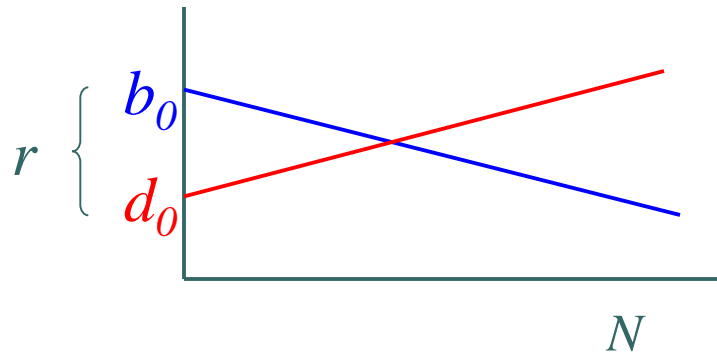
1. Tomar o tempo como variável contínua (Reprods. contínuos) ou discreta (Sazonais).
2. Partir de considerações sobre os mecanismos de regulação d.d.
Explo: como é a competição intraespecífica ?
3. Assumir funções simples para $b=f(N)$ e $d=f(N)$
Etc.



Duas conclusões antecipadas

1. As equações que representam o crescimento com regulação d.d. são sempre não-lineares.
2. A dinâmica que delas resulta para N_t pode ser muito complexa.

Reprodutores contínuos



$$r = b_0 - d_0$$

$$d_t = d_0 + qN_t$$

$$b_t = b_0 - pN_t$$

Substituindo em

$$\frac{dN}{dt} = (b_t - d_t)N_t$$

Obtem-se:

$$\frac{dN}{dt} = [(b_0 - pN_t) - (d_0 + qN_t)]N_t$$

$$\frac{dN}{dt} = [(b_0 - d_0) - (p + q)N_t]N_t$$

Introdução de K

$$N \longrightarrow K \quad \text{Em } K, \quad dN/dt = 0$$

Em que condições

$$\frac{dN}{dt} = 0 \quad ?$$

$$\frac{dN}{dt} = [r - (p + q)N_t]N_t$$

$$N_t = 0$$

Equilíbrio trivial

$$N_t = \frac{r}{p + q}$$

Equilíbrio não-trivial

É o próprio K

A equação logística dos reprod. contínuos (Verhulst, 1838)

$$K = \frac{r}{p+q} \quad \therefore \quad p+q = \frac{r}{K}$$

Substituindo aqui

$$\frac{dN}{dt} = [r - (p+q)N_t]N_t$$

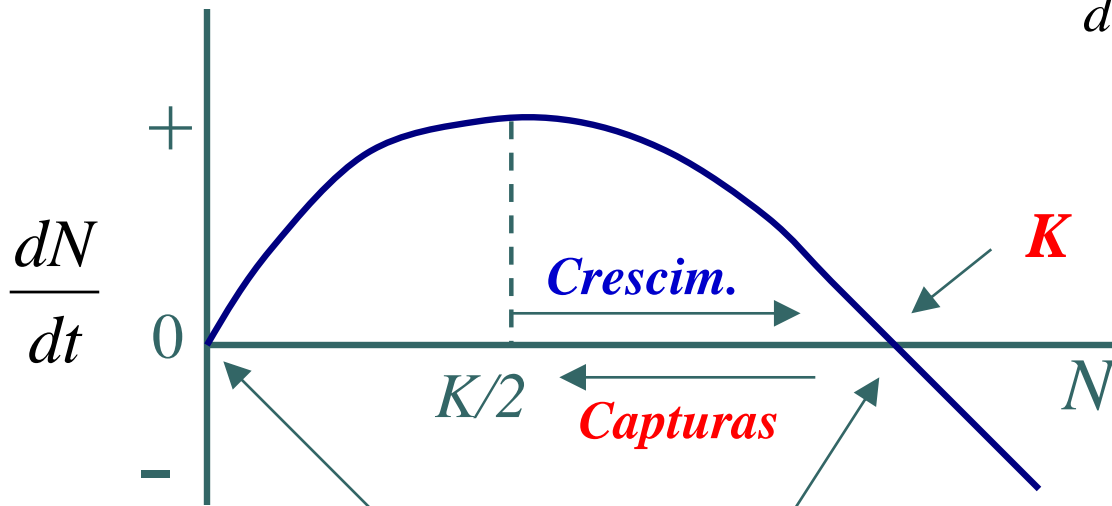
$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right)$$

Crescimento sem regulação

Termo regulador

Interpretação geométrica

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right)$$



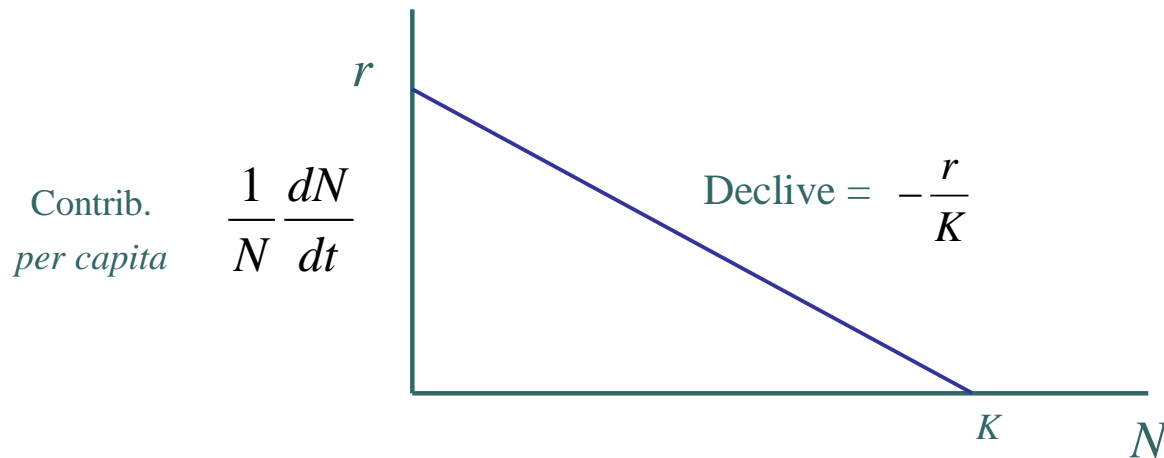
Pontos de equilíbrio

$$dN/dt = 0$$

Crescimento *per capita*

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right) \quad \equiv \quad \frac{1}{N} \frac{dN}{dt} = r - \frac{r}{K} N$$

Contribuição de 1 indivíduo p/
crescimento da população.



Forma integral da logística

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right)$$

Solução:

$$N_t = \frac{KN_0}{N_0 + (K - N_0) e^{-rt}}$$

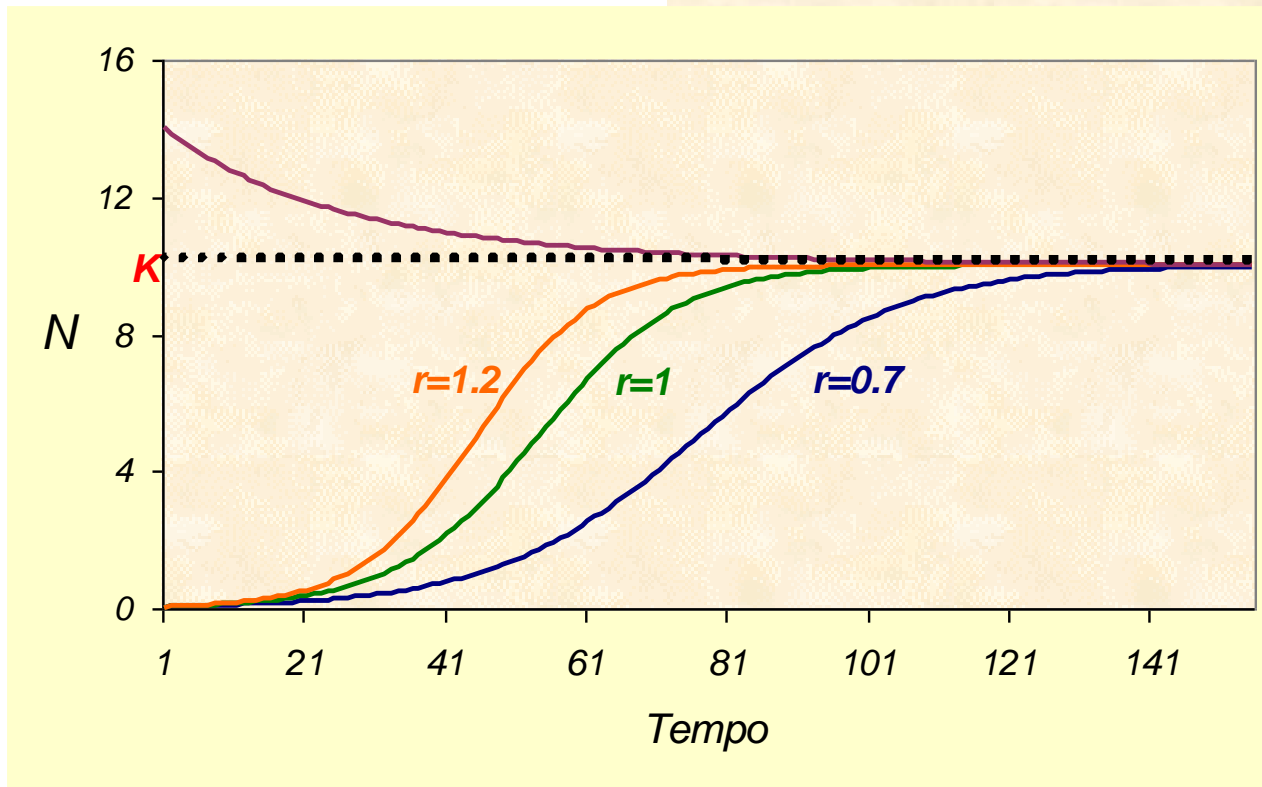
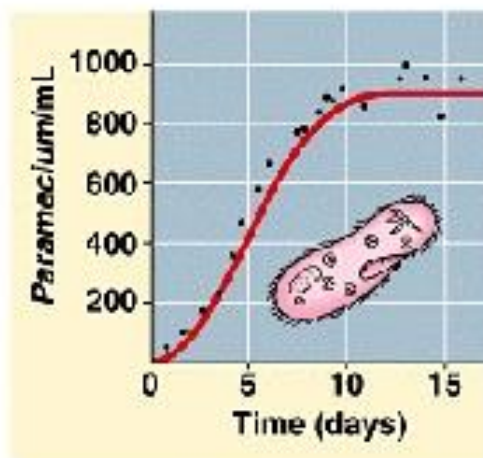
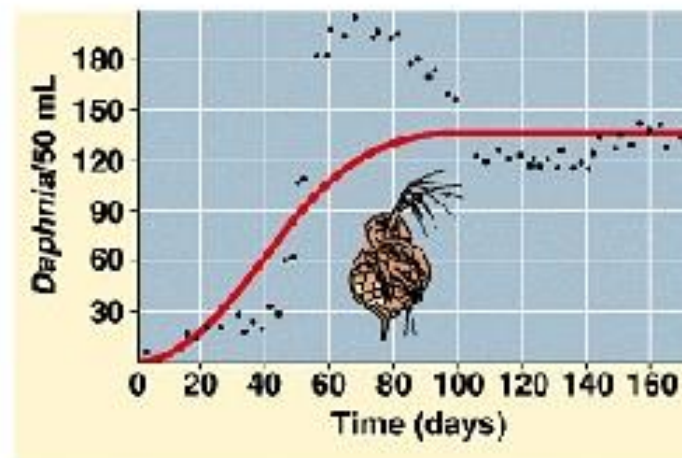


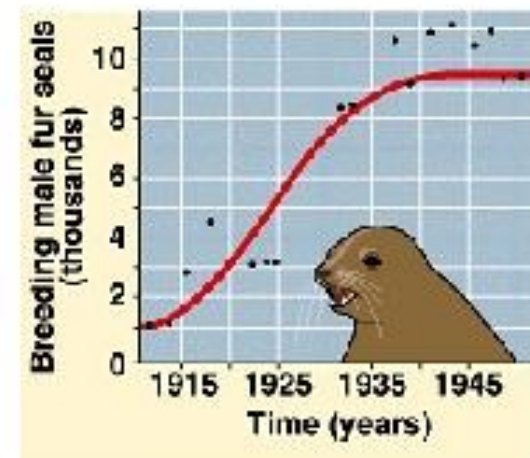
Figure 52.15 Examples of logistic population growth



(a) A *Paramecium* population in laboratory culture



(b) A *Daphnia* population in laboratory culture




(c) A fur seal (*Callorhinus ursinus*) population on St. Paul Island, Alaska

Atrasos na regulação

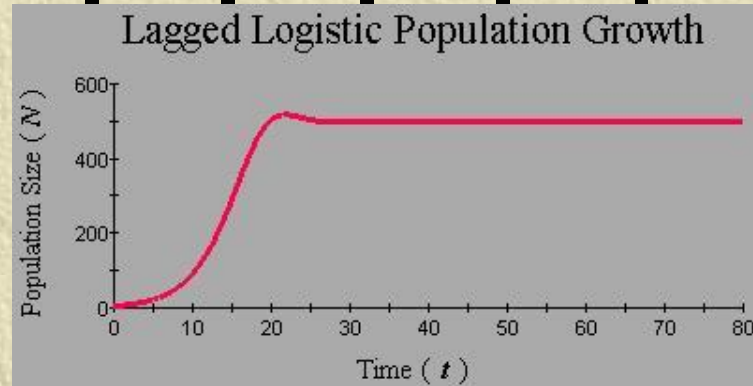
As taxas vitais não respondem instantaneamente às variações em N

Exemplo de incorporação de um atraso de duração τ :

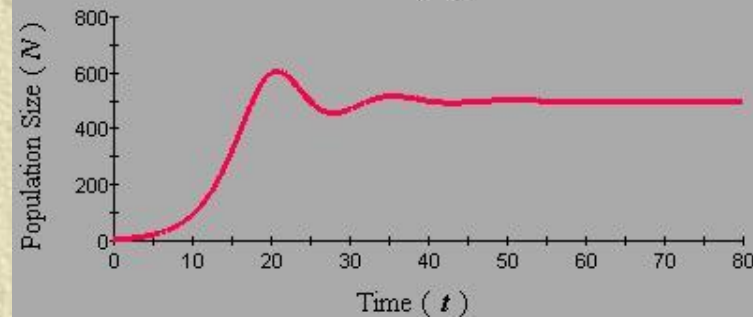
$$\frac{d N_t}{d t} = r N_t \left(1 - \frac{N_{t-\tau}}{K} \right)$$


Os atrasos promovem oscilações

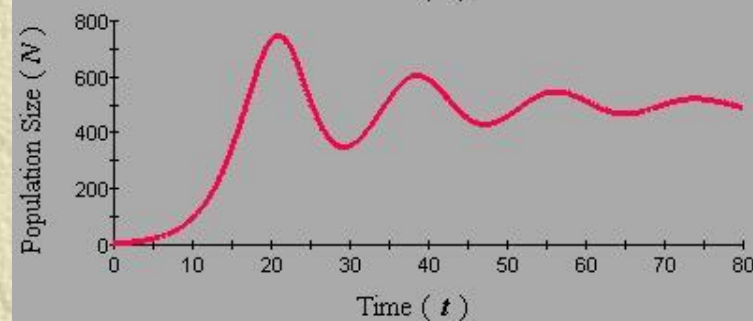
$K=500$, $N_0=5$, $r=0.3$, $\tau=2$



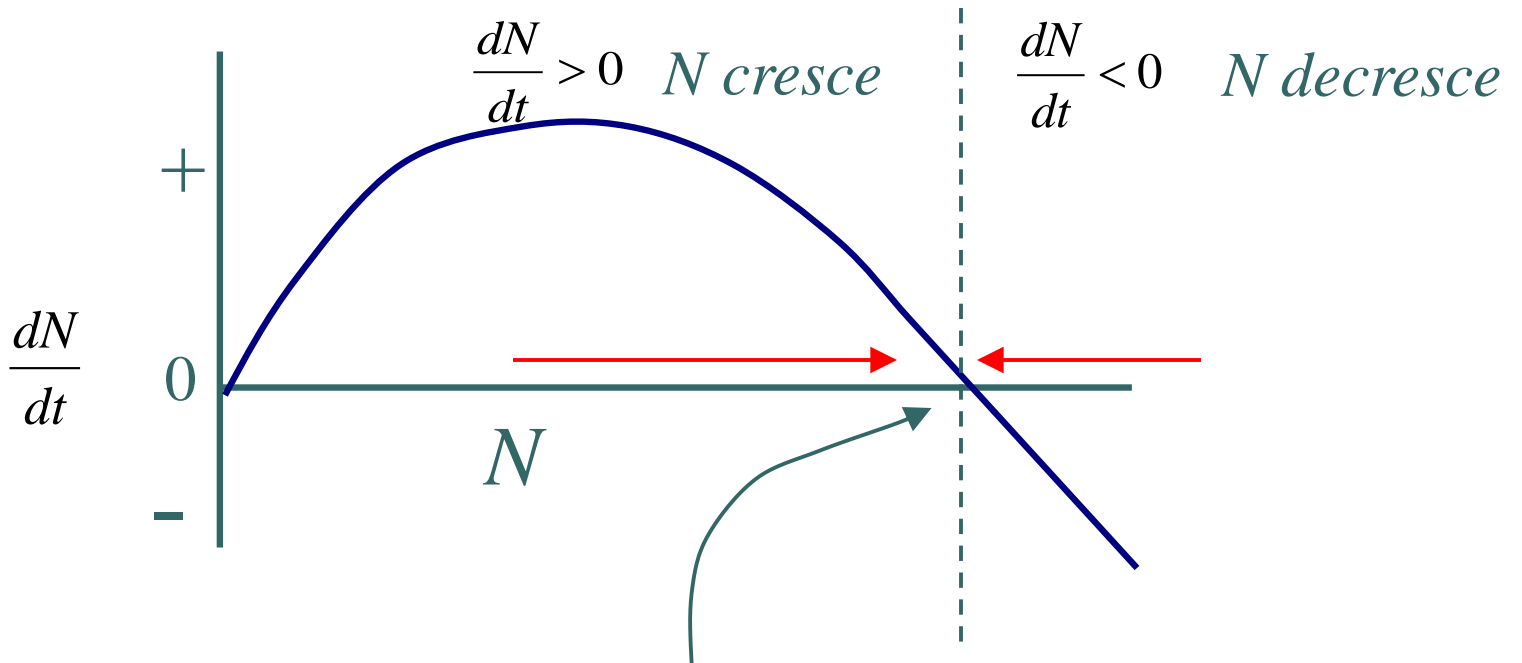
$K=500$, $N_0=5$, $r=0.3$, $\tau=3$



$K=500$, $N_0=5$, $r=0.3$, $\tau=4$



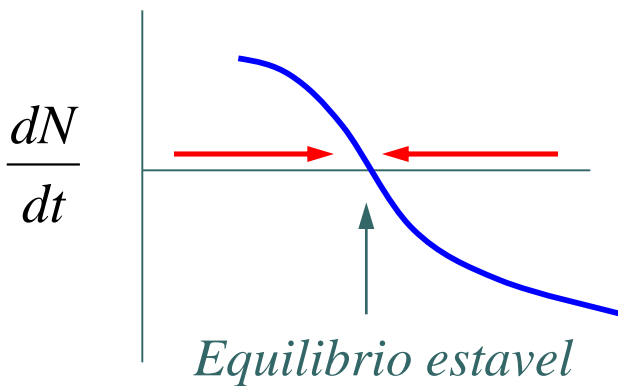
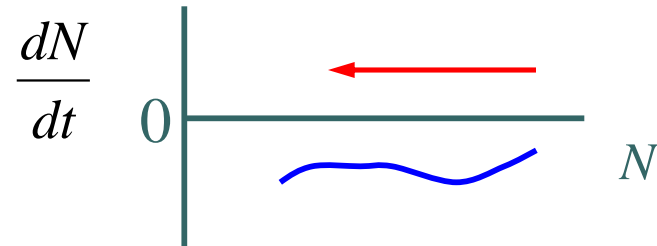
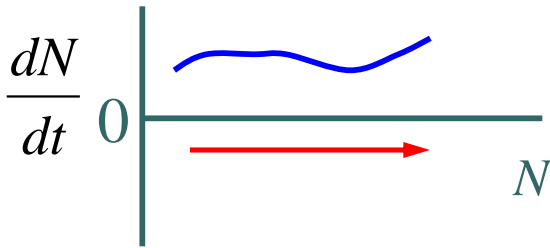
Análise qualitativa da logística



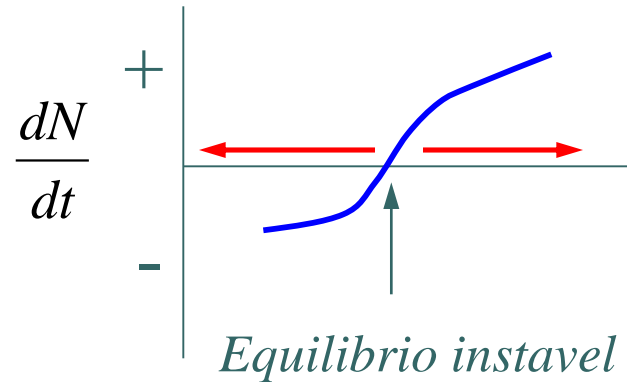
Equilíbrio globalmente estável

Um pouco de ... teoria qualitativa de equações diferenciais (!)

$$\frac{dN}{dt} = f(N)$$

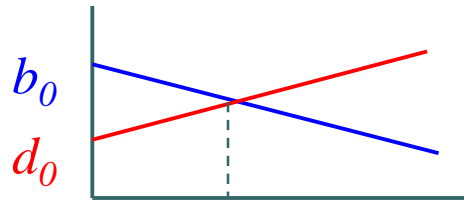


$$f'(N)|_{equi} < 0$$

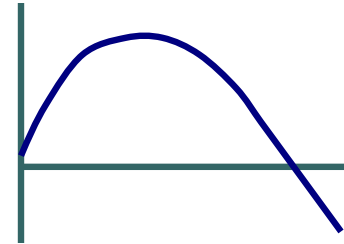


$$f'(N)|_{equi} > 0$$

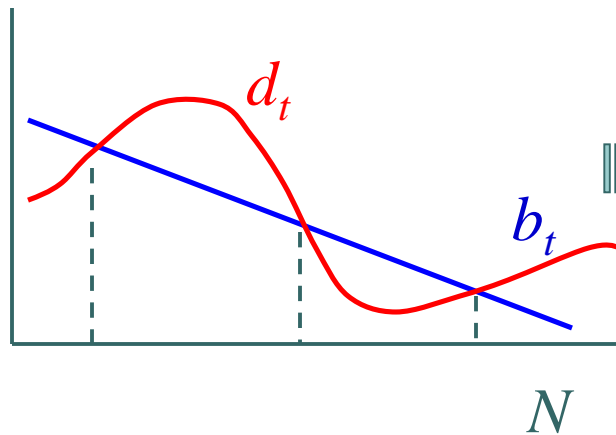
Autoregulação e dinâmica populacional



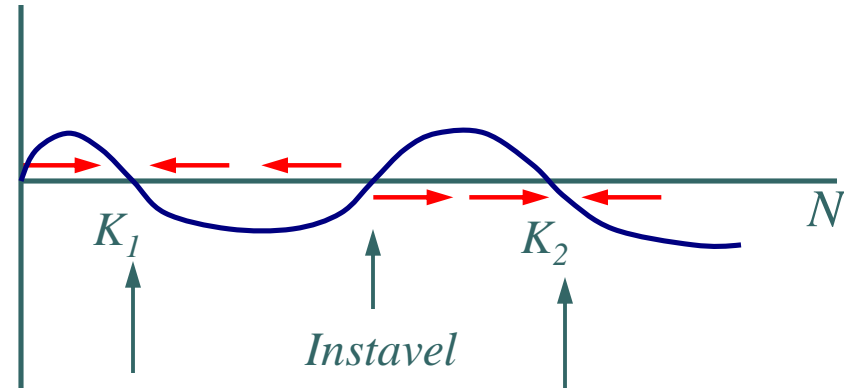
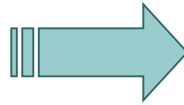
Autoregulação



dinâmica



$$\frac{dN}{dt}$$



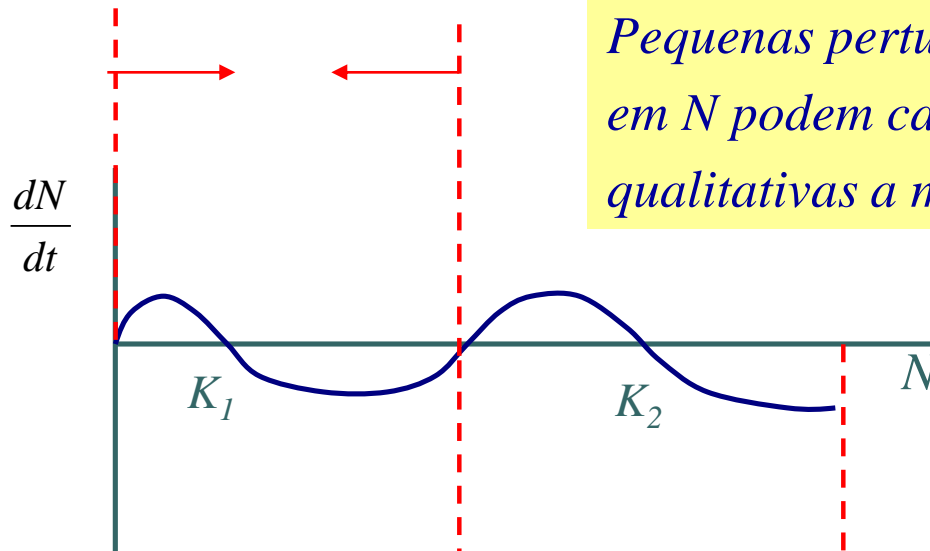
Eq. Estavel
Localmente !

Eq. Estavel
Localmente !

Equilíbrios múltiplos

Gama de valores de N
que conduzem a K_1

Domínio de atracção de K_1

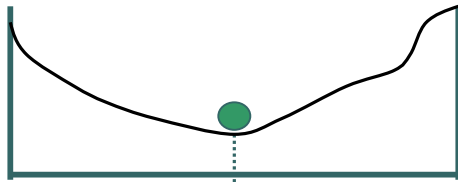


Pequenas perturbações quantitativas
em N podem causar grandes alterações
qualitativas a medio-longo prazo !

Domínio de atracção de K_2

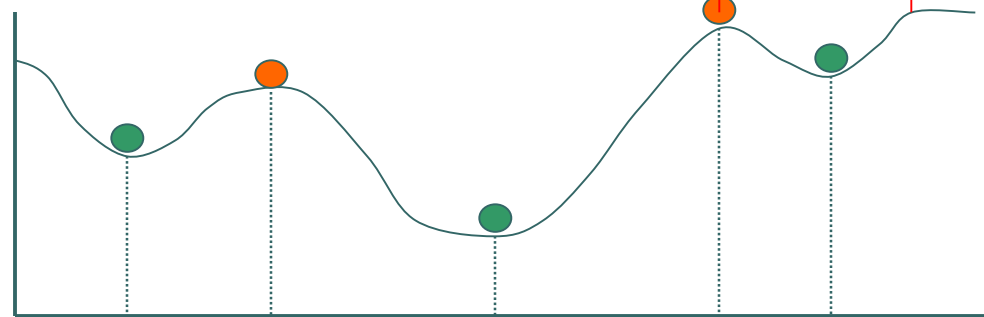
Estabilidade global e local

Estabilidade global



$N=K$

Estabilidade local



Domínio de
atração de K_3

K_1

inst.

K_2

inst.

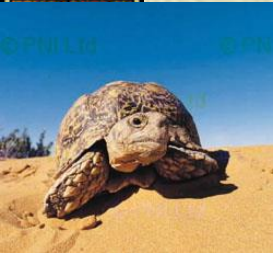
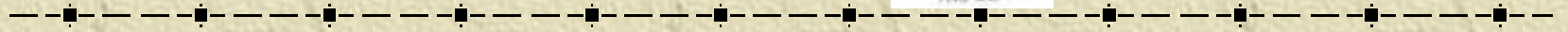
K_3

N

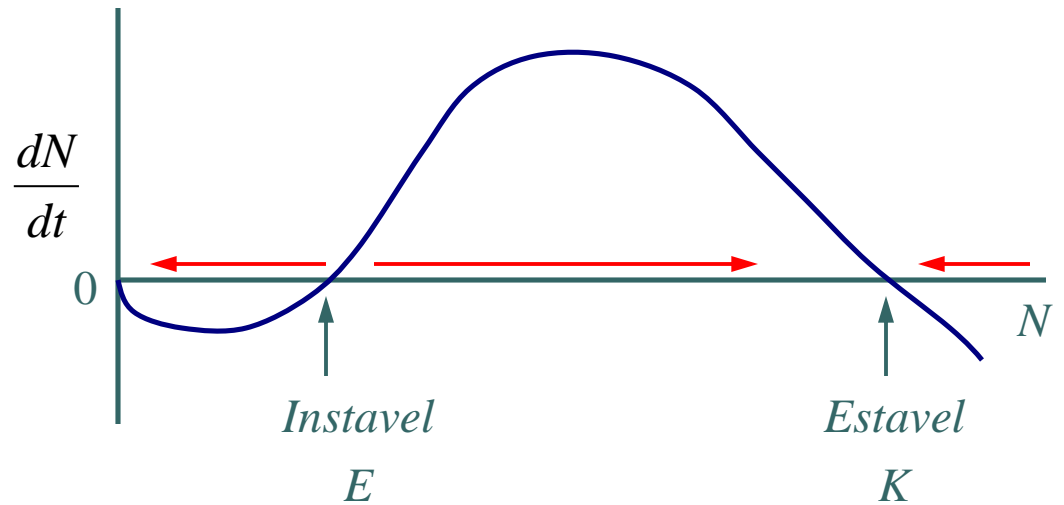
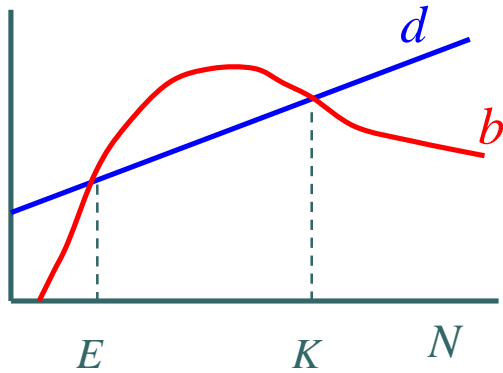
Efeito de Allee



Warder Allee 1885-1955



Efeito de Allee





Resumo e alerta

b e d devem ser funções de N



Estas funções não são necessariamente lineares



Propensão para criar dinâmicas com equilíbrios múltiplos, alguns dos quais instáveis.



Perturbações em N podem gerar a médio-longo prazo grandes alterações contra-intuitivas: as "coisas" não voltam necessariamente a ser o mesmo.