

# Ecologia de Populações de Plantas

## Dinâmica de Populações

Questões: Abundância, Distribuição, Regulação

Organismos unitários X modulares (rametas e genetas)

O que é um indivíduo?

O que é uma população?

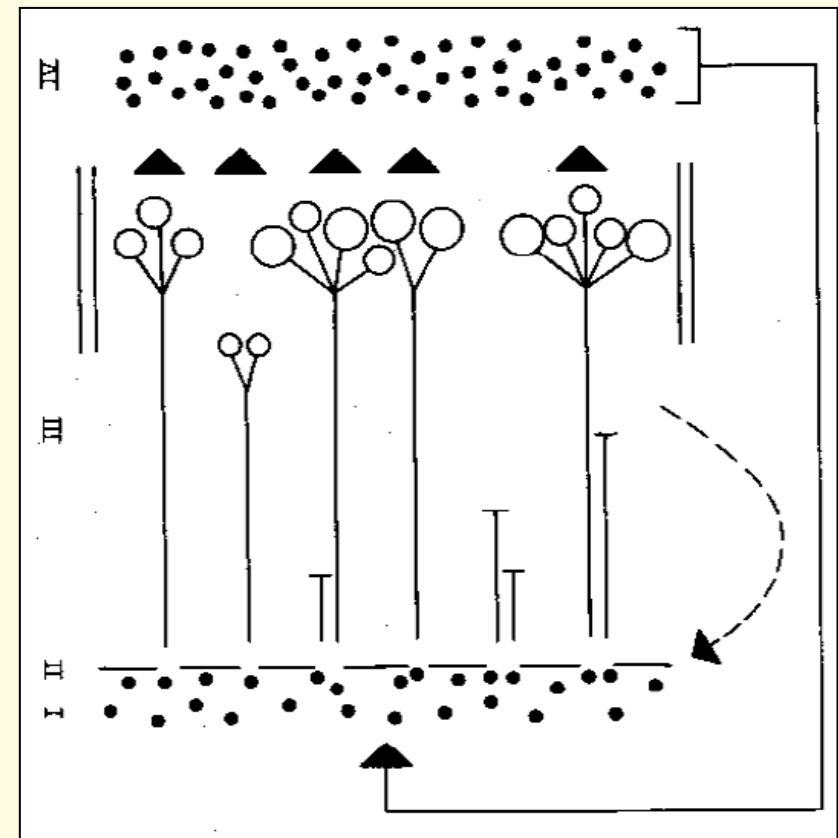


## O que é dinâmica de populações?

Alterações ao longo do tempo no número de indivíduos, na estrutura populacional, na estrutura espacial dos indivíduos e na estrutura genética da população.

Tamanho da população é função de diferentes processos em nível populacional:

- Dispersão das sementes;
- Sobrevivência das sementes no solo;
- Recrutamento de plântulas;
- Sobrevivência dos indivíduos;
- Crescimento dos indivíduos;
- Reprodução;
- Mortalidade dos indivíduos senis.



## Modelos de Crescimento Populacional

### Populações não estruturadas

$N, B, D, I, E$

Tamanho da população varia ao longo do tempo:

$$N_{t+1} = N_t + B - D + I - E \rightarrow \Delta N / \Delta t = B - D + I - E$$

Geralmente, considera-se que  $I = E$

$$\Delta N / \Delta t = B - D, \text{ onde } B = bN \text{ e } D = dN$$

$$dN/dt = (b - d)N \rightarrow dN/dt = rN$$

$r$  = taxa intrínseca de crescimento, taxa instantânea de crescimento,  
parâmetro Malthusiano = taxa de crescimento populacional per capita  
(indivíduos.indivíduo<sup>-1</sup>.tempo<sup>-1</sup>)

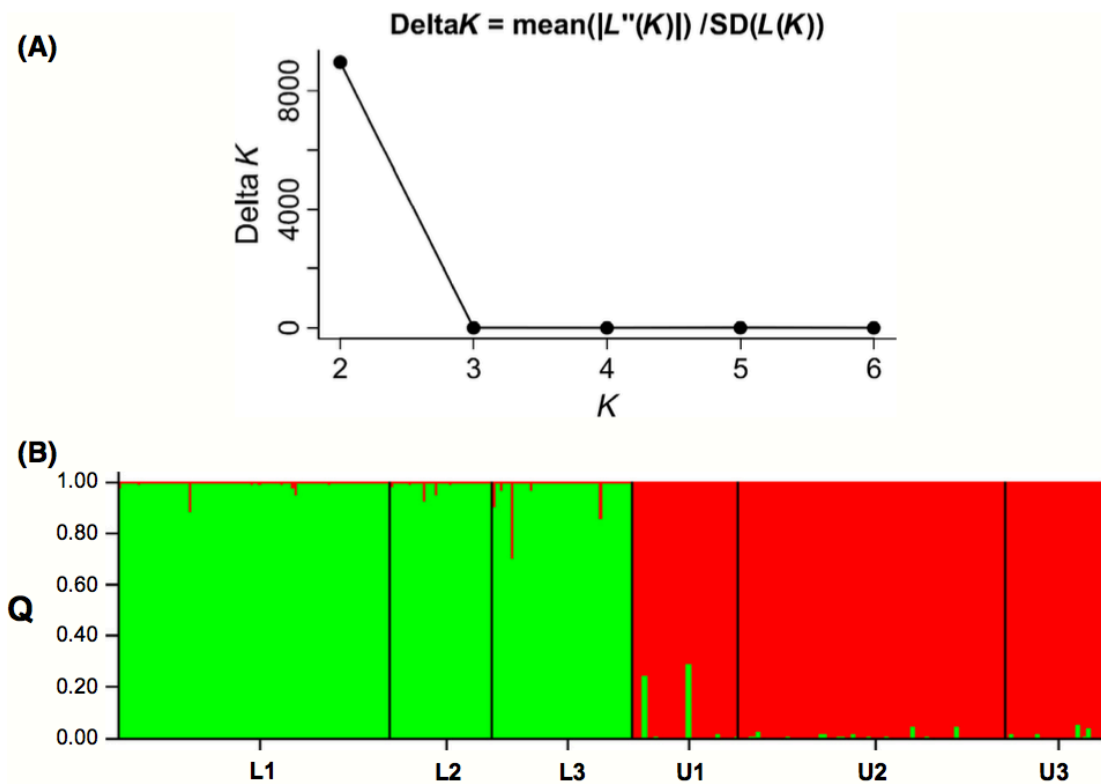
# Ecology and Evolution

Open Access

## Elevation as a barrier: genetic structure for an Atlantic rain forest tree (*Bathysa australis*) in the Serra do Mar mountain range, SE Brazil

Talita Soares Reis<sup>1</sup>, Maísa Ciampi-Guillardi<sup>2</sup>, Miklos Maximiliano Bajay<sup>3</sup>, Anete Pereira de Souza<sup>1,2</sup> & Flavio Antonio Maës dos Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Biologia Vegetal, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, CP 6109, 13083-970 Campinas, SP, Brazil



**Figure 3.** Genetic structure of *Bathysa australis* populations in the Serra do Mar mountain range. (A) Graphical plot based on delta-*K* calculated according to Evanno et al. (2005) to estimate the actual number of clusters for the 271 *Bathysa australis* individuals used in this study. (B) Assignment of 271 *Bathysa australis* individuals from six populations into two ( $K = 2$ ) clusters using a Bayesian-based population genetic structure analysis carried out with the software STRUCTURE (Pritchard et al. 2000). Each solid bar represents a single individual, while colored areas correspond to distinct genetic clusters. Bars with multiple colors denote admixed genomes.

## Dificuldades com plantas:

✓ O que é um indivíduo?



✓ O que é nascimento?

Quando definir que um indivíduo está nascido?



✓ Quando definir mortalidade?



## Populações não-estruturadas

- Todos os indivíduos possuem as mesmas taxas de sobrevivência, crescimento e fecundidade, ou seja, possuem a mesma contribuição para a geração futura;
- Os indivíduos nascem e morrem continuamente;
- Indivíduos podem se reproduzir imediatamente após o seu nascimento

### Modelo Exponencial:

$$N_t = N_0 \cdot e^{rt} \quad \text{ou} \quad dN/dt = rN$$

### Crescimento Discreto X Contínuo

$$N_t = \lambda^t \cdot N_0$$

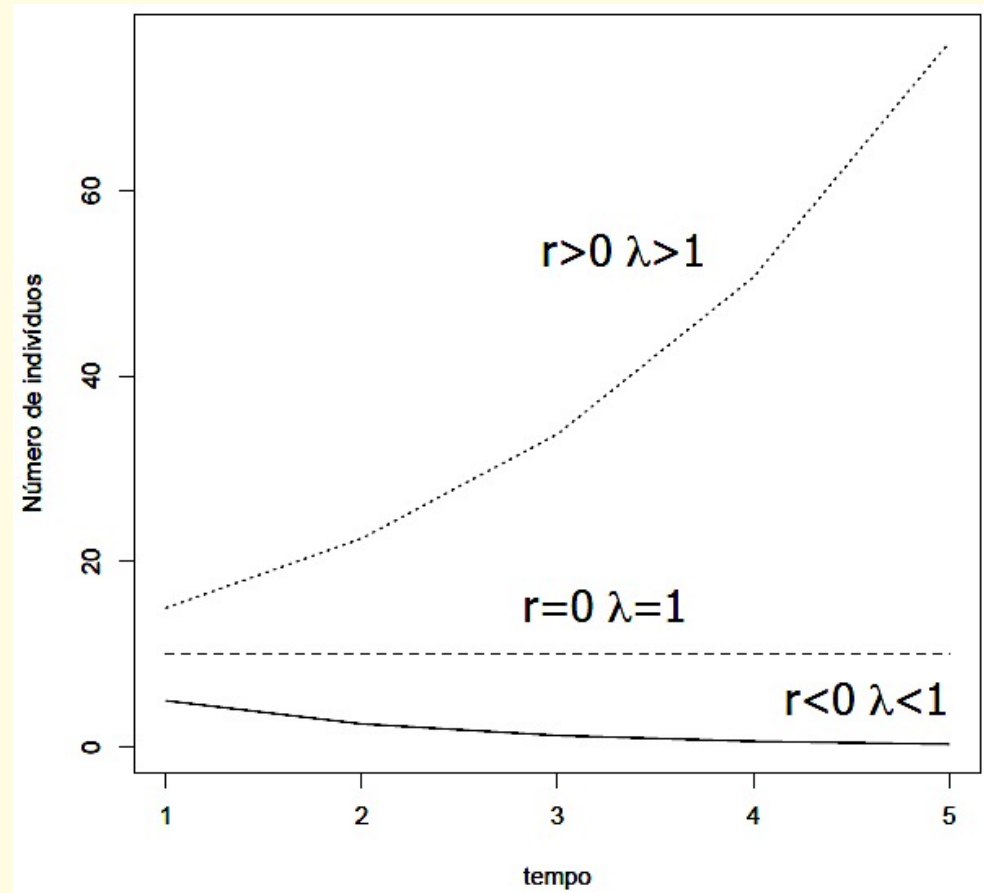
### Relação entre $\lambda$ e $r$

$$N_t = N_0 \lambda^t = N_0 \cdot e^{rt}$$

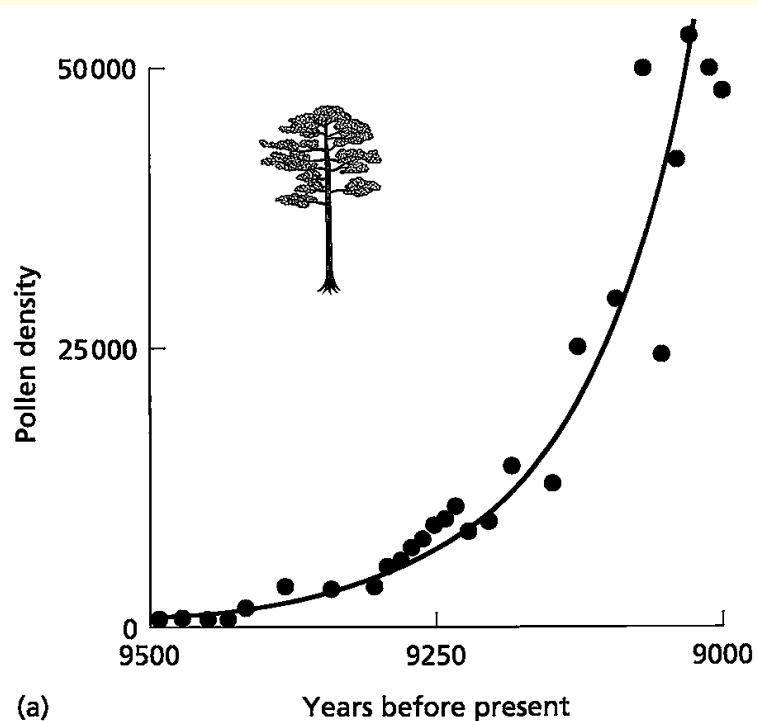
$$\lambda^t = e^{rt}$$

$$\lambda = e^r$$

$$\ln(\lambda) = r$$



- Crescimento exponencial pode ocorrer em plantas por algum tempo em algumas circunstâncias, ex. espécie ruderal no início da sucessão secundária, plantas invasoras que colonizam um novo hábitat, etc.;



*Pinus sylvestris* entre 9.500 e 9.000 anos atrás, quando a espécie estava iniciando a colonização na Inglaterra

Registros de pólen (Bennett 1983)

- Não é um modelo realista, pois os recursos disponíveis no hábitat são limitados e não suportariam populações crescendo ilimitadamente.

## Efeitos da densidade

- Conforme aumenta a densidade de indivíduos, aumenta a competição intraespecífica por recursos

Dois tipos de competição intraespecífica:

**por exploração:** indivíduos interagem indiretamente. O nível de recursos disponível diminui devido à presença de vizinhos. Ex. disputa por nutrientes no solo.

**por interferência:** indivíduos interagem diretamente por um recurso. Ex. disputa por espaço entre as plantas em um costão rochoso; alelopatia.

- Em plantas, os efeitos da competição não ocorrem devido ao tamanho populacional em si, mas sim pela ação dos vizinhos mais próximos



## Modelo logístico

Os modelos de competição são derivados da equação logística.

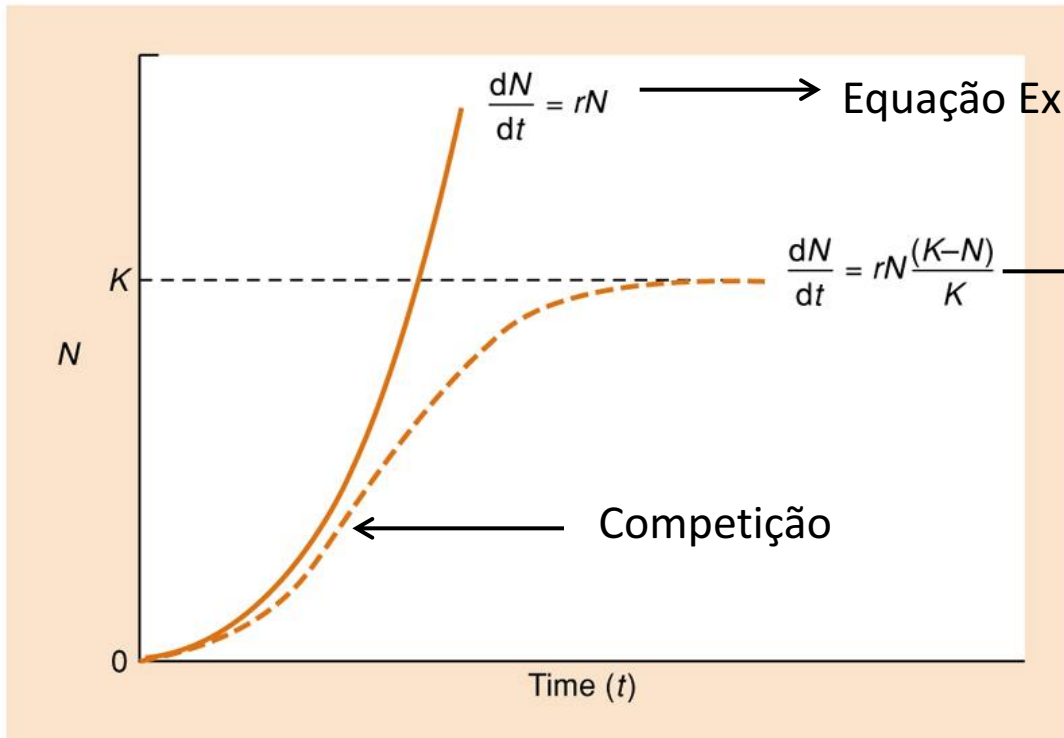
$$\frac{dN}{dt} = rN \frac{(K - \alpha N)}{K}$$

Onde  $\alpha$  é o coeficiente de competição.

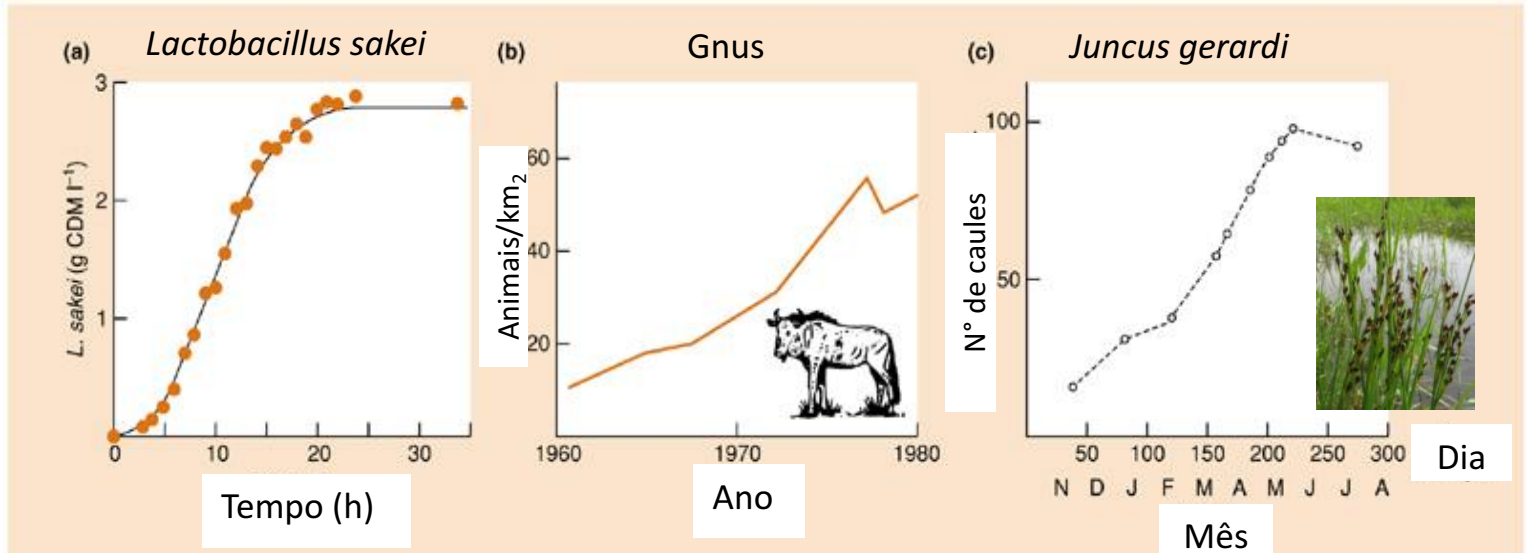
Considerando competição intraespecífica, o modelo assume que o efeito de um indivíduo sobre os demais é igual ao efeito recíproco. Daí, o termo ser omitido da fórmula. A competição aqui é considerada simétrica.

Plantas podem responder à competição por redução numérica (aumento de mortalidade e/ou redução de fecundidade) ou por redução de tamanho (plasticidade de crescimento).

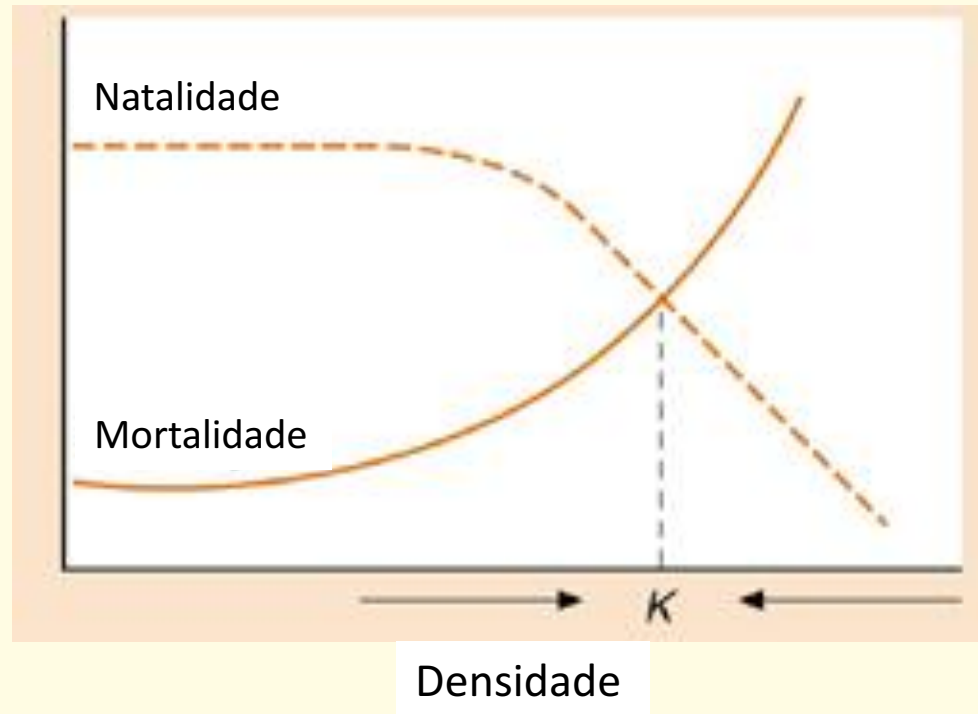
Plantas podem atingir K seja por número ou por biomassa.



Crescimento = 0, quando a população atinge K



A natalidade também pode reduzir conforme aumenta a densidade, pois as plantas menores produzem menos sementes



Capacidade de suporte ( $K$ ): tamanho da população que pode ser suportado pelos recursos disponíveis no hábitat, sem que haja uma redução ou aumento no número de indivíduos

## Efeitos da densidade

Auto-debaste ou “self-thinning”: redução na densidade de indivíduos de uma coorte conforme os indivíduos crescem em tamanho (Yoda et al. 1963)

Peso de uma dada planta ( $w$ )  $\propto$  Volume da Planta = Cubo de uma dimensão linear ( $l^3$ )

Área média ocupada por uma planta ( $S$ )  $\propto$  Quadrado de uma medida linear ( $l^2$ )

Se:  $w \propto l^3$  e  $S \propto l^2$

Então:

A área média ocupada por uma planta ( $s$ ) é inversamente proporcional à densidade  $\rho$

$$s \propto 1/\rho \Rightarrow w \propto (1/\rho)^{3/2} \Rightarrow w \propto \rho^{-3/2}$$

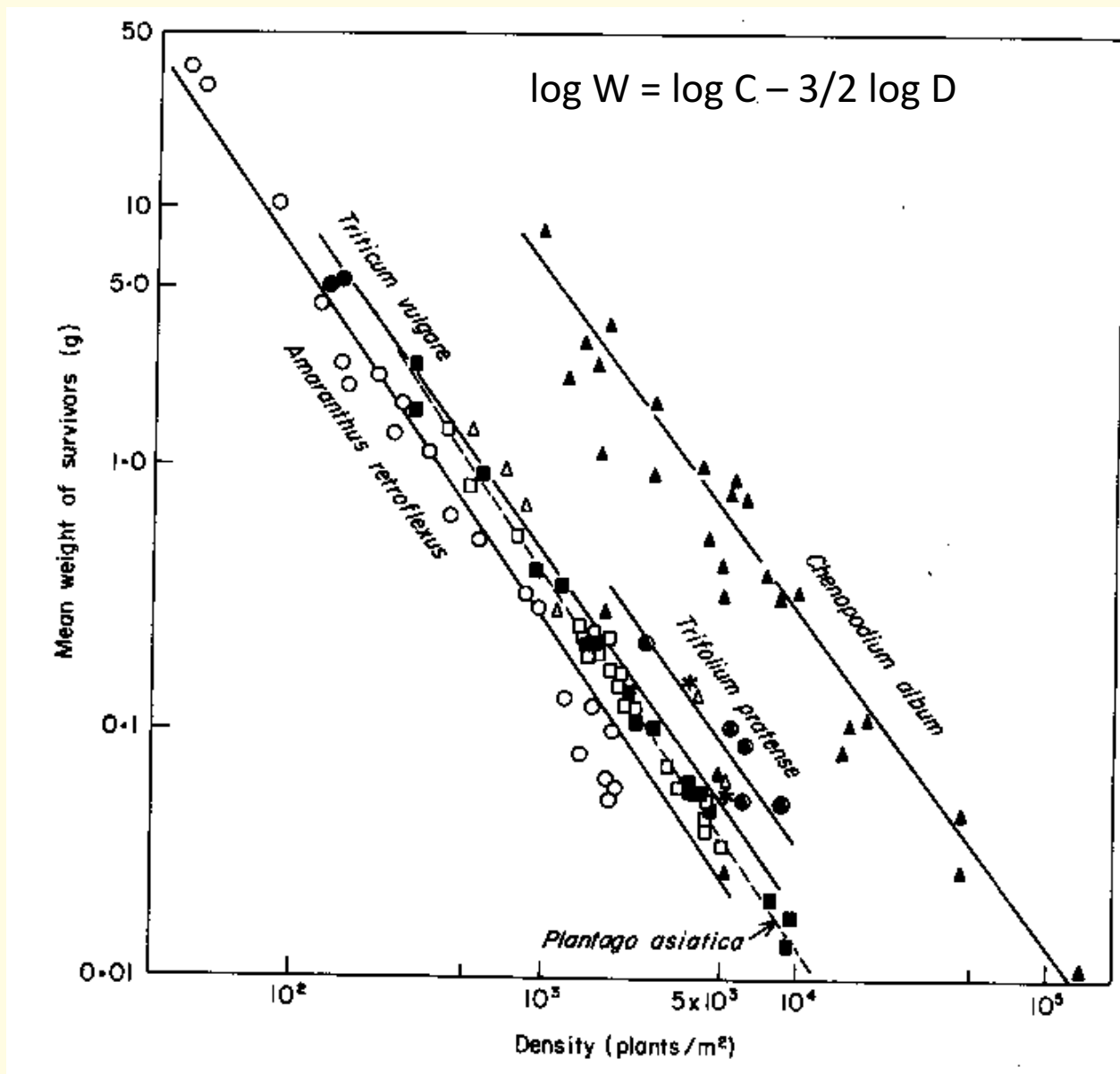
Então:  $w = c. \rho^{-3/2}$

## Efeitos da densidade

O que acontece no campo?



## Lei dos -3/2



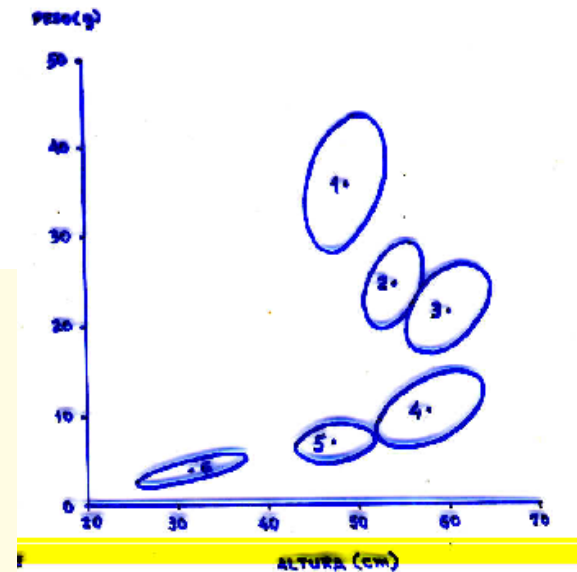
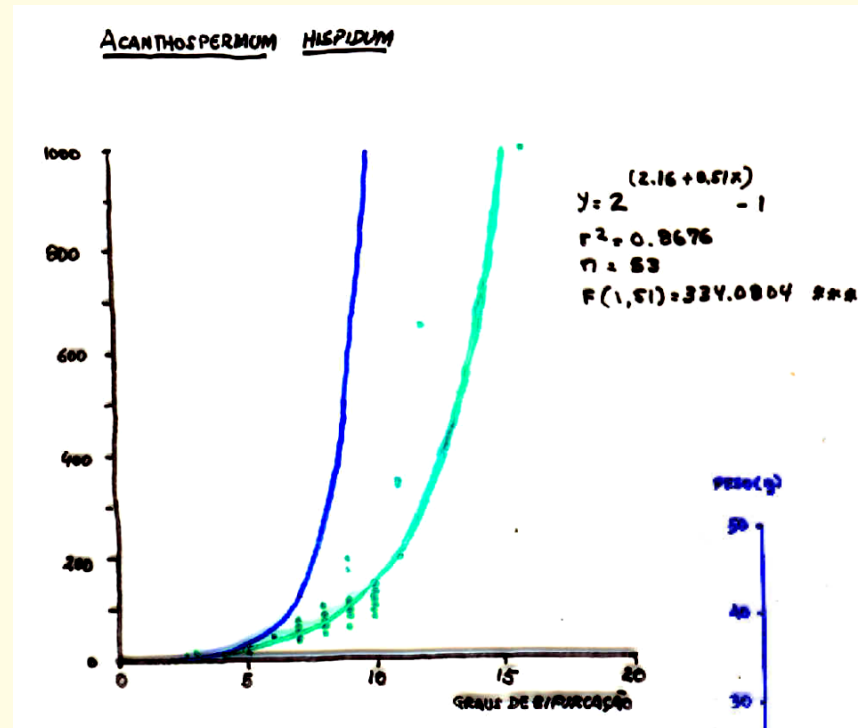
## Efeitos da densidade

*Acanthospermum hispidum* (Compositae)  
Santos (1983)



## Tamanho e Forma

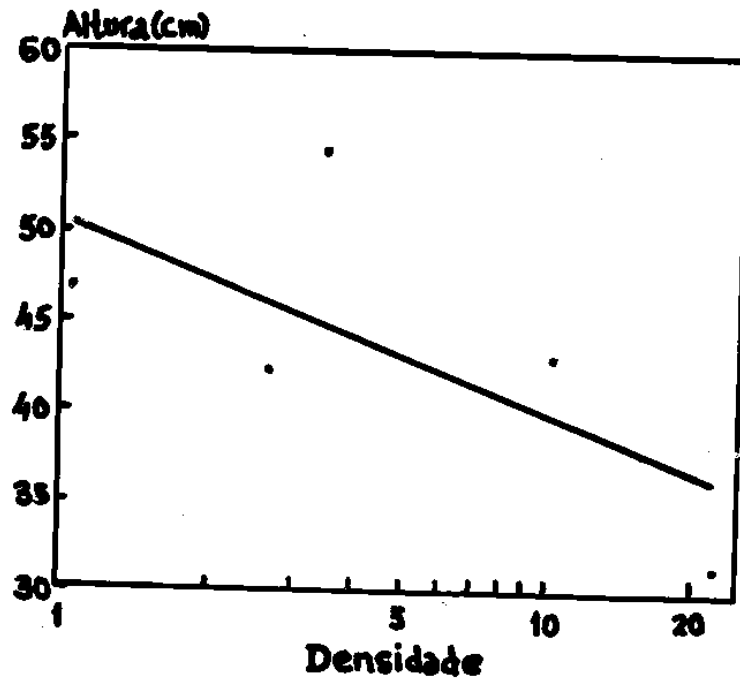
Santos, F.A.M. (dados não publicados). *Acanthospermum hispidum*



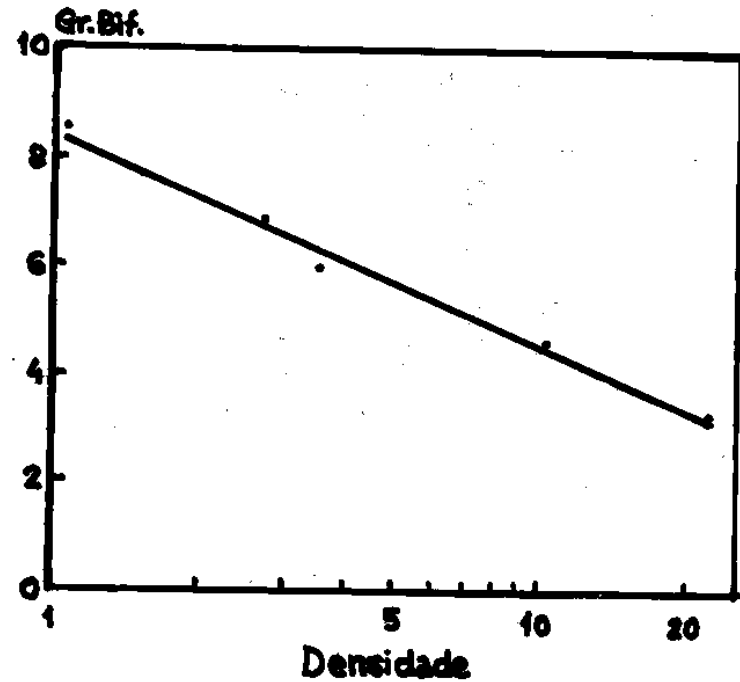


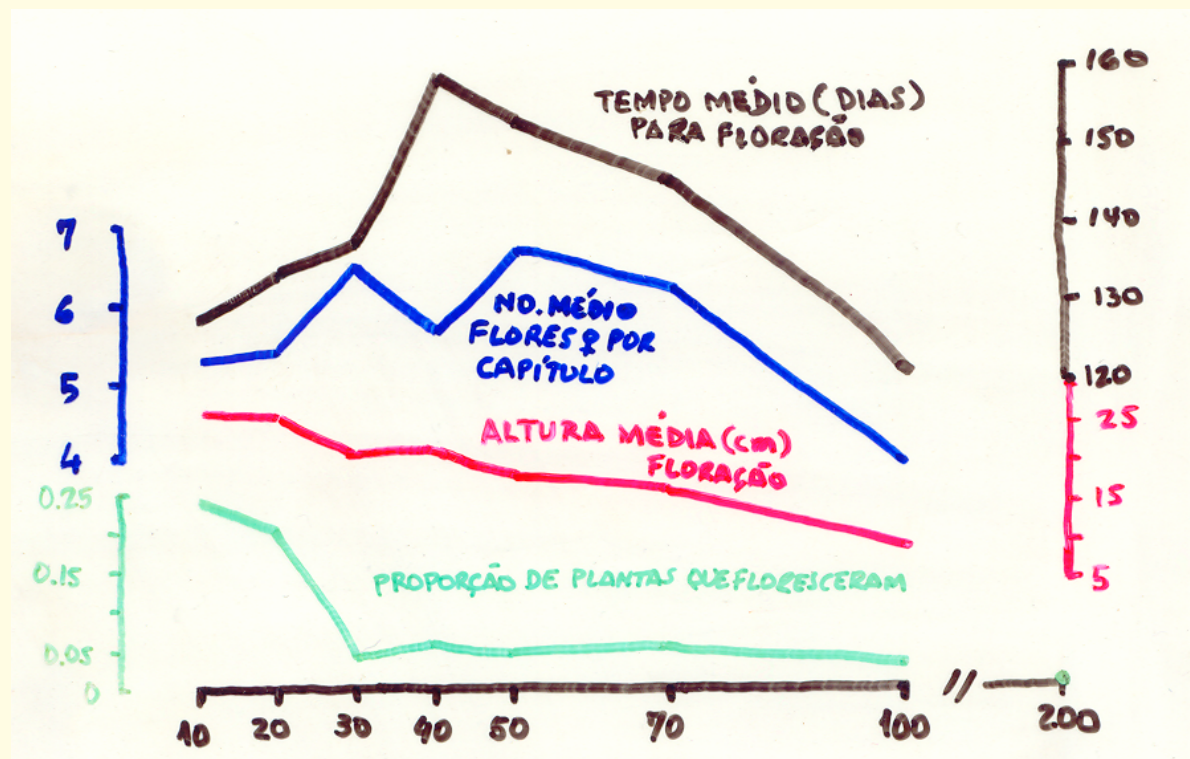
*Acanthospermum hispidum* (Compositae)  
Santos (1983)

$$y = 50.69 - 10.94x; r^2 = 0.45$$



$$y = 8.37 - 3.86x; r^2 = 0.99$$

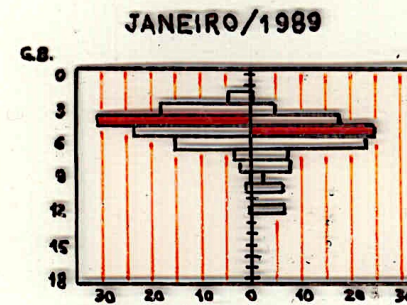
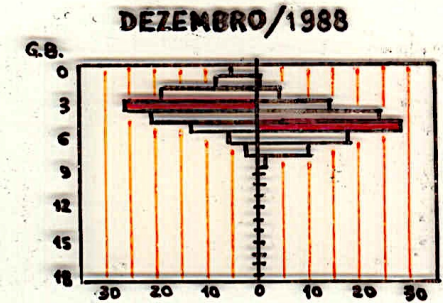
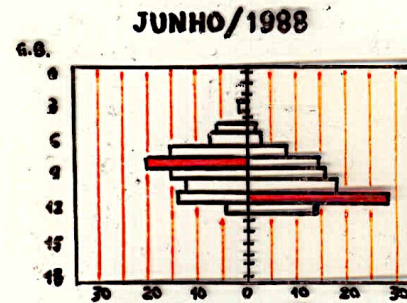
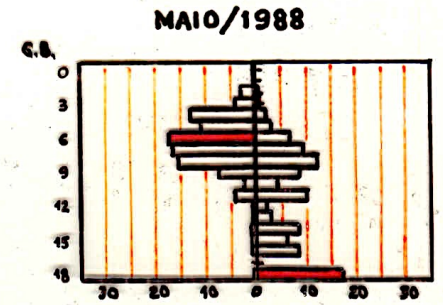
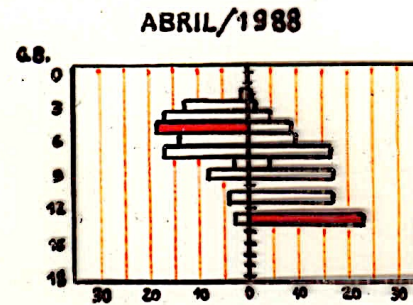




*Acanthospermum hispidum*  
(Compositae) (Santos 1983)

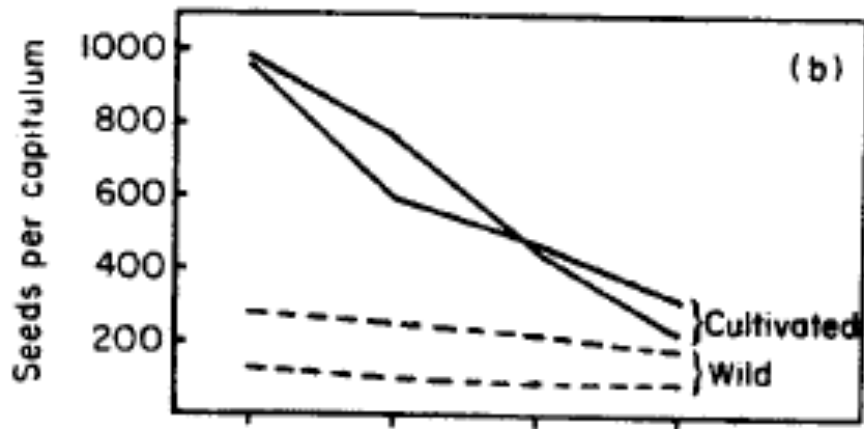
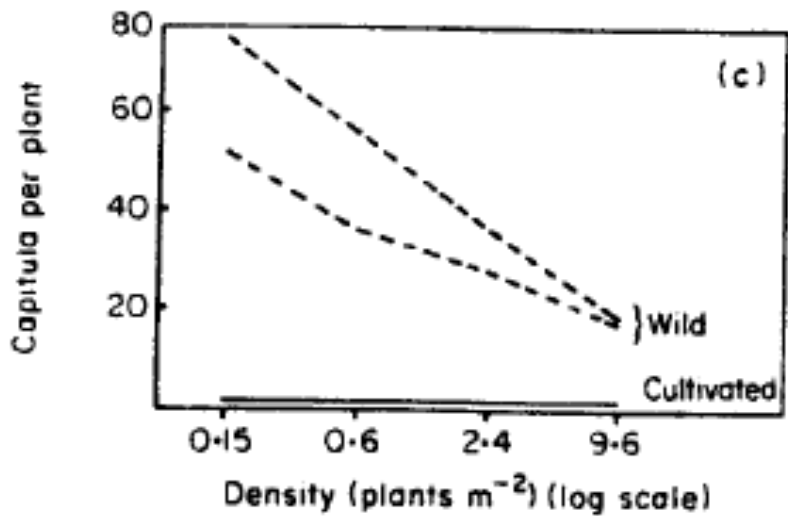
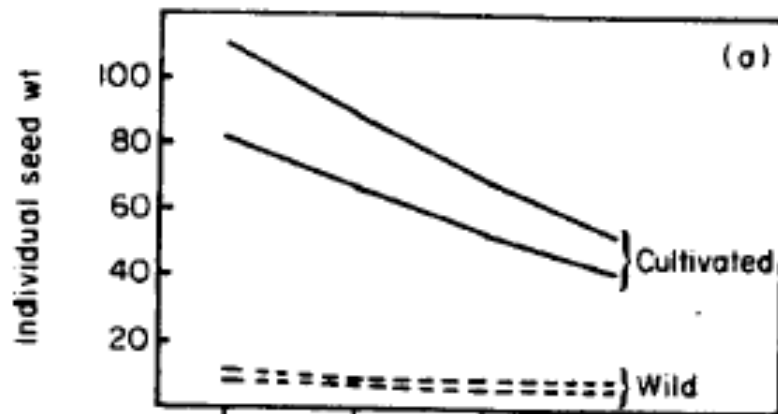
Densidades	indivíduos/m <sup>2</sup>	sementes/m <sup>2</sup>
Abril/1988	3,5	1356
Maio/1988	2,7	1789
Junho/1988	1,1	813
Dezembro/1988	21,8	1807
Janeiro/1989	10,2	1723

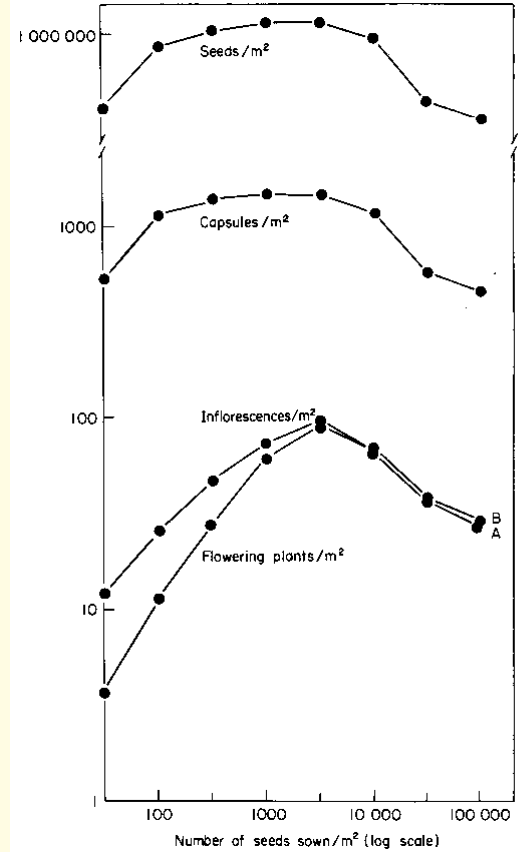
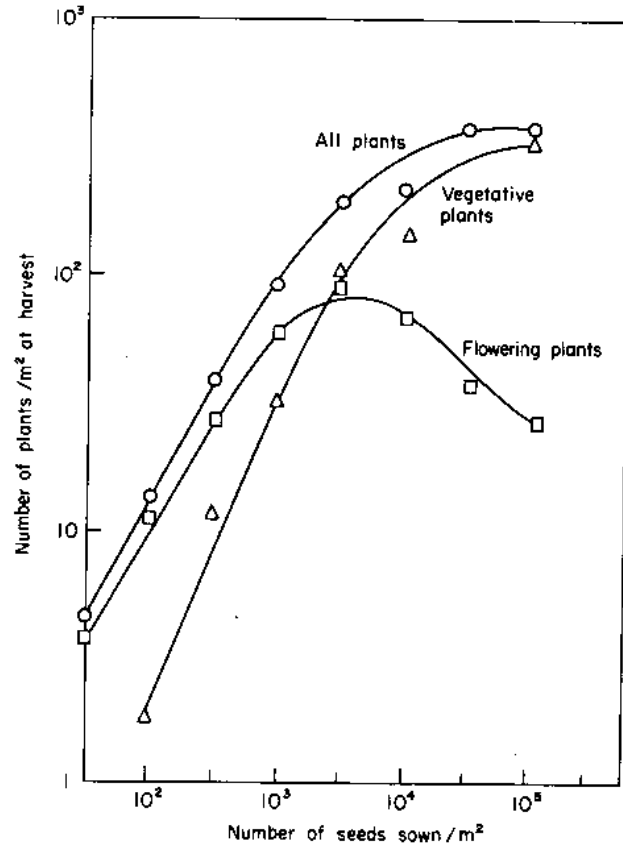
*Acanthospermum hispidum* DC. (Compositae).  
 Número de indivíduos por classe de tamanho  
 (graus de bifurcação – GB) e número de  
 sementes produzidas pelos indivíduos de cada  
 classe de tamanho. – Plantação de algodão –  
 IAC, Campinas. (Santos, F.A.M., dados não  
 publicados).





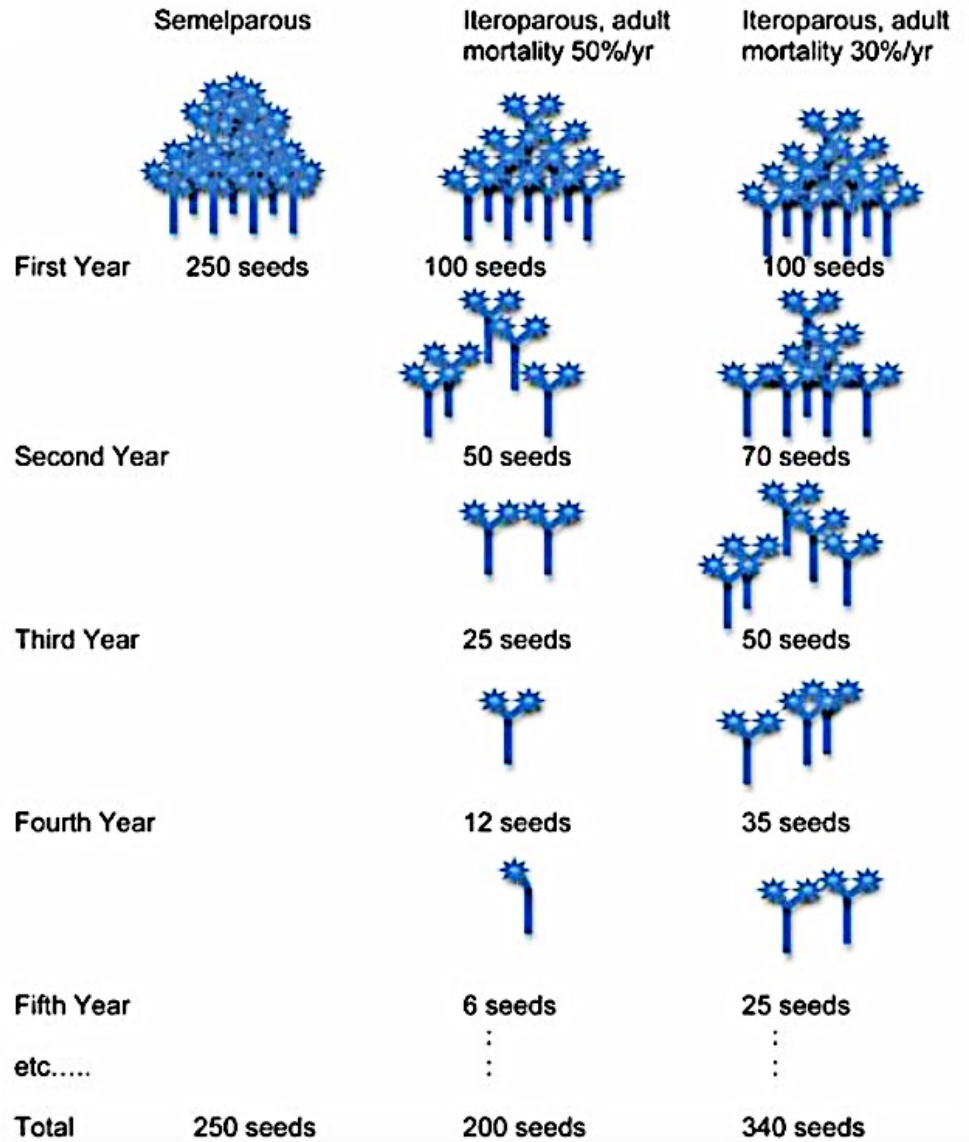
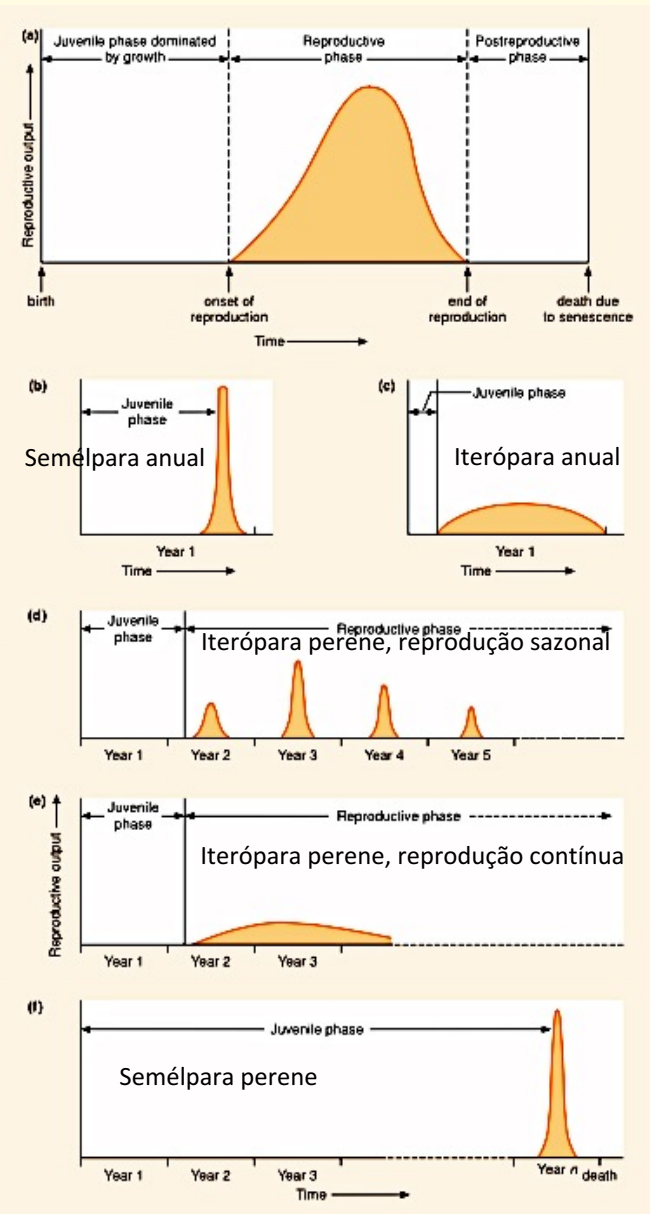
Bradshaw (1974)  
*Helianthus annuus*





*Digitalis purpurea* (Schrophulariaceae) – Planta Bienal  
Oxley (1977)

# Ciclos de vida: Anuais, Bienais, Perenes X Semélparas, Iteróparas



## Estratégias r-K

Seleção r: seleção que favorece crescimento rápido tanto em biomassa como em número de indivíduos.

Seleção K: seleção que favorece uma maior eficiência na utilização dos recursos disponíveis.

Estratégia r: conjunto de adaptações que aumente o  $r_{MÁX}$  e/ou o crescimento rápido.

Estratégia K: conjunto de adaptações que aumenta a capacidade competitiva de um organismo e sua eficiência.

## Estratégias r-K

Pianka (1970) – gradiente contínuo de estratégias.

Gadgil & Solbrig (1972) – utilização do esforço reprodutivo dos indivíduos, baseado na proporção de recursos destinada à reprodução.

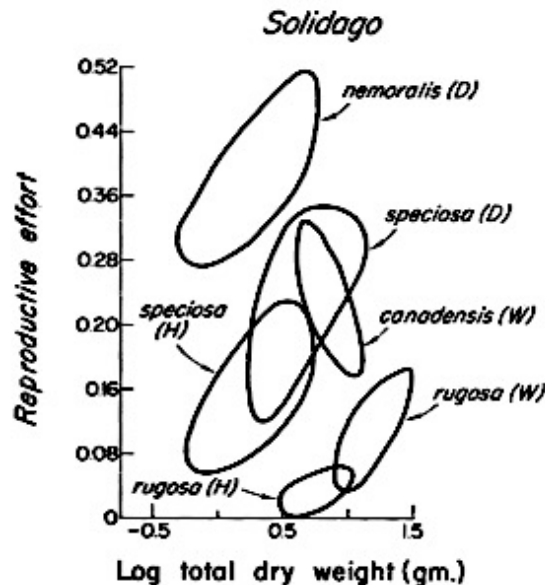


FIG. 5.—Reproductive effort (i.e., ratio of dry weight of reproductive to total aerial tissue) as a function of the total dry weight of the aerial tissue for the various population of *Solidago*. Each closed curve embraces all points representing the individuals included in a single population; *D* = dry-site population; *W* = wet-site population; *H* = hardwood-site population.

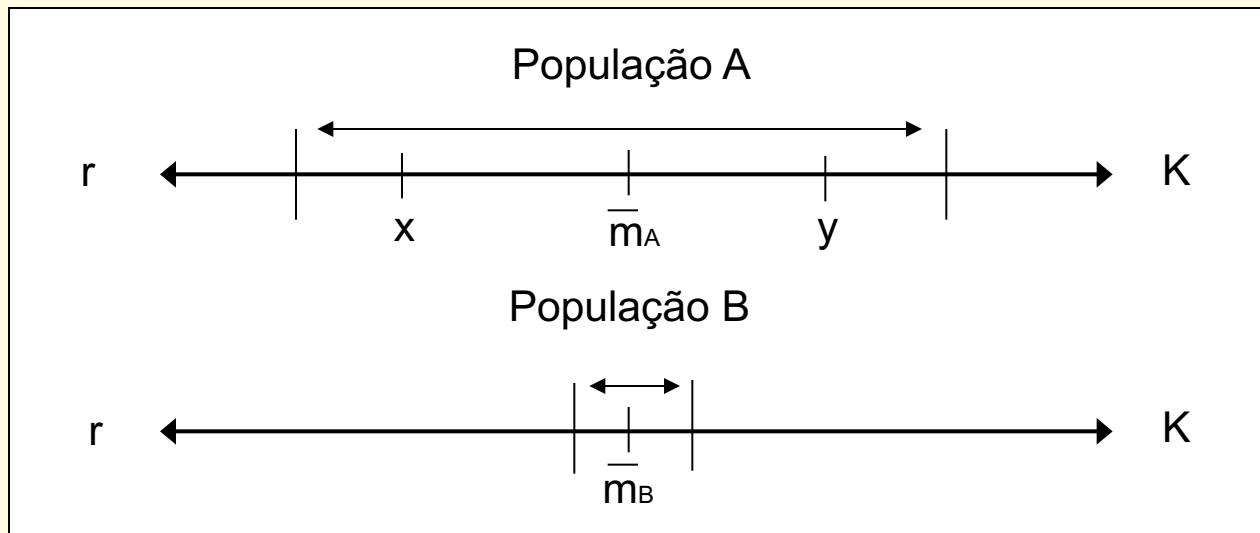
Proporção de biomassa alocada para reprodução diminuiu com o aumento da maturidade da comunidade.



# MODELOS

## Estratégias r-K

Populações podem possuir posições médias semelhantes no gradiente r-K, mas apresentarem variações temporais bem diferentes (Nichols et al. 1976)



$\bar{m}$  = posição média

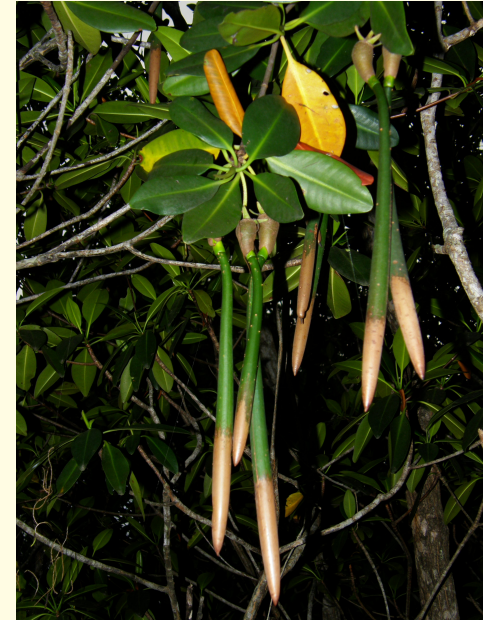
Os pontos x e y representam duas posições sucessivas da população A. Relativamente à B, A parece ser mais r em x e mais K em y.

## Estratégias r-K

Harper (1977) – existem outras forças seletivas que podem favorecer certas características semelhantes à seleção r-K

Ex: Ambientes de deserto – estações de desenvolvimento muito curtas – hábito de crescimento efêmero pode ser favorecido (anuais de deserto). Ciclos de vida curtos podem estar associados a episódios de rápida colonização. Nesse caso, grande longevidade de sementes, períodos longos de dormência de sementes, somados a uma baixa fecundidade e mecanismos de dispersão pouco eficientes, podem não estar relacionados em nada com seleção r-K.

Ex: Ambientes de mangues.



# Estratégias C-S-R (Grime 1977)

Intensidade de Perturbação	Intensidade de stress	
	Baixo	Alto
Baixo	Competidores	Tolerantes ao stress
Alto	Ruderais	Estratégia inviável

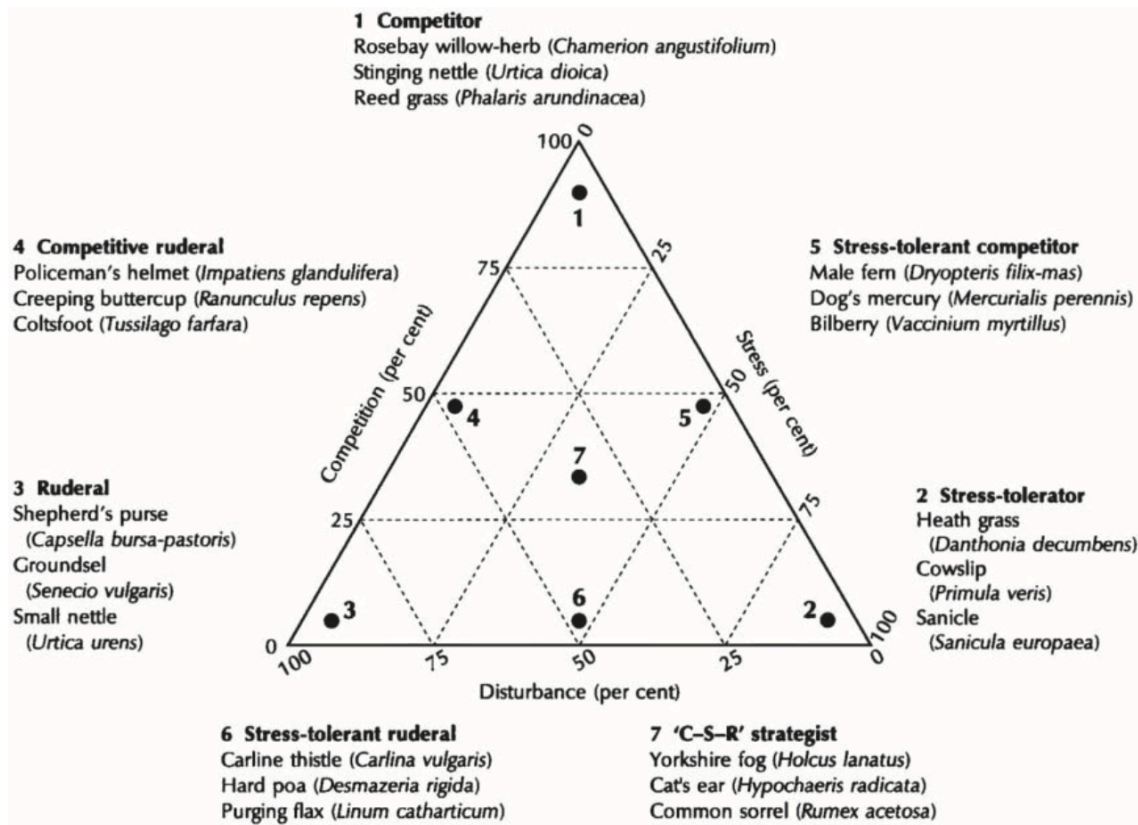


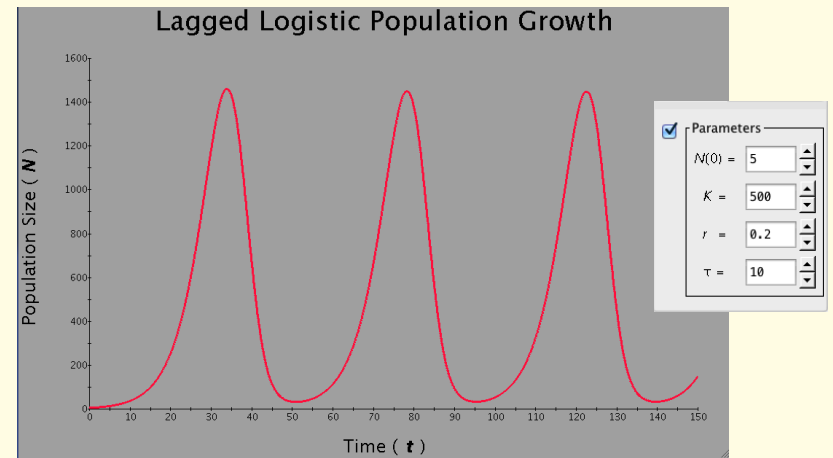
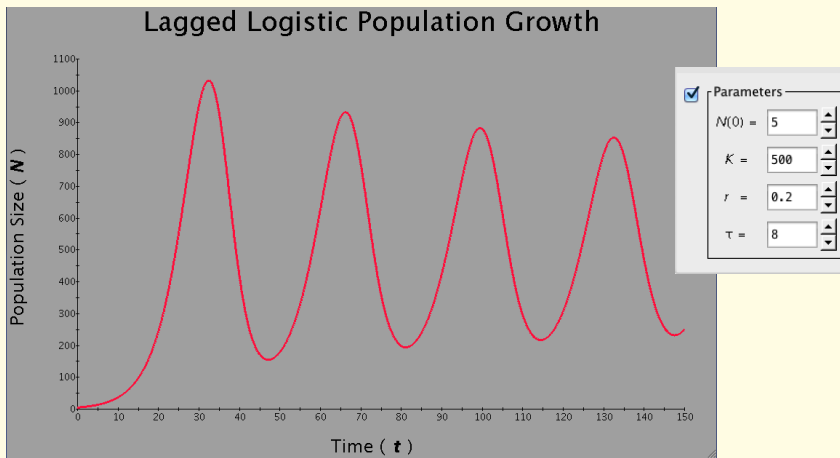
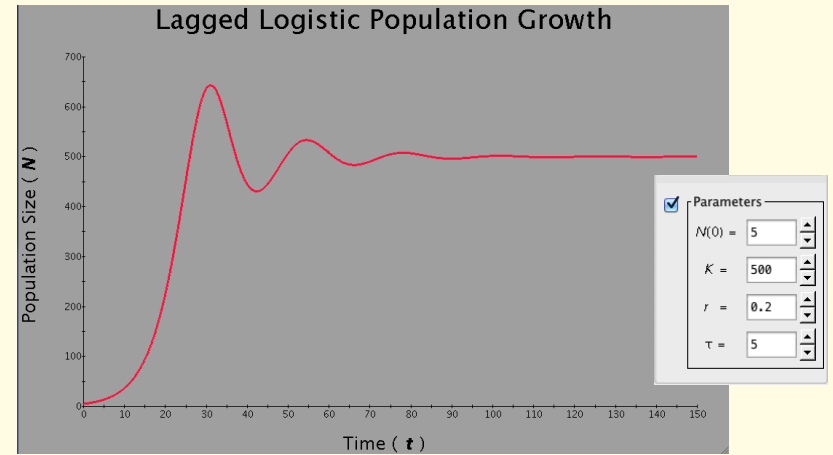
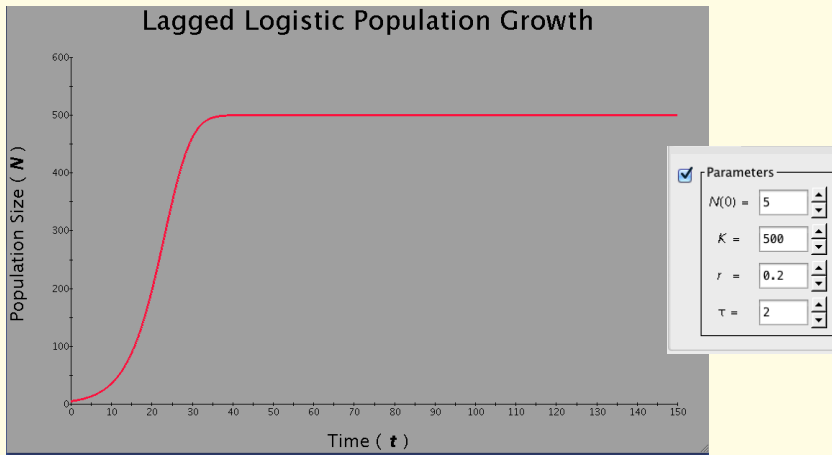
Figure 4.8 Ecological strategies in plants. The triangular diagram is used to define various mixes of three basic strategies –competitor, stress tolerator, and ruderal. Pure competitors lie at the top corner of the triangle, pure stress-tolerators at the bottom right corner, and pure ruderals at the bottom left corner. Intermediate strategies are shown. Example species are all British.

Source: After Grime et al. (1988)

# Modelo Logístico incluindo tempo de resposta:

$$dN/dt = rN ((K-N_{t-T})/K)$$

T = tempo de resposta ("time lag")



## Premissas

- ✓ Taxas são constantes no tempo
- ✓ Imigração é igual a Emigração --> mudanças no tamanho da população dependem apenas das taxas locais de natalidade e mortalidade.
- ✓ Todos os indivíduos são considerados igualmente --> não são consideradas as estruturas genética, etária e de tamanhos. Também não é considerada a razão sexual.
- ✓ Ambiente é constante

## Modelos determinísticos X Estocásticos:

Determinísticos: taxas são constantes. População cresce em um ambiente constante.

Estocásticos: taxas são médias e possuem variância. Ambiente pode ser variável.

## Estocasticidade Demográfica:

Taxa de sobrevivência anual = 0,4

$N_0 = 100$  -->  $N_1 = 40$  indivíduos

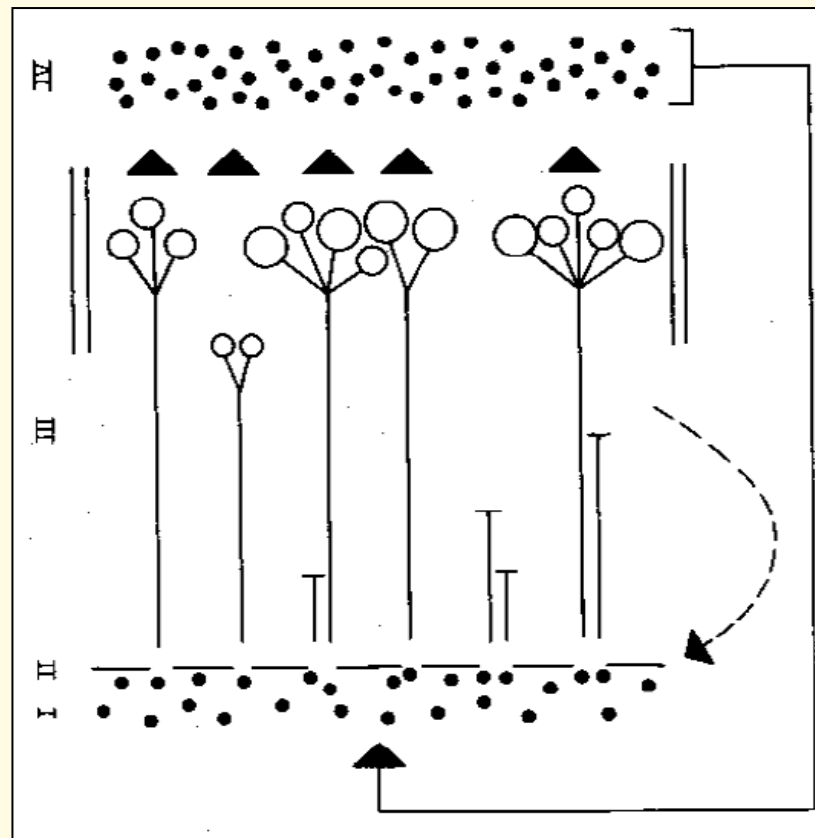
$N_0 = 3$  -->  $N_1 = 1,2$  indivíduos --> ???

$N_1 = 0, 1, 2$  ou  $3$  indivíduos --> Cada indivíduo tem 40% de chance de sobreviver --> Probabilidade de todos sobreviverem =  $0,4^3$  e Probabilidade de nenhum irá sobreviver =  $(1-0,4)^3$

## Estrutura de Populações

Nem todos os indivíduos em uma população são iguais e possuem as mesmas chances de sobrevivência e de reprodução

Os indivíduos diferem de muitas maneiras e algumas dessas diferenças resultam em diferenças na sobrevivência e nas chances de se reproduzirem.



## Tabelas de Vida

As análises demográficas clássicas são baseadas em um sistema de tabulação considerando sobrevivência e reprodução específica por idade, conhecida como tabela de vida.

Uma tabela de vida contém as estatísticas vitais como a probabilidade de um indivíduo sobreviver e se reproduzir.

$x$  = classe de idade

$l_x$  = probabilidade de sobrevivência

$d_x$  = taxa de mortalidade =  $l_x - l_{x+1}$

$q_x$  = taxa de mortalidade da classe etária =  $d_x/l_x$

$L_x = (l_x + l_{x+1})/2$

$e_x$  = expectativa de vida =  $(\sum L_x)/l_x$

$m_x$  = fecundidade

$l_x m_x$

Taxa reprodutiva líquida =  $R_0 = \sum l_x \cdot m_x$  = número de fêmeas produzidas por fêmea durante a vida de uma fêmea.

Tempo médio de geração:  $G = (\sum x \cdot l_x \cdot m_x) / R_0$

$r = \ln(R_0) / G$  (Se  $t = G \rightarrow R_0 = e^{rG} \rightarrow \ln(R_0) = rG \rightarrow r = \ln(R_0) / G$ )

## Tabela de vida para *Phlox drummondii* (Polemoniaceae) - Planta anual, herbácea

Leverich, W.J. & D.A. Levin. 1979. Age-specific survivorship and reproduction in *Phlox drummondii*. *American Naturalist* 113: 881.903.





## Idade dos indivíduos



x (dias)	intervalo (dias)	$N_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$B_x$ (sementes)	$b_x$	$l_x b_x$
0-63	63	996	1,0000	328	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
63-124	61	668	0,6707	373	0,0092	0,000	0,0000	0,0000
124-184	60	295	0,2962	105	0,0059	0,000	0,0000	0,0000
184-215	31	190	0,1908	14	0,0024	0,000	0,0000	0,0000
215-231	16	176	0,1767	2	0,0007	0,000	0,0000	0,0000
231-247	16	174	0,1747	1	0,0004	0,000	0,0000	0,0000
247-264	17	173	0,1737	1	0,0003	0,000	0,0000	0,0000
264-271	7	172	0,1727	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
271-278	7	170	0,1707	3	0,0025	0,000	0,0000	0,0000
278-285	7	167	0,1677	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
285-292	7	165	0,1657	6	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
292-299	7	159	0,1596	1	0,0009	0,000	0,0000	0,0000
299-306	7	158	0,1586	4	0,0036	52,954	0,3394	0,0532
306-313	7	154	0,1546	3	0,0028	122,630	0,7963	0,1231
313-320	7	151	0,1516	4	0,0038	362,317	2,3995	0,3638
320-327	7	147	0,1476	11	0,0107	457,077	3,1904	0,4581
327-334	7	136	0,1365	31	0,0325	345,594	2,5411	0,3470
334-341	7	106	0,1054	31	0,0422	331,659	3,1589	0,3330
341-348	7	74	0,0743	52	0,1004	641,023	8,6625	0,6436
348-355	7	22	0,0221	22	0,1428	94,760	4,3072	0,0951
355-362	7	0	0,0000			0,000	0,0000	0,0000

 $\Sigma = 2,4177$ 

Sementes

Vegetativo

Reprodutivo

Taxa de sobrevivência dos indivíduos até a idade  $x$ 

n° de ind. mortos em cada intervalo de tempo

$x$ (dias)	intervalo (dias)	$N_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$B_x$ (sementes)	$b_x$	$l_x b_x$
0-63	63	996	1,0000	328	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
63-124	61	668	0,6707	373	0,0092	0,000	0,0000	0,0000
124-184	60	295	0,2962	105	0,0059	0,000	0,0000	0,0000
184-215	31	190	0,1908	14	0,0024	0,000	0,0000	0,0000
215-231	16	176	0,1767	2	0,0007	0,000	0,0000	0,0000
231-247	16	174	0,1747	1	0,0004	0,000	0,0000	0,0000
247-264	17	173	0,1737	1	0,0003	0,000	0,0000	0,0000
264-271	7	172	0,1727	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
271-278	7	170	0,1707	3	0,0025	0,000	0,0000	0,0000
278-285	7	167	0,1677	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
285-292	7	165	0,1657	6	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
292-299	7	159	0,1596	1	0,0009	0,000	0,0000	0,0000
299-306	7	158	0,1586	4	0,0036	52,954	0,3394	0,0532
306-313	7	154	0,1546	3	0,0028	122,630	0,7963	0,1231
313-320	7	151	0,1516	4	0,0038	362,317	2,3995	0,3638
320-327	7	147	0,1476	11	0,0107	457,077	3,1904	0,4581
327-334	7	136	0,1365	31	0,0325	345,594	2,5411	0,3470
334-341	7	106	0,1054	31	0,0422	331,659	3,1589	0,3330
341-348	7	74	0,0743	52	0,1004	641,023	8,6625	0,6436
348-355	7	22	0,0221	22	0,1428	94,760	4,3072	0,0951
355-362	7	0	0,0000			0,000	0,0000	0,0000

 $\Sigma = 2,4177$ 

Sementes

Vegetativo

Reprodutivo

## Taxa média de mortalidade por dia



x (dias)	intervalo (dias)	$N_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$B_x$ (sementes)	$b_x$	$l_x b_x$
0-63	63	996	1,0000	328	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
63-124	61	668	0,6707	373	0,0092	0,000	0,0000	0,0000
124-184	60	295	0,2962	105	0,0059	0,000	0,0000	0,0000
184-215	31	190	0,1908	14	0,0024	0,000	0,0000	0,0000
215-231	16	176	0,1767	2	0,0007	0,000	0,0000	0,0000
231-247	16	174	0,1747	1	0,0004	0,000	0,0000	0,0000
247-264	17	173	0,1737	1	0,0003	0,000	0,0000	0,0000
264-271	7	172	0,1727	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
271-278	7	170	0,1707	3	0,0025	0,000	0,0000	0,0000
278-285	7	167	0,1677	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
285-292	7	165	0,1657	6	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
292-299	7	159	0,1596	1	0,0009	0,000	0,0000	0,0000
299-306	7	158	0,1586	4	0,0036	52,954	0,3394	0,0532
306-313	7	154	0,1546	3	0,0028	122,630	0,7963	0,1231
313-320	7	151	0,1516	4	0,0038	362,317	2,3995	0,3638
320-327	7	147	0,1476	11	0,0107	457,077	3,1904	0,4581
327-334	7	136	0,1365	31	0,0325	345,594	2,5411	0,3470
334-341	7	106	0,1054	31	0,0422	331,659	3,1589	0,3330
341-348	7	74	0,0743	52	0,1004	641,023	8,6625	0,6436
348-355	7	22	0,0221	22	0,1428	94,760	4,3072	0,0951
355-362	7	0	0,0000			0,000	0,0000	0,0000

 $\Sigma = 2,4177$ 

Sementes

Vegetativo

Reprodutivo

## N° total de sementes produzidos no intervalo



x (dias)	intervalo (dias)	$N_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$B_x$ (sementes)	$b_x$	$l_x b_x$
0-63	63	996	1,0000	328	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
63-124	61	668	0,6707	373	0,0092	0,000	0,0000	0,0000
124-184	60	295	0,2962	105	0,0059	0,000	0,0000	0,0000
184-215	31	190	0,1908	14	0,0024	0,000	0,0000	0,0000
215-231	16	176	0,1767	2	0,0007	0,000	0,0000	0,0000
231-247	16	174	0,1747	1	0,0004	0,000	0,0000	0,0000
247-264	17	173	0,1737	1	0,0003	0,000	0,0000	0,0000
264-271	7	172	0,1727	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
271-278	7	170	0,1707	3	0,0025	0,000	0,0000	0,0000
278-285	7	167	0,1677	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
285-292	7	165	0,1657	6	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
292-299	7	159	0,1596	1	0,0009	0,000	0,0000	0,0000
299-306	7	158	0,1586	4	0,0036	52,954	0,3394	0,0532
306-313	7	154	0,1546	3	0,0028	122,630	0,7963	0,1231
313-320	7	151	0,1516	4	0,0038	362,317	2,3995	0,3638
320-327	7	147	0,1476	11	0,0107	457,077	3,1904	0,4581
327-334	7	136	0,1365	31	0,0325	345,594	2,5411	0,3470
334-341	7	106	0,1054	31	0,0422	331,659	3,1589	0,3330
341-348	7	74	0,0743	52	0,1004	641,023	8,6625	0,6436
348-355	7	22	0,0221	22	0,1428	94,760	4,3072	0,0951
355-362	7	0	0,0000			0,000	0,0000	0,0000

$\Sigma = 2.408,01$


$\Sigma = 2,4177$

Sementes

Vegetativo

Reprodutivo

## N° médio de sementes produzidos por indivíduo no intervalo



x (dias)	intervalo (dias)	$N_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$B_x$ (sementes)	$b_x$	$l_x b_x$
0-63	63	996	1,0000	328	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
63-124	61	668	0,6707	373	0,0092	0,000	0,0000	0,0000
124-184	60	295	0,2962	105	0,0059	0,000	0,0000	0,0000
184-215	31	190	0,1908	14	0,0024	0,000	0,0000	0,0000
215-231	16	176	0,1767	2	0,0007	0,000	0,0000	0,0000
231-247	16	174	0,1747	1	0,0004	0,000	0,0000	0,0000
247-264	17	173	0,1737	1	0,0003	0,000	0,0000	0,0000
264-271	7	172	0,1727	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
271-278	7	170	0,1707	3	0,0025	0,000	0,0000	0,0000
278-285	7	167	0,1677	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
285-292	7	165	0,1657	6	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
292-299	7	159	0,1596	1	0,0009	0,000	0,0000	0,0000
299-306	7	158	0,1586	4	0,0036	52,954	0,3394	0,0532
306-313	7	154	0,1546	3	0,0028	122,630	0,7963	0,1231
313-320	7	151	0,1516	4	0,0038	362,317	2,3995	0,3638
320-327	7	147	0,1476	11	0,0107	457,077	3,1904	0,4581
327-334	7	136	0,1365	31	0,0325	345,594	2,5411	0,3470
334-341	7	106	0,1054	31	0,0422	331,659	3,1589	0,3330
341-348	7	74	0,0743	52	0,1004	641,023	8,6625	0,6436
348-355	7	22	0,0221	22	0,1428	94,760	4,3072	0,0951
355-362	7	0	0,0000			0,000	0,0000	0,0000


 $\Sigma = 2,4177$ 

Sementes

Vegetativo

Reprodutivo

## Contribuição do intervalo para a geração futura



x (dias)	intervalo (dias)	$N_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$E_x$ (sementes)	$b_x$	$l_x b_x$
0-63	63	996	1,0000	328	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
63-124	61	668	0,6707	373	0,0092	0,000	0,0000	0,0000
124-184	60	295	0,2962	105	0,0059	0,000	0,0000	0,0000
184-215	31	190	0,1908	14	0,0024	0,000	0,0000	0,0000
215-231	16	176	0,1767	2	0,0007	0,000	0,0000	0,0000
231-247	16	174	0,1747	1	0,0004	0,000	0,0000	0,0000
247-264	17	173	0,1737	1	0,0003	0,000	0,0000	0,0000
264-271	7	172	0,1727	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
271-278	7	170	0,1707	3	0,0025	0,000	0,0000	0,0000
278-285	7	167	0,1677	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
285-292	7	165	0,1657	6	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
292-299	7	159	0,1596	1	0,0009	0,000	0,0000	0,0000
299-306	7	158	0,1586	4	0,0036	52,954	0,3394	0,0532
306-313	7	154	0,1546	3	0,0028	122,630	0,7963	0,1231
313-320	7	151	0,1516	4	0,0038	362,317	2,3995	0,3638
320-327	7	147	0,1476	11	0,0107	457,077	3,1904	0,4581
327-334	7	136	0,1365	31	0,0325	345,594	2,5411	0,3470
334-341	7	106	0,1054	31	0,0422	331,659	3,1589	0,3330
341-348	7	74	0,0743	52	0,1004	641,023	8,6625	0,6436
348-355	7	22	0,0221	22	0,1428	94,760	4,3072	0,0951
355-362	7	0	0,0000			0,000	0,0000	0,0000

 $\Sigma = 2,4177$ 

Sementes

Vegetativo

Reprodutivo

$R_0$  = Taxa reprodutiva líquida

$$R_0 = N_{t+1}/N_t$$

$$R_0 = 2.408,01/996 = 2,4177$$

x (dias)	intervalo (dias)	$N_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$B_x$ (sementes)	$b_x$	$l_x b_x$
0-63	63	996	1,0000	328	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
63-124	61	668	0,6707	373	0,0092	0,000	0,0000	0,0000
124-184	60	295	0,2962	105	0,0059	0,000	0,0000	0,0000
184-215	31	190	0,1908	14	0,0024	0,000	0,0000	0,0000
215-231	16	176	0,1767	2	0,0007	0,000	0,0000	0,0000
231-247	16	174	0,1747	1	0,0004	0,000	0,0000	0,0000
247-264	17	173	0,1737	1	0,0003	0,000	0,0000	0,0000
264-271	7	172	0,1727	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
271-278	7	170	0,1707	3	0,0025	0,000	0,0000	0,0000
278-285	7	167	0,1677	2	0,0017	0,000	0,0000	0,0000
285-292	7	165	0,1657	6	0,0052	0,000	0,0000	0,0000
292-299	7	159	0,1596	1	0,0009	0,000	0,0000	0,0000
299-306	7	158	0,1586	4	0,0036	52,954	0,3394	0,0532
306-313	7	154	0,1546	3	0,0028	122,630	0,7963	0,1231
313-320	7	151	0,1516	4	0,0038	362,317	2,3995	0,3638
320-327	7	147	0,1476	11	0,0107	457,077	3,1904	0,4581
327-334	7	136	0,1365	31	0,0325	345,594	2,5411	0,3470
334-341	7	106	0,1054	31	0,0422	331,659	3,1589	0,3330
341-348	7	74	0,0743	52	0,1004	641,023	8,6625	0,6436
348-355	7	22	0,0221	22	0,1428	94,760	4,3072	0,0951
355-362	7	0	0,0000			0,000	0,0000	0,0000

$\Sigma = 2,4177$

Sementes

Vegetativo

Reprodutivo

## Tabela de vida para *Astrocaryum mexicanum* (Arecaceae) - Palmeira tropical

Sarukhán, J. 1979. Demographic problems in tropical systems. In Solbrig, O.T. (ed.). Demography and evolution in plant populations. Blackwell, Oxford

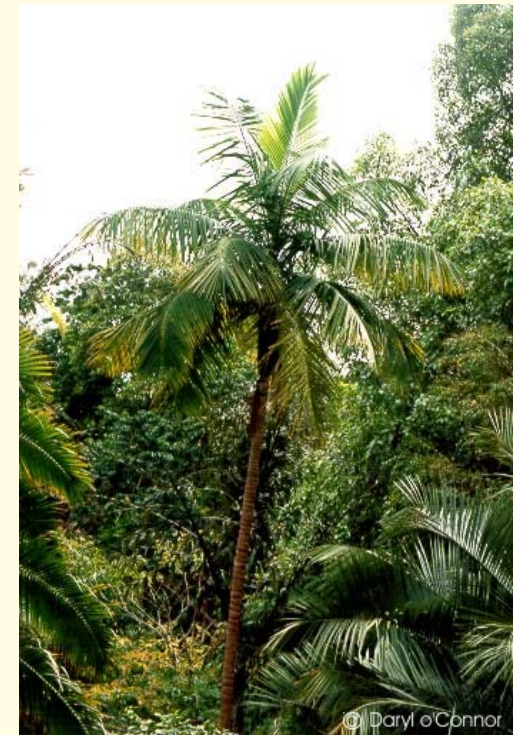
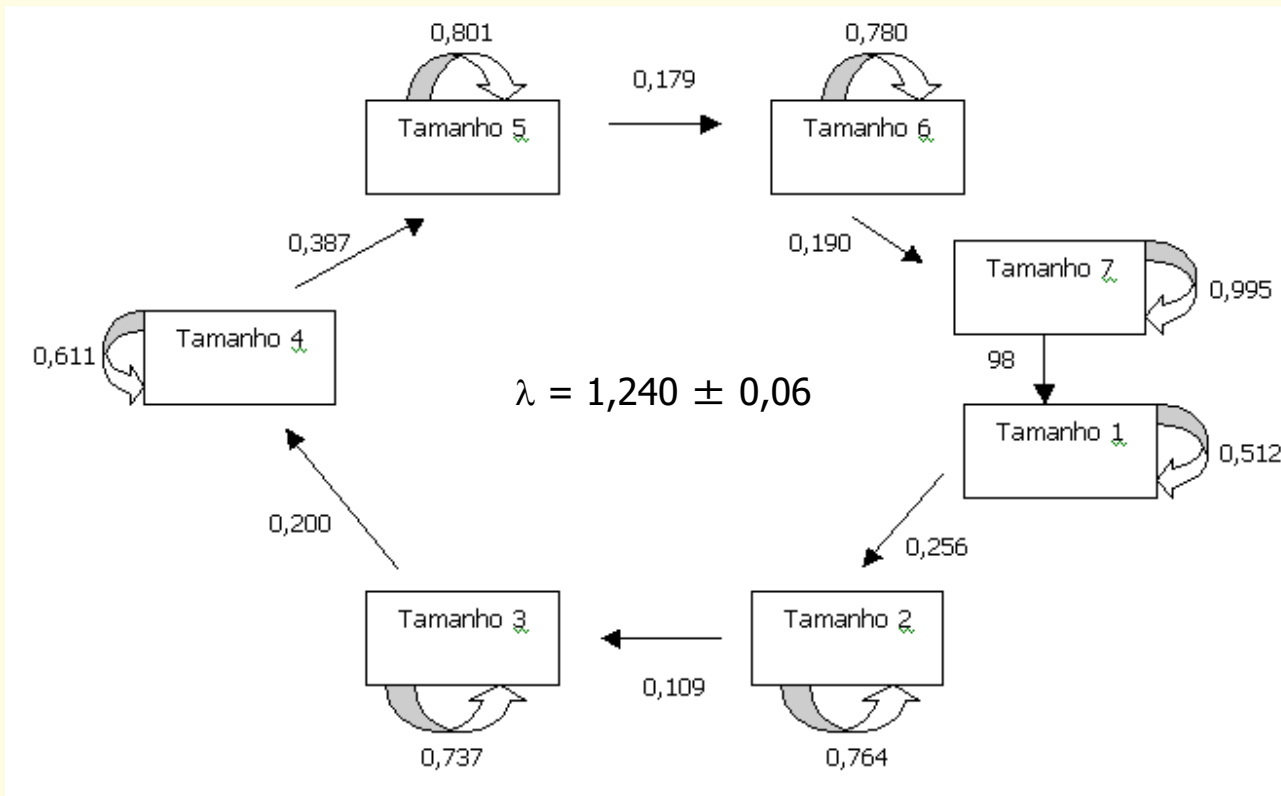




Tabela de vida para *Astrocaryum mexicanum* (Arecaceae)

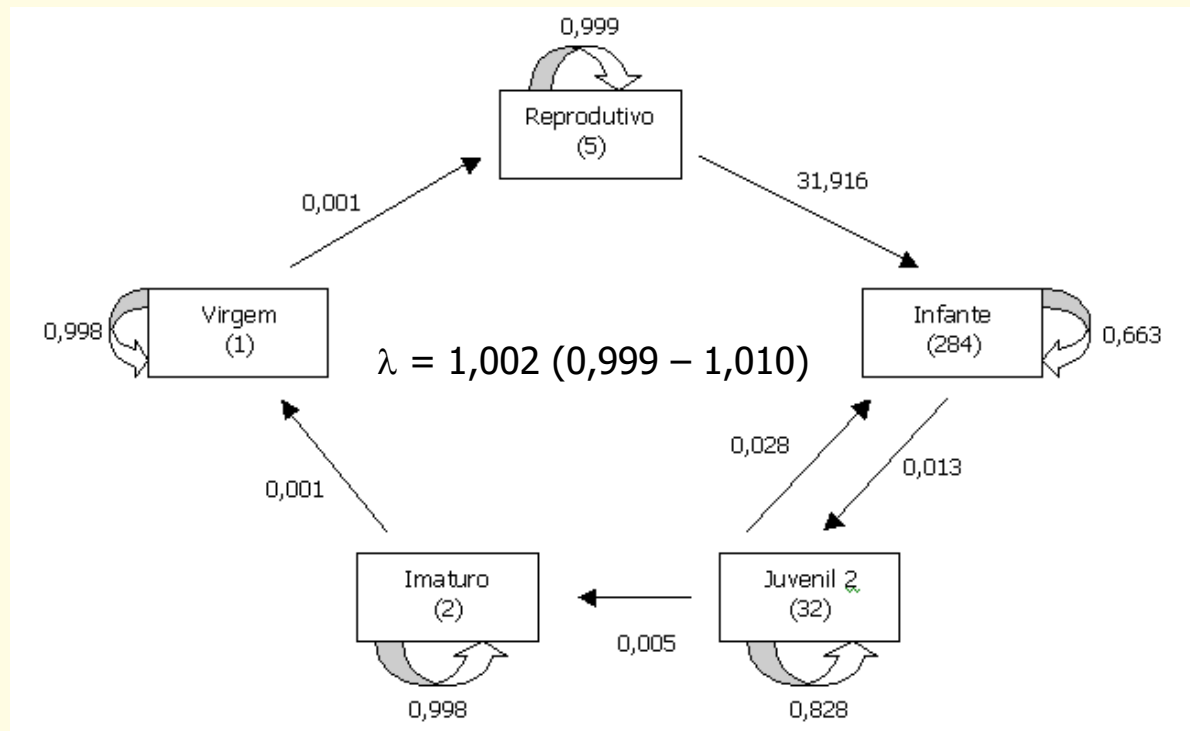
Estágio	Idade (anos)	Probabilidade de sobrevivência à próxima classe etária	Média de sementes por árvore
Plântulas	8	0,37	0
Juvenil	15	0,32	0
Imaturo	27	0,81	0
	39	0,64	0
Maturo	47,5	1	3
	56	1	13
	64,5	1	10
	73	0,75	28
	81,5	0,66	19
	90	0,75	25
	98,5	0,66	30
	107	---	34

## Exemplos de tabelas de vida esquemáticas:

*Euterpe edulis* – Floresta Paludícola – Mata de Santa Genebra, SP – 250 ha - 1991-1993

Matos, D.M.S., Freckleton, R.P. & Watkinson, A.R. 1999. The role of density dependence in the population dynamics of a tropical palm. *Ecology* 80: 2635-2650.

*Syagrus romanzoffiana* – Floresta Paludícola – Mata de Santa Genebra, SP – 250 ha - 1993-1994



Bernacci, L.C. 2001. Aspectos da demografia da palmeira nativa *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman, jerivá, como subsídio ao seu manejo. Tese de Doutorado. UNICAMP.

## Matrizes

Uma forma de trabalhar com essas informações é através de modelos de matrizes.

Originalmente proposto por Leslie (1945-1948) os modelos de matrizes são conveniente para modelar populações.

O modelo básico, chamado de matriz de Leslie, tem o seguinte formato:

$$n(t+1) = A \cdot n(t) \text{ ou } n(t) = A^t \cdot n(0)$$

$$\begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ \vdots \\ n_s \end{pmatrix} (t+1) = \begin{pmatrix} F1 & F2 & F3 & \dots & F_s \\ P1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & P2 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & P_{s-1} & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ \vdots \\ n_s \end{pmatrix} (t)$$

Se sabemos o número de indivíduos de cada idade no tempo  $t$ , podemos prever o número de indivíduos após um intervalo de tempo. A matriz  $A$  é chamada de matriz de projeção da população.

As informações utilizadas na matriz de projeção são derivadas de tabelas de vida. Entretanto, os dados precisam ser transformados para que sejam utilizados

## Matrizes

Matriz de Lefkovitch (1965)

Baseada em estádios: morfológicos (descontínuos) ou tamanhos (contínuo)

Modelo geral:

$$\begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ \vdots \\ n_s \end{pmatrix} (t+1) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} & \cdots & a_{s1} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} & \cdots & a_{s2} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} & \cdots & a_{s3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{1s} & a_{2s} & a_{3s} & \cdots & a_{ss} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ \vdots \\ n_s \end{pmatrix} (t)$$

Onde  $a_{ij}$  =

se  $i < j$ : probabilidade de um indivíduo na classe  $i$  passar à classe  $j$ , após um intervalo de tempo

se  $i = j$ : probabilidade de um indivíduo na classe  $i$  permanecer na mesma classe após um intervalo de tempo

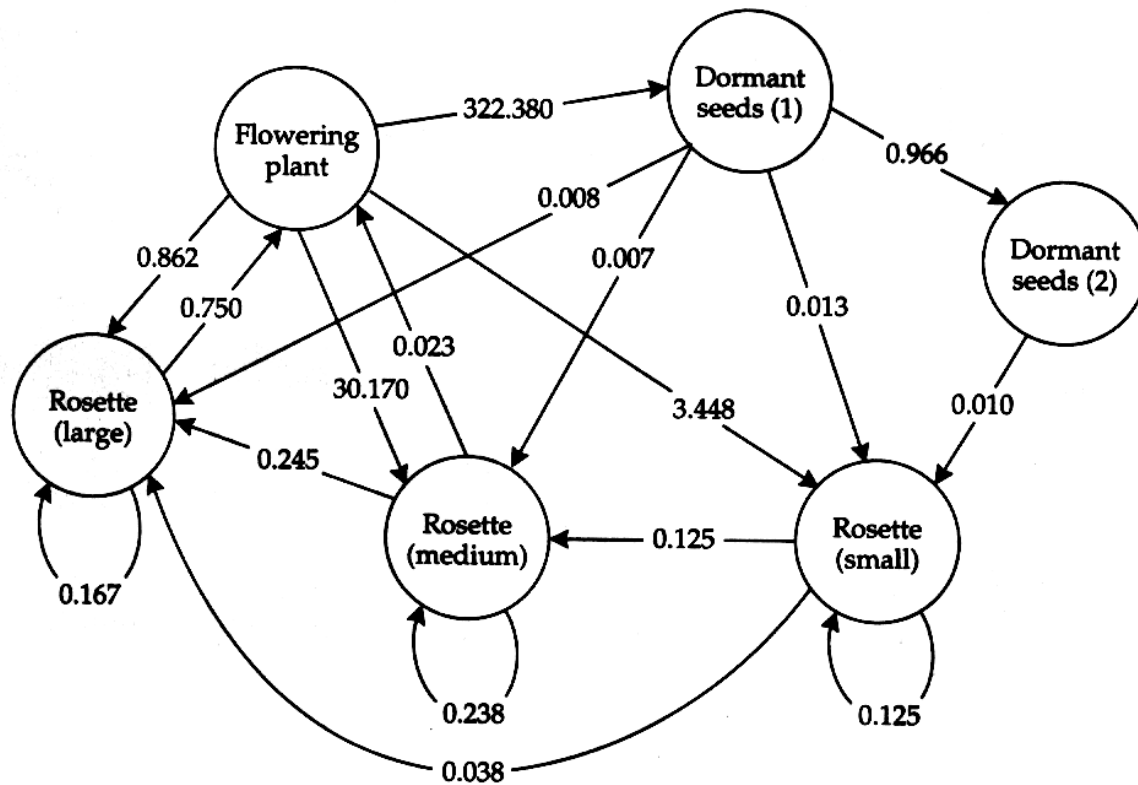
se  $i > j$ : número médio de indivíduos da classe  $j$ , produzidos por indivíduo da classe  $i$ , após um intervalo de tempo

## Matrizes

Exemplo: *Dipsacus sylvestris* (Dipsacaceae) (Werner & Caswell 1977)



Seed (1)	Seed (2)	Ros (s)	Ros (m)	Ros (l)	Flowering plant
0	0	0	0	0	322.380
0.966	0	0	0	0	0
0.013	0.010	0.125	0	0	3.448
0.007	0	0.125	0.238	0	30.170
0.008	0	0	0.245	0.167	0.862
0	0	0	0.023	0.750	0



# Matrizes

Modelos considerando idades e estádios (Law 1983)

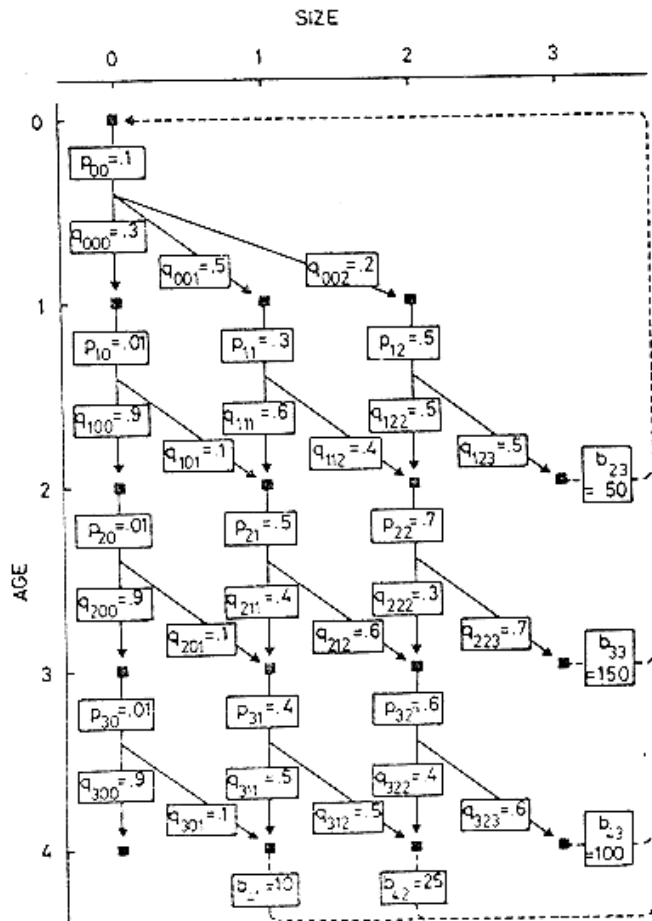


FIG. 1. An example of a population with a monocarpic life history, classified by age and size. Each  $\square$  represents an age and size class (i, j) within which individuals could be found. Each arrow represents a possible transition from one census to the next. Transitions involving survival (continuous lines) are made up of two components: the probability of surviving from age i and size j ( $p_{ij}$ ), and the probability of being in size class k at age i + 1 if an individual survives  $q_{ijk}$ . Transitions involving reproduction ( $b_{ij}$ ) are shown as discontinuous lines. For clarity, only nonzero values of  $b_{ij}$ ,  $p_{ij}$ , and  $q_{ijk}$  are shown.

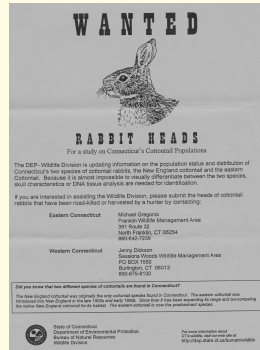
Size at age i + 1	Size at age i				
	0	1	2	3	
Survival probability					
0	0.03	0	0	0	= $P_0$
1	0.05	0	0	0	
2	0.02	0	0	0	
3	0	0	0	0	
0	0.009	0	0	0	= $P_1$
1	0.001	0.18	0	0	
2	0	0.12	0.25	0	
3	0	0	0.25	0	
0	0.009	0	0	0	= $P_2$
1	0.001	0.2	0	0	
2	0	0.3	0.21	0	
3	0	0	0.49	0	
0	0.009	0	0	0	= $P_3$
1	0.001	0.2	0	0	
2	0	0.2	0.24	0	
3	0	0	0.36	0	



# A ordem dos fatores altera o produto

$$n(t+1) = A.B.n(t) \neq B.A.n(t)$$

Darwin, J.H. & R.M. Williams. 1964. The effect of time of hunting on the size of a rabbit population. *New Zealand Journal of Science* 7: 341-352



13 Matrizes de transição ao longo do ano: A B C D E F G H I J K L M

1 Matriz de caça: X

Simulações:  $n(t+1) = A.B.C.D.E.F.G.H.I.J.K.L.M.n(t)$

$$n(t+1) = A.X.B.C.D.E.F.G.H.I.J.K.L.M.n(t)$$

$$n(t+1) = A.B.X.C.D.E.F.G.H.I.J.K.L.M.n(t)$$

$$n(t+1) = A.B.C.X.D.E.F.G.H.I.J.K.L.M.n(t)$$

:

$$n(t+1) = A.B.C.D.E.F.G.H.I.J.K.L.X.M.n(t)$$

*Conservation Biology*

Crone et al. 2013

*Contributed Paper***Ability of Matrix Models to Explain the Past  
and Predict the Future of Plant Populations**

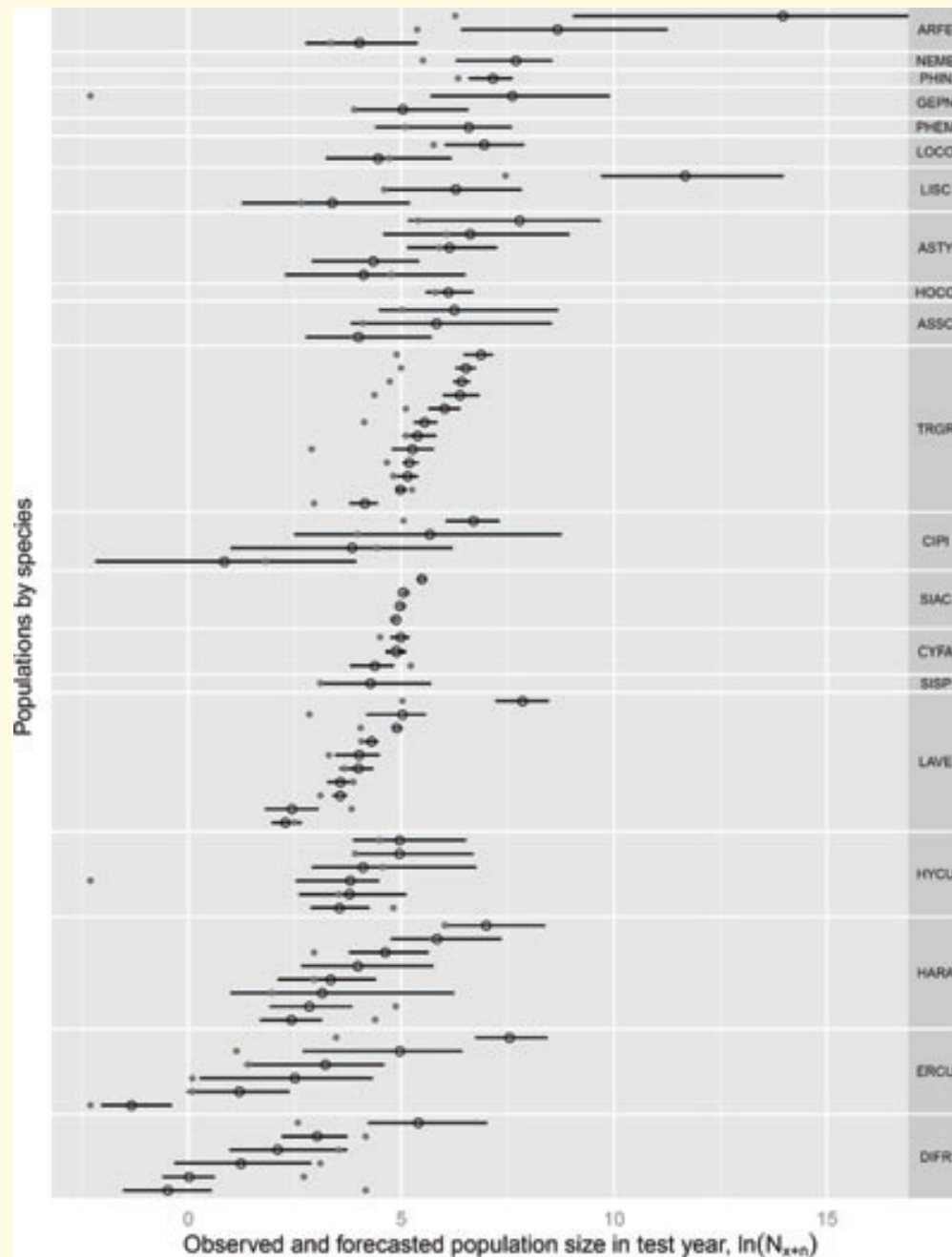
ELIZABETH E. CRONE,\* MARTHA M. ELLIS,† WILLIAM F. MORRIS,‡ AMANDA STANLEY,§  
TIMOTHY BELL,\*\* PAULETTE BIERZYCHUDEK,†† JOHAN EHRLÉN,‡‡ THOMAS N. KAYE,§  
TIFFANY M. KNIGHT,§§ PETER LESICA,\*\*\* GERARD OOSTERMEIJER,†††  
PEDRO F. QUINTANA-ASCENCIO,‡‡‡ TAMARA TICKTIN,§§§ TERESA VALVERDE,\*\*\*\*  
JENNIFER L. WILLIAMS,†††† DANIEL F. DOAK,‡‡‡‡ RENGAIAN GANESAN,§§§§  
KATHYRN MCEACHERN,\*\*\*\*\* ANDREA S. THORPE,§ AND ERIC S. MENGES†††††

- Teste realizado com 82 populações de 20 espécies de plantas

1 - Amostragem inicial durante dois a cinco anos consecutivos

2 - Estimativa do tamanho populacional para t anos no futuro (pelo menos 5 anos) usando modelos matriciais

3 - Reamostragem no ano t para conferir se a estimativa estava, ou não, correta



- 40% das populações observadas caíram dentro do intervalo de confiança da estimativa feita usando os modelos matriciais

- Em geral, os modelos matriciais superestimaram o tamanho populacional real

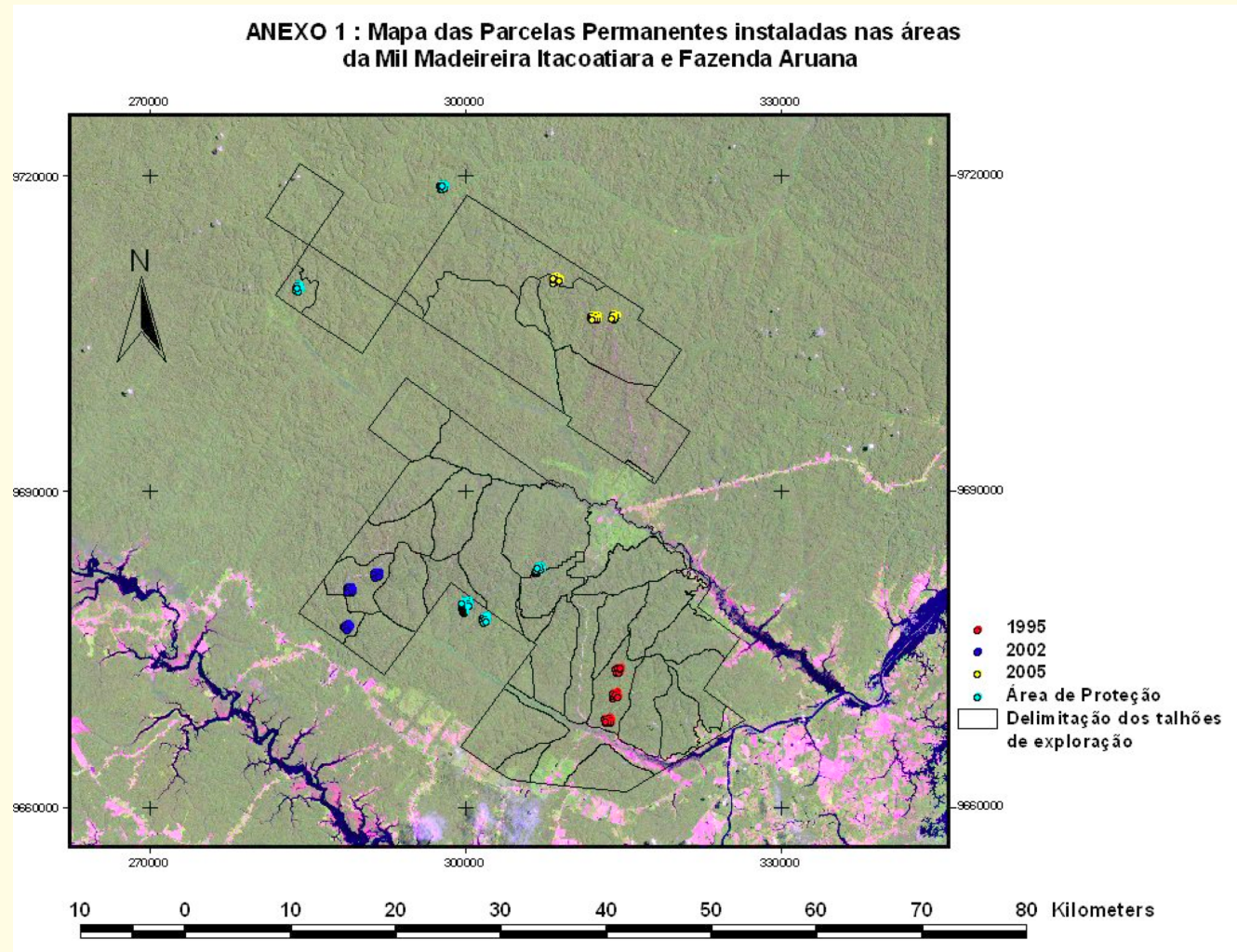
- O erro da estimativa deve estar relacionado à mudanças nas condições ambientais, principalmente precipitação e temperatura

“As condições do futuro não são iguais às do passado”

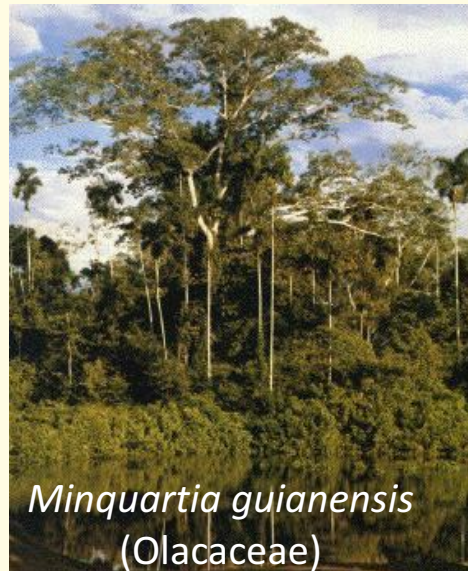
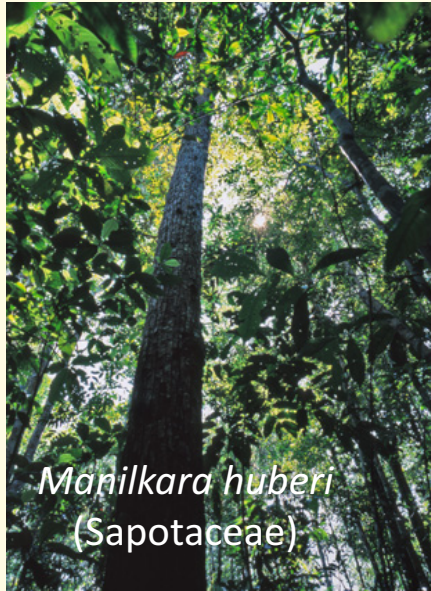
—●— Estimativa  $\pm$  intervalo de conf.  
○ Observado

- Modelos matriciais são pouco precisos para estimar o futuro das populações, a não ser que as condições ambientais se mantenham constantes;
- Útil para comparar o comportamento de populações sujeitas a diferentes condições ambientais;
- Útil para avaliar os efeitos em curto prazo de ações de manejo;
- Útil para tentar avaliar quais processos demográficos são mais importantes para a dinâmica populacional

Maria Rosa Darrigo (PGECO). Efeitos de exploração seletiva de madeira na regeneração de algumas espécies arbóreas da Amazônia central (co-orientador: Eduardo Venticinque). (CAPES, FAPESP, Fundação Boticário de Proteção à Natureza, CNPq). (UFRN, INPA, PDBFF, Mil Madeireira, UNAM)



Espécies exploradas



Espécies não exploradas



Parâmetros utilizados para realizar as matrizes de corte segundo cada modelo de exploração.

Modelo de exploração	Ciclo de corte (anos)	DAP <u>mínimo</u> <sup>a</sup> (cm)	Intensidade de corte
Plano de Manejo FSC	30	40	Até 60%
Executado Mil	30	40	Vários <sup>b</sup>
Lei de Gestão de Floresta	35	50	Até 90%

Notas: <sup>a</sup> O diâmetro de corte para a espécie *M. guianensis* foi de 20 a 40 DAP, já que esta espécie é utilizada somente em tora, e extraída dentro desses limites de DAP. <sup>b</sup> Intensidades de corte (% de indivíduos adultos cortados) realizada para cada uma das espécies estudadas na Mil Madeireira Itacaotiara; *M. guianensis* (40%); *M. huberi* (50%); *M. bidentata* (20%), *G. glabra* (30%); *Z. racemosa* (26%). Os parâmetros apresentados nessa tabela referentes à Lei de gestão de floresta estão baseados na Resolução do CONAMA 406/2009.

Taxa de crescimento populacional ( $\lambda$ ) para as espécies estudadas em cada uma dos tratamentos, relativos a uma matriz de 30 anos.

Espécie	Controle	Executado Mil	PMFSC	LGF
<i>G. glabra</i>	0,9713	0,8132	0,6895	0,6938
<i>M. bidentata</i>	0,8970	0,8046	0,7636	0,7397
<i>M. huberi</i>	1,0126	0,8447	0,8006	0,7787
<i>Z. racemosa</i>	1,001	0,8177	0,8087	0,8013
<i>M. guianensis</i>	1,2110	0,9859	0,9039	0,6857
<i>P. anomala</i>	1,1321	0,8669	0,8669	0,8669
<i>P. hebetatum</i>	1,3097	1,2875	1,2875	1,2875

Controle = simulações com dados das áreas controle

Executado Mil = simulações considerando o que realmente foi explorado na Mil Madeireira

PMFSC = simulações considerando o proposto em planos de manejo do FCS

LGF = simulações considerando o proposto pela Lei de Gestão de Floresta e Resolução do Conama.



## Referências

Caswell, H. 1989. Matrix population models. Sinauer. Sunderland.

Enright, N.J., Franco, M. & Silvertown, J. 1995. Comparing plant life histories using elasticity analysis: the importance of life span and the number of life cycle stages. *Oecologia* 104: 79-84.

Gadgil, M. and O. T. Solbrig. 1972. The concept of r- and K-selection: evidence from wild flowers and some theoretical considerations. *American Naturalist* 106: 14-31.

Grime, J. P. 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist* 111: 1169-1194.

Harper, J. L. 1977. Population Biology of Plants. Academic Press, London

Law, R. 1983. A model for the dynamics of a plant population containing individuals classified by age and size. *Ecology* 64: 224-230.

Leverich, W.J. & D.A. Levin. 1979. Age-specific survivorship and reproduction in *Phlox drummondii*. *American Naturalist* 113: 881-903.

de Matos, M.B. & Silva Matos, D.M. 1998. Mathematical constraints on transition matrix elasticity analysis. *Journal of Ecology* 86: 706-708.

## Referências

Morris, W.F. & Doak, D.F. 2002. Quantitative Conservation Biology. Sinauer,

Nichols, J.D., Conley, W., Batt, B. & Tipton, A.R. 1976. Temporally dynamic reproductive strategies and the concept of r- and K-selection. *American Naturalist* 110: 995-1005.

Pianka, E. R. 1970. On r- and K-selection. *American Naturalist* 104: 592-597

Piñero, D., Martinez-Ramos, M. & Sarukhán, J. 1984. A population model of *Astrocaryum mexicanum* and a sensitivity analysis of its finite rate of increase. *Journal of Ecology* 72: 977-991.

Silva Matos, D.M., Freckleton, R.P. & Watkinson, A.R. 1999. The role of density dependence in the population dynamics of a tropical palm. *Ecology* 80; 2635-2650.