

Modelos – Populações Estruturadas

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

Estrutura = Disposição e ordem das partes de um todo. Sistema que compreende elementos ordenados e relacionados entre si de forma dinâmica.

As características demográficas são dependentes da estrutura da população. Os indivíduos diferem de muitas maneiras e algumas dessas diferenças resultam em variações nas taxas de fecundidade e sobrevivência

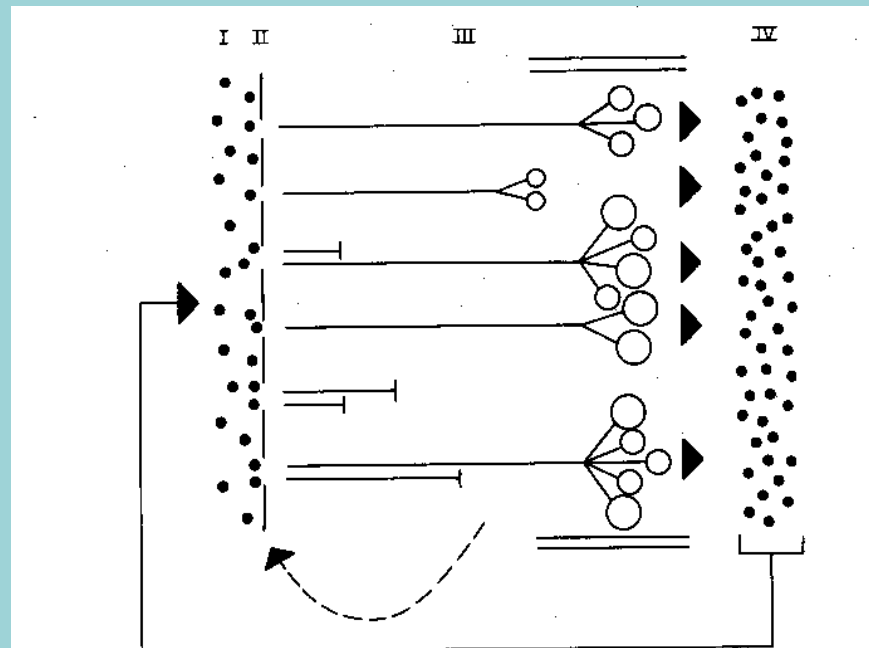


Fig. 1/11a. Elements of the population dynamics of a monocarpic (semelparous) plant.

I = the bank of seeds in the soil

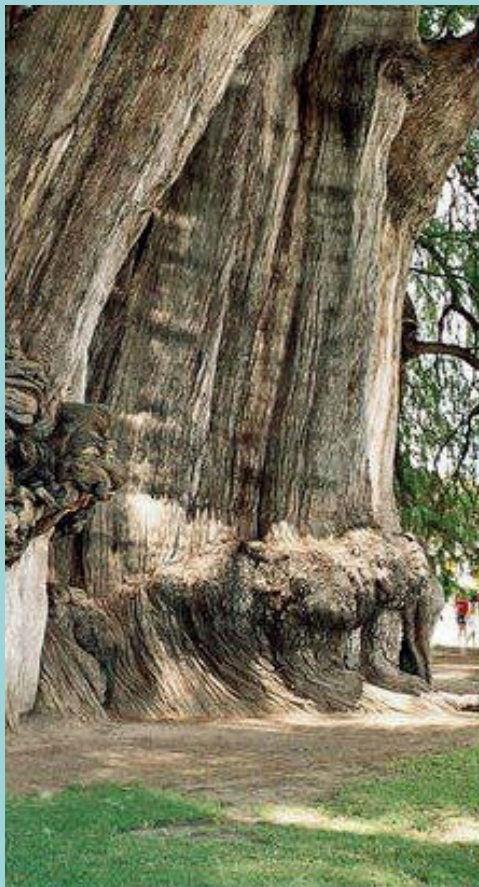
II = the recruitment of seedlings (the environmental sieve).

III = the phase of growth in mass and in number of modular units.

IV = the terminal phase of seed production.

(Adapted from Harper and White, 1971)

Idade X Tamanho X Estádio



Widest Trunk

El Árbol del Tule
Oaxaca, Mexico

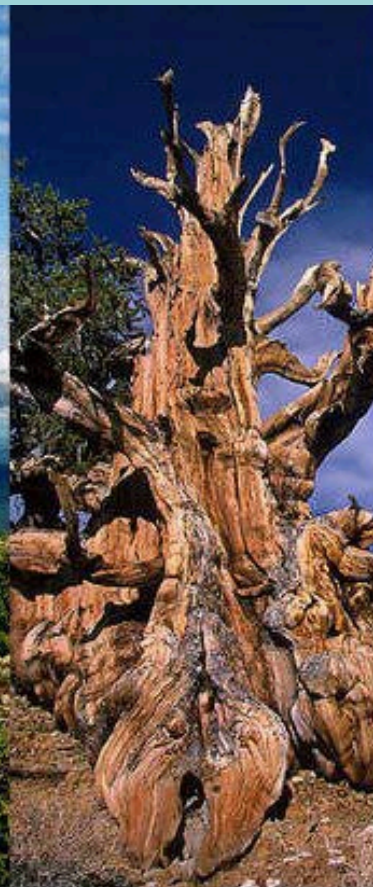
Diameter: 11.62 m (38.1 ft)



Oldest (single-clonal)

Old Tjikko
Dalarna, Sweden

9,550 years old



Oldest (non-clonal)

Methuselah
Inyo County, California

4,845 years old



Biggest

General Sherman
Tulare County, California

1,385 tons



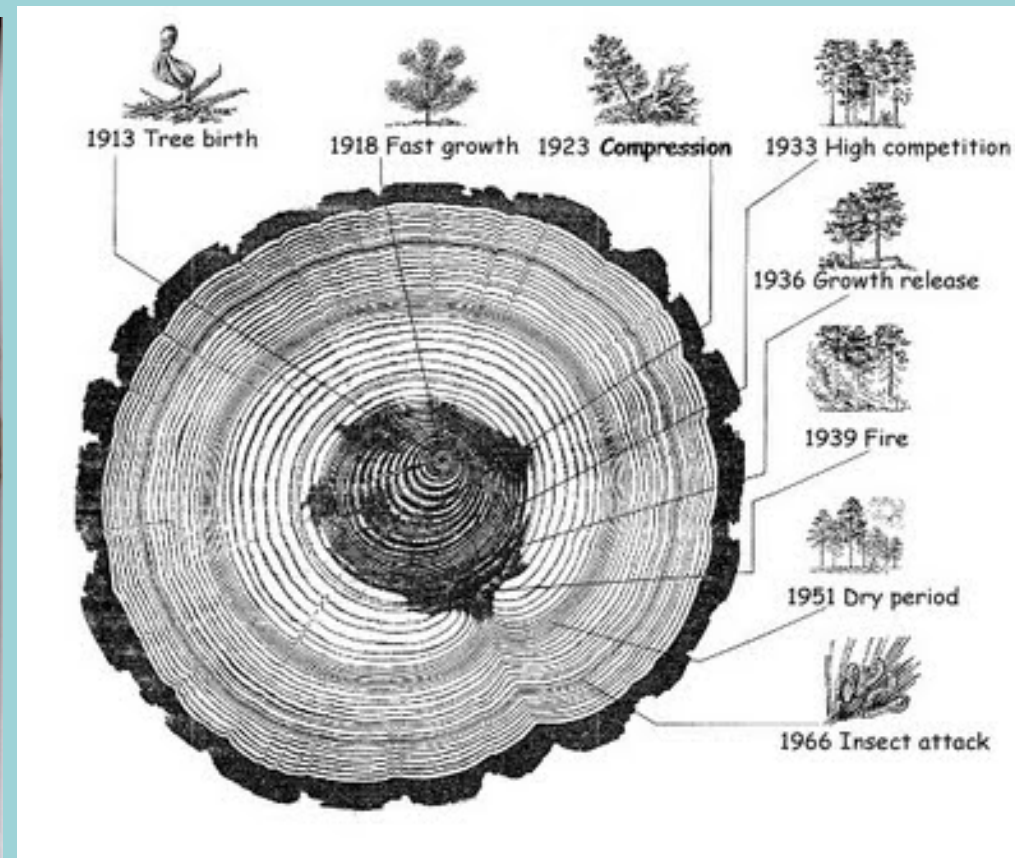
Tallest

Hyperion
California

115.6 m
379' 4"

Idade

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



Universidade de Lisboa – Árvores no Mediterrâneo
<http://siam.fc.ul.pt/dendroport/?id=dendrochronology>

Idade

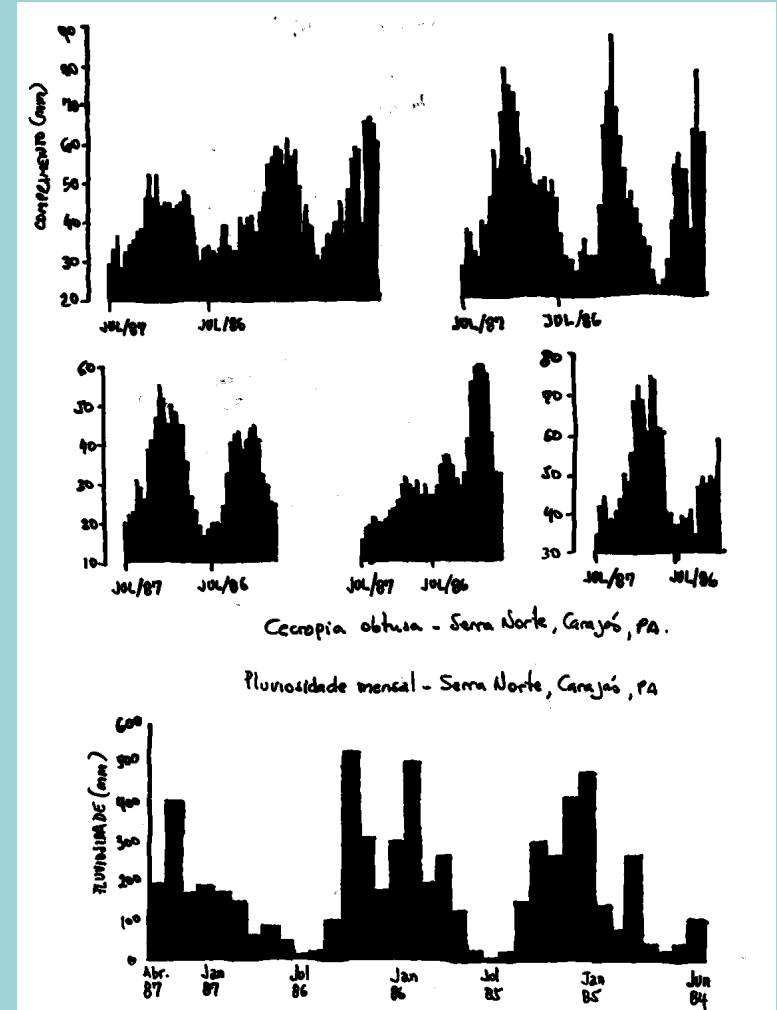




Santos & Hay, dados não publicados
Cecropia



© 1997 Barry Hammel



Sarukhán et al.
Astrocaryum mexicanum



Carvalho et al. (1999)
Euterpe edulis
2,21 folhas/planta/ano



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

Tabelas de Vida

Em modelos baseados em idade, após um intervalo de tempo, os indivíduos trocam de classe etária ou morrem.

As tabelas de vida podem ser horizontais ou dinâmicas (acompanhamento de coortes) ou verticais ou estáticas (assumem estrutura estável).

Valor reprodutivo = $V_x = m_x + \sum (l_{x+1}/l_x)m_{x+1}$ = soma do número médio de prole produzida no intervalo x corrente, mais o número médio de prole produzida nos demais intervalos, ponderado pela sobrevivência em cada intervalo. Mede o quanto menor seria a população se aquele indivíduo fosse retirado da população. Se você remover uma fêmea fecunda, você irá reduzir a população pelo número de indivíduos que ela iria produzir. Remover um indivíduo jovem que ainda não se reproduziu deve ter um efeito menor pois tem que se descontar a chance de que ele iria morrer sem se reproduzir

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.



Tabela de vida para *Phlox drumondii*

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

Tabela de vida para folhas de duas espécies de *Cecropia* (Cecropiaceae)

Santos, F.A.M. 2000. Growth and leaf demography of two *Cecropia* species.
Revista Brasileira de Botânica 23: 133-141



Tabela de vida para folhas de duas espécies de *Cecropia*

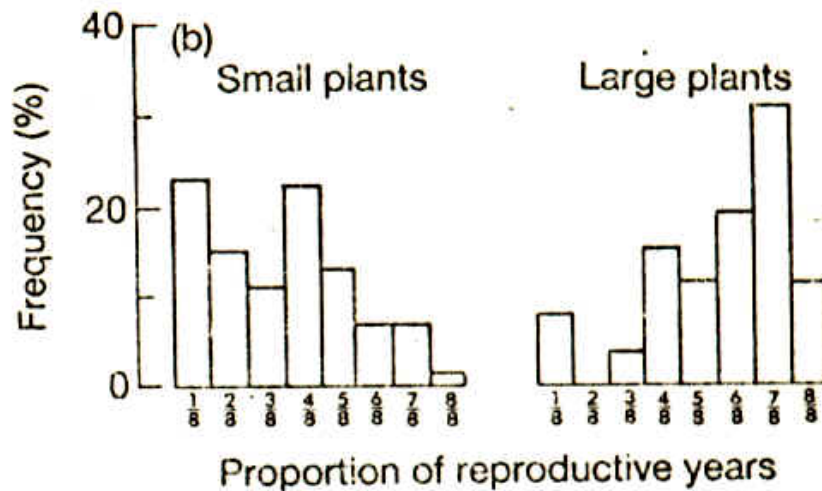
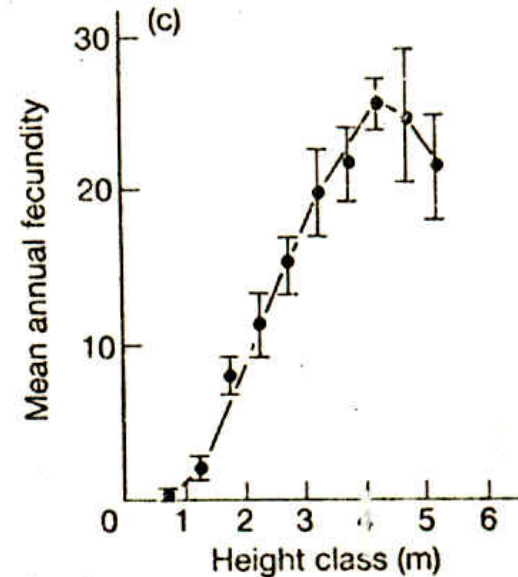
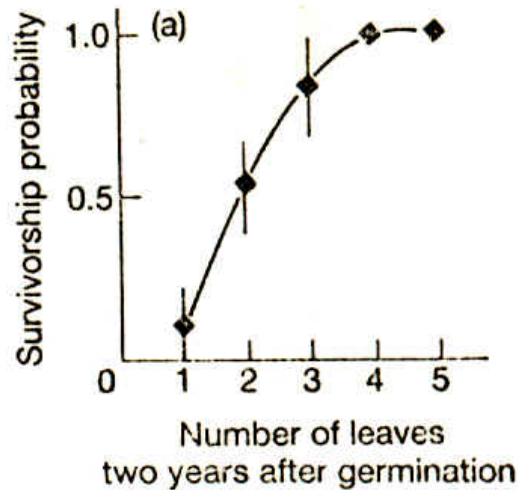
<i>Cecropia glaziovii</i>					
x (dias)	N_x	l_x	d_x	q_x	e_x
0	147	1,000	0,177	0,177	112,55
30	121	0,823	0,163	0,198	103,51
60	97	0,660	0,136	0,206	95,41
90	77	0,524	0,116	0,221	86,30
120	60	0,408	0,082	0,200	76,50
150	48	0,326	0,122	0,375	61,88
180	30	0,204	0,061	0,300	60,00
210	21	0,143	0,048	0,333	49,29
240	14	0,095	0,054	0,571	36,43
270	6	0,041	0,014	0,333	35,00
300	4	0,027	0,027	1,000	15,00

<i>Cecropia hololeuca</i>					
x (dias)	N_x	l_x	d_x	q_x	e_x
0	323	1,000	0,204	0,204	96,18
30	257	0,796	0,186	0,234	87,02
60	197	0,610	0,161	0,264	78,96
90	145	0,449	0,136	0,303	71,90
120	101	0,313	0,130	0,416	66,68
150	59	0,183	0,059	0,322	73,47
180	40	0,124	0,037	0,300	71,25
210	28	0,087	0,025	0,286	65,36
240	20	0,062	0,022	0,350	55,50
270	13	0,040	0,012	0,308	47,31
300	9	0,028	0,016	0,556	31,67
330	4	0,012	0,009	0,750	22,50
360	1	0,003	0,003	1,000	15,00

Referências

- Leverich, W.J. & D.A. Levin. 1979. Age-specific survivorship and reproduction in *Phlox drummondii*. *American Naturalist* 113: 881-903.
- 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.
- Santos, F.A.M. 2000. Growth and leaf demography of two *Cecropia* species. *Revista Brasileira de Botânica* 23: 133-141.

Tamanho



Sarukhán, J., Martínez-Ramos, M. & Piñero, D. 1984. The analysis of demographic variability at the individual level and its population consequences. In Dirzo, R. & Sarukhán, J. (eds.). Perspectives on plant population ecology. Sinauer, Sunderland. pp. 83-106.

Tamanho



Vochysia thyrsoidea (Vochysiaceae) - Cerrado

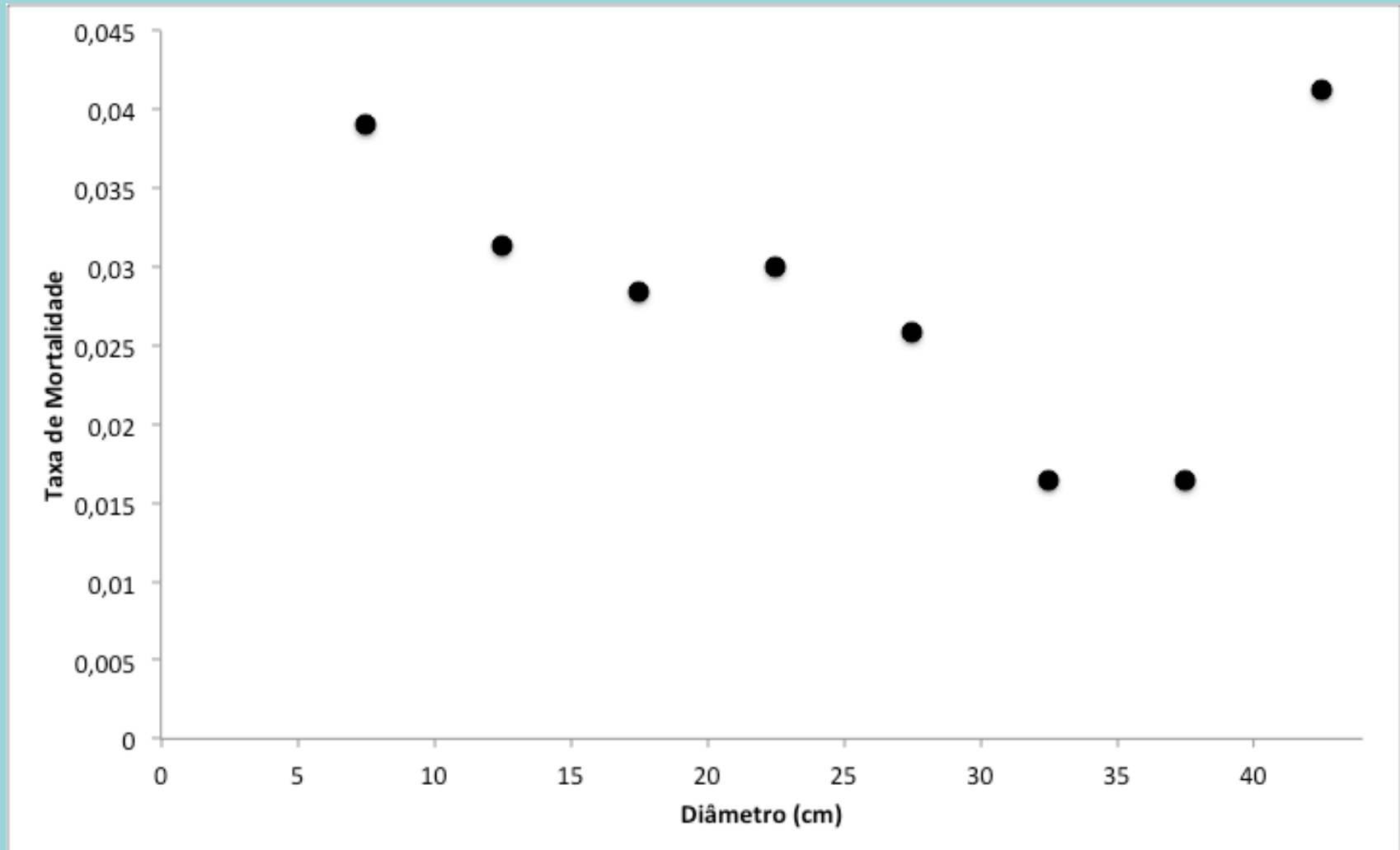
Hay, J.D. & Barreto, E.M.J. 1988. Natural mortality of *Vochysia thyrsoidea* in an unburnt "cerrado" near Brasília. *Biotropica* 20: 274-279

Diâmetros (cm)	Mortalidade (%) (Média 1980 a 1984)
0-4,99	0
5-9,99	0,8
10-14,99	2,2
15-19,99	2,3
20-24,99	2,5
25-29,99	3,8
30-34,99	3,9
35-39,99	5,3
40-44,99	3,1
45-49,99	8,3
50-54,99	0

Regressão linear excluindo a classe de diâmetro maior: $r^2=0,77$, $p<0,05$

Tamanho

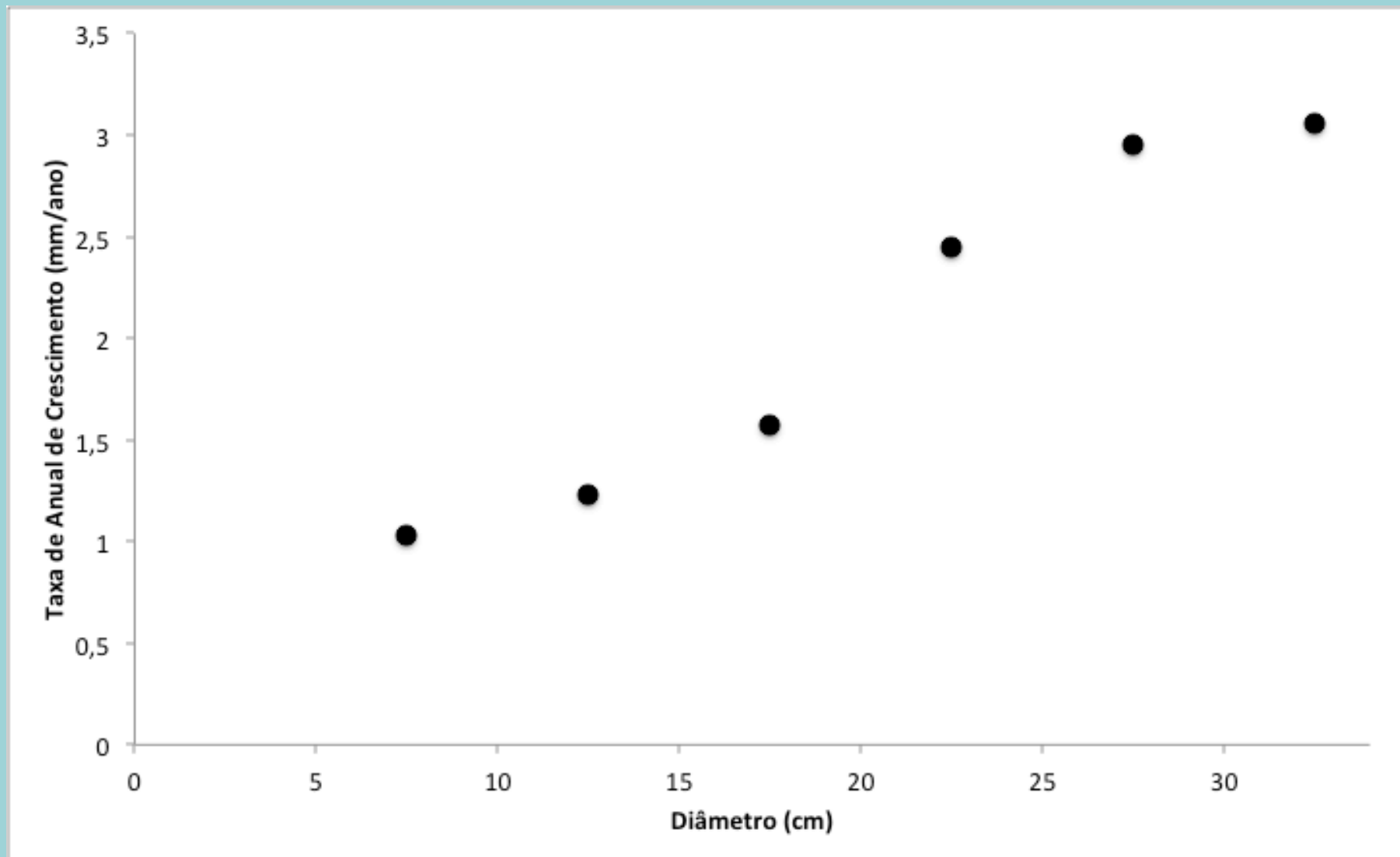
Taxas de mortalidade (m) por classe de diâmetro (d). N_0 : número de indivíduos no início do estudo. D : número de indivíduos mortos durante o período (Santos et al. 1996)



Tamanho

Taxas de Crescimento

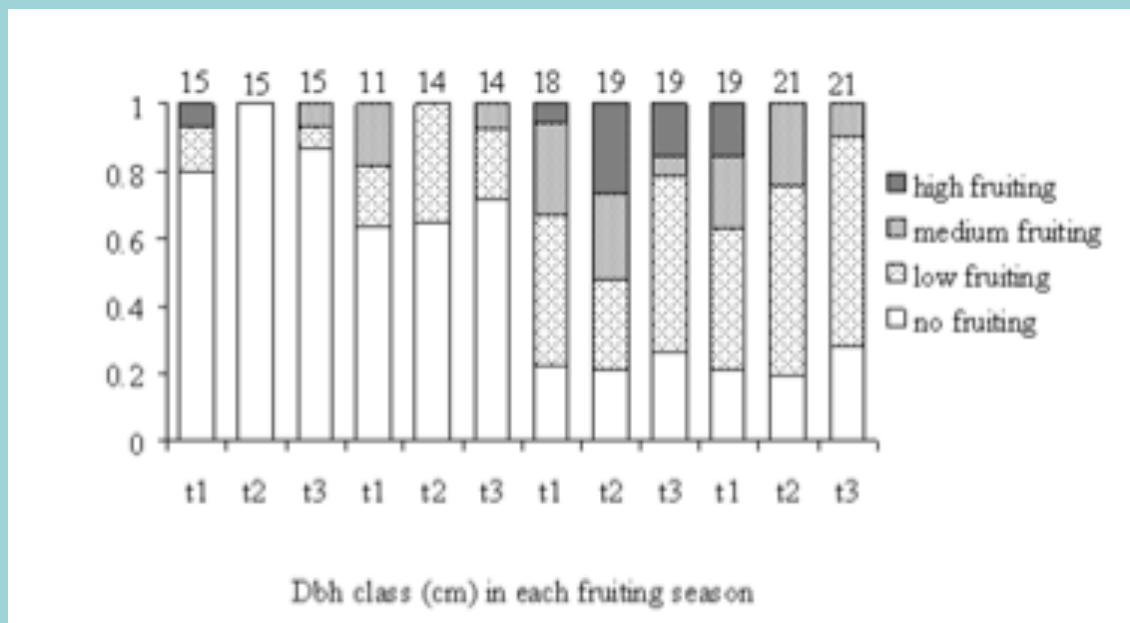
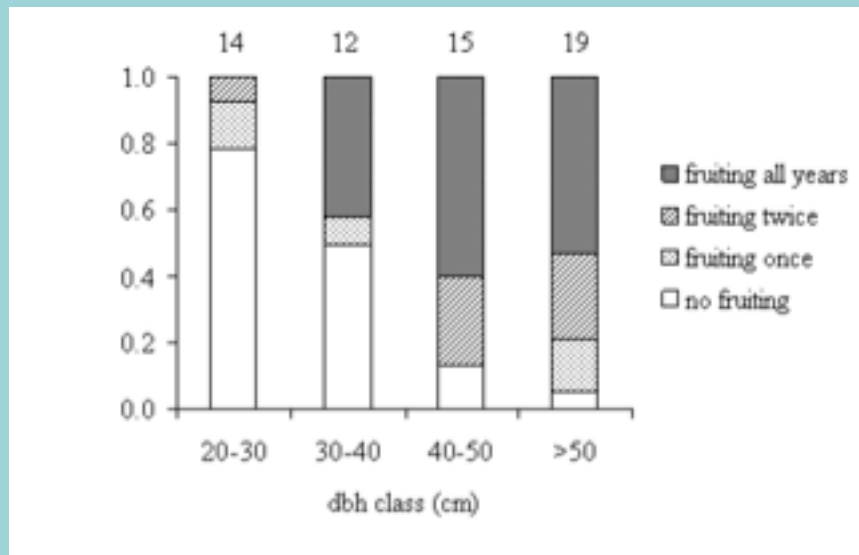
$$g_i = (dbh_t - dbh_0) / \Delta t$$



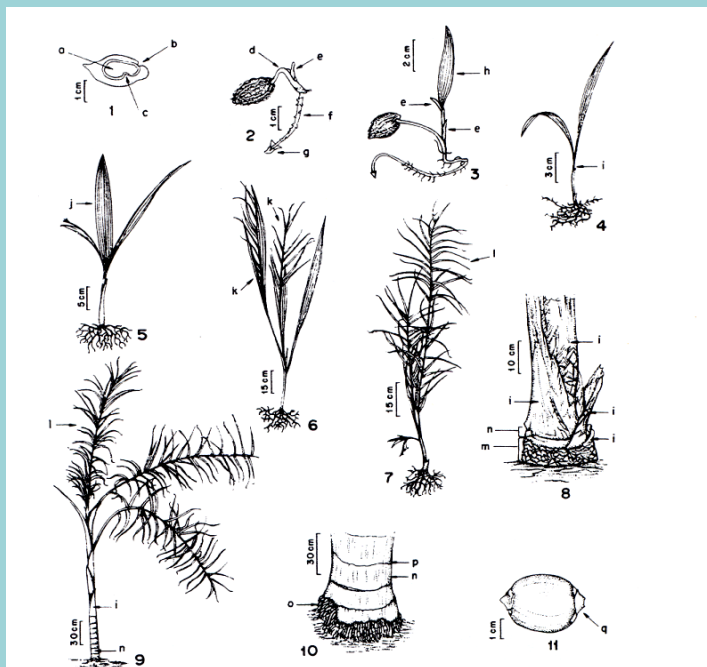
Tamanho

Chrysophyllum lucentifolium subsp. *pachycarpum*
 Pires and T.D. Penn. (Sapotaceae)

Tese Doutorado - Marisa Gesteira Fonseca



Estádio

Syagrus romanzoffiana (Bernacci 2001)

Figuras 1-11. Estádios ontogenéticos de *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman, na floresta paludícola da Reserva de Santa Genebra, Campinas, SP. **Fruto:** 1. endocarpo em corte longitudinal, evidenciando a semente. **Plântulas:** 2. emissão do coleoptile (bainha de proteção); 3. emissão do primeiro eofilo; 4. desligamento da semente e desenvolvimento de raízes. **Juvenil, fase 1:** 5. os eofilos mais novos tomam-se largos (≥ 2 cm). **Juvenil, fase 2:** 6. as folhas mais novas tomam-se semipinatissectas (metafilo); 7. as folhas mais novas tomam-se pinatissectas (nomofilo). **Imaturo:** 8. as bainhas basais caem e deixam o estipe visível; 9. novos entrenós são produzidos e o estipe se alonga. **Virgem:** 10. aparecem as raízes caulígenas; **Reprodutivo:** 11. são produzidas as estruturas reprodutivas, que culminam no fruto. a semente; b poro germinativo; c gibosidade do endocarpo; d peciolo e bainha cotiledonares; e coleoptile; f raiz; g coifa; h eofilo; i bainha foliar; j eofilo largo (≥ 2 cm); k metafilo; l nomofilo; m região em que não é possível distinguir nós e entrenós; n entrenó; o raízes caulígenas; p nó (cicatriz foliar); q cálice persistente no fruto.

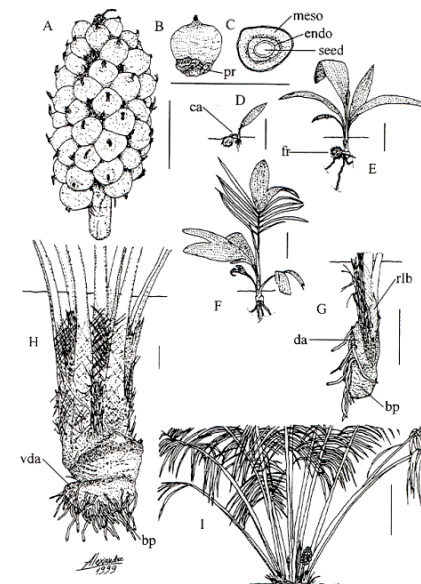
Attalea humilis (Souza 2000)

Fig. 1. Ontogenetic stages of *A. humilis humilis*. A) mature infructescence; B) external view of fruit; pr = perianth remains; C) transversal section of fruit; meso = fibrous mesocarp, endo = hardened endocarp; D) recently germinated seedling; ca = extended cotyledonary axis; E) established seedling; fr = fruit remains; F) juvenile, with transitional, but still distichous leaves; G) immature subterranean system; bp = bulbous protuberance, da = descending axis, rlb = reorientated leaf bases; H) reproductive subterranean system, with adventitious roots; vda = vestigial point of insertion of the degenerated descending axis, bp = bulbous protuberance; I) reproductive plant with spiral arrangement of leaves and mature infructescence. Scale bars: 10 cm for Figs. A - H, 1 m for Fig. I.

a)



b)



c)



f)



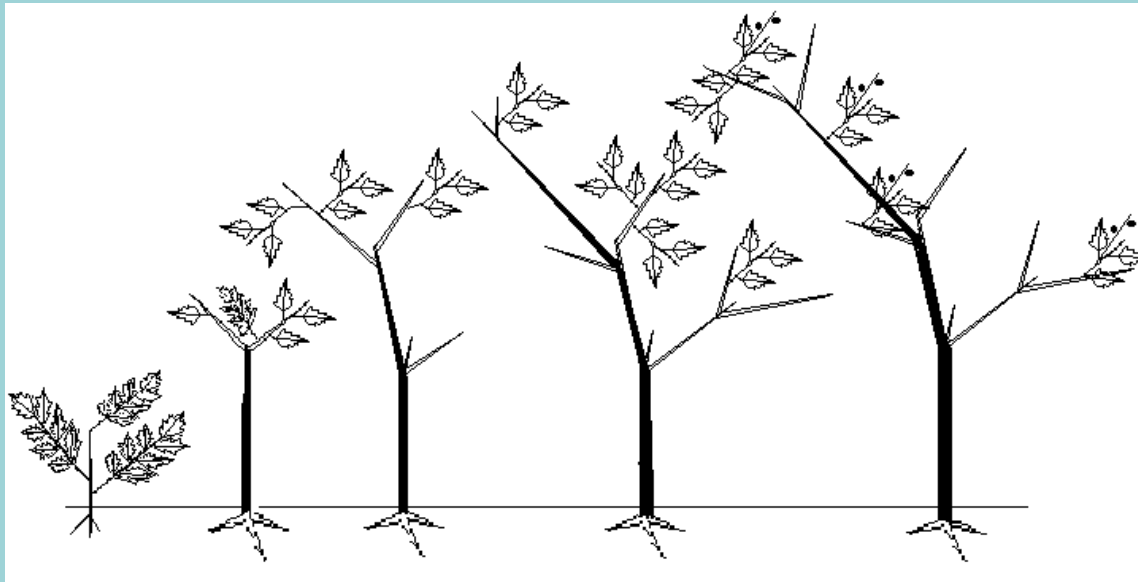
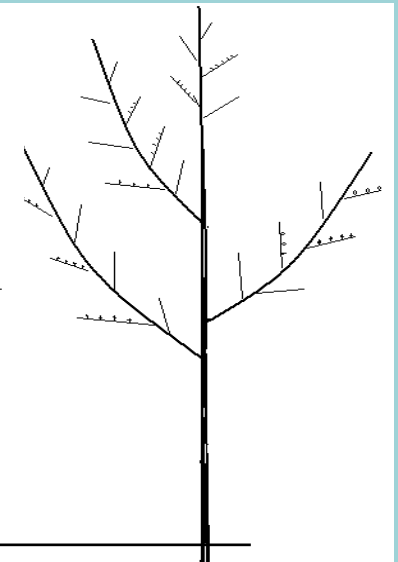
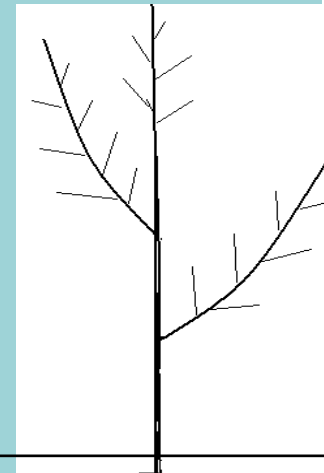
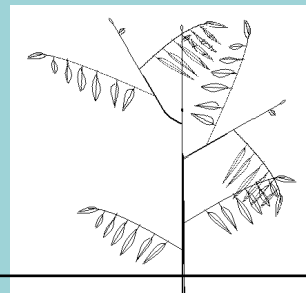
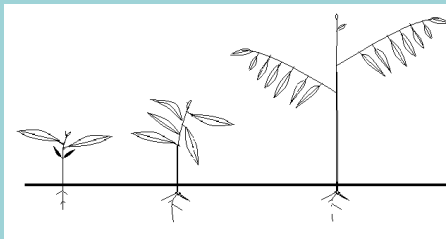
d)



e)



Daniela K. Ferraz. 2004. Ecologia de populações de *Lytrocaryum hoehnei* (Burret) Toledo (Arecaceae) na Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia, SP. Tese Doutorado, UNICAMP.

*Roupala montana**Xylopia aromatica*

Aneliza de A.M. Melo. 2004. Tese de Mestrado

Esquema dos estádios ontogenéticos de *Roupala montana* (2.1) e *Xylopia aromatica* (2.2). Sendo A= plântula, B= Jovem 1, C= Jovem 2, D= Imaturo, E= Adulto vegetativo, F= Adulto reprodutivo e setas= reitteração. Em *Xylopia* a partir do esquema D repete-se o modelo arquitetural

Idade X Tamanho X Estádio



Idade X Tamanho X Estádio



Idade X Tamanho X Estádio



Estrutura de Tamanhos

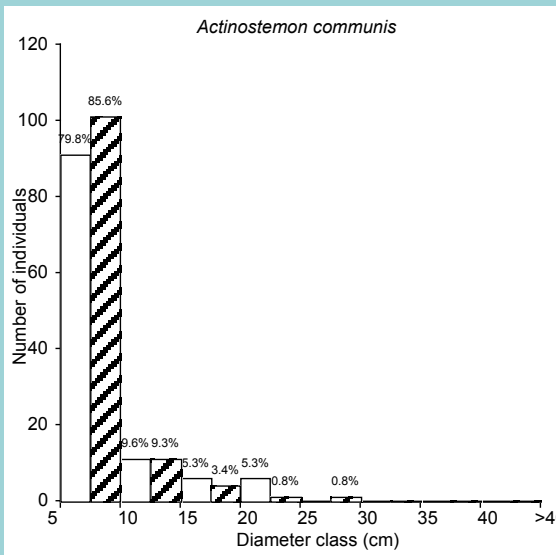
A divisão de classes

Arbitrária? → Relação entre parâmetros de tamanho (diâmetro X altura)

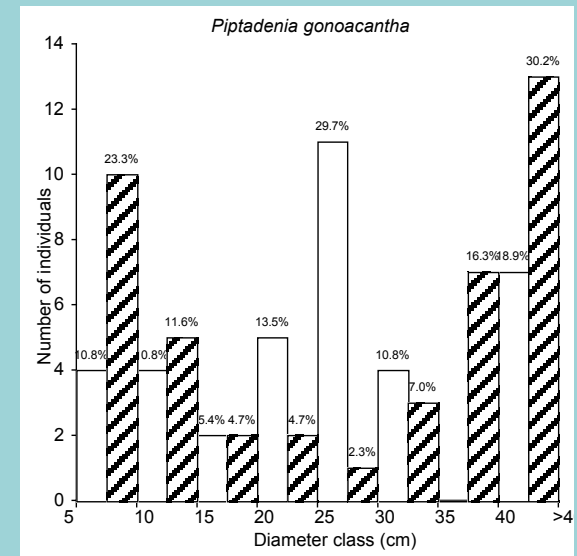
Bongers et al (1988). Vegetatio 74: 55-80

$M = \text{INT}(5 \cdot \log N)$, onde M = número de classes e N = número de indivíduos

Análises:

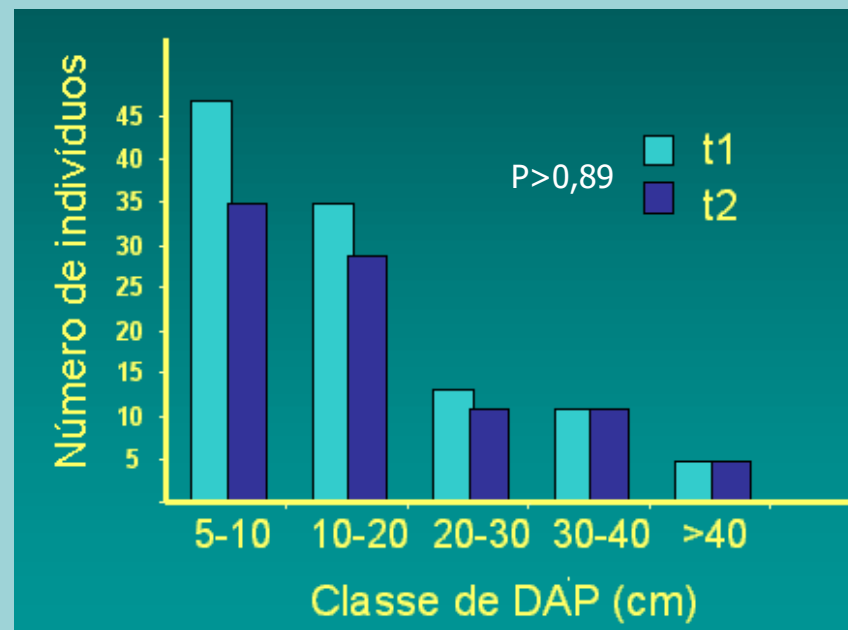
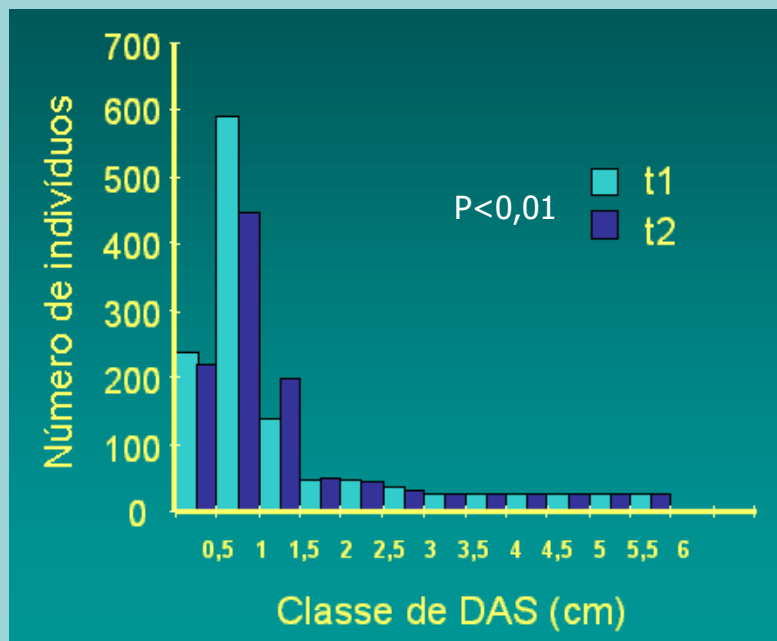


Visual



Análises:

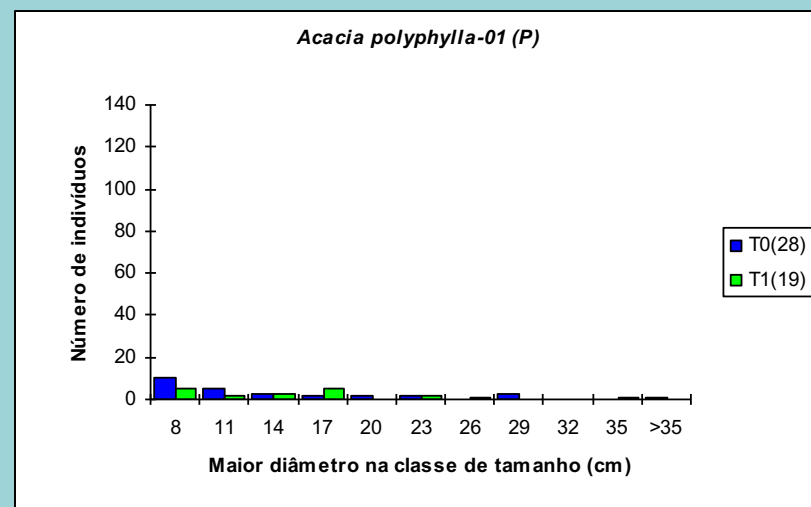
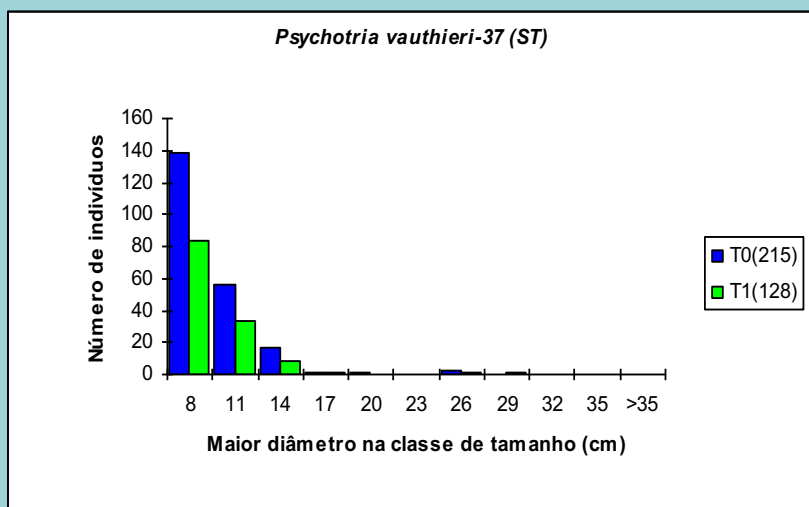
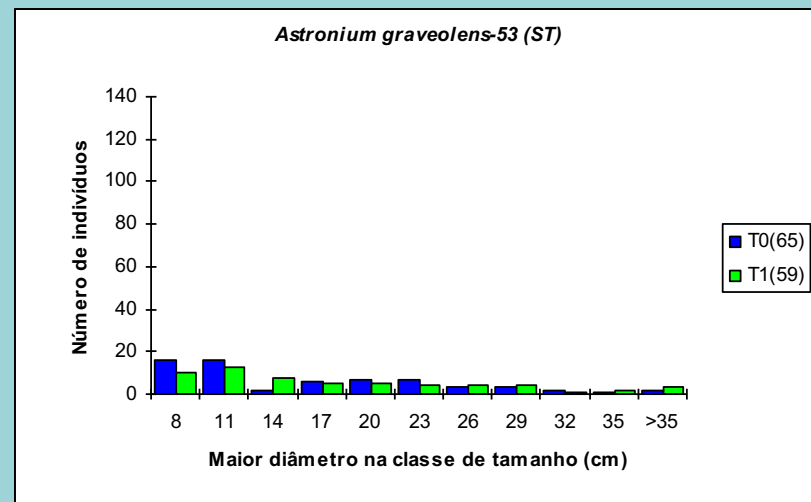
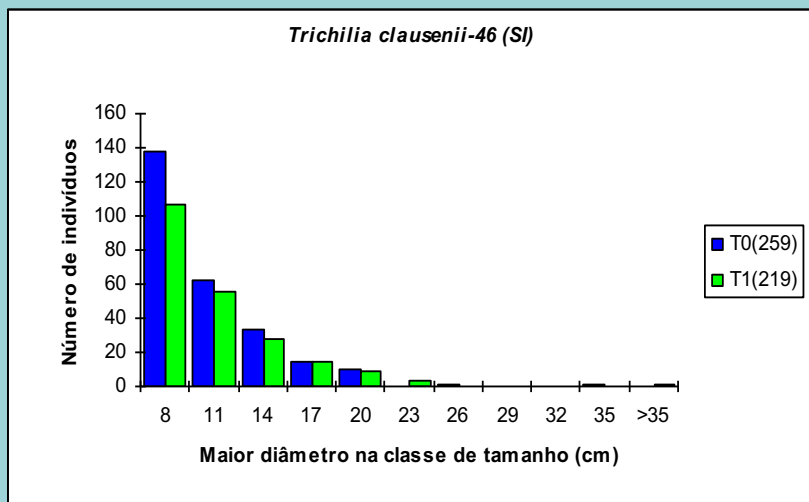
Testes estatísticos – Kolmogorov-Smirnov



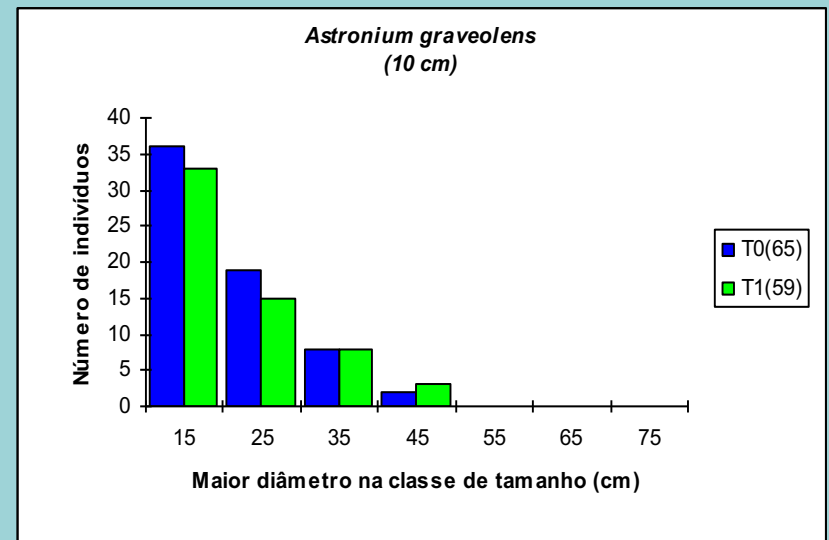
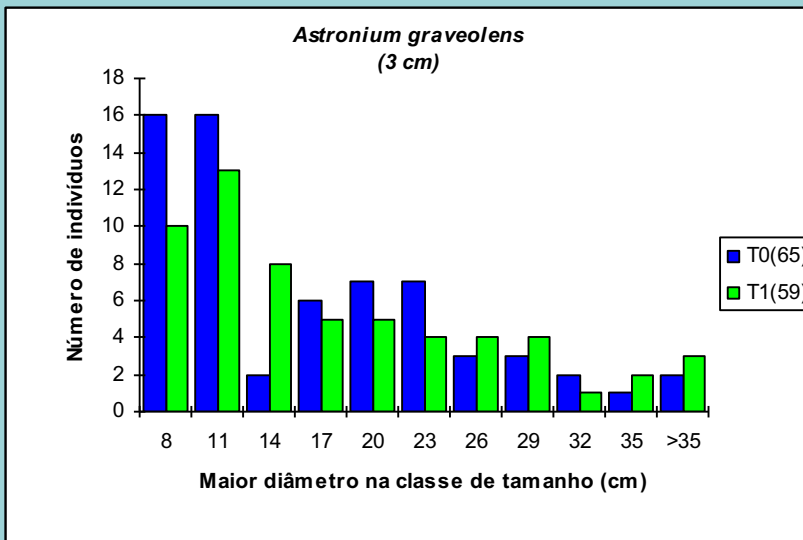
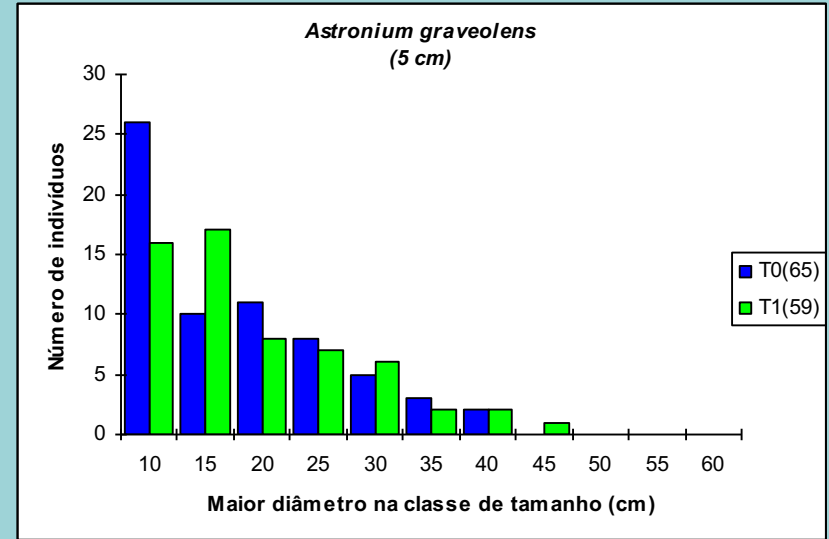
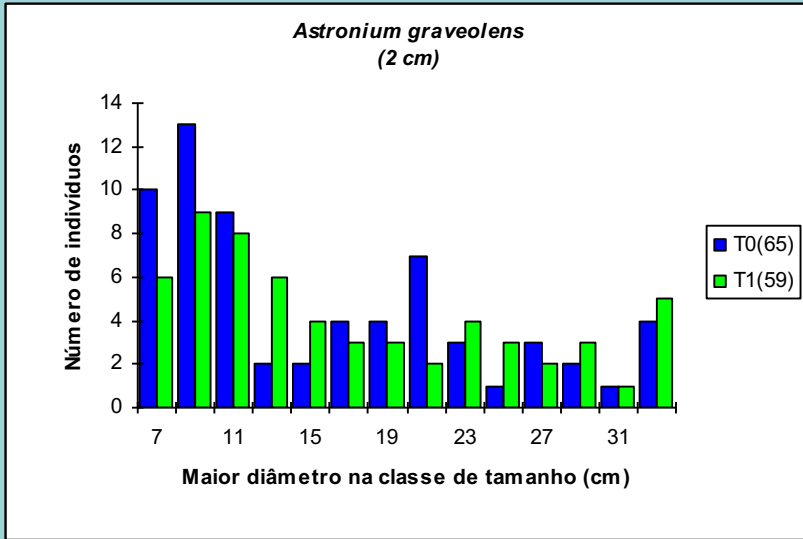
Aspidosperma polyneuron – Mata de Santa Genebra
Fonseca (2001)

A forma dos histogramas pode mudar em função de diversos fatores:

Número de indivíduos amostrados

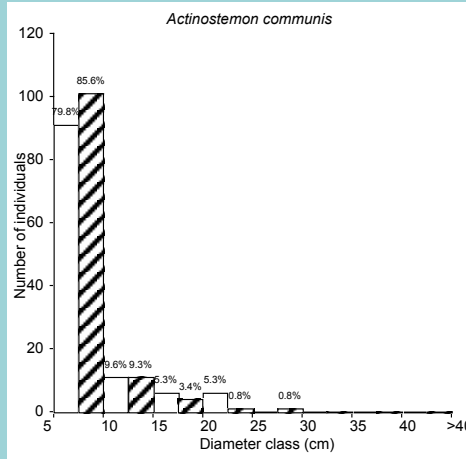


Divisão de classes de tamanho

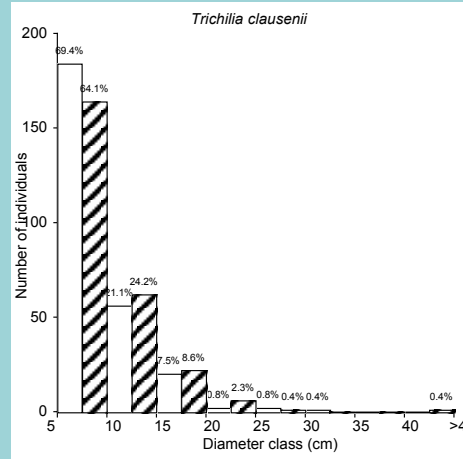


Mata de Santa Genebra, SP

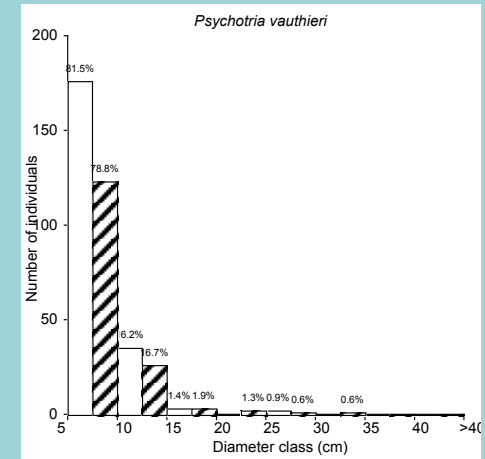
$N_0 = 114 / N_t = 118$



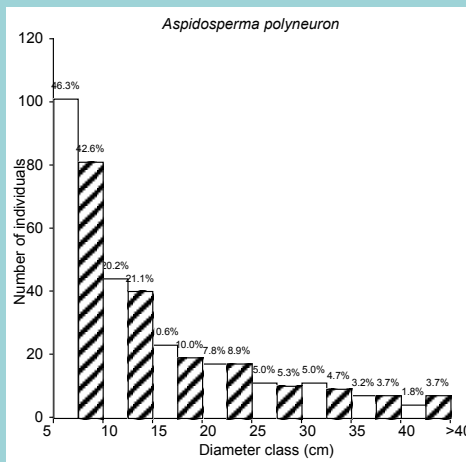
$N_0 = 265 / N_t = 256$



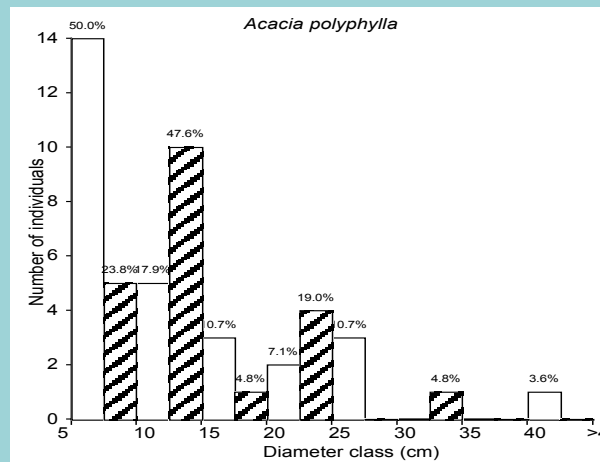
$N_0 = 216 / N_t = 156$



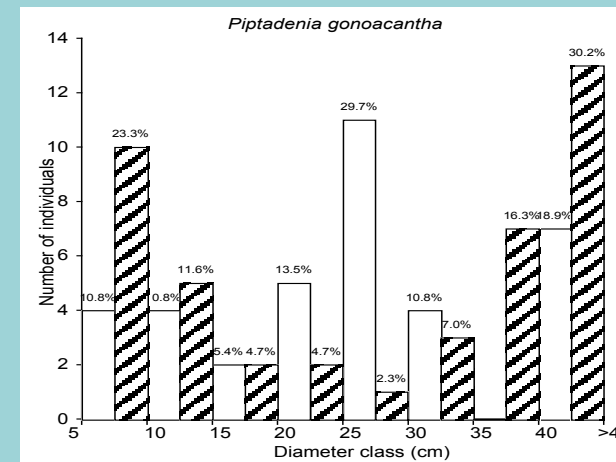
$N_0 = 218 / N_t = 190$



$N_0 = 28 / N_t = 21$



$N_0 = 37 / N_t = 43$



Estudos de longo prazo – um exemplo

Condit et al. (1998). Ecology.

Acompanhamento da dinâmica populacional de 216 espécies em BCI (Panamá).

Comparação das taxas de crescimento populacional (λ) entre os anos de 1985, 1990, 1995

Resultados:

Espécies com crescimento estável apresentavam formas de histogramas diferentes

O principal fator correlacionado com a forma dos histogramas foi a taxa de crescimento dos indivíduos jovens

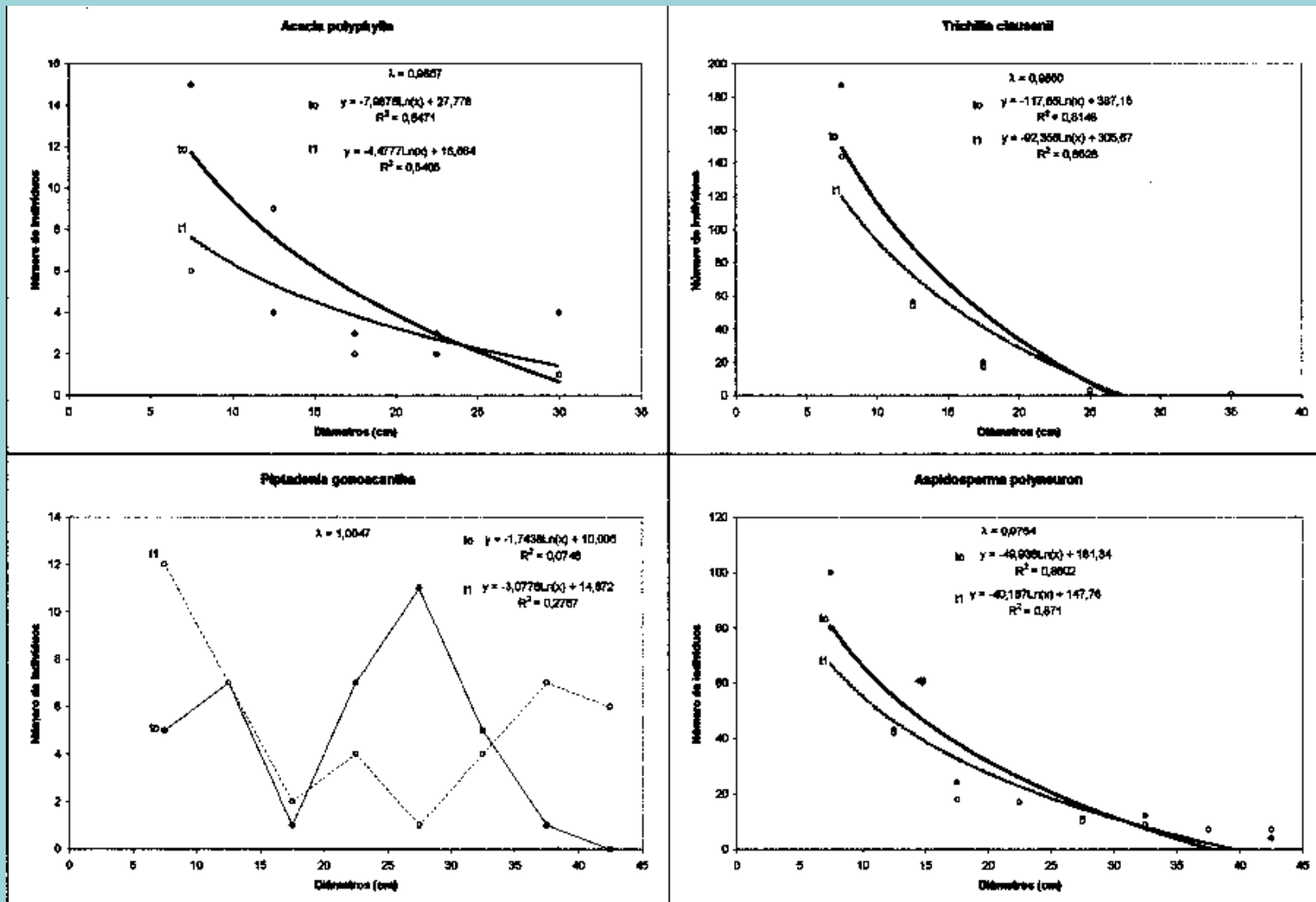
Espécies com crescimento lento -> Acumulam jovens (gerando uma curva com declínio mais íngreme)

Espécies com crescimento rápido -> menor número de jovens no sub-bosque

Conclusão:

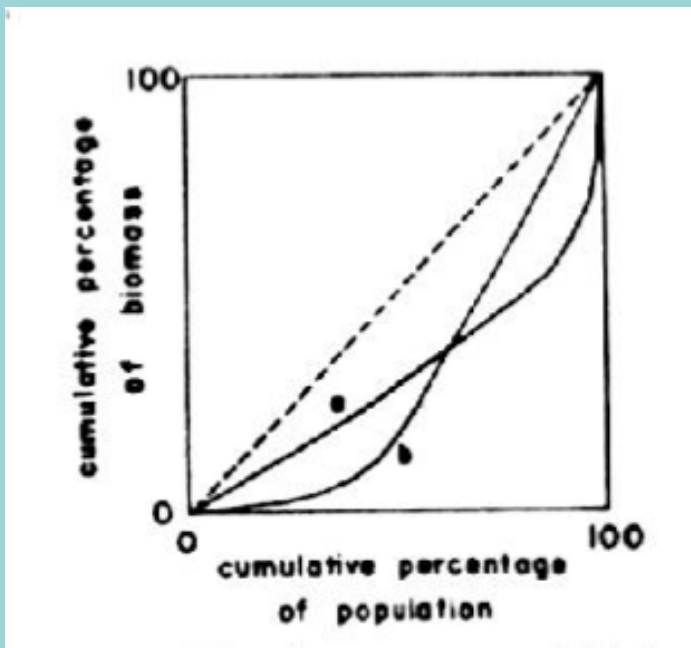
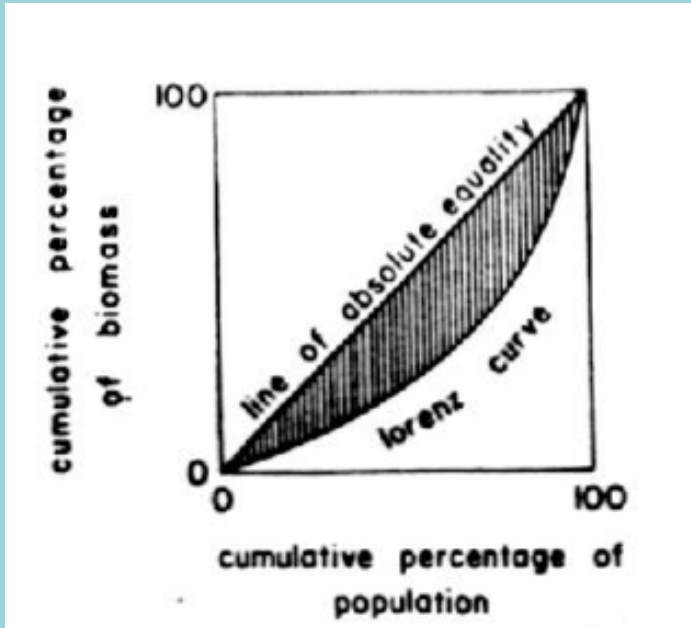
A forma dos histogramas não é um bom indicador da estabilidade de uma população, nem de suas tendências futuras!!!

Mata de Santa Genebra, SP

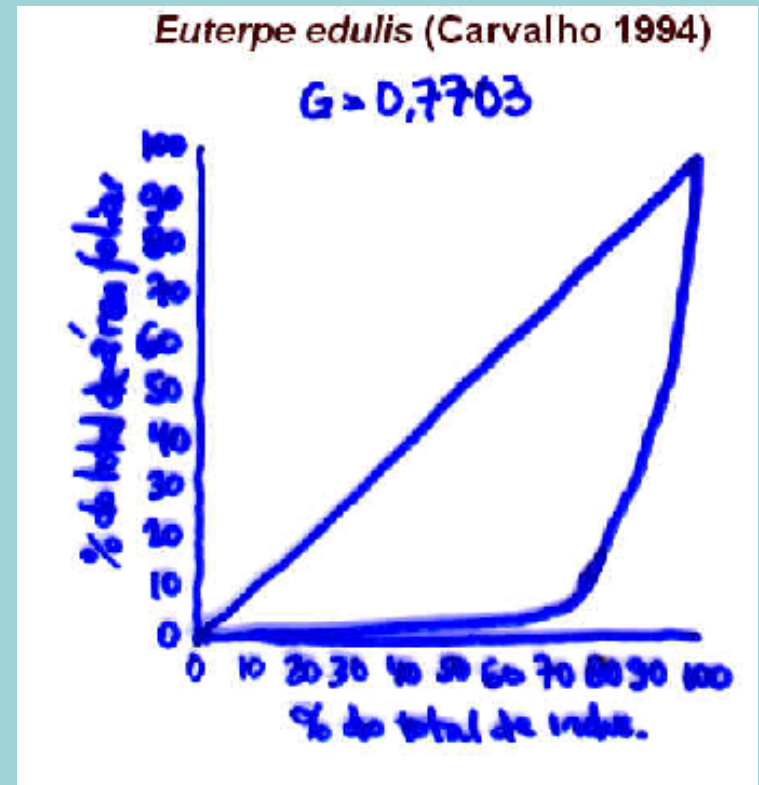


Análises:

Curva de Lorenz



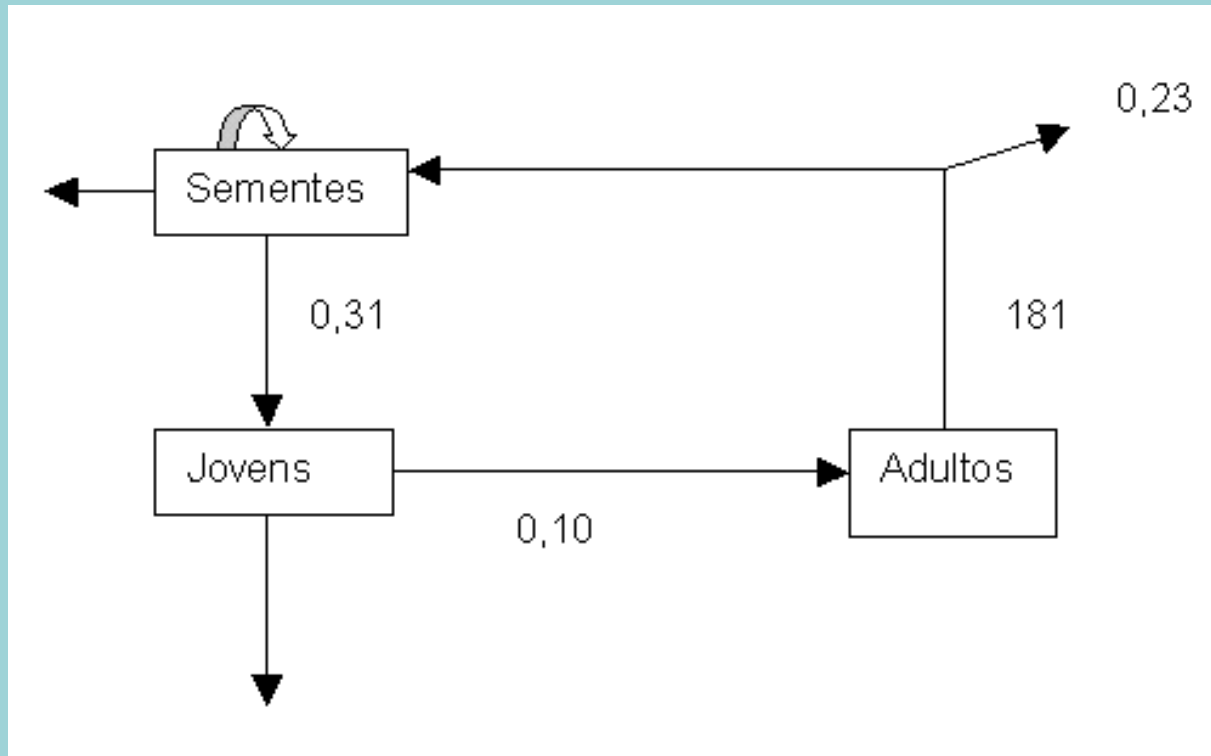
Coeficiente de Gini:
 $G = [\sum \sum (Y_i - Y_j)] / [2n^2 \bar{Y}]$



Tabelas de Vida

As tabelas podem ser ainda esquemáticas, permitindo a modelagem de ciclos de vida mais complexos.

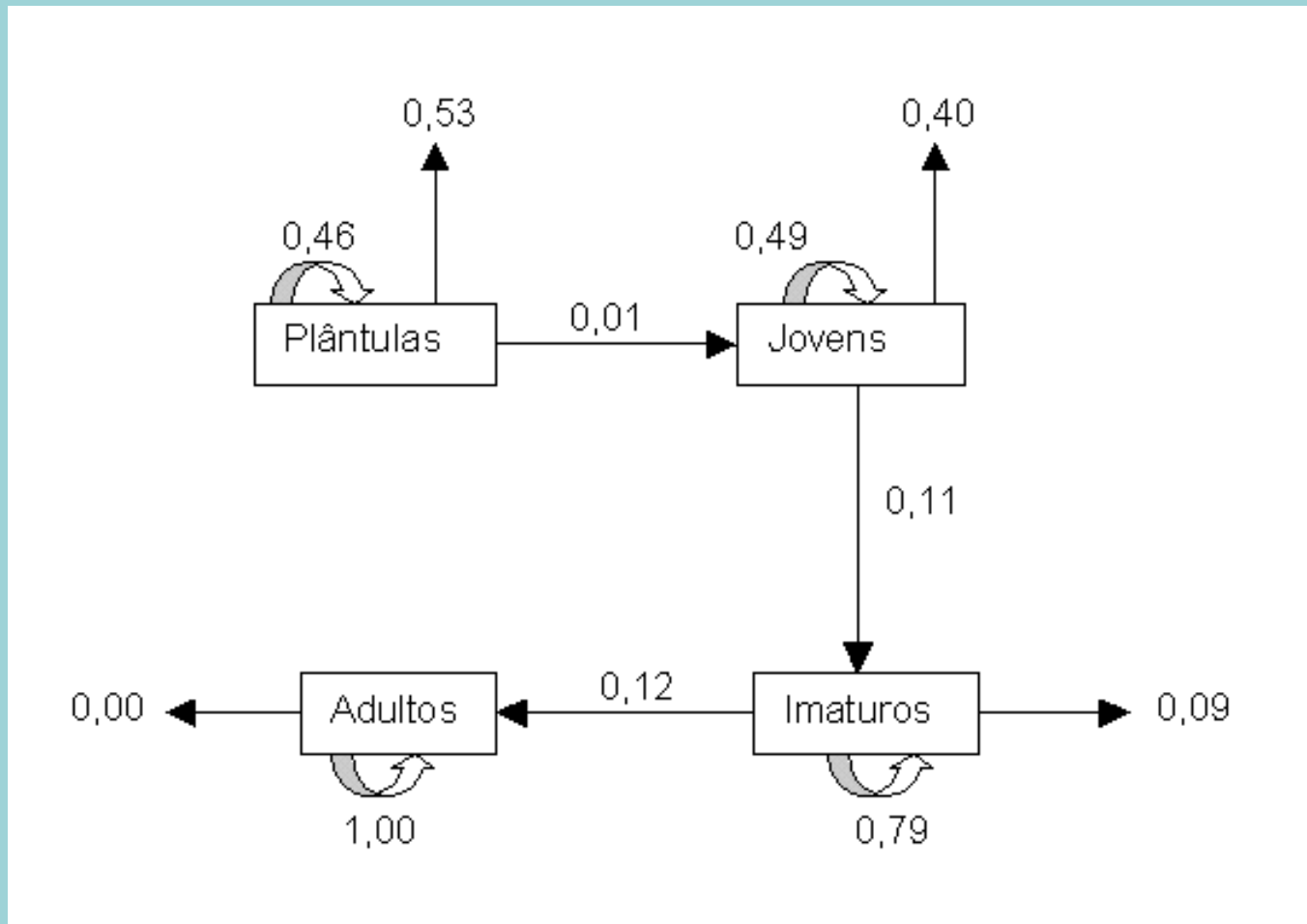
Acanthospermum hispidum (Santos, dados não publicados)



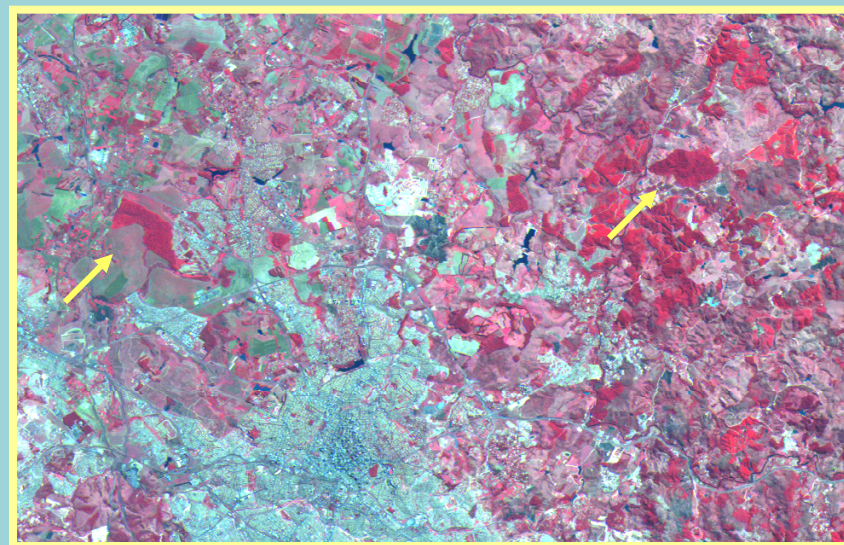
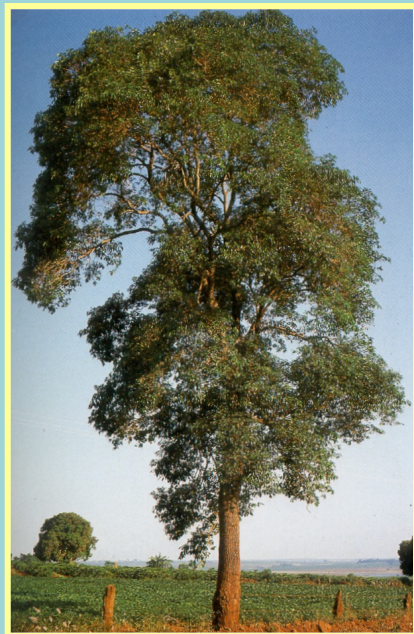
Tabelas de Vida

Exemplos de tabelas de vida esquemáticas:

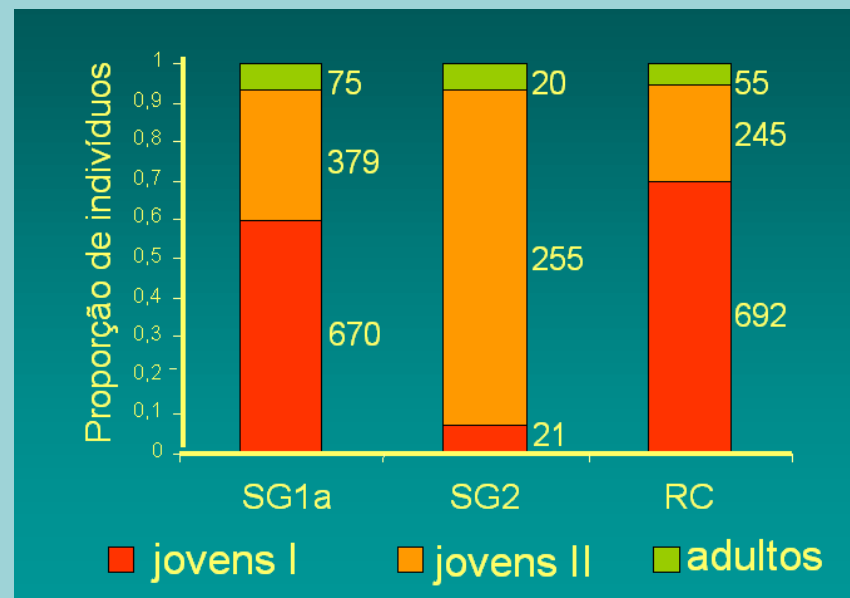
Calophyllum brasiliense (Fischer & Santos 2001)



Estruturas – Variações espaciais



Fonseca, M.G. 2001. Aspectos demográficos de *Aspidosperma polyneuron* Muell. Arg. (Apocynaceae) em dois fragmentos de floresta semidecídua no município de Campinas, SP. Tese de Mestrado. UNICAMP



Alometria

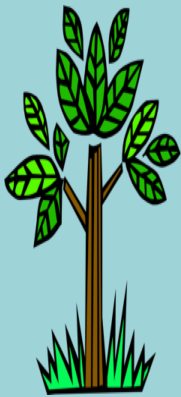
Em termos gerais, alometria pode ser definida como a relação entre variáveis de tamanho de um organismo.

Segundo Niklas (1994), alometria pode ser considerada como o estudo do crescimento de uma parte do organismo em relação ao todo, como o estudo das conseqüências do tamanho na forma do organismo, ou ainda, como a propriedade que certos objetos têm de conservarem sua geometria e forma enquanto eles variam de tamanho. O estudo das relações alométricas é utilizado para descrever relações quantitativas entre mudanças no tamanho de diversos organismos e uma variedade de características morfológicas, fisiológicas, de história de vida ou de comportamento (Harvey & Pagel 1991).

A relação mais utilizada em alometria de plantas é aquela entre o diâmetro do tronco e a altura total da árvore. Com base nesta relação foram propostos vários modelos que procuram explicar como se combinam as forças em um caule, de modo que este se mantenha de pé e sustente uma copa (Sposito 1994). Estes modelos vêm sendo utilizados para se comparar grandes grupos taxonômicos (Niklas 1993), plantas com diferentes alturas (King 1990), plantas pioneiras com plantas de estádios sucessionais mais avançados (Rich et al. 1986) e diferentes espécies de árvores em uma área (King 1995).

McMahon 1970

$$D = 0,1 H^{3/2}$$



similaridade geométrica
 $b = 1,0$



similaridade elástica
 $b = 1,5$



similaridade estresse
 $b = 2,0$

Sposito, T.C. & Santos, F.A.M. 2001.
Scaling of stem and crown in eight
Cecropia (Cecropiaceae) species of
Brazil. American Journal of Botany 88
(5): 939-949.

Sposito, T.C. & Santos, F.A.M. 2001.
Architectural patterns of eight
Cecropia (Cecropiaceae) species of
Brazil. Flora 196: 215-226.

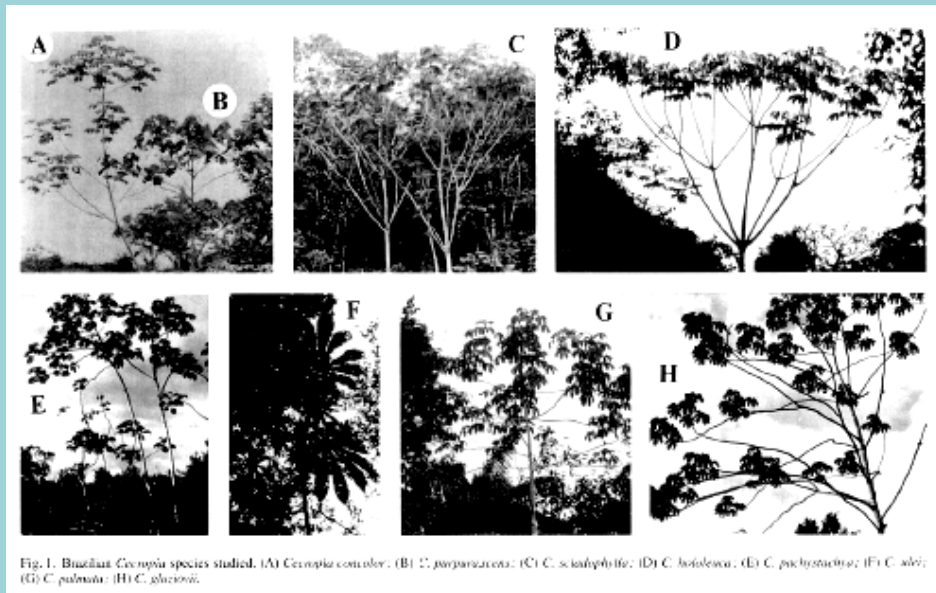
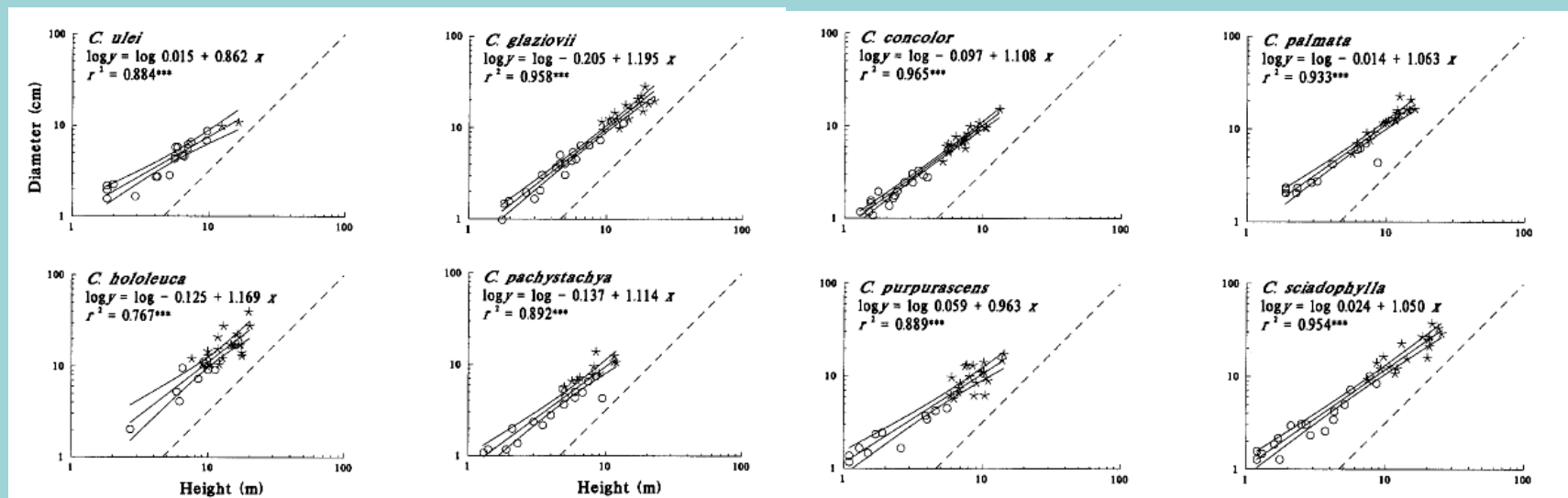


Fig. 1. Brazilian *Cecropia* species studied. (A) *Cecropia concolor*; (B) *C. purpurascens*; (C) *C. sciadophylla*; (D) *C. hololeuca*; (E) *C. pachystachya*; (F) *C. uli*; (G) *C. palmata*; (H) *C. glaziovii*.



Holbrook & Putz (1989). American Journal of Botany 76: 1740-1749

Liquidambar styraciflua (Hamamelidaceae)



Liquidambar styraciflua (Hamamelidaceae)

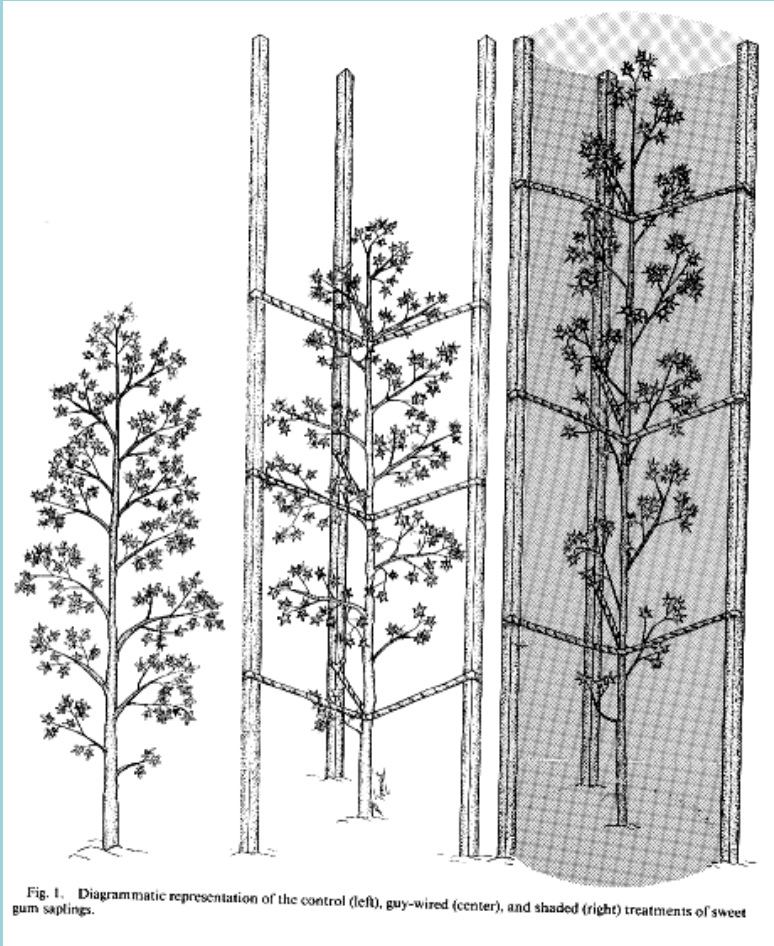


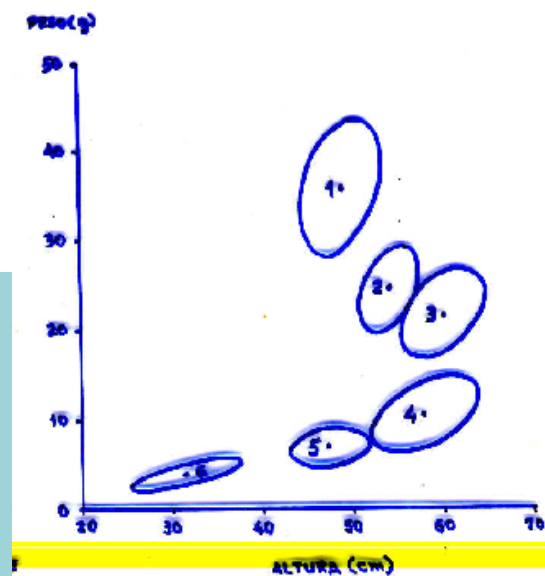
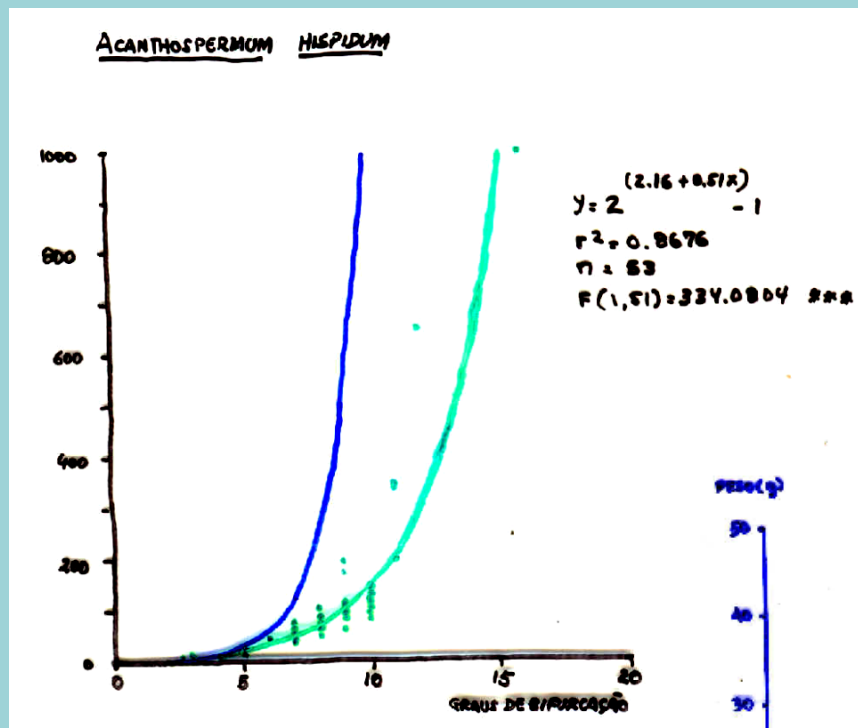
Fig. 1. Diagrammatic representation of the control (left), guy-wired (center), and shaded (right) treatments of sweet gum saplings.

TABLE 2. Comparison of the critical buckling dimensions of experimentally grown sweet gum trees calculated according to five allometrical models. Note that saplings enclosed in shade cloth cylinders were also guy-wired. Means ($N = 8$ trees per treatment) with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$) according to ANOVA followed by multiple comparisons (t method, Sokal and Rohlf, 1981, p. 246). Standard errors are noted in parentheses below the means

Model		Treatment		
		Control	Constrained	Shaded
Greenhill (1881) I	% critical height	69.7 ^a (2.44)	80.9 ^b (2.58)	106.8 ^c (2.63)
Greenhill (1881) II	% critical height	44.6 ^a (1.56)	51.8 ^b (1.65)	68.4 ^c (1.68)
Gere and Carter (1963)	% critical height	49.6 ^a (2.92)	62.4 ^b (2.89)	116.1 ^c (5.39)
King and Loucks (1978)	% critical diameter	182.7 ^a (8.54)	140.7 ^b (6.99)	77.2 ^c (3.22)
Holbrook and Putz (this paper)	% critical height	76.7 ^a (1.87)	85.2 ^b (2.37)	113.8 ^c (2.09)
	% critical diameter	115.7 ^a (1.49)	110.0 ^b (1.81)	92.9 ^c (1.05)

Tamanho e Forma

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



Young, T.P. & Perkocha, V. 1994. Treefalls, crown asymmetry, and buttresses. *Journal of Ecology* 82: 319-324.

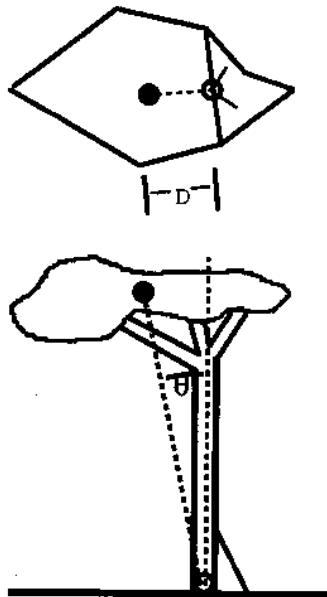


Fig. 1 Measurements made on trees (see text). The vertical projection of crown area is shown above a profile of the tree, with the open circle indicating the location of the base of the bole. The solid circle represents the centre of area of the projected crown. *D* is the distance between these two points. Θ is the angle between vertical and the centre of crown area. The solid line passing through the open circle in the crown projection is the line of maximum asymmetry. The two shorter lines represent the orientations of the two largest buttresses.

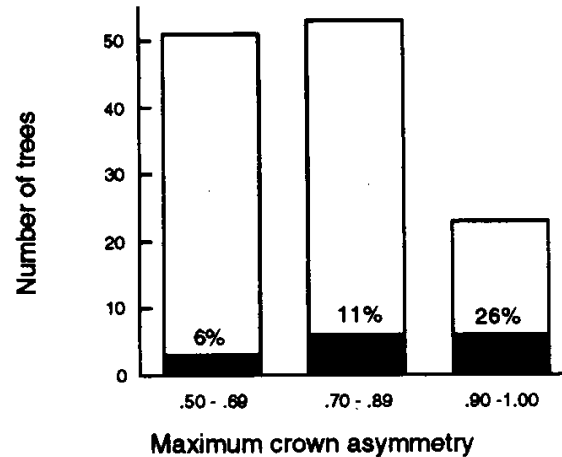


Fig. 3 The number trees with different crown asymmetries in February 1987 (open bars), and the number and percent of those trees that fell between February 1987 and September 1993 (solid bars).

$$\text{Assimetria máxima} = A_{\text{max}}/A_{\text{total}}$$

0,5 = simetria
 1,0 = completa assimetria

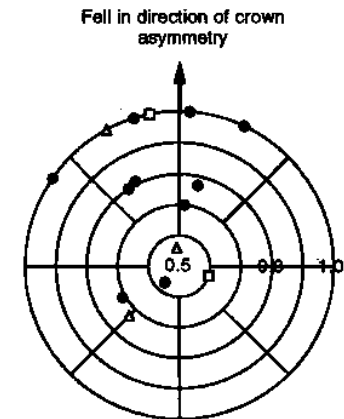


Fig. 4 Treefall direction relative to the direction and severity of crown asymmetry (Panama). Trees that fell in the same exact direction as their centre of crown mass would lie on the line directly above the centre; those falling away from the direction of the centre of crown mass would lie on the line directly below the centre. The distance from the centre is proportional to maximum crown asymmetry (a value of 0.5 represents symmetrical crowns). Solid circles represent 'normal' treefalls; open triangles represent trees that died standing and fell later often after sloughing branches; open squares represent trees that were brought down by larger trees falling into them.

Exercícios

Programa: Populus

Populações estruturadas por idade

Altere o número de classes etárias, a sobrevivência e a fecundidade de cada classe etária.

Observe o que acontece com os valores R_0 , G , r e $\ln(R_0)/G$.

Altere os valores tentando verificar o seguinte:

- O que acontece se a população começa com diferentes combinações de números de indivíduos em cada classe etária?
- O que acontece se a fecundidade é concentrada nas últimas classes etárias?
- O que acontece se os indivíduos começam a se reproduzir mais cedo?
- O que acontece se a sobrevivência aumenta ou diminui em diferentes classes etárias?

Quais as implicações de cada uma das situações simuladas?