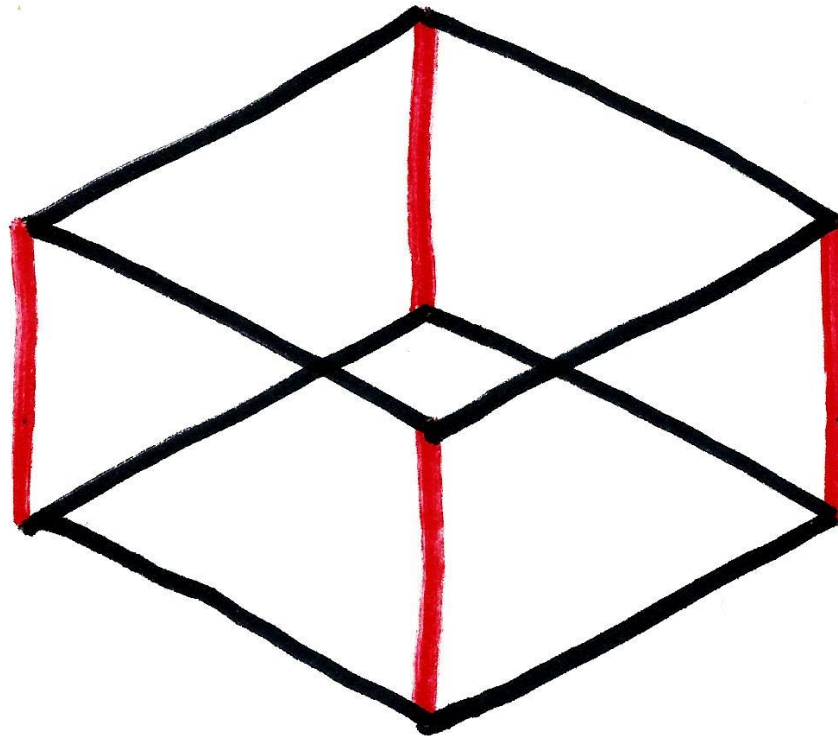


# 7. Estimando a abundância: modelos de população fechada



# Resumo

1. Identificação individual
2. Modelos de marcação-recaptura
  - Modelos clássicos
  - Premissas
3. Modelos modernos
  - Mh
  - Mb
  - Mt

# Identificação individual

## Marcas naturais

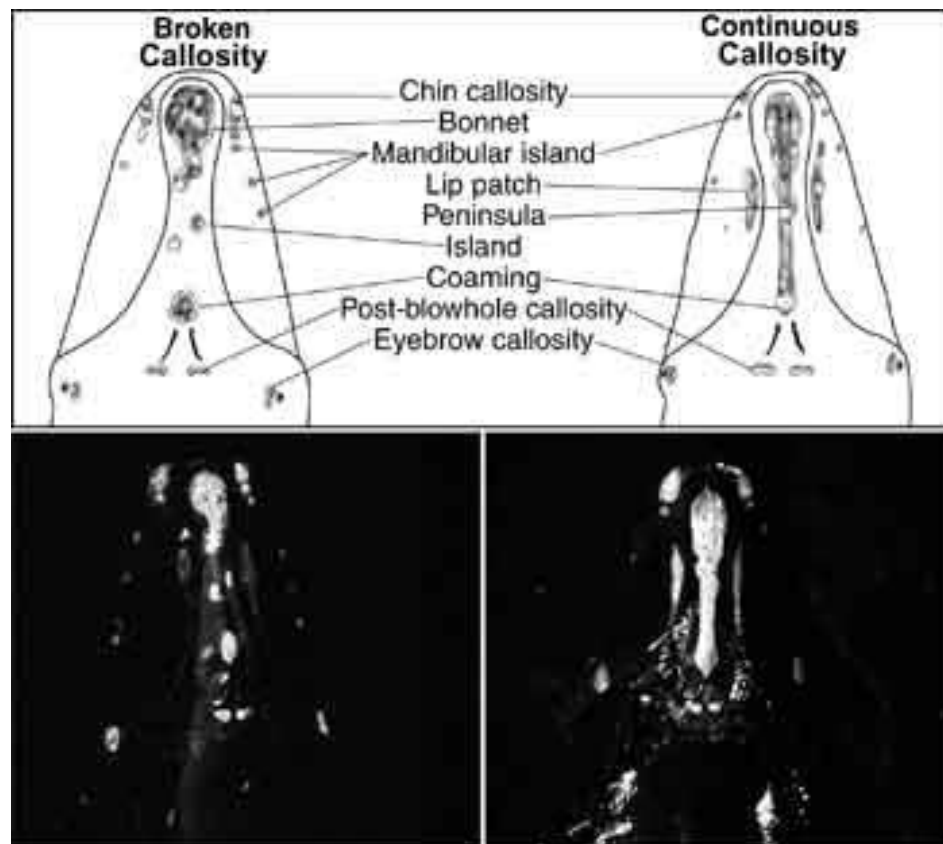
Padrões de coloração do pêlo



# Identificação individual

## Marcas naturais

Padrões de coloração da pele, calosidades, cicatrizes



# Identificação individual

## Marcas naturais

Padrão do rosto ou vibrissas



# Identificação individual

## Marcas naturais

DNA Micro-satélite

Fezes



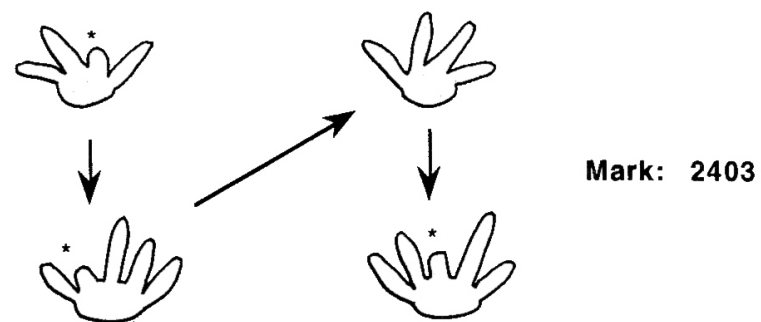
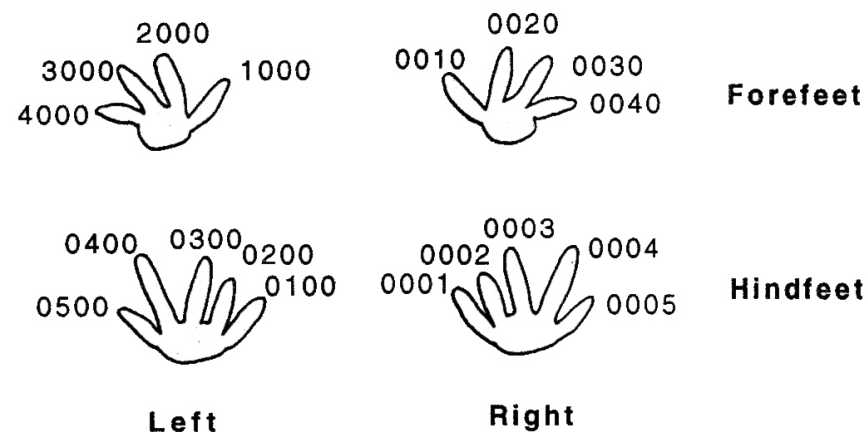
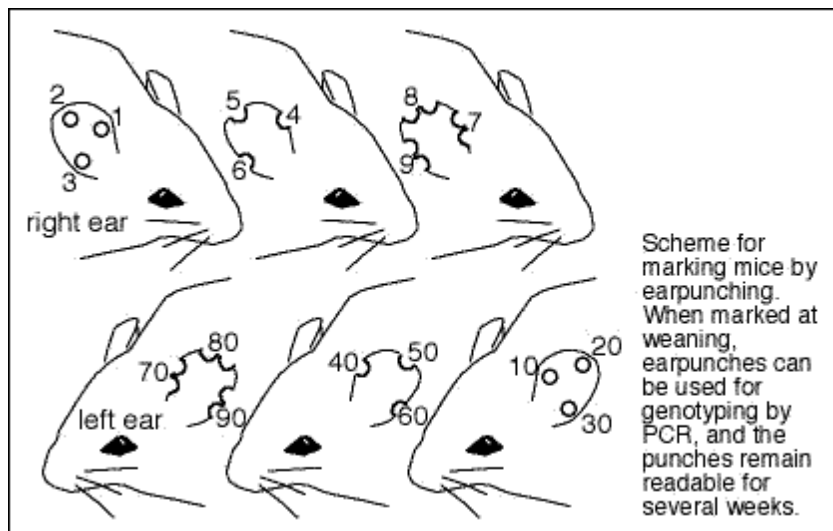
Coleta de biópsias



# Identificação individual

## Marcas artificiais

Mutilações, amputações



# Identificação individual

## Marcas artificiais

Anilhas, tags





# Identificação individual

## Marcas artificiais

Queimaduras com hidrogênio líquido



# Identificação individual

## Marcas artificiais

### Caneta



### Tinta



# Identificação individual

## Marcas artificiais

### Transponder



### Rádio/GPS



# Histórico de capturas

1 para captura

0 para não captura

	Occ 1	Occ 2	Occ 3	Occ 4
ID 1	1	0	1	1
ID 2	1	0	1	0
ID 3	0	1	0	1
ID 4	0	1	1	1
ID 5	0	0	1	0
ID 6	1	1	0	1
ID 7	1	0	1	0
ID 8	0	0	1	0
ID 9	1	1	0	0
ID 10	0	1	1	1
ID 11	0	1	0	1
ID 12	1	0	0	1
ID 13	1	1	0	0
ID 14	0	0	1	0
ID 15	1	1	1	0
ID 16	1	0	0	1

# Marcação-recaptura

## Tipos de dados:

- Recapturas de animais vivos
- Recuperação de marcas em animais mortos
- Recapturas de animais vivos e de marcas em animais mortos
- Destino conhecido (*known fate*)

# **Informações em um histórico de capturas:**

(Pollock, 1981)

- 1) Recaptura de animais marcados podem ser usadas para calcular a probabilidade de sobrevivência;
- 2) Comparação do número de animais marcados e não-marcados em cada ocasião de captura podem ser usadas para estimar a abundância.

# Primeiras aplicações



Pierre Laplace  
(1749-1827)



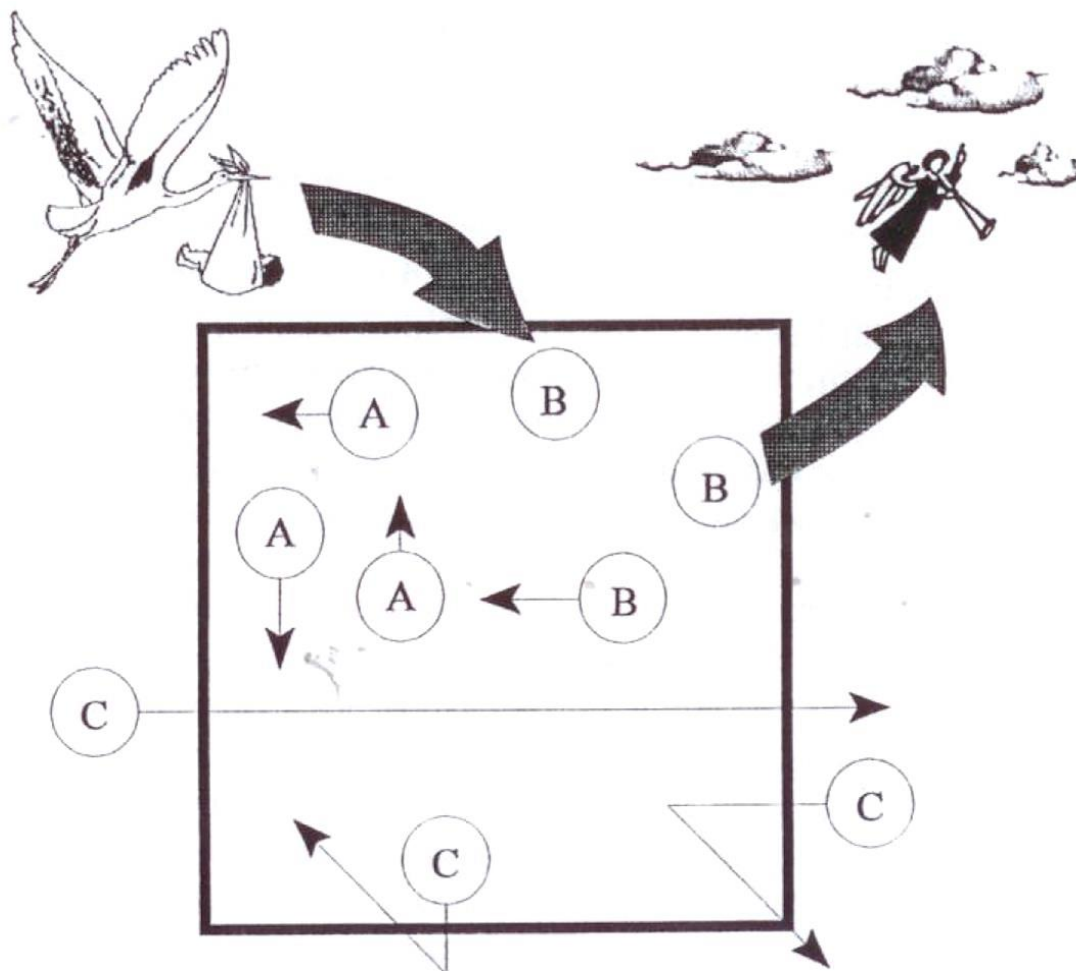
# Populações fechadas vs. abertas

EXISTE POPULAÇÃO FECHADA?

Premissa refere-se ao período amostral



## 7. Marcação-recaptura: abundância de populações fechadas



- ( ) geograficamente aberta
- ( ) geográfica e demograficamente fechada
- ( ) geograficamente fechada e demograficamente aberta

# Estimadores clássicos

Ideia básica por trás do estimador:

PROPORÇÕES ENTRE VALORES  
CONHECIDOS E DESCONHECIDOS

# Estimador de Lincoln-Petersen

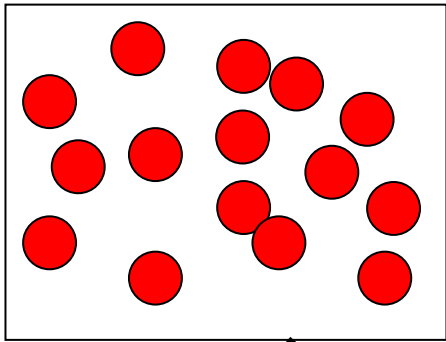
Duas ocasiões de captura:

$$\frac{m_2}{n_2} = \frac{n_1}{N} \quad \text{ou} \quad N = \frac{n_1 n_2}{m_2}$$

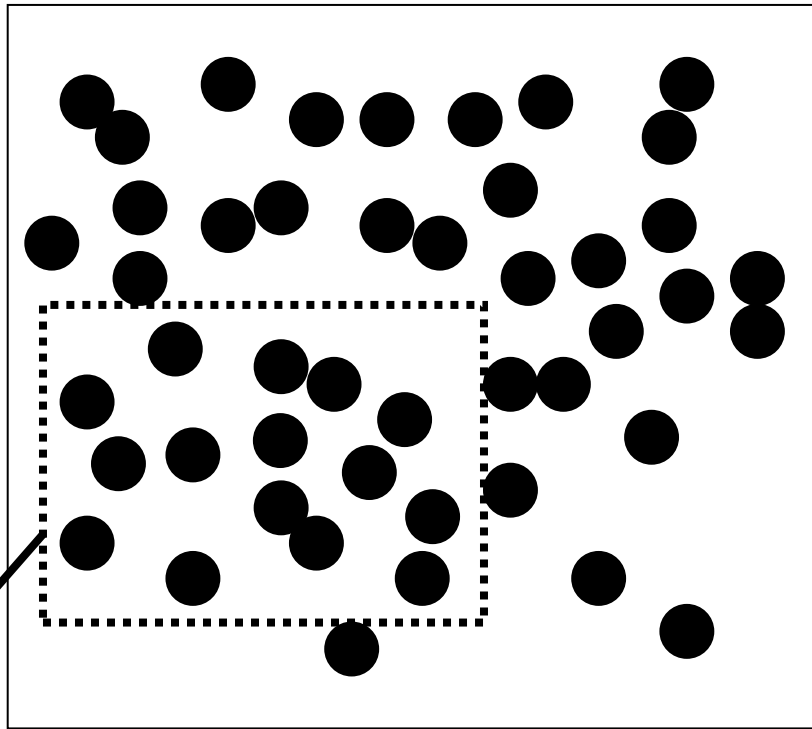
Onde:

- $n_1$  = animais marcados na primeira ocasião
- $n_2$  = animais marcados na segunda ocasião
- $m_2$  = animais recapturados na segunda ocasião

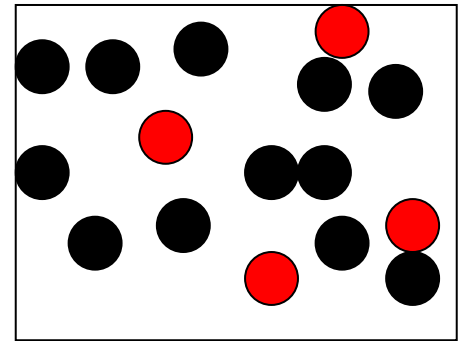
Ocasião 1:



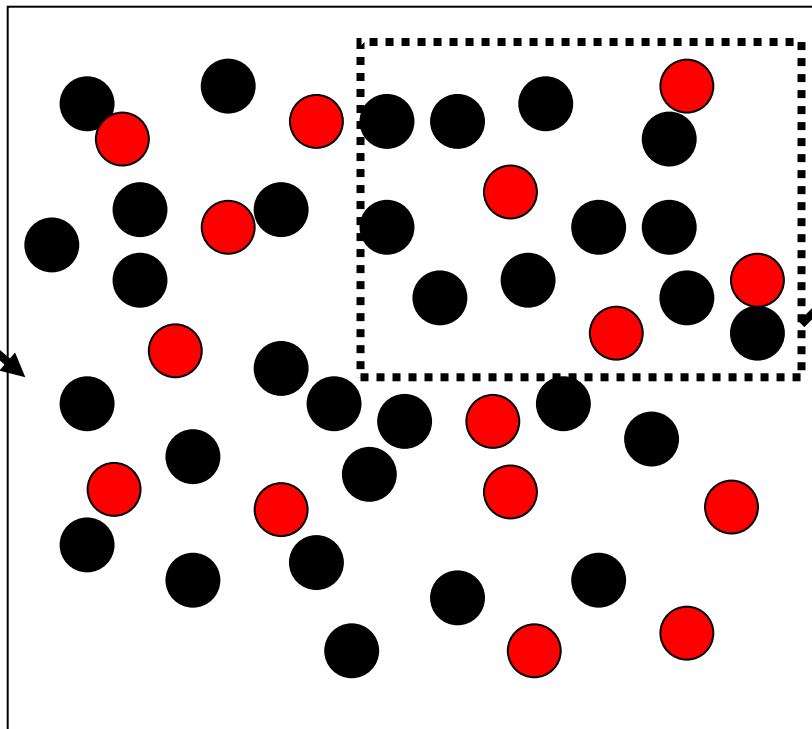
$$n_1 = 15$$



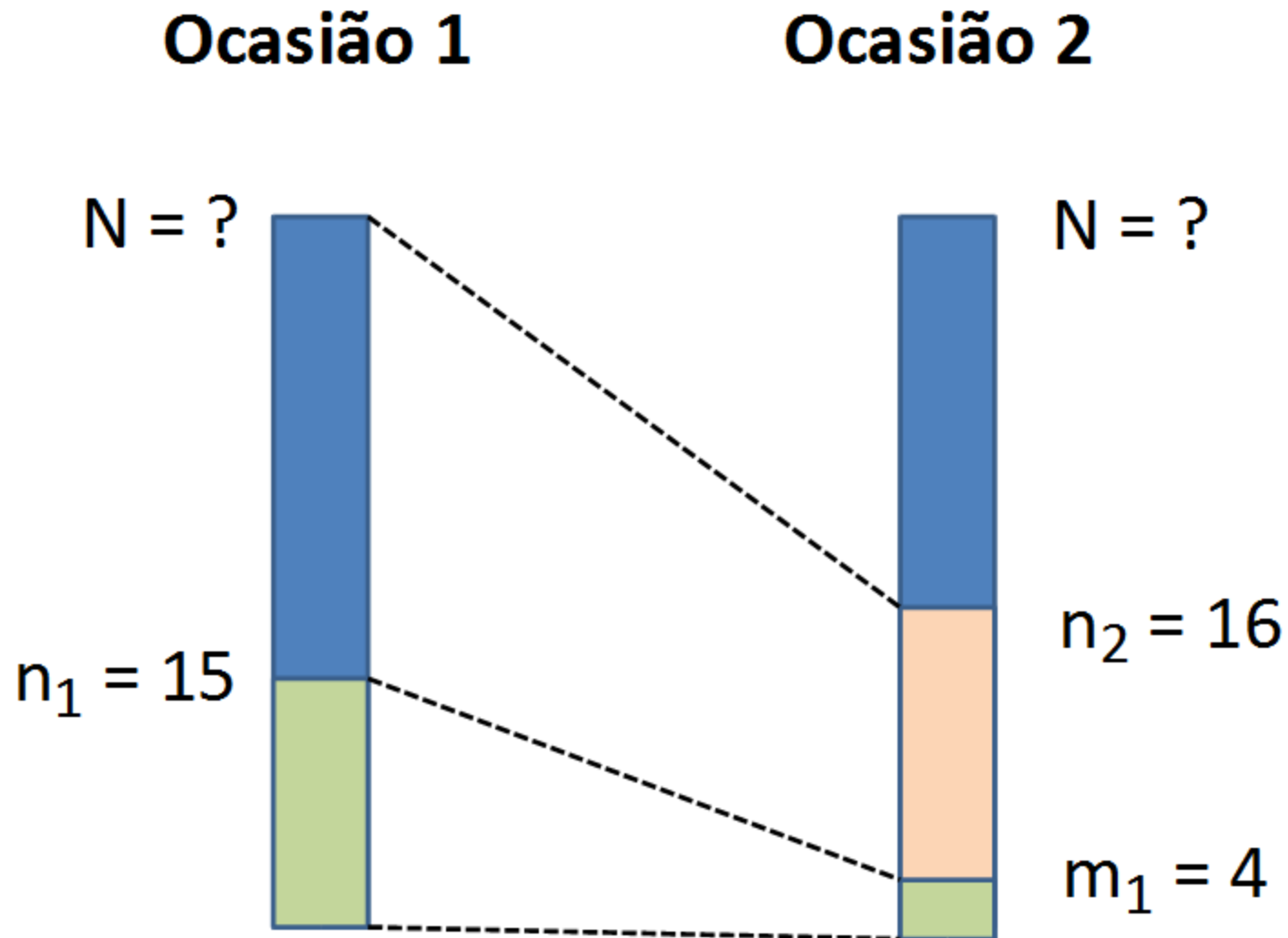
Ocasião 2:



$$n_2 = 16$$
$$m_2 = 4$$



# Estimador de Lincoln-Petersen



# Estimador de Chapman

$$N = [(n_1 + 1) (n_2 + 1) / (m_2 + 1)] - 1$$

Onde:

$n_1$  = animais marcados na primeira ocasião

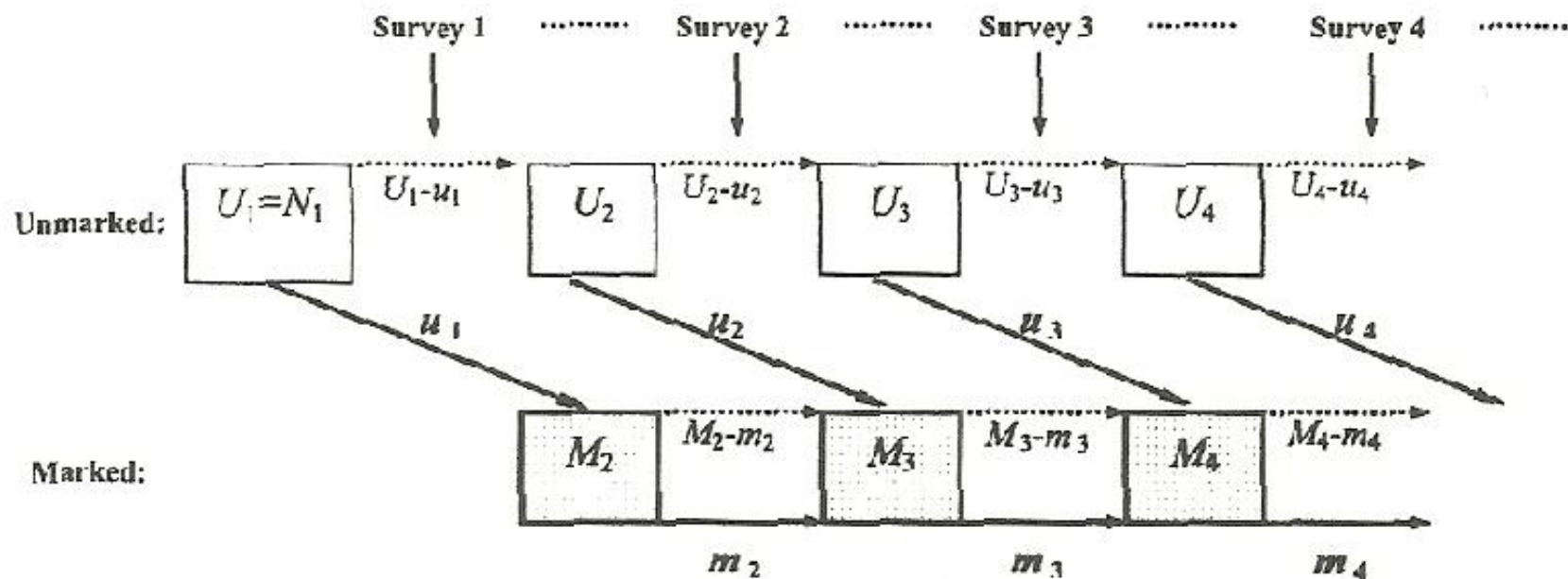
$n_2$  = animais marcados na segunda ocasião

$m_2$  = animais recapturados na segunda ocasião

# Premissas

- 1) A população é fechada;
- 2) Indivíduos têm a mesma probabilidade de serem capturados (capturabilidade igual);
- 3) Animais não perdem suas marcas, e estas marcas são registradas corretamente;
- 4) Animais agem independentemente.

# Múltiplas ocasiões



$U_i$  = número de não-marcados no início da ocasião

$u_i$  = número de não-marcados capturados na ocasião

$M_i$  = número de animais marcados no início da ocasião

$m_i$  = número de marcados recapturados

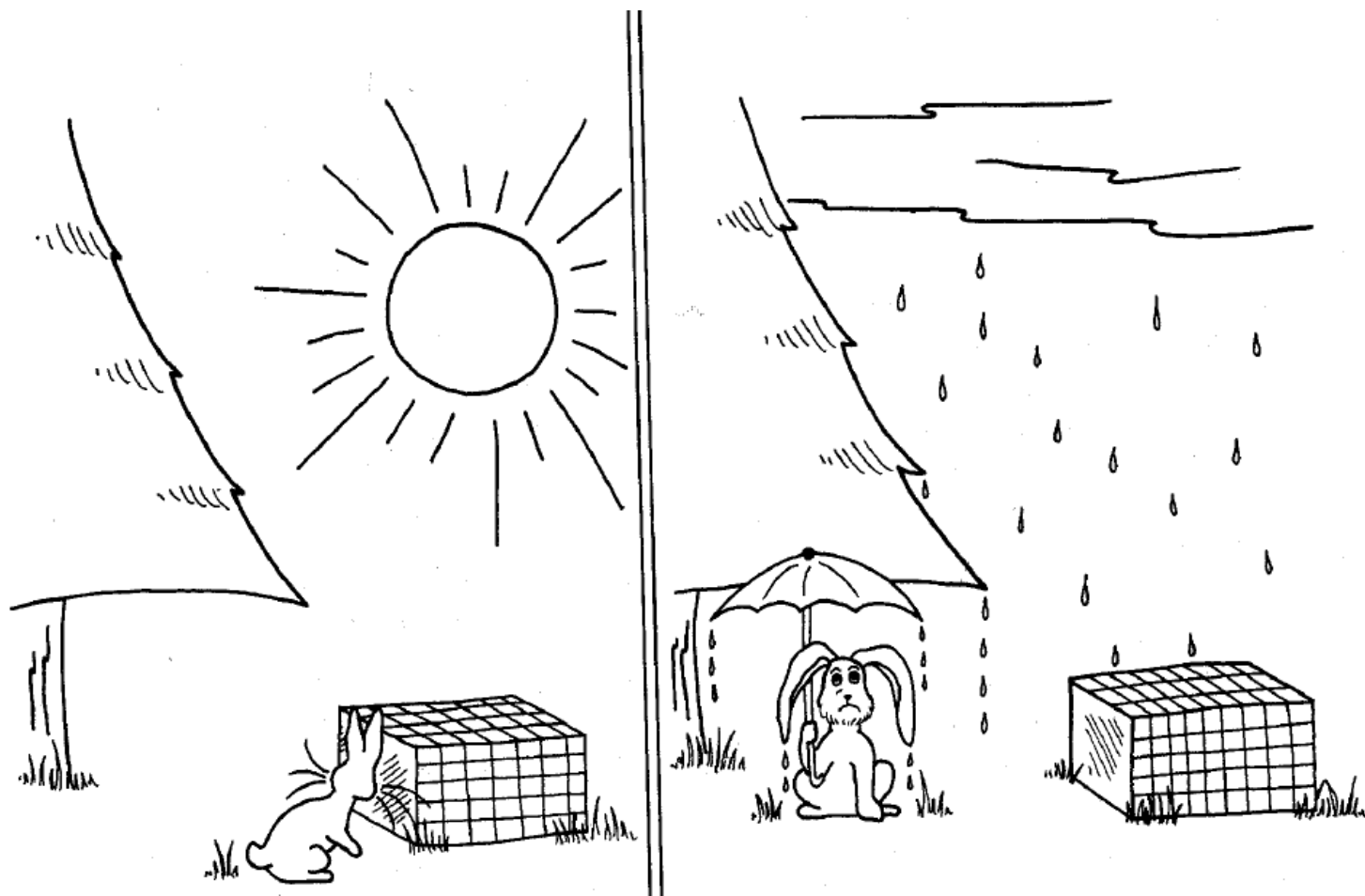


# Três fontes de variação nas probabilidades de captura:

(Otis *et al.*, 1978)

- Tempo
- Comportamento
- Heterogeneidade individual

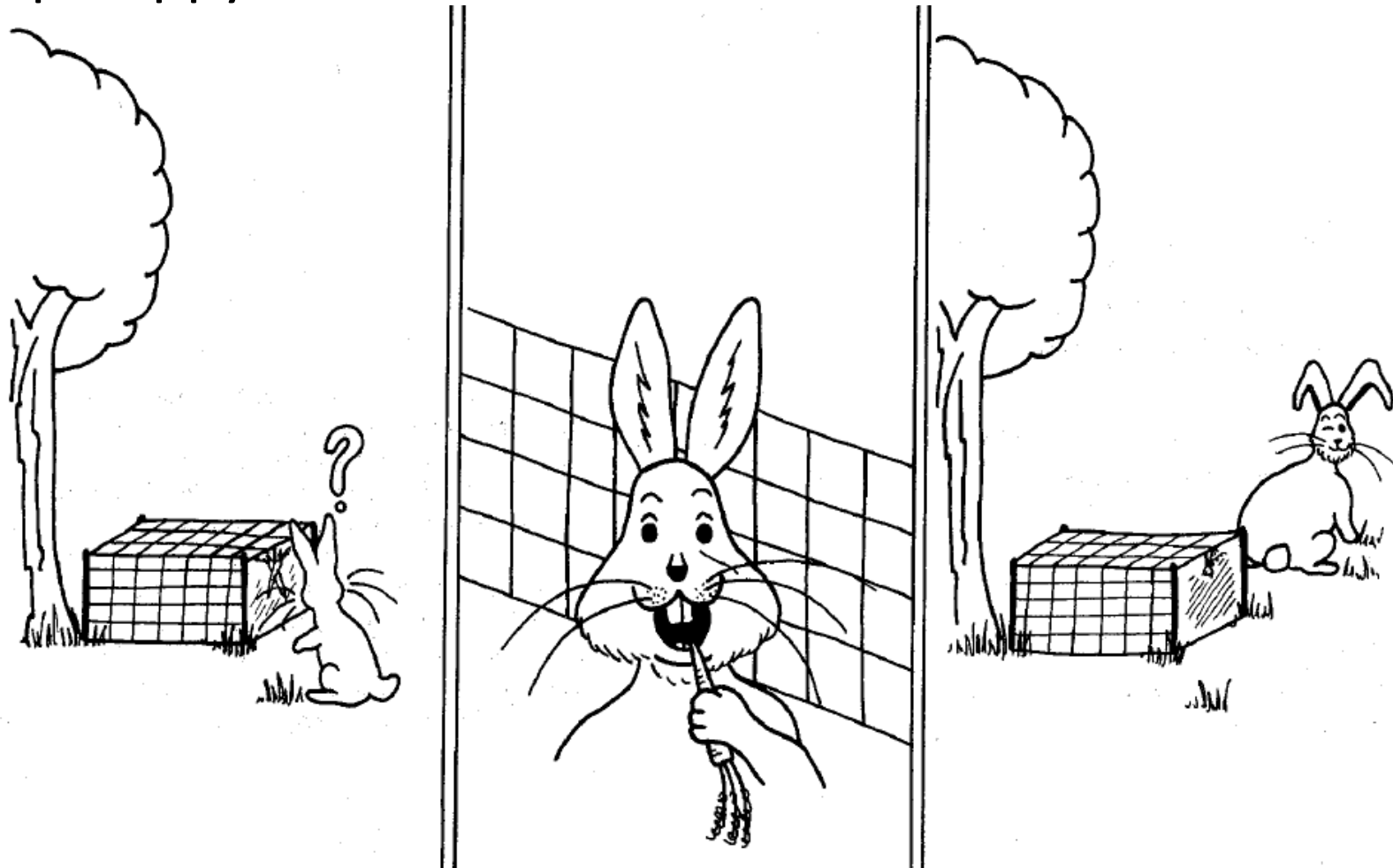
# Tempo



White *et al.* (1982)

# Comportamento

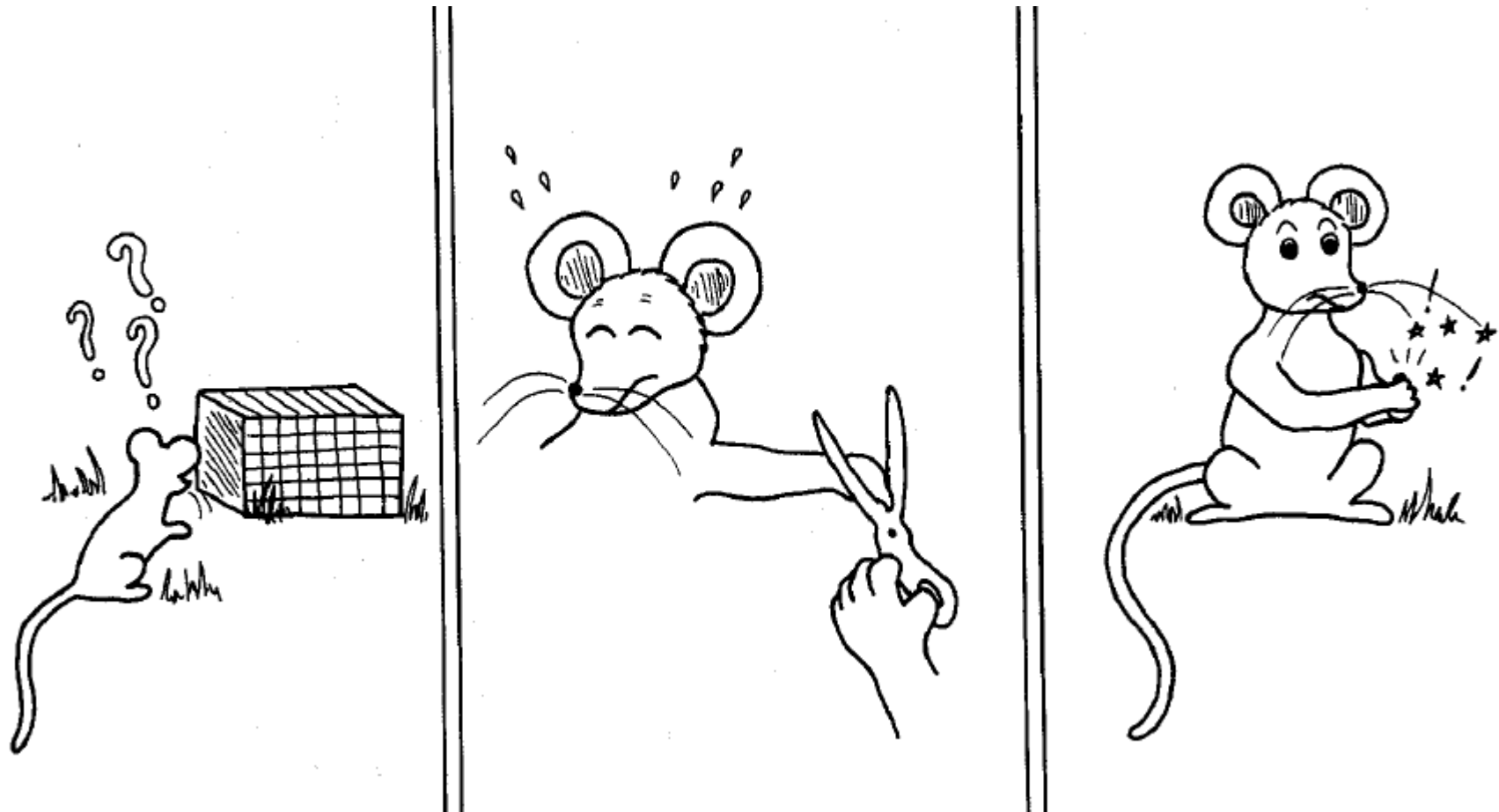
Trap-happy



White *et al.* (1982)

# Comportamento

Trap-shy



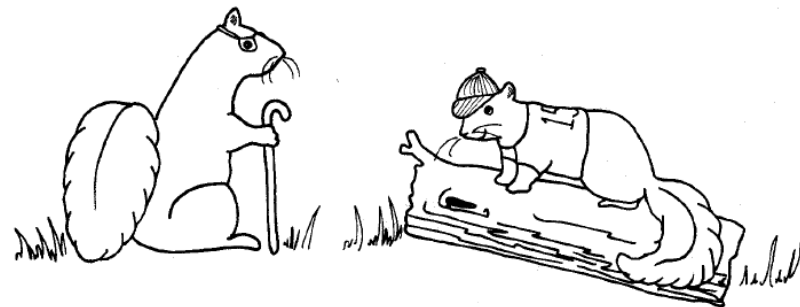
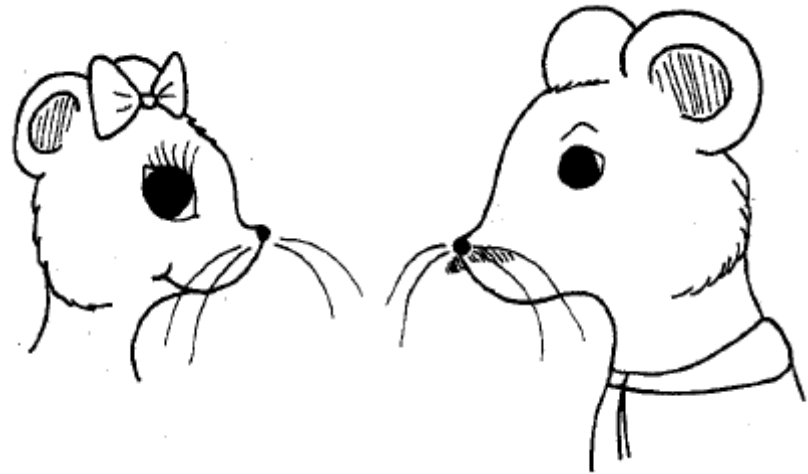
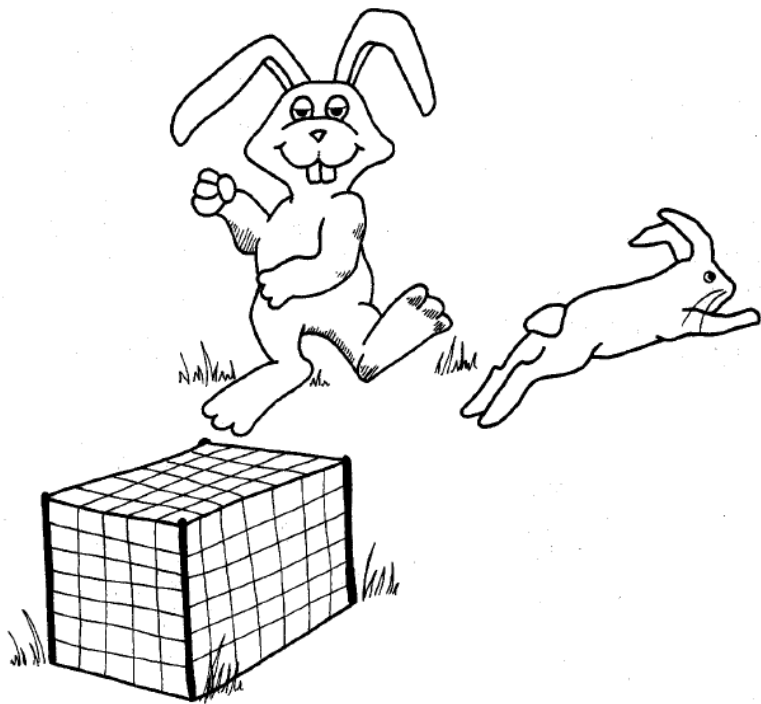
White *et al.* (1982)

# Heterogeneidade

Diferentes probabilidades de capturas entre indivíduos devido à características “intrínsecas” dos animais.

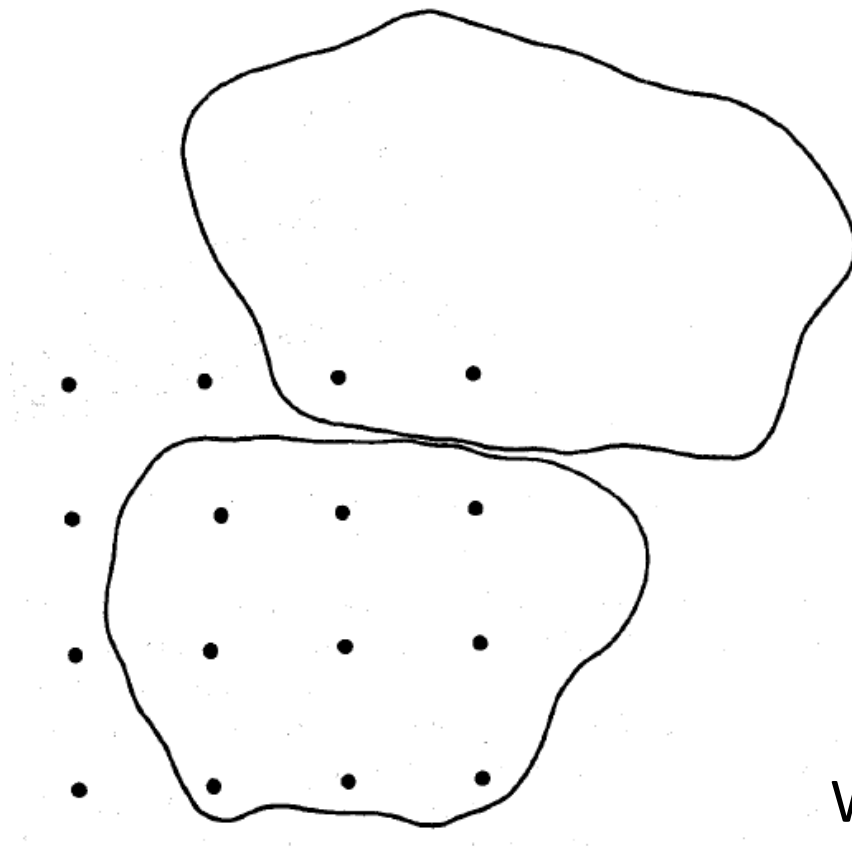
Heterogeneidade leva à subestimativa do tamanho da população.

# Heterogeneidade



White *et al.* (1982)

# Heterogeneidade



White *et al.* (1982)

# Maldição de Link

(Link, 2003)



Mesmo com amostras grandes, o analista não conseguirá distinguir entre diferentes modelos com heterogeneidade, que podem resultar em diferentes inferências sobre o tamanho populacional.

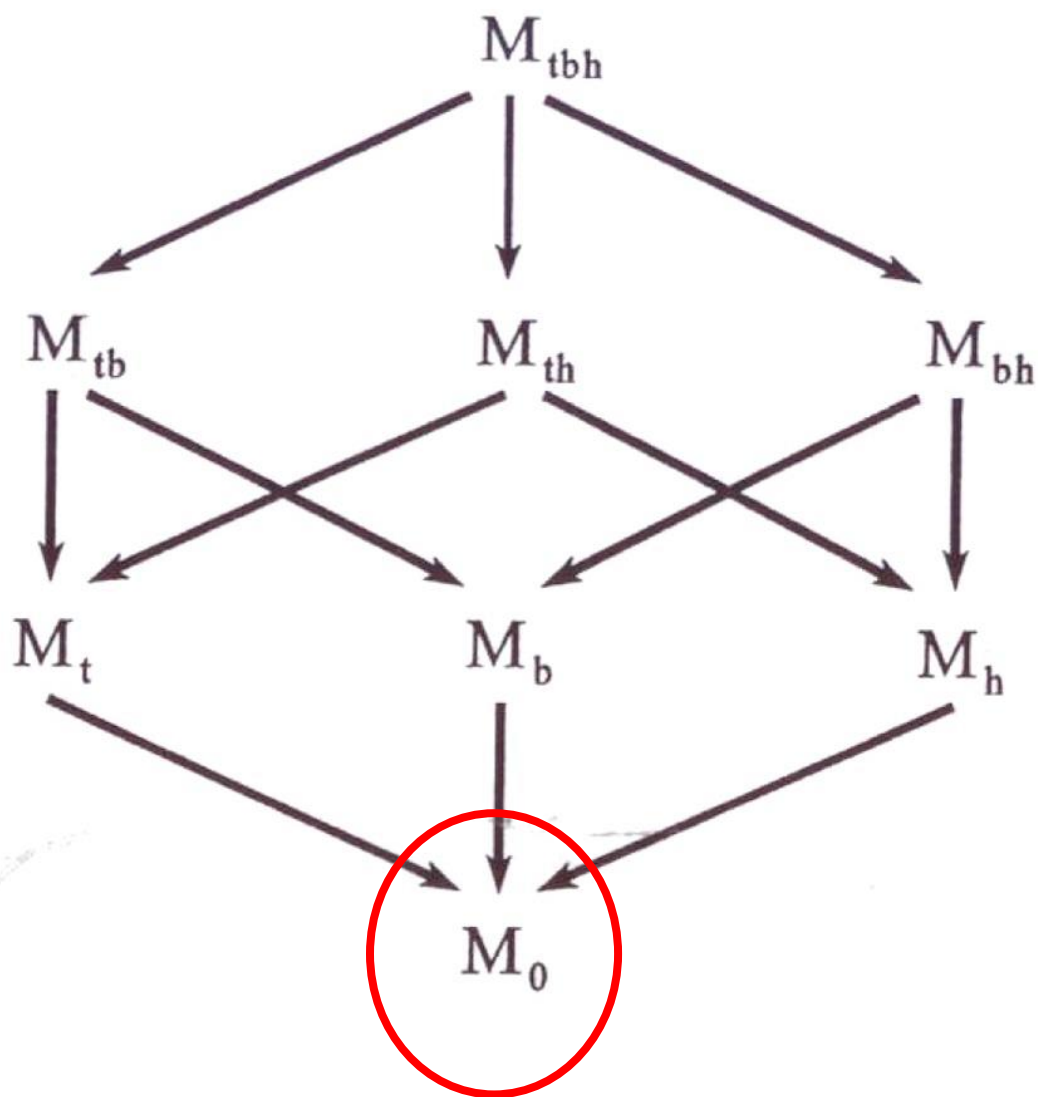


## Modelos relaxando as premissas:

**Mt (time)** = probabilidade de captura varia por ocasião de captura;

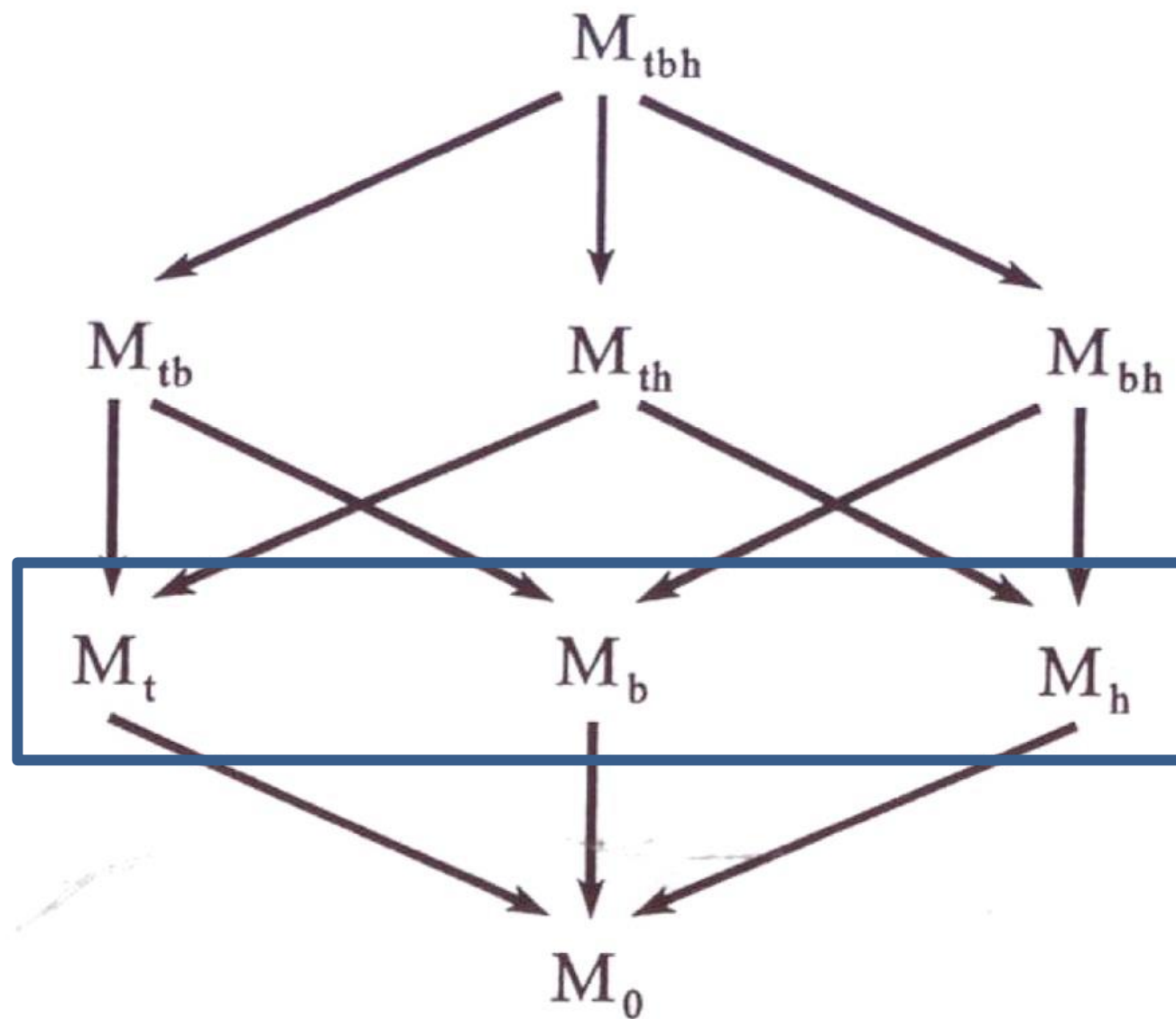
**Mb (behavior)** = probabilidade de captura varia entre a captura e recaptura(s);

**Mh (heterogeneity)** = cada indivíduo tem sua própria probabilidade de captura que é constante nas ocasiões.



**MODELO NULO**

Otis *et al.* (1978)



# Misturas de Pledger

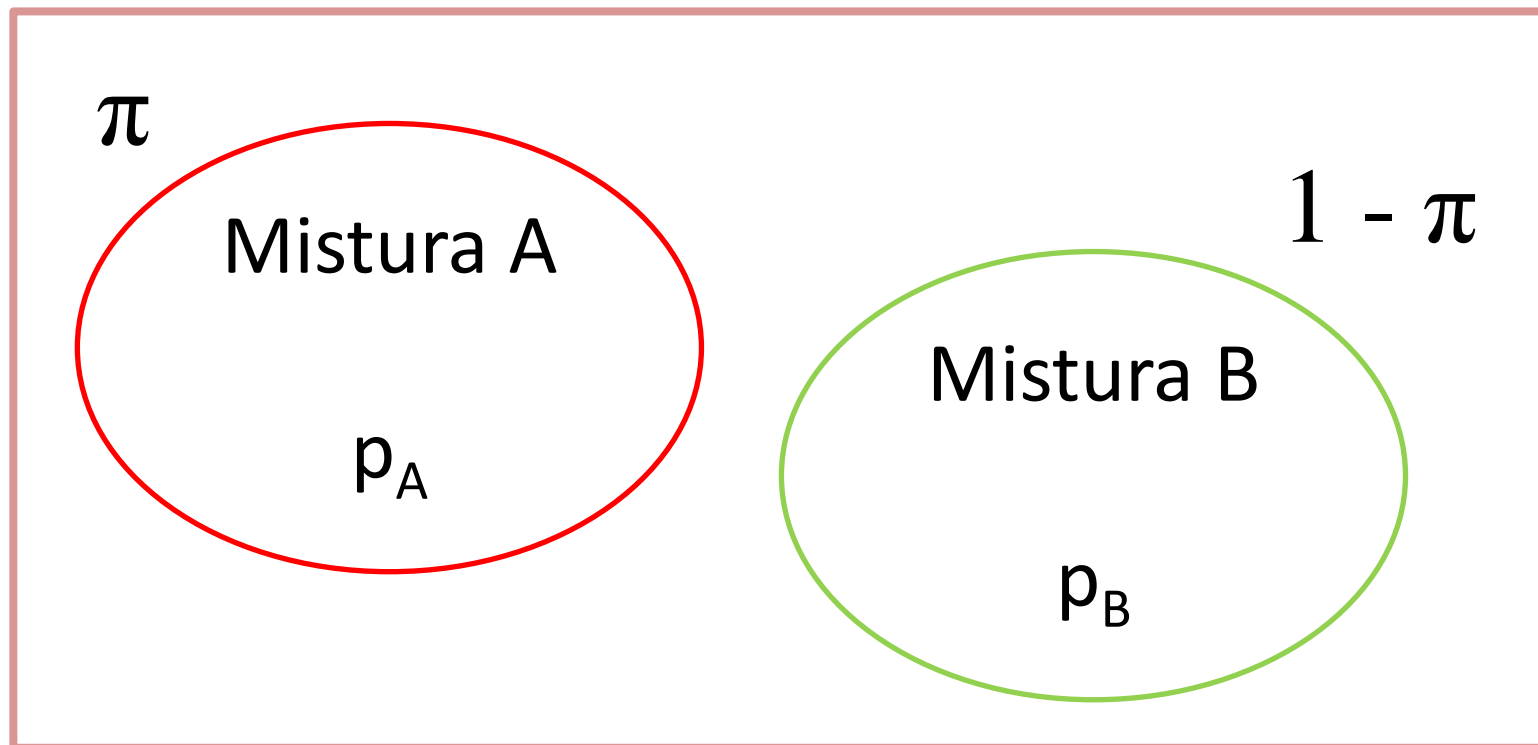
(Pledger, 2000)

Considera-se que uma população de animais é uma combinação de duas “misturas” (A e B), cada uma com uma probabilidade de detecção diferente e desconhecida

Parâmetro  $\pi$  ( $\pi_i$ ) indica a probabilidade de um animal pertencer à mistura A, e  $1 - \pi$  a probabilidade do animal pertencer à mistura B, dado um modelo com duas misturas

**Mh**

**N**



# Mt

Ocasião:

1

2

3

4

5

...

$p_1$

$p_2$

$p_3$

$p_4$

$p_5$

probabilidades de captura

tempo-específicas

# Mtb

Ocasião:

1

2

3

4

5

...

$p_1$

$p_2$

$p_3$

$p_4$

$p_5$

primeiro encontro

$c_2$

$c_3$

$c_4$

$c_5$

encontros subsequentes

# Obtendo as probabilidades

Histórico de capturas (i)	Animais observados ( $X_i$ )	Probabilidade ( $P_i$ )
100	$X_{100}$	$p_1 (1 - c_2)(1 - c_3)$
010	$X_{010}$	$(1 - p_1) p_2 (1 - c_3)$
001	$X_{001}$	$(1 - p_1)(1 - p_2) p_3$
110	$X_{110}$	$p_1 c_2 (1 - c_3)$
101	$X_{101}$	$p_1 (1 - c_2) c_3$
011	$X_{011}$	$(1 - p_1) p_2 c_3$
111	$X_{111}$	$p_1 c_2 c_3$
000	$X_{000}$	$(1 - p_1)(1 - p_2)(1 - p_3)$

$$\log L(p, c, N|X) \propto \left( \frac{N!}{(N - M_{t+1})!} \right) + \sum_i X_i \log(P_i)$$



# Covariáveis individuais

Parametrização de Huggins (1989) permite incluir covariáveis individuais

Abundância (N) não é incluída na função de verossimilhança e é estimada como um parâmetro derivado

$$\hat{N} = \frac{M_{t+1}}{1 - (1 - \hat{p}_1)(1 - \hat{p}_2)(1 - \hat{p}_3)}$$

# Tamanho amostral

(Otis *et al.*, 1978)

**Regra geral:**

5-10 ocasiões amostrais

Probabilidade de captura  $> 0,1$  por ocasião

# Leituras recomendadas:

Amstrup *et al.* (2005) para uma revisão de métodos

Otis *et al.* (1978): texto clássico sobre estimação de populações através de modelos de população fechada

Cooch & White (2009): **capítulo 14** sobre modelos de população fechada