

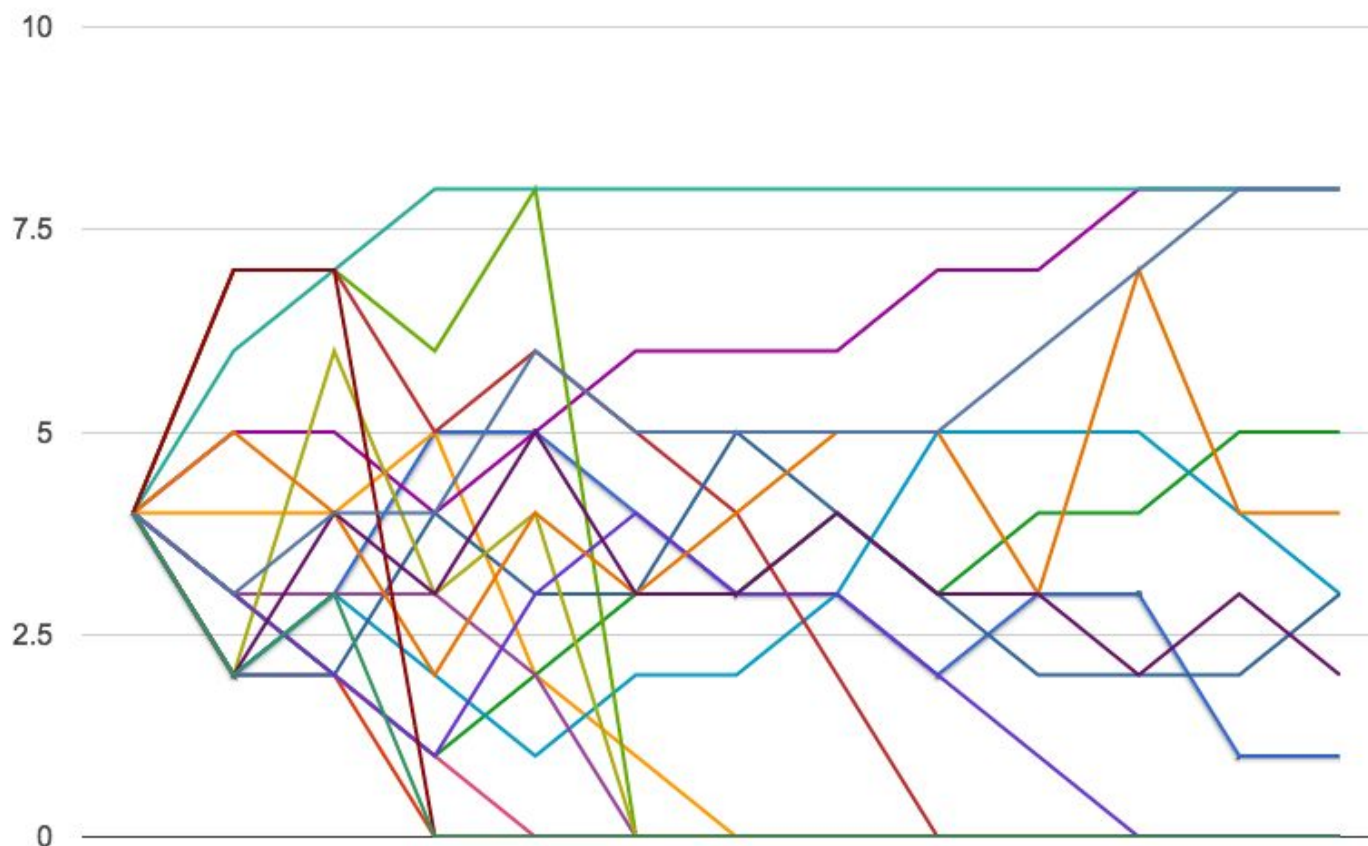
Deriva genética, tamanho efetivo populacional e teoria neutra

Instituto de Biociências
USP

Diogo Meyer

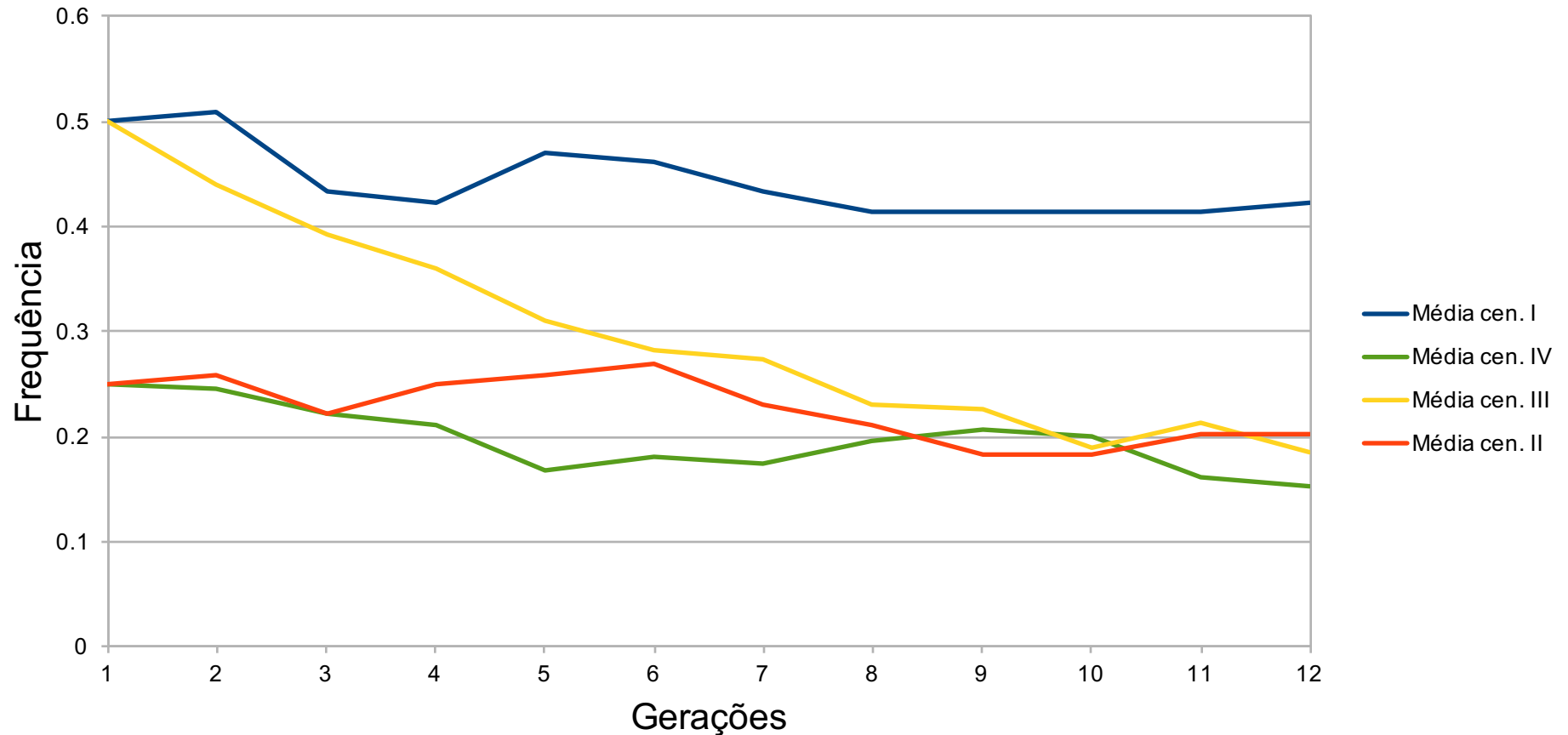
Ridley, 6.5, 6.6, 6.7, 7.1, 7.2 7.3
(não cubro quadro 7.1 e 7.2)

Deriva para o cenário 3



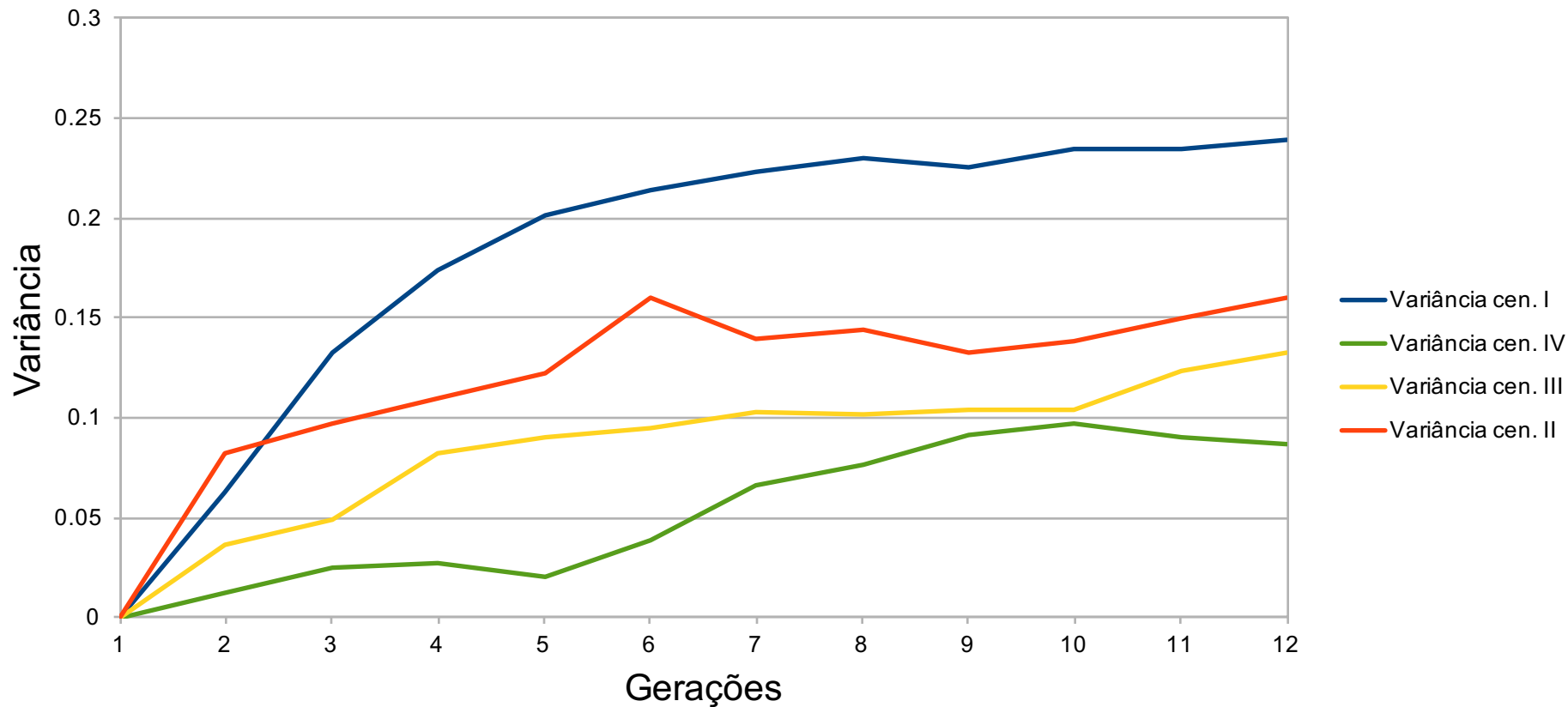
Frequências alélicas (Noturno)

Média freq. alélicas



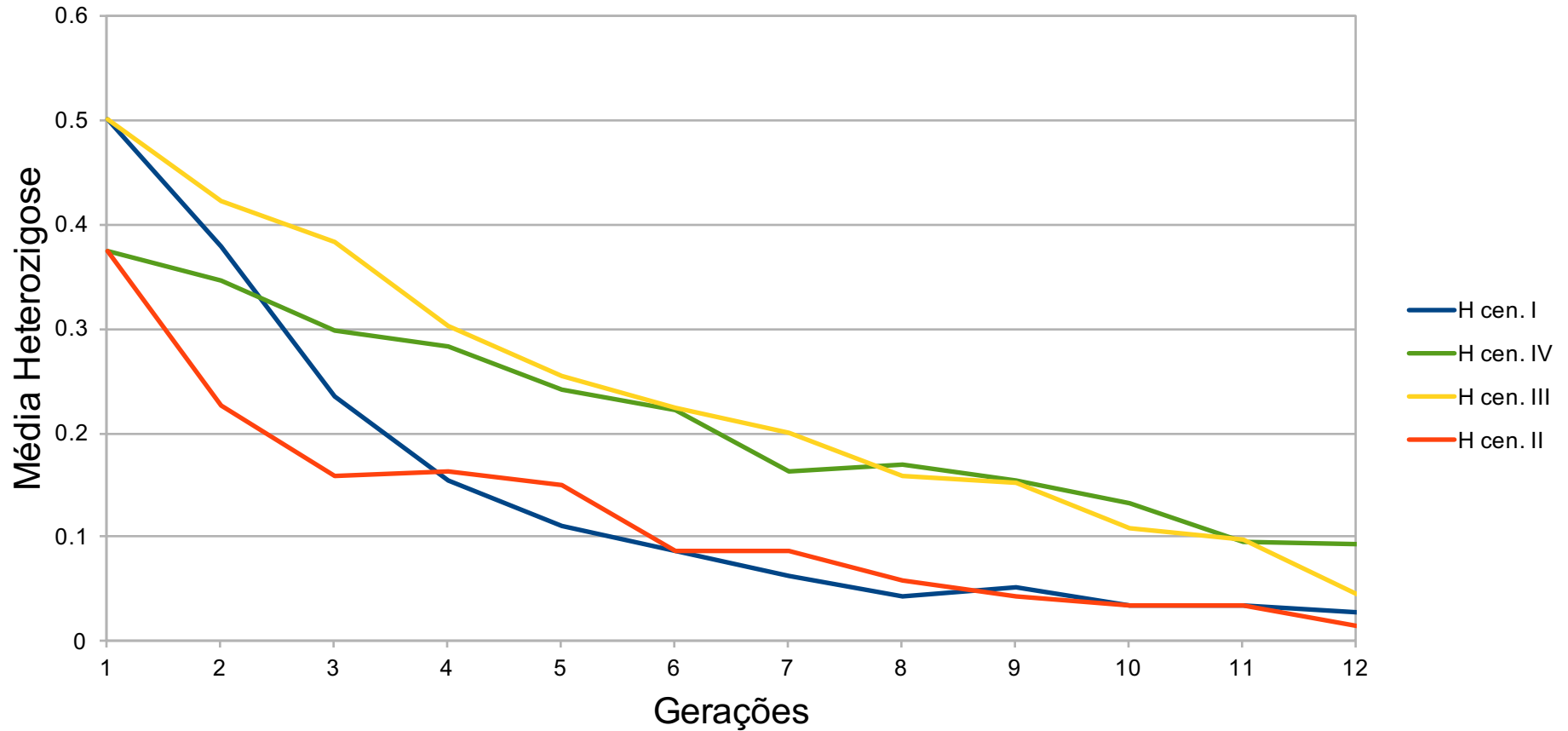
Variância de frequências alélicas (Noturno)

Variância freq. alélicas

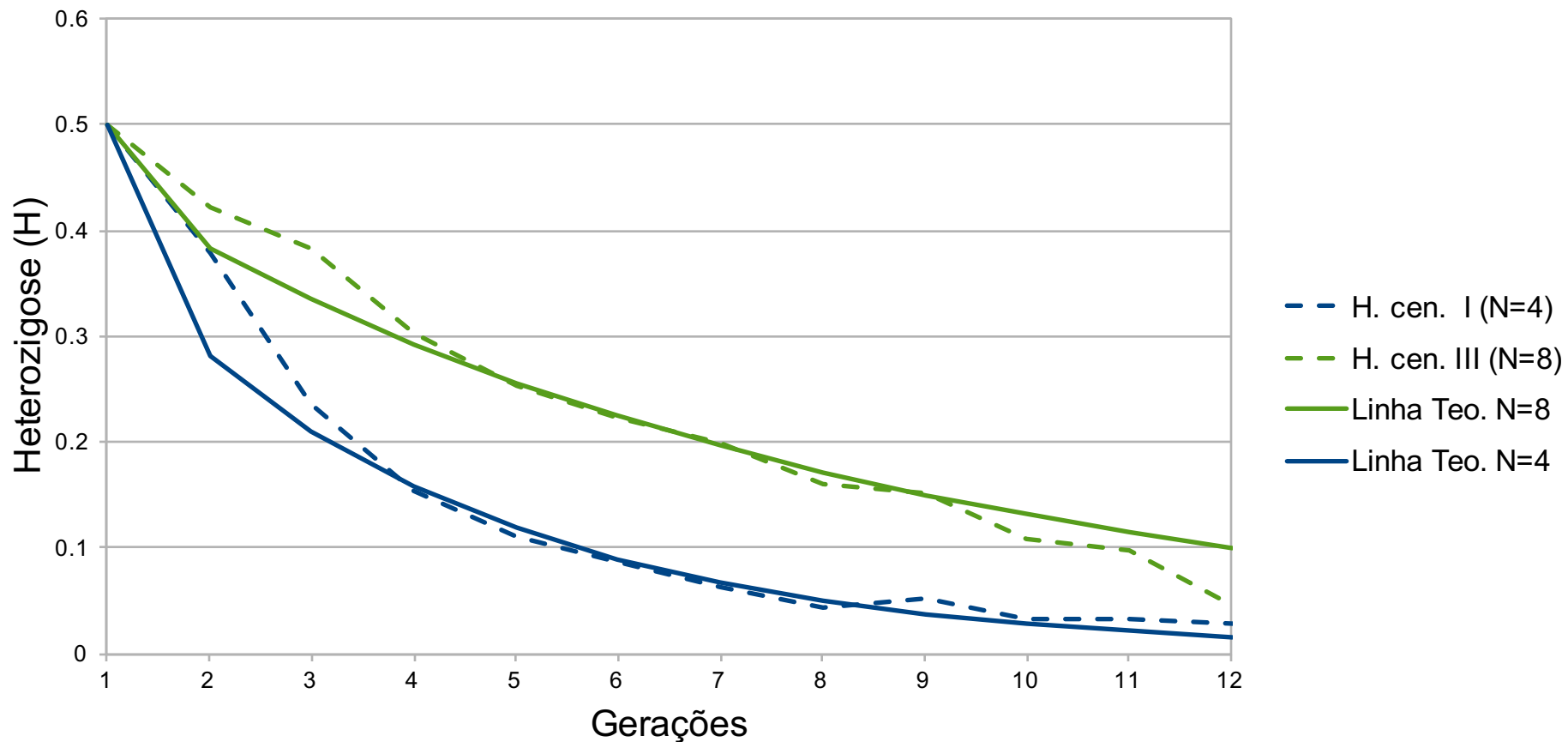


Taxa de heterozigose

Média taxa Heterozigose



Taxa de heterozigose



Conceitos sobre deriva genética

- Aumenta variância entre populações
- Diminui diversidade dentro de populações
- processos são mais rápidos em populações pequenas

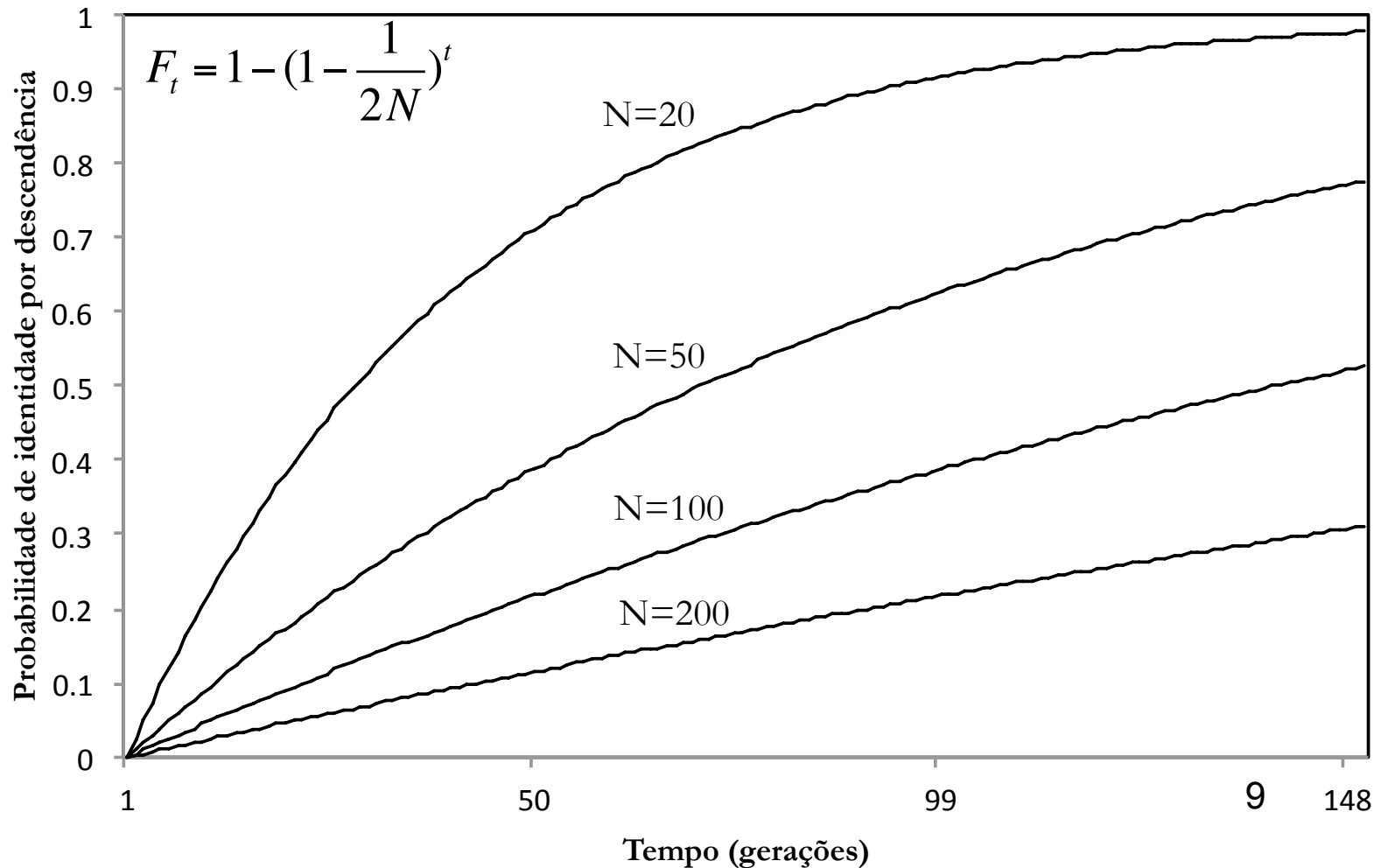
Probabilidade de fixação de um alelo

<http://www.biology.arizona.edu/evolution/act/drift/frame.html>

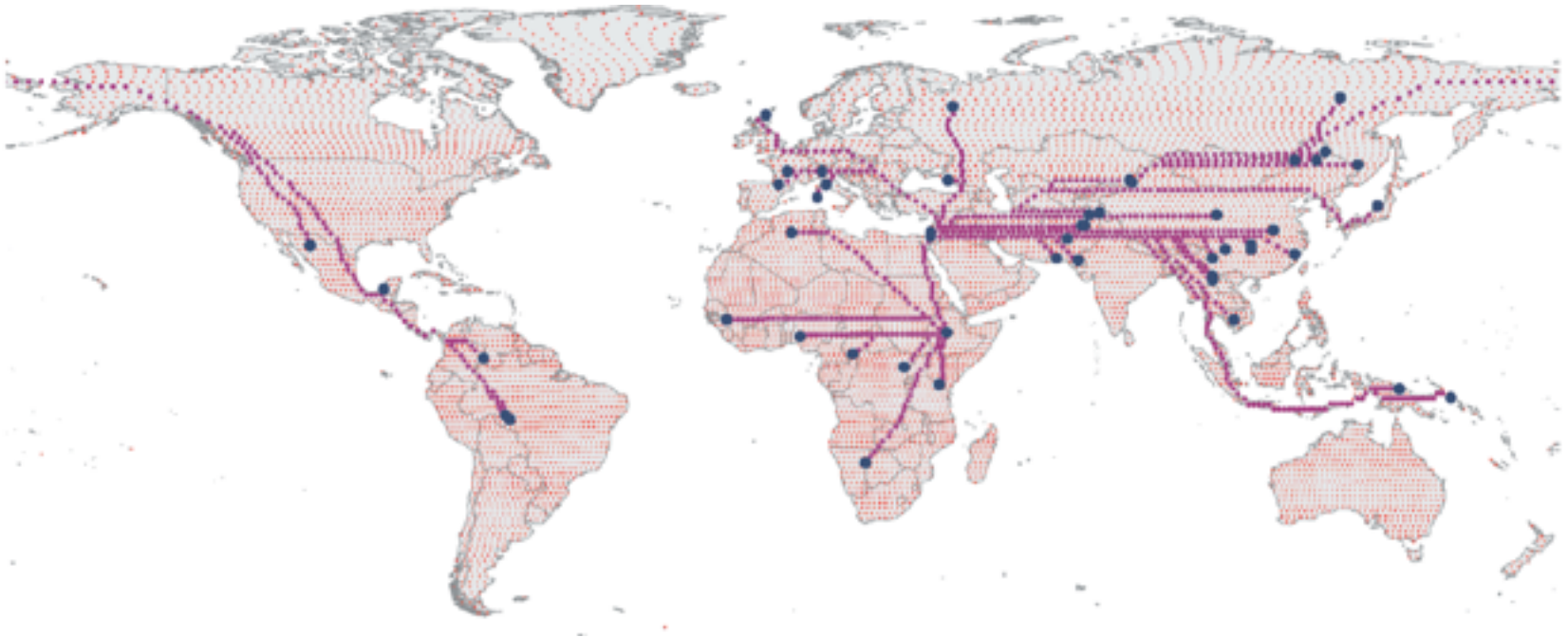
- Probabilidade de fixação de cada alelo: $1/2N$
- Probabilidade de fixação de classe de alelos com i cópias: $i/2N$
- Fórmula geral para aumento de identidade (por descendência):

$$F_t = 1 - \left(1 - \frac{1}{2N}\right)^t$$

Probabilidade de identidade

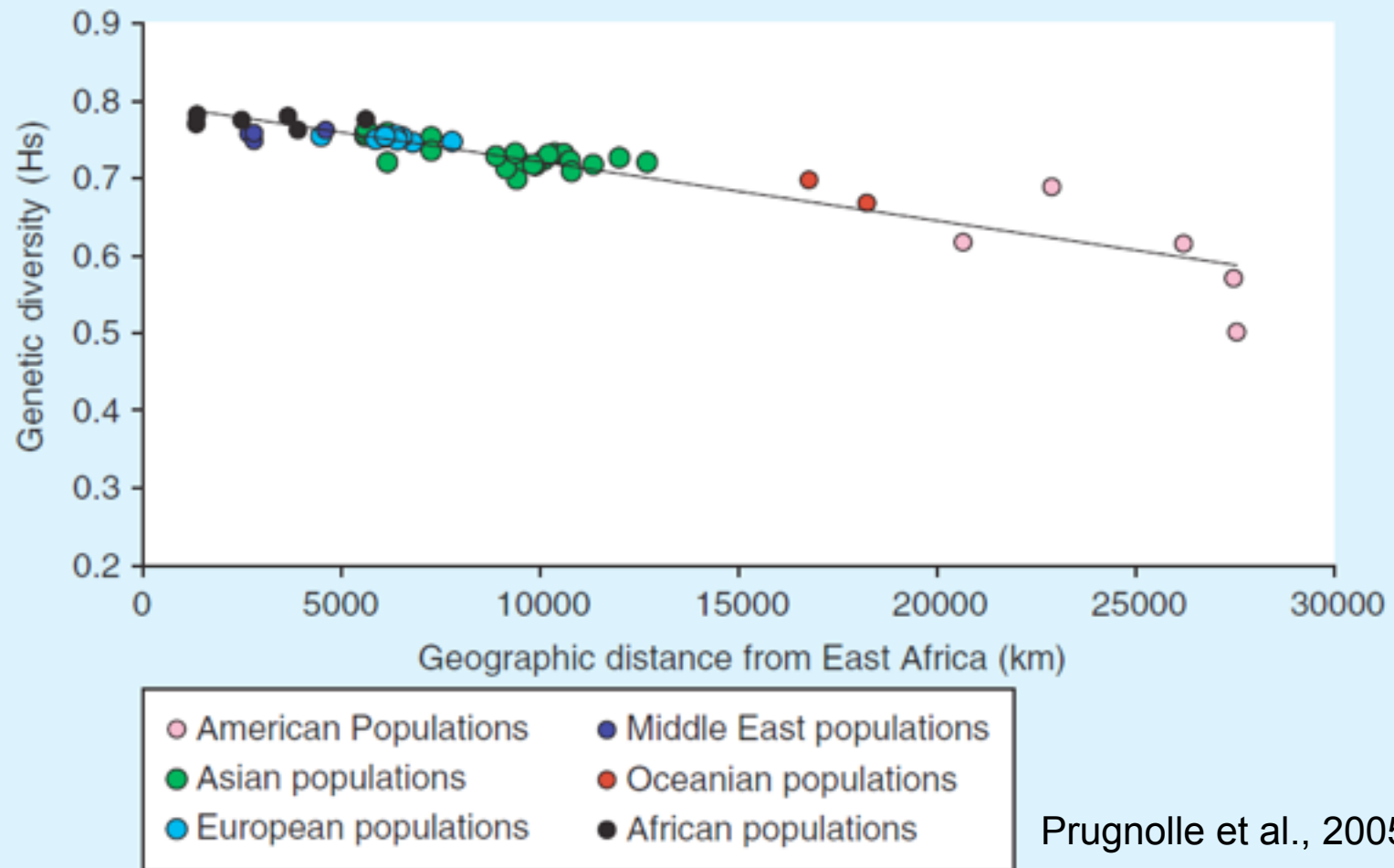


A deriva é um processo bem documentado:
Variação genética em humanos



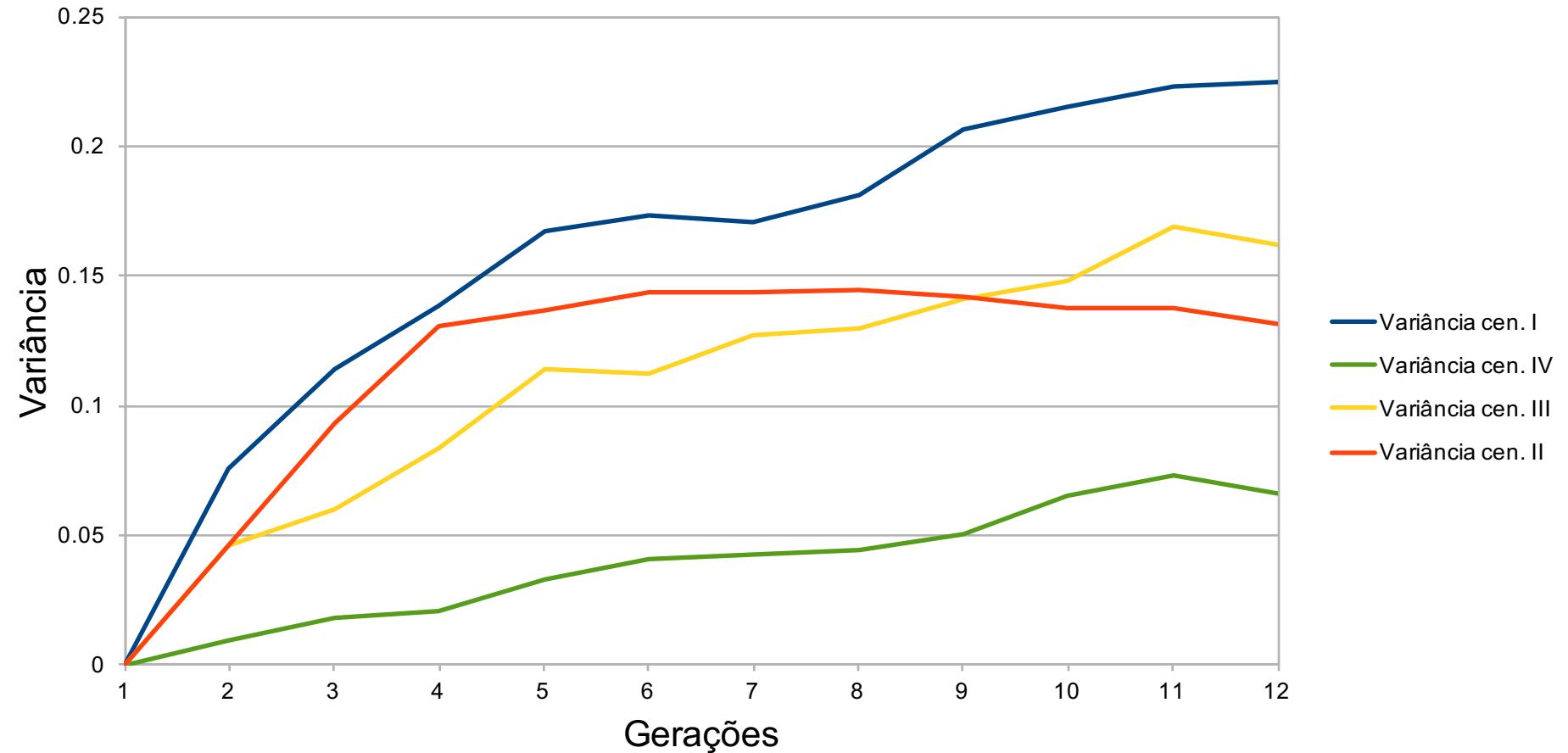
A deriva é um processo bem documentado:

Variação genética em humanos



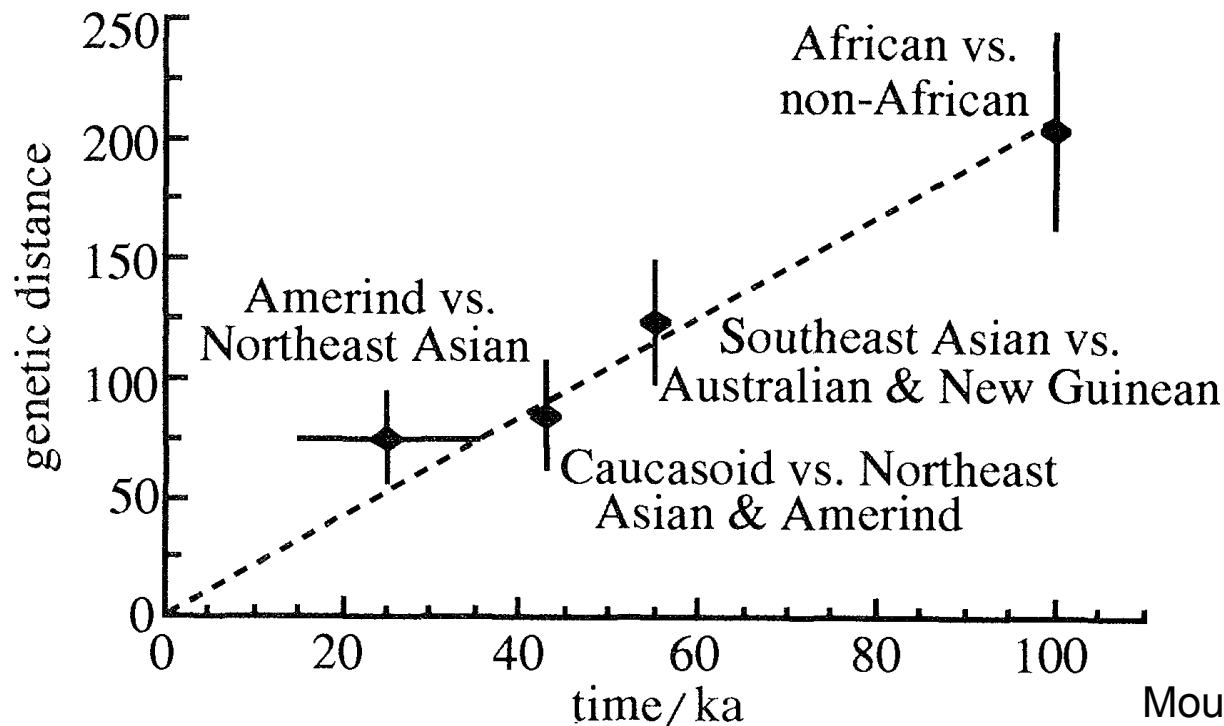
Variância entre frequências alélicas

Variância freq. Alélicas



Deriva aumenta variância entre populações

Aumento da variância
entre populações
humanas

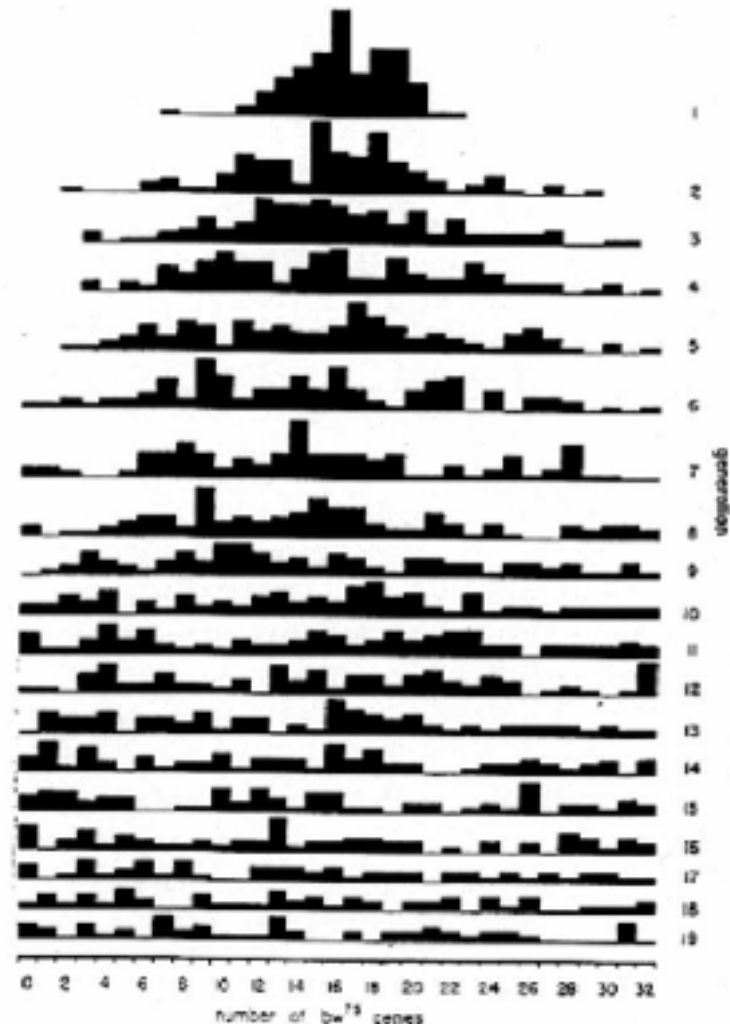


Mountain et al., 1991

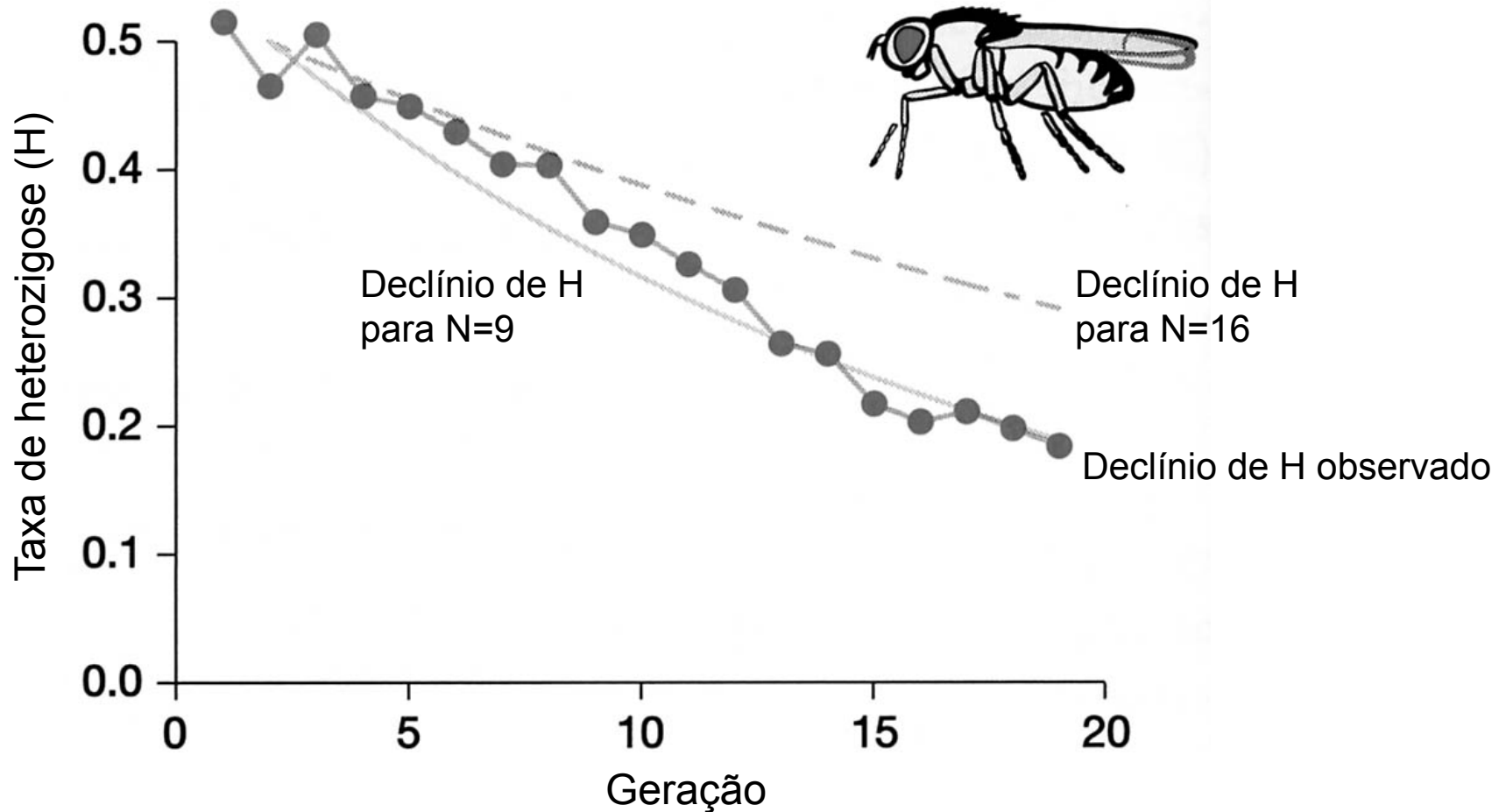
A deriva é um processo bem documentado: Evidências experimentais

Buri, 1956

- 107 populações (garrafas) de *drosophila*
- 16 indivíduos em cada
- Alelo *bw75* visível, início $p = 0.5$



A deriva é um processo bem documentado: Evidências experimentais



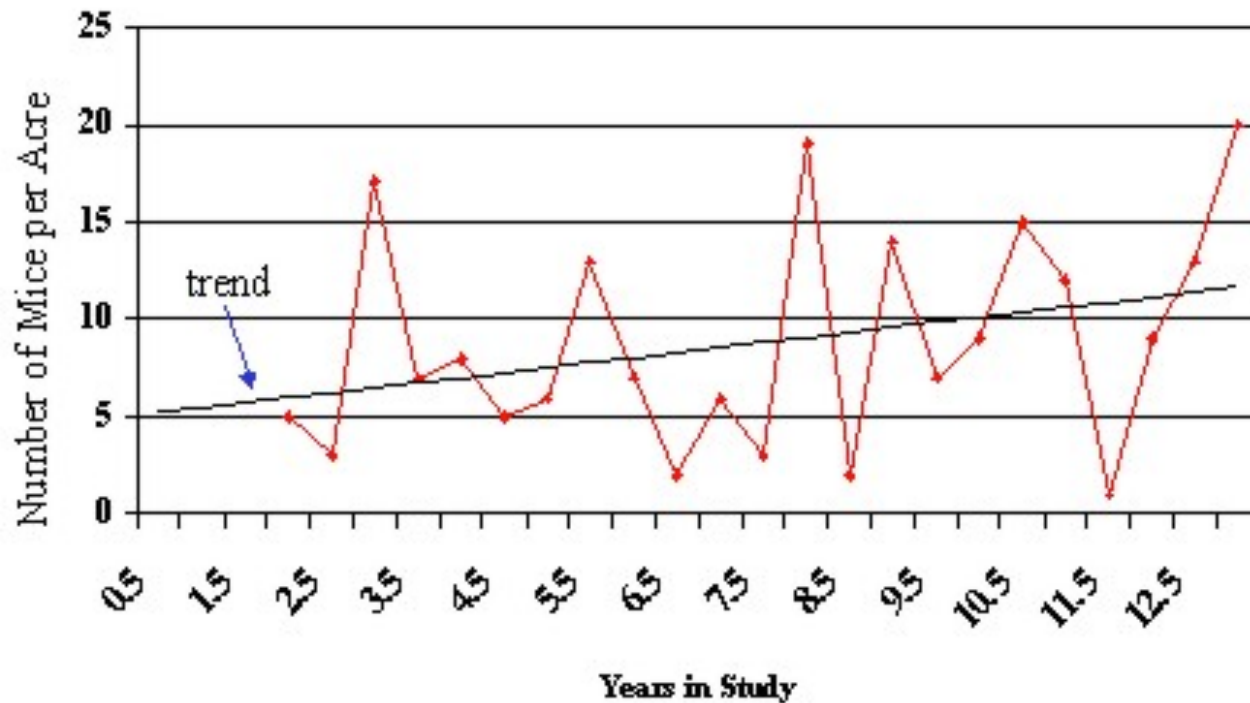
Tamanho Populacional Efetivo (N_e)

Definição: Tamanho de uma população idealizada (Wright-Fisher) que perde variação na mesma taxa que a população sob estudo

Porque N_e pode ser diferente de N ?

- períodos de tamanho pequeno
- variância na reprodução
- assimetria na razão sexual dos sexos

Tamanho de roedores ao longo do tempo (bank voles e)



Myodes



Apodemus

Tamanho Populacional Efetivo (N_e)

**1. Variação em tamanho populacional ao longo do tempo
ex. 5 gerações com tamanho que varia:**

$$\frac{1}{N_e} = \frac{1}{5} \left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} + \frac{1}{N_3} + \frac{1}{N_4} + \frac{1}{N_5} \right)$$

Para uma população que tem

- 9 gerações com tamanho 1000
- 1 geração com tamanho 10

Tamanho Populacional Efetivo (N_e)

2. Variação na razão sexual

$$N_e = \frac{4N_m N_f}{N_f + N_m}$$

Tamanho Populacional Efetivo (N_e)

2. Variação na razão sexual

$$N_e = \frac{4N_m N_f}{N_f + N_m}$$

- Em elefantes marinhos, nas Ilhas Falkland, encontrou-se: 550 fêmeas e 75 machos. O tamanho da população é de 625 indivíduos.
- Usando marcadores genéticos Fabiani et al. (2004) viram que só 28% dos machos reproduziram ao longo de duas estações reprodutivas (21 machos reproduzem)

$$N_m = 21, N_f = 550$$

A taxa de perda de diversidade genética depende do tamanho efetivo populacional

$$N_M = 21, \quad N_F = 550$$

$$N_e = 4N_M N_F / (N_M + N_F)$$

$$N_e = 4N_M N_F / (N_M + N_F) \sim \mathbf{81}$$

HORA DO LANCHE



O modelo Wright-Fisher com mutação

| Parâmetro do modelo evolutivo | Pressuposto |
|---|---|
| Tamanho da população | Finito |
| Forma de cruzamento | Aleatório |
| Sobrevivência dos genótipos | Igual para todos (i.e., sem seleção) |
| Introdução de novos alelos (mutação e migração) | Mutação ocorre com taxa μ por geração |

Tipos de mutações

- **vantajosa:** aumenta chances de reprodução e sobrevivência
- **deletéria:** reduz chances de reprodução e sobrevivência
- **neutra:** não altera chances de reprodução e sobrevivência

Teoria neutra e de seleção

Teoria de seleção



Teoria neutra



Removidas

Sofrem deriva

Se fixam



Deletérias



Neutras



Vantajosas

Teoria Neutra

- Deriva pode explicar evolução?
 - Teoria neutra propõe que **sim**:
 - a grande maioria da variação dentro de espécies e
 - a grande maioria das diferenças entre espécies
- resultam de deriva genética



Motoo Kimiura
1924-1994

“Precisamos reconhecer a grande importância da deriva genética aleatória, resultante do tamanho finito de populações, na formação da estrutura biológica de populações. A importância da deriva tem sido desvalorizada na última década. Essa atitude tem sido influenciada pela opinião de que quase nenhuma mutação é neutra, e também que o número de indivíduos que formam uma espécie é geralmente tão grande que a amostragem aleatória de gametas teria efeito ínfimo no curso da evolução”.

(Kimura, 1968, *Nature*).



Motoo Kimiura
1924-1994

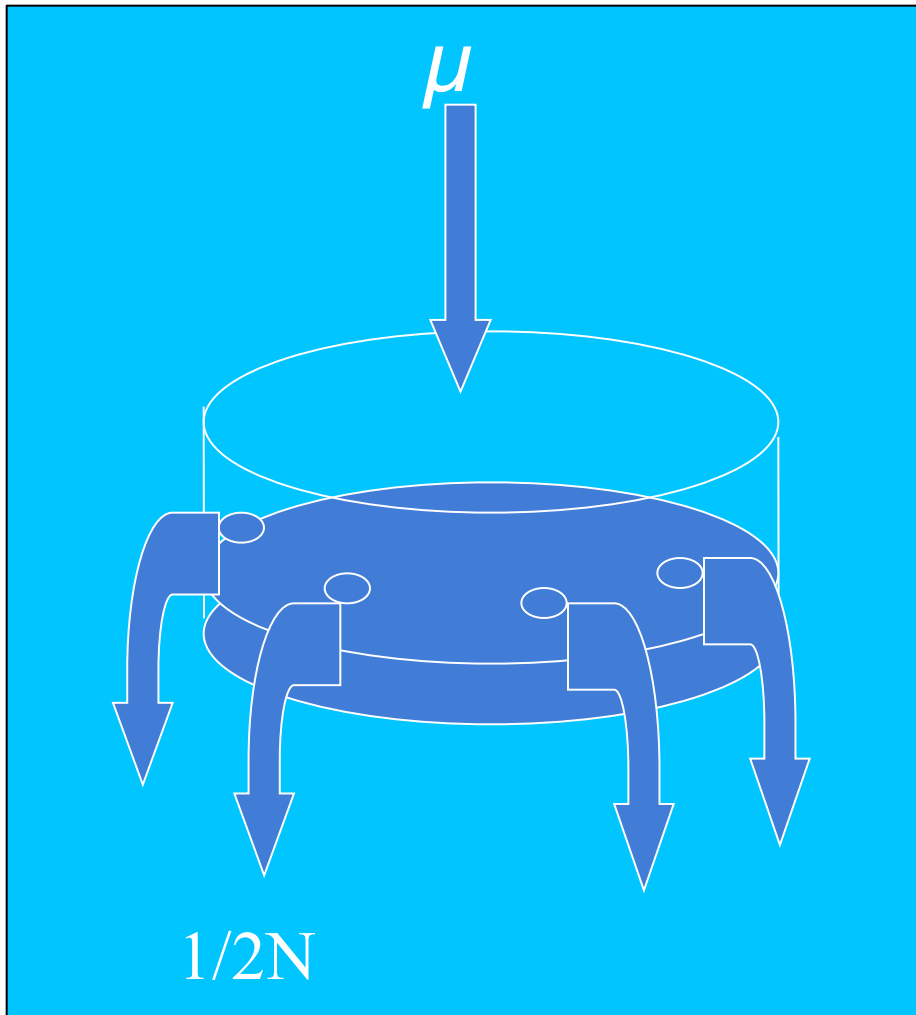


Teoria neutra

Se evolução resulta só de mutação e de deriva perguntamos:

- Quanta variação haverá numa população?
- Quantas diferenças haverá entre espécies?

Variação intrapopulacional sob neutralidade

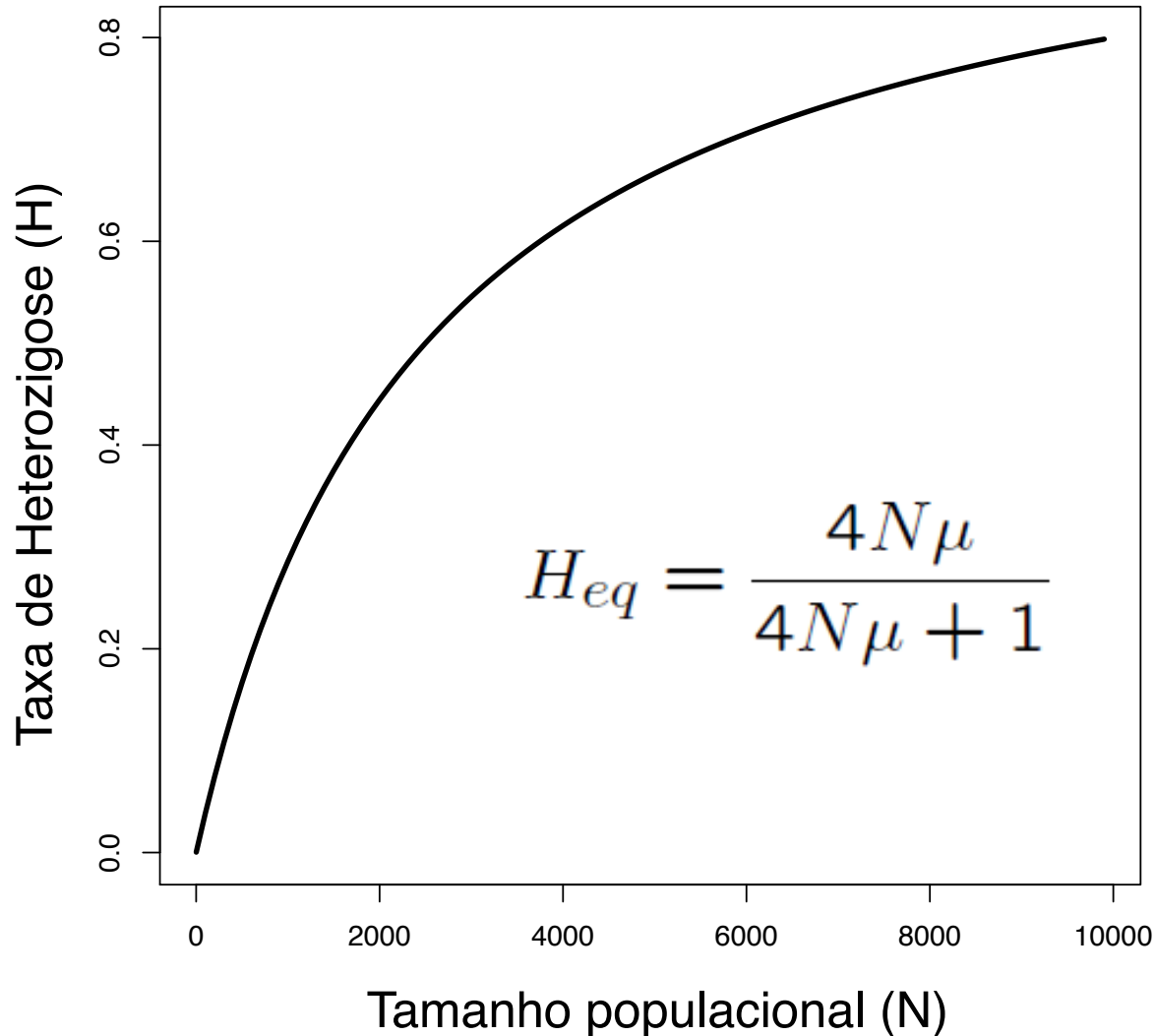


$$H_{eq} = \frac{4N\mu}{4N\mu + 1}$$

H pode ser estimado a partir de dados

Podemos testar a hipótese neutra:
- N previsto faz sentido?

Equilíbrio entre mutação e deriva.



Taxa de evolução molecular

Humano vs Camundongo

- Ancestral comum: 80 milhões de anos atrás
- Proteína com 100 amino-ácidos e 16 diferenças

0,1 mudanças por proteína milhão de anos

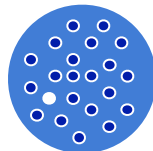
1 mudança por amino-ácido por milhão de anos

$(16/100)/160 \text{ milhões} = 1 \times 10^{-6} \text{ mudança/aminoácido/ano}$

As diferenças entre espécies surgem da variação populacional

○ alelo A

● alelo a

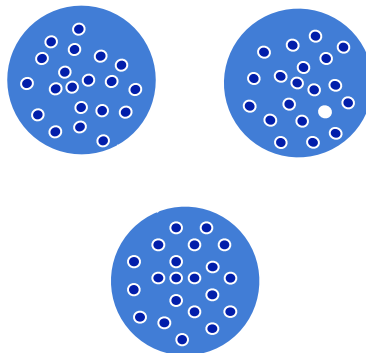


Tempo

As diferenças entre espécies surgem da variação populacional

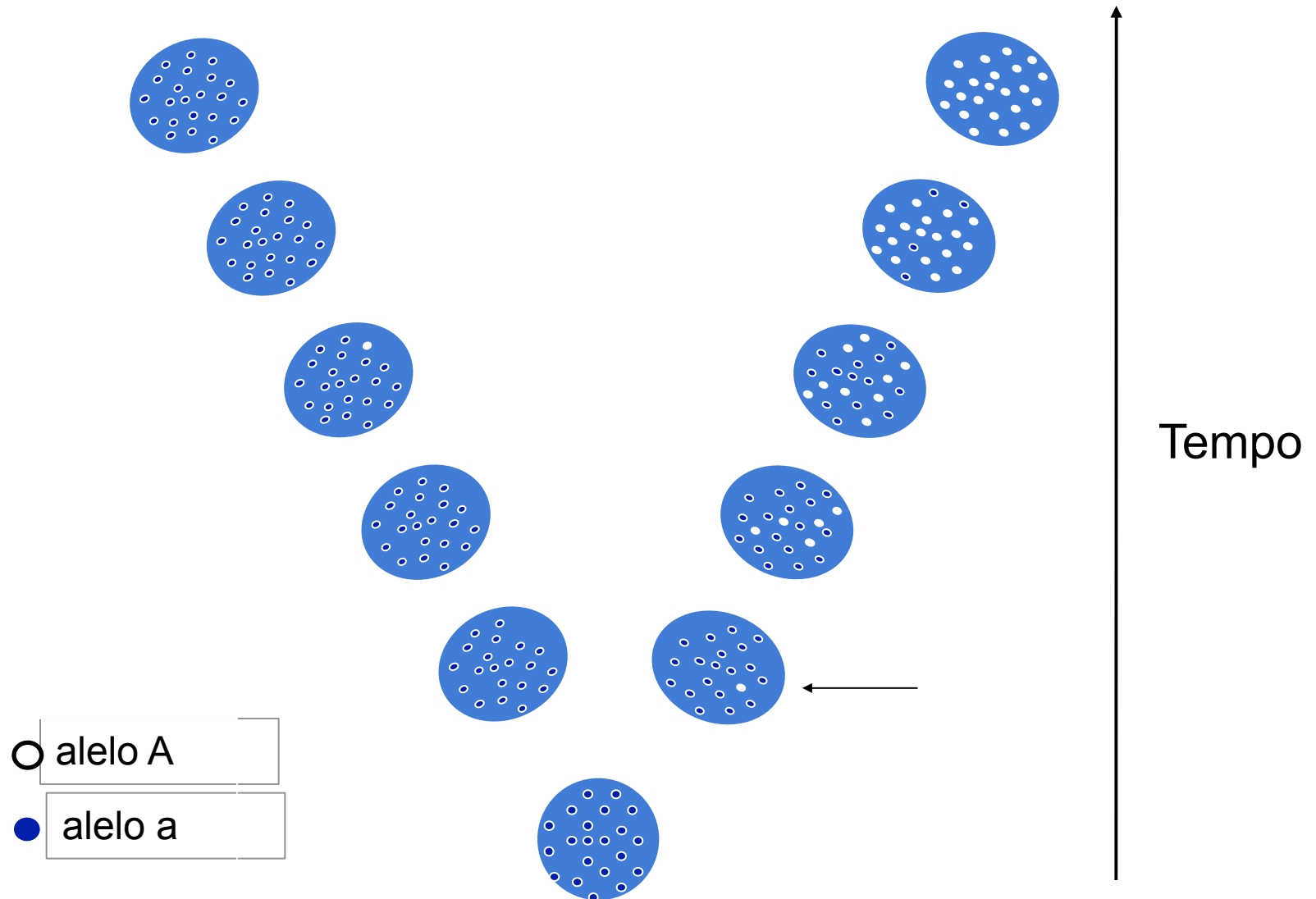
○ alelo A

● alelo a



Tempo

As diferenças entre espécies surgem da variação populacional

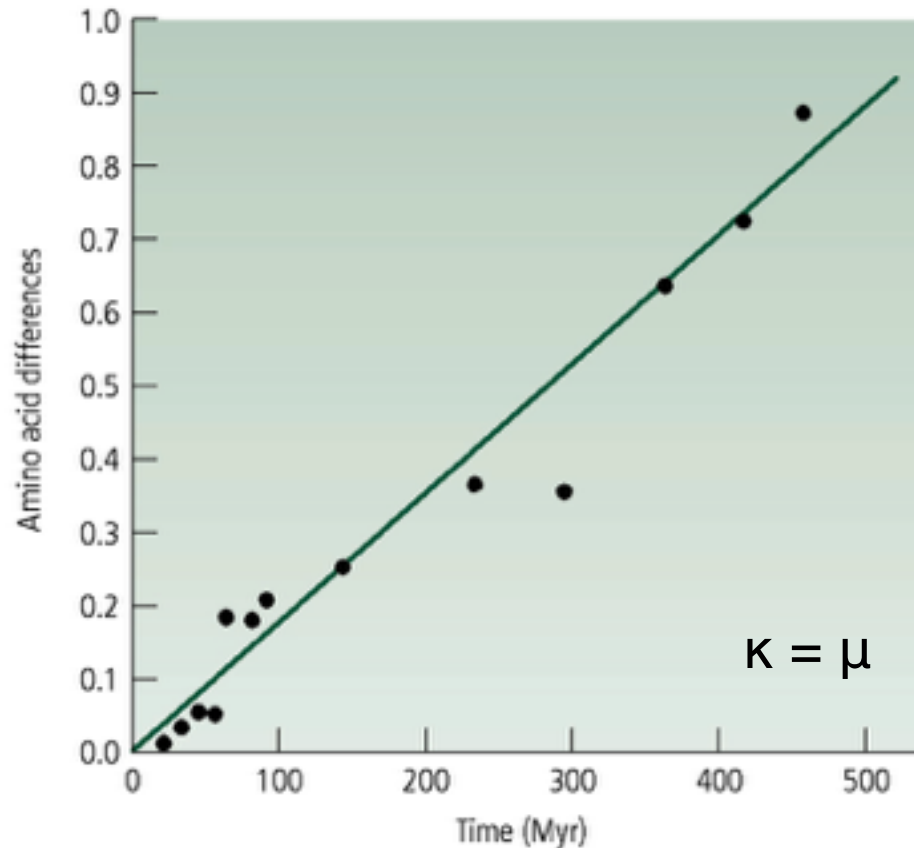


Teste da teoria neutra

- $\mu = 10^{-6}$ mutações por ano (1 a cada 10^6 anos)
- logo $k = 10^{-6}$ substituições por ano (1 a cada 10^6 anos)
- Separação há 20 milhões de anos: 40 substituições
- Separação há 40 milhões de anos: 80 substituições

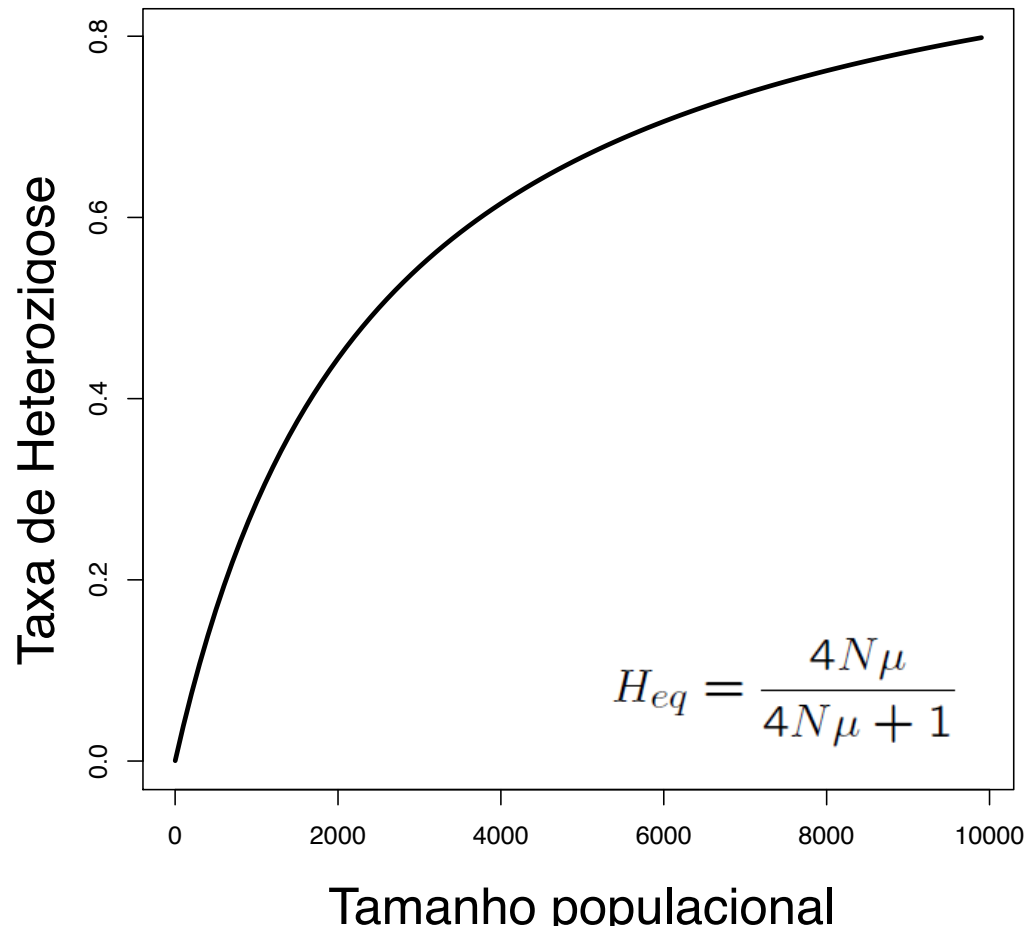
Teste da teoria neutra 1: taxa de evolução

Previsão da teoria neutra:



Teste da teoria neutra 2: variabilidade populacional

Previsão da teoria neutra:



Conceitos chave sobre teoria neutra

- **Teoria neutra:** evolução por deriva genética
- Teoria neutra requer **seleção negativa (ou purificadora)**
- Previsões da teoria neutra:
 - Diversidade (H) proporcional ao tamanho populacional
 - divergência entre espécies proporcional ao tempo de separação

ATIVIDADES PEDAGÓGICAS

