



# Aplicações evolutivas (2021/2022)

## 4. Conservação e funcionamento de ecossistemas

### 4.1. Conservação e persistência de populações.

### 4.2. Robustez evolutiva em conservação.

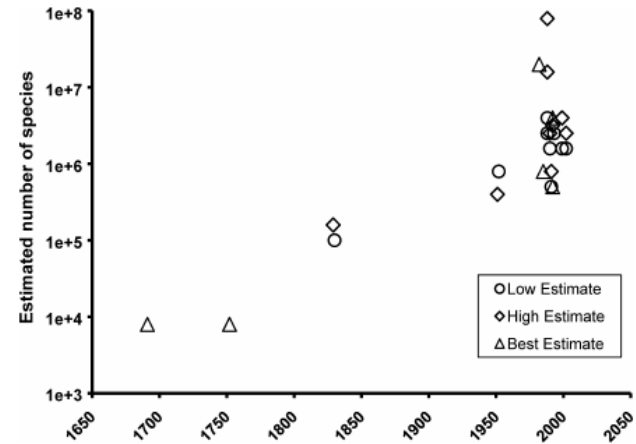
#### Conceitos

Extinção; depressão endogâmica e exogâmica, adaptação local, adaptação em ambientes instáveis, fitness absoluto e fitness relativo, plasticidade fenotípica, evolvabilidade.

## 4. Conservação e funcionamento de ecossistemas



**Aplicações/implicações do conhecimento das dinâmicas de biodiversidade, dos seus padrões espaciais e das dinâmicas evolutivas**



Hendry et al (2010). *Evolutionary Biology in biodiversity science, conservation, and policy: a call to action*. *Evolution*.



## 4. Conservação e funcionamento de ecossistemas

### O valor da biodiversidade

Comunidades locais

Empresa de construção civil

Companhia petrolífera

Agência governamental



Fonte: Sterling/Frey © AMNH-CBC

Indústria de aquacultura

Grupo ambientalista

## 4. Conservação e funcionamento de ecossistemas



### Serviços de ecossistemas

- **Produção** – bens materiais produzidos pelos ecossistemas  
Alimentação, H<sub>2</sub>O, lenha, fibra, produtos farmacêuticos
- **Regulação** – processos dos ecossistemas  
Regulação do clima, de doenças, fluxos hídricos, eliminação de produtos tóxicos
- **Cultural** – bens não materiais  
Espirituais, recreativos, estéticos, educacionais
- **Suporte** – permite os restantes serviços (produção, regulação e cultural)  
Formação do solo, ciclos dos nutrientes, produtividade primária



Fonte: © AMNH-CBC



Fonte: Bain © AMNH-CBC



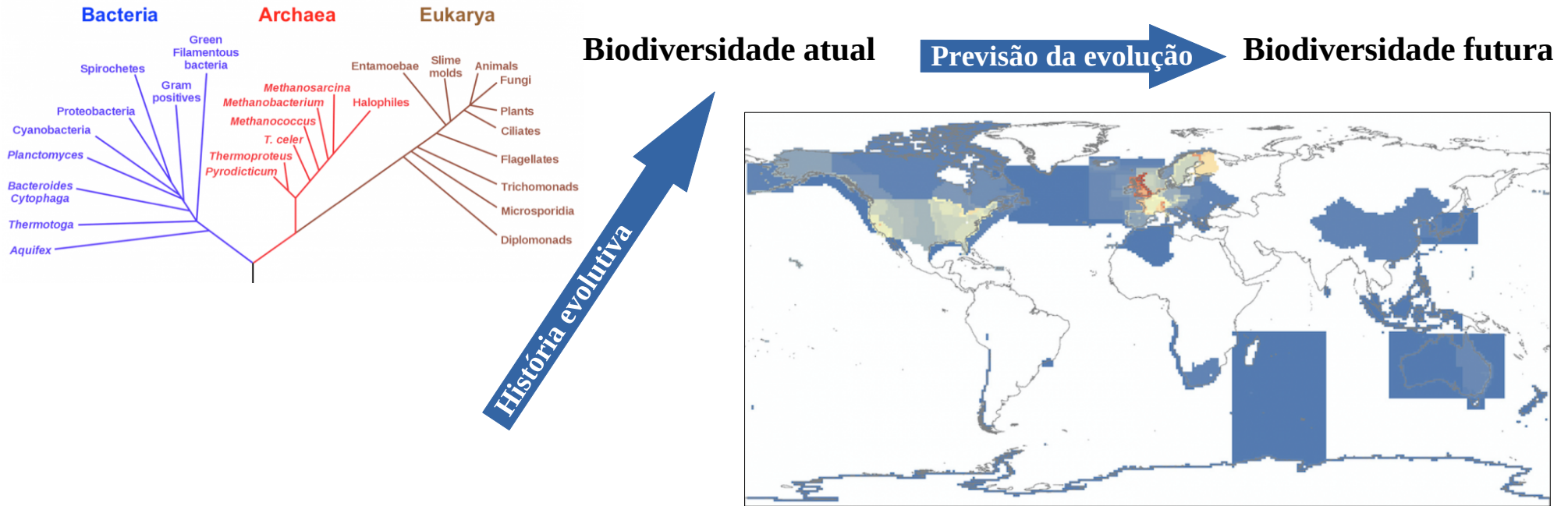
Fonte: Snyder © AMNH-CBC



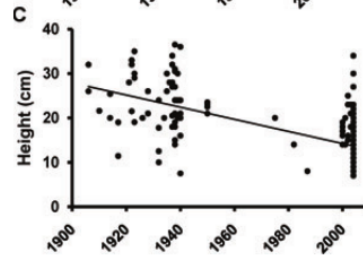
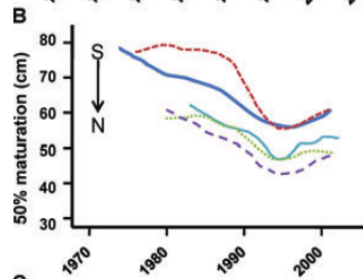
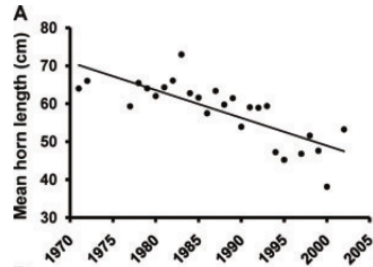




## 4. Conservação e funcionamento de ecossistemas



## 4. Conservação e funcionamento de ecossistemas



**Evolução induzida pela ação humana**



## 4. Conservação e funcionamento de ecossistemas

### **O que leva à extinção de populações?**

→ Na natureza

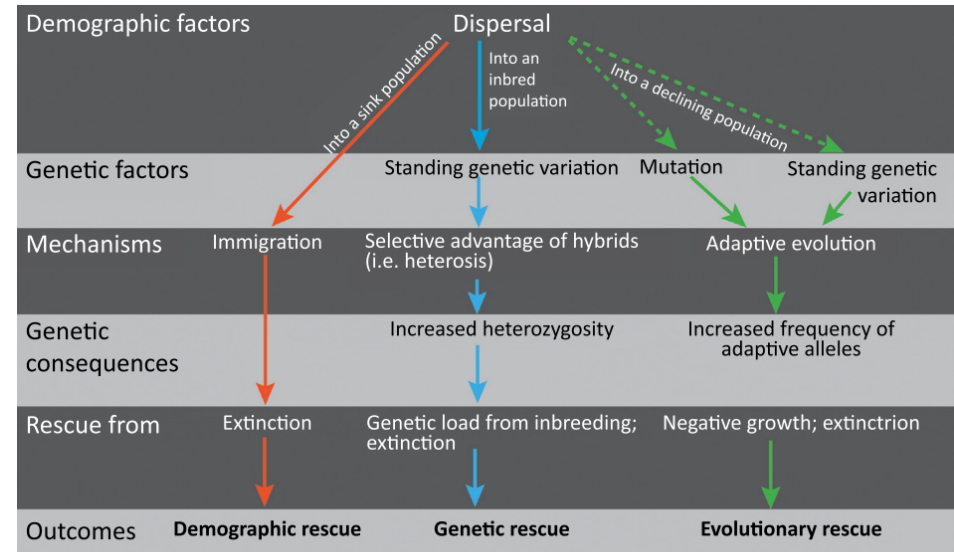
→ Em cativeiro



## 4. Conservação e funcionamento de ecossistemas

### Recuperação/salvamento de populações

- Salvamento demográfico
- Salvamento genético
- Salvamento evolutivo



TRENDS in Ecology & Evolution

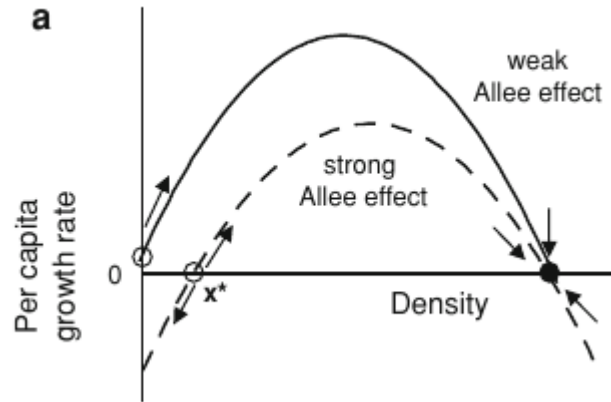
Carlson et al (2017). Evolutionary rescue in a changing world. TREE



## Salvamento demográfico

### Efeitos Allee

Relação positiva entre taxa de crescimento e densidade quando a densidade é baixa



Kramer et al (2009). The evidence for Allee effects. *Pop Ecol*

Mechanism	Taxonomic Group					
	terr. arthr.	aq. invert	mamm.	bird	fish	plant
mate limitation	○	○	○	○	?	○
cooperative defense	○	○	○	○	○	?
predator satiation	?	○	○	○	○	?
cooperative breeding	?	?	○	○	○	?
cooperative feeding	○	?	?	○	?	?
dispersal	○	?	○	?	?	?
habitat amelioration	○	○	?	?	○	○
other/unknown	○	?	?	○	○	○

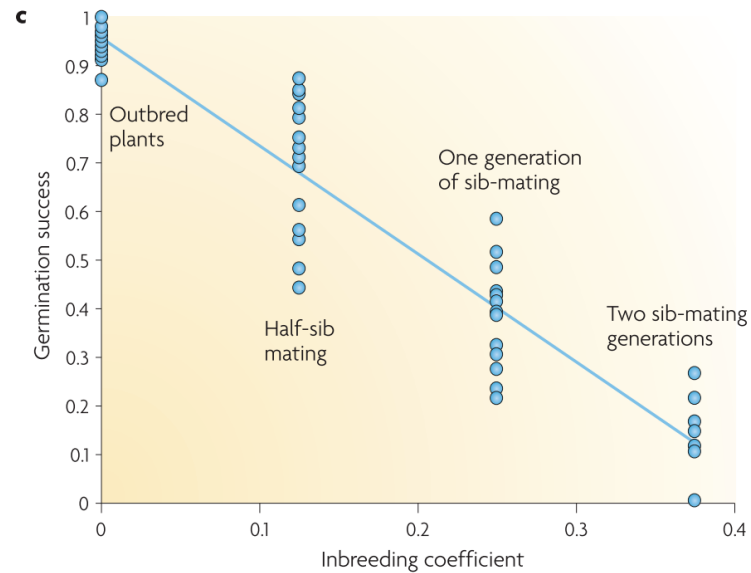
Ausência de interações entre indivíduos





## Salvamento genético

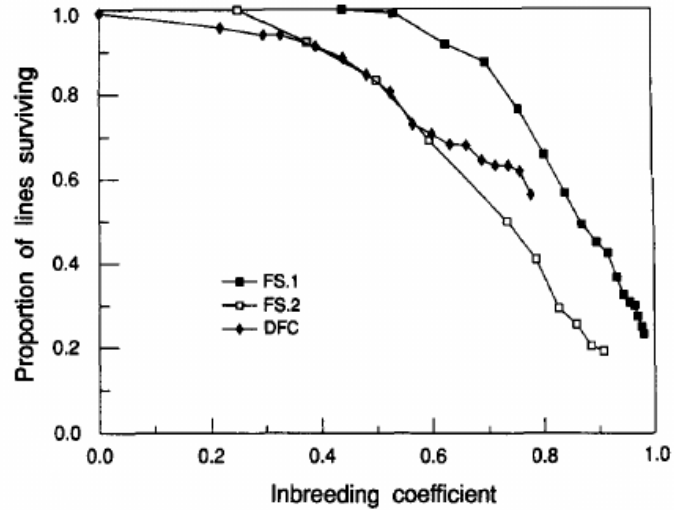
**O problema** – diminuição de fitness como resultado de cruzamento entre indivíduos aparentados



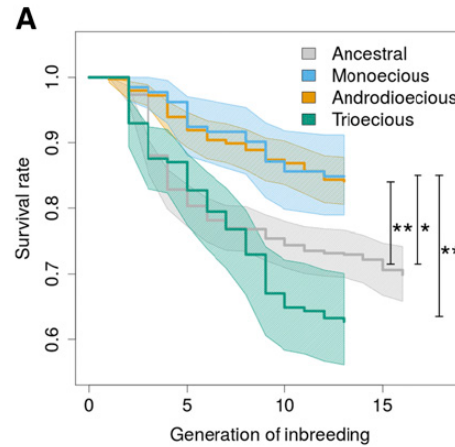


# Salvamento genético

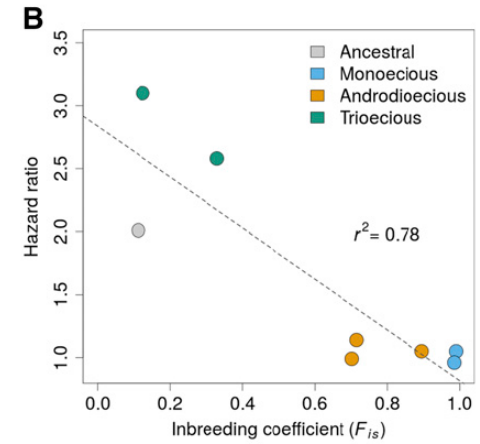
**O problema** – diminuição de fitness como resultado de cruzamento entre indivíduos aparentados



Rumball et al 1994



Chelo et al 2019





# Salvamento genético

**O problema** – diminuição de fitness como resultado de cruzamento entre indivíduos aparentados

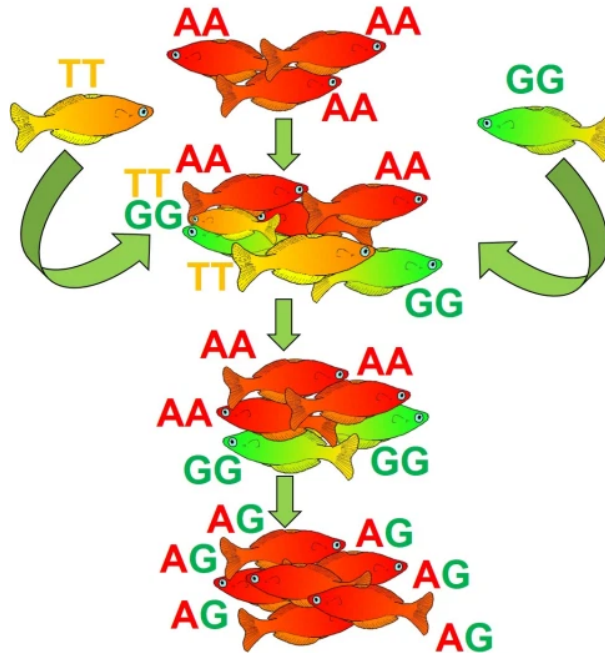
- alelos deletérios recessivos em populações de N elevado que passam a estar em homozigotia aquando da redução do N
- sobredominância de alelos que passam a estar em homozigotia aquando da redução do N

Model	Parent genotypes	F <sub>1</sub> hybrid genotypes and their fitness (or quality) relative to the parent genotypes
<b>Recessive deleterious mutations</b> Dominance hypothesis		
Single locus	$A/A \times a/a$	$A/a$ Intermediate fitness but above the parental average (homozygote shows inbreeding depression)
Multiple loci (effects of different mutant alleles marked in hybrids)	$A/A \quad b/b$ $a/a \quad B/B$	$A/a \quad B/b$ High fitness (heterosis and inbreeding depression)
<b>Recessive deleterious mutations at closely linked loci</b> Pseudo-overdominance	$A \quad b$ $A \quad b$ $\times$ $a \quad B$ $a \quad B$	$A \quad b$ $a \quad B$ Higher fitness than the parent genotypes
<b>Single loci with heterozygous advantage</b> True overdominance	$A_1/A_1$ $\times$ $A_2/A_2$	$A_1/A_2$ High fitness (heterosis and inbreeding depression in homozygote)



## Salvamento genético

**A solução** – introdução de novos alelos





# Salvamento genético

## Exemplos

**Table 1. Recent empirical studies showing genetic rescue effects<sup>a</sup>**

Species	Study type <sup>b</sup>	Context	Immigrant source <sup>c</sup>	Study length <sup>d</sup>	Primary results	Refs
Animal						
Water flea <i>Daphnia magna</i>	Exp	Field and laboratory populations	Nearby population	F1	Population growth rate many times greater in outbred than in inbred populations	[19]
House fly <i>Musca domestica</i>	Exp	Laboratory populations	Same population	F20	Pupal emergence in immigrant populations greater than controls	[20]
Fruit fly <i>Drosophila melanogaster</i>	Exp	Laboratory populations	Same population	F3	Reproductive fitness in immigrant populations twice that of the controls	[23]
Flower beetle <i>Tribolium castaneum</i>	Exp	Laboratory populations	Same population	F20	Population growth rate higher in populations receiving immigrants from high fitness (but not low fitness) populations	[41]
Adder <i>Vipera berus</i>	Obs	Isolated population	Distant population	F1	Population growth rate increased, stillborn birth rate decreased	[16]
Prairie chicken <i>Tympanuchus cupido</i>	Obs	Isolated population	Distant populations	F1	Egg viability increased	[15]
Song sparrow <i>Melospiza melodia</i>	Obs	Isolated population	Unknown population	F2	F1 fitness elevated, but F2 fitness lower	[78]
Scandinavian wolf <i>Canis lupus</i>	Obs	Isolated population	Unknown population	F2	Population growth rate increased	[17]
Plant						
Mustard <i>Brassica campestris</i>	Exp	Outdoor populations	Same population	F6	Immigrant pollen increased 4/6 fitness traits	[21]
White campion <i>Silene alba</i>	Exp	Greenhouse study of field-collected plants	Nearby populations	F1	Immigrant pollen increased germination success in peripheral populations	[11]
Scarlet gilia <i>Ipomopsis aggregata</i>	Exp	Isolated populations	Distant population	F1	In small population only, seed mass and germination increased by immigrant pollen	[25]
Yellow pitcher plant <i>Sarracenia flava</i>	Exp	Isolated populations	Distant population	F1	Plant height increased by immigrant pollen	[26]
Scurvy grass <i>Cochlearia bavarica</i>	Exp	Outdoor populations	Nearby populations	F1	Seed mass and plant size increased by immigrant pollen	[28]

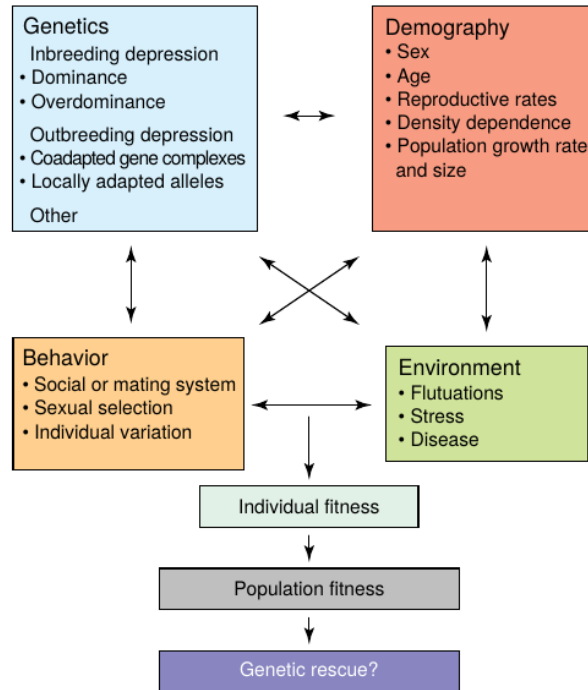
Tallmon et al (2004). The alluring simplicity and complex reality of genetic rescue. *TREE*





# Salvamento genético

## Fatores relevantes



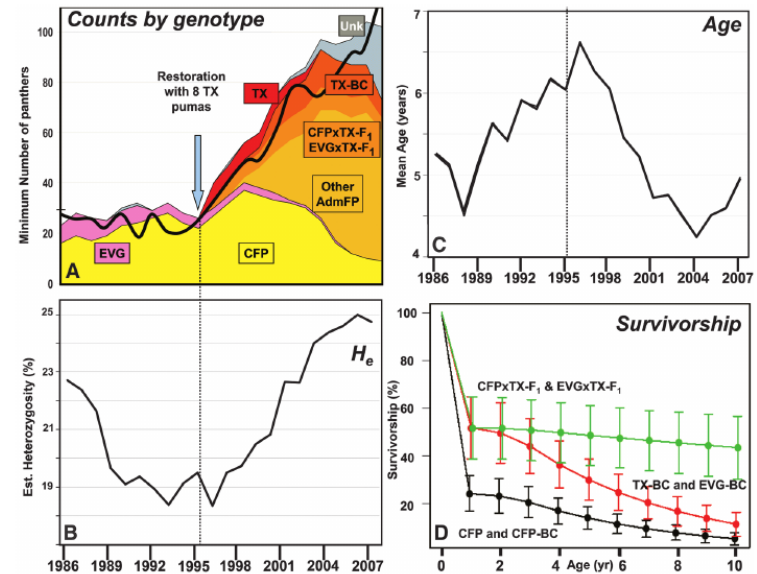
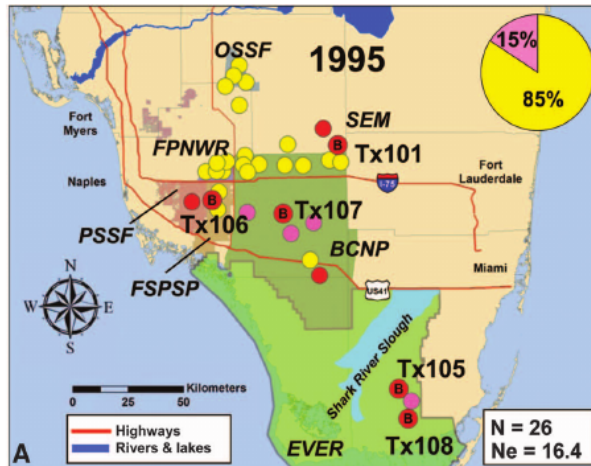


## Salvamento genético



### Recuperação do puma da Flórida (*Puma concolor coryi*)

- 26 indivíduos em 1995, baixa variabilidade genética
- Introdução de 8 fêmeas provenientes do Texas



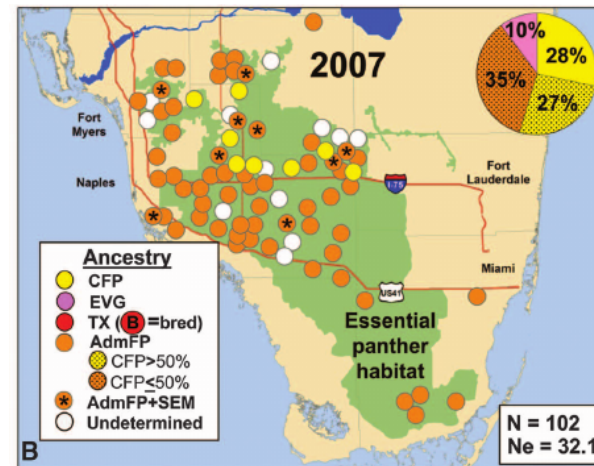
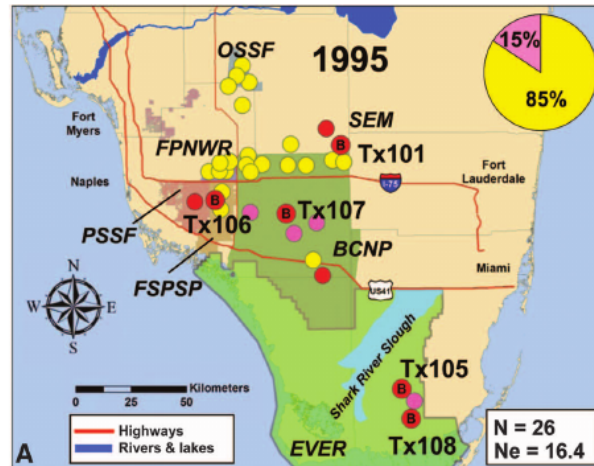


## Salvamento genético



### Recuperação do puma da Flórida (*Puma concolor coryi*)

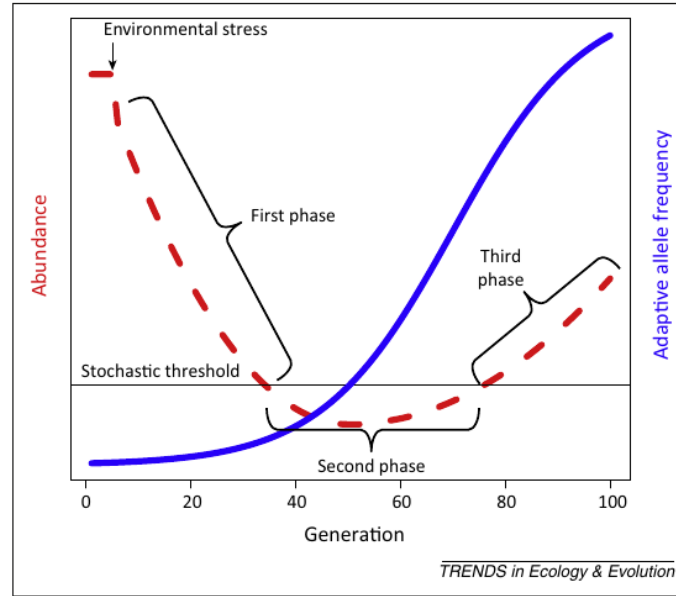
- 26 indivíduos em 1995, baixa variabilidade genética
- Introdução de 8 fêmeas provenientes do Texas





## Salvamento evolutivo

### Persistência das populações por adaptação



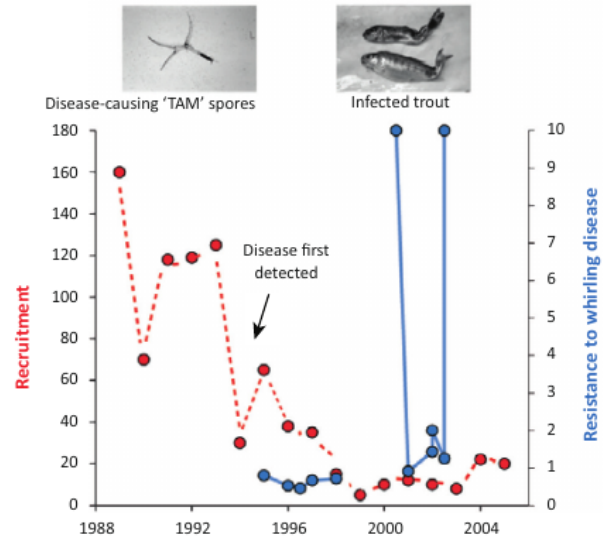
Carlson et al. (2017). Evolutionary rescue in a changing world. *TREE*



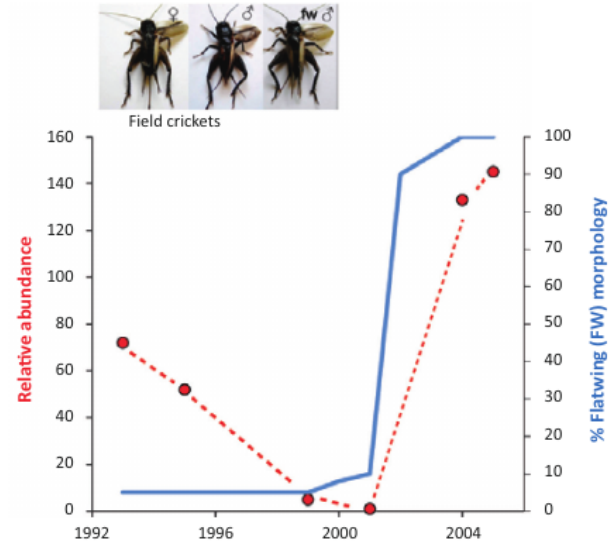
# Salvamento evolutivo

## Salvamento evolutivo na natureza

(A) Rescue from novel pathogen



(B) Rescue from introduced parasite

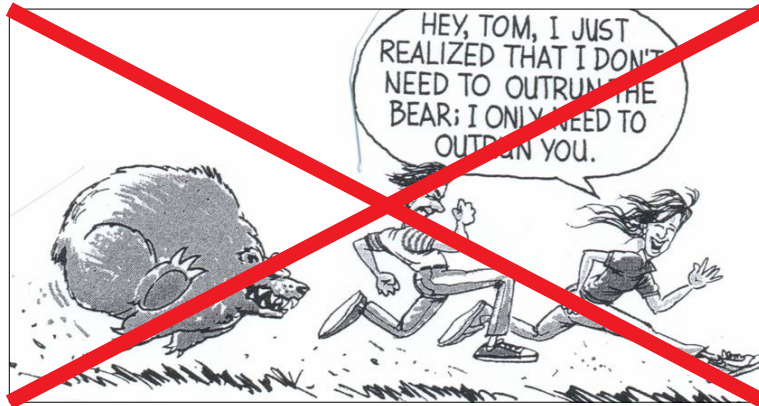






## Salvamento evolutivo

Fitness relativo ( $w$ ) e fitness absoluto ( $W$ )

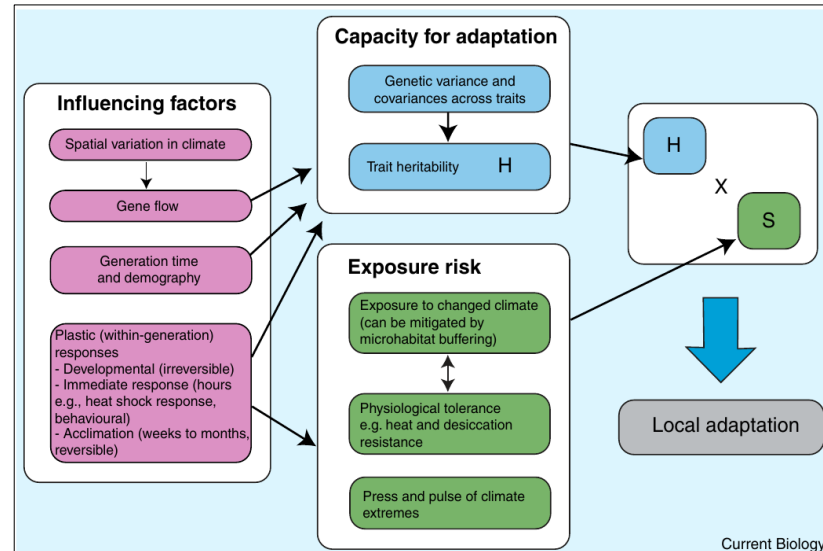


$$W > 1$$



# Salvamento evolutivo

## Fatores relevantes



Catullo et al (2019) The potential for rapid evolution under anthropogenic climate change



# Salvamento evolutivo

## Fatores relevantes

**Table 1. Side-by-side comparison of theoretical and laboratory studies of evolutionary rescue, highlighting the demographic, genetic, and extrinsic factors that affect the probability of rescue<sup>a</sup>**

	Theory/modeling results	Laboratory results
<b>Demographic factors</b>		
Initial population size	(+) [8], (+) [15], (+) [16]	(+) [9], (+) [10], (+) [41], (+) [42]
Time below stochastic threshold	(-) [8]	
Generation time	(-) [15]	
Negative density dependence	(+) [3], (-) [4]	
Positive density dependence with immigration	(+) [23]	
<b>Genetic factors</b>		
Standing genetic variation	(+) [8], (+) [12], (+) [24]	(+) [42], (+) [43], (+) [44]
Sexual reproduction		(+) [44]
Dispersal	(-) [30], (+/-) [31], (+/-) [35]	(+) [9], (+) [45]
Immigration	(-) [32], (-) [33], (-) [34]	
Emigration	(-) [36]	
Mutation rate	(-) [26]	
Genetic linkage	(-) [32]	
Initial maladaptation	(-) [8]	(-) [10]
Number of loci interacting to influence fitness (genetic architecture)	(+/-) [27]	
<b>Extrinsic factors</b>		
Rate of environmental change	(+) [77], (-) [16], (-) [38]	(-) [9], (-) [41], (-) [45], (-) [46], (-) [47]
History of environmental change		(+) [47]
Interspecific competition	(-) [18], (-) [39]	
Intraspecific competition	(+) [18]	
Predator-prey dynamics	(+) [18], (+) [40]	
Introgressive hybridization	(+/-) [37]	

Carlson et al. (2017). Evolutionary rescue in a changing world. *TREE*



## Salvamento evolutivo

**Evolvabilidade** – potencial adaptativo de uma população. Depende da heritabilidade de variação fenotípica em fitness

TABLE 1 Perspectives on evolvability

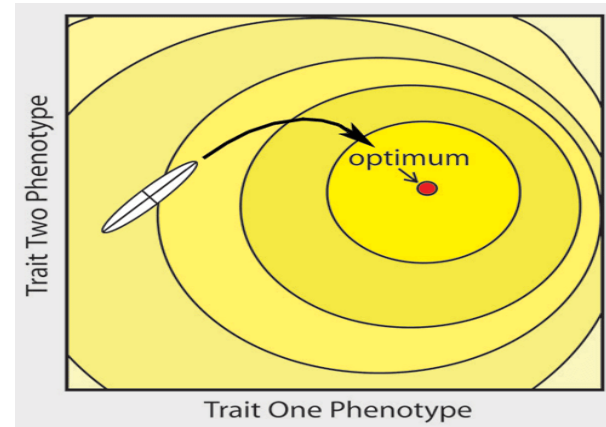
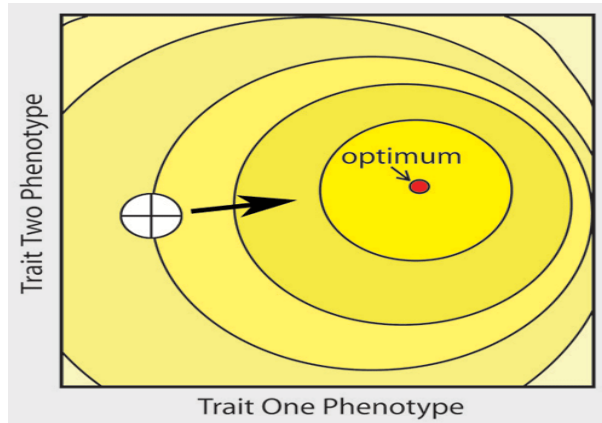
Main focus	Major determinant of evolvability and examples of key concepts	Case study and review
Genetic variation	Population (standing) genetic variation (e.g., allelic richness) and the introduction of novel variants (e.g., mutation rate, activity of transposable elements)	Carvalho et al. (2020); Rebollo et al. (2012)
Phenotypic variation	Population (standing) phenotypic variation (e.g., additive genetic variation; G-matrix) and the alignment of phenotypic correlations and direction of selection	Hansen and Houle (2008); Houle et al. (2017)
Phenotypic variability	Developmental interactions (e.g., gene-regulatory networks; modularity) and their influence on the phenotypic variation available for selection (as captured by the genotype-phenotype map; developmental bias)	Gerhart and Kirschner (2007); Kouvaris et al. (2017)
Phenotypic plasticity	Responsiveness of phenotypes to environmental stimuli (e.g., adaptive plasticity, reaction norms) and its impact on population persistence and phenotypic variation available to selection (environment-phenotype map; developmental bias)	Brun-Usan et al. (2020); West-Eberhard (2003)



## Salvamento evolutivo

**Evolvabilidade** – potencial adaptativo de uma população

→ pode depender da estrutura de correlação entre fenótipos

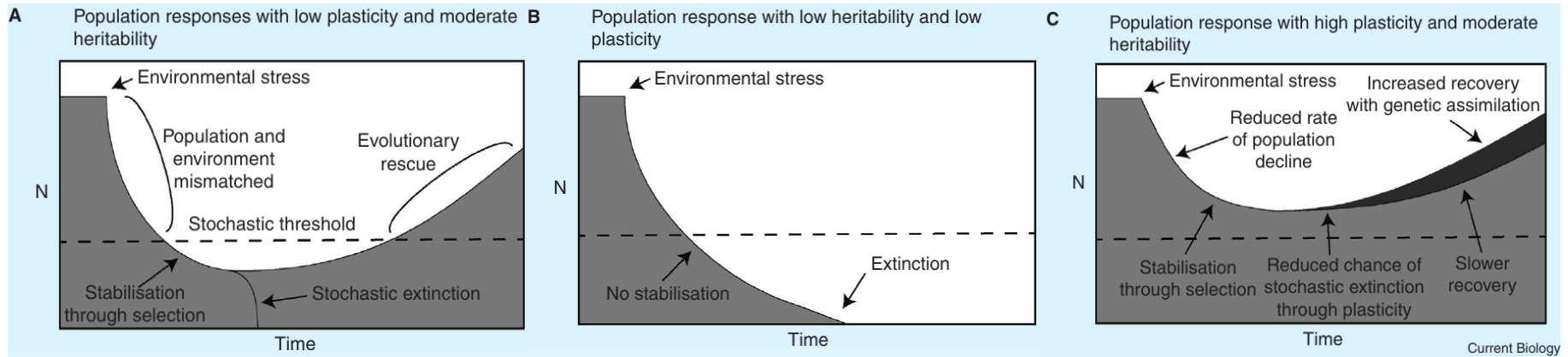






# Salvamento evolutivo - Evolvabilidade

## Importância da plasticidade

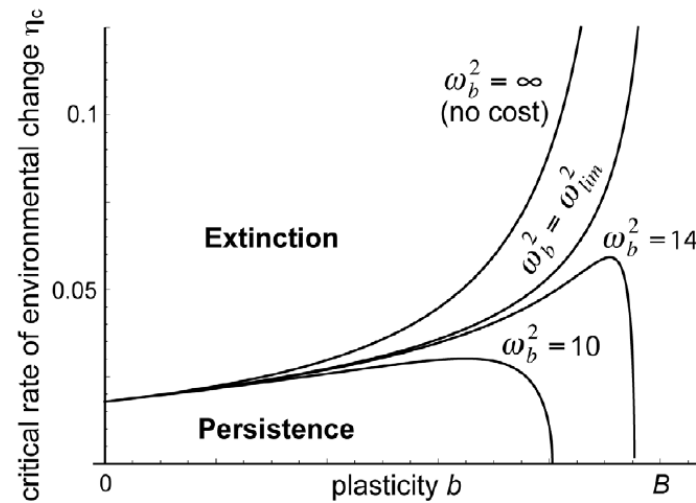


Catullo et al (2019) *The potential for rapid evolution under anthropogenic climate change*



## Salvamento evolutivo - Evolvabilidade

### Importância da plasticidade



Chevin et al (2010). *Adaptation, plasticity, and extinction in a changing environment: towards a predictive theory*



Robustez evolutiva em conservação

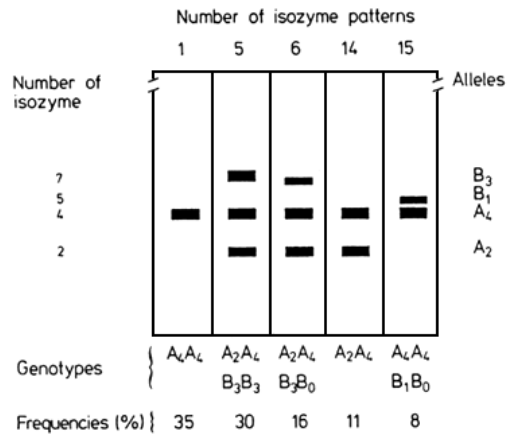
**Como criar resiliência nas populações?**



## Robustez evolutiva em conservação

Como criar resiliência nas populações? **Reduzir perda de diversidade e reduzir adaptação ao cativeiro**

ID molecular de indivíduos



Mapa de cruzamentos dependendo da relação entre indivíduos

Relationship	Kinship
Parent–offspring	0.25
Sibling–sibling	0.25
Grandparent–grandoffspring	0.125
Half-sibling–half-sibling	0.125
Uncle/aunt–nephew/niece	0.125
Cousin–cousin	0.0625
Second cousin–second cousin	0.03125
Unrelated	0

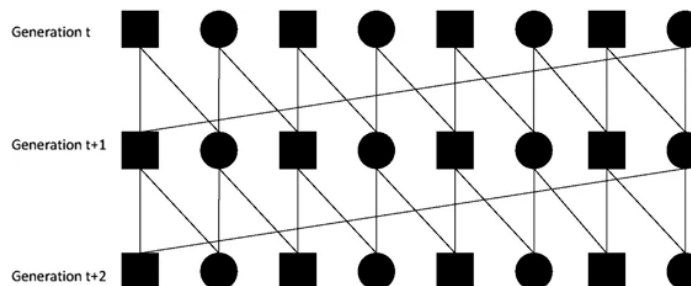


## Robustez evolutiva em conservação

Como criar resiliência nas populações? **Reduzir perda de diversidade e reduzir adaptação ao cativeiro**

Mapa de cruzamentos dependendo da relação entre indivíduos (ex. half-sib mating)

Relationship	Kinship
Parent–offspring	0.25
Sibling–sibling	0.25
Grandparent–grandoffspring	0.125
Half-sibling–half-sibling	0.125
Uncle/aunt–nephew/niece	0.125
Cousin–cousin	0.0625
Second cousin–second cousin	0.03125
Unrelated	0



*Theodorou & Couvet (2015). The efficiency of close inbreeding to reduce genetic adaptation to captivity. Heredity*



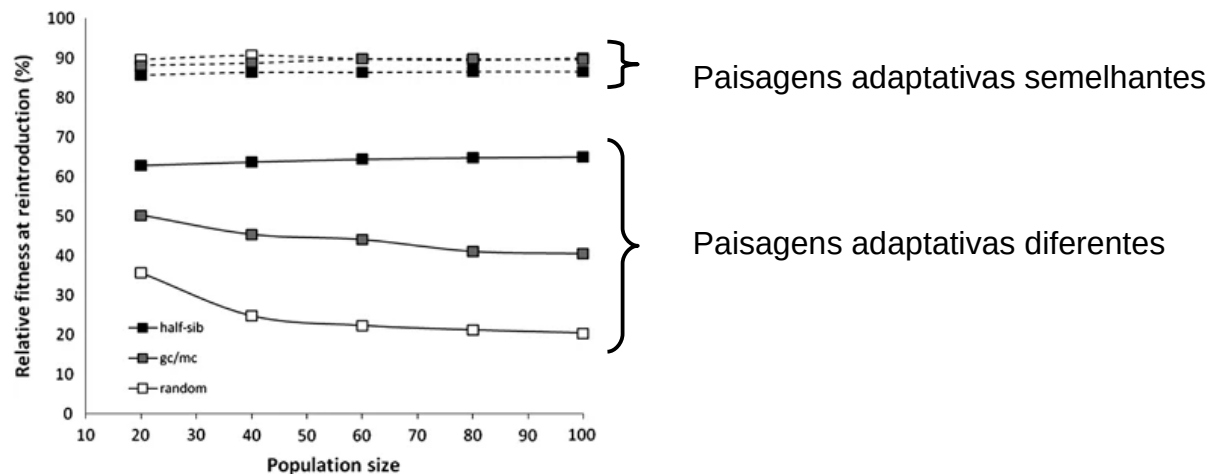
## Robustez evolutiva em conservação

### Como criar resiliência nas populações?

### Reduzir perda de diversidade e reduzir adaptação ao cativeiro

Half-sib mating reduz adaptação ao cativeiro e otimiza condições para reintrodução no ambiente selvagem

gc/ms minimiza coeficiente de ancestralidade nos cruzamentos



Theodorou & Couvet (2015). The efficiency of close inbreeding to reduce genetic adaptation to captivity. *Heredity*



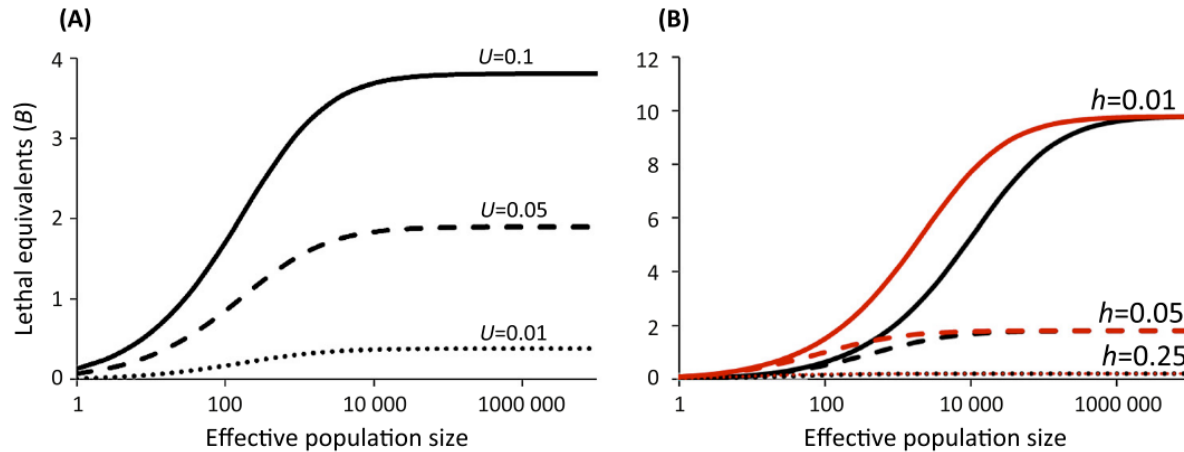
## Robustez evolutiva em conservação

### Como criar resiliência nas populações?

O número de *loci* responsáveis por depressão endogâmica em equilíbrio aumenta com taxa de mutação ( $u$ ),  $N_e$ , dominância ( $h$ ) e coeficiente seletivo



Inbreeding load



Hedrick & Garcia-Dorado (2016). *Understanding inbreeding depression, purging, and genetic rescue*

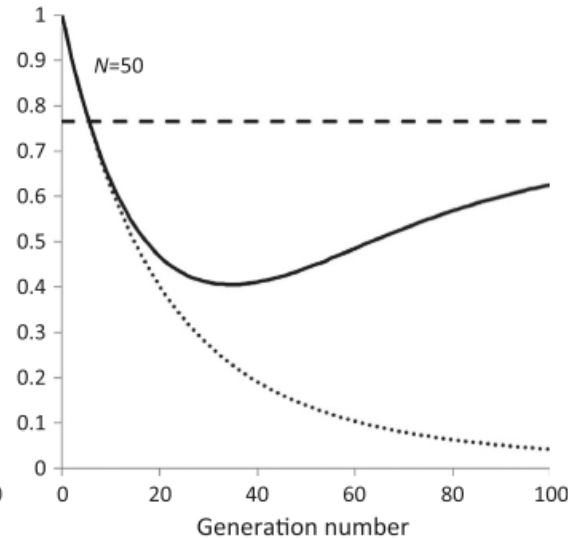
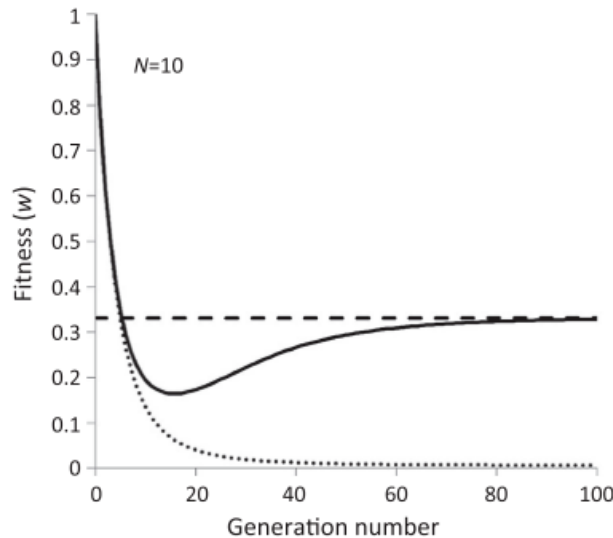




## Robustez evolutiva em conservação

### Como criar resiliência nas populações? **Purging**

A manutenção (controlada) de  $N_e$  baixos permite remover da população os alelos deletérios por seleção



$$w_t = w_0 e^{-Bg}$$

$\sim F$ , coeficiente de inbreeding

Fitness da população sem inbreeding

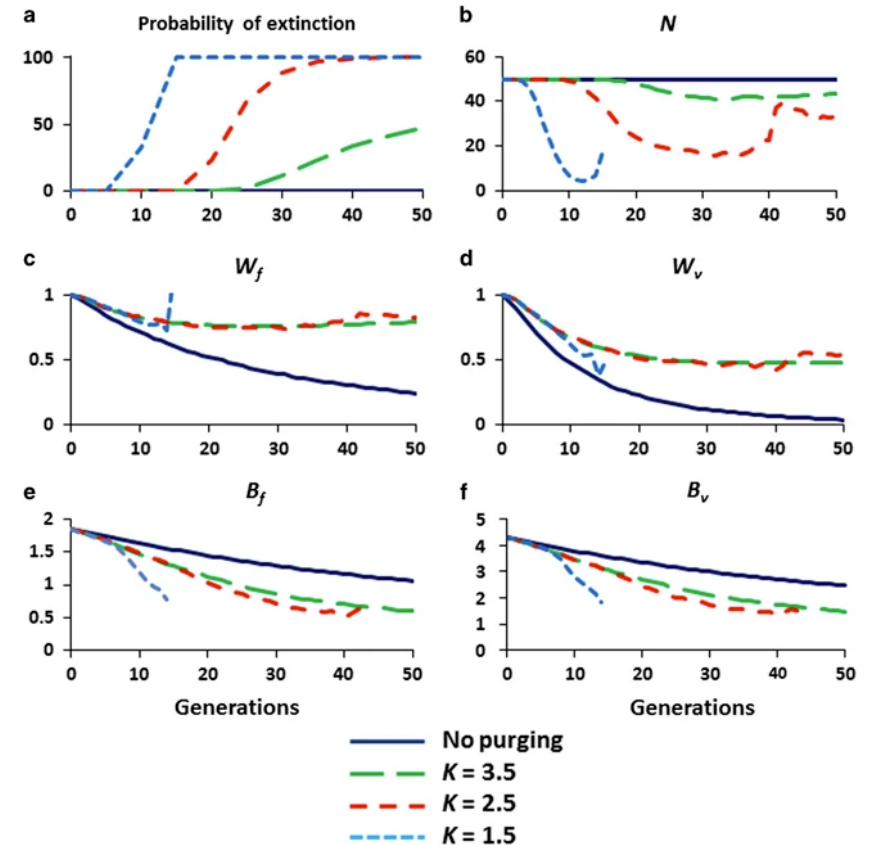
Inbreeding load (equivalentes letais)



## Robustez evolutiva em conservação

### Como criar resiliência nas populações? **Purging**

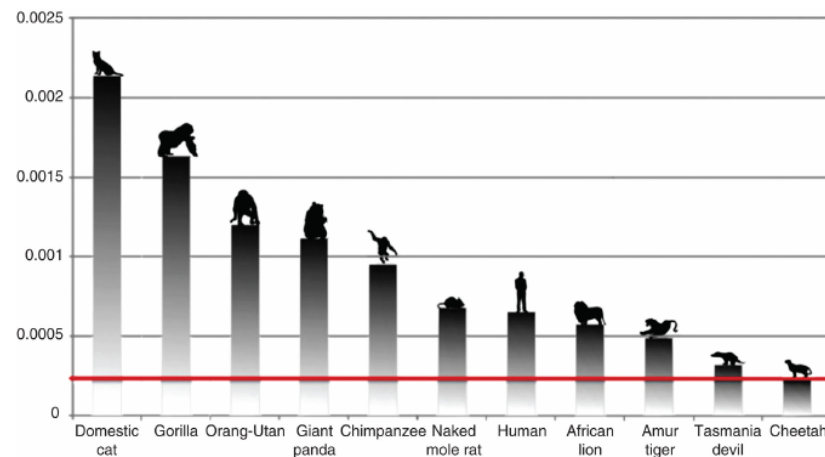
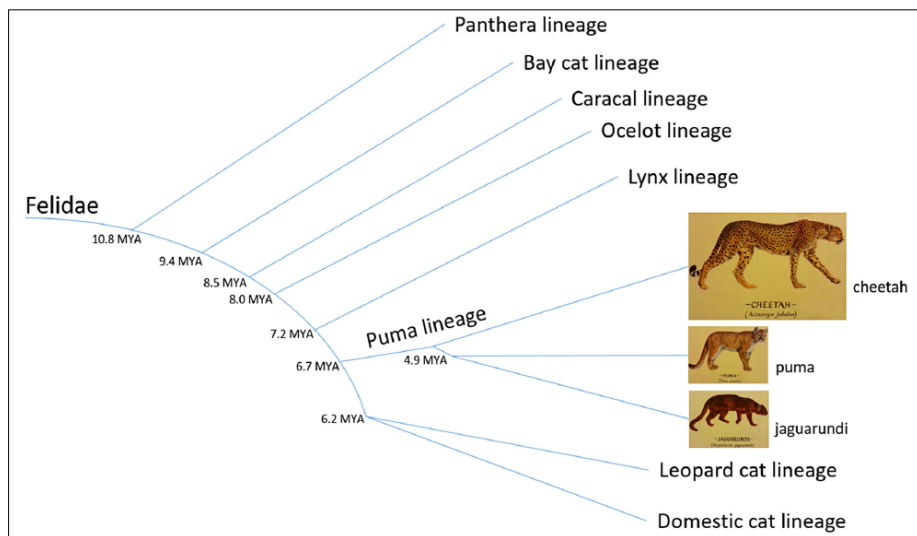
A manutenção (controlada) de  $N_e$  baixos permite remover da população os alelos deletérios por seleção





## Robustez evolutiva em conservação

### Resiliência em populações de Chita pode ser explicada por purging



Taxa de SNVs



## 4. Conservação e funcionamento de ecossistemas

Questões

