

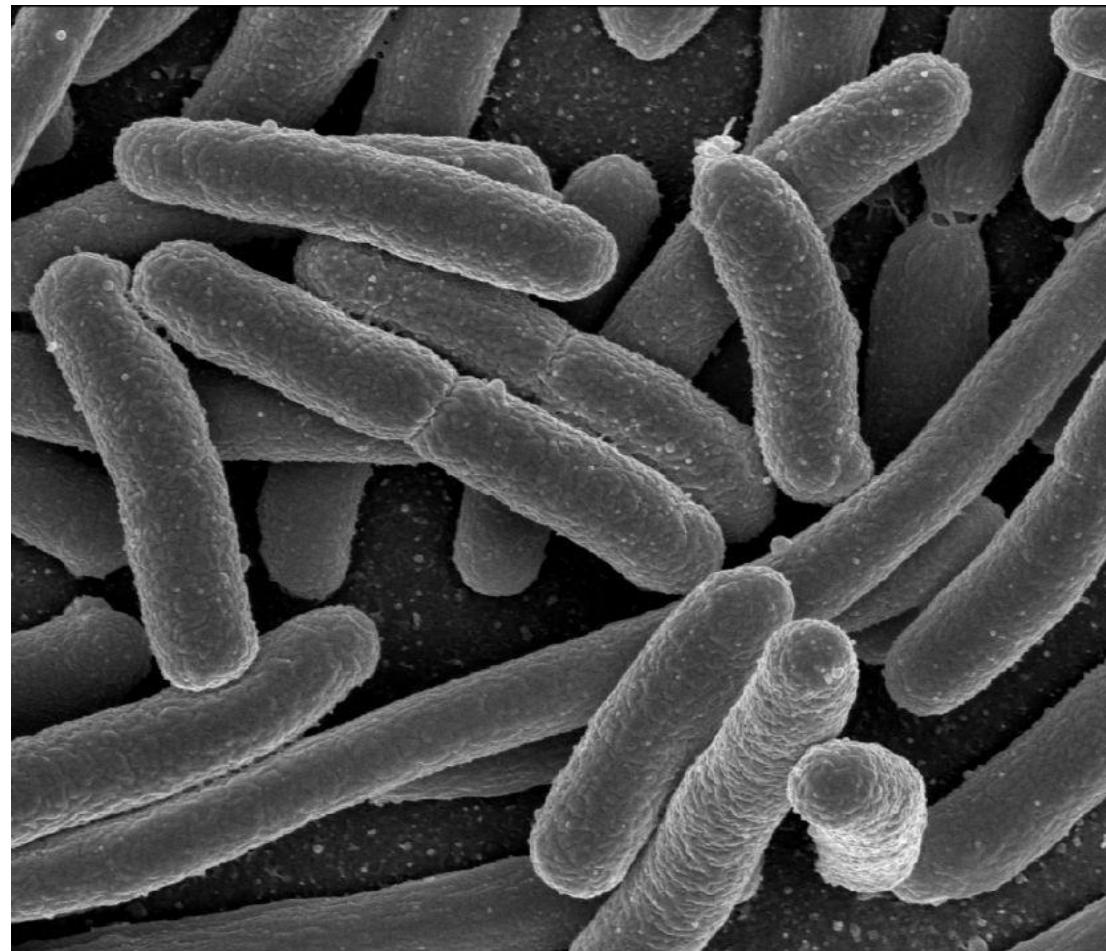
Aula 2. População humana

BE310 – Ciências do Ambiente

Mathias Pires

O que é uma população?

População é o conjunto de indivíduos da mesma espécie que coocorrem em um determinado local e são capazes de reproduzir-se









Principais **propriedades** de uma **população** são:

1. Tamanho: atual e variação no tempo
2. Estrutura: classes etárias



I. Uma breve história da população humana

II. Modelos de dinâmica populacional

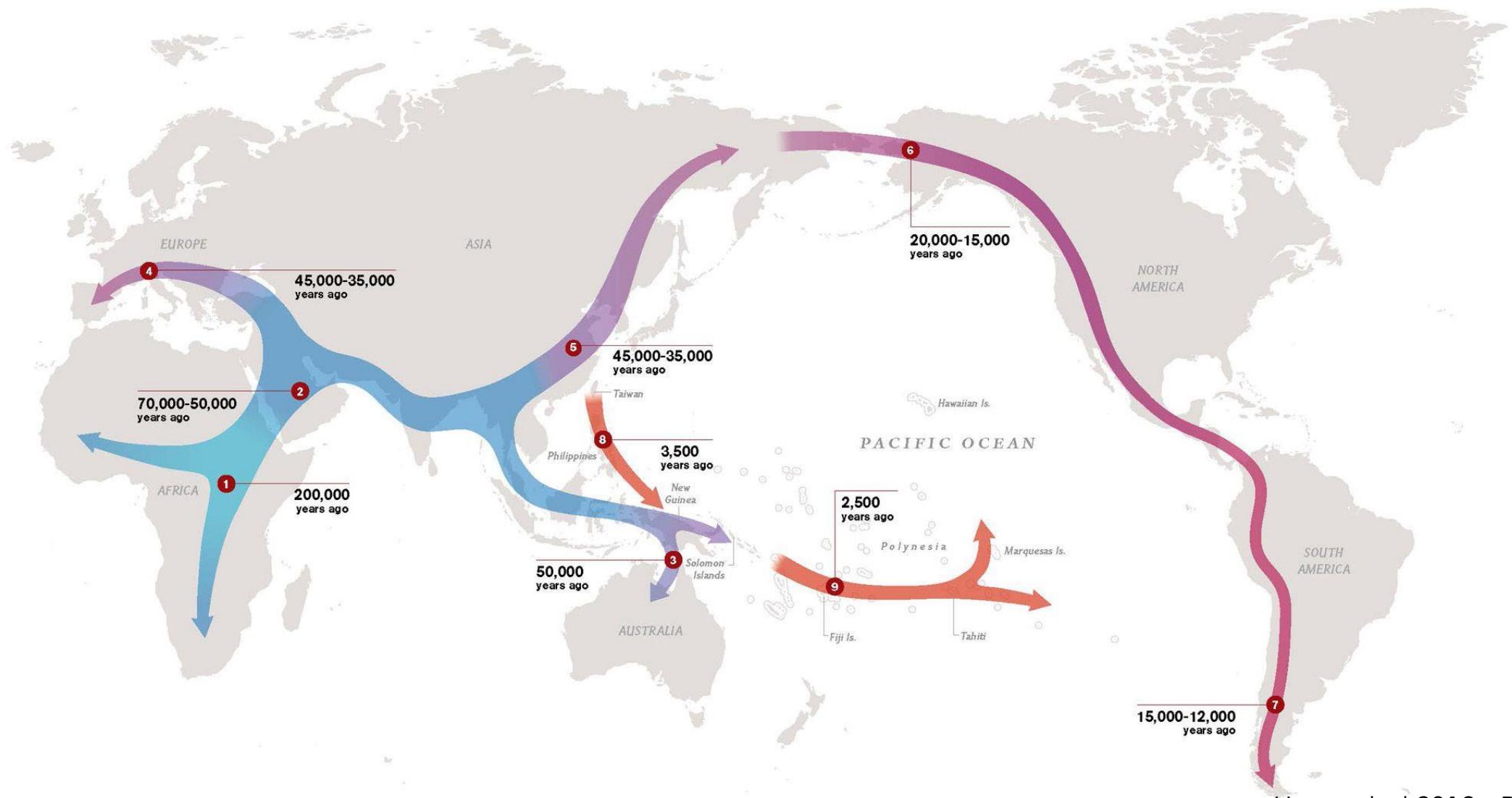
III. Crescimento atual e projeções futuras

Desde o surgimento do *Homo sapiens* até aprox. 10 mil anos atrás, o tamanho populacional global era inferior a 10 milhões de indivíduos

- Predomínio de grupos familiares de caçadores-coletores



Mesmo após a colonização dos demais continentes população humana não ultrapassou dezenas de milhões

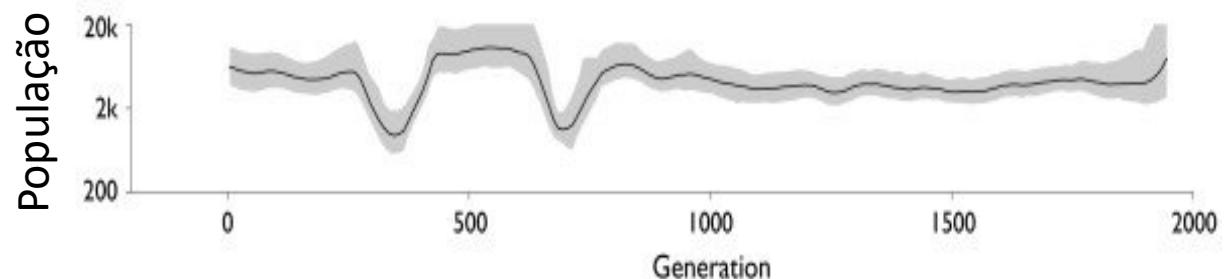
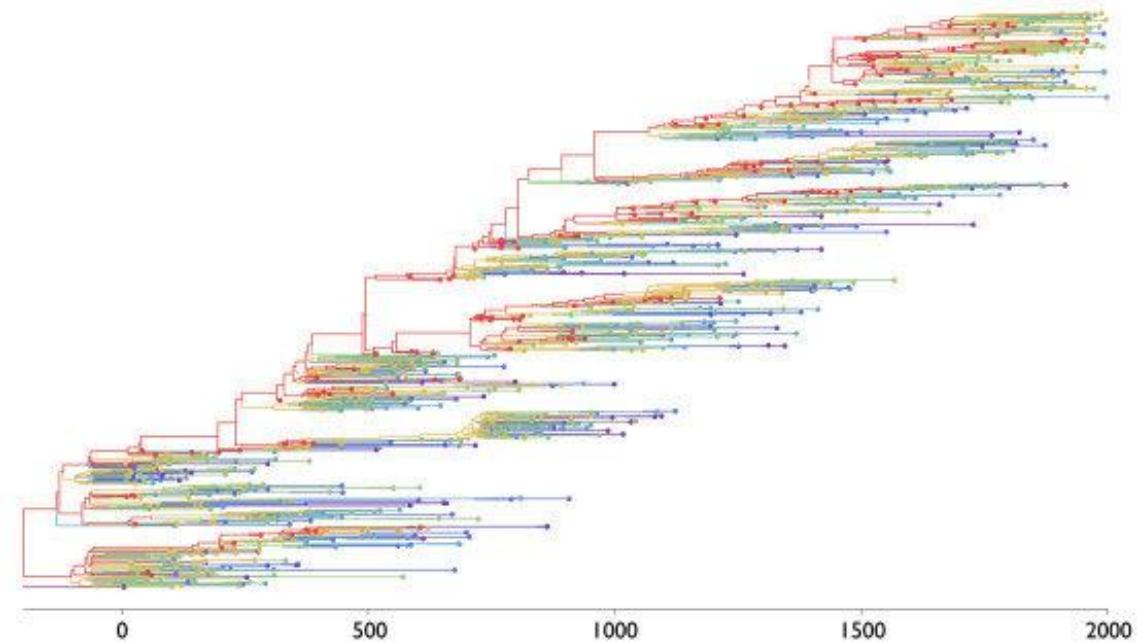


Henn et al 2012 - PNAS

Como sabemos o tamanho das populações no passado?

DNA contém informação sobre populações passadas

- Conhecendo a diversidade genética no presente e a taxa de mudança no DNA Podemos inferior estimar mudanças nas populações
- Diversidade genética depende do tamanho da populações

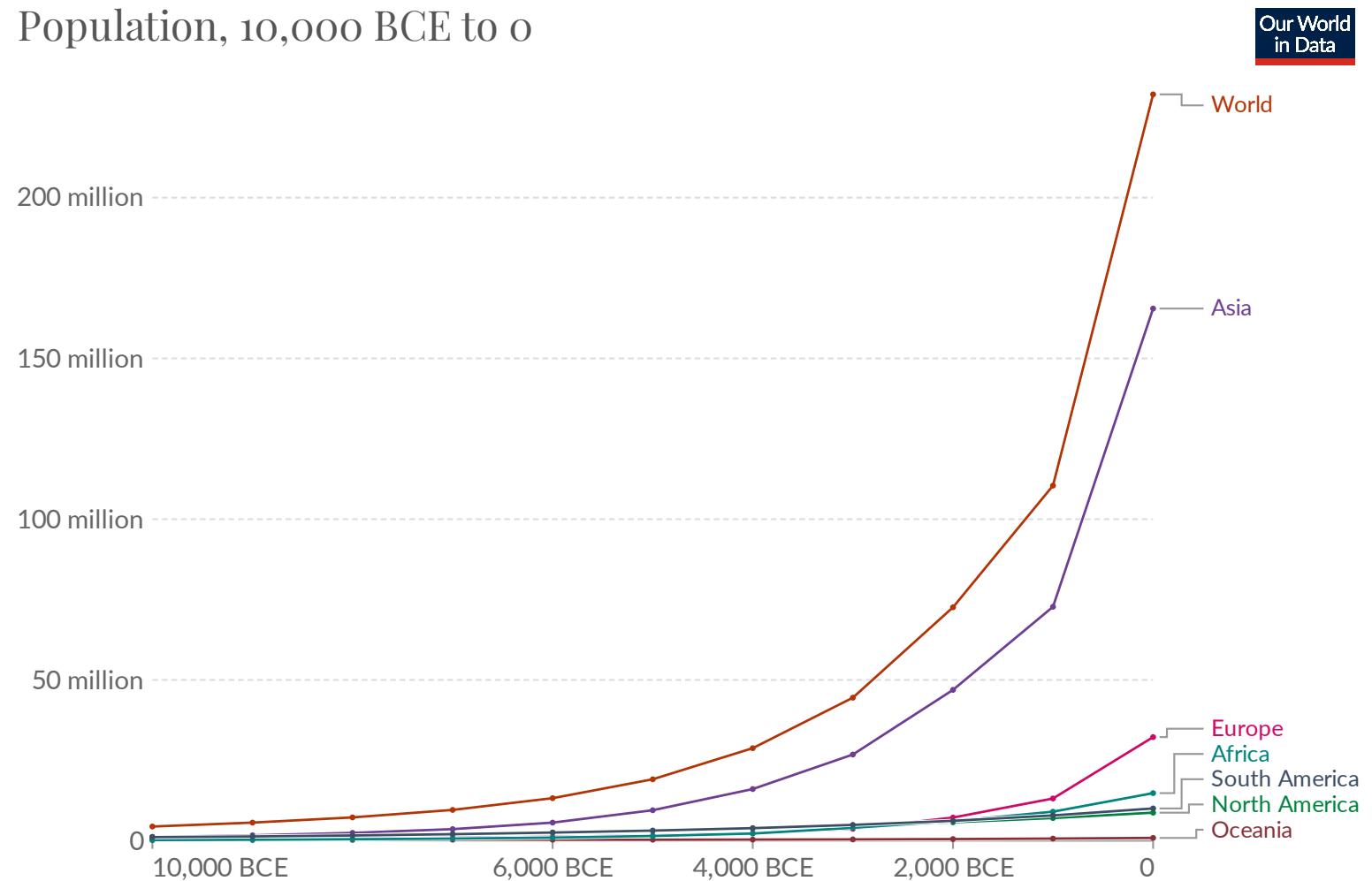


**Qual é o tamanho da população
atual?**

Qual é o tamanho da população atual?

7.950.000.000
7,95 bilhões

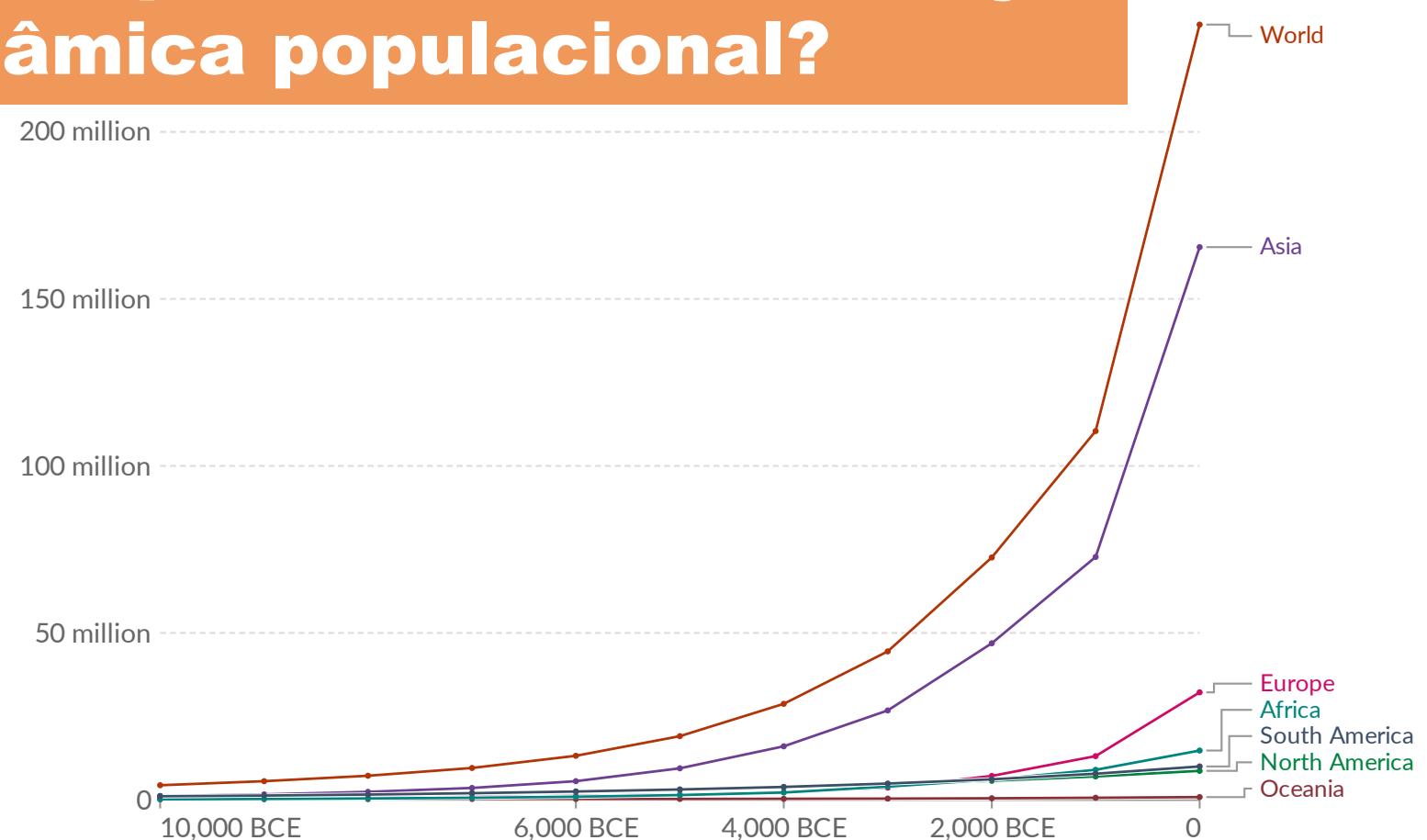
Por volta de 10 mil anos atrás teve início um período de crescimento acelerado da população humana



Por volta de 10 mil anos atrás teve início um período de crescimento acelerado da população humana

Qual fenômeno permitiu essa mudança na dinâmica populacional?

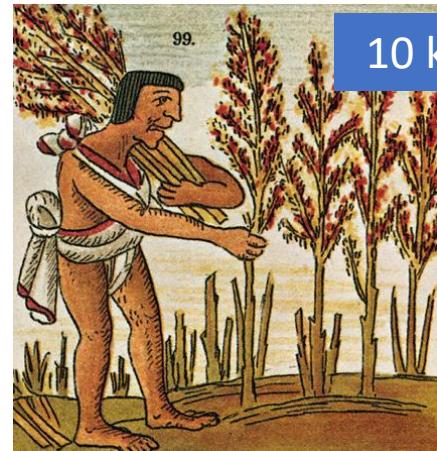
Our World
in Data



Por volta de 10 mil anos atrás o surgimento da agricultura mudou o modo de vida das sociedades humanas



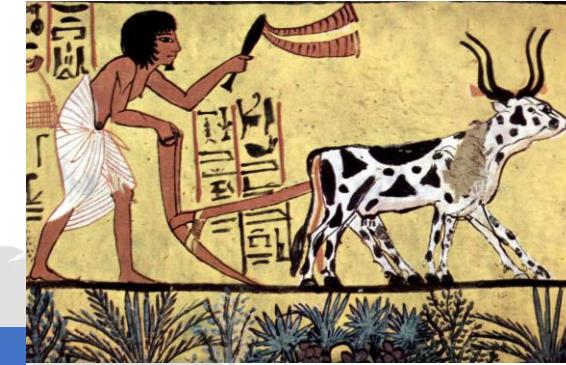
6 ka



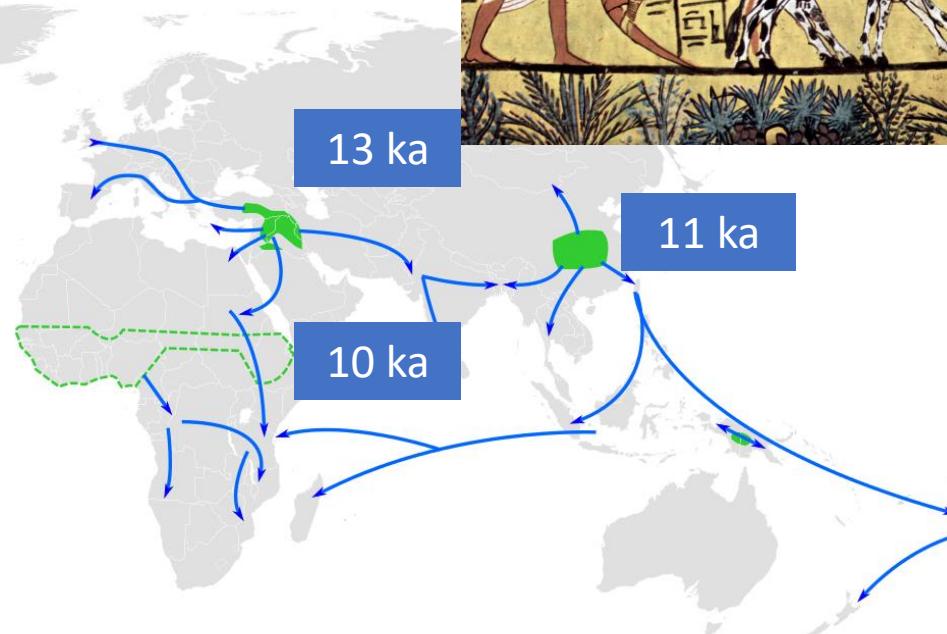
10 ka



4 ka



13 ka

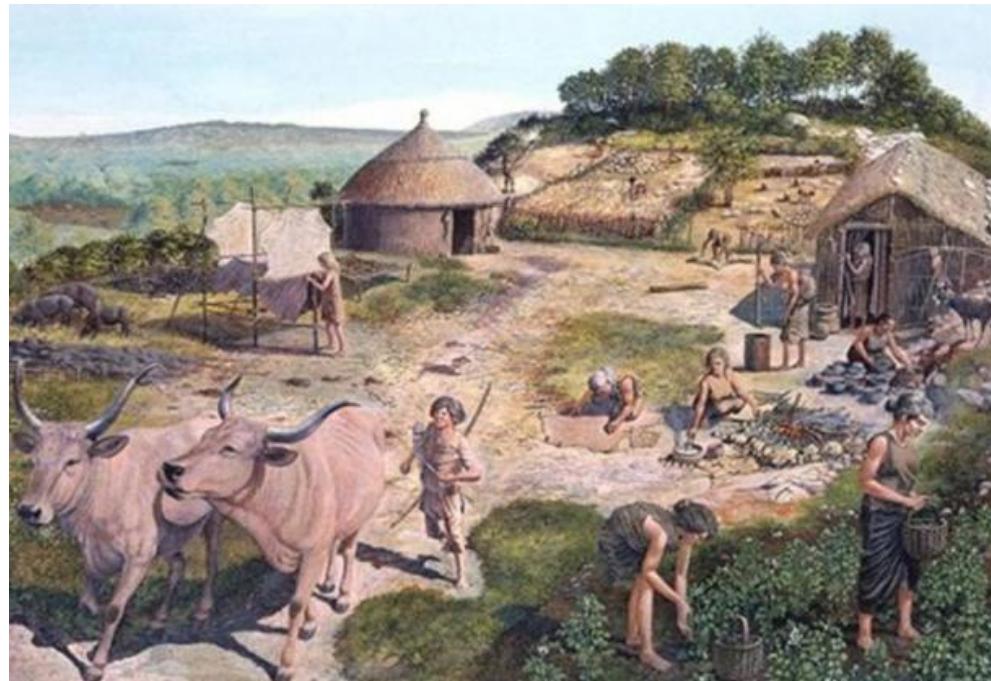


11 ka

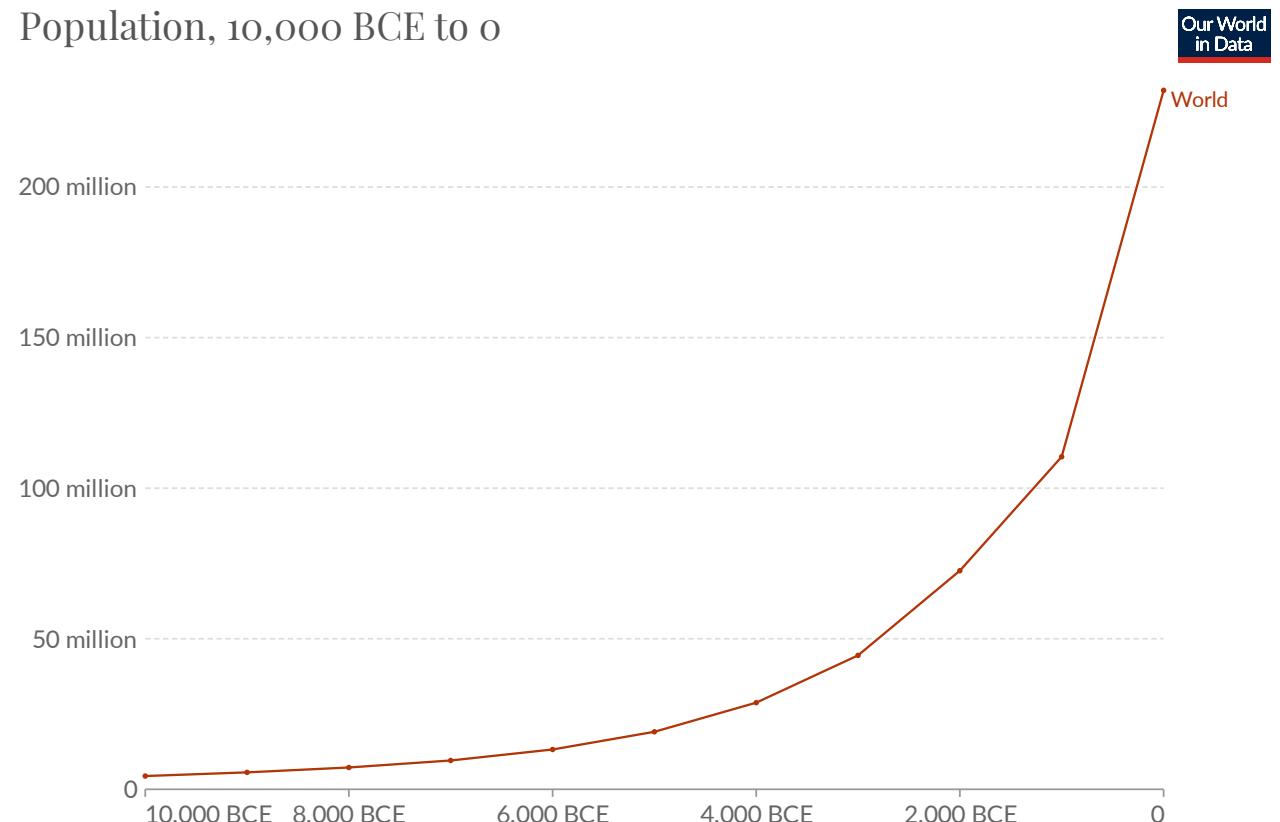
Diamond and Bellwood 2003 - Science

Desde o desenvolvimento da agricultura a população humana tem crescido de forma contínua

- População global > 100 milhões de pessoas antes do sec. I



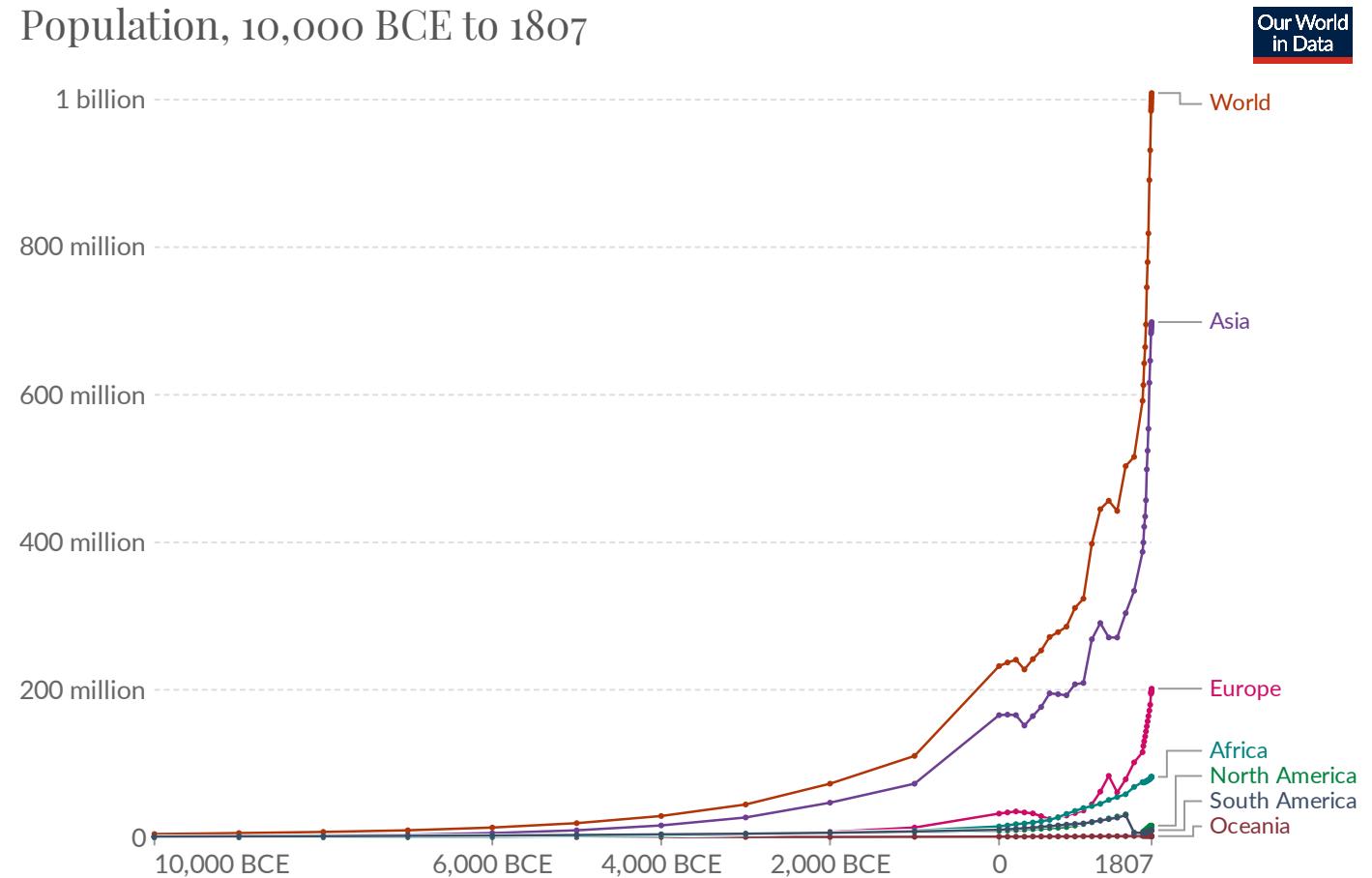
Population, 10,000 BCE to o



População continuou crescendo rapidamente, alcançando 1 bilhão de pessoas por volta de 1800



Population, 10,000 BCE to 1807



Source: Gapminder (v6), HYDE (v3.2), UN (2019)

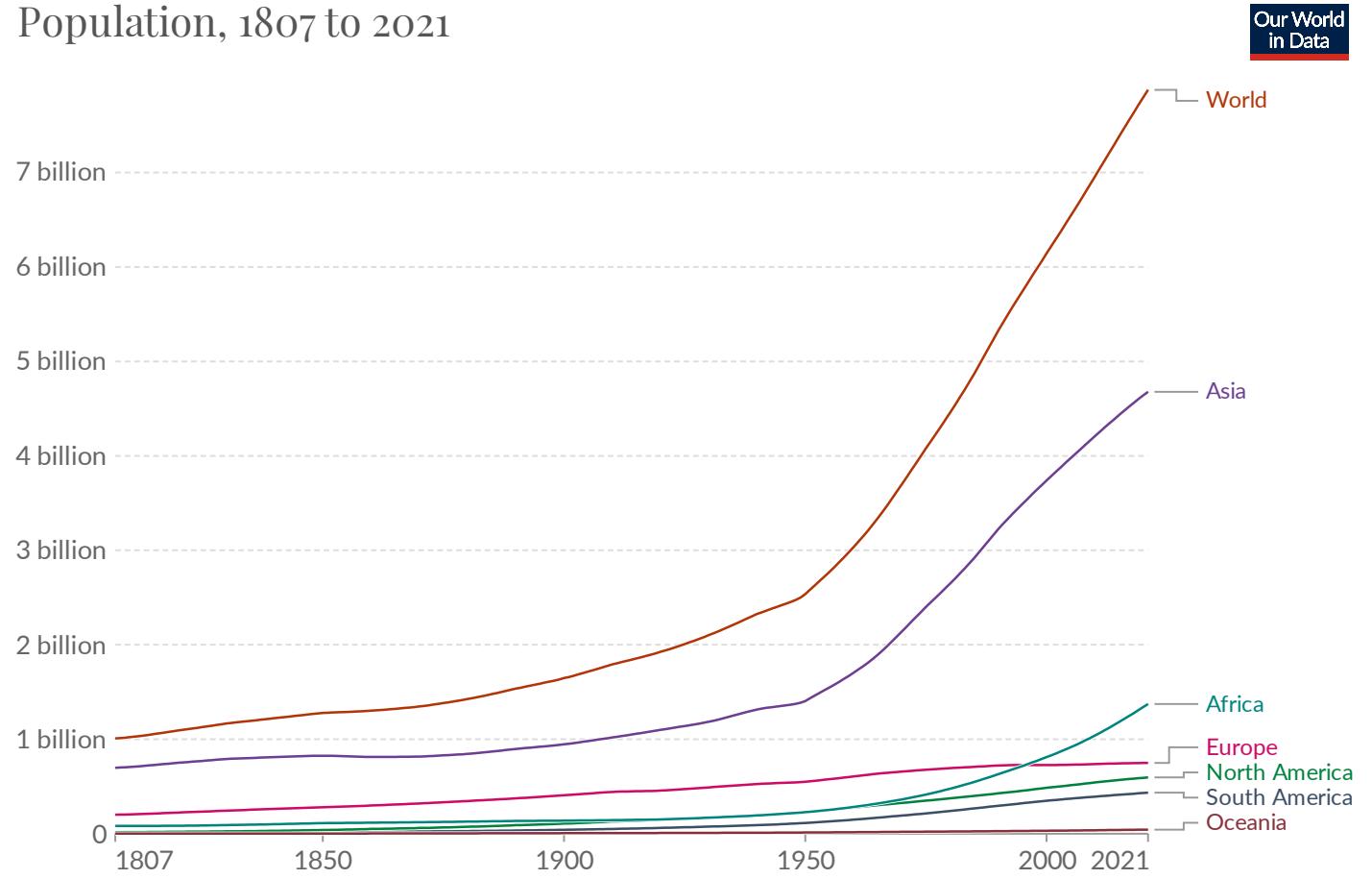
OurWorldInData.org/world-population-growth • CC BY

Crescimento após a Revolução Industrial foi ainda maior

- Pico de 2% ao ano na década de 1960
- Equivalente a 140 milhões de pessoas por ano (hoje)



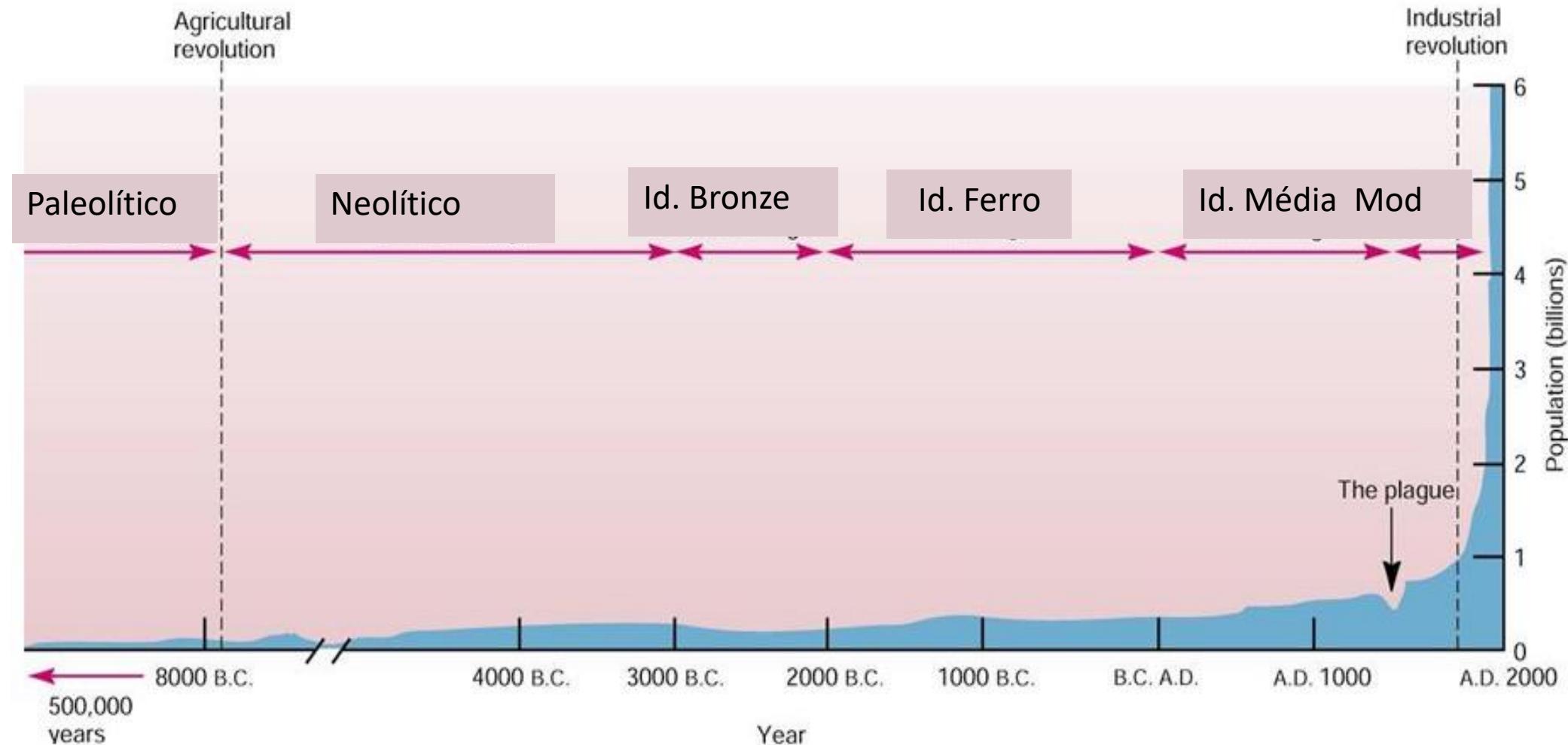
Population, 1807 to 2021



Source: Gapminder (v6), HYDE (v3.2), UN (2019)

OurWorldInData.org/world-population-growth • CC BY

População humana levou 200 mil anos para alcançar 1 bilhão, mas somente 200 anos para alcançar 7 bilhões

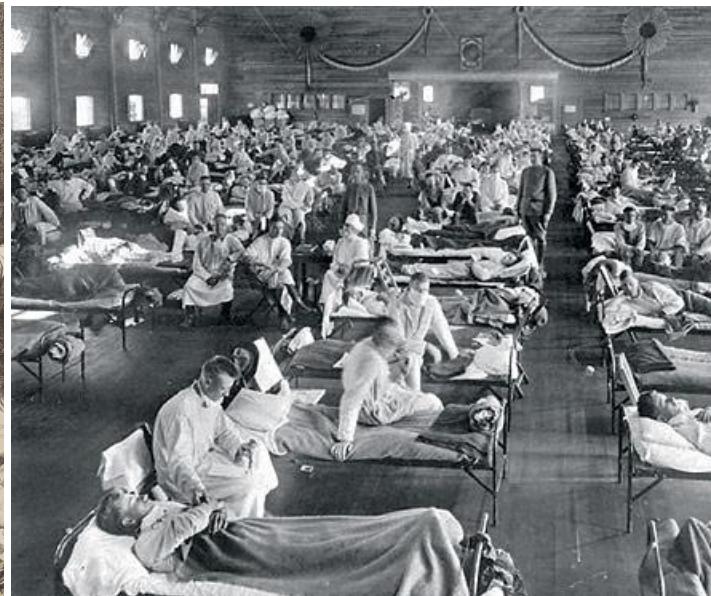


População humana também teve momentos de declínio em tempos recentes

- Epidemias e guerras causaram breves momentos de declínio



Peste negra (1350):
75 milhões de mortos



Gripe espanhola (1918):
50-100 milhões de mortos



I e II Guerras Mundiais (1914-1918; 1939-1945):
> 100 milhões de mortos

Mesmo com alguns episódios de declínio a população continuou crescendo



I. Uma breve história da população humana

II. Modelos de dinâmica populacional

III. Crescimento atual e projeções futuras

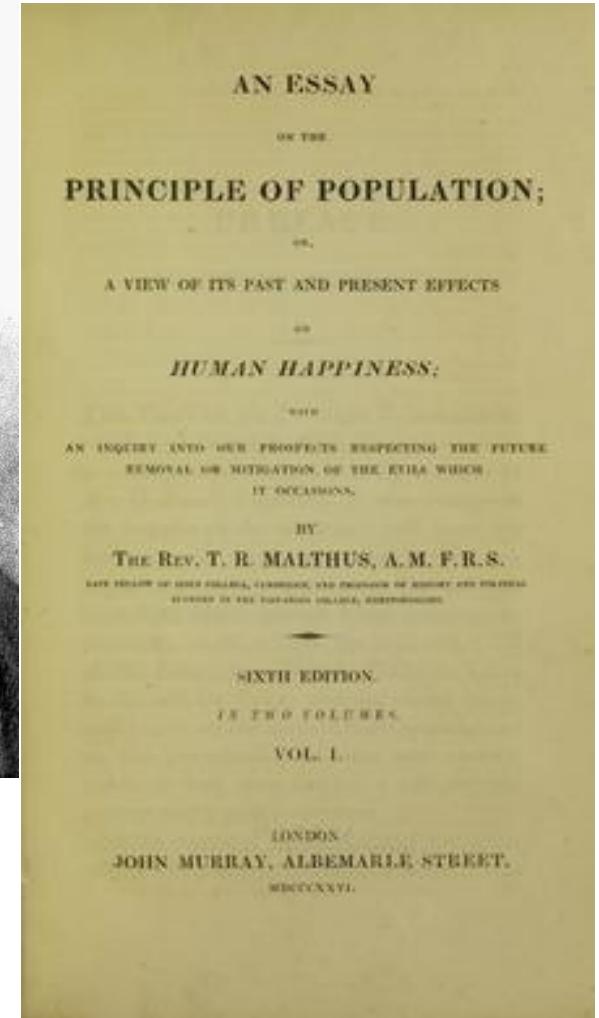
Thomas Malthus foi pioneiro no estudo da dinâmica da população humana (1798)

Princípio de Malthus:

Sob taxas de natalidade e mortalidade constantes a população cresce de forma multiplicativa indefinidamente



Thomas R Malthus
(1766-1834)



O tamanho de uma população em um local é determinado pelo balanço entre 4 processos

Mudança populacional = Nascimentos - Mortes + Imigração – Emigração

$$N_{t+\Delta t} - N_t = B - M + I - E$$

$$N_{t+\Delta t} - N_t = B - M$$

*Migração é irrelevante quando pensamos na população total

Para estudar a velocidade da mudança (**taxa**) dividimos os dois lados da equação por Δt

$$\frac{N(t + dt) - N(t)}{\Delta t} = \frac{B}{\Delta t} - \frac{M}{\Delta t}$$

Supondo intervalos de tempo infinitamente pequenos tem-se o crescimento instantâneo

$$\frac{dN(t)}{dt} = B(N) - M(N) \rightarrow \frac{dN(t)}{dt} = bN - mN$$

Taxa de nascimento
per capita

Taxa de mortalidade
per capita

*Taxa per capita: contribuição média de um indivíduo para a mudança na população

A taxa de crescimento per capita r representa a diferença entre a taxa de nascimento e morte

$$r = b - m$$

$$\frac{dN(t)}{dt} = bN - mN \quad \rightarrow \quad \frac{dN(t)}{dt} = rN(t)$$

$$\frac{dN(t)}{dt} \frac{1}{N} = r$$

*taxa de crescimento per capita:
contribuição média de um
indivíduo para a mudança na
população

**Conhecendo a taxa de mudança
podemos fazer projeções sobre o
tamanho da população**

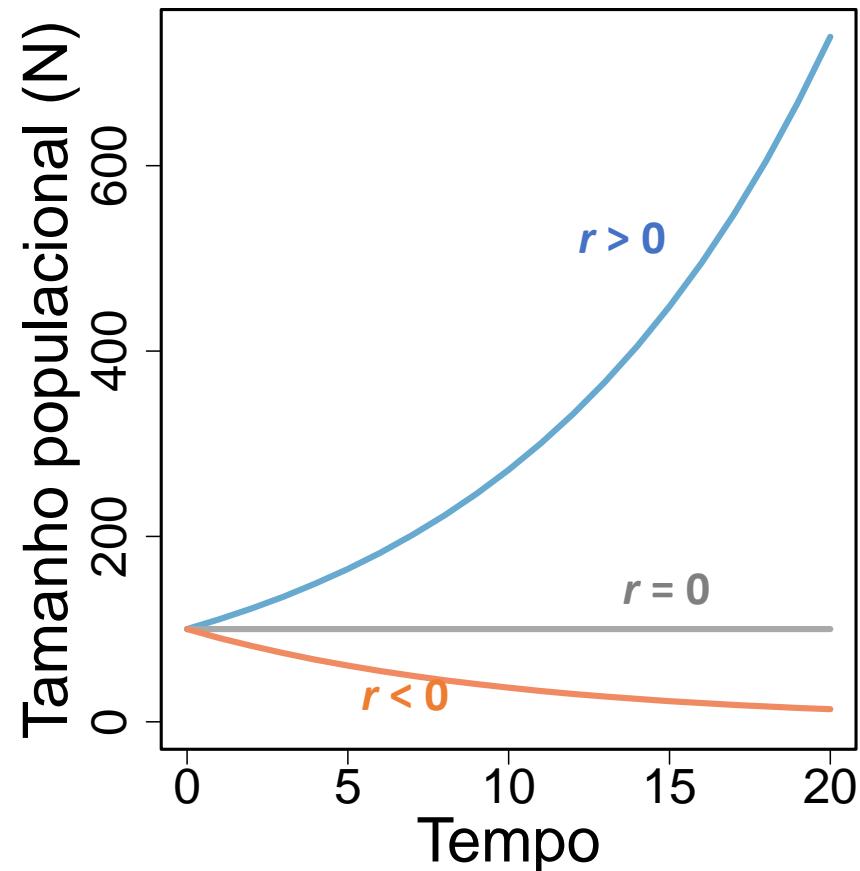
A solução da equação diferencial permite estimar o número esperado de indivíduos em um dado momento

$$\frac{dN(t)}{dt} = rN(t)$$

$$\int \frac{dN(t)}{dt} = \int rN(t)$$

$$N(t) = e^{rt}N_{(0)}$$

A taxa de crescimento per capita (r) determina a dinâmica da população

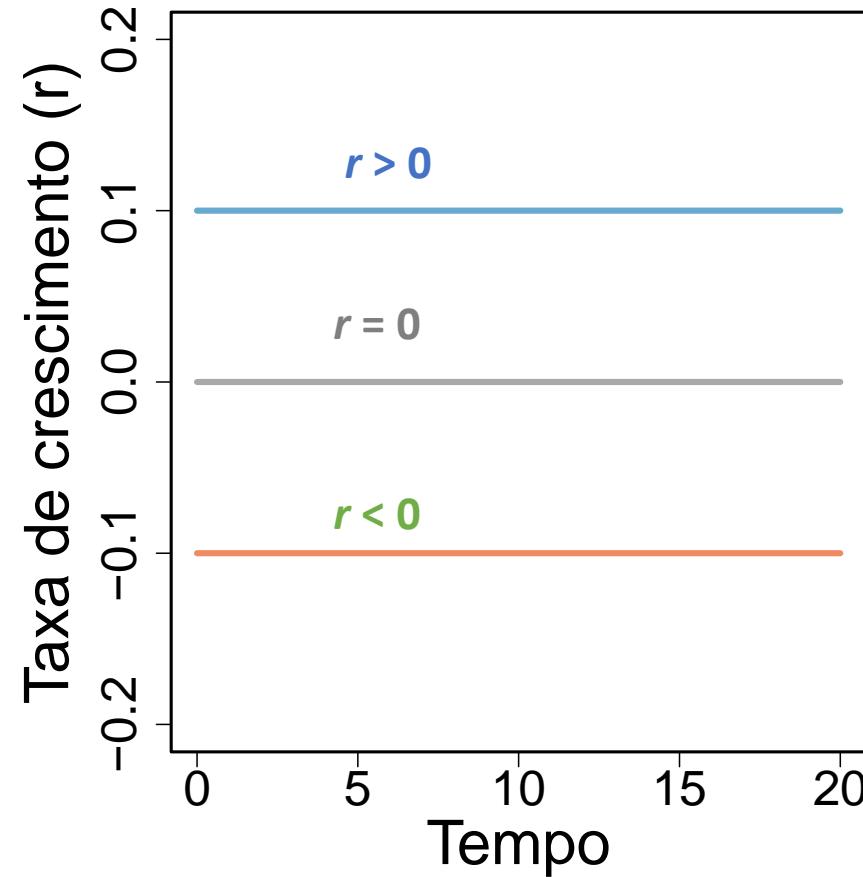
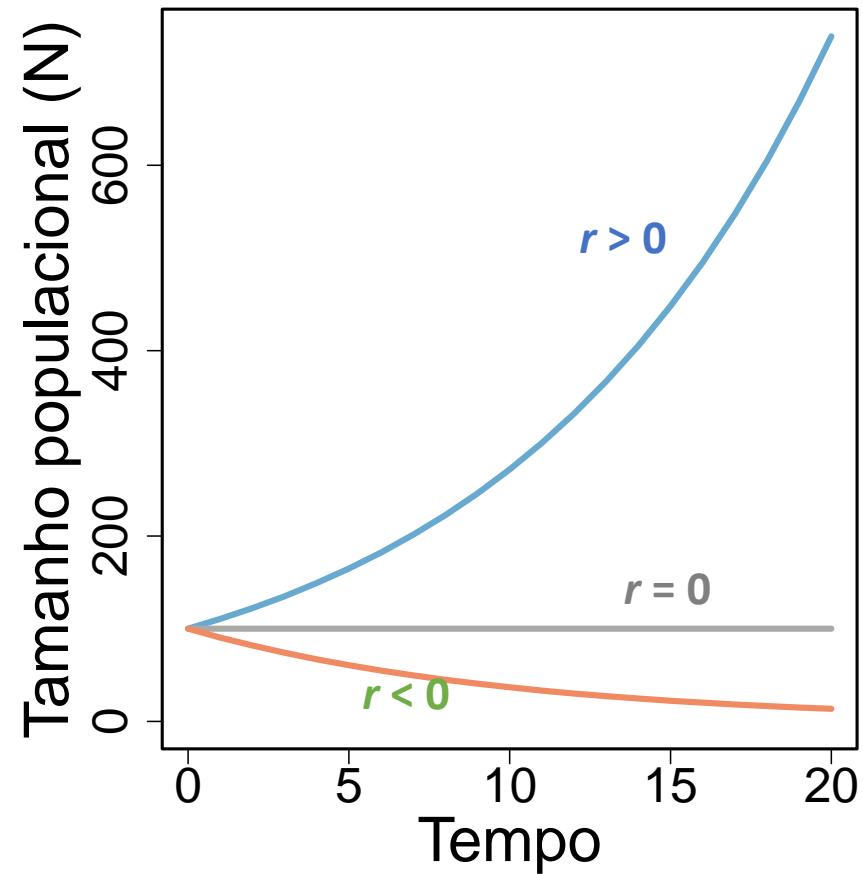


$r > 0 \rightarrow b > m \rightarrow$ População cresce

$r = 0 \rightarrow b = m \rightarrow$ População não muda

$r < 0 \rightarrow b < m \rightarrow$ População diminui

Sob taxa positiva constante, crescimento é exponencial



O modelo exponencial é o modelo mais simples de crescimento populacional

Será que um modelo tão simples permite prever tamanho populacional em situação real?

Em 1950 população global era 2,5 bilhões de pessoas e taxa de crescimento $r = 0,017$

- Se considerarmos 1950, $t=0$ qual seria a população prevista para 2022?

Em 1950 população global era 2,5 bilhões de pessoas e taxa de crescimento $r = 0,017$

- Se considerarmos 1950, $t = 0$ qual seria a população prevista para 2022?

$$N_t = e^{rt}N_0$$

$$t = 2022 - 1950 = 72$$

$$N_{2022} = e^{0,017 \times 72} \times 2,5 \times 10^9$$

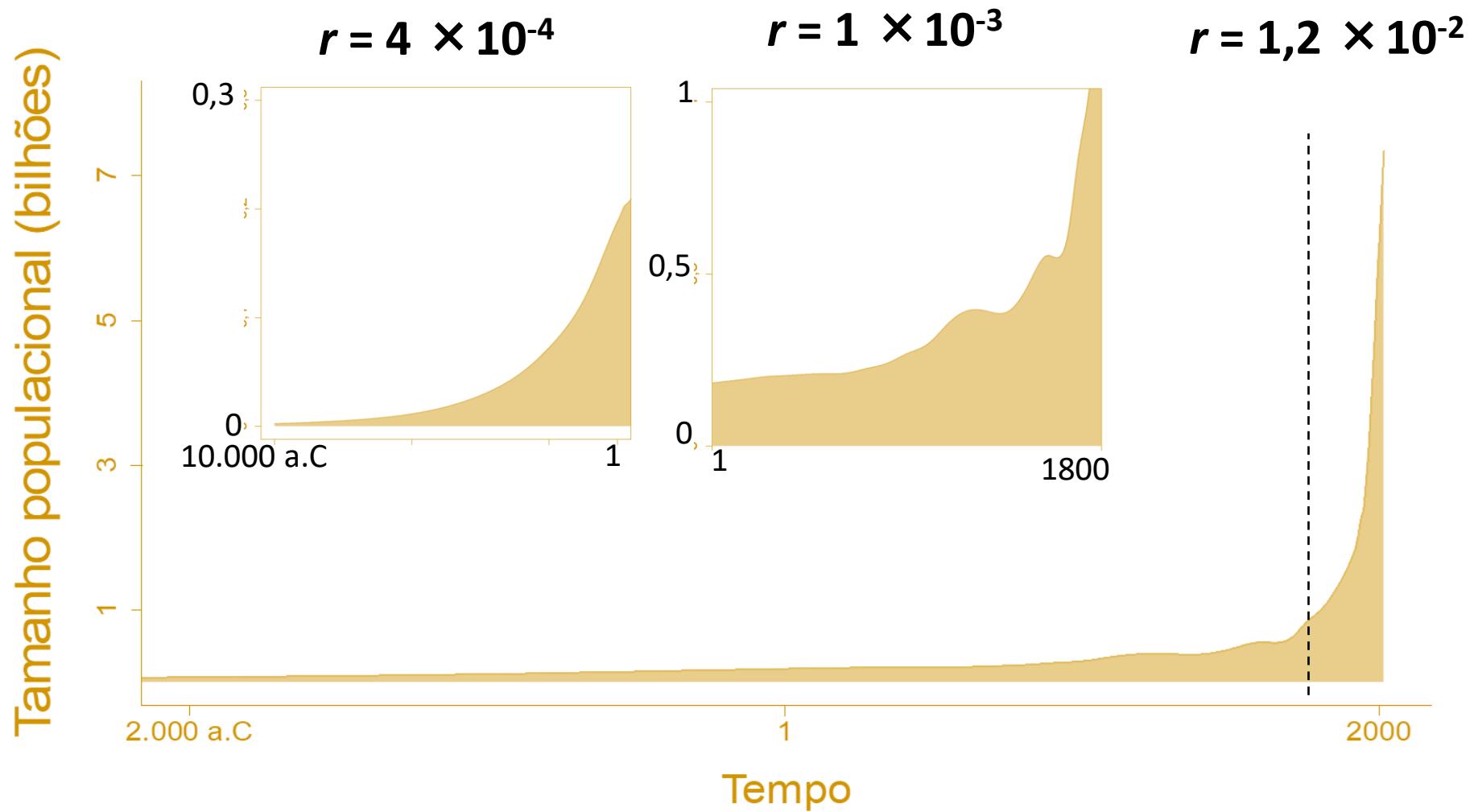
$$r = 0,017$$

$$N_0 = 2,5 \times 10^9$$

$$N_{2022} = 8,5 \times 10^9$$

População atual:
 $7,95 \times 10^9$

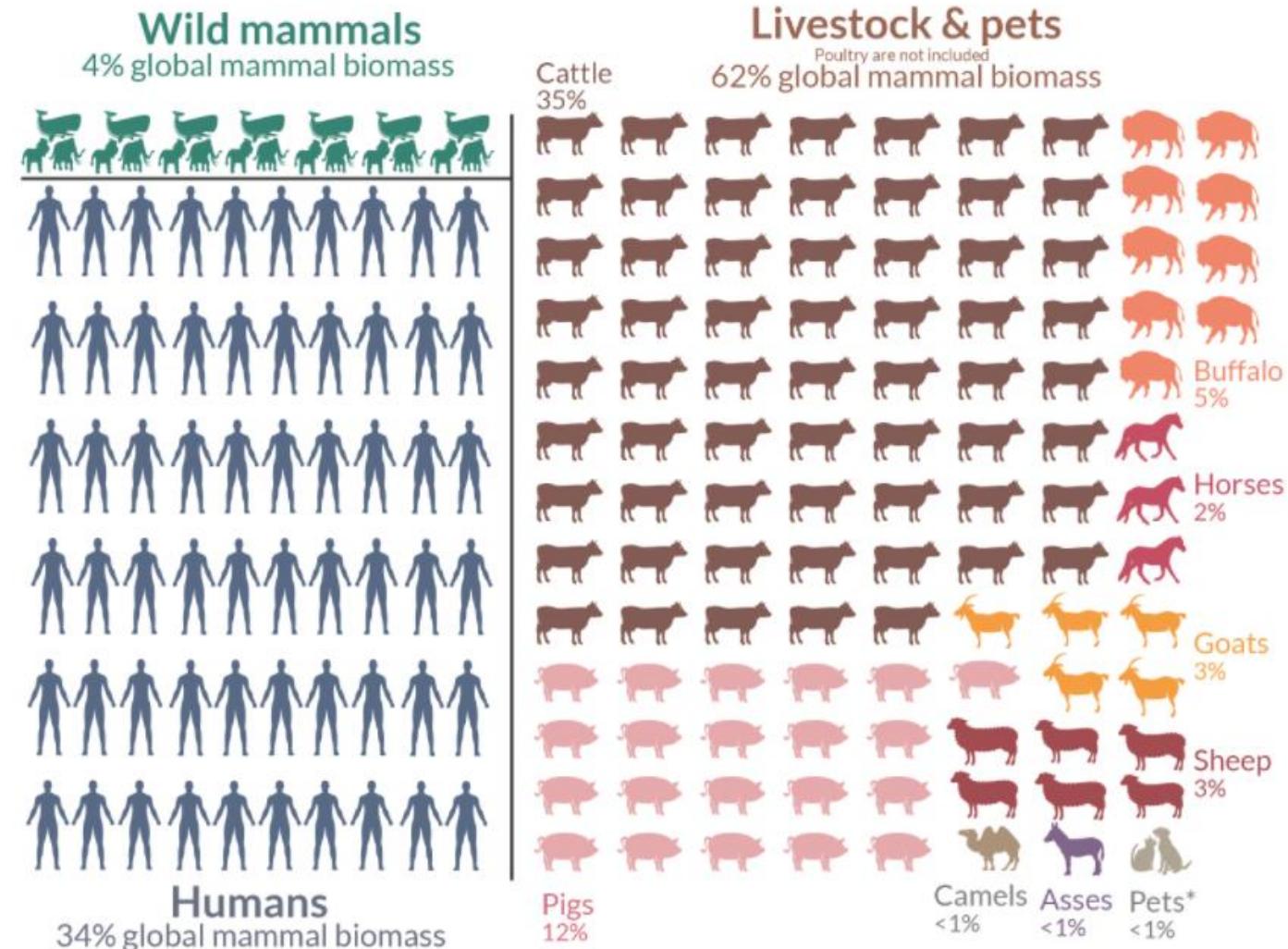
População humana cresceu com taxas positivas e que aumentaram com o tempo ao longo dos últimos 10 mil anos



Distribution of mammals on Earth

Our World
in Data

Mammal biomass is shown for the year 2015.  or  or  = 1 million tonnes carbon (C)



*Bar-On et al. (2018) provide estimates of livestock only, without estimates of mammalian pets (e.g. cats and dogs).
 Pets have been added as an additional category based on calculations from estimates of the number of pets globally and average biomass.
 Data source: Bar-On et al. (2018). The biomass distribution on Earth: Images sourced from the Noun Project.

OurWorldInData.org - Research and data to make progress against the world's largest problems. Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie.

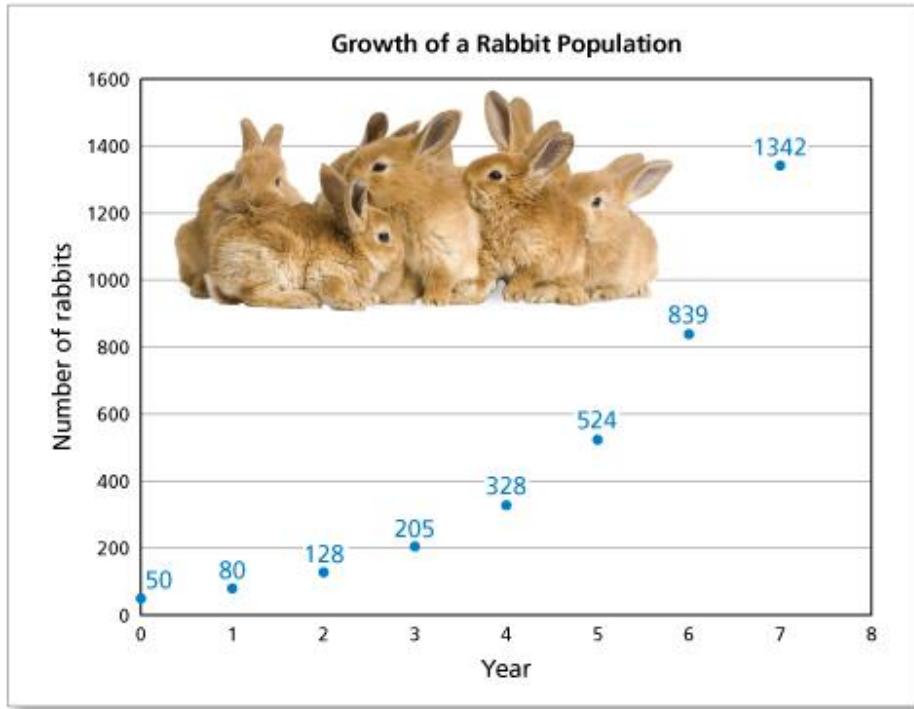
Esse tipo de **crescimento ilimitado** é
encontrado em populações de outros
organismos?

Qualquer população tem potencial para crescer indefinidamente
(Princípio de Malthus)

O crescimento ilimitado é o referencial inercial na ecologia
de populações

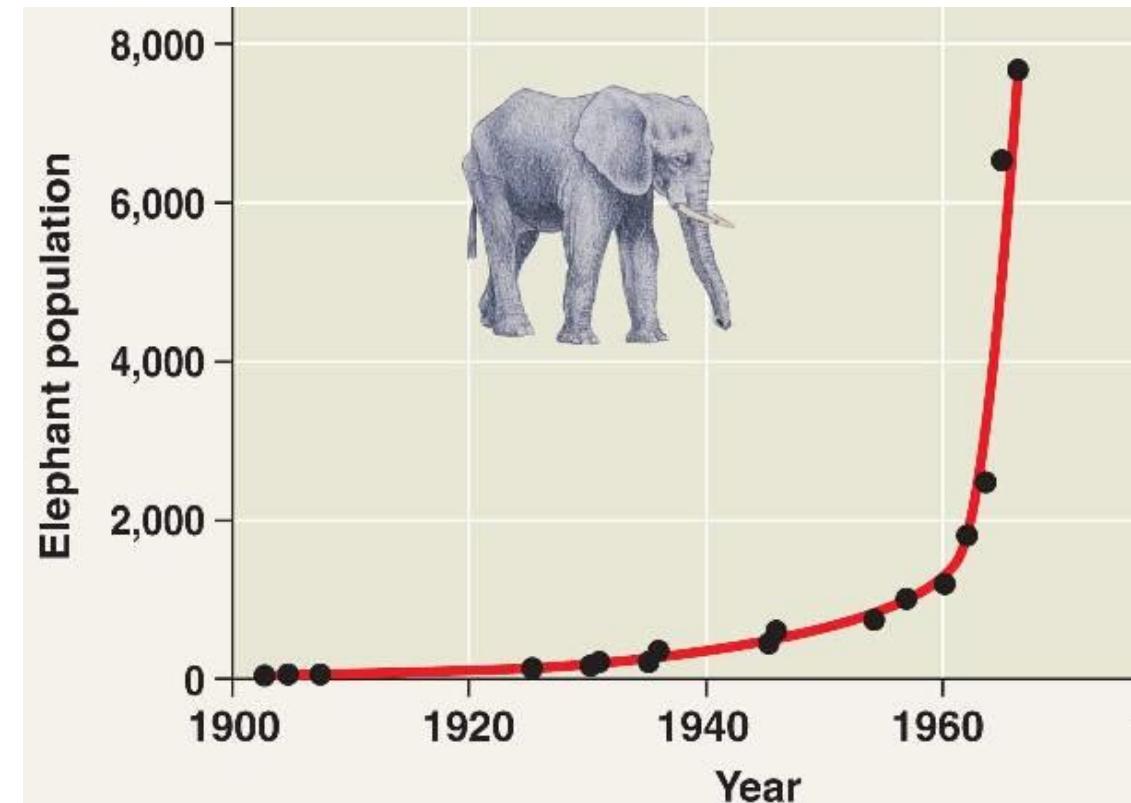
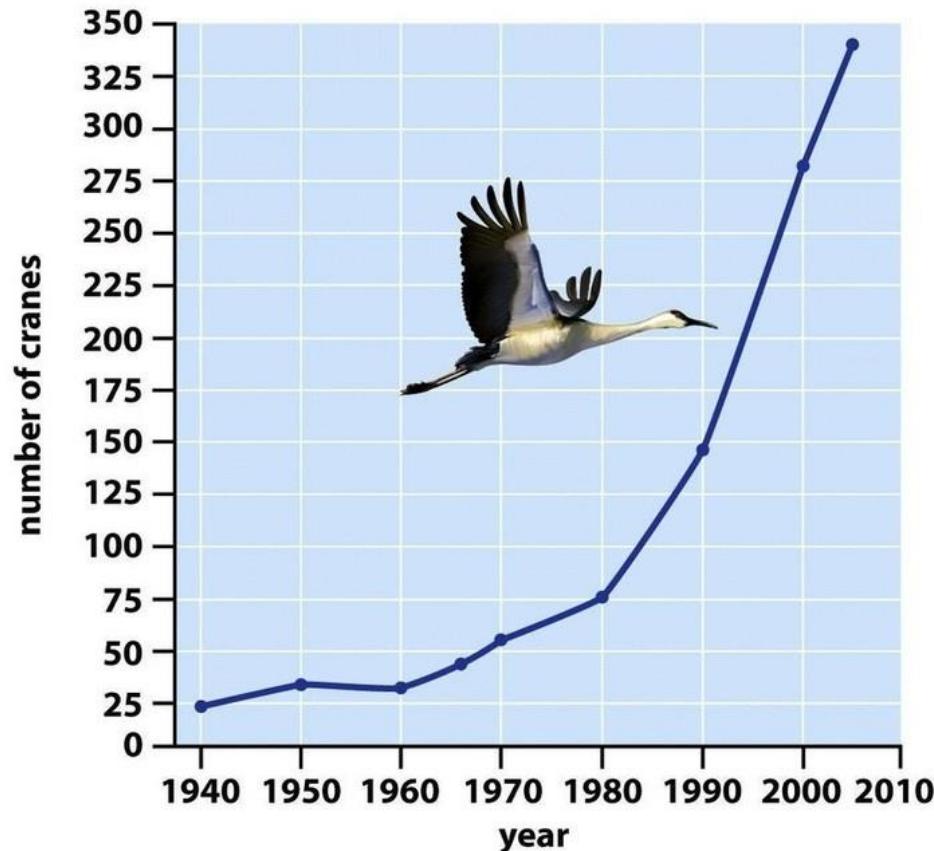


Populações têm **crescimento ilimitado** após colonizar uma nova região rica em recursos e pobre em inimigos naturais ($b > m$)



Coelhos na Austrália:
1788 – 24 coelhos
1920 – 10 bilhões

Na ausência de forças que controlem crescimento populações crescem “exponencialmente”

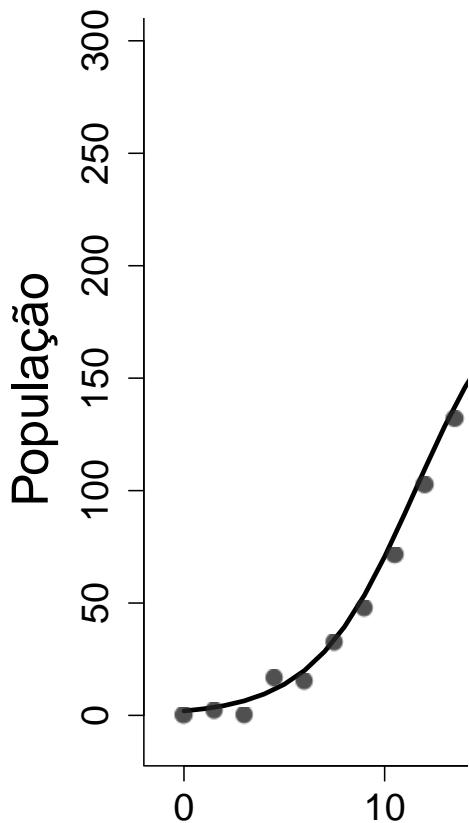


Dado tempo suficiente populações acabam sendo limitadas por um ou mais fatores

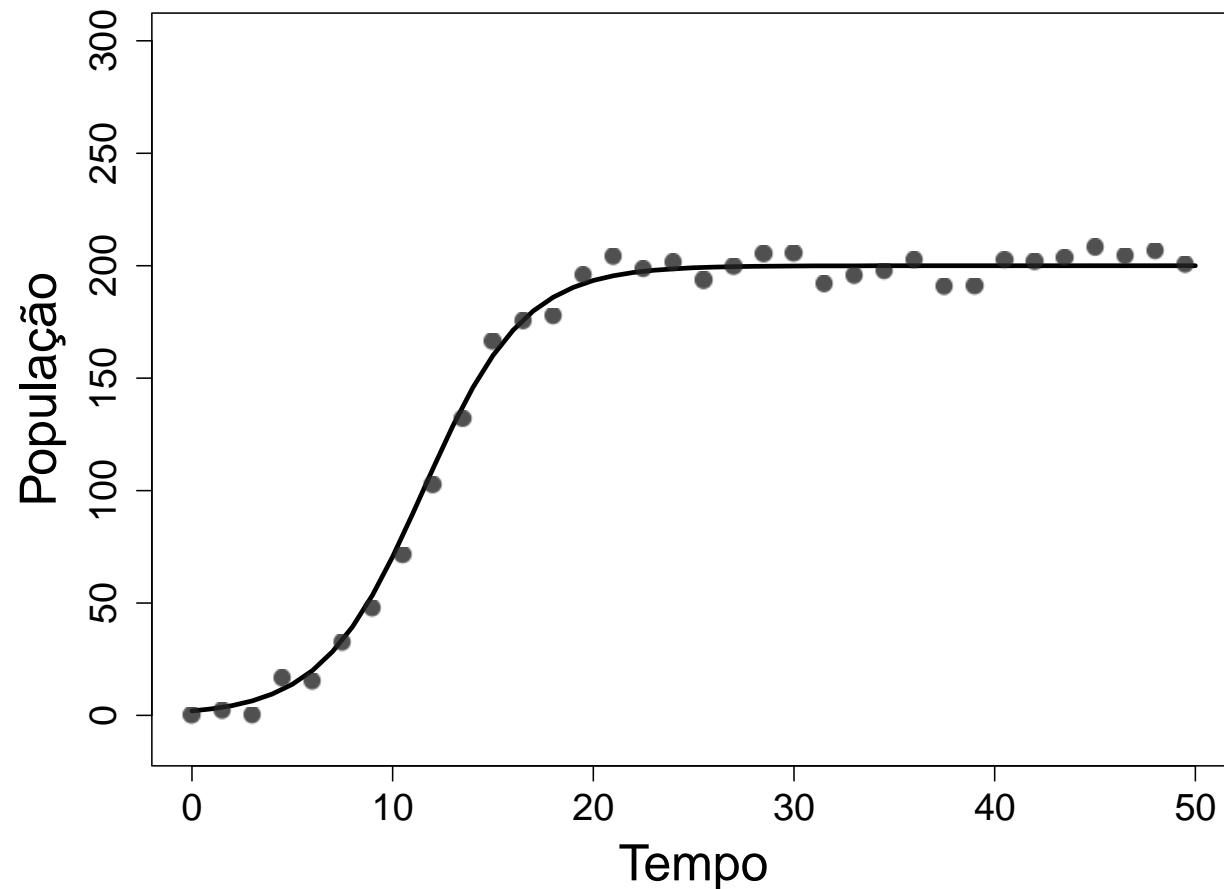
- Disponibilidade de recursos
- Competidores
- Predadores
- Patógenos



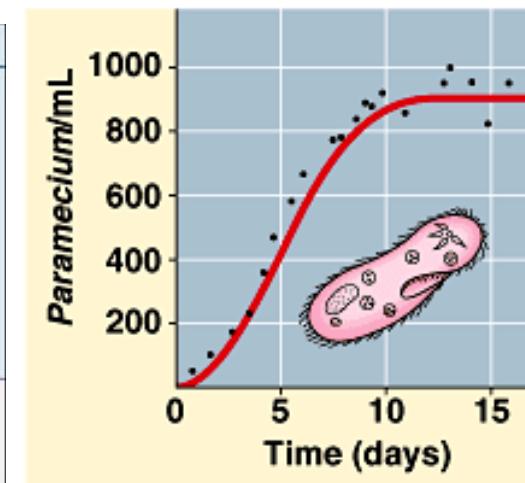
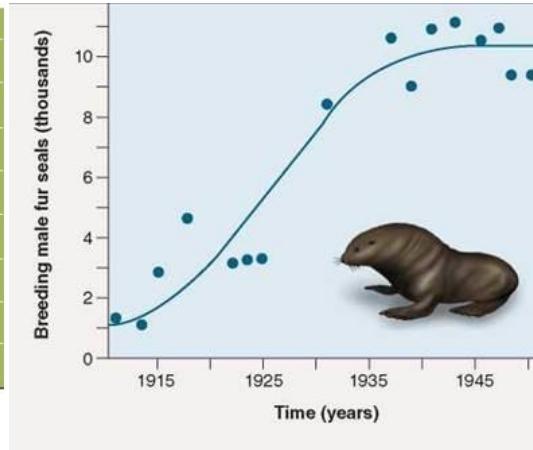
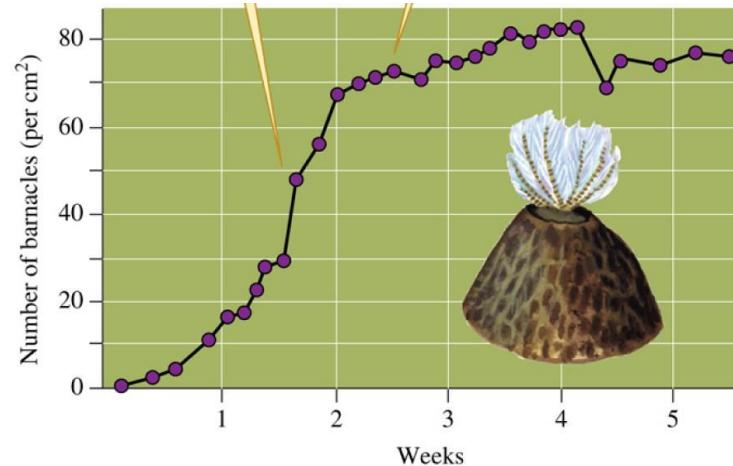
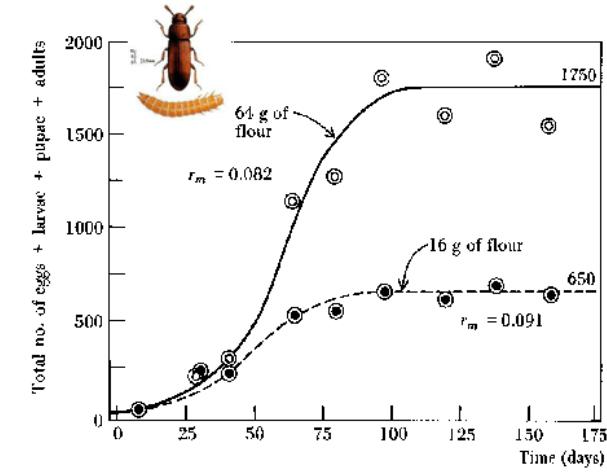
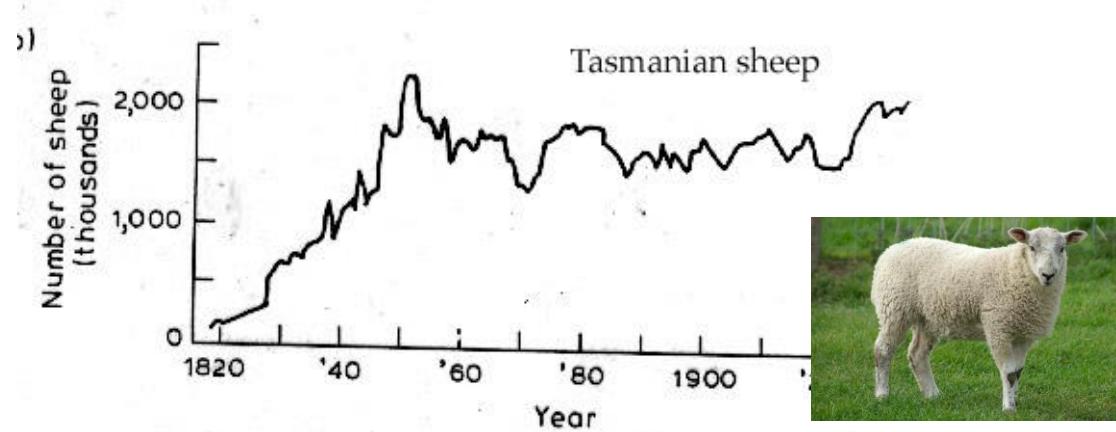
Mesmo que o crescimento inicial pareça exponencial



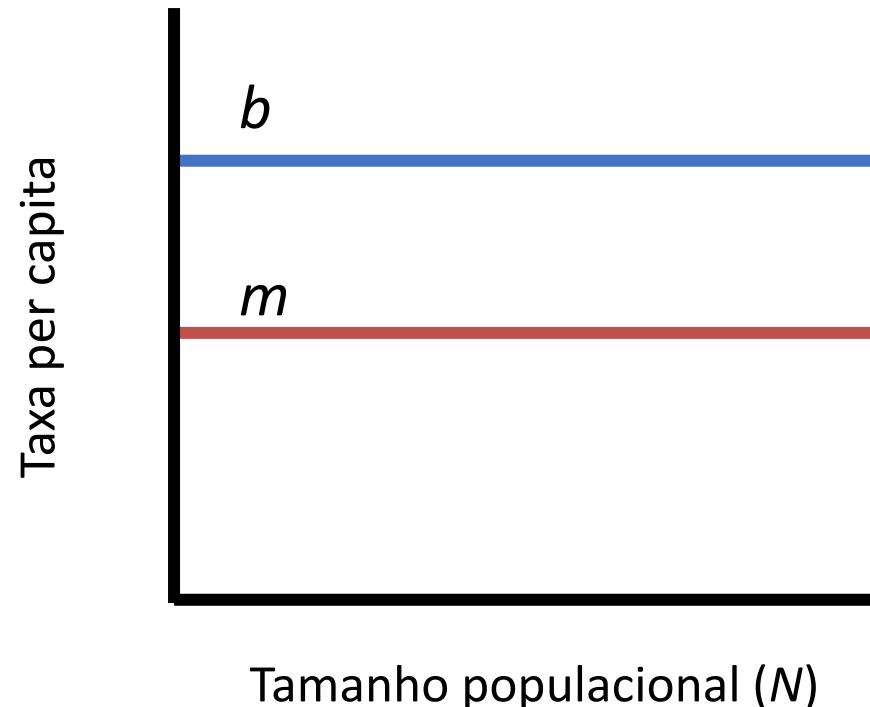
Mesmo que o crescimento inicial pareça exponencial, populações tendem a estabilizar-se com o tempo



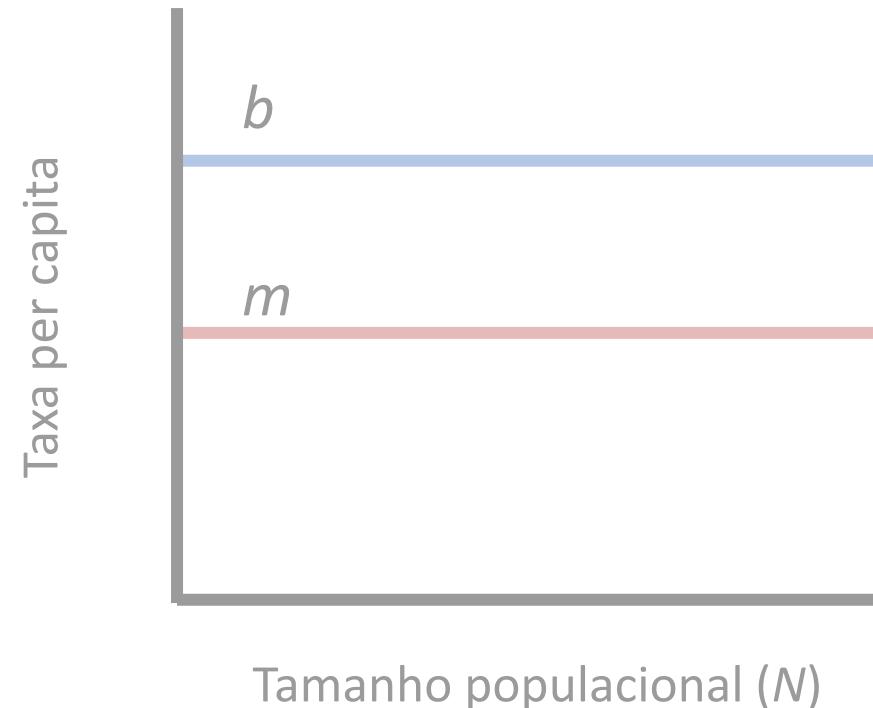
Mesmo que o crescimento inicial pareça exponencial, populações tendem a estabilizar-se com o tempo



No modelo de crescimento ilimitado as taxas de nascimento (b) e morte (m) são constantes



No modelo de crescimento ilimitado as **taxas** de nascimento (b) e morte (m) são **constantes**

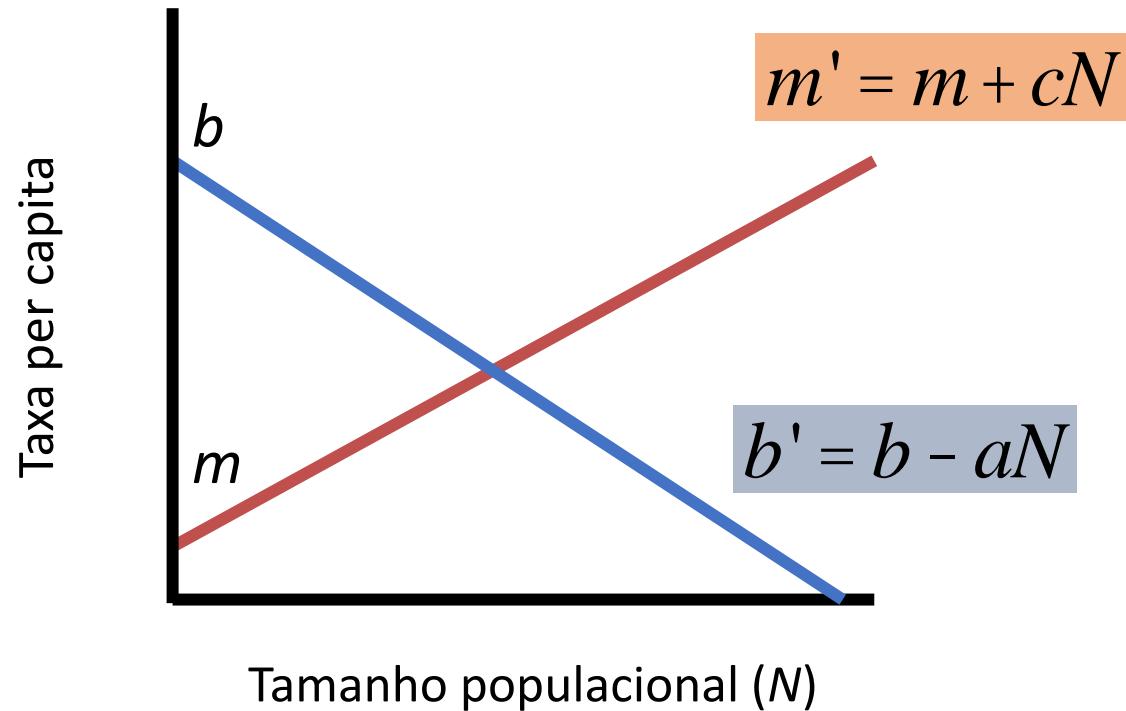


À medida que população cresce
disponibilidade de recursos
diminui: alimento, espaço,
nutrientes



Suponha que à medida que a população cresce a taxa de crescimento diminui

Taxa de nascimento diminui e/ou de mortalidade aumenta



Suponha que à medida que a população cresce a taxa de crescimento diminui

$$\frac{dN}{dt} = (b' - m')N$$

$$m' = m + cN$$

$$b' = b - aN$$

$$\frac{dN}{dt} = [(b - aN) - (m + cN)]N$$

$$\frac{dN}{dt} = [(b - m) - (a + c)N]N$$

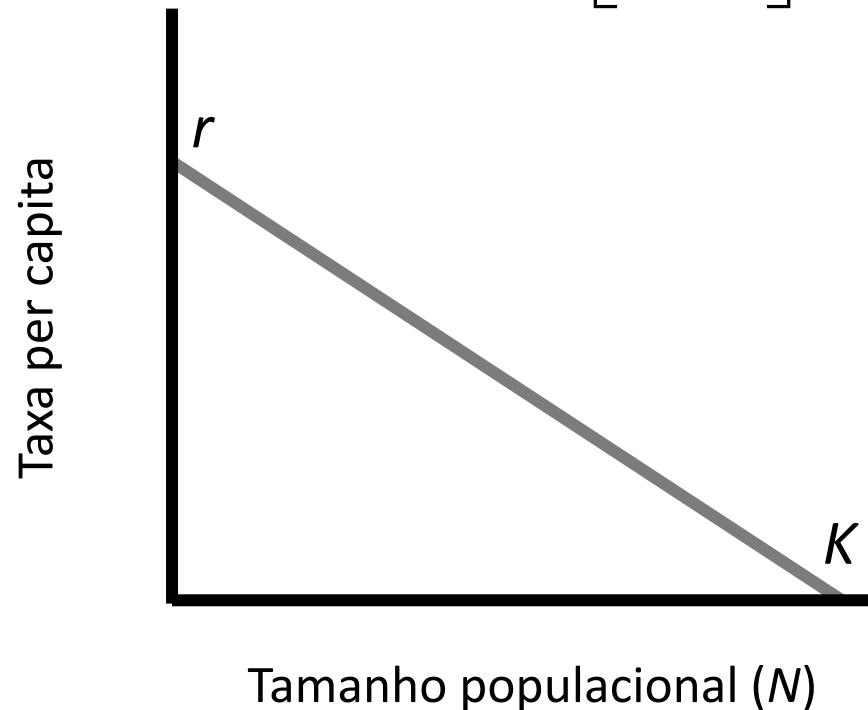
$$\frac{dN}{dt} = [r - (a + c)N]N$$

$$\frac{dN}{dt} = rN \left[1 - \frac{N}{K} \right]$$

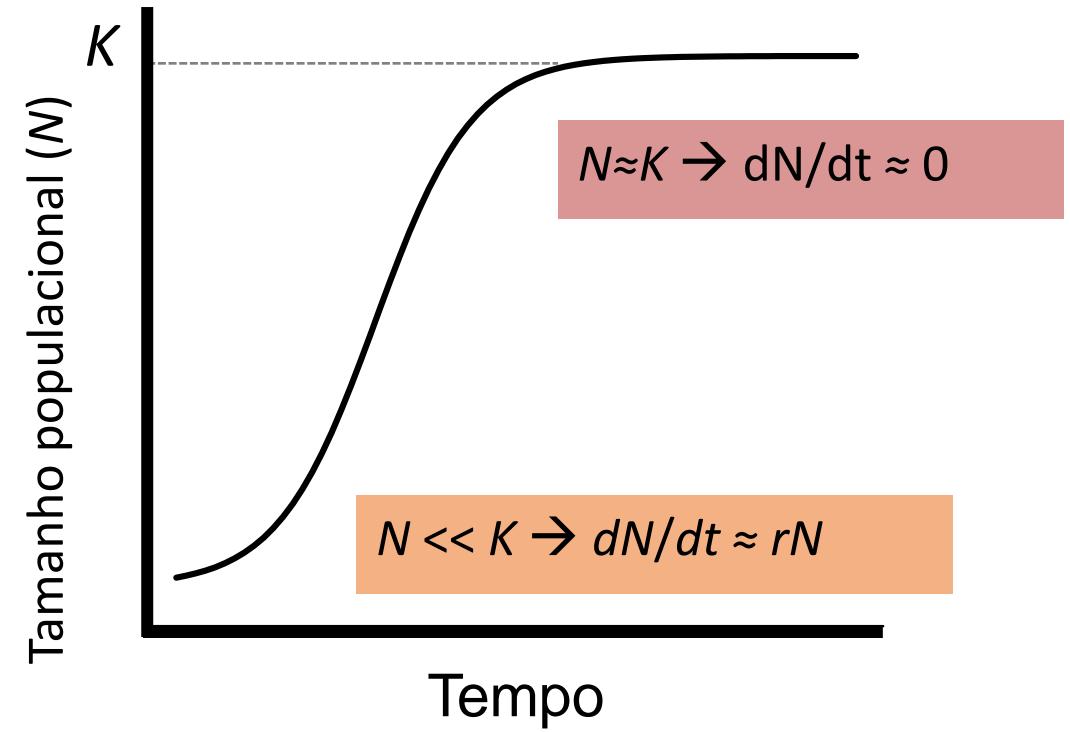
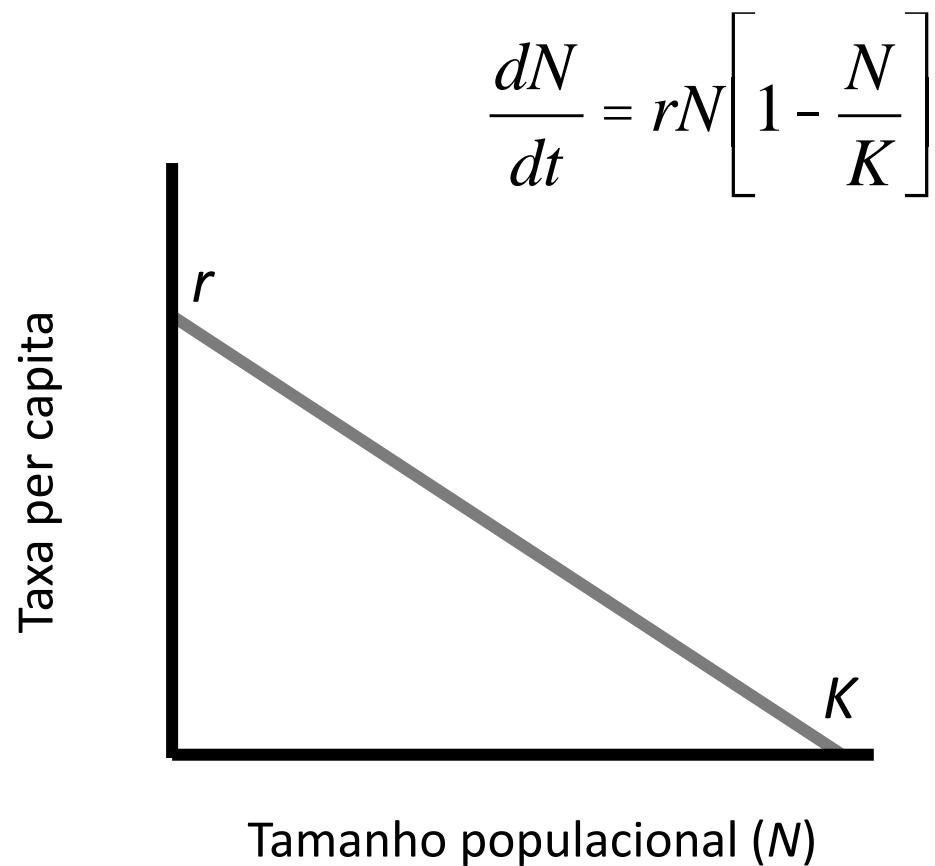
No modelo logístico a taxa de crescimento é uma função linear decrescente de N

Se a taxa de crescimento é uma função decrescente do tamanho populacional temos um **modelo logístico dependente de densidade**

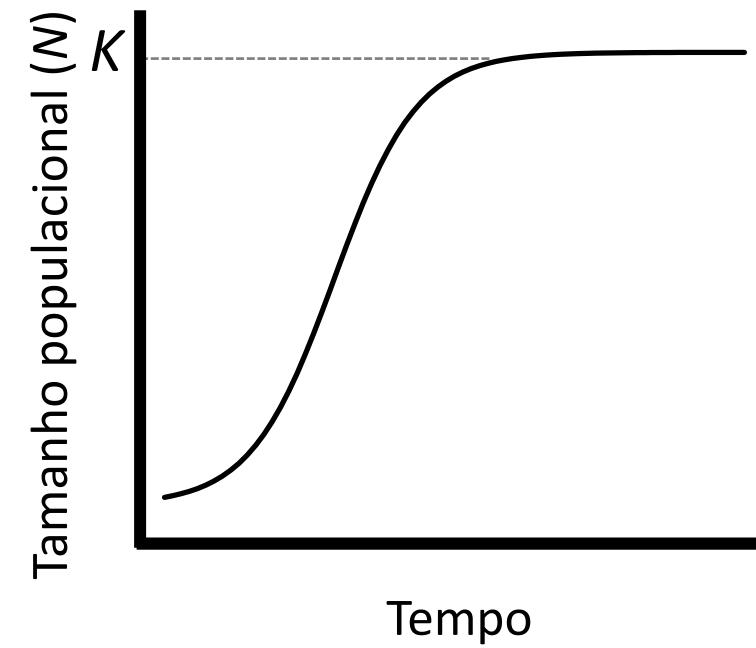
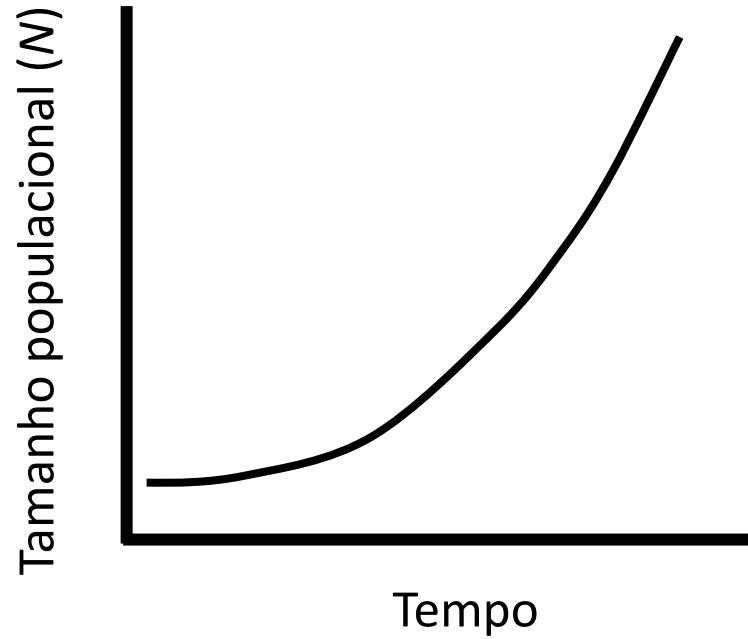
$$\frac{dN}{dt} = rN \left[1 - \frac{N}{K} \right]$$



A população cresce até um limiar K , a **capacidade suporte**, que pode ser interpretada como o máximo de indivíduos possível em um local

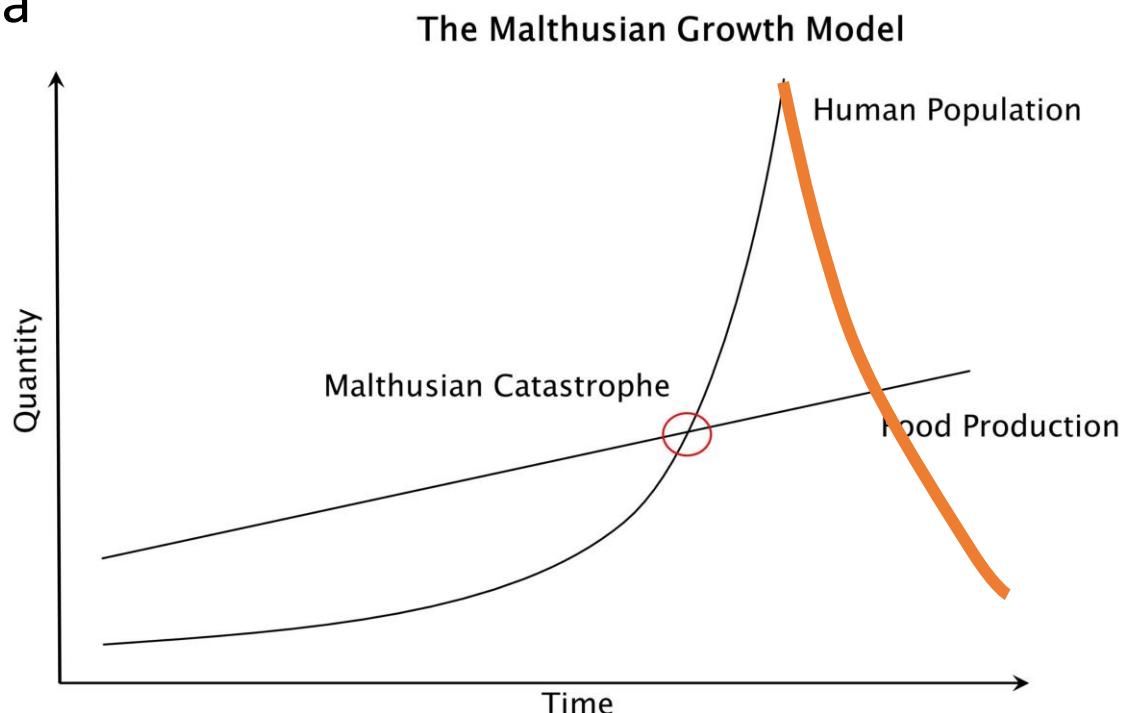


No modelo exponencial o crescimento é **independente de densidade**;
no modelo logístico o crescimento é **dependente de densidade**



Uma das conclusões de Malthus foi que crescimento independente de densidade era **insustentável**

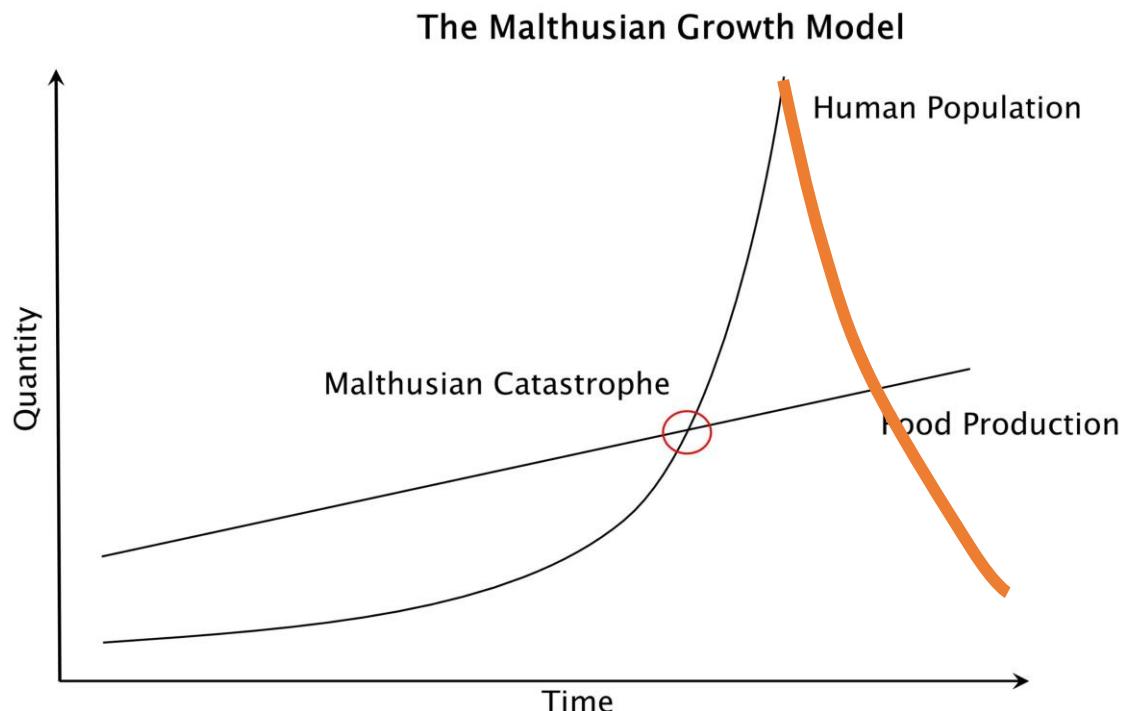
Falta de alimento geraria fome e conflitos: castástrofe Malthusiana



Thomas R Malthus
(1766-1834)

Uma das conclusões de Malthus foi que crescimento independente de densidade era **insustentável**

Como a população humana continua crescendo?



Thomas R Malthus
(1766-1834)

Agricultura alterou a capacidade suporte do ambiente em relação à população humana

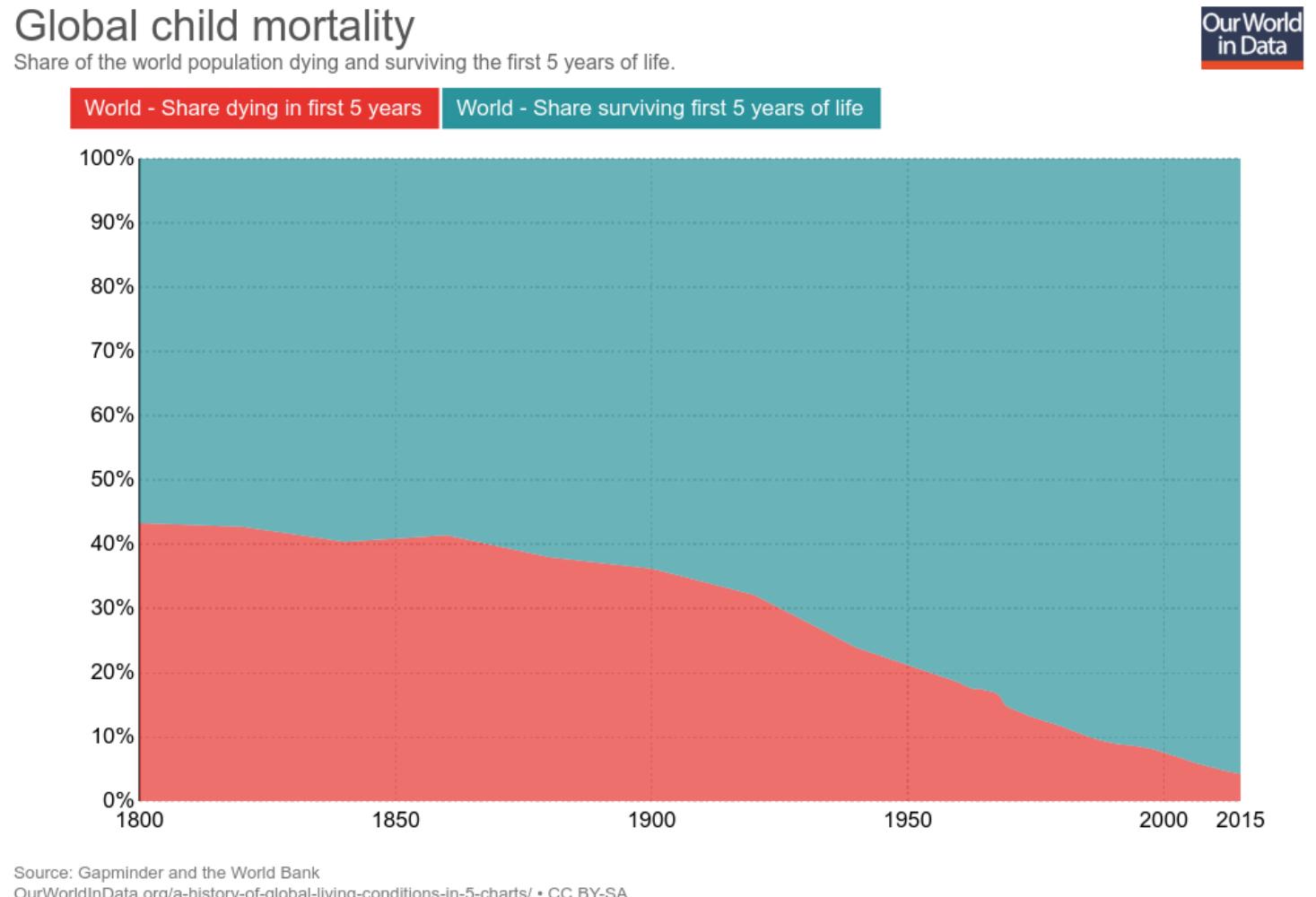
Controle da disponibilidade de alimento desacoplou a dinâmica populacional da dinâmica dos recursos



Revolução agrícolas e a revolução industrial aumentaram disponibilidade de alimento, acesso à água tratada e saneamento, proporcionaram avanços na medicina

- Redução na mortalidade ($< m$)

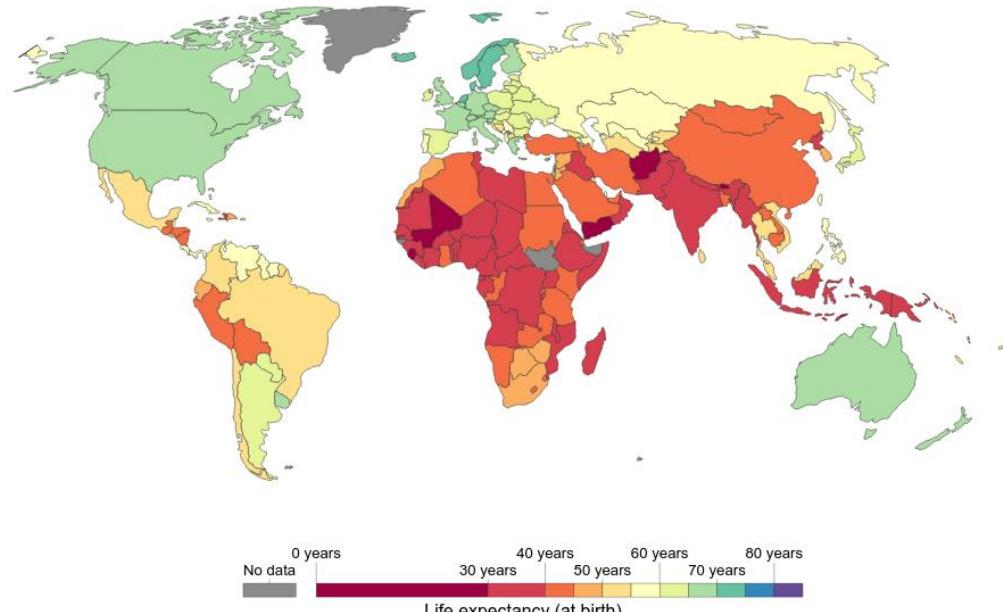
*Mortalidade infantil:
Proporção de mortes antes dos 5 anos de idade



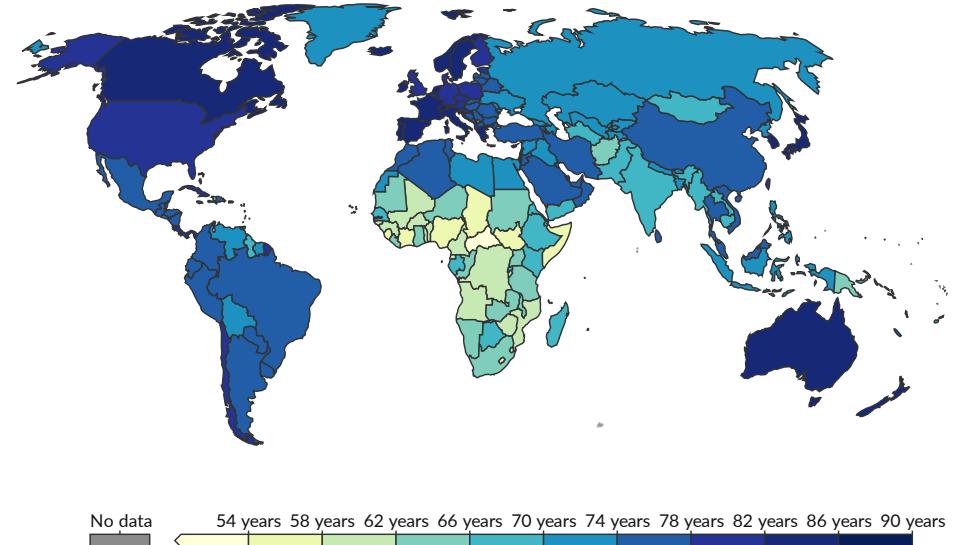
Avanços tecnológicos aumentaram expectativa de vida

- Média subiu de 40 para 72,6 anos*

1950



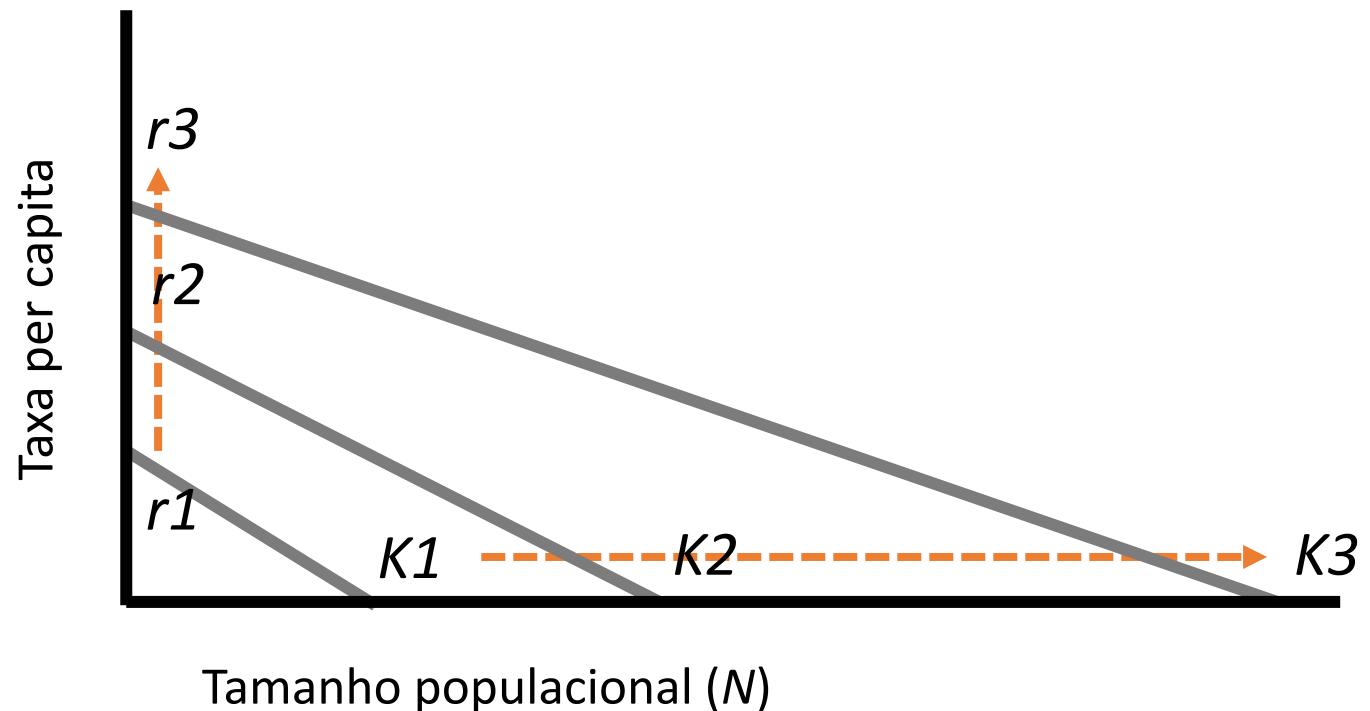
2019



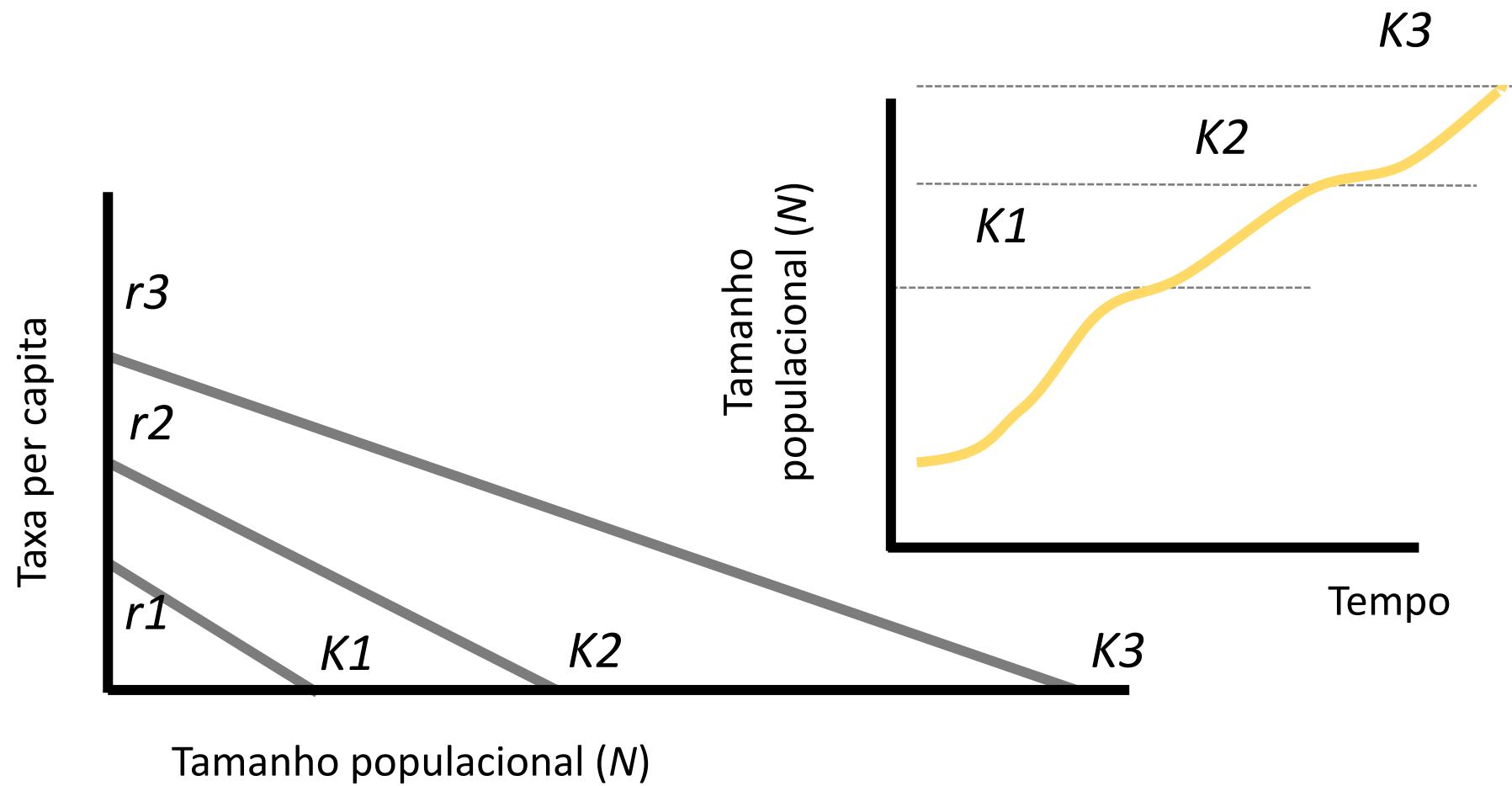
***Expectativa de vida:** Idade média esperada que um recém nascido atinja

Tecnologia altera o regime dinâmico da população humana

- Aumento da produção de alimentos desloca capacidade suporte
- Medicina, saneamento e distribuição de riqueza diminuem mortalidade

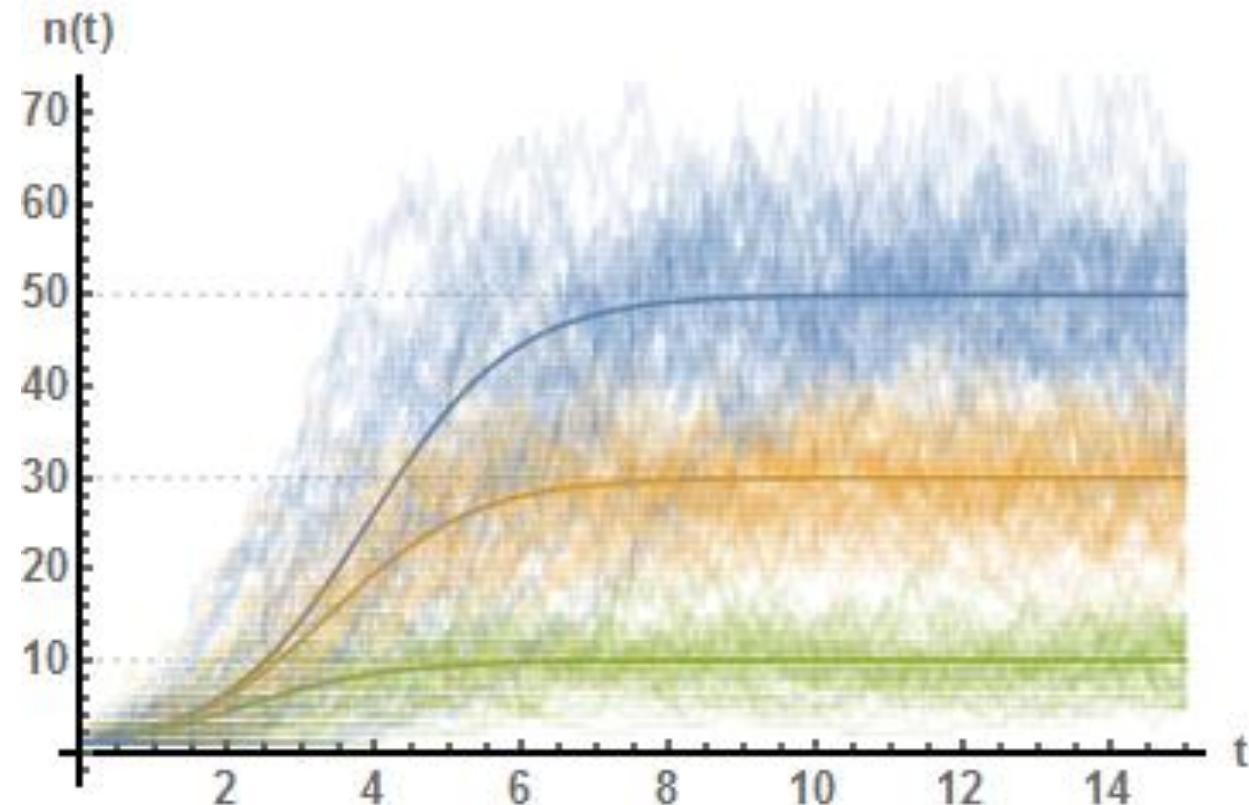


Tecnologia altera o regime dinâmico da população humana



Os modelos de crescimento ilimitado e logístico são simplificações dos fenômenos que observamos

- Modelos mais complexos e mais acurados podem ser gerados a partir dos modelos básicos (e.g. modelos estocásticos)



I. Uma breve história da população humana

II. Modelos de dinâmica populacional

III. Crescimento atual e projeções futuras

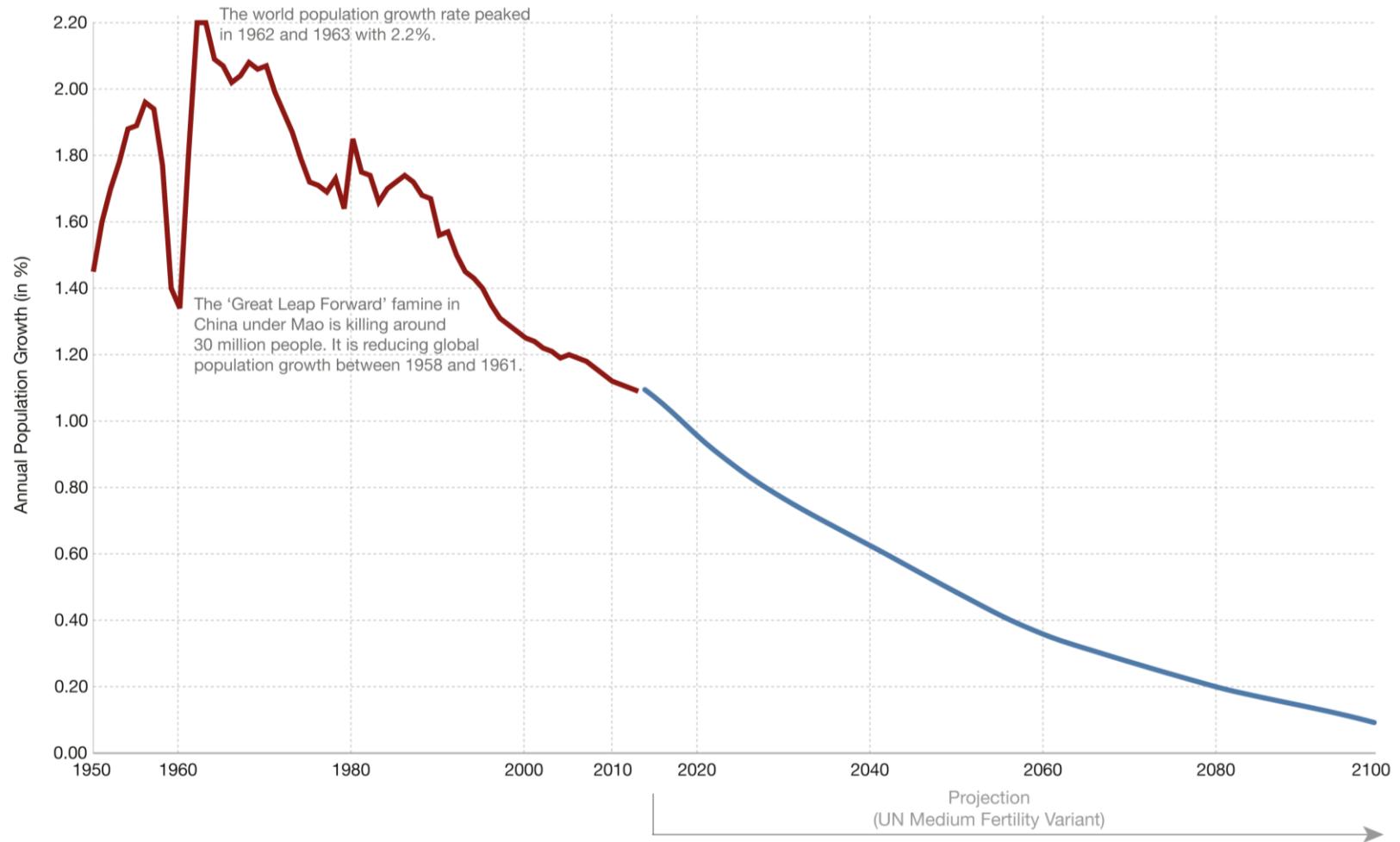
Apesar da população mundial continuar crescendo, a taxa de crescimento tem reduzido desde 1980

- Crescimento de 2,2% ao ano para 1,2% ao ano
- 1% ao ano = 75 milhões de pessoas a mais por ano



$$*\text{Taxa } (\% \text{ por } t) = (e^r - 1)100$$

Previsão é que a taxa de crescimento continue em declínio

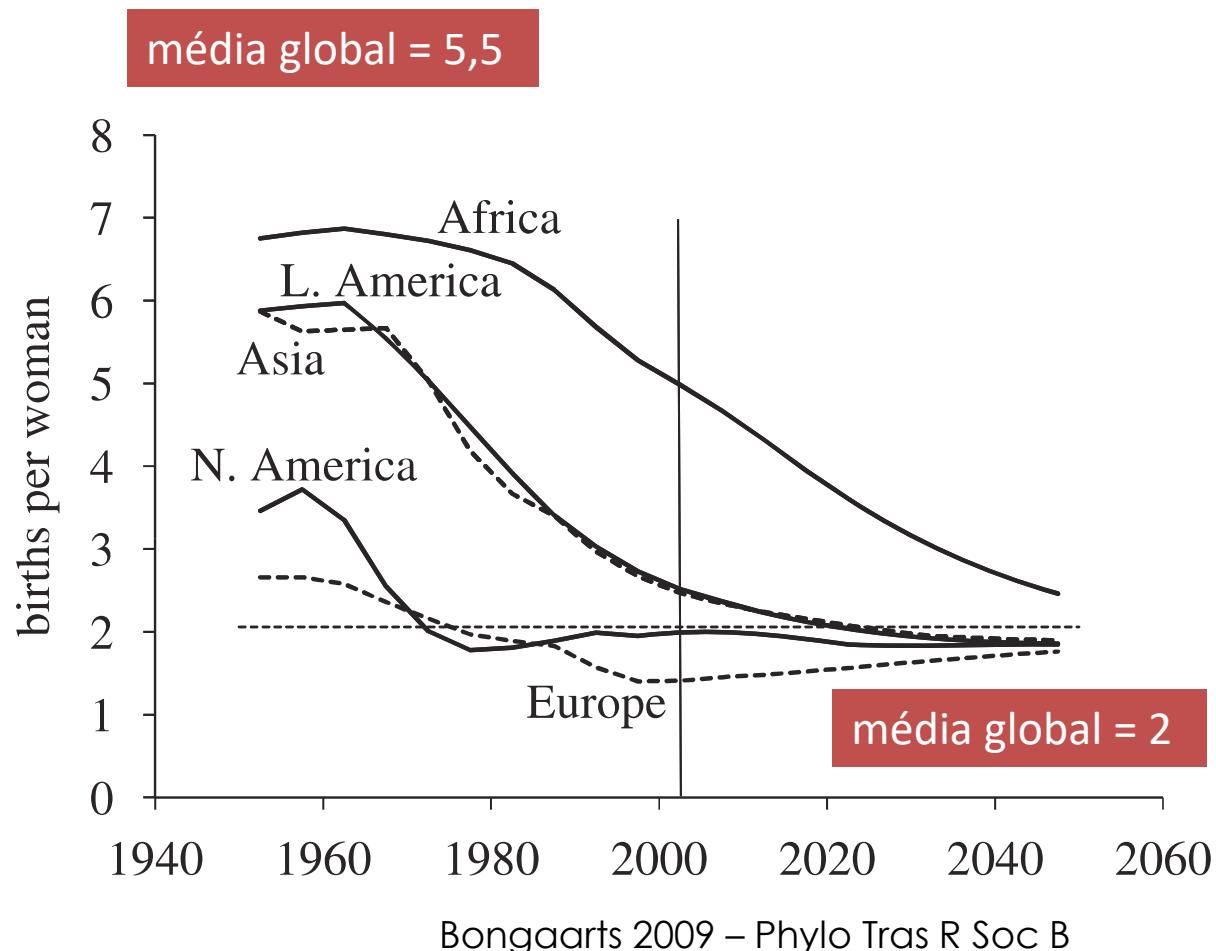


Data sources: Observations: US Census Bureau & Projections: United Nations Population Division (Medium Variant (2015 revision).

The interactive data visualization is available at OurWorldInData.org. There you find the raw data and more visualizations on this topic.

Licensed under CC-BY-SA by the author Max Roser.

Desaceleração se deve principalmente à diminuição na fertilidade



*Fertilidade: Número médio de filhos por mulher durante a vida

Bongaarts 2009 – Phylo Tras R Soc B

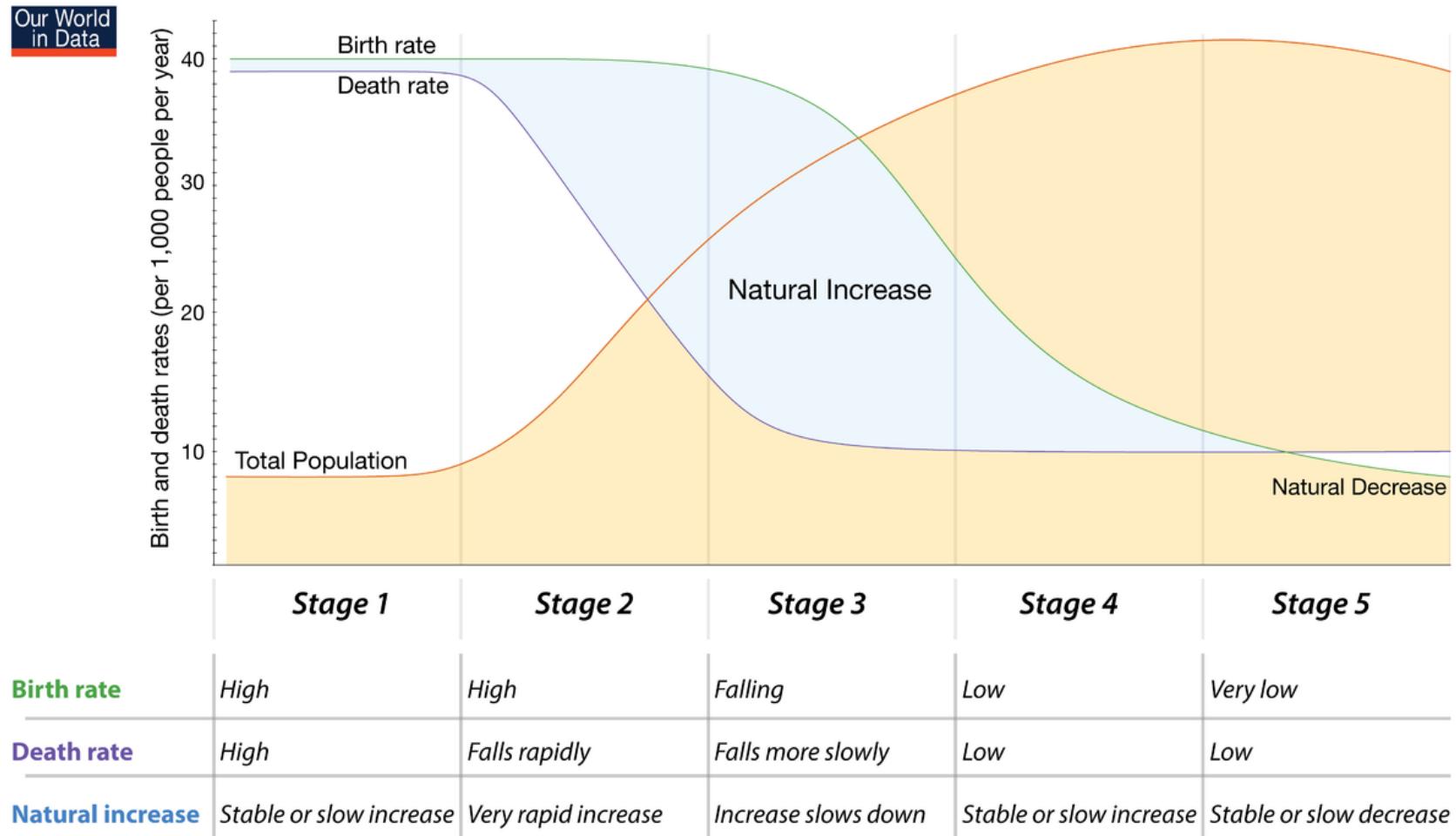
Redução na fertilidade está relacionada à queda na mortalidade e planejamento familiar

Causas:

- Alta mortalidade infantil leva a maior fertilidade (compensação)
- Educação dos pais e alto investimento nos (poucos) filhos

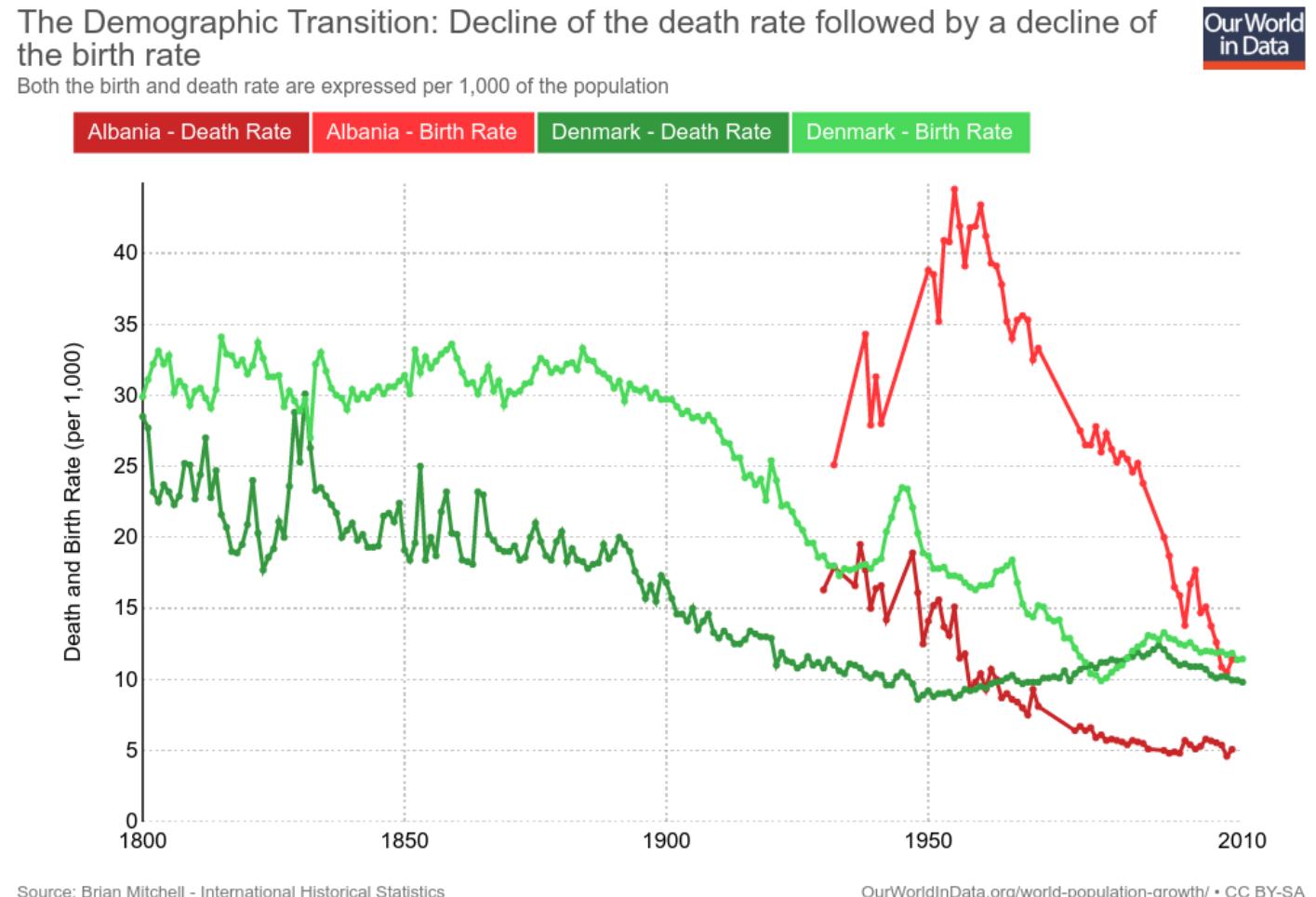


Revolução industrial marca o início da transição demográfica

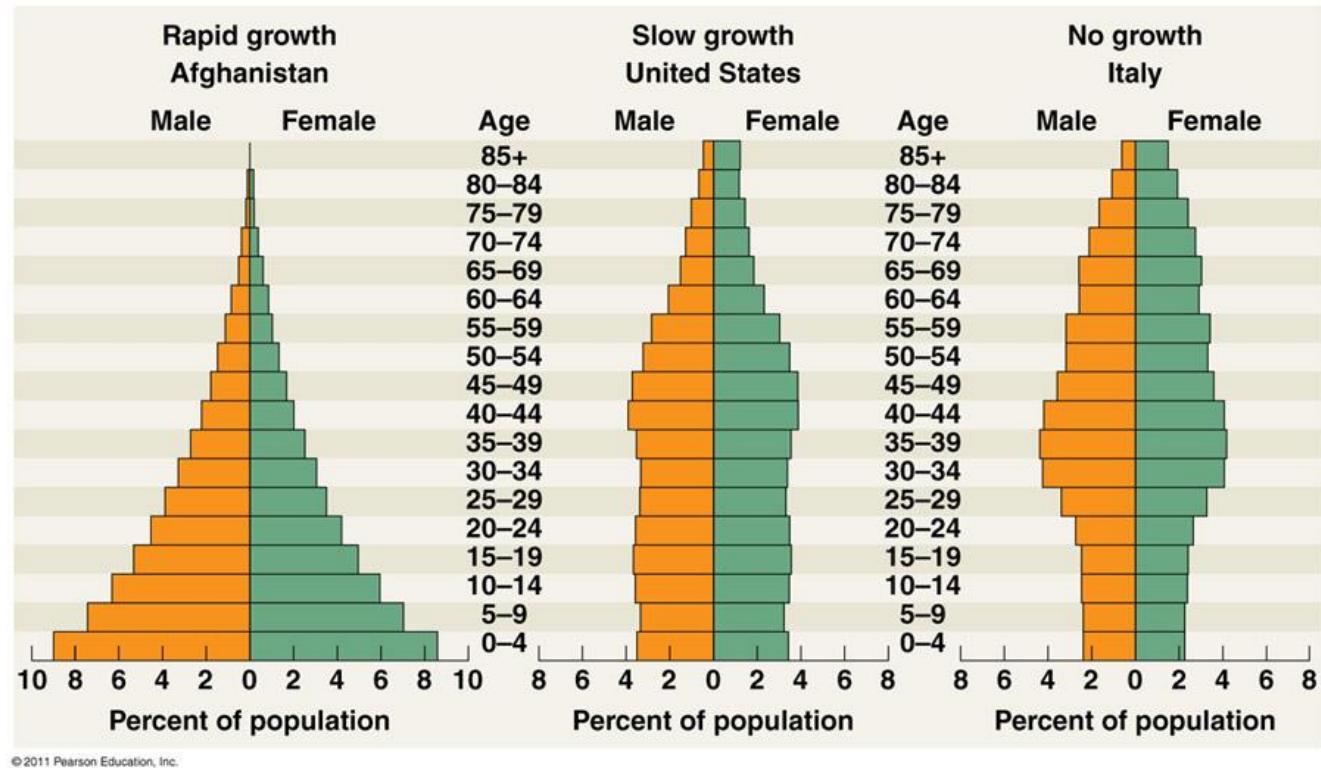


The author Max Roser licensed this visualisation under a CC BY-SA license. You are welcome to share but please refer to its source where you find more information: <http://www.OurWorldInData.org/data/population-growth-vital-statistics/world-population-growth>

Diferentes países estão em diferentes fases da transição demográfica

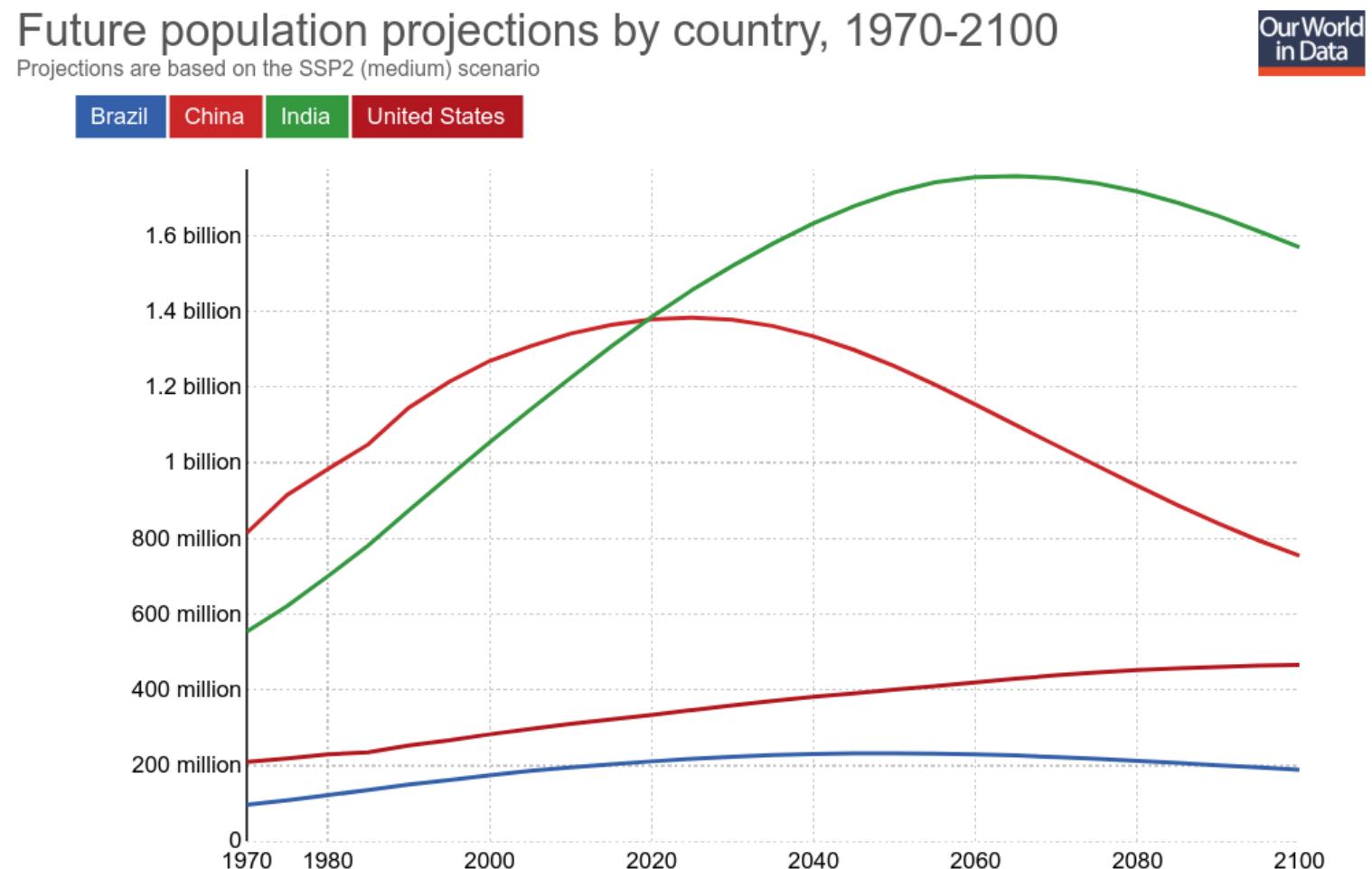


A transição demográfica gera uma mudança na estrutura etária da população



Maior parte da população em idade reprodutiva ($b >> m$) → Maior parte da população idosa ($b = m$)

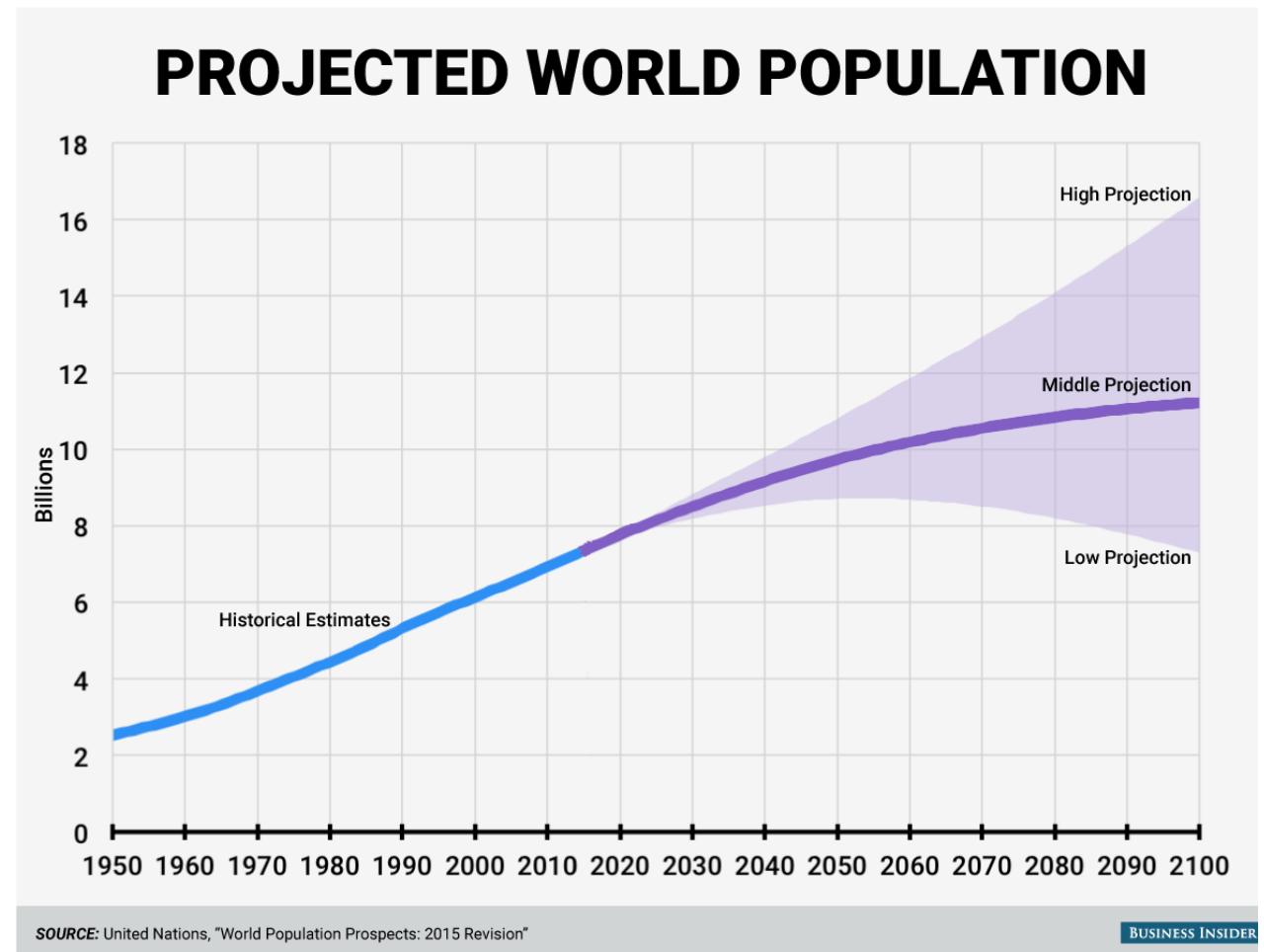
Alguns países já estão próximos da estabilidade populacional



Source: International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA): World Population and Human Capital in the Twenty-First Century (Population)
OurWorldInData.org/future-world-population-growth/ • CC BY-SA

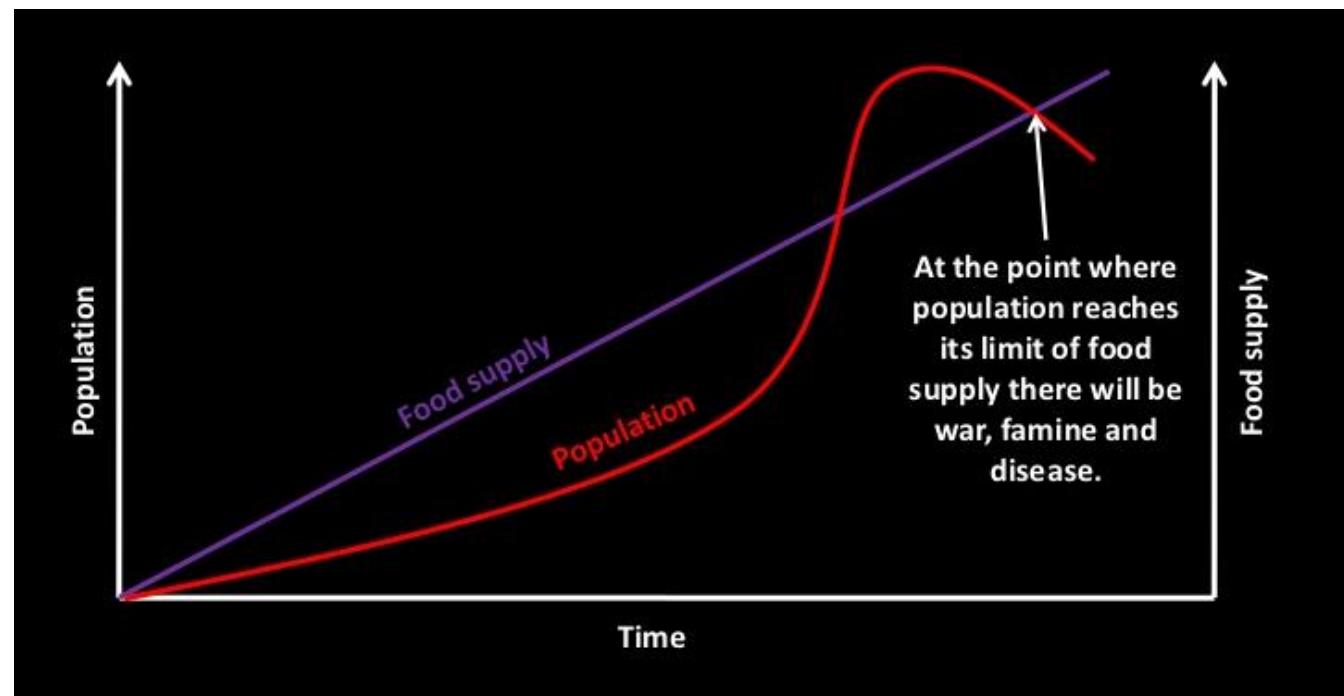
Mesmo com a desaceleração a população mundial deve continuar crescendo

- População deve alcançar entre 9 e 11 bilhões em 2050
- Projeções dependem das estimativa de fertilidade



População humana não entrou em colapso como previsto por Malthus

- Malthus não foi capaz de prever o efeito da tecnologia na dinâmica populacional



Será que a tecnologia será sempre capaz de suprir as demandas? O que fazer quando o espaço se torna o recurso limitante?



Como **sustentar** uma população crescente e
garantir qualidade de vida do indivíduo?

