

Os desafios económicos das alterações climáticas

Miguel Rocha de Sousa

Departamento de Economia, CICP e CEFAGE, Universidade de Évora, Portugal;
IPSA's Chair RC 35 Technology and Development, Toronto;
SASE, Society for Advancement of Socio-Economics, Germany;
SEDES e Ordem dos Economistas, Portugal.
mrsousa@uevora.pt

Alterações Climáticas:
Que desafios para as próximas décadas?
Sociedade de Geografia, Lisboa: Outubro 24, 2024

Estrutura

Motivação

Os dados

Experiências: os dados

Sustentabilidade: experiências

Novas visões

Incentivos

Conclusão

Agra

Estrutura

1 motivação

Estrutura

- 1 motivação
- 2 análise

Estrutura

- 1 motivação
- 2 análise
- 3 conclusão

O interesse pelo crescimento económico

- 1 O crescimento é mais importante (do que se julga)

O interesse pelo crescimento económico

- 1 O crescimento é mais importante (do que se julga)
 - “Será possível ter crescimento perpétuo?”

O interesse pelo crescimento económico

- 1 O crescimento é mais importante (do que se julga)
 - “Será possível ter crescimento perpétuo?”
 - “Senão, porquê?”

O interesse pelo crescimento económico

- 1 O crescimento é mais importante (do que se julga)
 - “Será possível ter crescimento perpétuo?”
 - “Senão, porquê?”
- 2 As explicações (teóricas) do crescimento

O interesse pelo crescimento económico

- 1 O crescimento é mais importante (do que se julga)
 - “Será possível ter crescimento perpétuo?”
 - “Senão, porquê?”
- 2 As explicações (teóricas) do crescimento
 - Modelo de Solow-Swan (1950)- crescimento exógeno.

O interesse pelo crescimento económico

- 1 O crescimento é mais importante (do que se julga)
 - “Será possível ter crescimento perpétuo?”
 - “Senão, porquê?”
- 2 As explicações (teóricas) do crescimento
 - Modelo de Solow-Swan (1950)- crescimento exógeno.
 - modelos de crescimento endógeno (Lucas, 1982; Romer 1988), e o mais básico modelo AK.

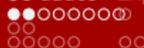
Modelo de Solow-Swan

- 1 O modelo de Solow-Swan baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de capital físico (K_t).

Modelo de Solow-Swan

- 1
 O modelo de Solow-Swan baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de capital físico (K_t).
 - O capital físico (K_t) é essencial.
 - A lei de movimento é muito simples:

$$dK/dt = s.F(K_t) - \delta.K_t.$$



Modelo de Solow-Swan

- 1 O modelo de Solow-Swan baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de capital físico (K_t).
 - O capital físico (K_t) é essencial.
 - A lei de movimento é muito simples:
$$dK/dt = s.F(K_t) - \delta.K_t.$$
- 2 A lei em intensidade capitalística ($k_t = (K_t/L_t)$), será:

Modelo de Solow-Swan

- 1 O modelo de Solow-Swan baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de capital físico (K_t).
 - O capital físico (K_t) é essencial.
 - A lei de movimento é muito simples:

$$dK/dt = s.F(K_t) - \delta.K_t.$$
- 2 A lei em intensidade capitalística ($k_t = (K_t/L_t)$), será:
 - $dk/dt = s.f(k_t) - (n + \delta).k_t.$

Modelo de Solow-Swan

- 1 O modelo de Solow-Swan baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de capital físico (K_t).
 - O capital físico (K_t) é essencial.
 - A lei de movimento é muito simples:
$$dK/dt = s.F(K_t) - \delta.K_t.$$
- 2 A lei em intensidade capitalística ($k_t = (K_t/L_t)$), será:
 - $dk/dt = s.f(k_t) - (n + \delta).k_t.$
 - em que n representa a taxa de crescimento da população e δ a taxa de depreciação do K_t capital físico.



Modelo de Solow-Swan

1 O modelo de Solow-Swan

Modelo de Solow-Swan

- 1 O modelo de Solow-Swan
 - Robert Solow (1924-2023): 99 anos.

Modelo de Solow-Swan

- 1** O modelo de Solow-Swan
 - Robert Solow (1924-2023): 99 anos.
 - Introduziu um dos modelos de crescimento exógeno mais famoso. Modelo de Solow (1950).

Modelo de Solow-Swan

- 1 O modelo de Solow-Swan
 - Robert Solow (1924-2023): 99 anos.
 - Introduziu um dos modelos de crescimento exógeno mais famoso. Modelo de Solow (1950).
- 2 Introduziu a noção de **resíduo de Solow** do crescimento económico (1957).

Modelo de Solow-Swan

- 1 O modelo de Solow-Swan
 - Robert Solow (1924-2023): 99 anos.
 - Introduziu um dos modelos de crescimento exógeno mais famoso. Modelo de Solow (1950).
- 2 Introduziu a noção de **resíduo de Solow** do crescimento económico (1957).
 - Alma mater: MIT, Boston, EUA.

Modelo de Solow-Swan

- ① O modelo de Solow-Swan
 - Robert Solow (1924-2023): 99 anos.
 - Introduziu um dos modelos de crescimento exógeno mais famoso. Modelo de Solow (1950).
- ② Introduziu a noção de **resíduo de Solow** do crescimento económico (1957).
 - Alma mater: MIT, Boston, EUA.
 - Prémio Nobel da Economia em 1987.



Modelo de Solow Resíduo

1 O resíduo de Solow



Modelo de Solow Resíduo

- 1 O resíduo de Solow
 - o Introduziu a noção de resíduo de Solow do crescimento económico (1957).

Modelo de Solow Resíduo

- 1 O resíduo de Solow
 - Introduziu a noção de resíduo de Solow do crescimento económico (1957).
- 2 O resíduo de Solow resulta da diferença entre o crescimento agregado explicado pela produtividade do trabalho e capital e o observado, a parte não explicada será atribuída ao progresso técnico, mas que é exógena.



Modelo de Solow Resíduo

- 1 O resíduo de Solow resulta da diferença entre o crescimento agregado explicado pela produtividade do trabalho e capital e o observado, a parte não explicada será atribuída ao progresso técnico, mas que é exógena.



Modelo de Solow Resíduo

- 1 O resíduo de Solow resulta da diferença entre o crescimento agregado explicado pela produtividade do trabalho e capital e o observado, a parte não explicada será atribuída ao progresso técnico, mas que é exógena.
 - o A taxa exógena de PTF (Produtividade Total dos Fatores) crescimento no modelo de Solow-Swan é o resíduo após a contabilização de acumulação de capital e do trabalho.

Modelo de Solow Resíduo

- 1 O resíduo de Solow resulta da diferença entre o crescimento agregado explicado pela produtividade do trabalho e capital e o observado, a parte não explicada será atribuída ao progresso técnico, mas que é exógena.

 - A taxa exógena de PTF (Produtividade Total dos Fatores) crescimento no modelo de Solow-Swan é o resíduo após a contabilização de acumulação de capital e do trabalho.
 - Na verdade: na altura de Solow este resíduo (não explicado pelo modelo) ascendia a cerca de 50 por cento do Crescimento.



Modelo de Kaldor



Figura: Nicholas Kaldor, criador dos factos estilizados de crescimento económico



Modelo de Kaldor

- 1 O modelo de Kaldor apresentou os factos estilizados do crescimento económico.

Modelo de Kaldor

- 1 O modelo de Kaldor apresentou os factos estilizados do crescimento económico.
 - **Facto estilizado** -FE do crescimento económico.

Modelo de Kaldor

- 1 O modelo de Kaldor apresentou os factos estilizados do crescimento económico.
 - **Facto estilizado** -FE do crescimento económico.
 - Regularidade empírica relacionada com o crescimento económico.
- 2 Criador da teoria: Nicholas **Kaldor (1908-1986)**.
 - Kaldor, N. (1957). A model of economic growth. The economic journal, 67(268), 591-624.



Modelo de Kaldor: **Factos Estilizados**

- ❶ Diferenças substanciais entre PIB pc (PIB pc rico – PIB pc pobre).
- ❷ A evolução do quociente capital produto (K/Y).

Modelo de Kaldor: **Factos Estilizados**

- 1 Diferenças substanciais entre PIB pc (PIB pc rico – PIB pc pobre).
- 2 A evolução do quociente capital produto (K/Y).
- 3 Quocientes (K/L) e (Y/L) têm evidenciado uma tendência crescente (intensidade capitalística e pmgL).



Modelo de Kaldor: Factos Estilizados

- 1 Diferenças substanciais entre PIB pc (PIB pc rico – PIB pc pobre).
- 2 A evolução do quociente capital produto (K/Y).
- 3 Quocientes (K/L) e (Y/L) têm evidenciado uma tendência crescente (intensidade capitalística e pmgL).
- 4 A proporção da remuneração do trabalho tem-se mantido estável (wL/Y).
- 5 A taxa de crescimento económico varia (por vezes) bastante de país para país.

Modelo de Kaldor: Factos Estilizados

- 1 Diferenças substanciais entre PIB pc (PIB pc rico – PIB pc pobre).
- 2 A evolução do quociente capital produto (K/Y).
- 3 Quocientes (K/L) e (Y/L) têm evidenciado uma tendência crescente (intensidade capitalística e pmgL).
- 4 A proporção da remuneração do trabalho tem-se mantido estável (wL/Y).
- 5 A taxa de crescimento económico varia (por vezes) bastante de país para país.
- 6 As taxas de crescimento não são necessariamente constantes ao longo do tempo.

Modelo de Kaldor: Factos Estilizados

- 1 Diferenças substanciais entre PIB pc (PIB pc rico – PIB pc pobre).
- 2 A evolução do quociente capital produto (K/Y).
- 3 Quocientes (K/L) e (Y/L) têm evidenciado uma tendência crescente (intensidade capitalística e pmgL).
- 4 A proporção da remuneração do trabalho tem-se mantido estável (wL/Y).
- 5 A taxa de crescimento económico varia (por vezes) bastante de país para país.
- 6 As taxas de crescimento não são necessariamente constantes ao longo do tempo.
- 7 O crescimento económico e o crescimento do volume do

Modelo endógeno: AK

- 1 O modelo *AK* baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de progresso técnico ($A(t)$).



Modelo endógeno: AK

- 1 O modelo AK baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de progresso técnico ($A(t)$).
 - o O capital físico (K_t) é essencial.
 - o A lei de movimento é muito simples, com $Y = AK$:
$$dK/dt = s.F(K_t) - \delta.K_t.$$

Modelo endógeno:AK

- 1 O modelo *AK* baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de progresso técnico ($A(t)$).

 - O capital físico (K_t) é essencial.
 - A lei de movimento é muito simples, com $Y = AK$:

$$dK/dt = s.F(K_t) - \delta.K_t.$$
- 2 A lei em taxa de crescimento percentual ($(dK/dt/K)$), será:

Modelo endógeno: AK

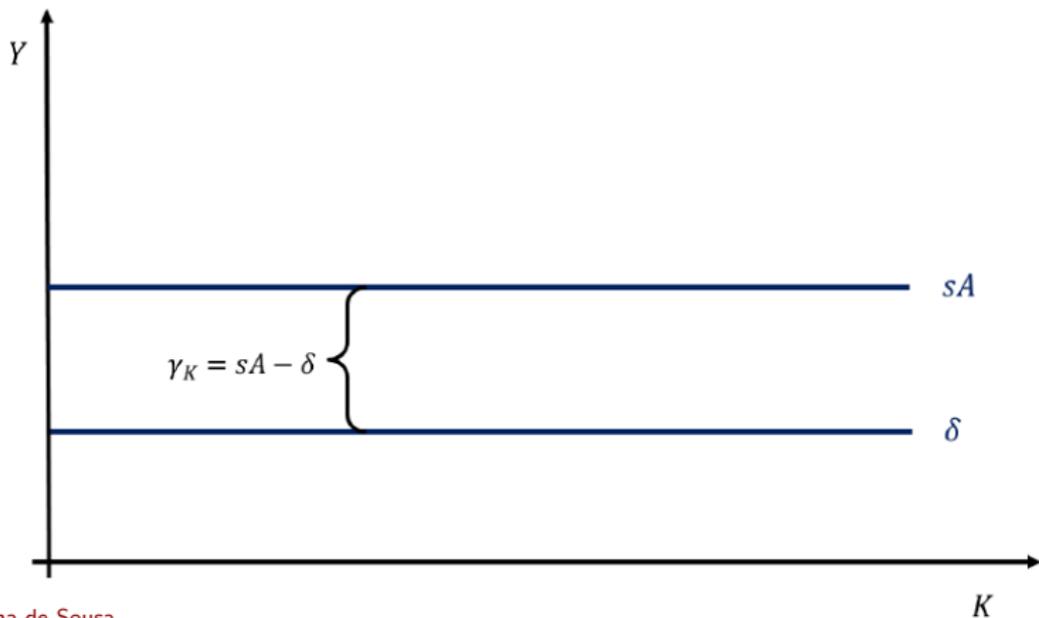
- 1 O modelo AK baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de progresso técnico ($A(t)$).
 - O capital físico (K_t) é essencial.
 - A lei de movimento é muito simples, com $Y = AK$:
$$dK/dt = s.F(K_t) - \delta.K_t.$$
- 2 A lei em taxa de crescimento percentual ($(dK/dt/K)$), será:
 - $(dK/dt/K) = s.A - (\delta)$
 - em que δ representa a taxa de depreciação do K_t capital físico, e $A(t)$ é o progresso técnico.

Modelo endógeno:AK

- 1 O modelo AK baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de progresso técnico ($A(t)$).
 - O capital físico (K_t) é essencial.
 - A lei de movimento é muito simples, com $Y = AK$:
$$dK/dt = s.F(K_t) - \delta.K_t.$$
- 2 A lei em taxa de crescimento percentual ($(dK/dt/K)$), será:
 - $(dK/dt/K) = s.A - (\delta)$
 - em que δ representa a taxa de depreciação do K_t capital físico, e $A(t)$ é o progresso técnico.
 - Se $s.A - (\delta) > 0$ temos crescimento perpétuo!

Modelo AK

Se $sA > \delta$ temos crescimento perpétuo! (fonte: Jones adaptado por JMMB)



Sustentabilidade



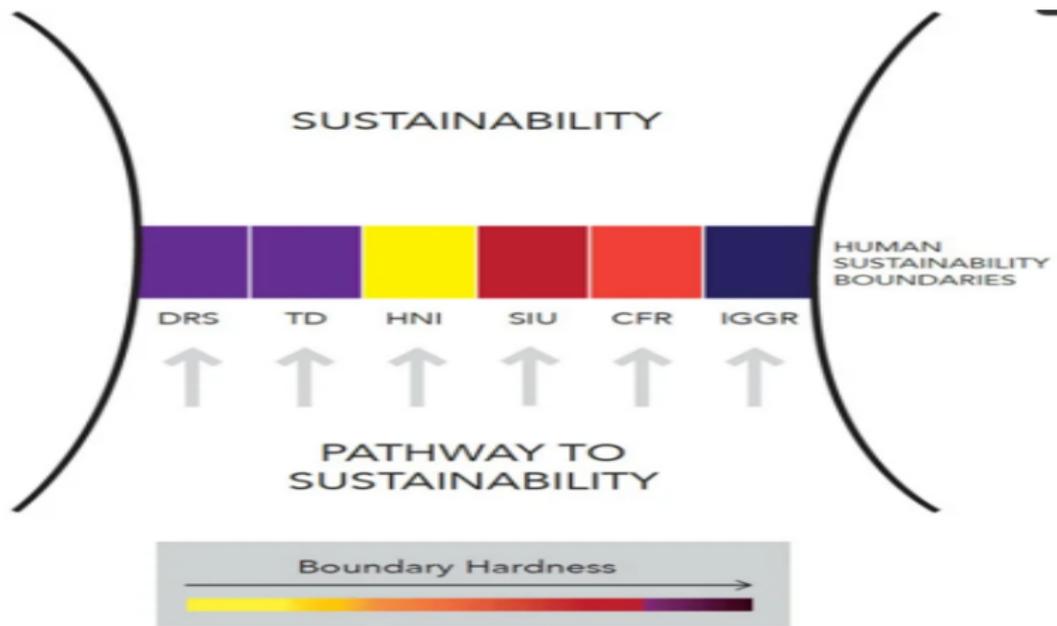
Hardness of 6B

Table 1. Current relative hardness of each sustainability boundary to the advancement in each of the three components of sustainability (social, economic, and environmental), graded on a 3-point scale. The last line indicates the current hardness of each sustainability boundary to climate action, also graded on a 3-point scale.

Hardness of Human Sustainability Boundaries						
	DRS ¹	TD ²	HNI ³	SIU ⁴	CFR ⁵	IGGR ⁶
Social sustainability	moderate	moderate	weak	strong	strong	strong
Economic sustainability	strong	strong	weak	moderate	moderate	strong
Environmental sustainability	strong	strong	strong	moderate	weak	strong
Climate Action	moderate	strong	weak	strong	moderate	strong

¹ Dopaminergic Reward System; ² Time Discounting in Intertemporal Decisions; ³ Human-Nature Interconnectedness; ⁴ Self-Interest and Utility; ⁵ Cooperation and Free-Riding; ⁶ International Geopolitical and Geo-strategic Relations.

Hardness of 6B





6B

- 1 Santos, F.D., O'Riordan, T., de Sousa, M.R. et al. "Unveiling global sustainability boundaries: exploring inner dimensions of human critical determinants for sustainability". Sustain Sci (2024).<https://doi.org/10.1007/s11625-024-01462-0>

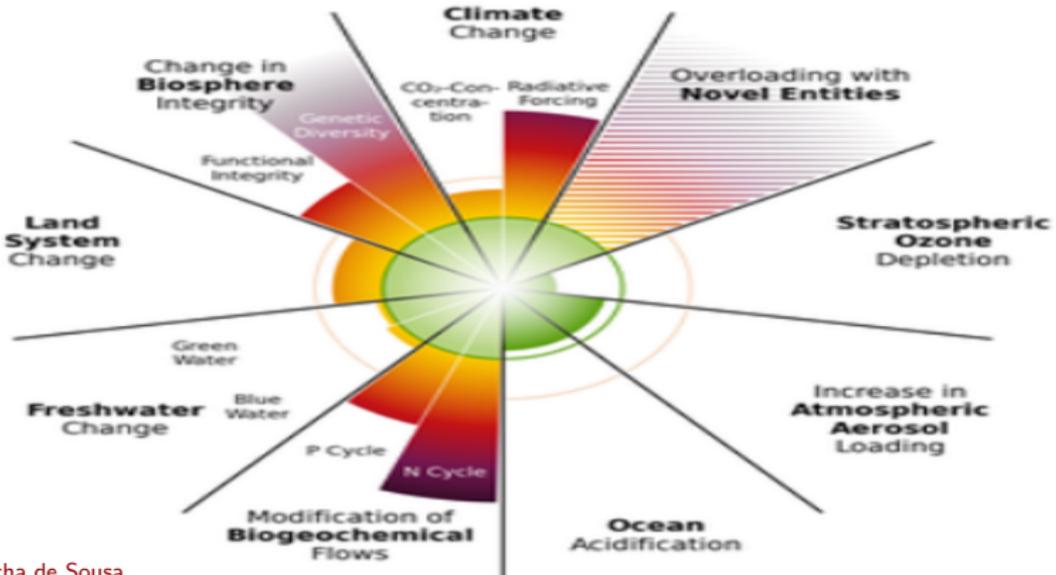


6B

- 1 Santos, F.D., O'Riordan, T., de Sousa, M.R. et al. "Unveiling global sustainability boundaries: exploring inner dimensions of human critical determinants for sustainability". Sustain Sci (2024).<https://doi.org/10.1007/s11625-024-01462-0>
- 2 Santos FD, O'Riordan T, Rocha de Sousa M, Pedersen JST. "The Six Critical Determinants That May Act as Human Sustainability Boundaries on Climate Change Action". Sustainability. 2024; 16(1):331.<https://doi.org/10.3390/su16010331>

Stockholm Resilience Center

There is no planet B! fonte: Will Steffen et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science 347, 1259855(2015). DOI:10.1126/science.1259855



Modelo de Solow-Swan: Experiência 1

- 1 O modelo de Solow-Swan baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de capital físico (K_t). A lei em intensidade capitalística ($k_t = (K_t/L_t)$), será:

Modelo de Solow-Swan: Experiência 1

- 1 O modelo de Solow-Swan baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de capital físico (K_t). A lei em intensidade capitalística ($k_t = (K_t/L_t)$), será:
 - $dk/dt = s.f(k_t) - (n + \delta).k_t$.

Modelo de Solow-Swan: Experiência 1

- ① O modelo de Solow-Swan baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de capital físico (K_t). A lei em intensidade capitalística ($k_t = (K_t/L_t)$), será:
 - $dk/dt = s.f(k_t) - (n + \delta).k_t$.
 - em que n representa a taxa de crescimento da população e δ a taxa de depreciação do K_t capital físico.
- ② com $f(k_t) = (k_t)^{0.3}$ e $n = 2$ por cento e $\delta = 3$ por cento.
- ③ a) Calcule a lei de movimento e steady state;

Modelo de Solow-Swan: Experiência 1

- 1 O modelo de Solow-Swan baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de capital físico (K_t). A lei em intensidade capitalística ($k_t = (K_t/L_t)$), será:
 - $dk/dt = s \cdot f(k_t) - (n + \delta) \cdot k_t$.
 - em que n representa a taxa de crescimento da população e δ a taxa de depreciação do K_t capital físico.
- 2 com $f(k_t) = (k_t)^{0.3}$ e $n = 2$ por cento e $\delta = 3$ por cento.
- 3 a) Calcule a lei de movimento e steady state;
- 4 b) Qual o valor de s que assegura o steady state? Porquê?

Modelo de Solow-Swan: Experiência 1

- 1 O modelo de Solow-Swan baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de capital físico (K_t). A lei em intensidade capitalística ($k_t = (K_t/L_t)$), será:
 - $dk/dt = s \cdot f(k_t) - (n + \delta) \cdot k_t$.
 - em que n representa a taxa de crescimento da população e δ a taxa de depreciação do K_t capital físico.
- 2 com $f(k_t) = (k_t)^{0.3}$ e $n = 2$ por cento e $\delta = 3$ por cento.
- 3 a) Calcule a lei de movimento e steady state;
- 4 b) Qual o valor de s que assegura o steady state? Porquê?
- 5 c) Faça a representação gráfica desse steady state para $k_0 = 10$

Modelo endógeno:AK- Experiência 2

- 1 O modelo *AK* baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de progresso técnico ($A(t)$).

Modelo endógeno: AK- Experiência 2

- 1 O modelo AK baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de progresso técnico ($A(t)$).
 - O capital físico (K_t) é essencial.
 - A lei de movimento é muito simples, com $Y = AK$:
$$dK/dt = s.F(K_t) - \delta.K_t.$$

Modelo endógeno:AK- Experiência 2

- 1 O modelo *AK* baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de progresso técnico ($A(t)$).
 - O capital físico (K_t) é essencial.
 - A lei de movimento é muito simples, com $Y = AK$:

$$dK/dt = s.F(K_t) - \delta.K_t.$$
- 2 A lei em taxa de crescimento percentual ($(dK/dt/K)$), será:

Modelo endógeno:AK- Experiência 2

- 1 O modelo AK baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de progresso técnico ($A(t)$).
 - O capital físico (K_t) é essencial.
 - A lei de movimento é muito simples, com $Y = AK$:
$$dK/dt = s.F(K_t) - \delta.K_t.$$
- 2 A lei em taxa de crescimento percentual ($(dK/dt/K)$), será:
 - $(dK/dt/K) = s.A - (\delta)$
 - em que δ representa a taxa de depreciação do K_t capital físico, e $A(t)$ é o progresso técnico.
 - Se $s.A - (\delta) > 0$ temos crescimento perpétuo!

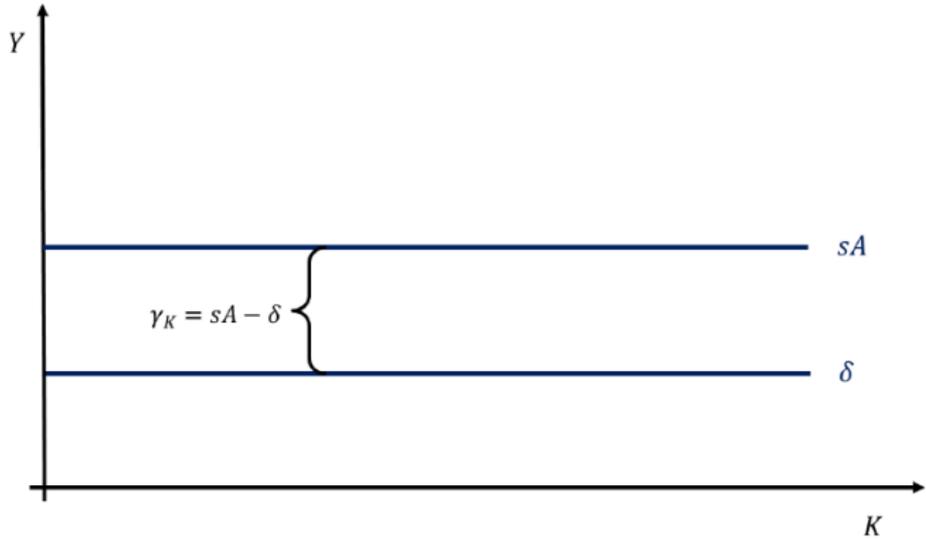
Modelo endógeno: AK- Experiência 2

- 1 O modelo *AK* baseia-se na premissa de que o crescimento económico é explicado pela acumulação de progresso técnico ($A(t)$).
 - O capital físico (K_t) é essencial.
 - A lei de movimento é muito simples, com $Y = AK$:

$$dK/dt = s.F(K_t) - \delta.K_t.$$
- 2 A lei em taxa de crescimento percentual ($(dK/dt/K)$), será:
 - $(dK/dt/K) = s.A - (\delta)$
 - em que δ representa a taxa de depreciação do K_t capital físico, e $A(t)$ é o progresso técnico.
 - Se $s.A - (\delta) > 0$ temos crescimento perpétuo!
 - Qual o valor de s que assegura crescimento perpétuo se

Modelo AK: Experiência 2 (cont.)

Se $s.A > \delta$ temos crescimento perpétuo! Qual o gráfico do modelo anterior e $s.A < \delta$, o que ocorre? (fonte: Jones adaptado por JMMB)



Limites ao crescimento: experiências

Hardness of 6B: relembrar

Table 1. Current relative hardness of each sustainability boundary to the advancement in each of the three components of sustainability (social, economic, and environmental), graded on a 3-point scale. The last line indicates the current hardness of each sustainability boundary to climate action, also graded on a 3-point scale.

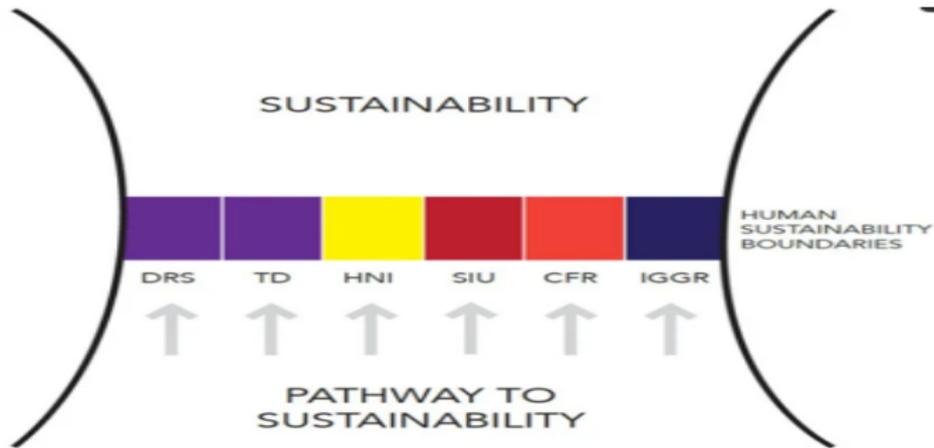
Hardness of Human Sustainability Boundaries						
	DRS ¹	TD ²	HNI ³	SIU ⁴	CFR ⁵	IGGR ⁶
Social sustainability	moderate	moderate	weak	strong	strong	strong
Economic sustainability	strong	strong	weak	moderate	moderate	strong
Environmental sustainability	strong	strong	strong	moderate	weak	strong
Climate Action	moderate	strong	weak	strong	moderate	strong

¹ Dopaminergic Reward System; ² Time Discounting in Intertemporal Decisions; ³ Human-Nature Interconnectedness; ⁴ Self-Interest and Utility; ⁵ Cooperation and Free-Riding; ⁶ International Geopolitical and Geo-strategic Relations.

Limites ao crescimento: experiências

Hardness of 6B: Experiência 2

Se $s.A > \delta$ temos crescimento perpétuo no modelo AK! Qual a relação deste modelo AK com o modelo das 6B? Será que as 6B justificam o possível colapso ($s.A < \delta$)?





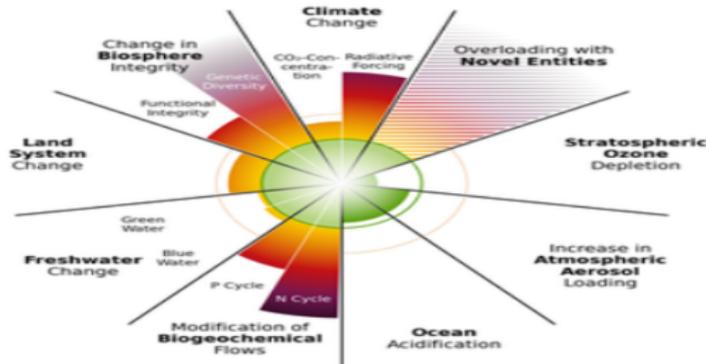
Limites ao crescimento: experiências

Stockholm Resilience Center: Experiência 3

There is no planet B!

fonte: Will Steffen et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science 347, 1259855(2015). DOI:10.1126/science.1259855

- Qual dos limites é mais premente?





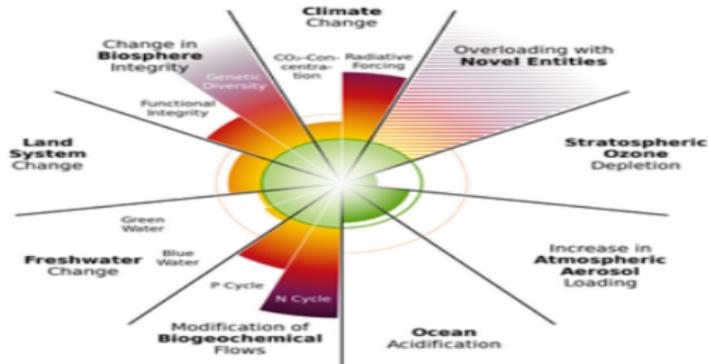
Limites ao crescimento: experiências

Stockholm Resilience Center: Experiência 3

There is no planet B!

fonte: Will Steffen et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science 347, 1259855(2015). DOI:10.1126/science.1259855

- Qual dos limites é mais premente?
- Como se relacionam estes com as 6Bs?





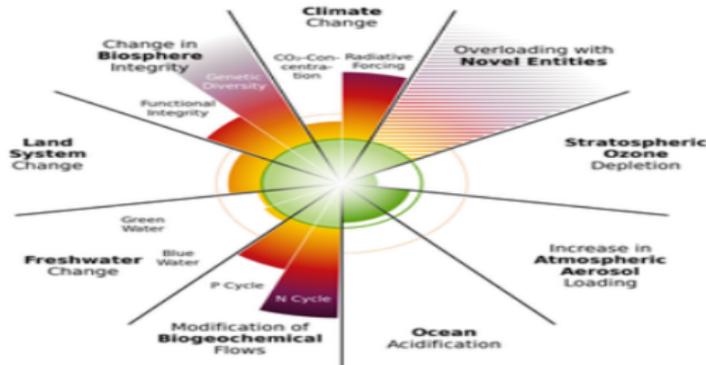
Limites ao crescimento: experiências

Stockholm Resilience Center: Experiência 3

There is no planet B!

fonte: Will Steffen et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science 347, 1259855(2015). DOI:10.1126/science.1259855

- Qual dos limites é mais premente?
- Como se relacionam estes com as 6Bs?
- Qual a relação destes limites de Rockstrom com AK?



Modelo de pegada mundial: Eco-foot print

Se $ecofp = N.y/\alpha$ em que N é a população total, y o PIB per capita e α a eficiência tecnológica de acordo com os diferentes cenários.

Temos 4 cenários:

- BAU- Business as usual
- TW- Tech World
- CR- Consumption reduction
- SS- Smart sustainability

Fonte: Araújo, Alagador e de Sousa (forthcoming).

Modelo de pegada mundial: Eco-foot print

Fonte: Araújo, Alagador e de Sousa (forthcoming).

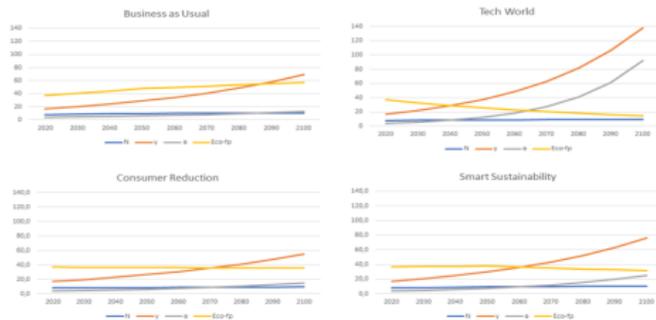


Figure 1 – Human footprint according to consumption and technological innovation scenarios. In these scenarios high values imply doubling scores with regards to 2020, moderate values involve increases of 40%, and low values involve increases in 20%.

Modelo de pegada mundial: Eco-foot print

Fonte: Araújo, Alagador e de Sousa (forthcoming).

Scenario 1: BAU		Time	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
N - Population (Billions of Humans)	N		8	8,531	9,097	9,7	9,817	9,936	10,056	10,177	10,3
y = (GDP pcapita world, thousands USD ct/prices YEAR)	y		16,997	20,255	24,137	28,763	34,276	40,845	48,673	58,002	69,119
a (Efficiency %)	a		3,69	4,29	5,00	5,82	6,78	7,89	9,19	10,70	12,45
Eco-fp = (N.y)/a	Eco-fp		36,88	40,25	43,93	47,94	49,66	51,44	53,28	55,19	57,17
Scenario 2: TW		Time	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
N - Population (Billions of Humans)	N		8	8,184	8,373	8,566	8,764	8,966	9,172	9,384	9,6
y = (GDP pcapita world, thousands USD ct/prices YEAR)	y		16,997	22,088	28,704	37,301	48,473	62,991	81,858	106,376	138,238
a (Efficiency %)	a		3,69	5,51	8,24	12,31	18,40	27,50	41,10	61,44	91,82
Eco-fp = (N.y)/a	Eco-fp		36,88	32,80	29,18	25,96	23,09	20,54	18,27	16,25	14,45
Scenario 3: CR		Time	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
N - Population (Billions of Humans)	N		8	8,184	8,373	8,566	8,764	8,966	9,172	9,384	9,6
y = (GDP pcapita world, thousands USD ct/prices YEAR)	y		16,997	19,698	22,827	26,454	30,657	35,528	41,173	47,714	55,295
a (Efficiency %)	a		3,69	4,39	5,23	6,23	7,42	8,84	10,53	12,54	14,94
Eco-fp = (N.y)/a	Eco-fp		36,88	36,71	36,54	36,37	36,20	36,03	35,86	35,69	35,52
Scenario 4: SS		Time	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
N - Population (Billions of Humans)	N		8	8,531	9,097	9,700	9,817	9,936	10,056	10,177	10,3
y = (GDP pcapita world, thousands USD ct/prices YEAR)	y		16,997	20,497	24,719	29,809	35,949	43,352	52,280	63,047	76,031
a (Efficiency %)	a		3,69	4,68	5,94	7,55	9,58	12,17	15,45	19,61	24,90
Eco-fp = (N.y)/a	Eco-fp		36,88	37,35	37,83	38,31	36,83	35,40	34,03	32,71	31,44

Table 1 – Human footprint according to consumption and technological innovation scenarios. In these scenarios high values imply doubling scores with regards to 2020, moderate values involve increases of 40%, and low values involve increases in 20%.

Modelo de pegada mundial: Eco-foot print

Fonte: Araújo, Alagador e de Sousa (forthcoming).

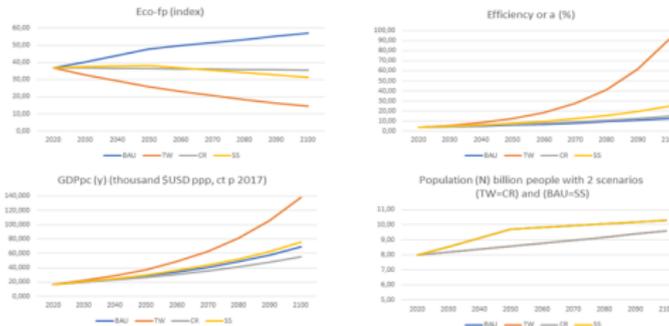


Figure 2 – Human footprint and variables according to consumption and technological innovation scenarios. In these scenarios high values imply doubling scores with regards to 2020, moderate values involve increases of 40%, and low values involve increases in 20%.

Modelo de pegada mundial: Eco-foot print

Fonte: Araújo, Alagador e de Sousa (forthcoming).

<i>Eco-footprint (Index)</i>	<i>Time</i>	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Scenario#1	BAU	36,88	40,25	43,93	47,94	49,66	51,44	53,28	55,19	57,17
Scenario#2	TW	36,88	32,80	29,18	25,96	23,09	20,54	18,27	16,25	14,45
Scenario#3	CR	36,88	36,71	36,54	36,37	36,20	36,03	35,86	35,69	35,52
Scenario#4	SS	36,88	37,35	37,83	38,31	36,83	35,40	34,03	32,71	31,44
<i>Efficiency a (%)</i>	<i>Time</i>	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Scenario#1	BAU	3,69	4,29	5,00	5,82	6,78	7,89	9,19	10,70	12,45
Scenario#2	TW	3,69	5,51	8,24	12,31	18,40	27,50	41,10	61,44	91,82
Scenario#3	CR	3,69	4,39	5,23	6,23	7,42	8,84	10,53	12,54	14,94
Scenario#4	SS	3,69	4,68	5,94	7,55	9,58	12,17	15,45	19,61	24,90
<i>y (GDPpc k\$USD ct 2017 PPP)</i>	<i>Time</i>	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Scenario#1	BAU	16,997	20,255	24,137	28,763	34,276	40,845	48,673	58,002	69,119
Scenario#2	TW	16,997	22,088	28,704	37,301	48,473	62,991	81,858	106,376	138,238
Scenario#3	CR	16,997	19,698	22,827	26,454	30,657	35,528	41,173	47,714	55,295
Scenario#4	SS	16,997	20,497	24,719	29,809	35,949	43,352	52,280	63,047	76,031
<i>N (Population Billion People)</i>	<i>Time</i>	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Scenario#1	BAU	8,00	8,53	9,10	9,70	9,82	9,94	10,06	10,18	10,30
Scenario#2	TW	8,00	8,18	8,37	8,57	8,76	8,97	9,17	9,38	9,60
Scenario#3	CR	8,00	8,18	8,37	8,57	8,76	8,97	9,17	9,38	9,60
Scenario#4	SS	8,00	8,53	9,10	9,70	9,82	9,94	10,06	10,18	10,30

Table 2 – Human footprint and variables according to consumption and technological innovation scenarios. In these scenarios high values imply doubling scores with regards to moderate values involve increases of 40% and low values involve increases in 20%

Modelo de pegada mundial: Eco-foot print

Conclusão: só o cenário Smart Sustainability (SS) será sustentável com um horizonte até 2100.
 O cenário BAU que é o que temos verificado é desastroso!

Fonte: Araújo, Alagador e de Sousa (forthcoming).

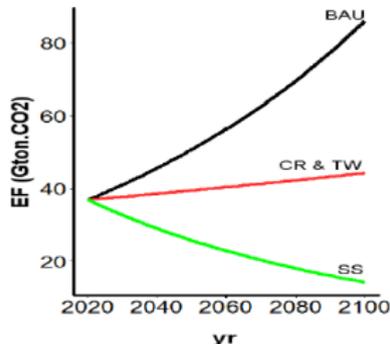


Figure 1 – Simulated human ecological footprint throughout the 21st century. The ecological footprint varies in response to four UN scenarios: BAU “Business as Usual”; TW “Techno-World”; CR “Consumption Reduction”; and SS “Smart Sustainability”. See

Modelo de pegada mundial: Eco-foot print

Fonte: Araújo, Alagador e de Sousa (forthcoming). Sensibilidade dos resultados aos parâmetros. Cima: isolinhas;

Baixo: desvios..

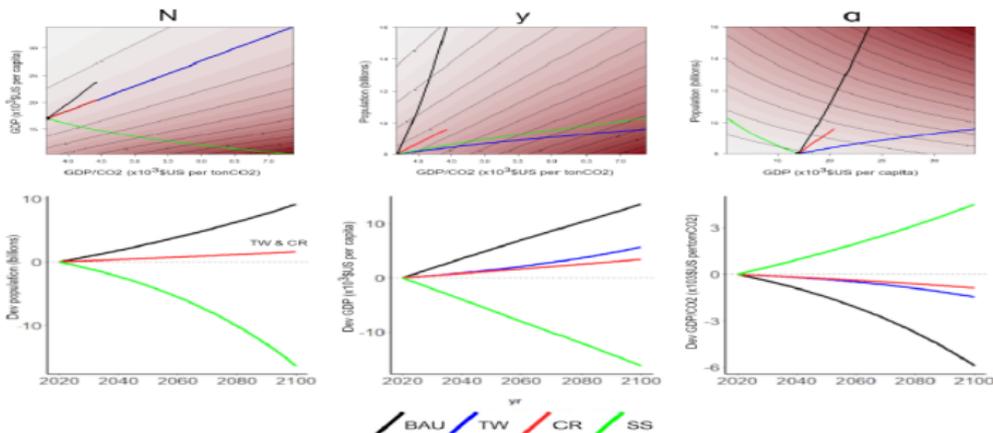


Figure 2 - Pathways to stabilize the human ecological footprint. The upper charts depict future development trajectories with two parameters held constant, and showing the required values for the third parameter to maintain the ecological impact at 2020 levels by 2100: $EF(2100) = EF(2020)$ (represented by the isolines). The lower charts reveal the absolute deviations of each parameter within each development scenario from its "stability value," as



Modelos DSGE: PP vs Bdp

Há uma abordagem de modelos dinâmicos de equilíbrio geral (DSGE) que tenta avaliar o impacto a médio e longo prazo do ambiente e da economia.

William Nordhaus foi galardoado com o Nobel da economia (IAMs) por esta contribuição integrada dos modelos DSGE com o modelo atmosférico e climático global.

Em Portugal há dois modelos ambientais:

- Modelo de Pereira e Pereira (2022)- estimaram o custo de uma reforma ambiental verde desde 2014.
- Modelo recente do BDP (2024)- Adão, Antunes et al.

Modelos DSGE: PP vs BdP

Modelo de Pereira e Pereira (2022) (concl.)

- Não há futuro sustentável com energia barata
- deve haver um duplo e mesmo triplo dividendo verde (receita fiscal verde deve ser aplicada em gastos verdes, a Dívida pública deve ser verde e o uso da dívida pública deve ser também verde.)
- Estudo ACL, "Transição energética", forthcoming, parte co-org (Macedo e de Sousa) Quadro legal e económico da transição energética em Portugal.



Modelos DSGE: PP vs BdP

Modelo de Adão, Antunes et al. (2024)- Banco de Portugal

- autores: **Bernardino Adão, António Antunes et al.**
- DGSE- estrutura típica do modelo
- Inclui os cenários de temperatura do IPCC na economia à la Nordhaus.
- É o primeiro modelo IAMs estilo Nordhaus exacto.
- Falta fazer comparação das calibrações entre PP (2022,2024) com este modelo.



O que é um Jogo e TJ?

Interação entre dois ou mais jogadores com regras, e estratégias.
Em economia, equilíbrio de Nash: Uma vez alcançado os jogadores não desviam.

- Caleiro, Andrade e de Sousa (2019) - TJ evolucionista.
- Simulação: 4 tipos de agentes: CC; NCNC; CNC; NCC
- Conclusão: Ecocídio mais tipping point!

Os seis maiores emissores

A persistência da memória do CO2 na atmosfera.

- Os seis maiores emitentes ou emissores são os EUA, China, Índia, Rússia, UE e Japão.
- A UE tem jogado bem e dado exemplo. Tem curvado emissões e tem RNC e metas 2030, 2050.
- A UE tem CELE . mercado de comércio de livre de emissões
- em Portugal nasceu em um ano e meio o mercado voluntário de carbono

Os seis maiores emissores

A persistência da memória do CO2 na atmosfera.

- Os seis maiores emitentes ou emissores são os EUA, China, Índia, Rússia, UE e Japão.
- só se resolve o problema se houver concertação entre os 3 a 4 maiores
- na verdade só acredito em solução quando no contexto do CS da ONU se assumir uma declaração das CC como ameaça à ordem global
- SG da ONU tem tentado, mas mensagem não passa.

Desigualdade carbónica

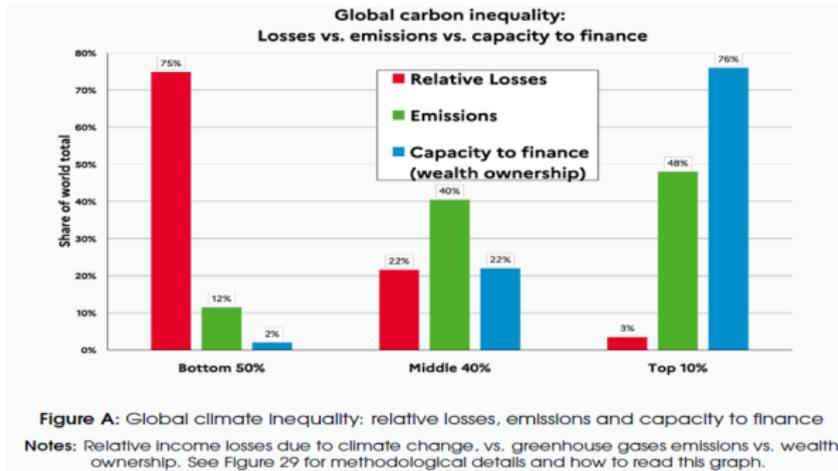
A desigualdade do rendimento e de capital é gravosa:
 Conclusão: no Mundo, os 10 por cento mais ricos detêm 60-80 por cento da riqueza e a metade dos mais pobres apenas 5 por cento da riqueza.

Figure 4 The extreme concentration of capital: wealth inequality across the world, 2021



Interpretation: The Top 10% in Latin America captures 77% of total household wealth, versus 22% for the Middle 40% and 1% for the Bottom 50%. In Europe, the Top 10% owns 58% of total wealth, versus 38% for the Middle 40% and 4% for the Bottom 50%. **Sources:** [World Inequality Database](#) and [World Inequality Database](#).

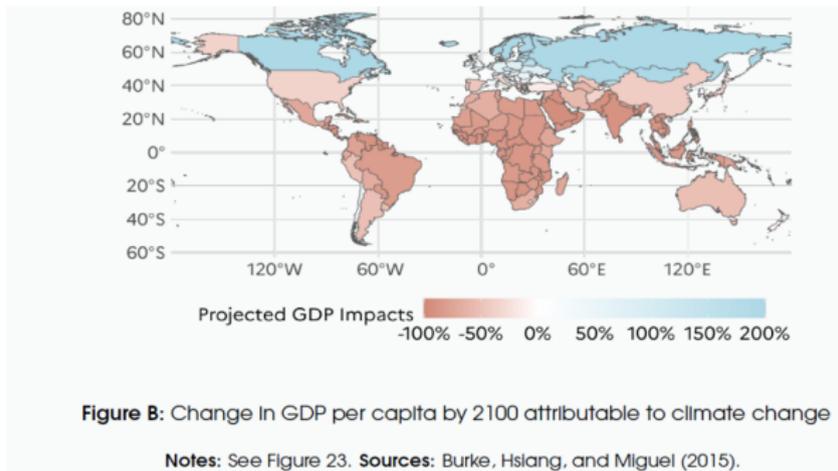
Desigualdade carbónica



Desigualdade carbónica

- Os que menos emitem são os mais afectados pela CC, e os mais emitem são os menos afectados pelas CC.
- Por outro lado, dada a desigualdade de rendimento e de património, os que mais emitem são os que mais conseguem financiar mitigação e reparação de custos.
- Os que menos emitem são os mais ameaçados, pois não conseguem financiar mitigação ou reparação.
- Conclusão: Daí o pouco avanço das COPs, os principais interessados em que avance não têm voz, e os que podem perder e decidem têm capacidade de pagar.

Desigualdade carbónica



GFI Index

O Índice GFI ilustra o progresso do desenvolvimento verde anualmente.

- Portugal faz parte dos países mais desenvolvidos avaliados neste índice.
- tem um bom desempenho.
- ranking de 15º lugar
- estável, mesmo lugar desde o ano passado.

O que nos parecem dizer os dados? Crescimento e desenvolvimento

- A relação entre crescimento e desenvolvimento não é consensual.



O que nos parecem dizer os dados? Crescimento e desenvolvimento

- A relação entre crescimento e desenvolvimento não é consensual.
- A guerra e o desrespeito pelos direitos humanos são mais fáceis de alastrar e podem pôr ambos em perigo.

O que nos parecem dizer os dados? Crescimento e desenvolvimento

- A relação entre crescimento e desenvolvimento não é consensual.
- A guerra e o desrespeito pelos direitos humanos são mais fáceis de alastrar e podem pôr ambos em perigo.
- Não há planeta B! **Ecocídio**.

O que nos parecem dizer os dados? Crescimento e desenvolvimento

- A relação entre crescimento e desenvolvimento não é consensual.
- A guerra e o desrespeito pelos direitos humanos são mais fáceis de alastrar e podem pôr ambos em perigo.
- Não há planeta B! **Ecocídio**.
- Os modelos exógenos e endógenos são importantes porque permitem definir políticas de curto e médio prazo, mas a longo prazo atenção à fronteira de sustentabilidade (física e humana).

O que nos parecem dizer os dados? Crescimento e desenvolvimento

- A relação entre crescimento e desenvolvimento não é consensual.
- A guerra e o desrespeito pelos direitos humanos são mais fáceis de alastrar e podem pôr ambos em perigo.
- Não há planeta B! **Ecocídio**.
- Os modelos exógenos e endógenos são importantes porque permitem definir políticas de curto e médio prazo, mas a longo prazo atenção à fronteira de sustentabilidade (física e humana).
- Os modelos de sustentabilidade levam-nos a dizer *Modelo δB* , modelo *Rockstrom*, Economia Dónute de *Raworth*, que **há limites ao crescimento**.

Conclusão

- Sejam pacíficos e respeitem os direitos humanos, crescimento e desenvolvimento.

Conclusão

- Sejam pacíficos e respeitem os direitos humanos, crescimento e desenvolvimento.
- Muito obrigado pela Vossa atenção e paciência.

Conclusão

- Sejam pacíficos e respeitem os direitos humanos, crescimento e desenvolvimento.
- Muito obrigado pela Vossa atenção e paciência.
- Foi e é um gosto tê-los como discussants e cidadãos!

Conclusão

- Sejam pacíficos e respeitem os direitos humanos, crescimento e desenvolvimento.
- Muito obrigado pela Vossa atenção e paciência.
- Foi e é um gosto tê-los como discussants e cidadãos!
- mrsousa@uevora.pt

Agradecimentos

- Mais de 20 anos dedicados ao Ambiente e CC.

