

# Tópico 9

## Mudanças Climáticas e Poluição

Ricardo Dahis

PUC-Rio, Departamento de Economia

2023.1

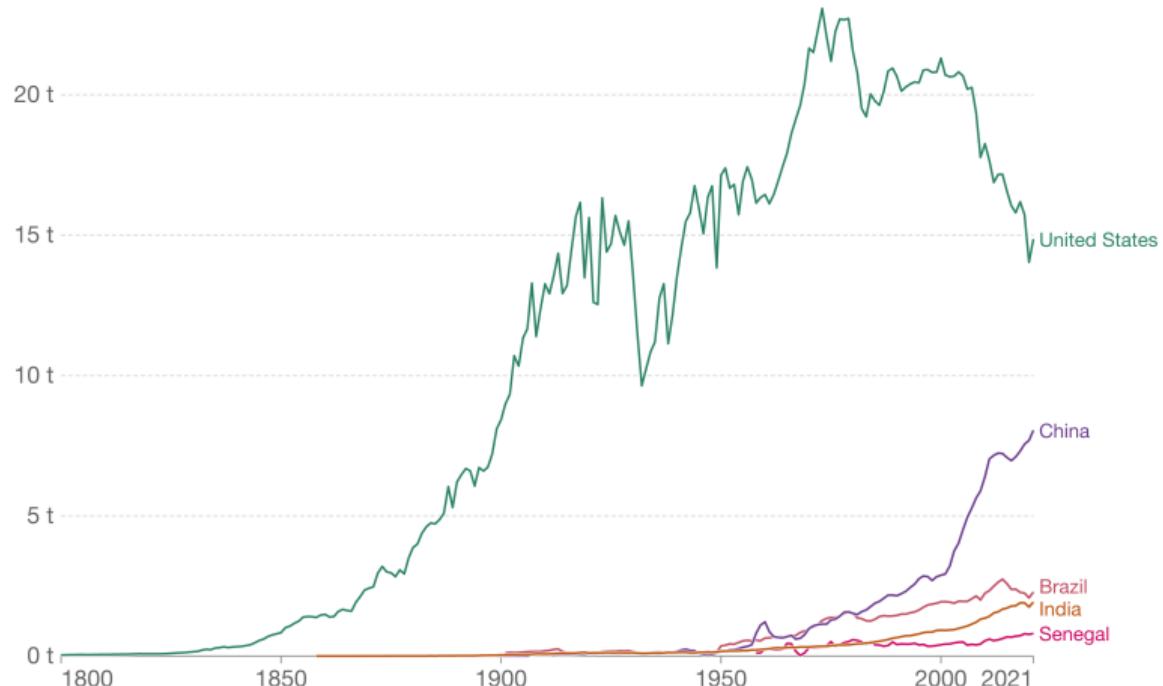


# Emissões de CO<sub>2</sub>e no mundo

## Per capita CO<sub>2</sub> emissions

Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from fossil fuels and industry<sup>1</sup>. Land use change is not included.

Our World  
in Data



Source: Our World in Data based on the Global Carbon Project (2022)

[OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/](https://OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/) • CC BY

# Emissões no Brasil (SEEG, 2020)

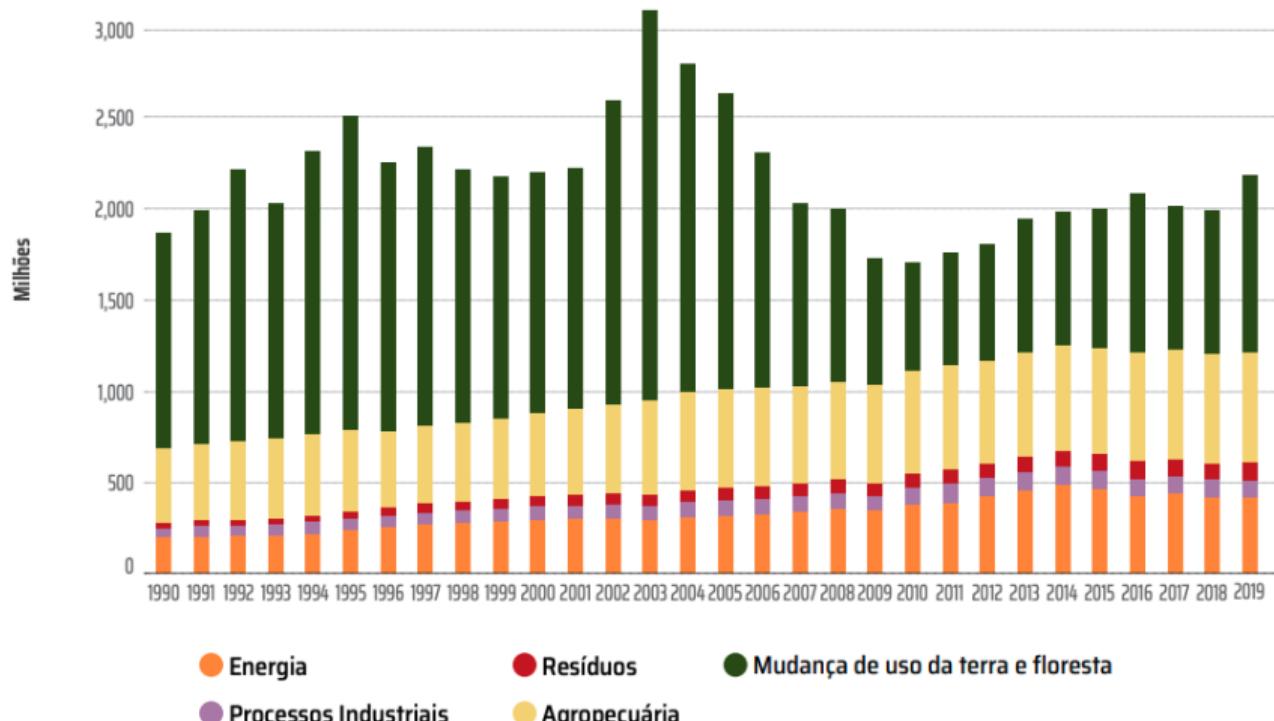
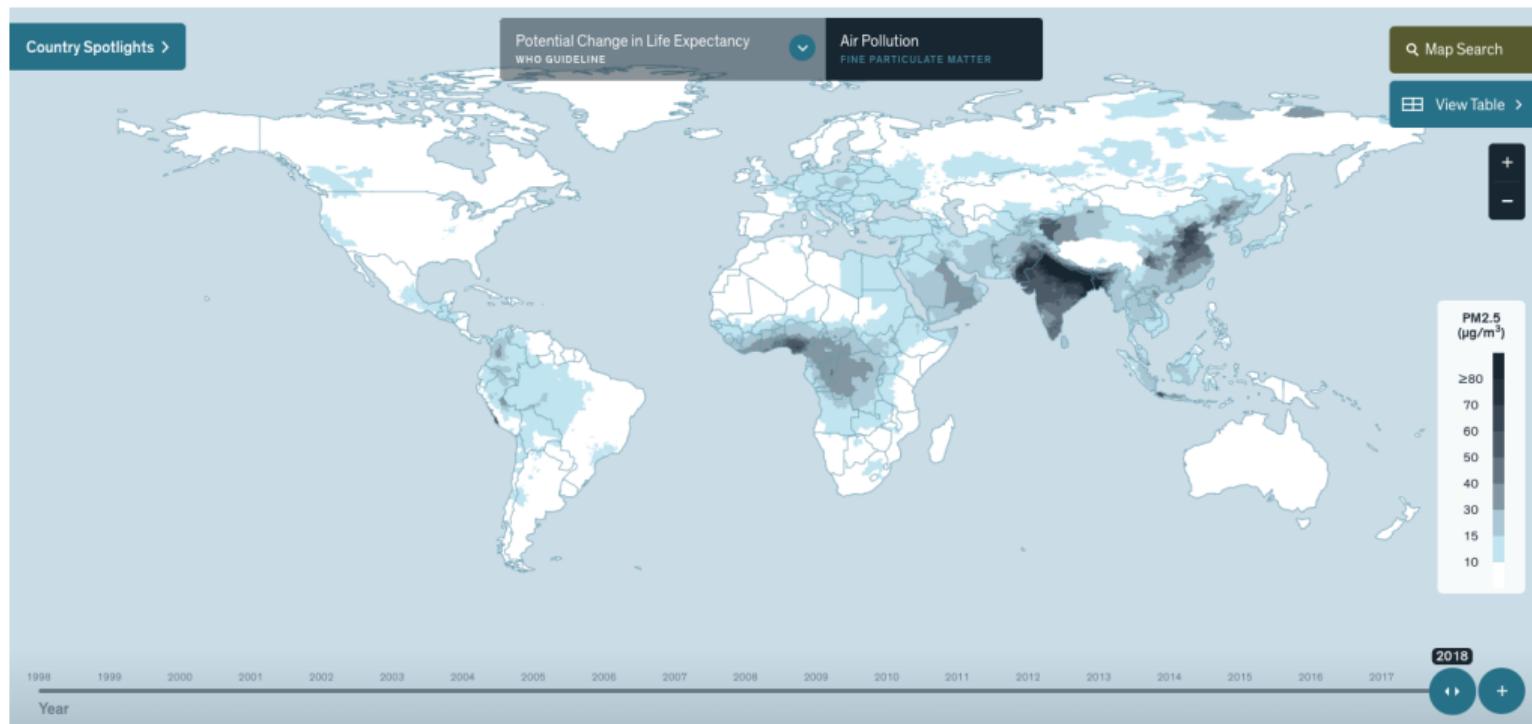


Figura 1 – Emissões de gases de efeito estufa do Brasil de 1990 a 2019 (MtCO<sub>2</sub>e)

# Poluição no ar (EPIC, UChicago)



# Conteúdos

## 1 Mudanças climáticas e economia ambiental

- Externalidades

## 2 Custos sociais de mudanças climáticas e poluição

## 3 Políticas para mitigar mudanças climáticas

- Precificando carbono
- Impostos sobre gasolina
- Preços de eletricidade
- Pagamentos por serviços ambientais (PES)
- Políticas de comando e controle
- Decisões individuais

## 1. Mudanças climáticas e economia ambiental

# Mudanças climáticas e economia ambiental

- Resposta idealista às mudanças climáticas drásticas: deveríamos preservar o meio ambiente em seu estado original, independente do custo.
- Economia ambiental traz uma perspectiva mais pragmática
  - ▶ Trade-off entre benefícios econômicos e custos ambientais  $\Rightarrow$  precisamos especificar o custo ambiental causado por cada política.
  - ▶ Humanos conseguem se adaptar (e.g. ar condicionado), o que mitiga os custos de mudanças ambientais.

## Mudanças climáticas e economia ambiental

- Resposta idealista às mudanças climáticas drásticas: deveríamos preservar o meio ambiente em seu estado original, independente do custo.
- Economia ambiental traz uma perspectiva mais pragmática
  - ▶ Trade-off entre benefícios econômicos e custos ambientais  $\implies$  precisamos especificar o custo ambiental causado por cada política.
  - ▶ Humanos conseguem se adaptar (e.g. ar condicionado), o que mitiga os custos de mudanças ambientais.

## Mudanças climáticas e economia ambiental

- **Exemplos:** construir um novo duto de óleo ou dar permissão para projeto desmatando na Amazônia.
- Políticas que poderiam gerar benefícios reduzindo o custo de insumos e efetivamente aumentando a renda de pessoas.
- Mas quais os danos ambientais gerados? Como precificar?

# 1. Mudanças climáticas e economia ambiental

## 1.1. Externalidades

# Externalidades

- Economia ambiental passa por **externalidades**
- **Definição de Externalidade:**

Externalidades são os efeitos colaterais de uma decisão sobre aqueles que não participaram dela. Existe uma externalidade quando há consequências para terceiros que não são levadas em conta por quem toma a decisão.

- ▶ Comportamento de uma pessoa afeta o bem-estar de outra (de forma não-precificada)

## Exemplos de externalidades

- Dê um exemplo de consumo de um bem que causa efeitos colaterais em pessoas que não participaram da decisão de consumo
  - ▶ Como o consumo deste bem afeta quem escolheu consumir?
  - ▶ Como o consumo deste bem afeta a terceiros, pessoas externas ao mercado?
- Agora dê um exemplo de consumo de um bem que não tenha externalidades
  - ▶ Como o consumo deste bem afeta quem escolheu consumir?
  - ▶ Como o consumo deste bem afeta a terceiros, pessoas externas ao mercado?

## Exemplos de externalidades

- Dê um exemplo de consumo de um bem que causa efeitos colaterais em pessoas que não participaram da decisão de consumo
  - ▶ Como o consumo deste bem afeta quem escolheu consumir?
  - ▶ Como o consumo deste bem afeta a terceiros, pessoas externas ao mercado?
- Agora dê um exemplo de consumo de um bem que não tenha externalidades
  - ▶ Como o consumo deste bem afeta quem escolheu consumir?
  - ▶ Como o consumo deste bem afeta a terceiros, pessoas externas ao mercado?

## Exemplos de externalidades

- Dê um exemplo de consumo de um bem que causa efeitos colaterais em pessoas que não participaram da decisão de consumo
  - ▶ Como o consumo deste bem afeta quem escolheu consumir?
  - ▶ Como o consumo deste bem afeta a terceiros, pessoas externas ao mercado?
- Agora dê um exemplo de consumo de um bem que não tenha externalidades
  - ▶ Como o consumo deste bem afeta quem escolheu consumir?
  - ▶ Como o consumo deste bem afeta a terceiros, pessoas externas ao mercado?

## Exemplos de externalidades

- Dê um exemplo de consumo de um bem que causa efeitos colaterais em pessoas que não participaram da decisão de consumo
  - ▶ Como o consumo deste bem afeta quem escolheu consumir?
  - ▶ Como o consumo deste bem afeta a terceiros, pessoas externas ao mercado?
- Agora dê um exemplo de consumo de um bem que não tenha externalidades
  - ▶ Como o consumo deste bem afeta quem escolheu consumir?
  - ▶ Como o consumo deste bem afeta a terceiros, pessoas externas ao mercado?

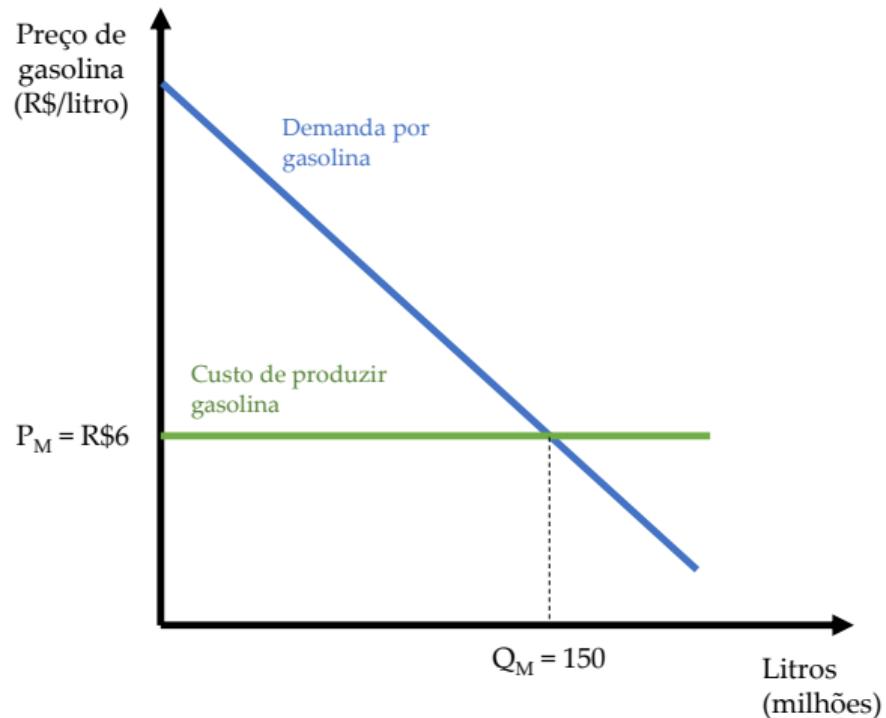
## Externalidades

- Enfrentar externalidades requer tipos diferentes de dados e métodos
- É preciso medir impactos em **todos**, não só a pessoa envolvida
- Objetivo é mudar o comportamento coletivo **para longe do que é ótimo individualmente.**
  - ▶ Bem-estar social, não só individual.

## Exercício: Consumo de gasolina

- Pense no mercado por gasolina, na qual as curvas de oferta e demanda foram estimadas por economistas e descritas em sua forma linear pelas equações abaixo:
    - ▶ Curva inversa de oferta por gasolina:  $P^O = 6$
    - ▶ Curva inversa de demanda por gasolina:  $P^D = -\frac{8}{100}Q^D + 18$
    - ▶ Nota: preços estão descritos em reais (R\$) e quantidades em milhões de litros
- A. Encontre o preço e a quantidade de equilíbrio
- B. Desenhe as curvas em um gráfico
- C. Quem são os agentes neste mercado?

## Equilíbrio no mercado por gasolina



## Exercício: Excedentes do consumidor e produtor

D. Qual o excedente dos consumidores no gráfico anterior?

- ▶ Calcule analiticamente e mostre a área no gráfico

E. Explique porque consumidores tem esse excedente

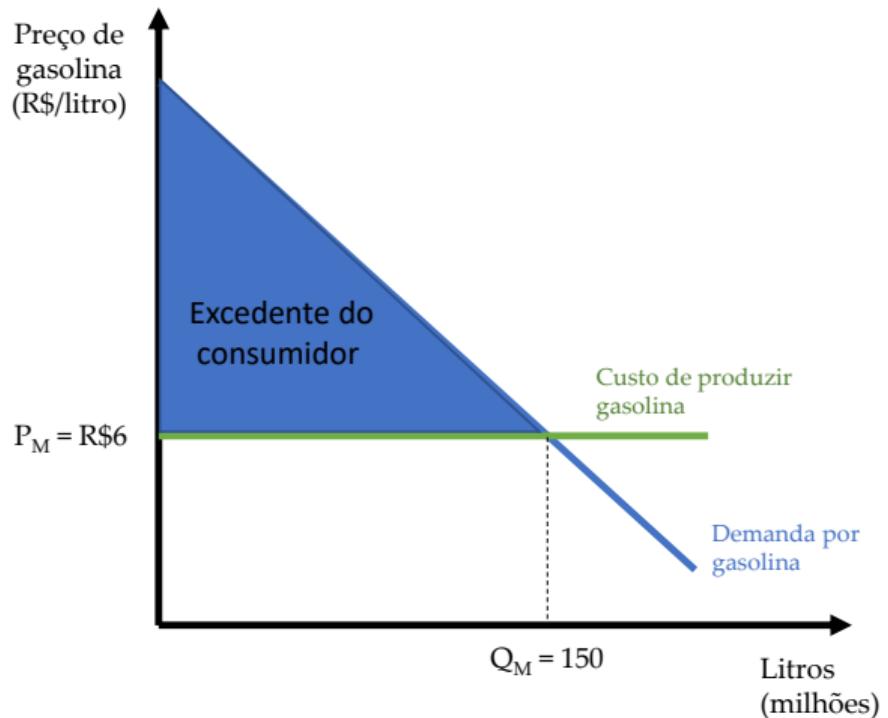
F. Qual o excedente dos produtores no gráfico anterior?

- ▶ Calcule analiticamente e mostre a área no gráfico

G. Explique porque produtores tem esse excedente

H. Calcule o bem-estar dos consumidores e produtores

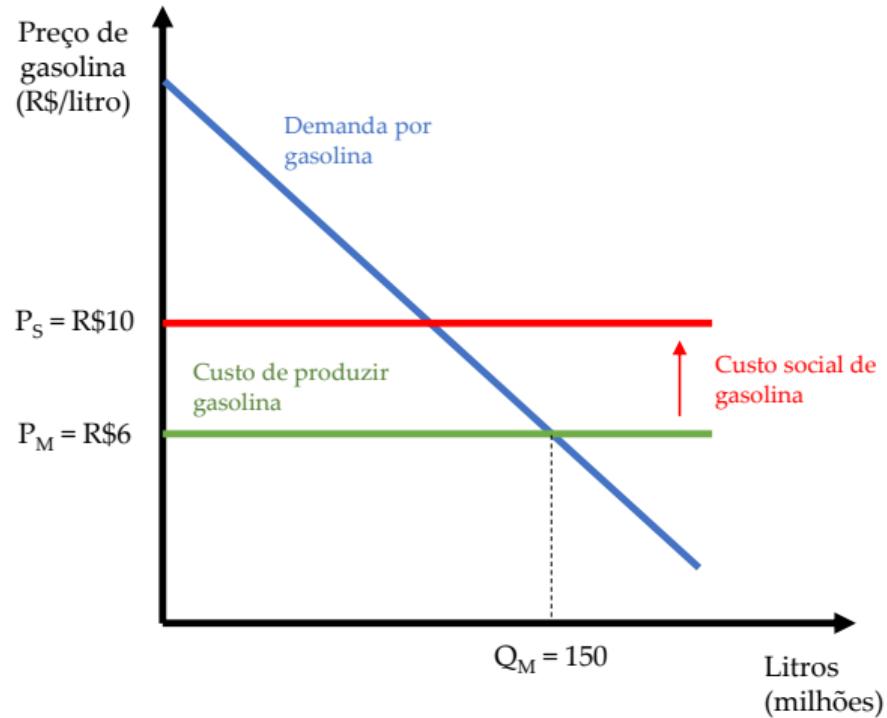
## Excedentes do consumidor e produtor



## Exercício: Consumo de gasolina

- A produção e consumo de gasolina gera poluição e emissão de gases do efeito estufa. Isso afeta não só quem usa carro, mas todos nós. Suponha que a produção e consumo de cada litro de gasolina tenha um custo de 4 reais sobre a sociedade.
- I. Qual a equação da curva de custo total de produzir gasolina?  
Onde, custo total = custo de produção + custo social
  - J. Desenhe as curvas em um gráfico
  - K. Quem são os agentes representados neste novo gráfico?

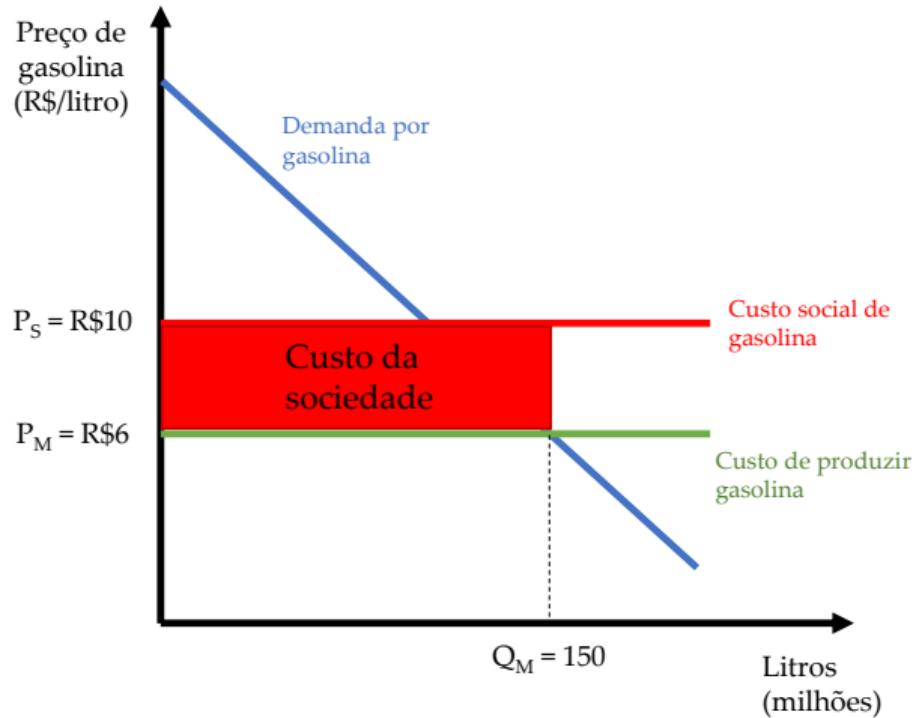
## Curva de Custo social



## Exercício: Excedentes do consumidor, do produtor e da sociedade

- L. Qual o custo da sociedade no equilíbrio de mercado competitivo? Ou seja, qual a externalidade do mercado?
  - ▶ Calcule analiticamente e mostre a área no gráfico
- M. Qual o bem-estar total da sociedade?

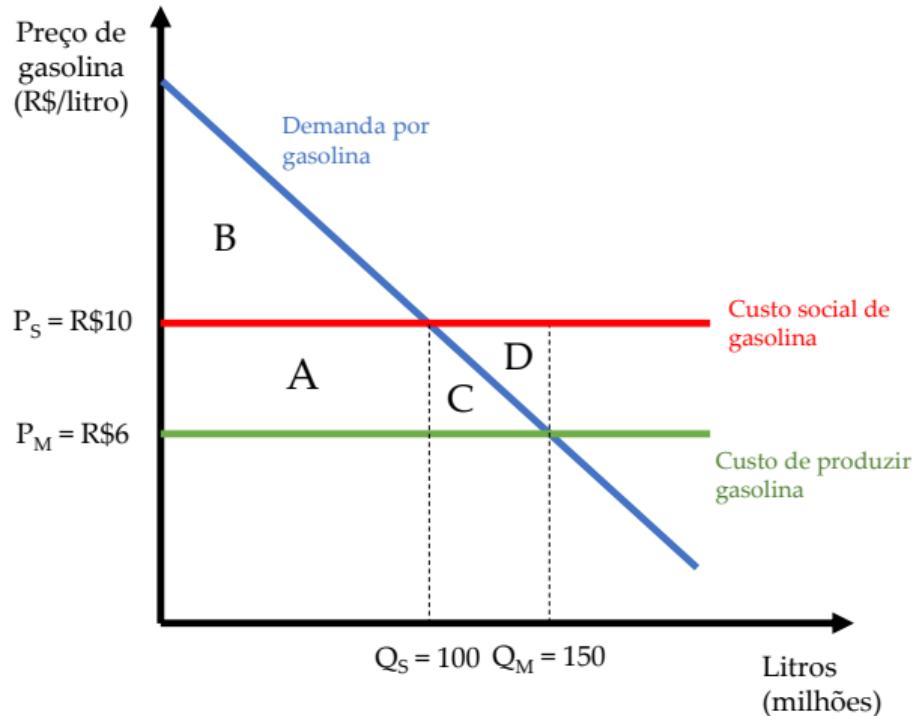
## Custo da sociedade



## Exercício: Consumo de gasolina

- N. Encontre o preço e quantidade de equilíbrio social
- O. Como esses valores se comparam com o equilíbrio de mercado?
- P. Quem são os agentes representados neste equilíbrio social?

# Cálculo do bem-estar da sociedade



# Cálculo do bem-estar da sociedade

Table 1: Cálculo do bem-estar da sociedade

	Consumidor	Produtor	Externalidade	Bem-estar total
Equilíbrio competitivo				
Equilíbrio social				

## Cálculo do bem-estar da sociedade

Table 2: Cálculo do bem-estar da sociedade

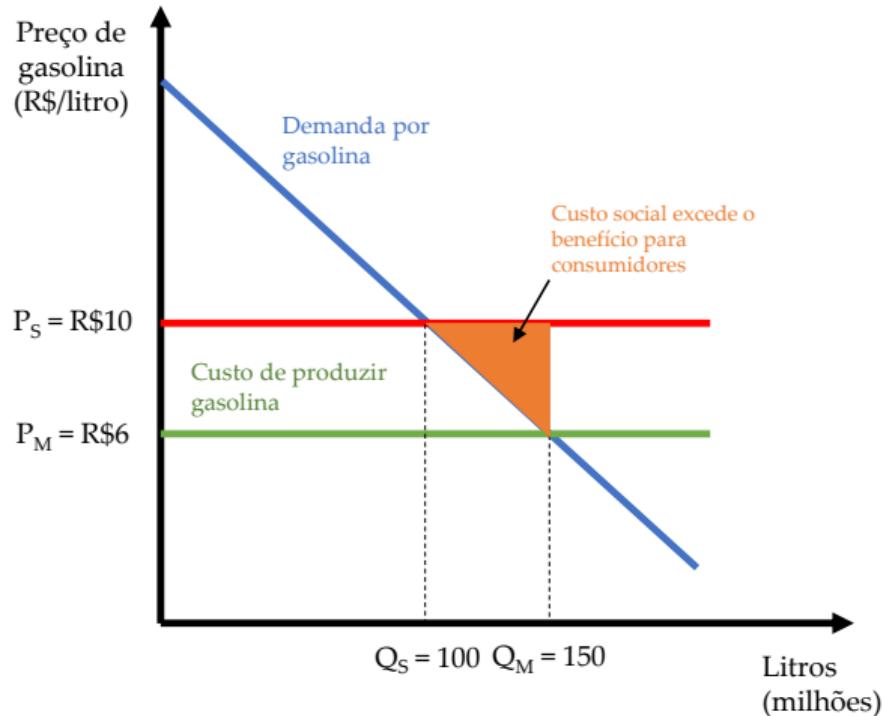
	Consumidor	Produtor	Externalidade	Bem-estar total
Equilíbrio competitivo	$A+B+C$	-	$-A-C-D$	$B-D$
Equilíbrio social				

## Cálculo do bem-estar da sociedade

Table 3: Cálculo do bem-estar da sociedade

	Consumidor	Produtor	Externalidade	Bem-estar total
Equilíbrio competitivo	$A+B+C$	-	$-A-C-D$	$B-D$
Equilíbrio social	$A+B$	-	$-A$	$B$

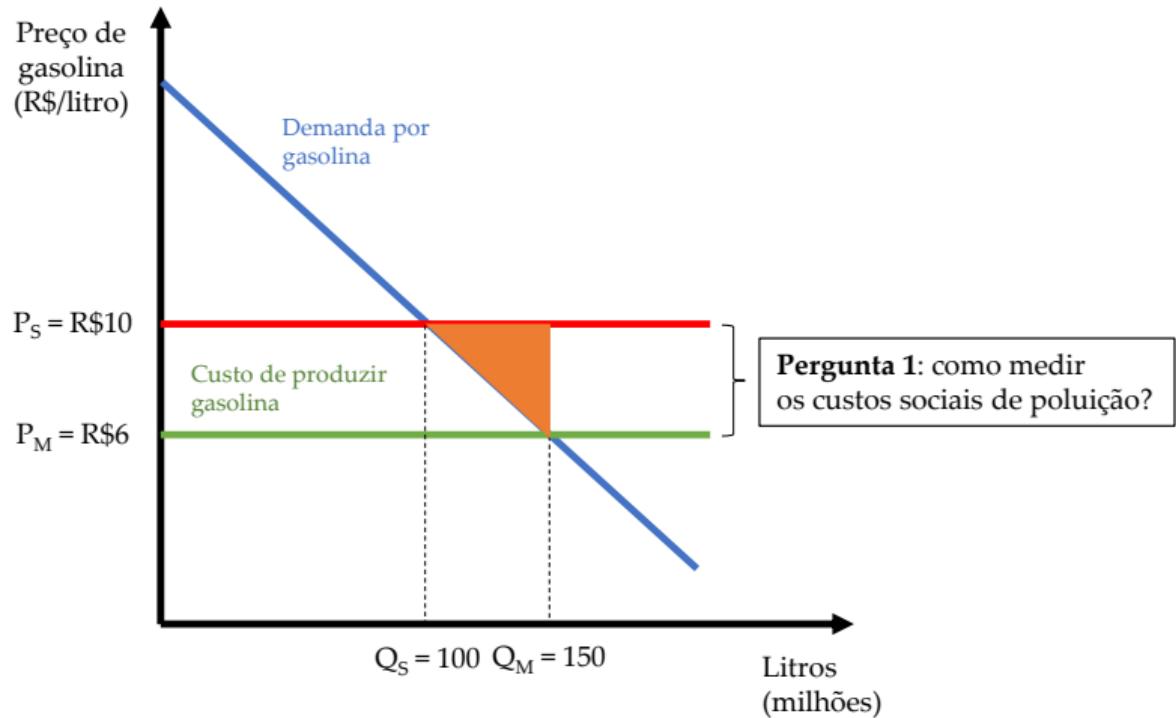
# A perda de bem estar social



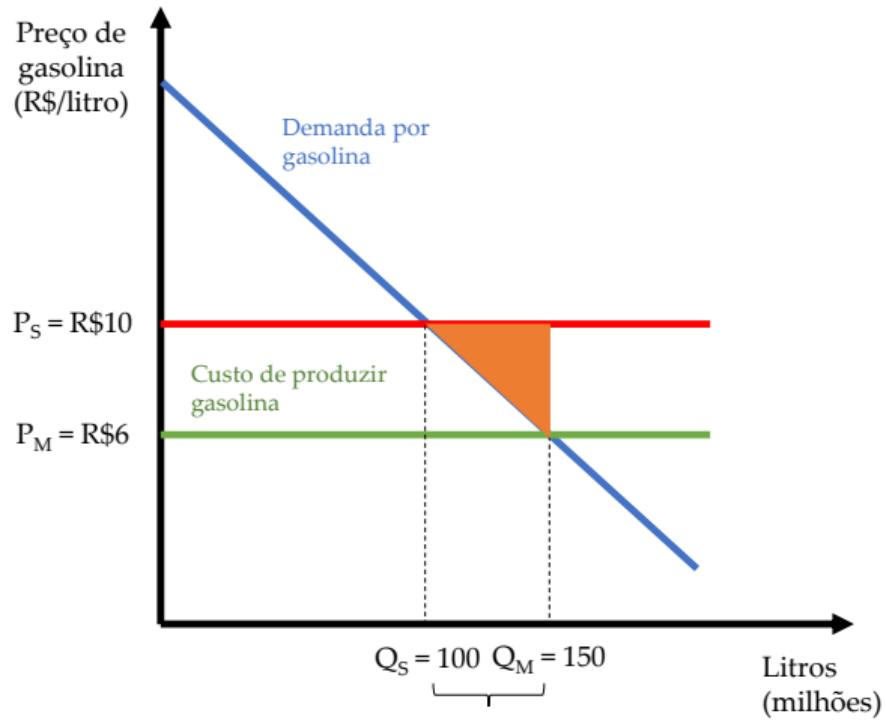
## Teoria vs Realidade

- No exercício anterior, os valores eram determinados e a mensuração do problema era simples
  - ▶ Quais informações utilizamos para responder as perguntas?
  - ▶ **Pergunta de pesquisa:** como mensurar esses objetos?
  - ▶ **Pergunta de pesquisa:** como chegar ao bem-estar social?

# Economia de externalidades



# Economia de externalidades



**Pergunta 2:** quais políticas  
reduzem poluição?

## 2. Custos sociais de mudanças climáticas e poluição

# Custos são multi-dimensionais

- Custos ambientais são multi-dimensionais.
  - ① Emissão de carbono
  - ② Poluição (ar, água, som, etc)
  - ③ Perda de biodiversidade
- Podem haver **interações**.
  - ▶ Exemplo: gastar gasolina para construir uma usina hidrelétrica.
  - ▶ Exemplo: bolsas de pano duram mais, mas sua produção custa mais (vs de plástico)

## Custos para quem?

- Custos ambientais **não são uniformemente distribuídos.**
  - ▶ Minerar ouro polui água das cidades vizinhas.
  - ▶ Construir rodovia afeta quem mora no caminho.
- Historicamente afetam áreas mais pobres, com menos capacidade para adaptação.
  - ▶ Lixões não são construídos na Gávea.

⇒ pesquisa crescente sobre *justiça ambiental*.

## Custos para quem?

- Custos ambientais **não são uniformemente distribuídos.**
  - ▶ Minerar ouro polui água das cidades vizinhas.
  - ▶ Construir rodovia afeta quem mora no caminho.
- Historicamente afetam áreas mais pobres, com menos capacidade para adaptação.
  - ▶ Lixões não são construídos na Gávea.

⇒ pesquisa crescente sobre *justiça ambiental*.

## Custos para quem?

- Custos ambientais **não são uniformemente distribuídos.**
  - ▶ Minerar ouro polui água das cidades vizinhas.
  - ▶ Construir rodovia afeta quem mora no caminho.
- Historicamente afetam áreas mais pobres, com menos capacidade para adaptação.
  - ▶ Lixões não são construídos na Gávea.

⇒ pesquisa crescente sobre *justiça ambiental*.

## Custos sociais de carbono

- Pesquisadores estimam custos sociais de vários tipos de poluição, passando por ar e água.
- Dada a ligação entre CO<sub>2</sub> e mudanças climáticas, emissões receberam uma atenção especial.
- Governos hoje em dia incorporam estimativas do "custo social de carbono" ao avaliar alternativas de política.
  - ▶ Uma nova rodovia gera benefícios econômicos, mas gera muito desmatamento e CO<sub>2</sub>.
- **Questão conceitual:** quanto uma tonelada de CO<sub>2</sub> custa para a sociedade em termos de danos ambientais?
  - ▶ 1 USD? 5 USD? 50 USD? 10000 USD?
  - ▶ Esse cálculo é difícil e é o objeto de muita pesquisa.

## Custos sociais de carbono

- Pesquisadores estimam custos sociais de vários tipos de poluição, passando por ar e água.
- Dada a ligação entre CO<sub>2</sub> e mudanças climáticas, emissões receberam uma atenção especial.
- Governos hoje em dia incorporam estimativas do "custo social de carbono" ao avaliar alternativas de política.
  - ▶ Uma nova rodovia gera benefícios econômicos, mas gera muito desmatamento e CO<sub>2</sub>.
- **Questão conceitual:** quanto uma tonelada de CO<sub>2</sub> custa para a sociedade em termos de danos ambientais?
  - ▶ 1 USD? 5 USD? 50 USD? 10000 USD?
  - ▶ Esse cálculo é difícil e é o objeto de muita pesquisa.

## Custos sociais de carbono

- Pesquisadores estimam custos sociais de vários tipos de poluição, passando por ar e água.
- Dada a ligação entre CO<sub>2</sub> e mudanças climáticas, emissões receberam uma atenção especial.
- Governos hoje em dia incorporam estimativas do "custo social de carbono" ao avaliar alternativas de política.
  - ▶ Uma nova rodovia gera benefícios econômicos, mas gera muito desmatamento e CO<sub>2</sub>.
- **Questão conceitual:** quanto uma tonelada de CO<sub>2</sub> custa para a sociedade em termos de danos ambientais?
  - ▶ 1 USD? 5 USD? 50 USD? 10000 USD?
  - ▶ Esse cálculo é difícil e é o objeto de muita pesquisa.

# Estimando os custos sociais de carbono

- Três passos para estimar o custo social de carbono.
  - ① Prever o impacto de 1 tonelada extra de CO<sub>2</sub> no clima, usando modelos climáticos preditivos.
  - ② Medir os impactos de mudanças climáticas em produtividade, saúde, pobreza, danos, etc.
  - ③ Calcular o custo social atual convertendo custos futuros a reais de hoje (desconto).
- Passo 1 é feito por pesquisa em ciências ambientais.
  - ▶ Ver Hsiang e Kopp (JEP, 2018) "An Economist's Guide to Climate Change Science"
- Ficaremos aqui em como *big data* está ajudando economistas a responder os **passos 2 e 3**.

## Estimando os custos sociais de carbono

- Três passos para estimar o custo social de carbono.
  - ① Prever o impacto de 1 tonelada extra de CO<sub>2</sub> no clima, usando modelos climáticos preditivos.
  - ② Medir os impactos de mudanças climáticas em produtividade, saúde, pobreza, danos, etc.
  - ③ Calcular o custo social atual convertendo custos futuros a reais de hoje (desconto).
- Passo 1 é feito por pesquisa em ciências ambientais.
  - ▶ Ver Hsiang e Kopp (JEP, 2018) "An Economist's Guide to Climate Change Science"
- Focaremos aqui em como *big data* está ajudando economistas a responder os **passos 2 e 3**.

# Estimando os custos sociais de carbono

- Três passos para estimar o custo social de carbono.
  - ① Prever o impacto de 1 tonelada extra de CO<sub>2</sub> no clima, usando modelos climáticos preditivos.
  - ② Medir os impactos de mudanças climáticas em produtividade, saúde, pobreza, danos, etc.
  - ③ Calcular o custo social atual convertendo custos futuros a reais de hoje (desconto).
- Passo 1 é feito por pesquisa em ciências ambientais.
  - ▶ Ver Hsiang e Kopp (JEP, 2018) “An Economist’s Guide to Climate Change Science”
- Ficaremos aqui em como *big data* está ajudando economistas a responder os **passos 2 e 3**.

## Estimando os custos sociais de carbono

- Três passos para estimar o custo social de carbono.
  - ① Prever o impacto de 1 tonelada extra de CO<sub>2</sub> no clima, usando modelos climáticos preditivos.
  - ② Medir os impactos de mudanças climáticas em produtividade, saúde, pobreza, danos, etc.
  - ③ Calcular o custo social atual convertendo custos futuros a reais de hoje (desconto).
- Passo 1 é feito por pesquisa em ciências ambientais.
  - ▶ Ver Hsiang e Kopp (JEP, 2018) “An Economist’s Guide to Climate Change Science”
- Ficaremos aqui em como *big data* está ajudando economistas a responder os **passos 2 e 3**.

## Estimando os custos sociais de carbono

- Três passos para estimar o custo social de carbono.
  - ① Prever o impacto de 1 tonelada extra de CO<sub>2</sub> no clima, usando modelos climáticos preditivos.
  - ② Medir os impactos de mudanças climáticas em produtividade, saúde, pobreza, danos, etc.
  - ③ Calcular o custo social atual convertendo custos futuros a reais de hoje (desconto).
- Passo 1 é feito por pesquisa em ciências ambientais.
  - ▶ Ver Hsiang e Kopp (JEP, 2018) "An Economist's Guide to Climate Change Science"
- Focaremos aqui em como *big data* está ajudando economistas a responder os **passos 2 e 3**.

## Estimando os custos sociais de carbono

- Três passos para estimar o custo social de carbono.
  - ① Prever o impacto de 1 tonelada extra de CO<sub>2</sub> no clima, usando modelos climáticos preditivos.
  - ② Medir os impactos de mudanças climáticas em produtividade, saúde, pobreza, danos, etc.
  - ③ Calcular o custo social atual convertendo custos futuros a reais de hoje (desconto).
- Passo 1 é feito por pesquisa em ciências ambientais.
  - ▶ Ver Hsiang e Kopp (JEP, 2018) "An Economist's Guide to Climate Change Science"
- Focaremos aqui em como *big data* está ajudando economistas a responder os **passos 2 e 3**.

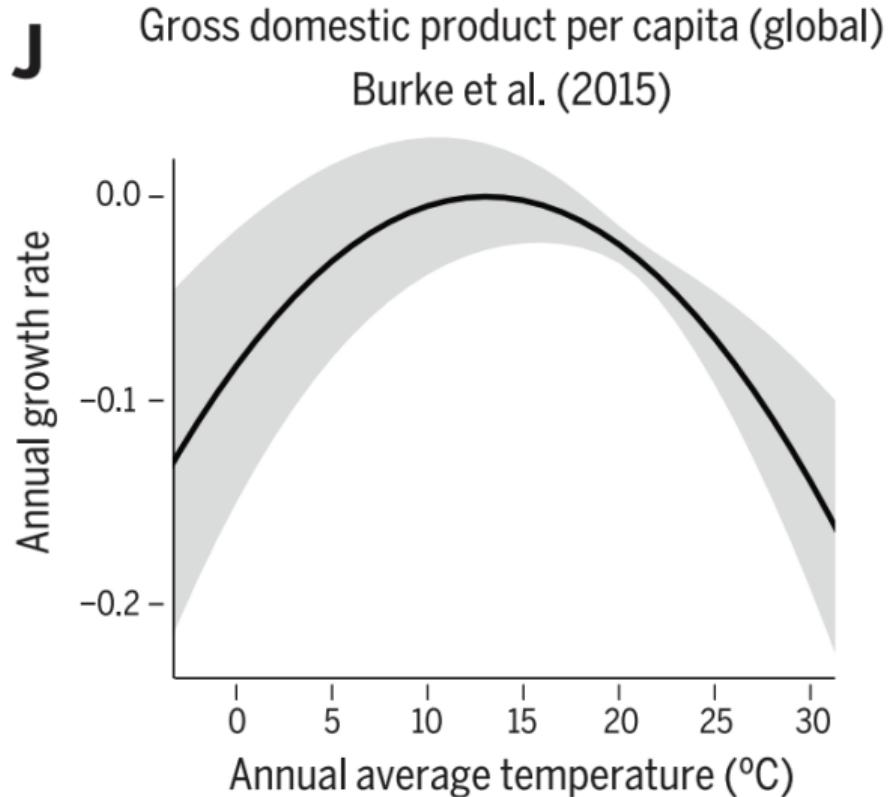
## Estimando os custos sociais de carbono

- **Ideia geral:** estimar modelos que relacionam resultados a flutuações de temperatura entre dias, meses, anos.
  - ▶ Comparações intra-área, entre tempo.
  - ▶ Variações aleatórias de temperatura intra-área  $\implies$  estimar efeito causal.
  - ▶ Nota: isso captura efeitos de curto prazo, ignorando o potencial para adaptação.
- Carleton e Hsiang (2016) compilam vários estudos.

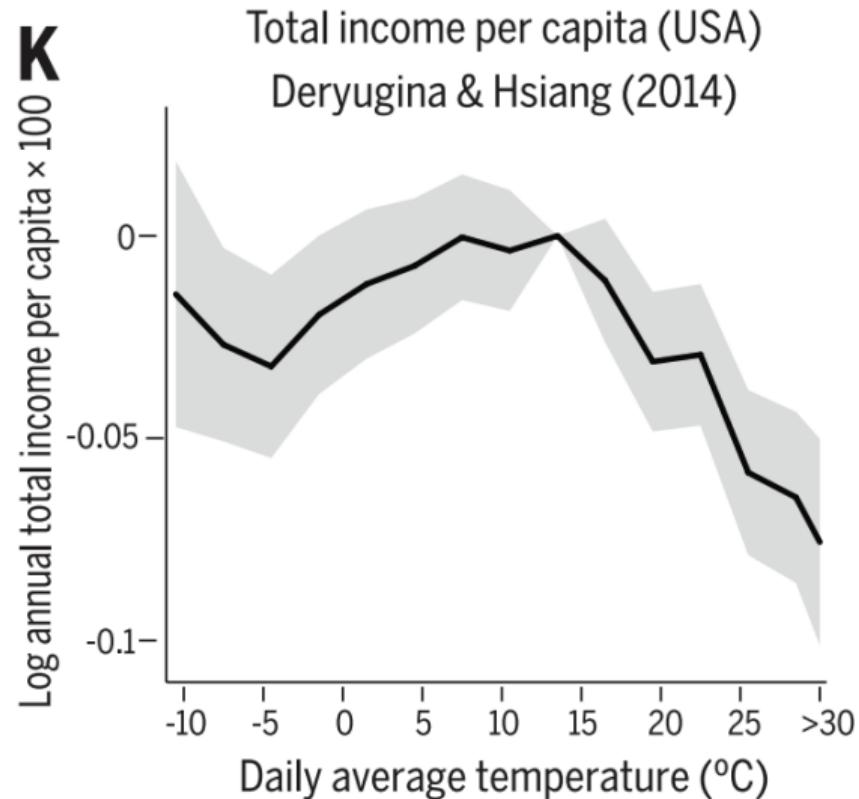
## Estimando os custos sociais de carbono

- **Ideia geral:** estimar modelos que relacionam resultados a flutuações de temperatura entre dias, meses, anos.
  - ▶ Comparações intra-área, entre tempo.
  - ▶ Variações aleatórias de temperatura intra-área  $\implies$  estimar efeito causal.
  - ▶ Nota: isso captura efeitos de curto prazo, ignorando o potencial para adaptação.
- Carleton e Hsiang (2016) compilam vários estudos.

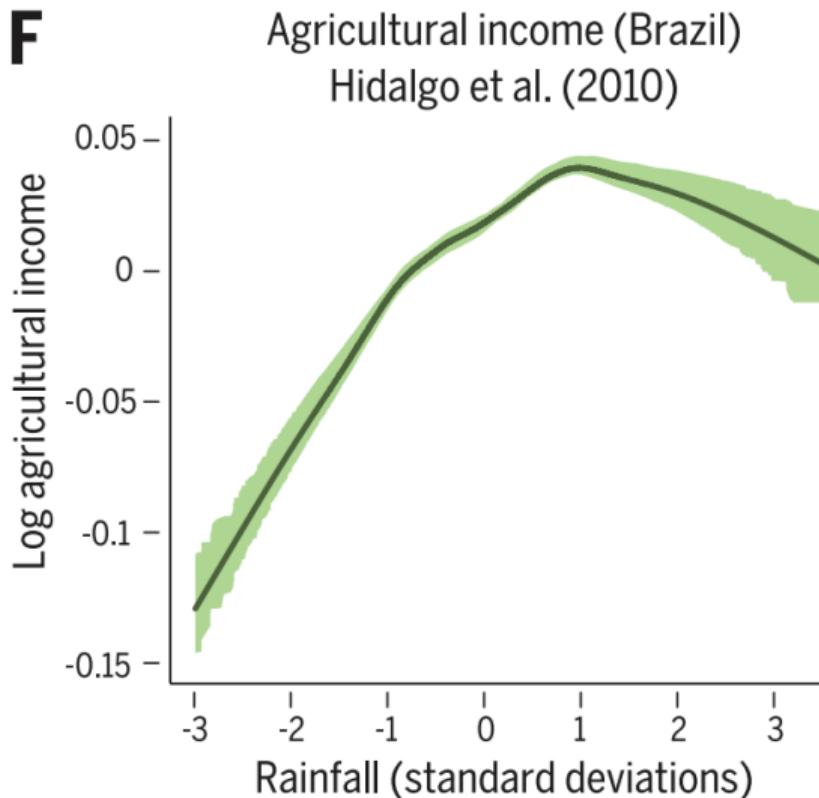
## Temperatura vs PIB



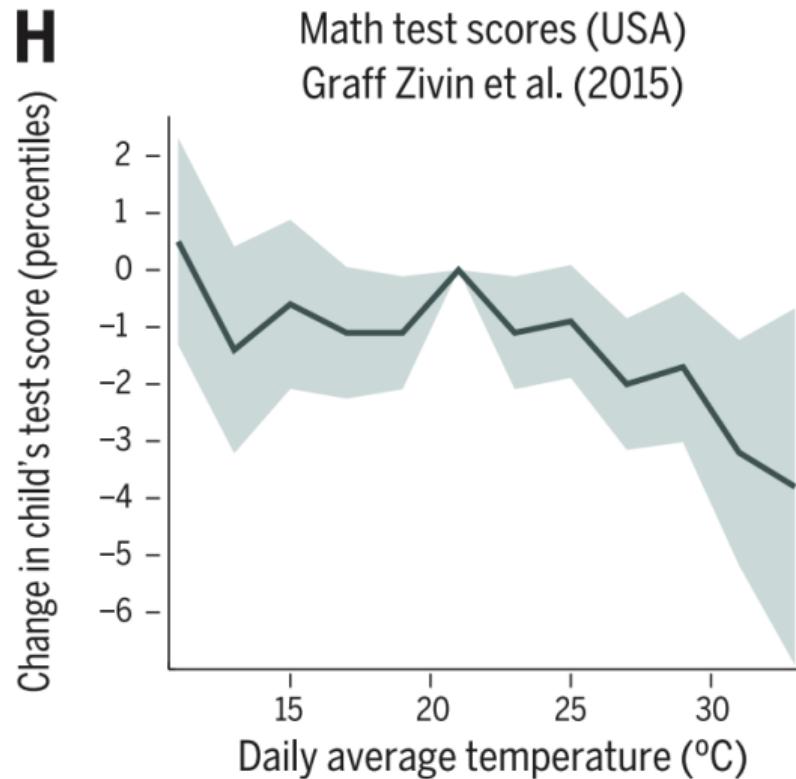
## Temperatura vs Renda



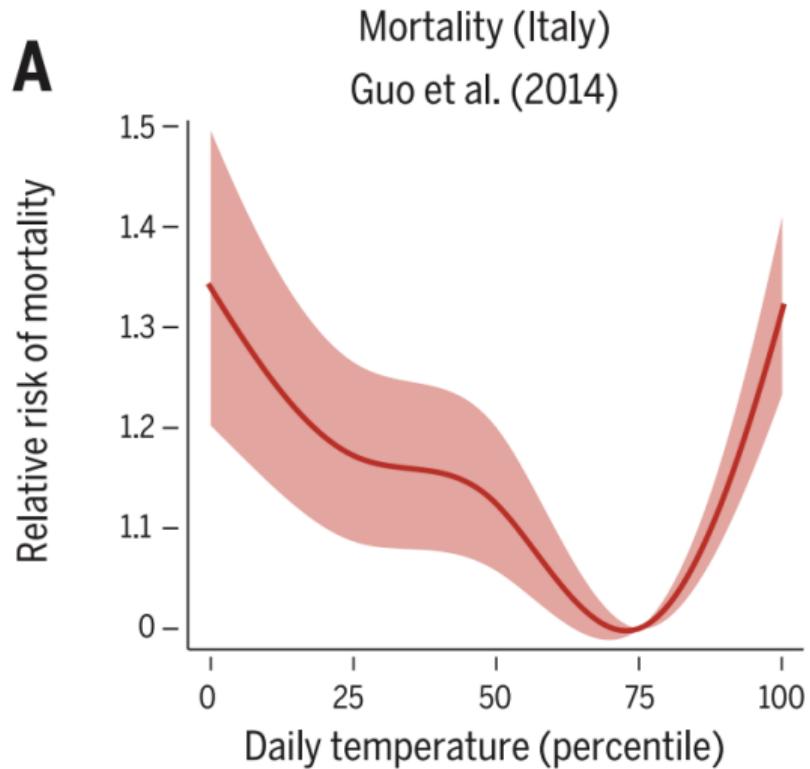
## Temperatura vs Renda de Agricultura



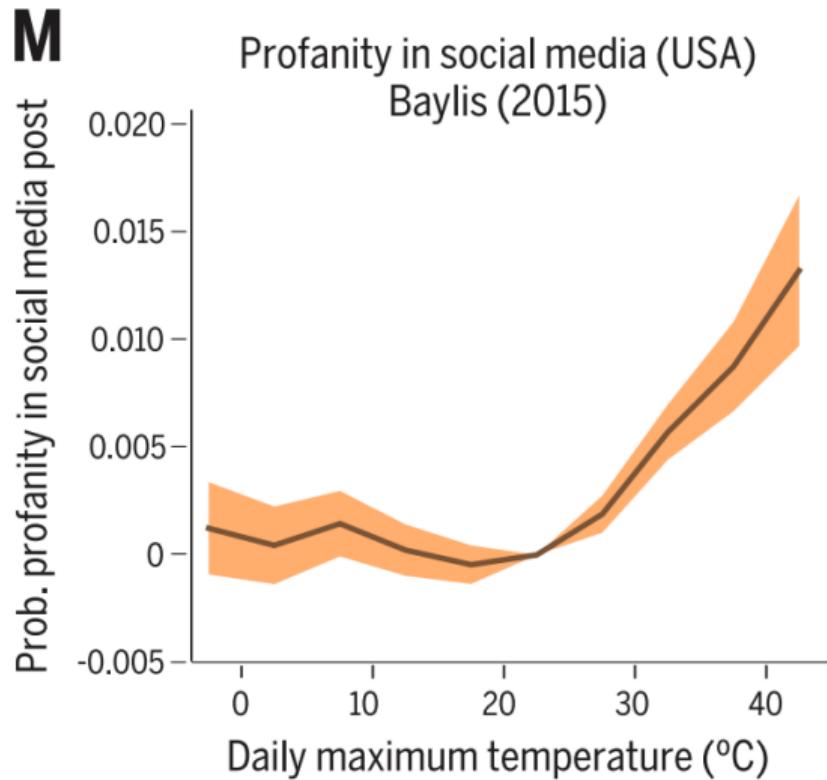
# Temperatura vs Notas em Matemática



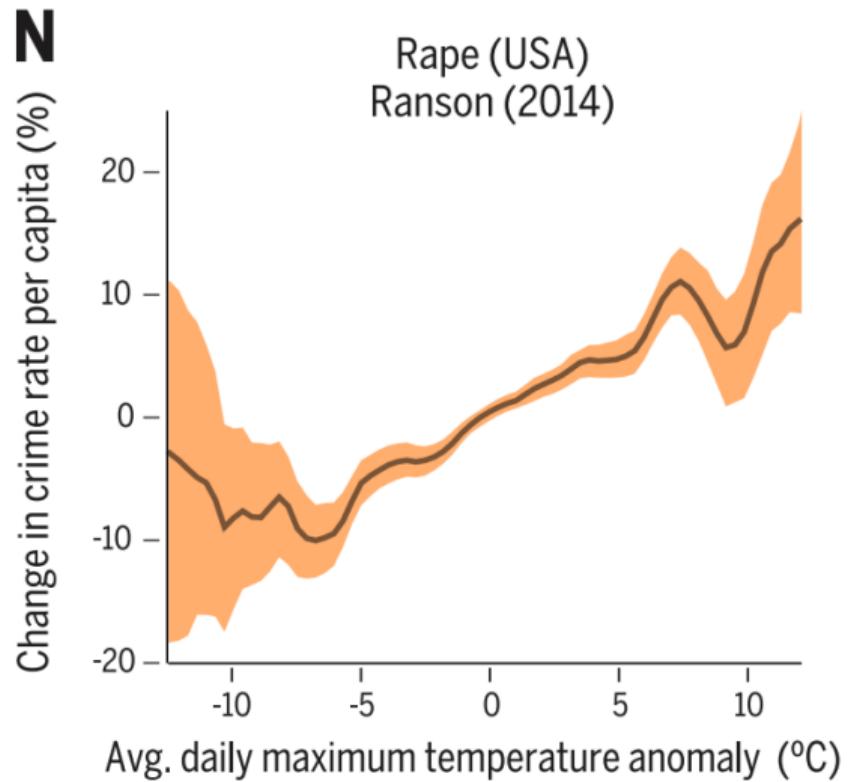
## Temperatura vs Mortalidade



## Temperatura vs Xingamentos



## Temperatura vs Estupros



# Incorporando adaptação

- **Pergunta:** Como esses efeitos de curto prazo mudam quando sociedades tem tempo para se adaptar?
- **Dificuldade:** é difícil identificar impactos causais de tendências de longo prazo de clima.
  - ▶ Várias outras coisas mudam ao longo do tempo.
- **Alternativa:** comparar efeitos de curto prazo em lugares que tiveram tempo para se adaptar vs não.
  - ▶ Exemplo: os efeitos de uma onda de calor são menores em áreas que tem ondas regularmente?
  - ▶ Flutuações de temperatura tem efeitos menores em áreas ricas?

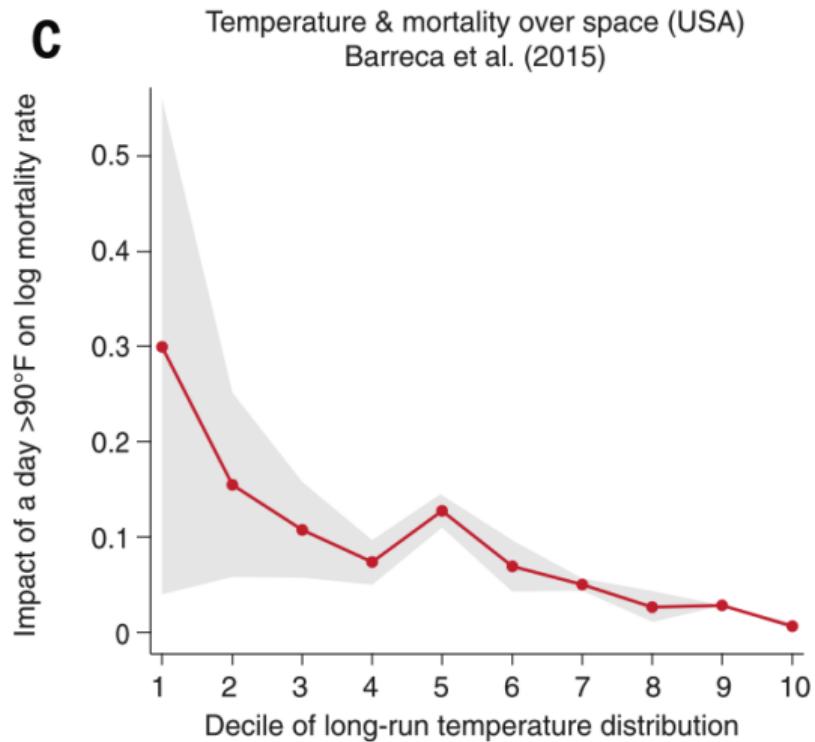
# Incorporando adaptação

- **Pergunta:** Como esses efeitos de curto prazo mudam quando sociedades tem tempo para se adaptar?
- **Dificuldade:** é difícil identificar impactos causais de tendências de longo prazo de clima.
  - ▶ Várias outras coisas mudam ao longo do tempo.
- **Alternativa:** comparar efeitos de curto prazo em lugares que tiveram tempo para se adaptar vs não.
  - ▶ Exemplo: os efeitos de uma onda de calor são menores em áreas que tem ondas regularmente?
  - ▶ Flutuações de temperatura tem efeitos menores em áreas ricas?

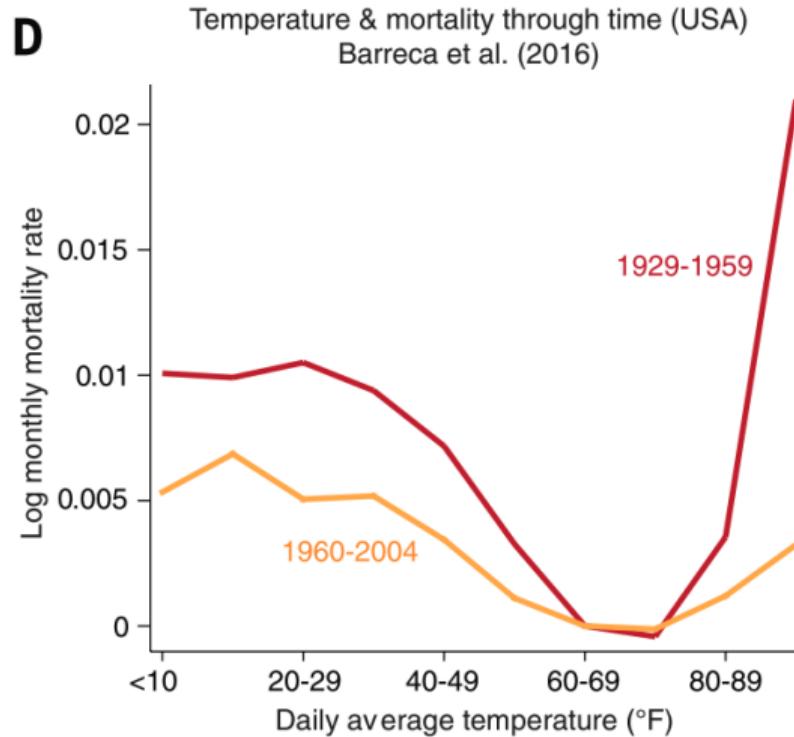
## Incorporando adaptação

- **Pergunta:** Como esses efeitos de curto prazo mudam quando sociedades tem tempo para se adaptar?
- **Dificuldade:** é difícil identificar impactos causais de tendências de longo prazo de clima.
  - ▶ Várias outras coisas mudam ao longo do tempo.
- **Alternativa:** comparar efeitos de curto prazo em lugares que tiveram tempo para se adaptar vs não.
  - ▶ Exemplo: os efeitos de uma onda de calor são menores em áreas que tem ondas regularmente?
  - ▶ Flutuações de temperatura tem efeitos menores em áreas ricas?

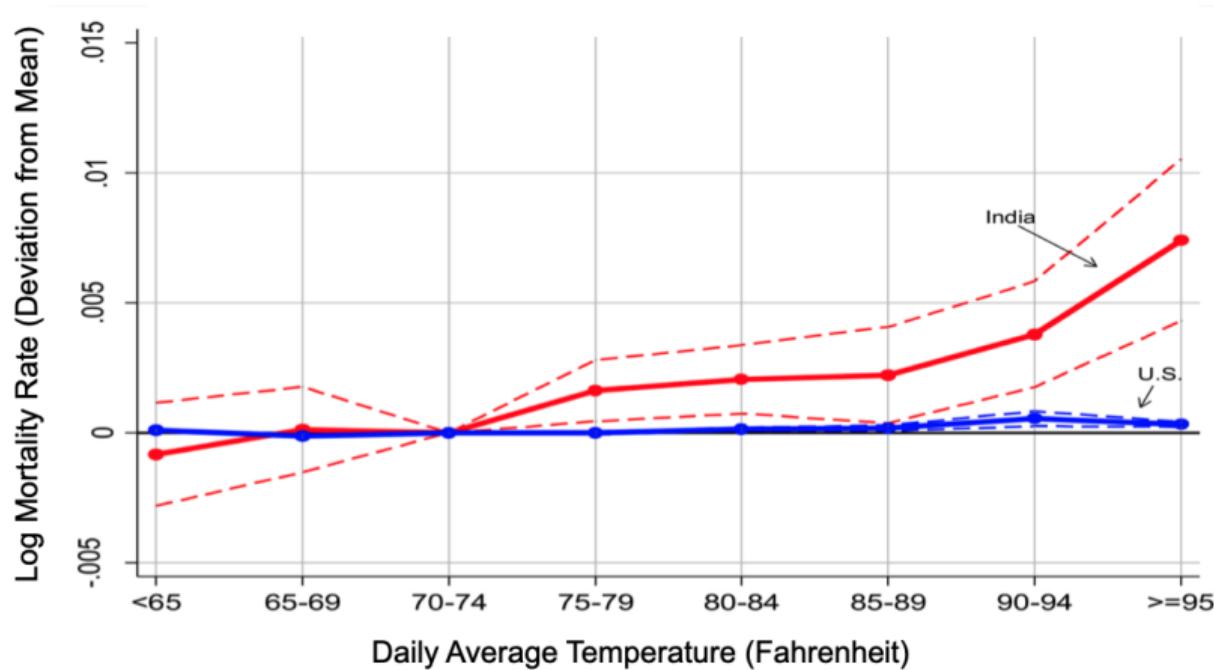
# Temperatura vs mortalidade no espaço



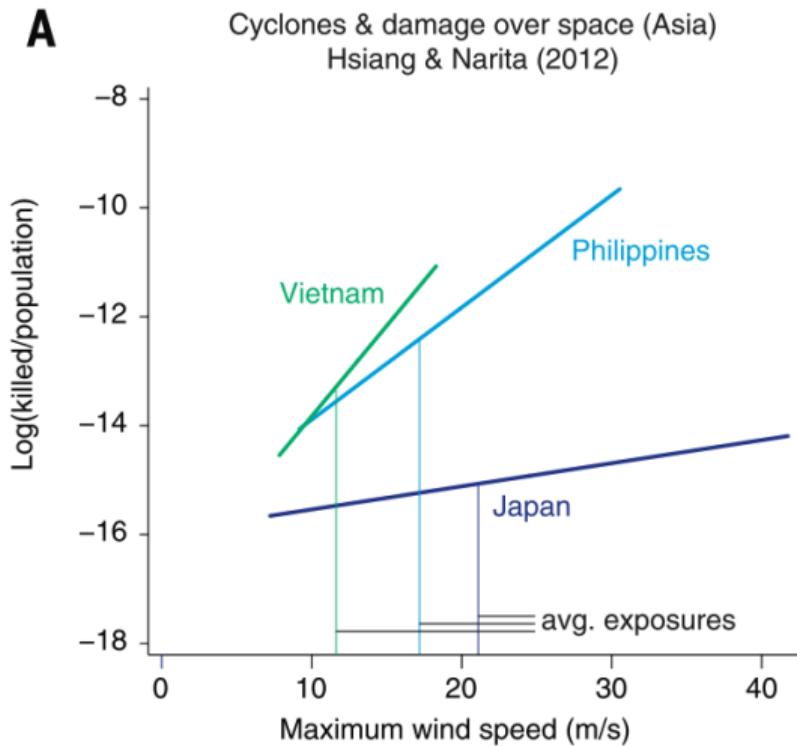
## Temperatura vs mortalidade no tempo



## Temperatura vs mortalidade: EUA vs Índia (Burgess et al. 2017)



# Ciclones e danos no espaço



## Estimando o impacto de mudanças climáticas

- Burke et al. (2015) estimam que em 2100 mudanças climáticas terão reduzido o PIB mundial em 23%.
- Essa estimativa é baseada em flutuações de curto prazo de temperatura, apesar de que os autores argumentam que no longo prazo deve ser parecido.
  - ▶ Não há evidência que relação entre temperatura e PIB mudou em anos recentes.
- Outra limitação: é difícil mensurar atividade econômica sistematicamente, em particular em áreas rurais de países pobres.
- Abordagem alternativa: dados de satélite (diurnos, noturnos)

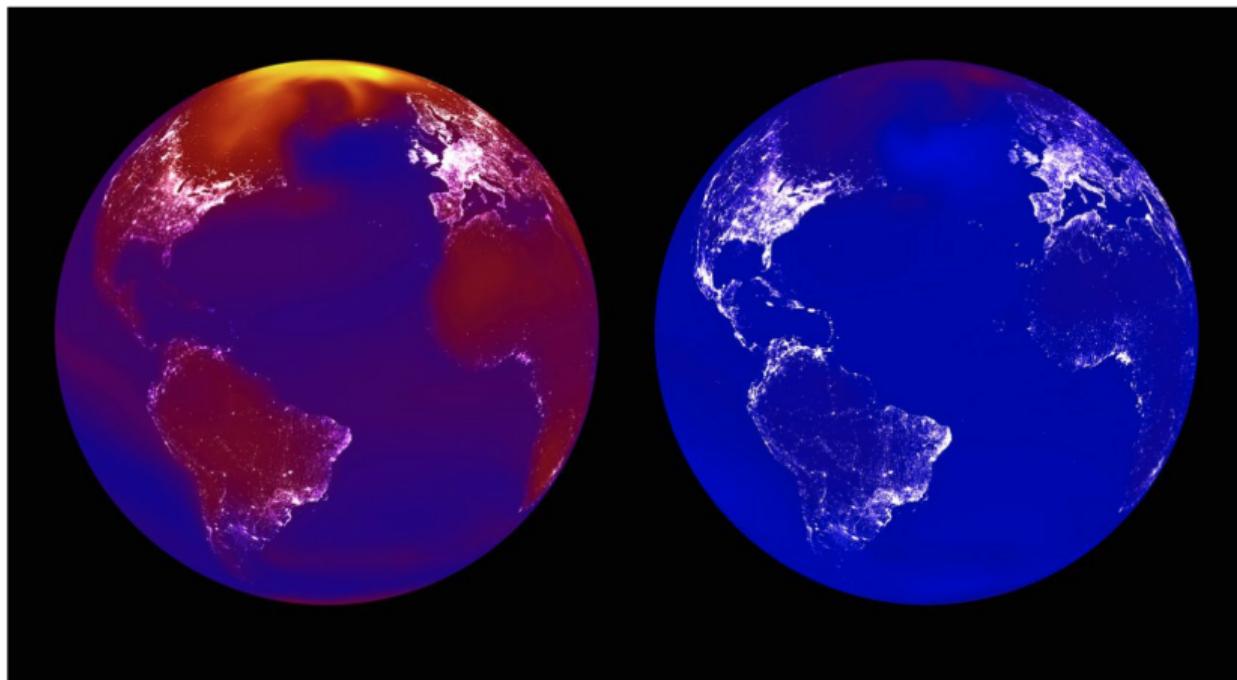
## Estimando o impacto de mudanças climáticas

- Burke et al. (2015) estimam que em 2100 mudanças climáticas terão reduzido o PIB mundial em 23%.
- Essa estimativa é baseada em flutuações de curto prazo de temperatura, apesar de que os autores argumentam que no longo prazo deve ser parecido.
  - ▶ Não há evidência que relação entre temperatura e PIB mudou em anos recentes.
- Outra limitação: é difícil mensurar atividade econômica sistematicamente, em particular em áreas rurais de países pobres.
- Abordagem alternativa: dados de satélite (diurnos, noturnos)

## Estimando o impacto de mudanças climáticas

- Burke et al. (2015) estimam que em 2100 mudanças climáticas terão reduzido o PIB mundial em 23%.
- Essa estimativa é baseada em flutuações de curto prazo de temperatura, apesar de que os autores argumentam que no longo prazo deve ser parecido.
  - ▶ Não há evidência que relação entre temperatura e PIB mudou em anos recentes.
- Outra limitação: é difícil mensurar atividade econômica sistematicamente, em particular em áreas rurais de países pobres.
- Abordagem alternativa: dados de satélite (diurnos, noturnos)

# Visualizando o impacto de mudanças climáticas com luminosidade noturna (Carleton and Hsiang, 2016)



Business as Usual

Stringent Emissions Reduction

## Impactos de poluição no ar

- Métodos similares podem ser usados para estudar o impacto de outros tipos de dano ambiental.
- Isen et al. (2017) examinam o impacto de poluição no ar sobre resultados de crianças no longo prazo nos EUA.
- Com dados administrativos e dados tributários, são capazes de medir como poluição no lugar de nascimento de crianças afeta as trajetórias de emprego e renda aos 30 anos.

## Explorando o “Clean Air Act” para estimar efeitos causais

- Isen et al. (2017) exploram o “Clean Air Act” (CAA) de 1970 para estimar os efeitos causais da poluição do ar.
- O CAA colocou um teto no total de partículas suspensas que todos os condados nos EUA tiveram que obedecer.
- Alguns condados já estavam abaixo do teto, mas outros não.
- Isso levou a **mudanças diferenciais** na poluição entre os condados...

# Impacto do CAA em poluição no ar (Chay e Greenstone, 2005)

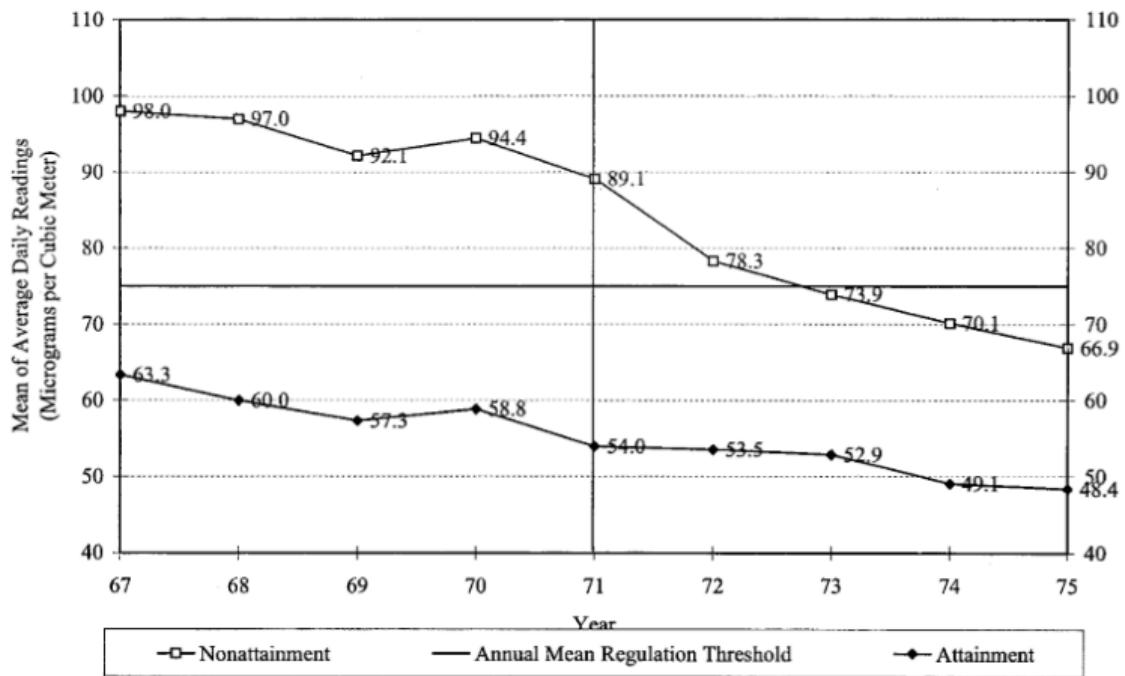


FIG. 2.—1967–75 trends in TSPs concentrations, by 1972 attainment status. The data points are derived from the 228 counties that were continuously monitored in this period. The 116 attainment counties had a 1970 population of approximately 25.8 million people, whereas about 63.4 million people lived in the 112 nonattainment counties in the same year. Each data point is the unweighted mean across all counties in the relevant regulatory category.

# Impacto do CAA em poluição no ar (Chay e Greenstone, 2005)

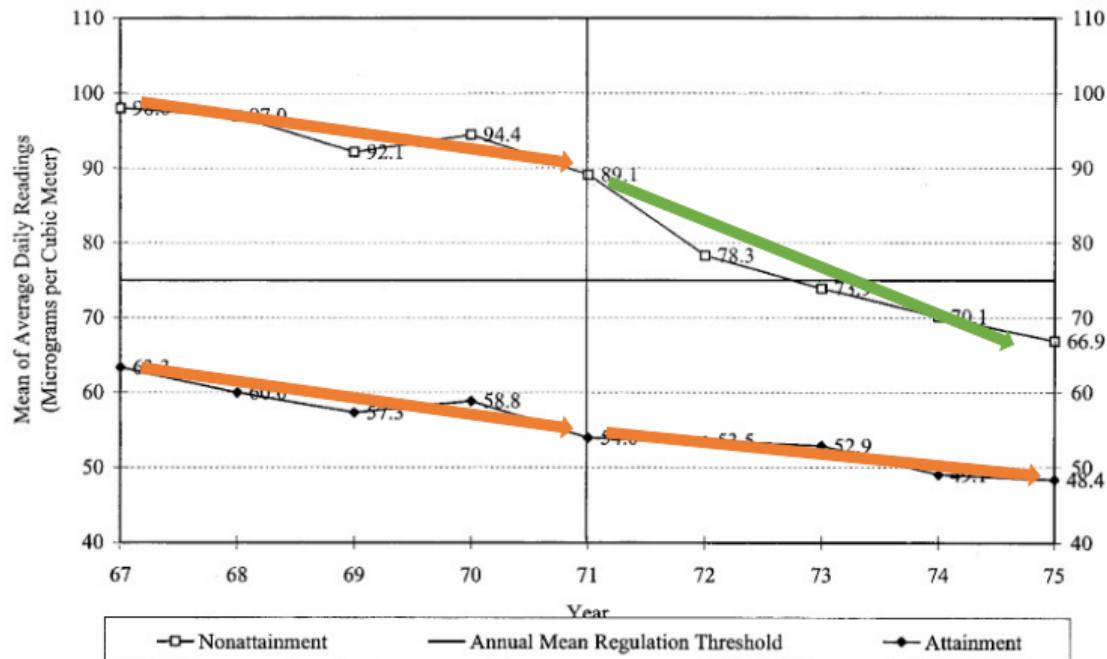
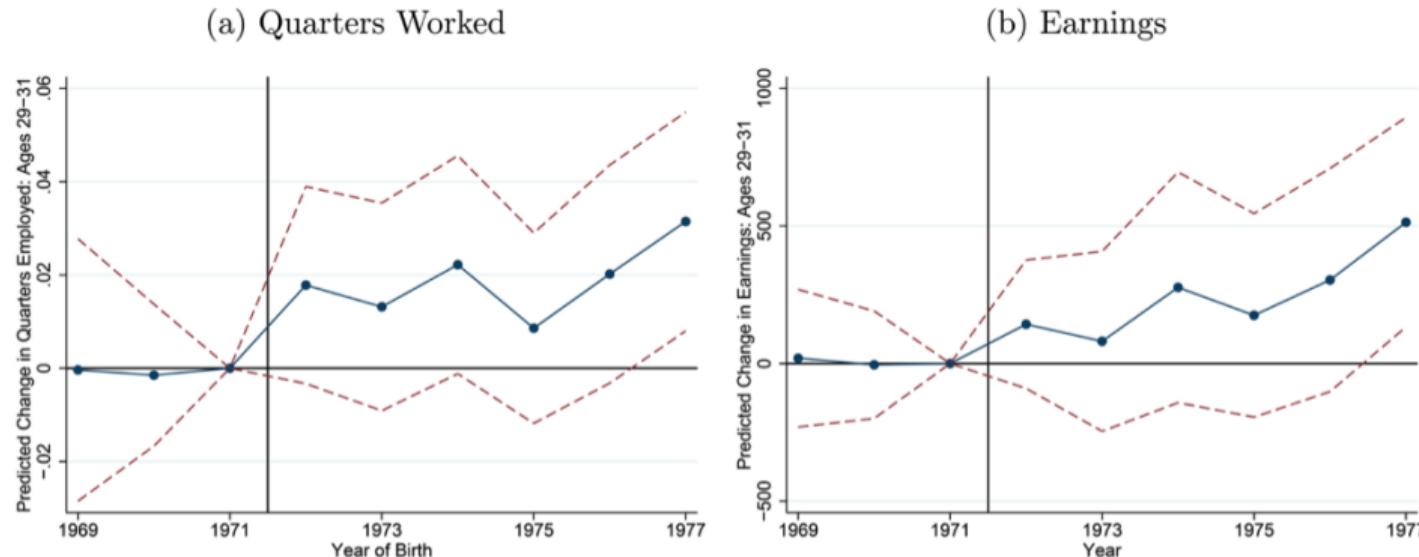


FIG. 2.—1967–75 trends in TSPs concentrations, by 1972 attainment status. The data points are derived from the 228 counties that were continuously monitored in this period. The 116 attainment counties had a 1970 population of approximately 25.8 million people, whereas about 63.4 million people lived in the 112 nonattainment counties in the same year. Each data point is the unweighted mean across all counties in the relevant regulatory category.

## Efeitos de poluição em resultados econômicos

- Isen et al. (2017) usam essa variação para olhar para resultados aos 30 anos vs ano de nascimento.
- Plotam a diferença de resultados entre (1) áreas tratadas vs controle e (2) ano de nascimento.

# Impacto do CAA em resultados econômicos na idade 29-31 (Isen et al., 2017)



Redução de poluição aumentou renda em +/- 1%  $\Rightarrow$  ganho total de 6.5 bilhões de USD por coorte.

# Tópico 9

## Mudanças Climáticas e Poluição

Ricardo Dahis

PUC-Rio, Departamento de Economia

2023.1

# Conteúdos

## 1 Mudanças climáticas e economia ambiental

- Externalidades

## 2 Custos sociais de mudanças climáticas e poluição

## 3 Políticas para mitigar mudanças climáticas

- Precificando carbono
- Impostos sobre gasolina
- Preços de eletricidade
- Pagamentos por serviços ambientais (PES)
- Políticas de comando e controle
- Decisões individuais

## Estimando os custos sociais de carbono

- Três passos para estimar o custo social de carbono.
  - ① Prever o impacto de 1 tonelada extra de CO<sub>2</sub> no clima, usando modelos climáticos preditivos.
  - ② Medir os impactos de mudanças climáticas em produtividade, saúde, pobreza, danos, etc.
  - ③ **Calcular o custo social atual convertendo custos futuros a reais de hoje (desconto).**

## Descontando custos futuros

- Os estudos discutidos até agora examinam os custos dos danos ambientais em um único ano.
  - ▶ Ex: perda do PIB de 23% em 2100 devido à mudança climática ou custo de 6,5 bilhões de USD em renda por coorte.
- Etapa final do cálculo dos custos sociais de dano ambiental: somar esta sequência de custos para gerar um único valor atual.
- **Questão crítica nesta etapa:** quanto vale o dinheiro de amanhã, hoje?
  - ▶ Se não nos preocupamos com as gerações futuras, os custos *não são grandes*.
  - ▶ Se nos preocuparmos igualmente com todas as gerações, os custos podem ser *infinitos*.

## Estimando taxas longas de desconto

- **Desafio:** como podemos estimar como as pessoas avaliam os fluxos de caixa durante um período de centenas de anos usando dados do mundo real?
- Giglio, Maggiori e Stroebel (2015) desenvolvem uma abordagem inovadora.
- Usam dados sobre todas as vendas residenciais no Reino Unido e Cingapura nos anos 2000.
- Comparam quanto as pessoas pagam por dois tipos diferentes de contratos de habitação:
  - ① Propriedades: propriedade perpétua (como nos EUA e Brasil).
  - ② Arrendamento: propriedade por um período fixo (por exemplo, 100 anos ou 1000 anos)

## Estimando taxas longas de desconto

- **Desafio:** como podemos estimar como as pessoas avaliam os fluxos de caixa durante um período de centenas de anos usando dados do mundo real?
- Giglio, Maggiori e Stroebel (2015) desenvolvem uma abordagem inovadora.
  - Usam dados sobre todas as vendas residenciais no Reino Unido e Cingapura nos anos 2000.
  - Comparam quanto as pessoas pagam por dois tipos diferentes de contratos de habitação:
    - ① Propriedades: propriedade perpétua (como nos EUA e Brasil).
    - ② Arrendamento: propriedade por um período fixo (por exemplo, 100 anos ou 1000 anos)

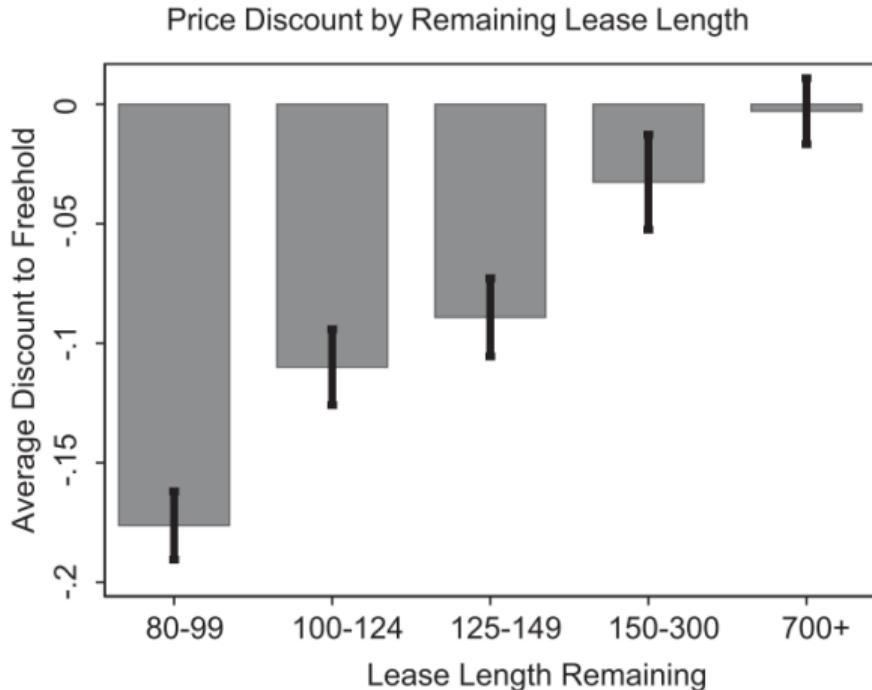
## Estimando taxas longas de desconto

- **Desafio:** como podemos estimar como as pessoas avaliam os fluxos de caixa durante um período de centenas de anos usando dados do mundo real?
- Giglio, Maggiori e Stroebel (2015) desenvolvem uma abordagem inovadora.
- Usam dados sobre todas as vendas residenciais no Reino Unido e Cingapura nos anos 2000.
- Comparam quanto as pessoas pagam por dois tipos diferentes de contratos de habitação:
  - ① Propriedades: propriedade perpétua (como nos EUA e Brasil).
  - ② Arrendamento: propriedade por um período fixo (por exemplo, 100 anos ou 1000 anos)

## Estimando taxas longas de desconto

- **Desafio:** como podemos estimar como as pessoas avaliam os fluxos de caixa durante um período de centenas de anos usando dados do mundo real?
- Giglio, Maggiori e Stroebel (2015) desenvolvem uma abordagem inovadora.
- Usam dados sobre todas as vendas residenciais no Reino Unido e Cingapura nos anos 2000.
- Comparam quanto as pessoas pagam por dois tipos diferentes de contratos de habitação:
  - ① Propriedades: propriedade perpétua (como nos EUA e Brasil).
  - ② Arrendamento: propriedade por um período fixo (por exemplo, 100 anos ou 1000 anos)

## Desconto de preço por tempo restante (Giglio et al. 2015)



- Pessoas pagam 12% menos por uma casa que serão donas por 100 anos relativo a dono para sempre.
- Desconto de preço até para contratos de 100+ anos  $\implies$  pessoas valorizam dinheiro que terão daqui a 100 anos.
- **Taxa de desconto anual implicada é 2.6%.**
  - ▶ 1000 BRL daqui a 1 ano vale 974 BRL hoje.

## Resumo: custos sociais de carbono

- Juntando todas essas estimativas, **qual é o custo social do carbono?**
- O *Obama Interagency Working Group on Social Cost of Carbon* foi encarregado de responder essa pergunta.
  - ▶ Dados compilados sobre impactos estimados de emissões de carbono.
  - ▶ Aplicado uma taxa de desconto de 3% aos custos futuros.
- Custo social do carbono fixado em **40 USD por tonelada de CO<sub>2</sub>** emitida.
- Esse número agora é usado em inúmeras decisões políticas, desde regras de economia de combustível para carros até regulamentos sobre usinas de energia.
- Porém número é muito debatido.
  - ▶ E se descontássemos o futuro a 7%?  $\Rightarrow$  custo cai para 5 USD (Greenstone NYT 2016).

## Resumo: custos sociais de carbono

- Juntando todas essas estimativas, **qual é o custo social do carbono?**
- O *Obama Interagency Working Group on Social Cost of Carbon* foi encarregado de responder essa pergunta.
  - ▶ Dados compilados sobre impactos estimados de emissões de carbono.
  - ▶ Aplicado uma taxa de desconto de 3% aos custos futuros.
- Custo social do carbono fixado em **40 USD por tonelada de CO<sub>2</sub>** emitida.
- Esse número agora é usado em inúmeras decisões políticas, desde regras de economia de combustível para carros até regulamentos sobre usinas de energia.
- Porém número é muito debatido.
  - ▶ E se descontássemos o futuro a 7%?  $\Rightarrow$  custo cai para 5 USD (Greenstone NYT 2016).

## Resumo: custos sociais de carbono

- Juntando todas essas estimativas, **qual é o custo social do carbono?**
- O *Obama Interagency Working Group on Social Cost of Carbon* foi encarregado de responder essa pergunta.
  - ▶ Dados compilados sobre impactos estimados de emissões de carbono.
  - ▶ Aplicado uma taxa de desconto de 3% aos custos futuros.
- Custo social do carbono fixado em **40 USD por tonelada de CO<sub>2</sub>** emitida.
- Esse número agora é usado em inúmeras decisões políticas, desde regras de economia de combustível para carros até regulamentos sobre usinas de energia.
- Porém número é muito debatido.
  - ▶ E se descontássemos o futuro a 7%?  $\Rightarrow$  custo cai para 5 USD (Greenstone NYT 2016).

## Resumo: custos sociais de carbono

- Juntando todas essas estimativas, **qual é o custo social do carbono?**
- O *Obama Interagency Working Group on Social Cost of Carbon* foi encarregado de responder essa pergunta.
  - ▶ Dados compilados sobre impactos estimados de emissões de carbono.
  - ▶ Aplicado uma taxa de desconto de 3% aos custos futuros.
- Custo social do carbono fixado em **40 USD por tonelada de CO<sub>2</sub>** emitida.
- Esse número agora é usado em inúmeras decisões políticas, desde regras de economia de combustível para carros até regulamentos sobre usinas de energia.
- Porém número é muito debatido.
  - ▶ E se descontássemos o futuro a 7%?  $\Rightarrow$  custo cai para 5 USD (Greenstone NYT 2016).

## Resumo: custos sociais de carbono

- Juntando todas essas estimativas, **qual é o custo social do carbono?**
- O *Obama Interagency Working Group on Social Cost of Carbon* foi encarregado de responder essa pergunta.
  - ▶ Dados compilados sobre impactos estimados de emissões de carbono.
  - ▶ Aplicado uma taxa de desconto de 3% aos custos futuros.
- Custo social do carbono fixado em **40 USD por tonelada de CO<sub>2</sub>** emitida.
- Esse número agora é usado em inúmeras decisões políticas, desde regras de economia de combustível para carros até regulamentos sobre usinas de energia.
- Porém número é muito debatido.
  - ▶ E se descontássemos o futuro a 7%?  $\Rightarrow$  custo cai para 5 USD (Greenstone NYT 2016).

### 3. Políticas para mitigar mudanças climáticas

# O governo precisaria intervir?

- Será que deixar o mercado atuar “sozinho” resolveria o problema **a tempo**?
- Argumento econômico: se agentes incorporam informação e riscos, isso se refletiria em preços e incentivaria ajustes.
- Exemplo
  - ① Demanda por eletricidade limpa ↑
  - ② Empresas inovadoras com tecnologias limpas (porém mais caras) ganham espaço.
  - ③ Mercado converge a produção e consumo limpos.
- Vejamos evidências a favor da ideia que mercados bastam.

## O governo precisaria intervir?

- Será que deixar o mercado atuar “sozinho” resolveria o problema **a tempo**?
- Argumento econômico: se agentes incorporam informação e riscos, isso se refletiria em preços e incentivaria ajustes.
- Exemplo
  - ① Demanda por eletricidade limpa ↑
  - ② Empresas inovadoras com tecnologias limpas (porém mais caras) ganham espaço.
  - ③ Mercado converge a produção e consumo limpos.
- Vejamos evidências a favor da ideia que mercados bastam.

## O governo precisaria intervir?

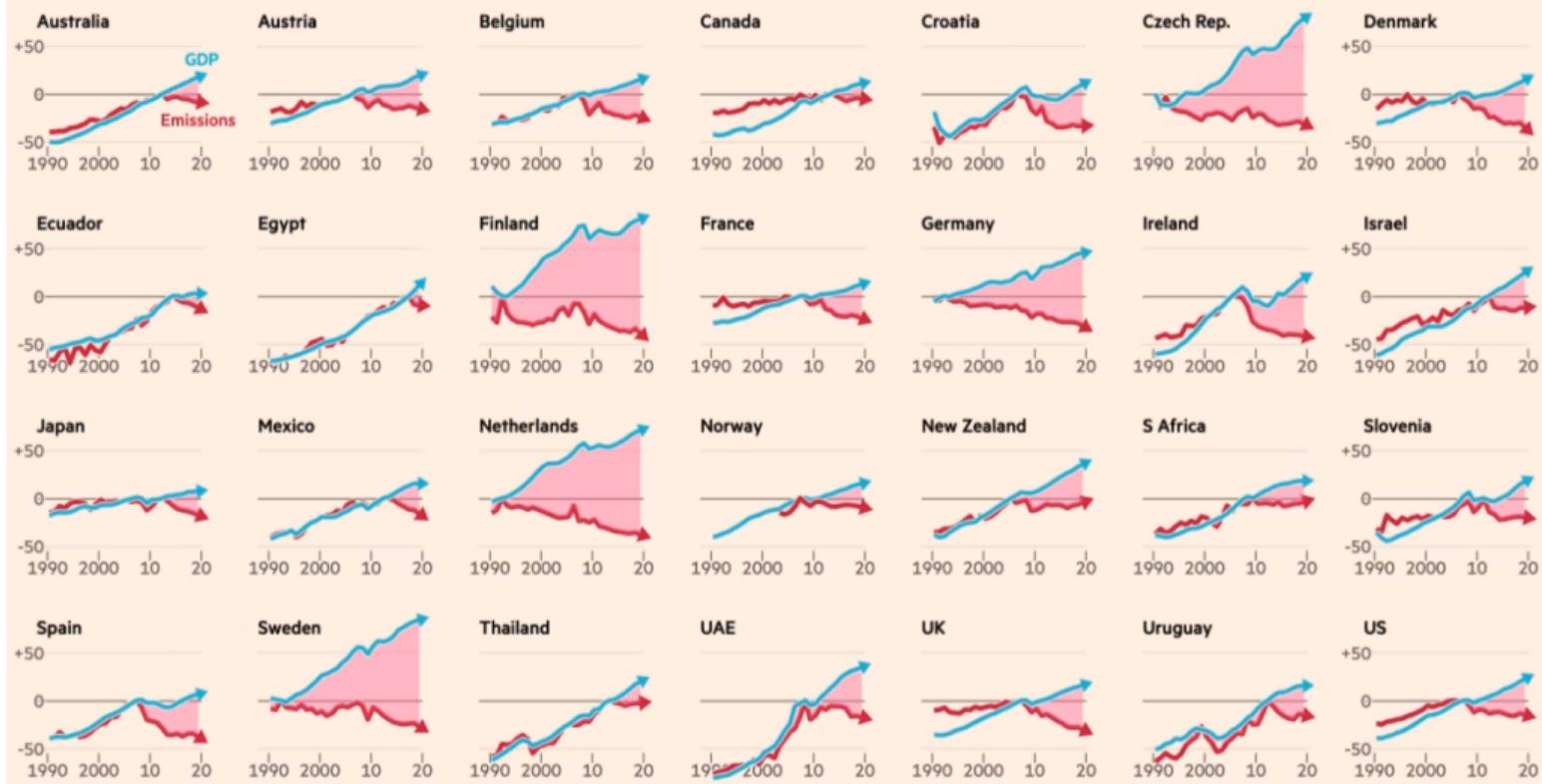
- Será que deixar o mercado atuar “sozinho” resolveria o problema **a tempo**?
- Argumento econômico: se agentes incorporam informação e riscos, isso se refletiria em preços e incentivaria ajustes.
- Exemplo
  - ① Demanda por eletricidade limpa ↑
  - ② Empresas inovadoras com tecnologias limpas (porém mais caras) ganham espaço.
  - ③ Mercado converge a produção e consumo limpos.
- Vejamos evidências a favor da ideia que mercados bastam.

## O governo precisaria intervir?

- Será que deixar o mercado atuar “sozinho” resolveria o problema **a tempo**?
- Argumento econômico: se agentes incorporam informação e riscos, isso se refletiria em preços e incentivaria ajustes.
- Exemplo
  - ① Demanda por eletricidade limpa ↑
  - ② Empresas inovadoras com tecnologias limpas (porém mais caras) ganham espaço.
  - ③ Mercado converge a produção e consumo limpos.
- Vejamos evidências a favor da ideia que mercados bastam.

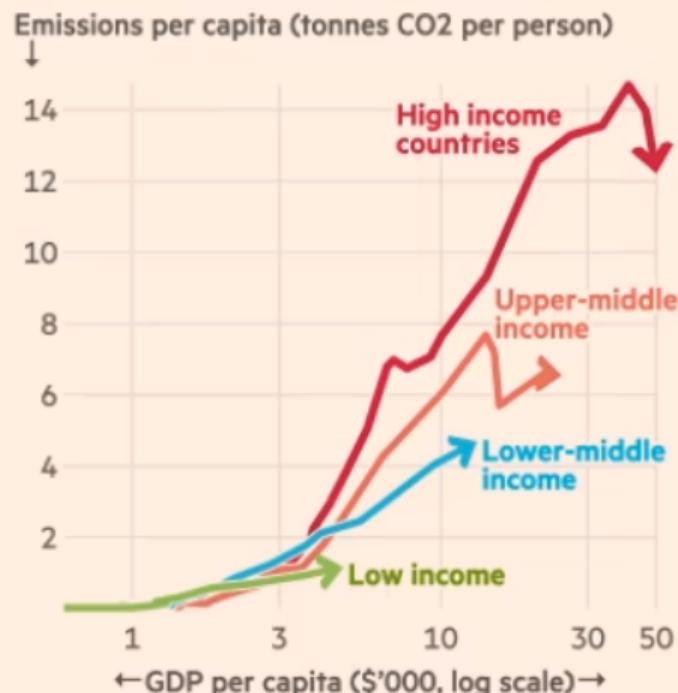
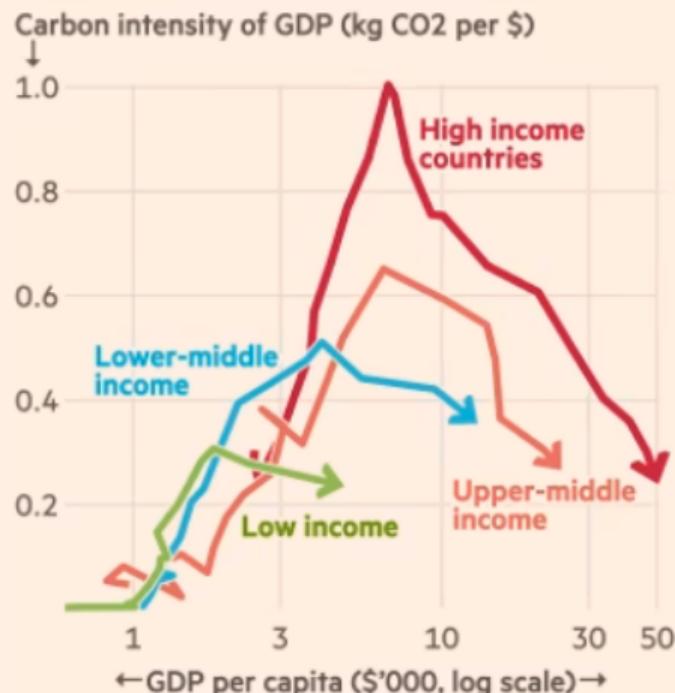
# Crescimento econômico descarbonizando (FT, 2022)

Recent trend in emissions and GDP, expressed as % change since divergence began



# Crescimento econômico descarbonizando (FT, 2022)

Energy transition path of countries in each wave of economic development, between 1800 and 2019

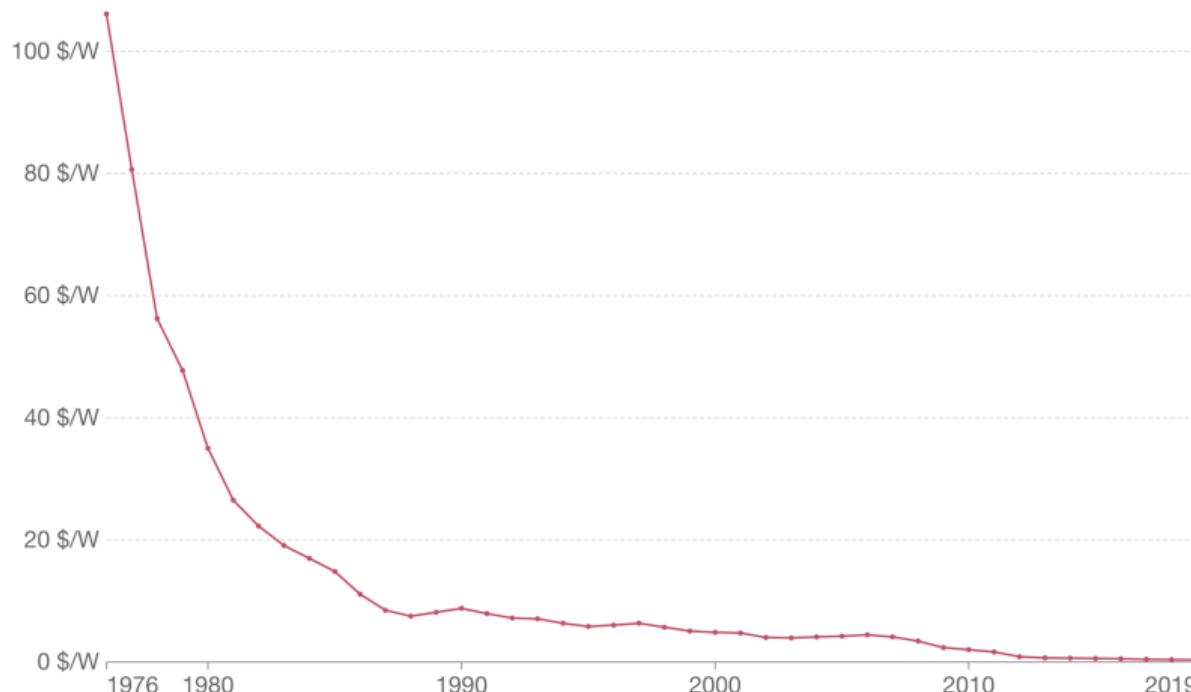


\*All monetary values expressed in constant 2017 PPPs

# Preço de energia solar caíram mais de 100x em 40 anos

## Solar PV module prices

Global average price of solar photovoltaic (PV) modules, measured in 2019 US\$ per Watt.



Source: LaFond et al. (2017) & IRENA Database

OurWorldInData.org/energy • CC BY

## Avanço tecnológico



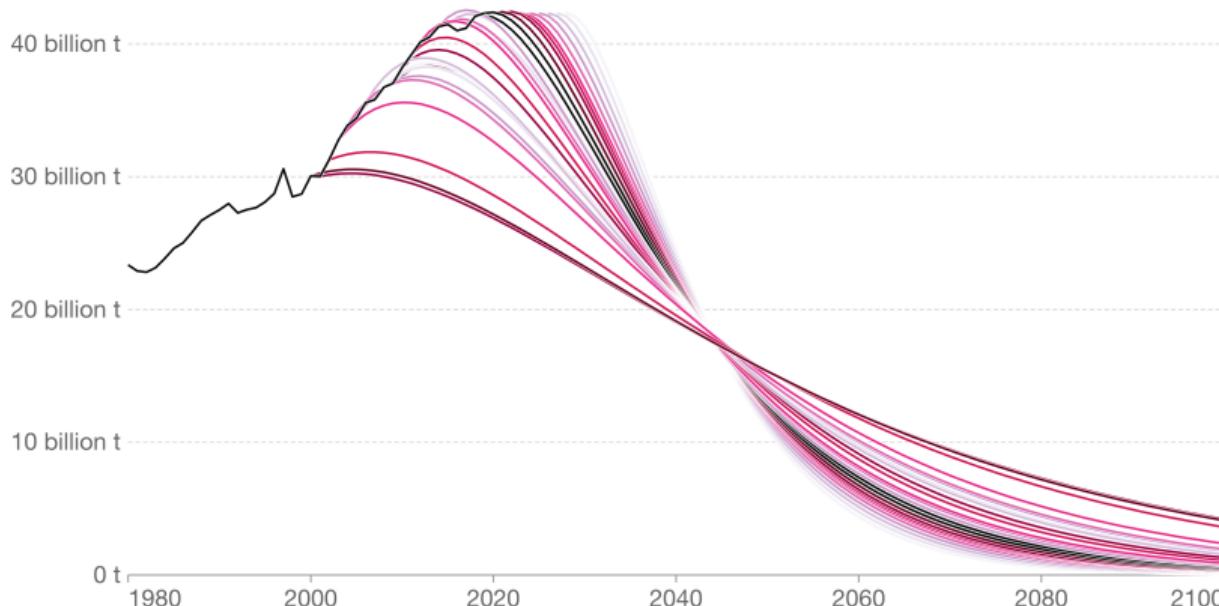
## Suposições fortes?

- Crear que o mercado resolveria o problema sozinho **requer suposições bem fortes.**
- Exemplos
  - ▶ Pessoas incorporam informação e riscos perfeitamente.
  - ▶ Pessoas estão dispostas a sacrificar consumo por preservação ambiental.

# Situação cada vez mais urgente para aquecimento parar em 2 graus

## CO<sub>2</sub> reductions needed to keep global temperature rise below 2°C

Annual emissions of carbon dioxide under various mitigation scenarios to keep global average temperature rise below 2°C. Scenarios are based on the CO<sub>2</sub> reductions necessary if mitigation had started – with global emissions peaking and quickly reducing – in the given year.



Source: Robbie Andrews (2019); based on Global Carbon Project & IPCC SR15

Note: Carbon budgets are based on a >66% chance of staying below 2°C from the IPCC's SR15 Report.  
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

### 3. Políticas para mitigar mudanças climáticas

#### 3.1. Precificando carbono

## Precificando carbono

- **Ideia simples:** se emitir carbono tem uma externalidade negativa (custo social), bastaria cobrar exatamente por esse custo extra e então realinhar incentivos.
  - ▶ a.k.a. imposto corretivo "Pigouviano"
- Cada consumidor e produtor estaria perfeitamente levando em conta custos sociais nas suas decisões individuais.
  - ➡ solução eficiente
- Mas como implementar na prática?

## Precificando carbono

- **Ideia simples:** se emitir carbono tem uma externalidade negativa (custo social), bastaria cobrar exatamente por esse custo extra e então realinhar incentivos.
  - ▶ a.k.a. imposto corretivo "Pigouviano"
- Cada consumidor e produtor estaria perfeitamente levando em conta custos sociais nas suas decisões individuais.
  - ⇒ solução eficiente
- Mas **como implementar na prática?**

# Precificando carbono

## ① Taxar carbono diretamente

- ① Medir emissão de carbono por unidade de produção.
- ② Cobrar um imposto por tonelada de CO2e.

## ② Cap and Trade (*emissions trading system, ETS*)

- ① Governo impõe teto de emissões (*cap*) e distribui licenças.
- ② Firmas comercializam livremente licenças.

## ③ Sistema de crédito de carbono (*carbon crediting mechanism, carbon offsets, REDD+*)

- ① Pessoas/empresas geram créditos de carbono ao demonstrar que diminuíram CO2e.
- ② Mercado (voluntário) de compra desses créditos.

# Precificando carbono

## ① Taxar carbono diretamente

- ① Medir emissão de carbono por unidade de produção.
- ② Cobrar um imposto por tonelada de CO2e.

## ② Cap and Trade (*emissions trading system, ETS*)

- ① Governo impõe teto de emissões (*cap*) e distribui licenças.
- ② Firmas comercializam livremente licenças.

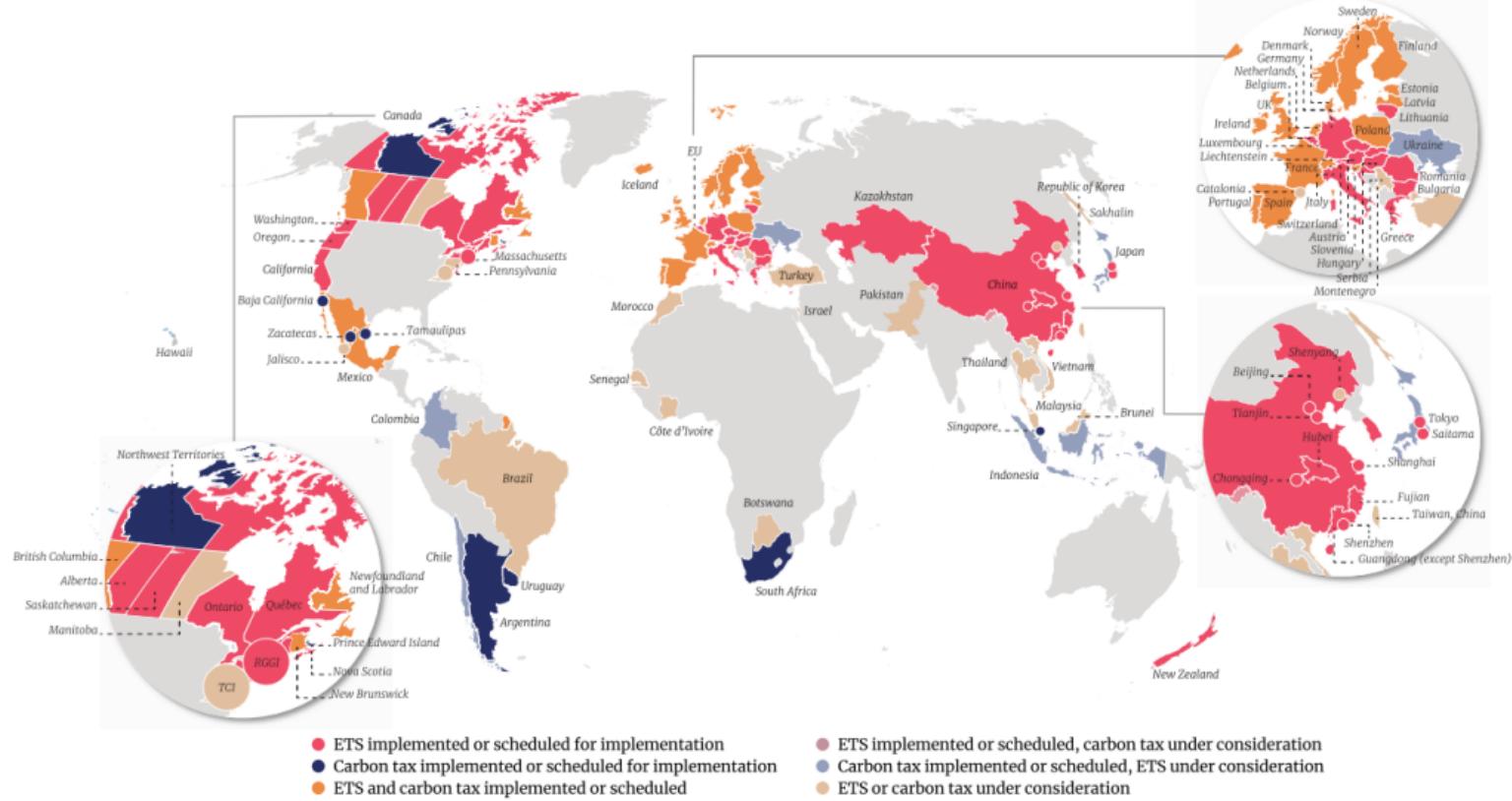
## ③ Sistema de crédito de carbono (*carbon crediting mechanism, carbon offsets, REDD+*)

- ① Pessoas/empresas geram créditos de carbono ao demonstrar que diminuíram CO2e.
- ② Mercado (voluntário) de compra desses créditos.

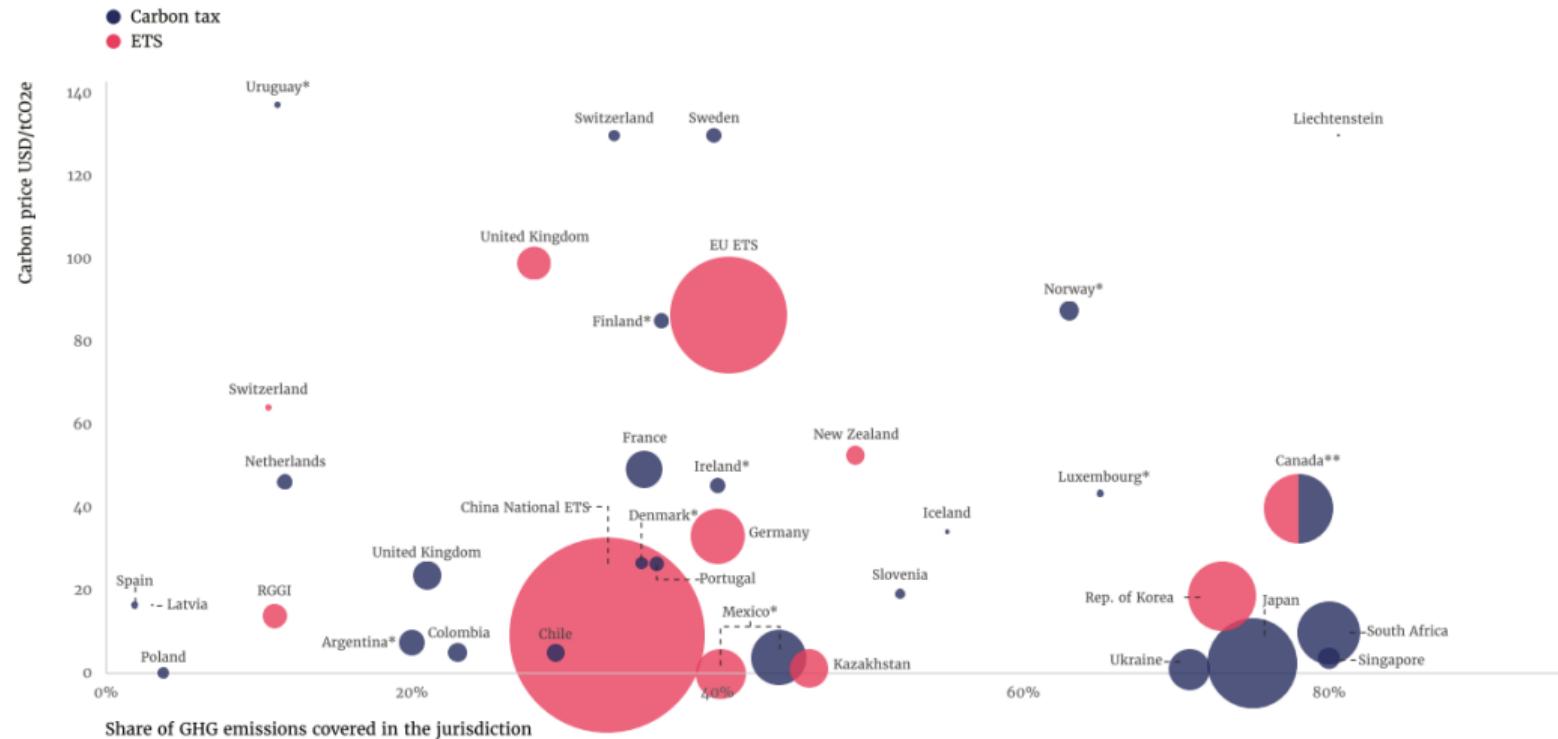
# Precificando carbono

- ① Taxar carbono diretamente
  - ① Medir emissão de carbono por unidade de produção.
  - ② Cobrar um imposto por tonelada de CO2e.
- ② *Cap and Trade (emissions trading system, ETS)*
  - ① Governo impõe teto de emissões (*cap*) e distribui licenças.
  - ② Firmas comercializam livremente licenças.
- ③ Sistema de crédito de carbono (*carbon crediting mechanism, carbon offsets, REDD+*)
  - ① Pessoas/empresas geram créditos de carbono ao demonstrar que diminuíram CO2e.
  - ② Mercado (voluntário) de compra desses créditos.

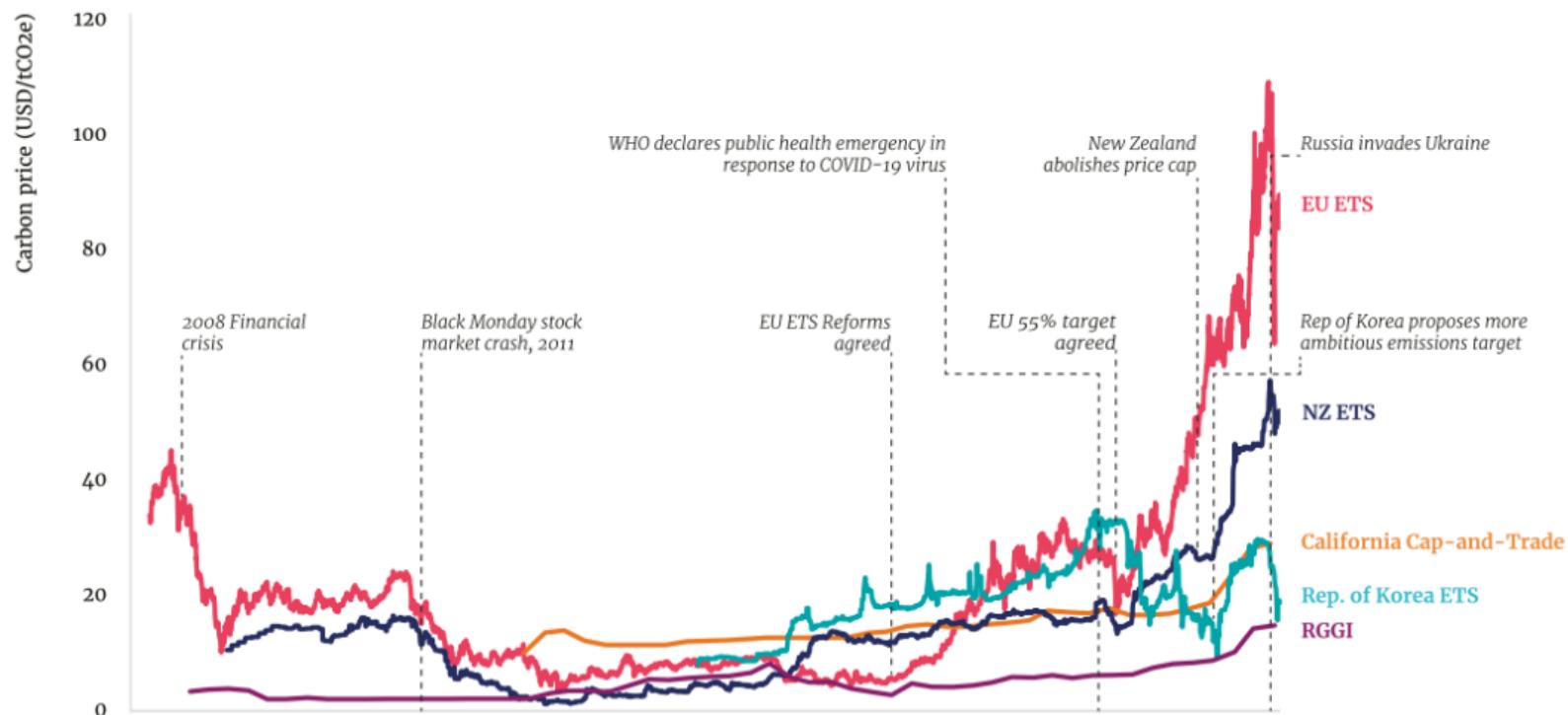
# Mecanismos adotados mundo afora (Banco Mundial, 2022)



# Preço vs cobertura (Banco Mundial, 2022)



# Preço da tonelada de CO<sub>2</sub>e (Banco Mundial, 2022)



# Dificuldades e críticas

## ① Taxar carbono diretamente

- ① Como medir emissões individualmente?
- ② Quanto cobrar? Quem paga? Supõe produtores identificáveis e alcançáveis.

## ② Cap and Trade (*emissions trading system, ETS*)

- ① Como acertar no número de licenças e punições?
- ② Induz competição entre países no número de licenças.

## ③ Sistema de crédito de carbono (*carbon crediting mechanism, carbon offsets, REDD+*)

- ① Como demonstrar? Como garantir que CO<sub>2</sub>e não irá para a atmosfera eventualmente?

## • Dificuldade extra no Brasil: quem pagaria a conta do desmatamento ilegal?

# Dificuldades e críticas

- ➊ Taxar carbono diretamente
  - ➊ Como medir emissões individualmente?
  - ➋ Quanto cobrar? Quem paga? Supõe produtores identificáveis e alcançáveis.
- ➋ Cap and Trade (*emissions trading system, ETS*)
  - ➊ Como acertar no número de licenças e punições?
  - ➋ Induz competição entre países no número de licenças.
- ➌ Sistema de crédito de carbono (*carbon crediting mechanism, carbon offsets, REDD+*)
  - ➊ Como demonstrar? Como garantir que CO<sub>2</sub>e não irá para a atmosfera eventualmente?
- ➍ Dificuldade extra no Brasil: quem pagaria a conta do desmatamento ilegal?

# Dificuldades e críticas

- ① Taxar carbono diretamente
  - ① Como medir emissões individualmente?
  - ② Quanto cobrar? Quem paga? Supõe produtores identificáveis e alcançáveis.
- ② Cap and Trade (*emissions trading system, ETS*)
  - ① Como acertar no número de licenças e punições?
  - ② Induz competição entre países no número de licenças.
- ③ Sistema de crédito de carbono (*carbon crediting mechanism, carbon offsets, REDD+*)
  - ① Como demonstrar? Como garantir que CO<sub>2</sub>e não irá para a atmosfera eventualmente?
- Dificuldade extra no Brasil: quem pagaria a conta do desmatamento ilegal?

# Dificuldades e críticas

- ① Taxar carbono diretamente
  - ① Como medir emissões individualmente?
  - ② Quanto cobrar? Quem paga? Supõe produtores identificáveis e alcançáveis.
- ② Cap and Trade (*emissions trading system, ETS*)
  - ① Como acertar no número de licenças e punições?
  - ② Induz competição entre países no número de licenças.
- ③ Sistema de crédito de carbono (*carbon crediting mechanism, carbon offsets, REDD+*)
  - ① Como demonstrar? Como garantir que CO<sub>2</sub>e não irá para a atmosfera eventualmente?
- **Dificuldade extra no Brasil:** quem pagaria a conta do desmatamento ilegal?

Economistas gostam. A política não.



## Outras alternativas?

- Precificação de carbono é "purista": atua diretamente no preço do elemento que queremos minimizar (CO<sub>2</sub>e na atmosfera)
- Algumas alternativas em elos anteriores da cadeia de emissões, alterando preços de carbono mais indiretamente
  - ① Impostos sobre produção de gasolina
  - ② Preços de eletricidade
  - ③ Pagamentos por serviços ambientais (PES)
  - ④ Políticas de comando e controle

## Outras alternativas?

- Precificação de carbono é "purista": atua diretamente no preço do elemento que queremos minimizar (CO<sub>2</sub>e na atmosfera)
- Algumas **alternativas em elos anteriores da cadeia de emissões**, alterando preços de carbono mais indiretamente
  - ① Impostos sobre produção de gasolina
  - ② Preços de eletricidade
  - ③ Pagamentos por serviços ambientais (PES)
  - ④ Políticas de comando e controle

# Tópico 9

## Mudanças Climáticas e Poluição

Ricardo Dahis

PUC-Rio, Departamento de Economia

2023.1

# Conteúdos

## 1 Mudanças climáticas e economia ambiental

- Externalidades

## 2 Custos sociais de mudanças climáticas e poluição

## 3 Políticas para mitigar mudanças climáticas

- Precificando carbono
- Impostos sobre gasolina
- Preços de eletricidade
- Pagamentos por serviços ambientais (PES)
- Políticas de comando e controle
- Decisões individuais

### 3. Políticas para mitigar mudanças climáticas

#### 3.2. Impostos sobre gasolina

## Efeitos de impostos sobre gasolina em preços

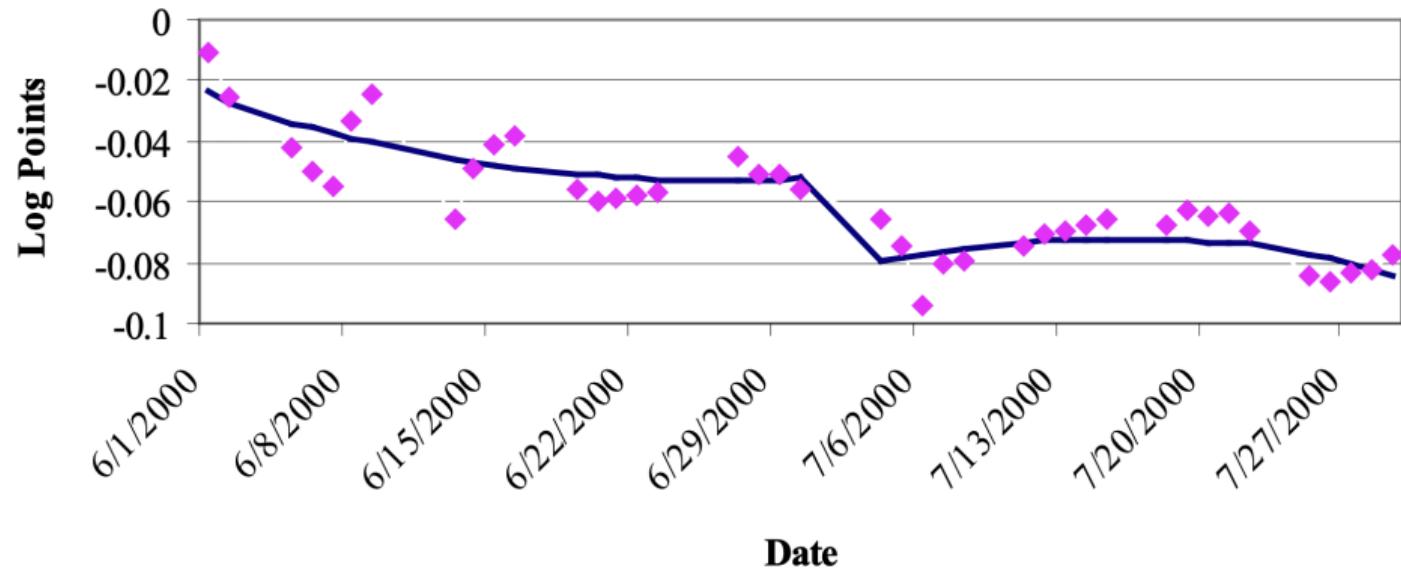
- Os impostos sobre gasolina podem reduzir o consumo de gasolina e as emissões de CO<sub>2</sub>.
- Primeira pergunta: alterações no imposto sobre gasolina são repercutidas nos consumidores ou apenas afetam os lucros das petrolíferas?
- Doyle e Sampatharank (2008) estudam essa questão usando reformas fiscais de gasolina a nível estadual e uma estimativa de diferença em diferenças.
  - ▶ Os preços do gás dispararam acima de 2 USD em 2000.
  - ▶ IN suspendeu o imposto sobre o gás a 1 de julho e restabeleceu-o a 30 de outubro.
  - ▶ IL suspendeu o imposto sobre o gás a 1 de julho e restabeleceu-o a 31 de dezembro.

## Efeitos de impostos sobre gasolina em preços

- Os impostos sobre gasolina podem reduzir o consumo de gasolina e as emissões de CO<sub>2</sub>.
- Primeira pergunta: alterações no imposto sobre gasolina são repercutidas nos consumidores ou apenas afetam os lucros das petrolíferas?
- Doyle e Sampatharank (2008) estudam essa questão usando reformas fiscais de gasolina a nível estadual e uma estimativa de diferença em diferenças.
  - ▶ Os preços do gás dispararam acima de 2 USD em 2000.
  - ▶ IN suspendeu o imposto sobre o gás a 1 de julho e restabeleceu-o a 30 de outubro.
  - ▶ IL suspendeu o imposto sobre o gás a 1 de julho e restabeleceu-o a 31 de dezembro.

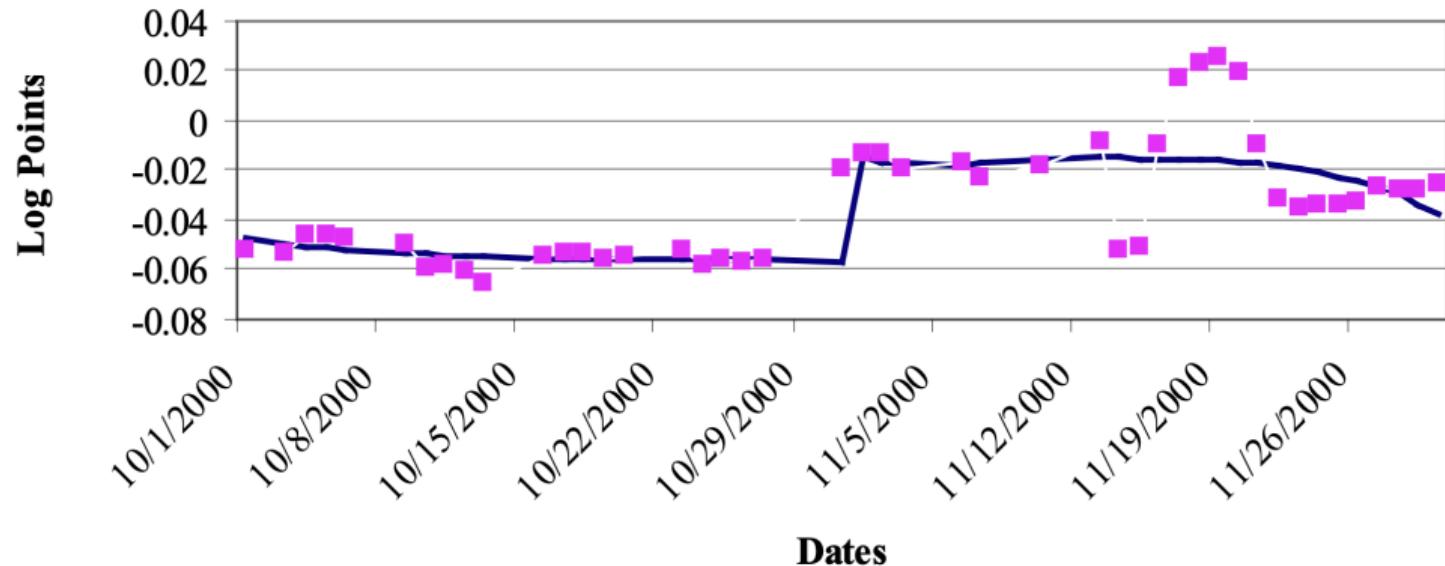
## IL/IN vs. estados vizinhos: MI, OH, MO, IA, WI

Figure 2A: Summer 2000 Difference in Log Gas Prices  
IL/IN vs. Neighboring States: MI, OH, MO, IA, WI



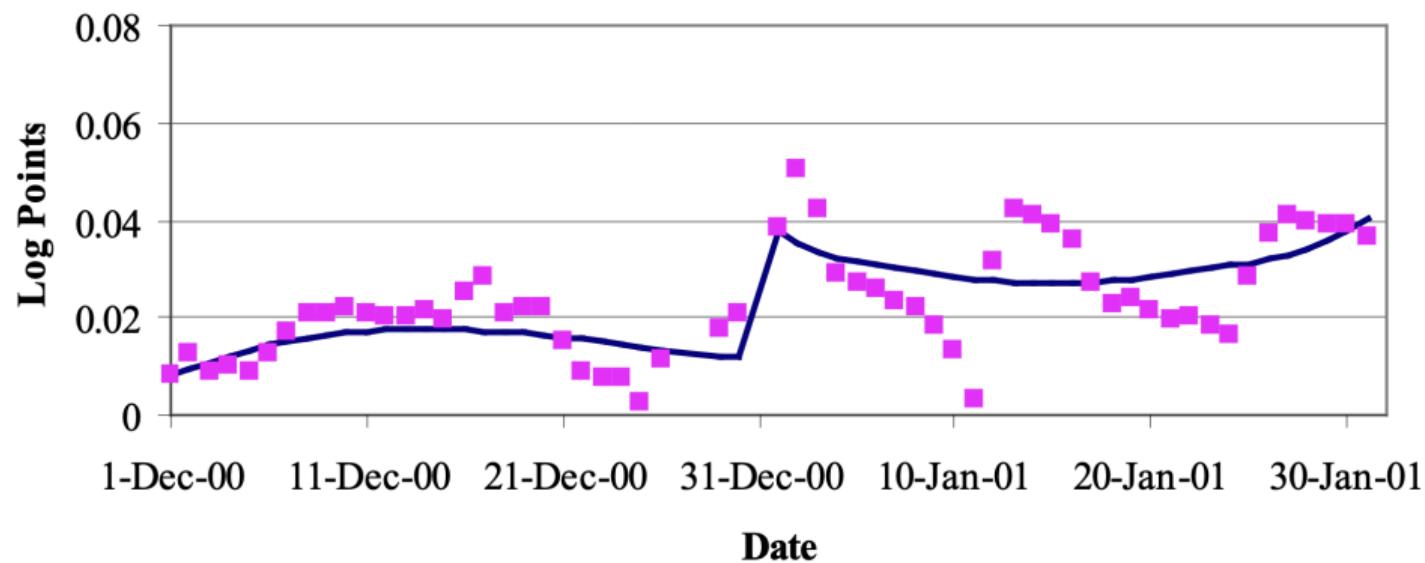
## IN vs. estados vizinhos: IL, MI, OH

Figure 2B: Fall 2000 Difference in Log Gas Prices  
IN vs. Neighboring States: MI, OH, IL



## IL vs. estados vizinhos: IN, MO, IA, WI

Figure 2C: Winter 2000/2001 Difference in Log Gas Prices  
IL vs. Neighboring States: MO, IA, WI, IN



## Efeitos de impostos sobre gasolina em preços

- Constatação: aumento de 10 centavos no imposto sobre a gasolina  $\implies$  7 centavos de aumento no preço pago pelos consumidores.
- Implica que os impostos sobre a gasolina podem potencialmente reduzir o consumo.
- Próxima pergunta: quanta gasolina a menos as pessoas usam quando os preços sobem?

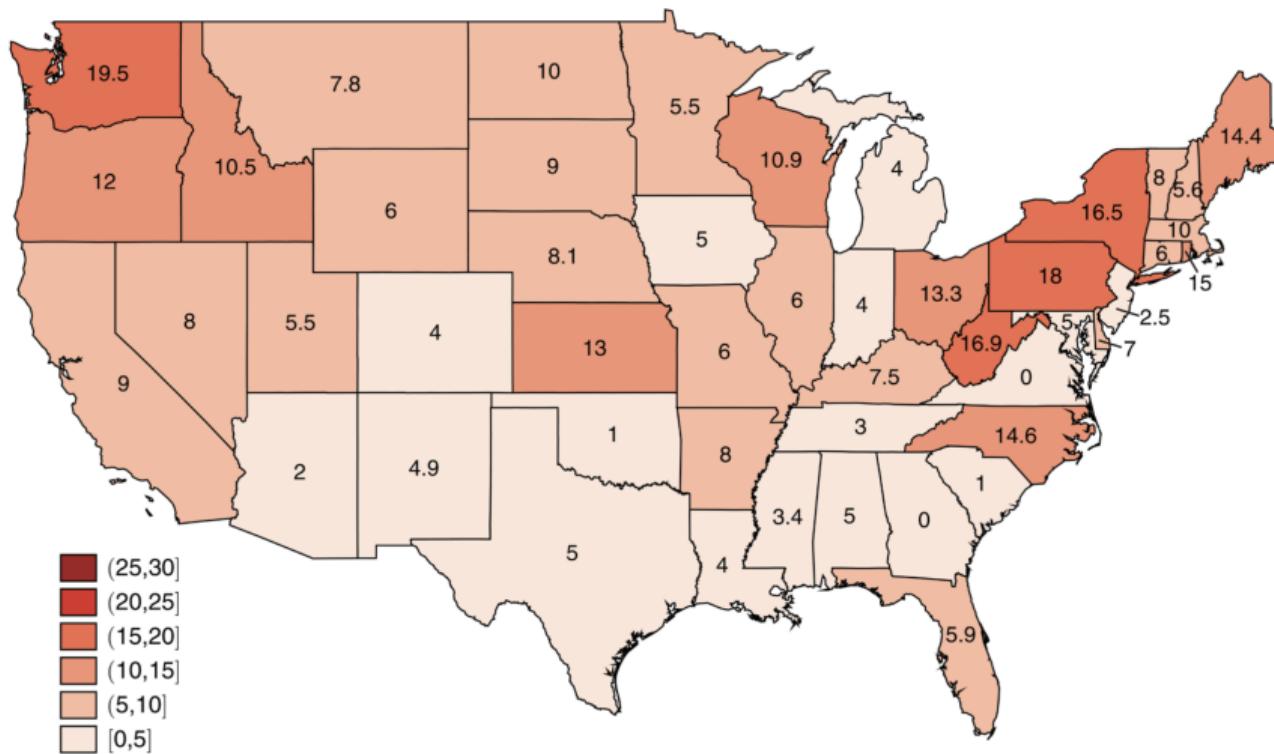
## Efeitos de impostos sobre gasolina em preços

- Constatação: aumento de 10 centavos no imposto sobre a gasolina  $\implies$  7 centavos de aumento no preço pago pelos consumidores.
- Implica que os impostos sobre a gasolina podem potencialmente reduzir o consumo.
- **Próxima pergunta:** quanta gasolina a menos as pessoas usam quando os preços sobem?

## Efeitos de impostos sobre gasolina em consumo

- Li et al. (2014) generalizam essa abordagem para estimar os efeitos das mudanças nos impostos estaduais sobre a demanda por gasolina.
- Usam dados cobrindo todos os 50 estados e exploram mudanças em impostos em todos os estados entre 1966-2008.

## Mudanças em impostos entre estados, 1987-2008 (centavos/galão)



## Efeitos de impostos sobre gasolina em consumo

- Para generalizar a abordagem diferenças-em-diferenças para 50 estados e 44 anos (mais de 500 “experimentos”), usam um método chamado *regressão de efeitos fixos*.
- Relacionam mudanças diferenciais no consumo de gasolina de um estado (em relação à variação nacional média em um determinado ano) com mudanças diferenciais em sua alíquota de imposto.
  - ▶ Regredir  $\Delta g_{sy} - \Delta g_y$  em  $\Delta t_{sy} - \Delta t_y$
- O coeficiente resultante representa o *efeito causal da mudança tributária, assumindo que as tendências seriam paralelas entre os estados sem mudanças tributárias.*

## Efeitos de impostos sobre gasolina em consumo

- Para generalizar a abordagem diferenças-em-diferenças para 50 estados e 44 anos (mais de 500 “experimentos”), usam um método chamado *regressão de efeitos fixos*.
- Relacionam mudanças diferenciais no consumo de gasolina de um estado (em relação à variação nacional média em um determinado ano) com mudanças diferenciais em sua alíquota de imposto.
  - ▶ Regredir  $\Delta g_{sy} - \Delta g_y$  em  $\Delta t_{sy} - \Delta t_y$
- O coeficiente resultante representa o *efeito causal da mudança tributária, assumindo que as tendências seriam paralelas entre os estados sem mudanças tributárias.*

## Efeitos de impostos sobre gasolina em consumo

- Para generalizar a abordagem diferenças-em-diferenças para 50 estados e 44 anos (mais de 500 “experimentos”), usam um método chamado *regressão de efeitos fixos*.
- Relacionam mudanças diferenciais no consumo de gasolina de um estado (em relação à variação nacional média em um determinado ano) com mudanças diferenciais em sua alíquota de imposto.
  - ▶ Regredir  $\Delta g_{sy} - \Delta g_y$  em  $\Delta t_{sy} - \Delta t_y$
- O coeficiente resultante representa o *efeito causal da mudança tributária, assumindo que as tendências seriam paralelas entre os estados sem mudanças tributárias.*

## Resultados (Li et al. 2014)

TABLE 5—GASOLINE TAXES, TAX-EXCLUSIVE PRICES, AND CONSUMPTION, MONTHLY

Variable	Levels		First-differenced		First-differenced seasonal data	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
log (gas price)	-0.196*** (0.030)		-0.248*** (0.030)		-0.109* (0.057)	
log (tax-excl. gas price)		-0.217*** (0.028)		-0.365*** (0.047)		-0.172*** (0.061)
log (1 + tax ratio)		-0.414*** (0.046)		-0.769*** (0.157)		-0.394*** (0.140)
<i>p</i> -value: $\alpha = \beta$		< 0.001		< 0.001		0.038
Observations	14,898	14,898	14,763	14,763	4,893	4,893
R <sup>2</sup>	0.987	0.987	0.446	0.446	0.466	0.467

Notes: The dependent variable is the log of gasoline consumption per adult. All specifications include time fixed effects. Levels regressions also include state fixed effects. Robust standard errors are clustered by state.

\*\*\*Significant at the 1 percent level.

\*\*Significant at the 5 percent level.

\*Significant at the 10 percent level.

## Efeitos de impostos sobre gasolina em consumo

- Aumento de 1 USD no imposto sobre a gasolina  $\implies$  17% de redução no consumo de gasolina
- Setor dos transportes é responsável por cerca de 1/3 das emissões de carbono.  
 $\implies$  Aumento de 1 USD no imposto sobre a gasolina reduz as emissões de CO<sub>2</sub> em cerca de 5% (Davis et al. 2011)
- Para comparação, os cientistas preveem que precisamos reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em cerca de 50% para impedir o aumento das temperaturas globais.
- **Lição:** os impostos sobre a gasolina fazem diferença, mas precisam ser bem altos para ter um impacto significativo nas mudanças climáticas.

## Efeitos de impostos sobre gasolina em consumo

- Aumento de 1 USD no imposto sobre a gasolina  $\implies$  17% de redução no consumo de gasolina
- Setor dos transportes é responsável por cerca de 1/3 das emissões de carbono.  
 $\implies$  Aumento de 1 USD no imposto sobre a gasolina reduz as emissões de CO<sub>2</sub> em cerca de 5% (Davis et al. 2011)
- Para comparação, os cientistas preveem que precisamos reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em cerca de 50% para impedir o aumento das temperaturas globais.
- **Lição:** os impostos sobre a gasolina fazem diferença, mas precisam ser bem altos para ter um impacto significativo nas mudanças climáticas.

## Efeitos de impostos sobre gasolina em consumo

- Aumento de 1 USD no imposto sobre a gasolina  $\implies$  17% de redução no consumo de gasolina
- Setor dos transportes é responsável por cerca de 1/3 das emissões de carbono.  
 $\implies$  Aumento de 1 USD no imposto sobre a gasolina reduz as emissões de CO<sub>2</sub> em cerca de 5% (Davis et al. 2011)
- Para comparação, os cientistas preveem que precisamos reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em cerca de 50% para impedir o aumento das temperaturas globais.
- **Lição:** os impostos sobre a gasolina fazem diferença, mas precisam ser bem altos para ter um impacto significativo nas mudanças climáticas.

## Efeitos de impostos sobre gasolina em consumo

- Aumento de 1 USD no imposto sobre a gasolina  $\implies$  17% de redução no consumo de gasolina
- Setor dos transportes é responsável por cerca de 1/3 das emissões de carbono.  
 $\implies$  Aumento de 1 USD no imposto sobre a gasolina reduz as emissões de CO<sub>2</sub> em cerca de 5% (Davis et al. 2011)
- Para comparação, os cientistas preveem que precisamos reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em cerca de 50% para impedir o aumento das temperaturas globais.
- **Lição:** os impostos sobre a gasolina fazem diferença, mas precisam ser bem altos para ter um impacto significativo nas mudanças climáticas.

### 3. Políticas para mitigar mudanças climáticas

#### 3.3. Preços de eletricidade

## Preços escalonados de eletricidade

- Eletricidade é precificada usando taxas escalonadas: o preço de um quilowatt adicional é maior quando você já está usando muita eletricidade.
- Serve para desencorajar um alto uso sem tornar a eletricidade muito cara para os pobres.
- O preço escalonado funciona?

## Preços escalonados de eletricidade

- Eletricidade é precificada usando taxas escalonadas: o preço de um quilowatt adicional é maior quando você já está usando muita eletricidade.
- Serve para desencorajar um alto uso sem tornar a eletricidade muito cara para os pobres.
- O preço escalonado funciona?

## Preços escalonados de eletricidade

- Eletricidade é precificada usando taxas escalonadas: o preço de um quilowatt adicional é maior quando você já está usando muita eletricidade.
- Serve para desencorajar um alto uso sem tornar a eletricidade muito cara para os pobres.
- **O preço escalonado funciona?**

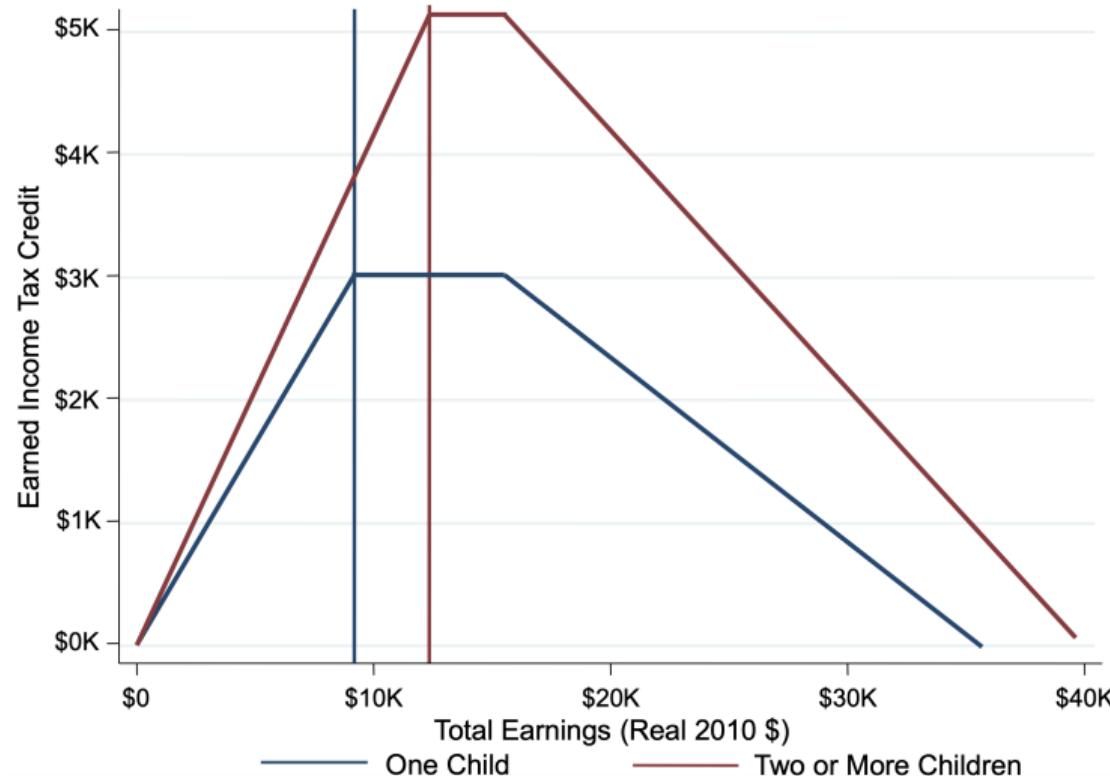
# Analisando os impactos das tabelas de preços escalonados

- Como avaliar impactos?
  - ▶ Analisar distribuições de resultados.
- Nos pontos onde os preços mudam "descontinuamente", esperamos "aglomeração" na distribuição se as pessoas estiverem respondendo (Saez 2010)
- Exemplo mais simples: tabela progressiva do imposto de renda.
  - ▶ No Brasil: 7.5%, 15%, 22.5%, 27.5%.
  - ▶ Incentiva pessoas reportarem renda exatamente abaixo dos pontos de corte.
  - ▶ Nos EUA, pessoas recebem subsídios de acordo com renda e número de filhos.

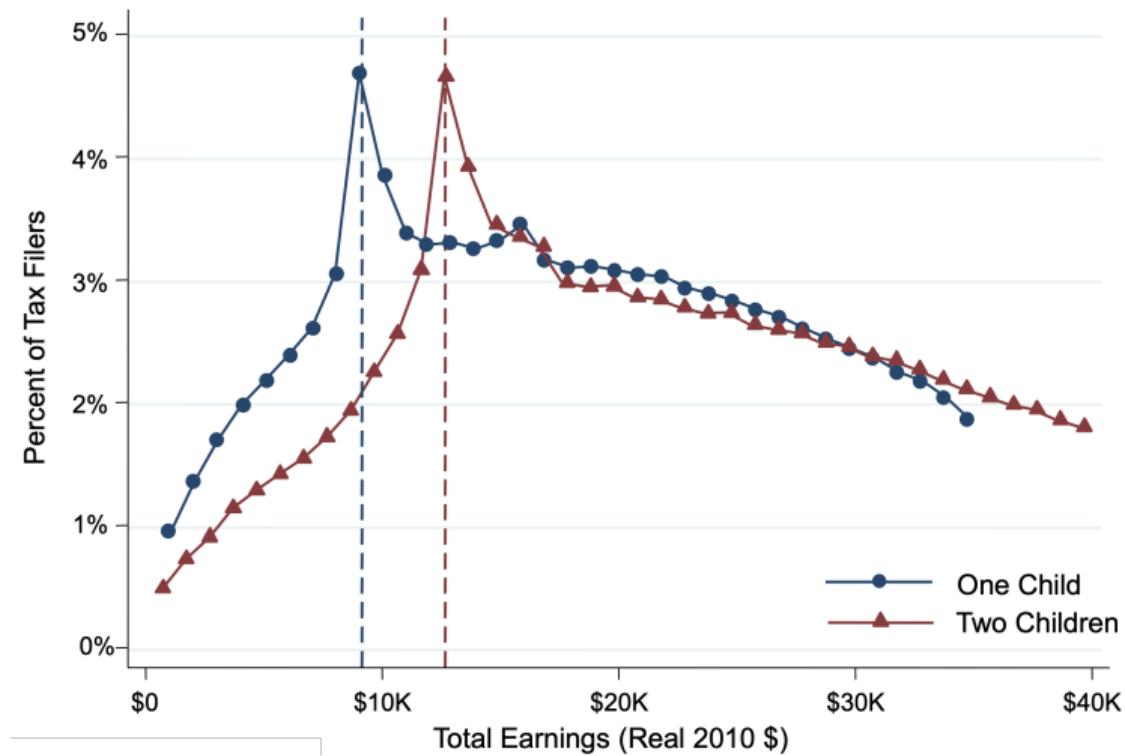
# Analisando os impactos das tabelas de preços escalonados

- Como avaliar impactos?
  - ▶ Analisar distribuições de resultados.
- Nos pontos onde os preços mudam "descontinuamente", esperamos "aglomeração" na distribuição se as pessoas estiverem respondendo (Saez 2010)
- Exemplo mais simples: tabela progressiva do imposto de renda.
  - ▶ No Brasil: 7.5%, 15%, 22.5%, 27.5%.
  - ▶ Incentiva pessoas reportarem renda exatamente abaixo dos pontos de corte.
  - ▶ Nos EUA, pessoas recebem subsídios de acordo com renda e número de filhos.

## “Earned Income Tax Credit” (EITC) federais para pais/mães solteiros em 2008



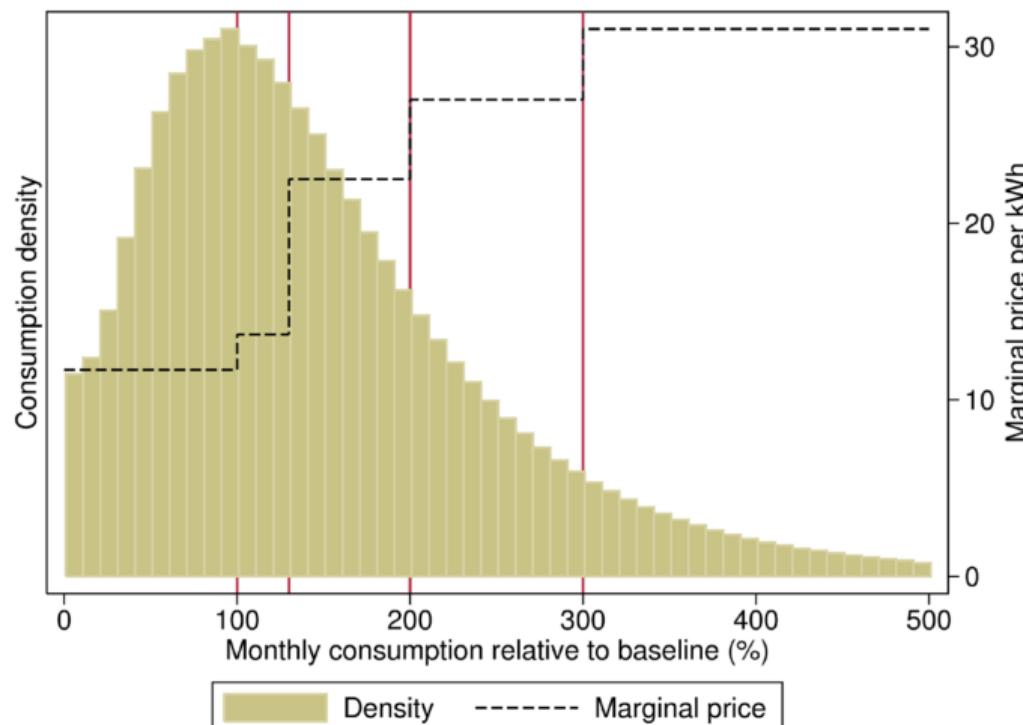
# Distribuição de renda para pessoas com filhos em 2008 (dados do IRS) (Chetty, Friedman, Saez (2013))



## Efeitos de preços escalonados em demanda por eletricidade

- Ito (2014) estuda o impacto dos preços no uso de eletricidade usando dados a nível de domicílio, vindos de empresas de serviços públicos no Orange County, CA
- Começa examinando o efeito de preços escalonados na distribuição do consumo de eletricidade para clientes da Southern California Edison (SCE).

# Preços e Distribuição dos Consumos de Electricidade dos Clientes SCE em 2007



## Efeitos de preços escalonados em demanda por eletricidade

- Nenhuma evidência de agrupamento em pontos onde os preços da eletricidade aumentam  
➡ Sugere que os consumidores não estão respondendo a mudanças nos preços diferenciados
- Duas interpretações
  - ① A demanda do consumidor por eletricidade é insensível ao preço.
  - ② Falta de destaque: os consumidores desconhecem a tabela de preços da eletricidade.

## Efeitos de preços escalonados em demanda por eletricidade

- Nenhuma evidência de agrupamento em pontos onde os preços da eletricidade aumentam  
    ⇒ Sugere que os consumidores não estão respondendo a mudanças nos preços diferenciados
- Duas interpretações
  - ① A demanda do consumidor por eletricidade é insensível ao preço.
  - ② Falta de destaque: os consumidores desconhecem a tabela de preços da eletricidade.

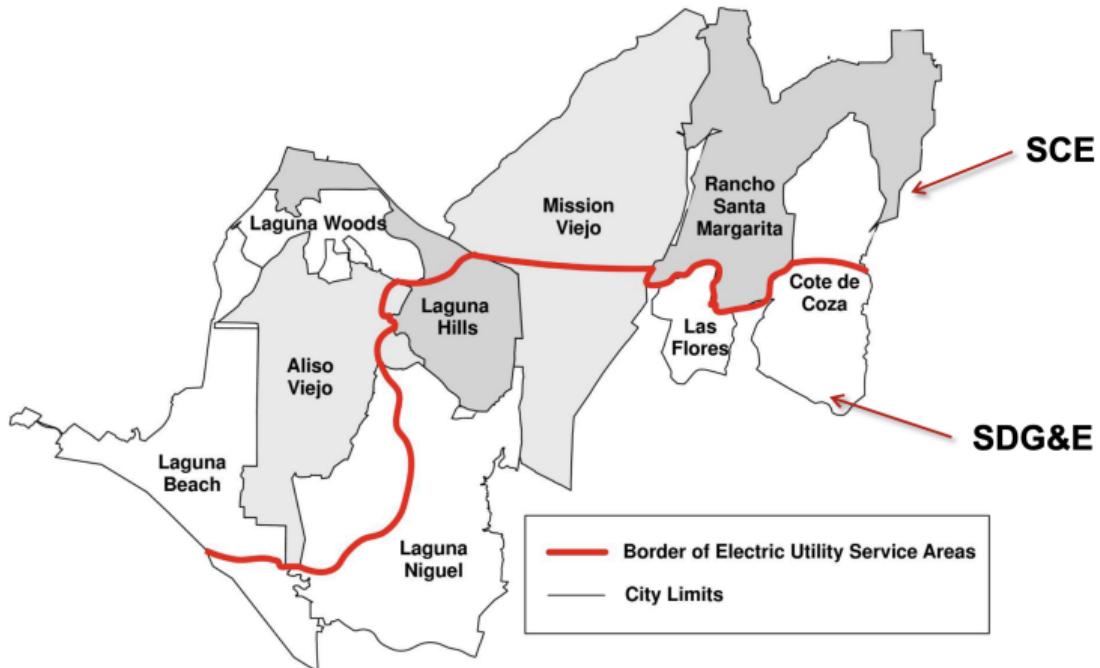
## Efeitos de preços escalonados em demanda por eletricidade

- Para distinguir entre essas explicações, Ito (2014) usa uma segunda estratégia
- A concessionária que fornece serviços depende de onde as famílias moram: Southern California Edison (SCE) vs. San Diego Gas and Electric (SDG&E).

## Efeitos de preços escalonados em demanda por eletricidade

- Para distinguir entre essas explicações, Ito (2014) usa uma segunda estratégia
- A concessionária que fornece serviços depende de onde as famílias moram: Southern California Edison (SCE) vs. San Diego Gas and Electric (SDG&E).

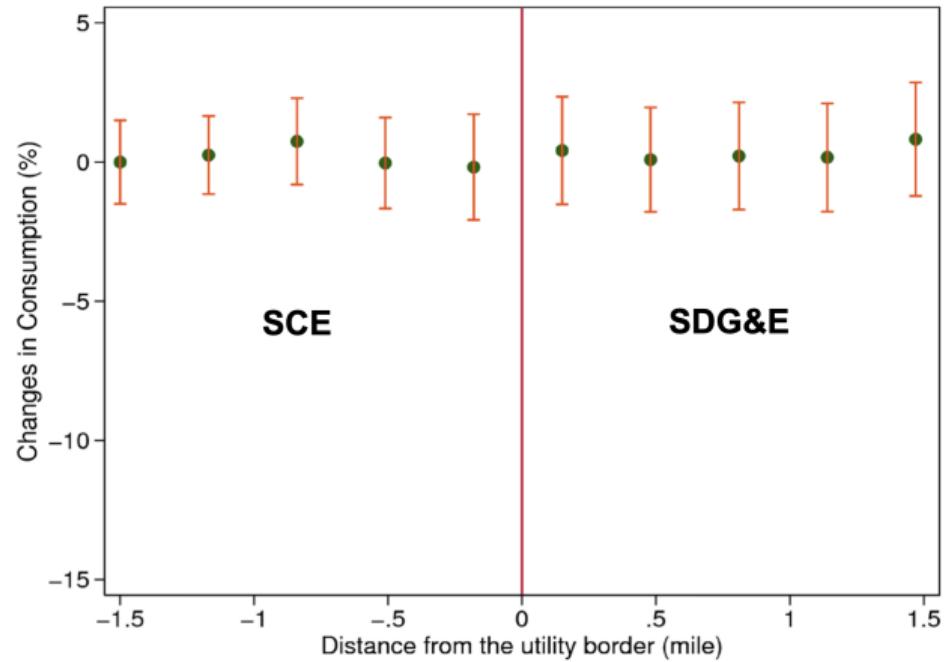
# Descontinuidade espacial entre concessionárias no Orange County



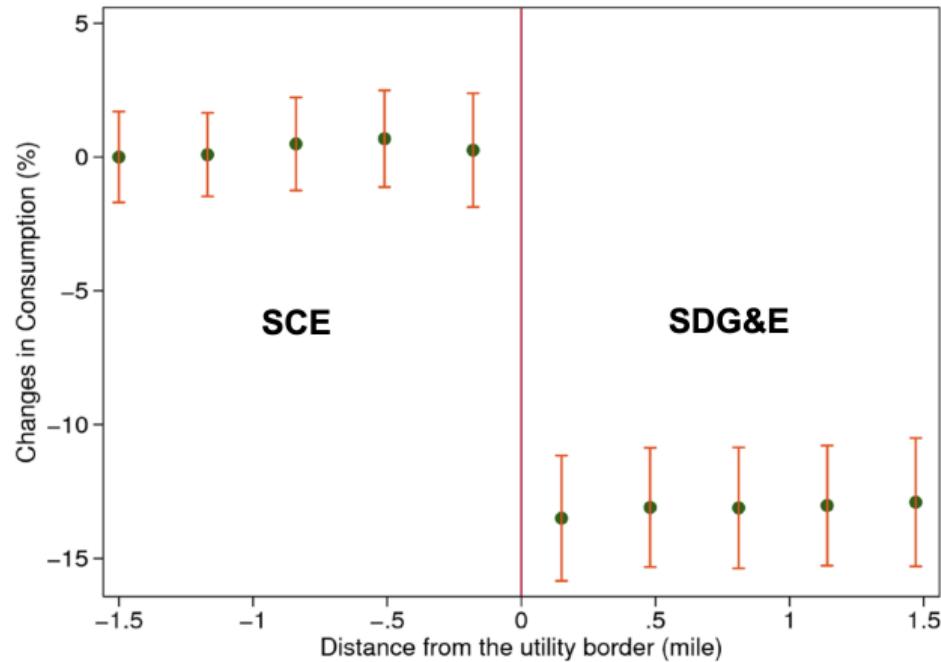
## Efeitos de preços escalonados em demanda por eletricidade

- Para distinguir entre essas explicações, Ito (2014) usa uma segunda estratégia
- A concessionária que fornece serviços depende de onde as famílias moram: Southern California Edison (SCE) vs. San Diego Gas and Electric (SDG&E).
- Em agosto de 2000, a SDG&E elevou os preços médios da eletricidade, enquanto a SCE não.
- Estima uma regressão com descontinuidade espacial para estimar o efeito dessa mudança.

## Mudanças no consumo de julho de 1999 a julho de 2000, por distância da fronteira da concessionária



## Mudanças no consumo de agosto de 1999 a agosto de 2000, por distância da fronteira da concessionária



## Efeitos de preços escalonados em demanda por eletricidade

- **Resultado:** consumidores são muito sensíveis aos preços da eletricidade quando a mudança é claramente visível, mas não respondem a preços escalonados.
- Implica que a maioria dos consumidores não tem conhecimento do preço que pagam pelo uso adicional de eletricidade.
- Reforça o ponto de que na elaboração de impostos corretivos (“Pigouvianos”), saliência e estrutura de incentivos importam tanto quanto as quantias envolvidas.
  - ▶ Pessoas não parecem ser *homo economicus* (e.g. perfeitamente racionais e tendo informação perfeita).

## Efeitos de preços escalonados em demanda por eletricidade

- **Resultado:** consumidores são muito sensíveis aos preços da eletricidade quando a mudança é claramente visível, mas não respondem a preços escalonados.
- Implica que a maioria dos consumidores não tem conhecimento do preço que pagam pelo uso adicional de eletricidade.
- Reforça o ponto de que na elaboração de impostos corretivos (“Pigouvianos”), saliência e estrutura de incentivos importam tanto quanto as quantias envolvidas.
  - ▶ Pessoas não parecem ser *homo economicus* (e.g. perfeitamente racionais e tendo informação perfeita).

## Efeitos de preços escalonados em demanda por eletricidade

- **Resultado:** consumidores são muito sensíveis aos preços da eletricidade quando a mudança é claramente visível, mas não respondem a preços escalonados.
- Implica que a maioria dos consumidores não tem conhecimento do preço que pagam pelo uso adicional de eletricidade.
- Reforça o ponto de que na elaboração de impostos corretivos (“Pigouvianos”), saliência e estrutura de incentivos importam tanto quanto as quantias envolvidas.
  - ▶ Pessoas não parecem ser *homo economicus* (e.g. perfeitamente racionais e tendo informação perfeita).

# Como poderíamos reduzir a demanda por eletricidade mais efetivamente?

- Duas ideias
  - ① Tornar os preços mais salientes para os consumidores usando medidores inteligentes
    - ★ Trabalho tecnológico pioneiro nesta área realizado pela O-Power nos EUA.
  - ② Usar ferramentas sugeridas por psicologia social, que não envolvam preços
    - ★ Cialdini e colaboradores (2007) demonstram que comparações sociais e normas sociais injuntivas têm efeitos significativos no uso de eletricidade.

# Como poderíamos reduzir a demanda por eletricidade mais efetivamente?

- Duas ideias
  - ① Tornar os preços mais salientes para os consumidores usando medidores inteligentes
    - ★ Trabalho tecnológico pioneiro nesta área realizado pela O-Power nos EUA.
  - ② Usar ferramentas sugeridas por psicologia social, que não envolvam preços
    - ★ Cialdini e colaboradores (2007) demonstram que comparações sociais e normas sociais injuntivas têm efeitos significativos no uso de eletricidade.

# Aumentar saliência

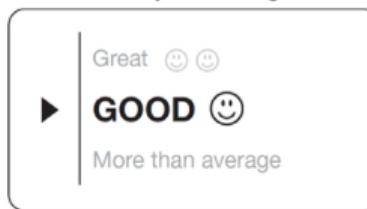
## Last Month Neighbor Comparison

You used **42% more** natural gas than your efficient neighbors.



\* Therms: Standard unit of measuring heat energy

How you're doing:

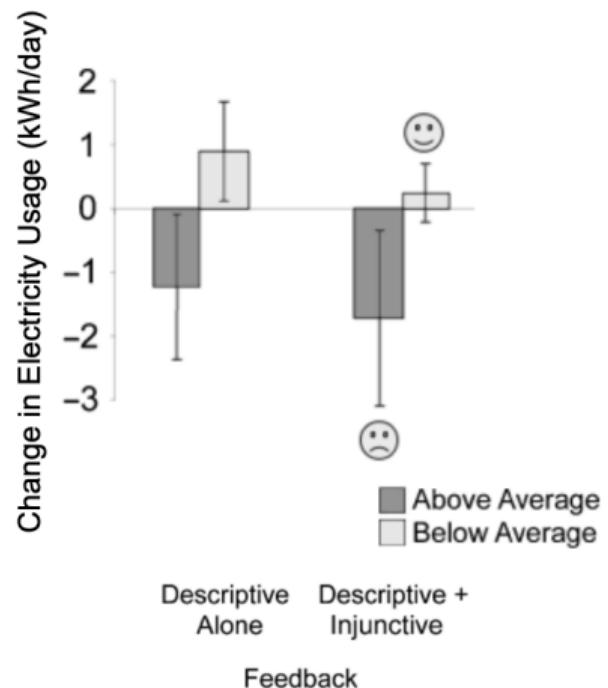


## Who are your Neighbors?

■ **All Neighbors:** Approximately 100 occupied, nearby homes that are similar in size to yours (avg 1,517 sq ft)

■ **Efficient Neighbors:** The most efficient 20 percent from the "All Neighbors" group

## Efeitos de tratamentos de normas sociais em consumo (Schultz Et Al. 2007)



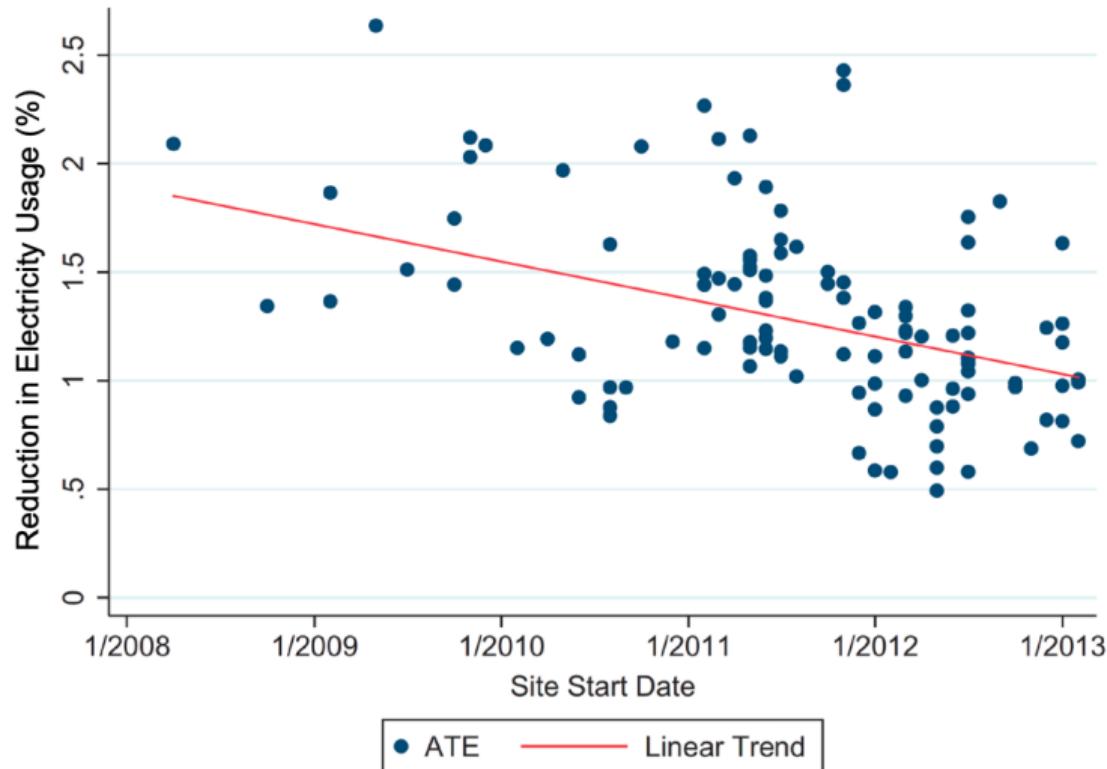
## Magnitude do tratamento de normas sociais

- O tratamento das normas sociais reduz o uso de eletricidade em cerca de 1 quilowatt-hora por dia
  - ▶ Equivale a uma redução de cerca de 2,5% no uso de eletricidade
  - ▶ Análogo a desligar 10 lâmpadas de cem watts por uma hora por dia
  - ▶ Efeito pequeno, mas não requer que cobremos preços maiores de consumidores

## Efeitos diferenciais entre mercados

- OPower começou a enviar relatórios de energia doméstica para milhões de clientes de eletricidade nos mercados dos EUA.
- Em alguns mercados, as correspondências foram atribuídas aleatoriamente, permitindo estimativas experimentais de efeitos causais.
- Allcott (2015) estima o impacto dos relatórios de energia doméstica para 111 mercados separadamente para analisar se os impactos variam entre as áreas.

## Efeitos de tratamento entre mercados (Allcott, 2015)



## Viés de escolha de local em experimentos

- Ilustra uma lição metodológica mais ampla
  - ▶ Estimativas (quase-)experimentais em ciências sociais não são necessariamente estáveis entre diferentes ambientes.
- ➡ Importante continuar conduzindo estudos em todas as áreas e períodos de tempo para entender os impactos das políticas, em vez de assumir que os efeitos serão generalizáveis.

### 3. Políticas para mitigar mudanças climáticas

#### 3.4. Pagamentos por serviços ambientais (PES)

## Pagamentos por serviços ambientais (PES)

- Se CO<sub>2</sub> não-emitido tem valor social, podemos pagar donos de terra para que não desmatem suas florestas.
- Vale a pena se valor transferido por tonelada de CO<sub>2</sub>e < custo social da tonelada de CO<sub>2</sub>e.

## Jayachandran et al. (2017): experimento com PES na Uganda

- Indivíduos donos de floresta em 60 vilas receberam dinheiro por 2 anos para preservar áreas.
  - ▶ Implementado por ONG. 28 USD/ha-anو.
- Mediram impactos em cobertura florestal via imagens de satélite (QuickBird) com alta resolução (2.4m).
  - ▶ Take-up de menos de 50%: contrato complicado, medo de perderem terra.
  - ▶ Efeito de 40% em redução de desmatamento.
  - ▶ Medem vários *outcomes* além de comportamento a ver com floresta.
- Custo-benefício baseado em valor de emissões de CO<sub>2</sub>e poupadadas.
  - ▶ Benefício em CO<sub>2</sub> poupado 1.11 USD > Custo do programa 0.57 USD.

## Jayachandran et al. (2017): experimento com PES na Uganda

- Indivíduos donos de floresta em 60 vilas receberam dinheiro por 2 anos para preservar áreas.
  - ▶ Implementado por ONG. 28 USD/ha-ano.
- Mediram impactos em cobertura florestal via imagens de satélite (QuickBird) com alta resolução (2.4m).
  - ▶ *Take-up* de menos de 50%: contrato complicado, medo de perderem terra.
  - ▶ Efeito de 40% em redução de desmatamento.
  - ▶ Medem vários *outcomes* além de comportamento a ver com floresta.
- Custo-benefício baseado em valor de emissões de CO<sub>2</sub>e poupadas.
  - ▶ Benefício em CO<sub>2</sub> poupado 1.11 USD > Custo do programa 0.57 USD.

## Jayachandran et al. (2017): experimento com PES na Uganda

- Indivíduos donos de floresta em 60 vilas receberam dinheiro por 2 anos para preservar áreas.
  - ▶ Implementado por ONG. 28 USD/ha-anو.
- Mediram impactos em cobertura florestal via imagens de satélite (QuickBird) com alta resolução (2.4m).
  - ▶ *Take-up* de menos de 50%: contrato complicado, medo de perderem terra.
  - ▶ Efeito de 40% em redução de desmatamento.
  - ▶ Medem vários *outcomes* além de comportamento a ver com floresta.
- Custo-benefício baseado em valor de emissões de CO<sub>2</sub>e poupadadas.
  - ▶ Benefício em CO<sub>2</sub> poupado 1.11 USD > Custo do programa 0.57 USD.

# Resultados e mecanismos

**Table 4. Effects of the PES program on secondary outcomes.** All columns include subcounty fixed effects and the four village-level baseline variables used to balance the randomization. Columns 1, 4, 5, and 6 control for the baseline value of the outcome. Baseline data on the outcomes in columns 2 and 3 were not collected. IHS denotes inverse hyperbolic sine. For observations where the baseline outcome is missing, the value is imputed as the sample mean, and the regression includes an indicator variable for whether the baseline value is imputed. Standard errors are clustered by village. Significance: \* $P < 0.10$ , \*\* $P < 0.05$ , \*\*\* $P < 0.01$ .

	Cut any trees in the past year (1)	Allow others to gather firewood from own forest (2)	Increased patrolling of the forest in last 2 years (3)	Has any fence around land with natural forest (4)	IHS of food expend. in past 30 days (5)	IHS of nonfood expend. in past 30 days (6)
Treatment group	-0.140*** [0.034]	-0.170*** [0.033]	0.109*** [0.039]	0.036 [0.033]	0.065 [0.074]	0.156** [0.066]
Lee bound (lower)	-0.161*** [0.034]	-0.185*** [0.033]	0.094** [0.039]	0.007 [0.033]	-0.029 [0.070]	0.053 [0.064]
Lee bound (upper)	-0.104*** [0.033]	-0.148*** [0.032]	0.132*** [0.039]	0.055 [0.034]	0.144* [0.075]	0.215*** [0.064]
Control group mean	0.453	0.427	0.378	0.667	2.524	4.363
Control group SD	[0.498]	[0.495]	[0.485]	[0.472]	[1.177]	[1.354]
Observations	1018	9767	984	1020	1020	1020
Observations (Lee bounds)	994	957	965	998	998	998

### 3. Políticas para mitigar mudanças climáticas

#### 3.5. Políticas de comando e controle



## Políticas de comando e controle

- Quando afetar preços diretamente é inviável, podemos apertar a aplicação da lei contra desmatamento.
  - ➡ Pessoas incorporam maior probabilidade de punição em suas decisões.
    - ▶ (lembrem da aula sobre crime)
- Histórico de sucesso via governo federal no Brasil em 2004: o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm).
  - ▶ Conjunto de ações: DETER em 2004, lista de municípios em 2008, restrições de crédito, etc.
- Evidência de que funcionou: Assunção et al. (2015, 2020, 2023), Vieira et al. (2023)

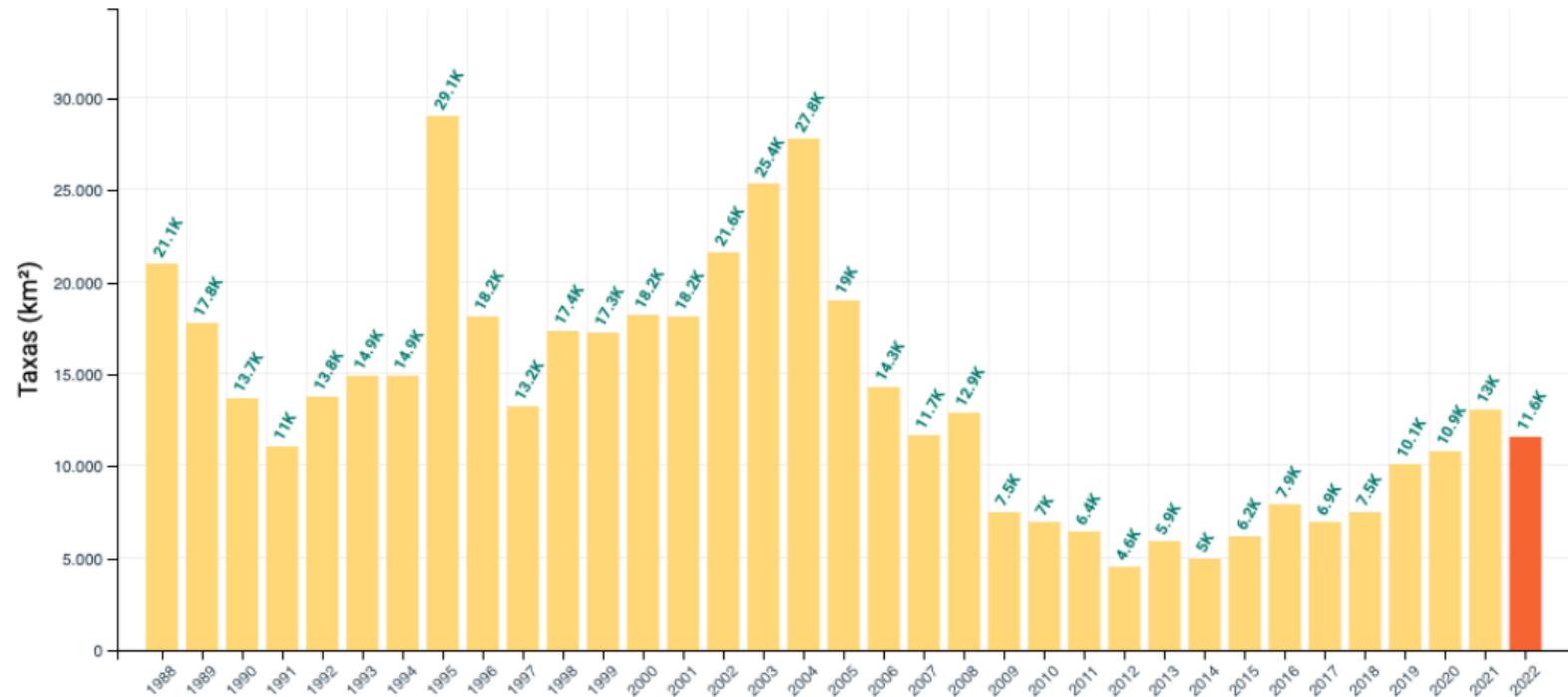
## Políticas de comando e controle

- Quando afetar preços diretamente é inviável, podemos apertar a aplicação da lei contra desmatamento.
  - ➡ Pessoas incorporam maior probabilidade de punição em suas decisões.
    - ▶ (lembrem da aula sobre crime)
- Histórico de sucesso via governo federal no Brasil em 2004: o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm).
  - ▶ Conjunto de ações: DETER em 2004, lista de municípios em 2008, restrições de crédito, etc.
- Evidência de que funcionou: Assunção et al. (2015, 2020, 2023), Vieira et al. (2023)

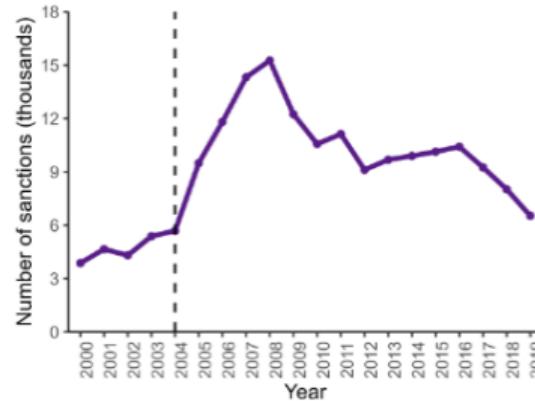
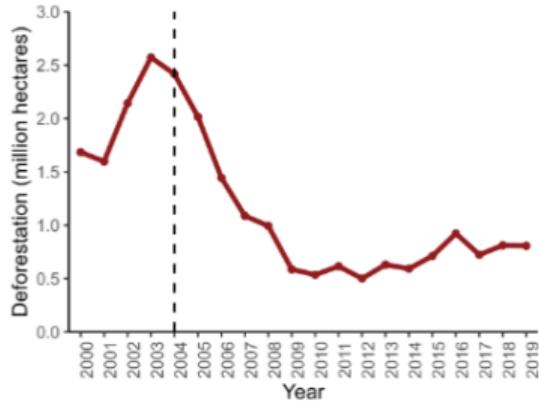
## Políticas de comando e controle

- Quando afetar preços diretamente é inviável, podemos apertar a aplicação da lei contra desmatamento.
  - ➡ Pessoas incorporam maior probabilidade de punição em suas decisões.
    - ▶ (lembrem da aula sobre crime)
- Histórico de sucesso via governo federal no Brasil em 2004: o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm).
  - ▶ Conjunto de ações: DETER em 2004, lista de municípios em 2008, restrições de crédito, etc.
- Evidência de que funcionou: Assunção et al. (2015, 2020, 2023), Vieira et al. (2023)

# Desmatamento na Amazônia Legal (Inpe)



## Esforço do governo em sancionar desmatadores (Vieira et al. 2023)



### 3. Políticas para mitigar mudanças climáticas

#### 3.6. Decisões individuais

## Decisões individuais

- Quer reduzir suas emissões individuais? O que fazer? Exemplos:
  - ▶ Alimentação
  - ▶ Evitar pegar avião
  - ▶ Carros elétricos
  - ▶ Votar em quem leva meio ambiente a sério

## Decisões individuais

- Quer reduzir suas emissões individuais? O que fazer? Exemplos:
  - ▶ Alimentação
  - ▶ Evitar pegar avião
  - ▶ Carros elétricos
  - ▶ Votar em quem leva meio ambiente a sério

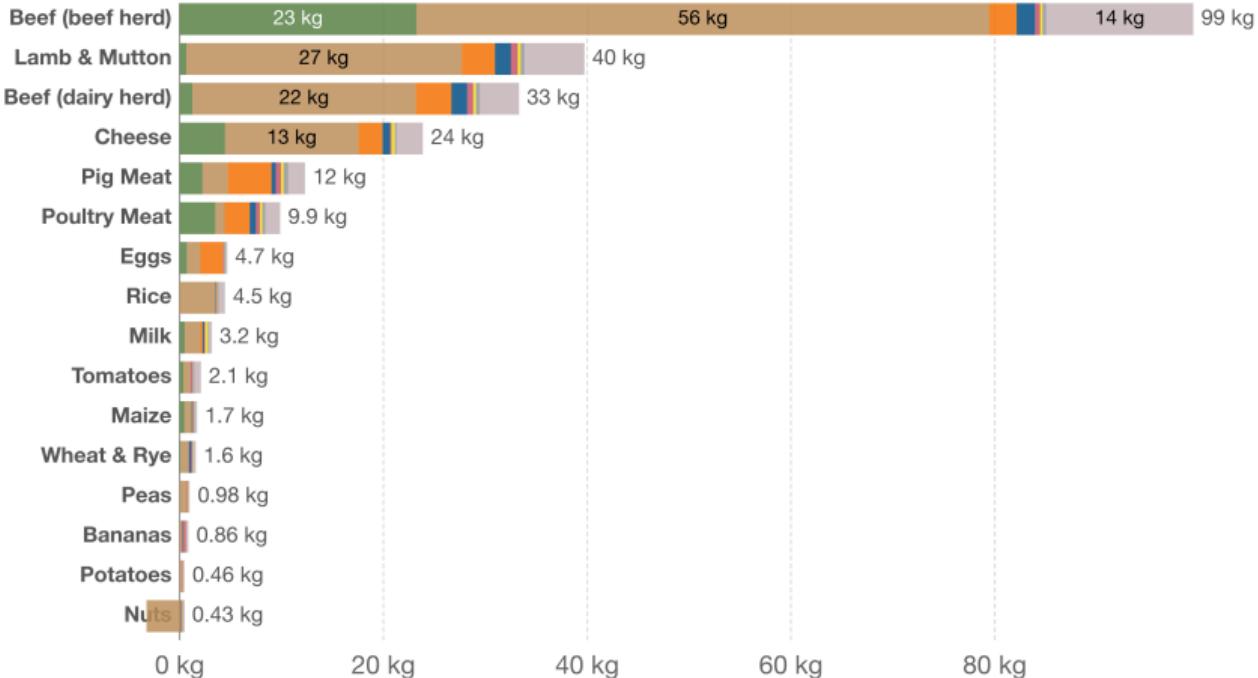
# Foque no que se come, não se é local

## Food: greenhouse gas emissions across the supply chain

Greenhouse gas emissions<sup>1</sup> are measured in carbon dioxide-equivalents (CO<sub>2</sub>eq)<sup>2</sup>.



Land use change Farm Animal feed Processing Transport Retail Packaging Losses



## Próxima aula

- Na próxima aula falaremos de transportes.