

An aerial photograph showing a river on the left and a multi-lane highway on the right, with several cars visible. The image is tinted green.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Preços e Taxas de Poluição

Kolstad

Capítulo 12

An aerial photograph showing a river on the left and a multi-lane highway on the right, with several cars visible. The image is used as a background for the title.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Falhas de mercado e preços para poluição

- Agentes econômicos respondem a incentivos que se traduzem em custos e benefícios (carrots and sticks)
- O sistema de preços (para insumos e produtos) é um poderoso canal para explicitar incentivos e motivar decisões
- A presença de falhas de mercado distorce decisões produzindo alocações ineficientes
- Poluição e degradação ambiental são casos clássicos de falhas de mercado envolvendo externalidades e bens públicos.
- Um instrumento típico para corrigir essas falhas é estabelecer preços para a poluição
- Como poluidores responder a esses preços?

An aerial photograph showing a river on the left and a multi-lane highway on the right, with several cars visible. The image is tinted green.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Taxas de Poluição

Definição

- *Uma taxa sobre emissão de poluição é um preço ou uma taxa paga por um poluidor a uma agência reguladora (governo) para cada unidade de poluição que o poluidor emite.*

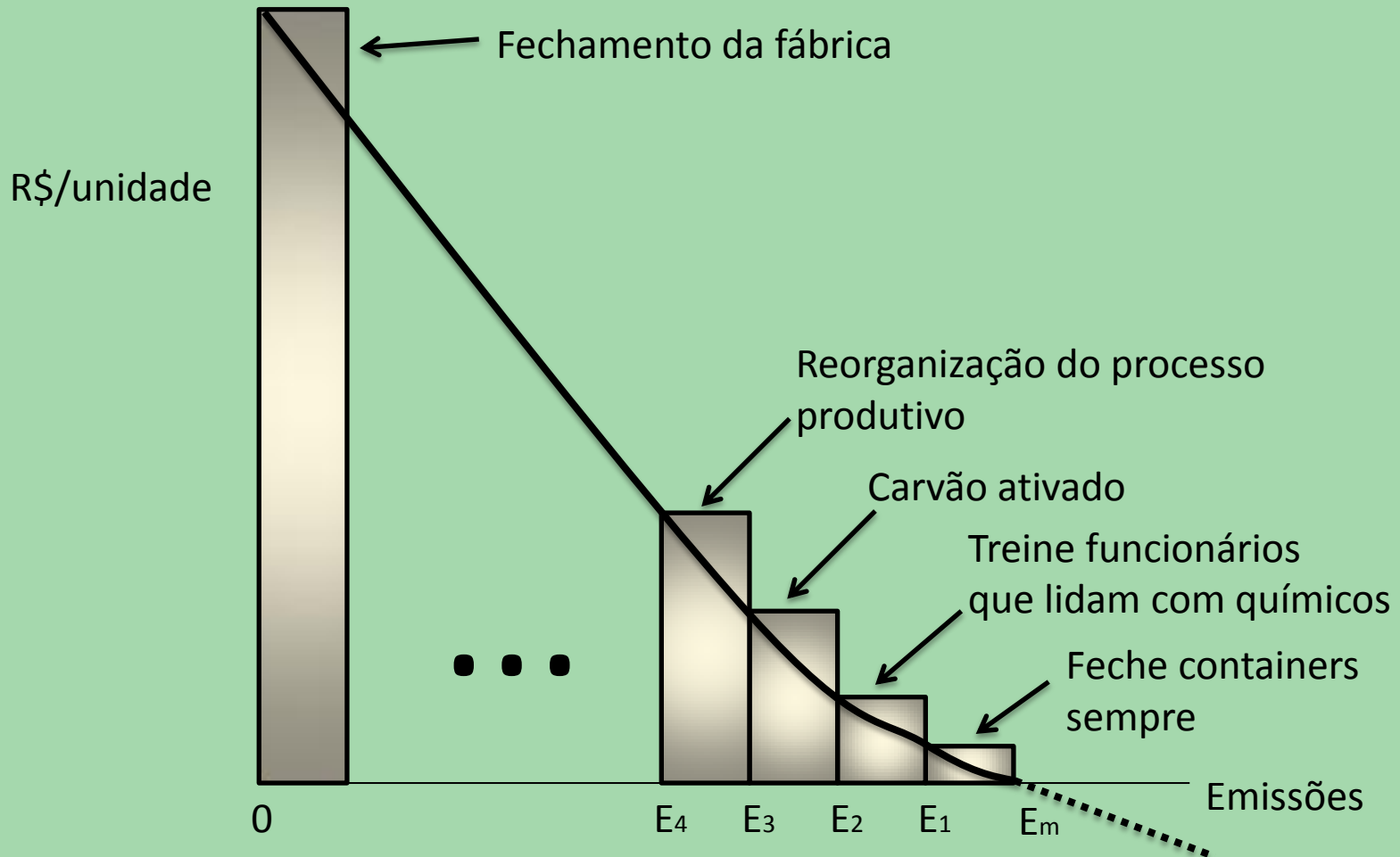
ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Taxas de Poluição e Poluidores

- x : poluição
- $S(x)$: economia/poupança/benefício da poluição (gastos evitados com abatimento)
- p : preço ou taxa por unidade de poluição
- Objetivo do poluidor: $\max_x S(x) - px$
- C.P.O.: $MS(x) = p$

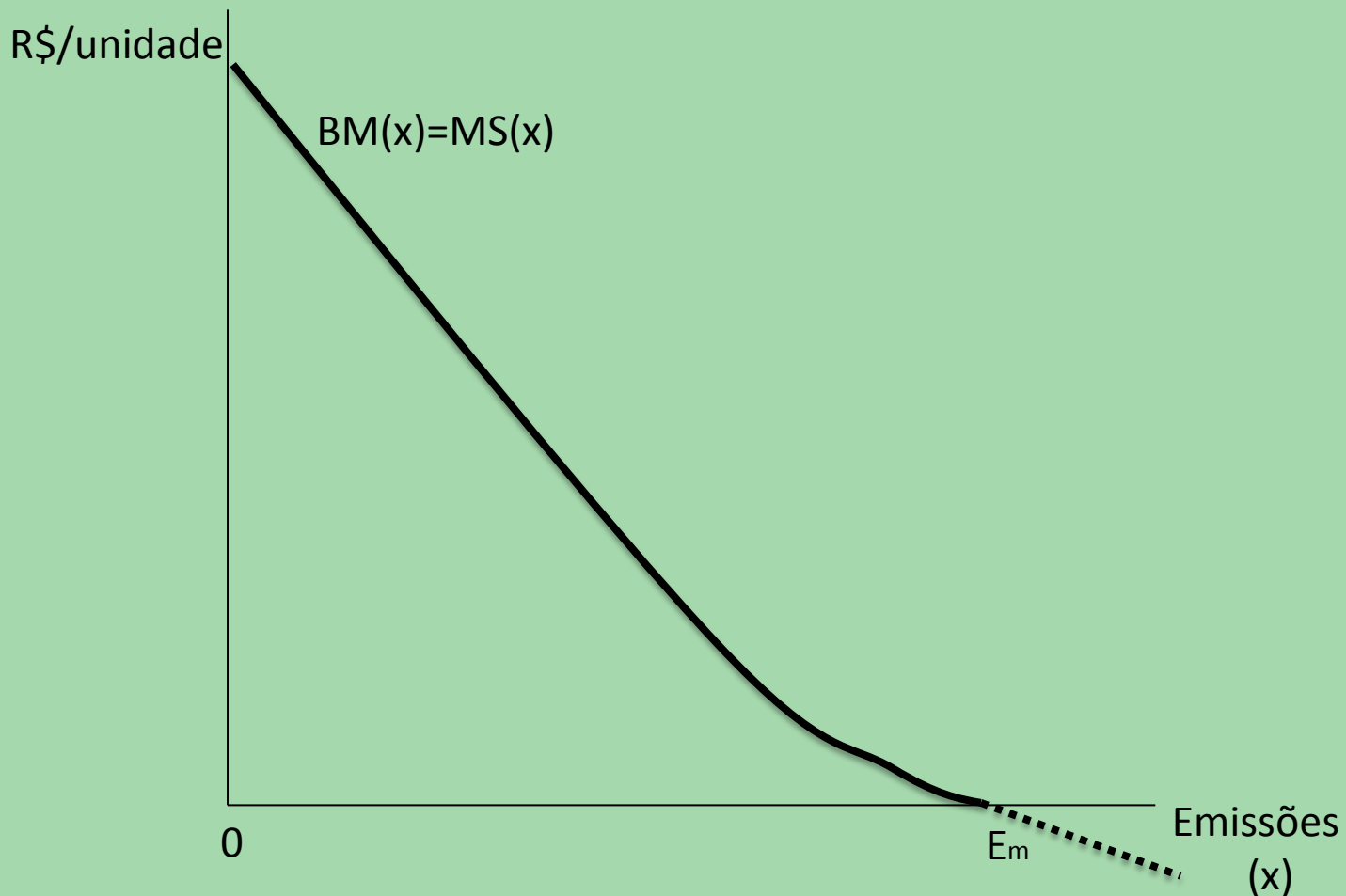
ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Benefício ou Economia Marginal da Poluição



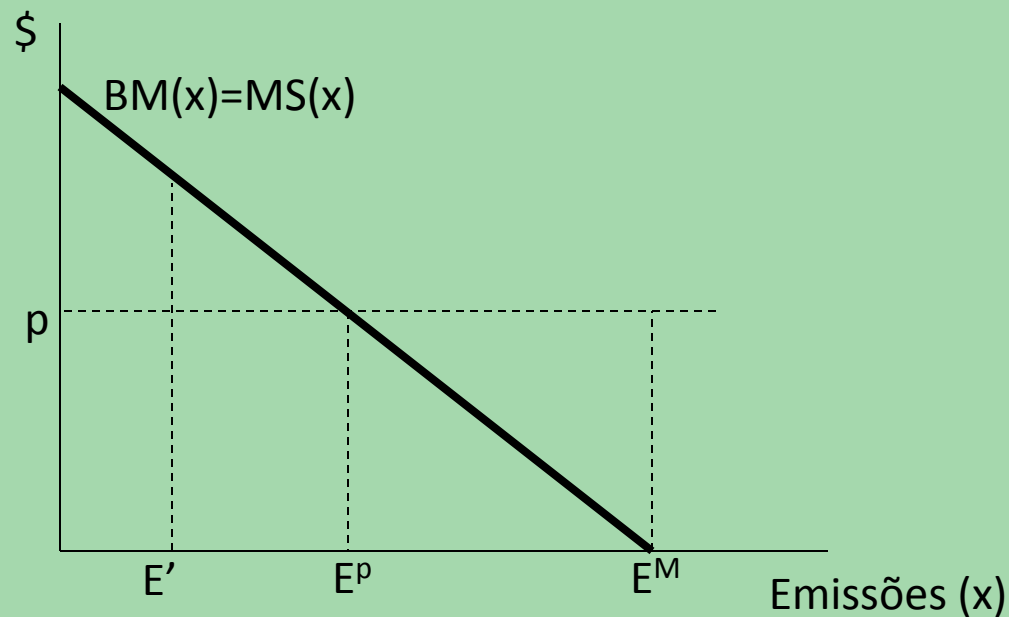
ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Taxa de Poluição e Incentivo do Poluidor



ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Taxa de Poluição e Incentivo do Poluidor



An aerial photograph showing a river on the left and a multi-lane highway on the right, with several cars visible. The image is used as a background for the title.

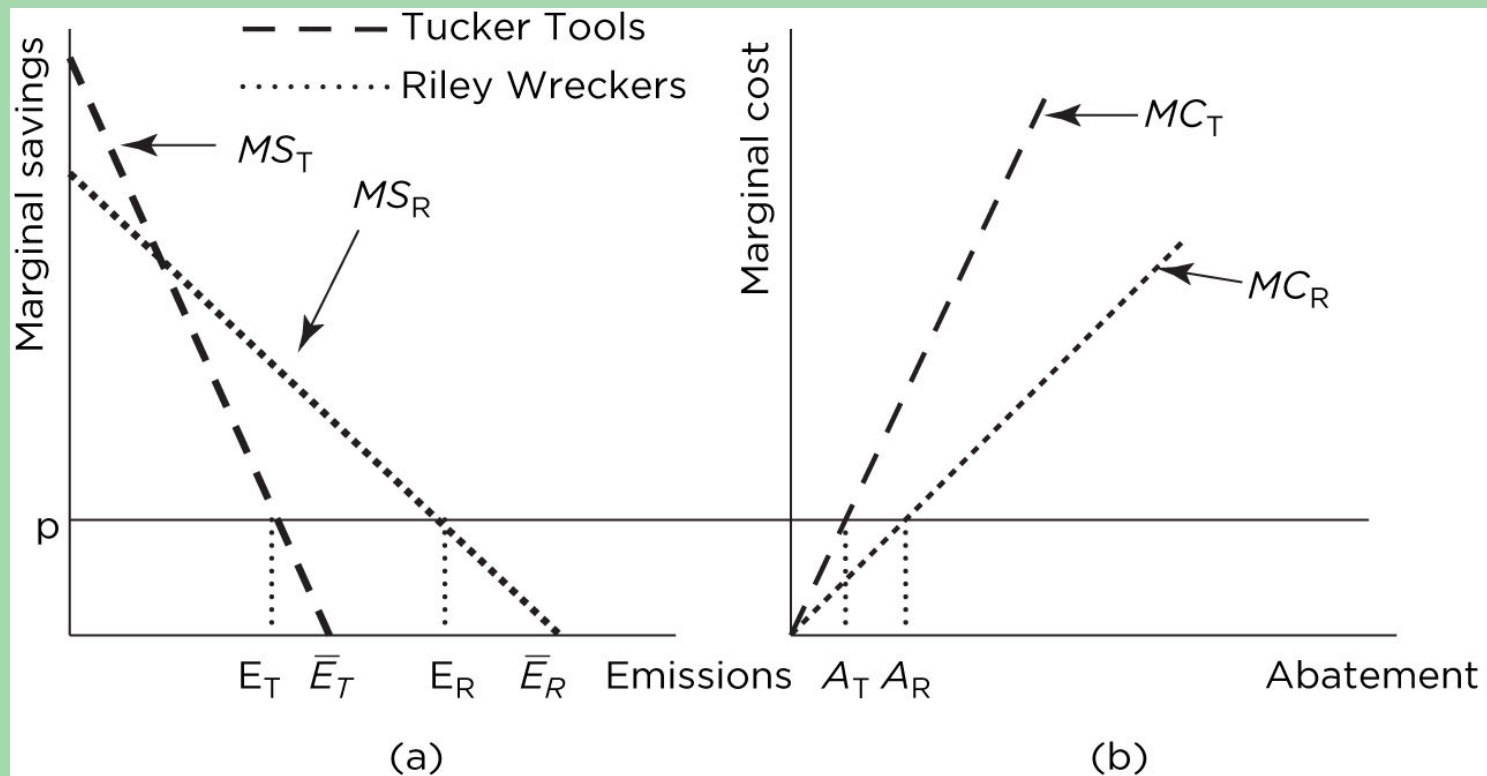
ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Taxa de Poluição e Incentivo do Poluidor

- $x > E_p$: custo de poluir mais uma unidade (p) é maior do que custo de despoluir (MS ou benefício marginal da poluição)
- $x < E_p$: benefício de se poluir mais uma unidade (MS ou economia marginal da poluição) é maior do que o custo de se emitir esta unidade

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Taxa de Poluição e Incentivo do Poluidor – Vários Poluidores



An aerial photograph showing a river on the left and a multi-lane highway on the right, with several cars visible. The image is used as a background for the title.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Taxa de Poluição e Incentivo do Poluidor – Vários Poluidores

- Benefício marginal da poluição $MS(x)$ é o mesmo que custo marginal do abate da poluição $MC(a)$.
- A um nível de poluição x , corresponde um nível de abatimento a .
- *Princípio equimarginal*: todos os poluidores emitem de forma que o benefício marginal da poluição (MS) seja o mesmo (igual à taxa da poluição p).



ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Taxas e Externalidades: exemplos

- Taxa de congestão de Londres: taxa e multa para carros que circulam na área central.
- Alemanha e Bélgica: imposto sobre bens descartáveis.
- Suécia: imposto sobre emissão de enxofre.
- Desconto no IPVA para veículos híbridos e elétricos (SP, RJ, MS – isenção em outros 7 estados). Liberação do rodízio na cidade de São Paulo.

Imposto Pigoviano

Definição

- Um imposto pigouviano é uma taxa sobre emissões exatamente igual ao custo marginal agregado (damage) causado pelas emissões quando avaliado no ponto em que o nível de poluição é eficiente
- Arthur C Pigou

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Imposto Pigoviano

- Problema: escolha de imposto por unidade de poluição que induza a poluição ótima x^* .

$$\max_x W = S(x) - D(x)$$

- Onde $S(x)$ é o benefício total ou economia da poluição e $D(x)$ é o dano total da poluição.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Poluição Ótima

$$\max_x W = S(x) - D(x)$$

- Notação alternativa:

$$C(x) = -S(x)$$

$$-W = -[S(x) - D(x)] = C(x) + D(x) = \mathcal{C}$$

$$\min_x \mathcal{C} = C(x) + D(x)$$

$$\max_x W = \min_x \mathcal{C}$$

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Poluição Ótima

$$\max_x W = S(x) - D(x)$$

- Soma horizontal dos benefícios da poluição (poluição é divisível na produção)

$$S(x) = \sum_{i=1}^M S_i(x)$$

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Poluição Ótima

$$\max_x W = S(x) - D(x)$$

- Soma vertical dos danos da poluição (poluição é indivisível no consumo)

$$D(x) = \sum_{i=1}^N D_i(x)$$

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Poluição Ótima

$$\max_x W = S(x) - D(x)$$

$$S(x) = \sum_{i=1}^M S_i(x)$$

$$D(x) = \sum_{i=1}^N D_i(x)$$

$$\max_x W = \sum_{i=1}^M S_i(x) - \sum_{i=1}^N D_i(x)$$

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Poluição Ótima

$$\max_x W = S(x) - D(x) \quad \text{ou} \quad \max_x W = \sum_{i=1}^M S_i(x) - \sum_{i=1}^N D_i(x)$$

C.P.O. Poluição ótima x^* é tal que:

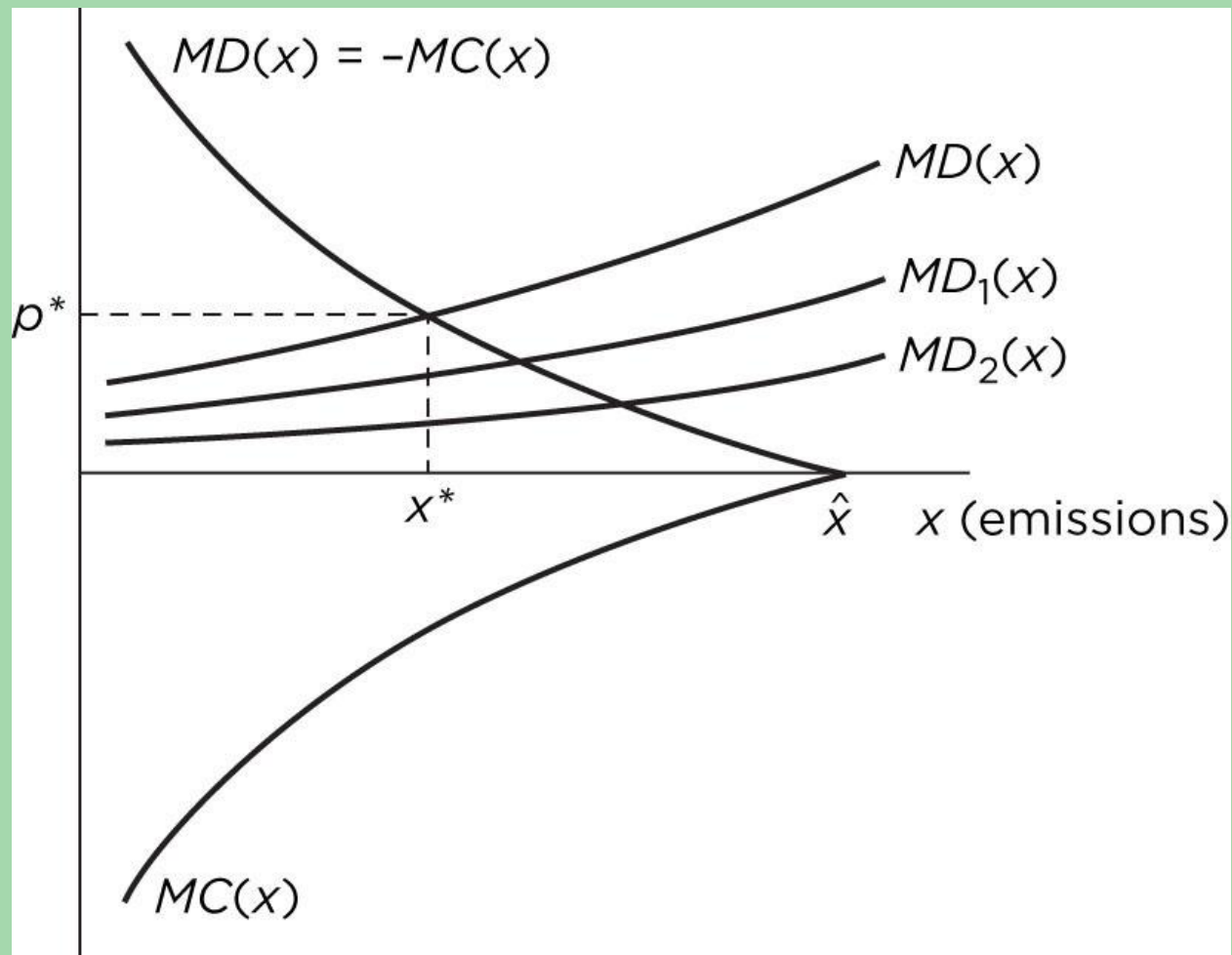
$$\sum_{i=1}^M MS_i(x^*) = \sum_{i=1}^N MD_i(x^*)$$

ou

$$MS(x^*) = MD(x^*)$$

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Poluição Ótima – Um Poluidor



ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Imposto Pigoviano

- Imposto Pigoviano: Imposto por unidade de emissões que induz poluição ótima.
- Imposto Pigoviano: Taxa/imposto paga pelo poluidor e igual ao dano marginal agregado no nível ótimo (eficiente) de poluição.

$$p^* = MS(x^*) = MD(x^*)$$

An aerial photograph showing a river on the left and a multi-lane highway on the right, with several cars visible. The image is tinted green.

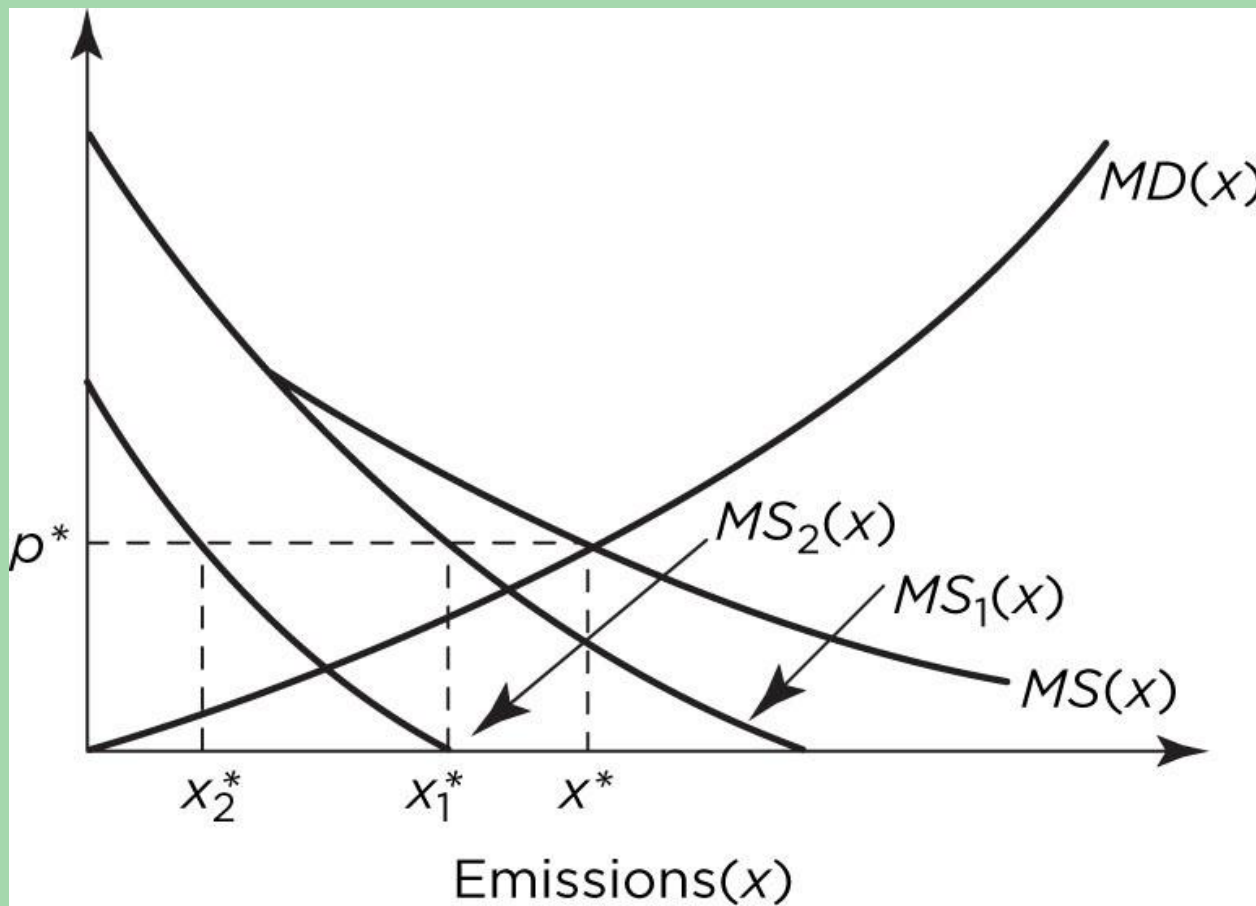
ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Imposto Pigoviano Múltiplos Poluidores

- Princípio equimarginal: custo de despoluição é minimizado – eficiência.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Poluição Ótima – Múltiplos Poluidores



ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Min Custo Social do Abatimento da Poluição

$$\min_{a_1, a_2} C_1(a_1) + C_2(a_2) \text{ tal que } a_1 + a_2 = a^*$$

$$\min_{a_1} C_1(a_1) + C_2(a^* - a_1)$$

$$\frac{dC_1}{da_1} + \frac{dC_2}{da_2} \frac{da_2}{da_1} = 0$$

$$CM_1(a_1) = CM_2(a_2)$$

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Max Benefício Social da Poluição

$$\max_{P_1, P_2} B_1(P_1) + B_2(P_2) \text{ tal que } P_1 + P_2 = P^*$$

$$\max_{P_1} B_1(P_1) + B_2(P^* - P_1)$$

$$\frac{dB_1}{dP_1} + \frac{dB_2}{dP_2} \frac{dP_2}{dP_1} = 0$$

$$BM_1(P_1) = BM_2(P_2)$$

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

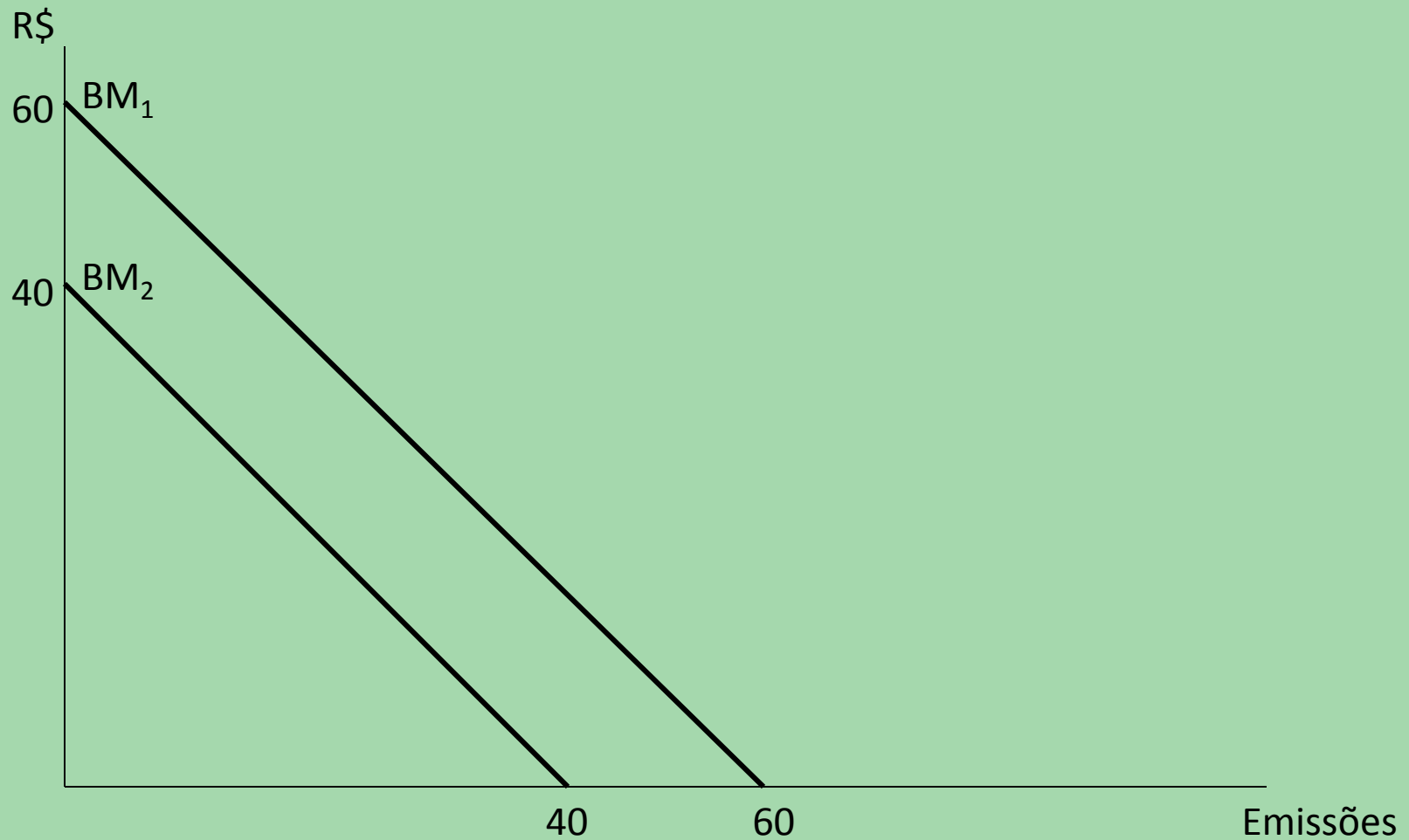
Max Benefício Social da Poluição – Exemplo

$$BM_1(P_1) = 60 - P_1$$

$$BM_2(P_2) = 40 - P_2$$

$$\text{Mercado: } P_1^M = 60 \ ; \ P_2^M = 40 \ ; \ P^M = P_1^M + P_2^M = 100$$

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE



ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Exemplo

Suponha que ótimo seja $P^* = 50$ e cada firma deva, por lei, diminuir a poluição em 50%. Ou seja, $P_1 = 30$ e $P_2 = 20$.

$$BM_1(30) = 30$$

$$BM_2(20) = 20$$

Poluição ótima, mas custos sub-ótimos ($BM_1 > BM_2$).

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Max Benefício Social da Poluição – Exemplo

Eficiência:

$$BM_1(P_1) = BM_2(P_2)$$

$$P_1 + P_2 = 50$$

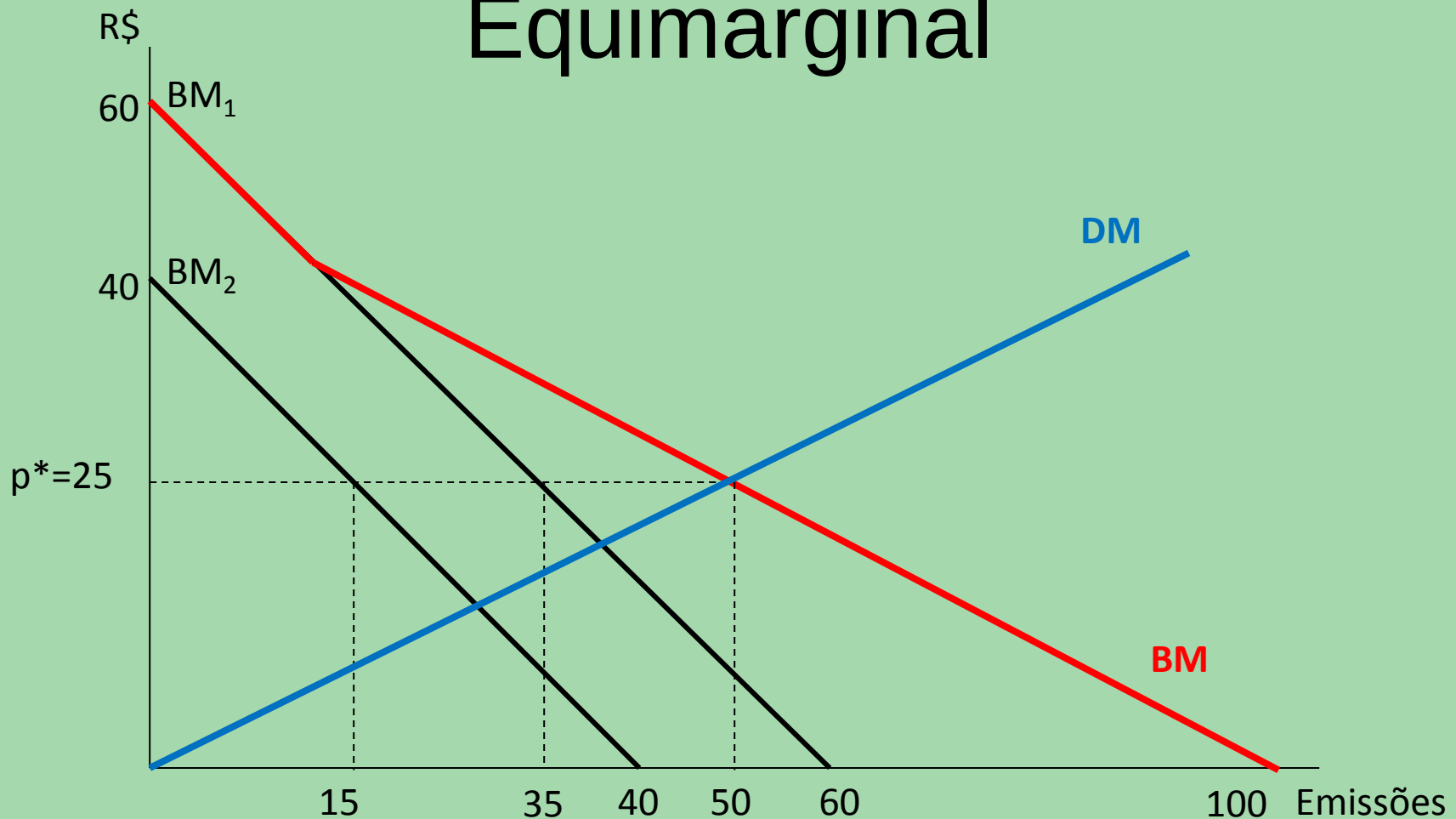
Solução:

$$BM_1(P_1) = BM_2(P_2) = 25$$

$$P_1 = 35 \quad ; \quad P_2 = 15$$

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Imposto Pigoviano e Princípio Equimarginal



An aerial photograph showing a river on the left and a multi-lane highway on the right, with several cars visible. The image is used as a background for the title.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Imposto Pigoviano

- Imposto Pigoviano é geralmente pago ao governo.
- Receita do imposto Pigoviano entra no orçamento do governo como qualquer outra receita e não precisa ser necessariamente atrelada à compensação de vítimas.
- Compensação de vítimas só mantém a eficiência se não for distorcionária (para não aumentar o incentivo a exposição à poluição).

An aerial photograph showing a river on the left and a multi-lane highway on the right, with several cars visible. The image is tinted green.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Imposto x subsídios

- Princípio do poluidor pagador é normalmente aceito
- Mas existe uma questão lógica: não poderíamos utilizar um subsídio para incentivar as firmas reduzirem a poluição?
- Quais seriam as diferenças na alocação de equilíbrio?
- Quais problemas? Riscos?

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Subsídio e Imposto Pigoviano

$$C_t(y, e) = V(y, e) + te + FC$$

$$C_s(y, e) = V(y, e) + FC - s(\hat{e} - e)$$

$$e = ay$$

$$C_t(y, ay) = V(y, ay) + tay + FC$$

$$C_s(y, ay) = V(y, e) + FC - s(\hat{e} - ay)$$

$$C_s(y, ay) = V(y, e) + say + \{FC - s\hat{e}\}$$

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Subsídio e Imposto Pigoviano

$$C_t(y, ay) = V(y, ay) + tay + FC$$

$$C_s(y, ay) = V(y, e) + say + \{FC - s\hat{e}\}$$

Poluidor tem o incentivo de fazer lobby por subsídio.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Subsídio e Imposto Pigoviano

$$C_t(y, ay) = V(y, ay) + tay + FC$$

$$C_s(y, ay) = V(y, e) + say + \{FC - s\hat{e}\}$$

$$CM_t = \frac{V(y, ay)}{y} + ta + \frac{FC}{y}$$

$$CM_s = \frac{V(y, ay)}{y} + sa + \frac{FC}{y} - \frac{s\hat{e}}{y}$$

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Subsídio e Imposto Pigoviano

$$C_t(y, ay) = V(y, ay) + tay + FC$$

$$C_s(y, ay) = V(y, e) + say + \{FC - s\hat{e}\}$$

$$CMg_t = \frac{\partial V(y, ay)}{\partial y} + ta$$

$$CMg_s = \frac{\partial V(y, ay)}{\partial y} + sa$$

$$CMg_t = CMg_s$$

An aerial photograph showing a multi-lane highway with several cars driving on it. To the left of the highway is a river or a large canal. The background is a mix of green fields and some trees.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

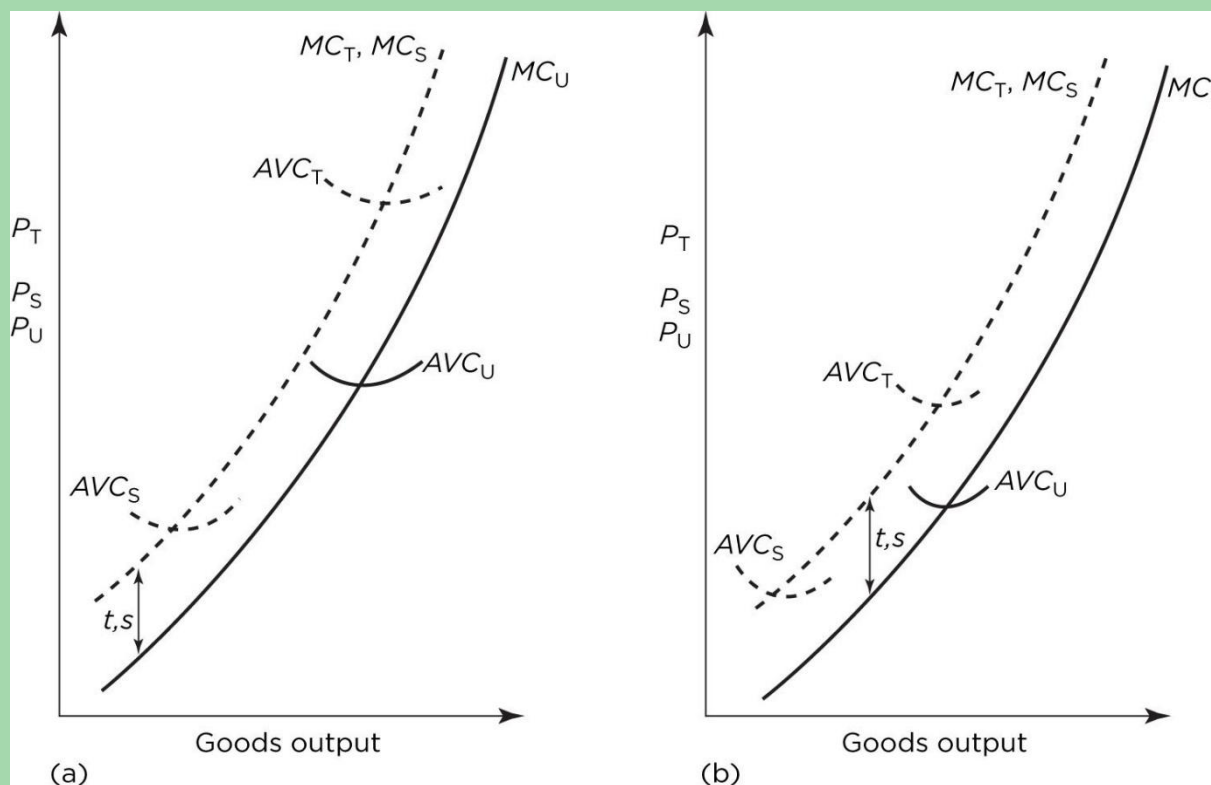
Subsídio e Imposto Pigoviano

$$CMg_t = CMg_s$$

Tanto imposto quanto subsídio geram mesmo nível de produção ($P=CMg$) e poluição por firma poluidora.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Subsídio e Imposto Pigoviano Firmas Heterogêneas no Curto Prazo



Firmas mais eficientes (direita) com custo variável médio inferior (curvas sólidas no mercado não regulado AVC_U).

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Subsídio e Imposto Pigoviano Firmas Heterogêneas no Curto Prazo

$$C_t(y, ay) = V(y, ay) + tay + FC$$

$$C_s(y, ay) = V(y, e) + say + \{FC - s\hat{e}\}$$

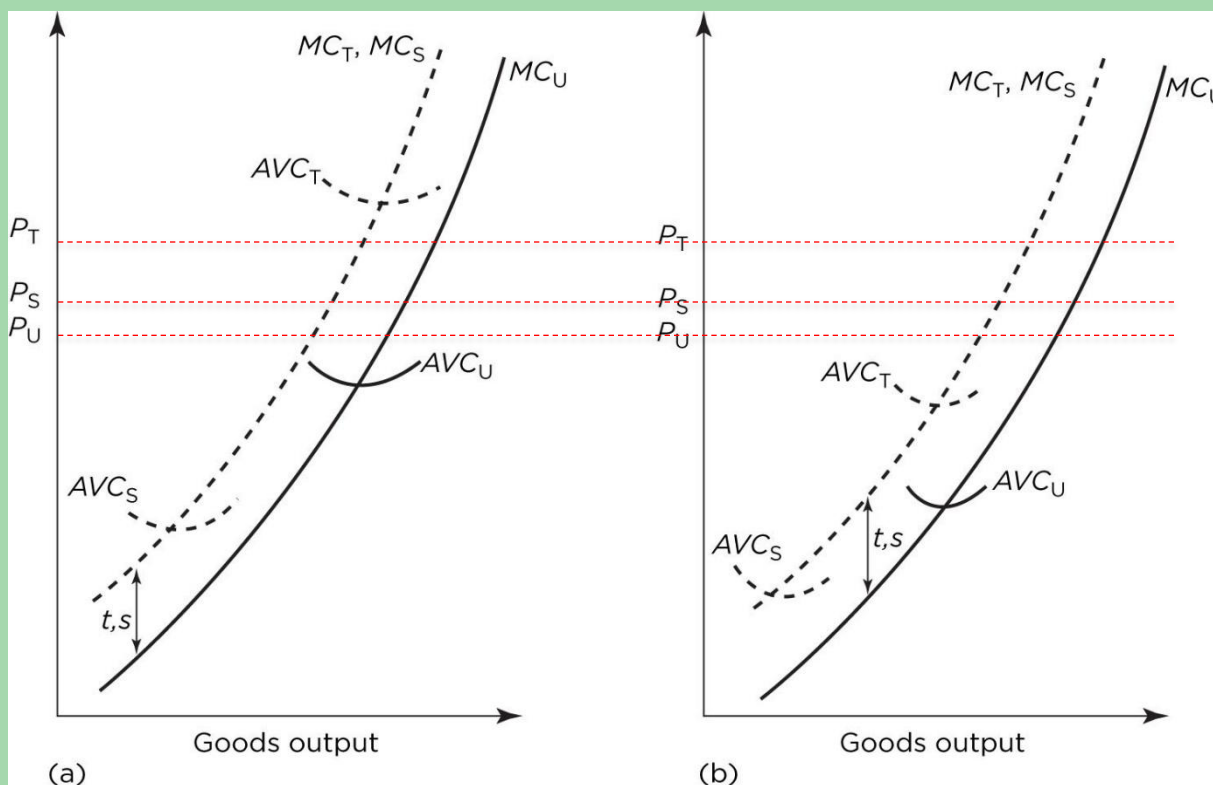
$$CVM_t = \frac{V(y, ay)}{y} + ta$$

$$CVM_s = \frac{V(y, ay)}{y} + sa - \frac{s\hat{e}}{y}$$

$s\hat{e}/y$ entra no CVMs, porque se a firma decidir sair do mercado no curto prazo, ela perde o subsídio. Isto é, sair do mercado ou não é decisão de CP (mas não entrar).

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

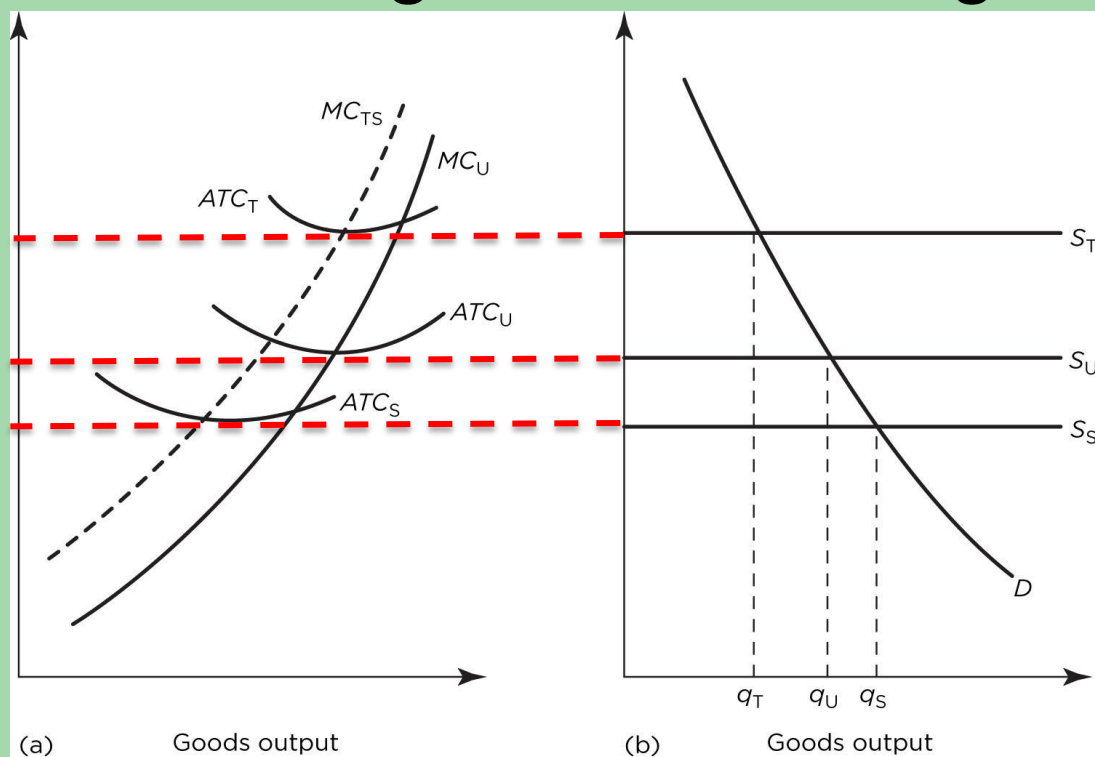
Subsídio e Imposto Pigoviano Firmas Heterogêneas no Curto Prazo



Custo marginal aumenta de forma igual para t e s , mas custo variável médio, muda de forma diferente (possibilidade de saída).

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Subsídio e Imposto Pigoviano Firmas Heterogêneas no Longo Prazo



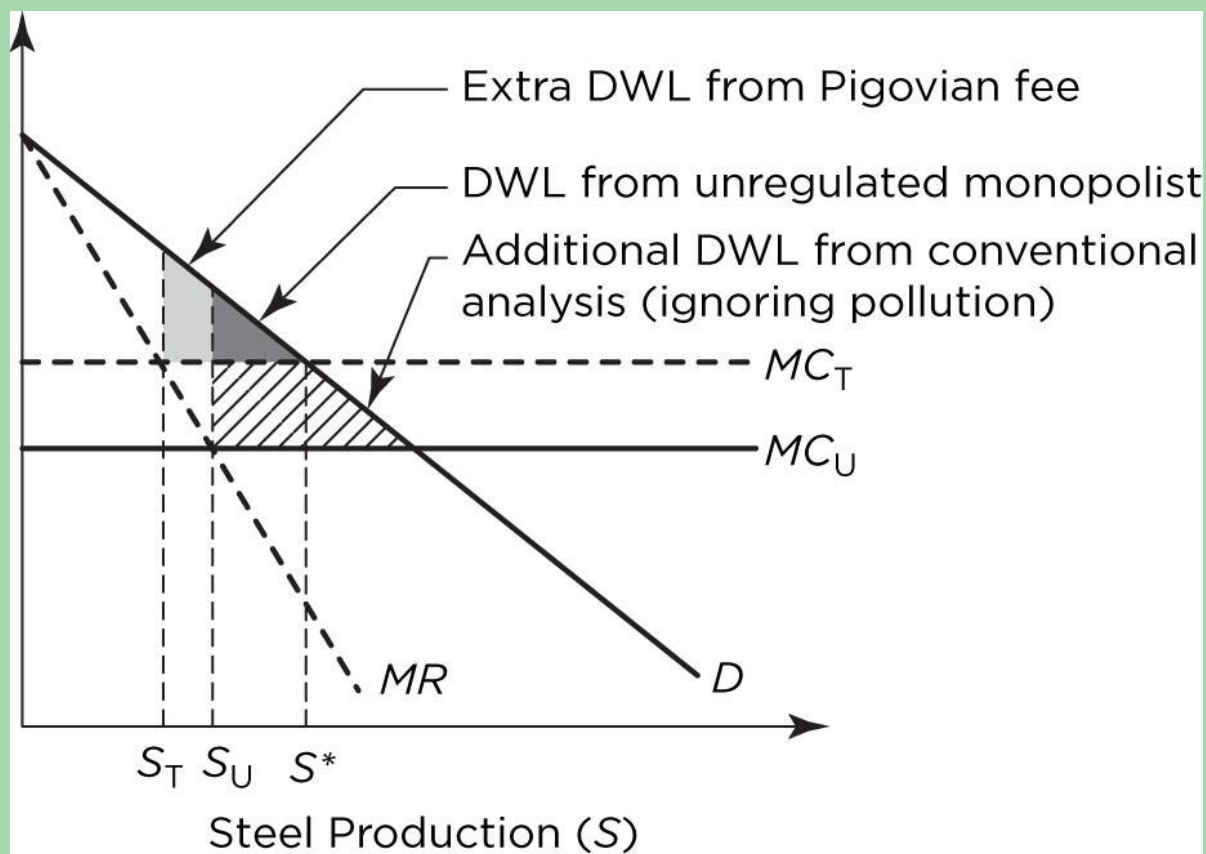
Indústria com custo constante no longo prazo.

Imposto: somente eficientes operam. Menor produção e poluição.

Subsídio: ineficientes operam. Maior produção e poluição

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Monopolista no Mercado de Bens



Monopolista produz menos e polui menos que mercado competitivo. Imposto Pigoviano e aumento de ineficiência.

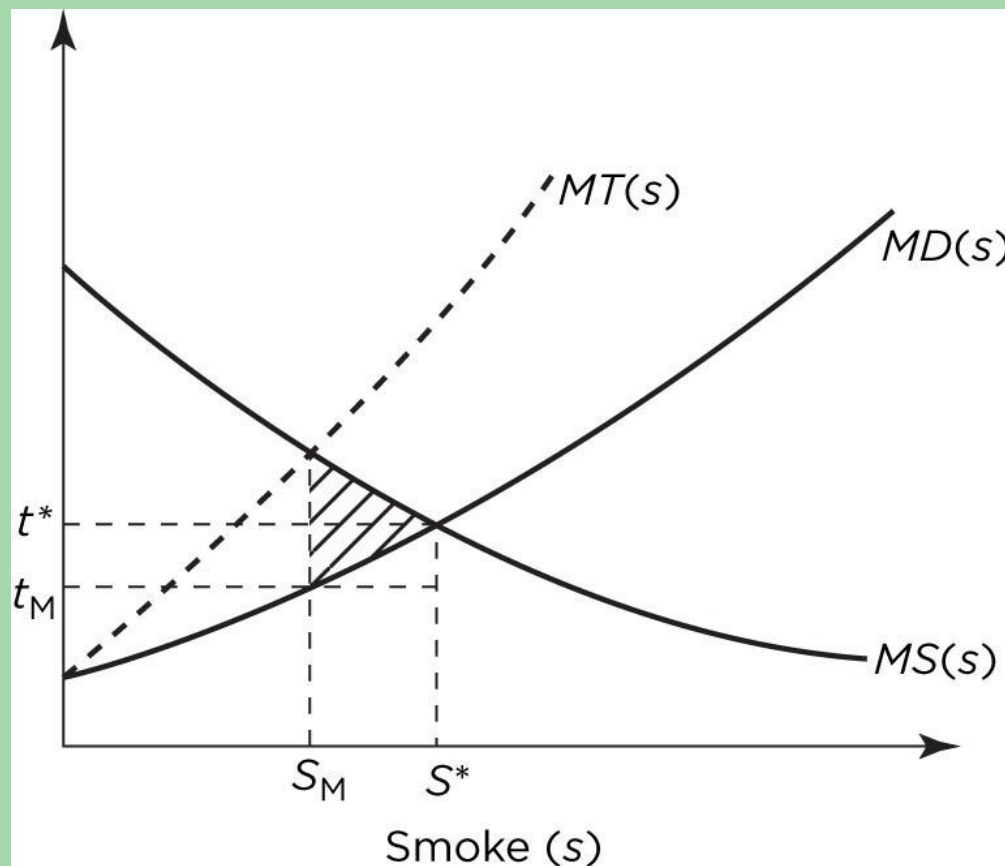
ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Monopolista na Produção de Poluição

- Suponha que produtor gera poluição “s” (smoke) e imposto sobre poluição seja $t = DMg(s)$ [note que isso não é imposto Pigoviano].
- Pagamento total de imposto: $T(s) = s DMg(s)$
- Poluidor polui onde o custo marginal da poluição para ele (pagamento marginal de imposto) é igual ao benefício marginal da poluição.
- $TMg(s) = DMg(s) + s d[DMg(s)]/ds > DMg(s)$

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Monopolista na Produção de Poluição



Monopolista polui menos do que a quantidade socialmente ótima (supondo imposto = $DMg(s)$).

An aerial photograph showing a river on the left and a multi-lane highway on the right, with several cars visible. The image is used as a background for the title.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

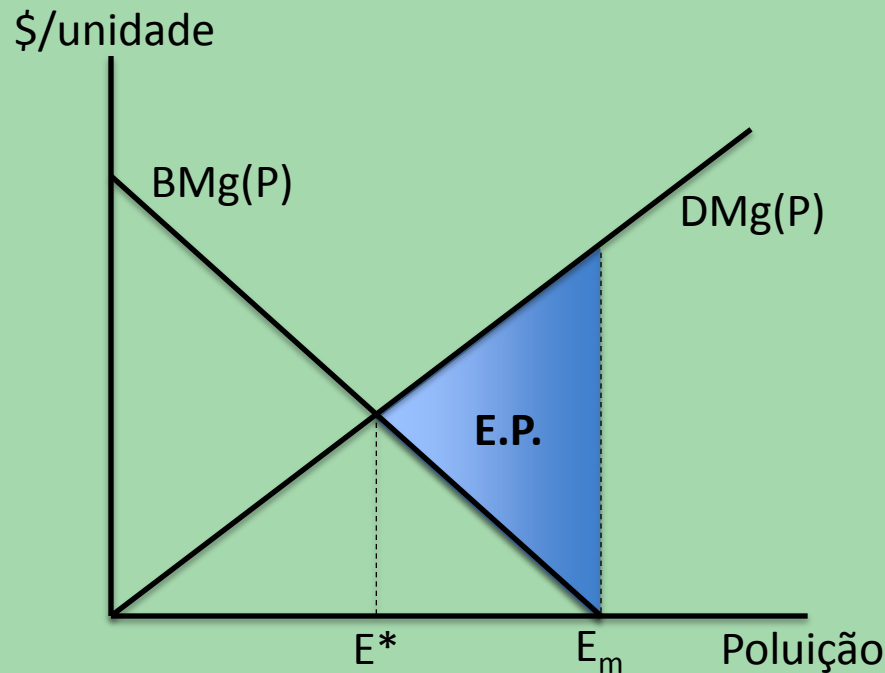
Hipótese do Dividendo Duplo

- Governos precisam gerar receitas.
- A maioria dos impostos geram distorções na sociedade (perda de bem estar social ou peso morto do imposto).
- E se usássemos o imposto sobre a poluição para gerar receita e reduzir o uso de outros impostos?

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

- Imposto Pigoviano: Correção de ineficiência da externalidade – “Efeito Pigoviano”.



An aerial photograph showing a river on the left and a multi-lane highway on the right, with several cars visible. The image is used as a background for the title.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

- Imposto Pigoviano: Correção de ineficiência da externalidade – “Efeito Pigoviano” (ganho líquido ou dividendo para a sociedade).
- Uso de receita do imposto Pigoviano para reduzir/eliminar outros impostos distorcionários (segundo dividendo do imposto Pigoviano) – “Reciclagem de Receita”.

An aerial photograph showing a river on the left and a multi-lane highway on the right, with several cars visible. The image is used as a background for the title.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

- “Efeito Pigoviano” (eliminação da poluição).
- “Reciclagem de Receita” (redução de distorção de outros impostos).
- Mas o imposto Pigoviano pode interagir com outros impostos e gerar outras distorções na economia, reduzindo o impacto especulado pela HDD.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

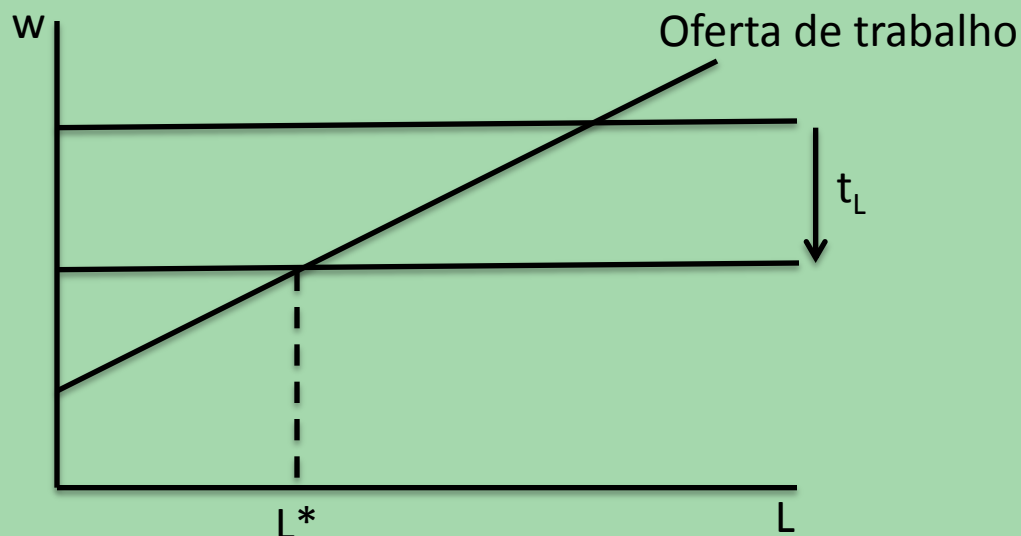
Hipótese do Dividendo Duplo

- Indivíduos demandam bem poluidor X e lazer (H): $u(X, H)$.
- Indivíduos oferecem trabalho L e são pagos salário w (wL usado para comprar X).
- T é tempo total disponível para trabalho e lazer: $T = L + H$.
- Imposto sobre trabalho: t_L .
- V : peso morto marginal do imposto t_L .
 - Se o imposto subir de R\$ 1, o custo social é $(1+V)$.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

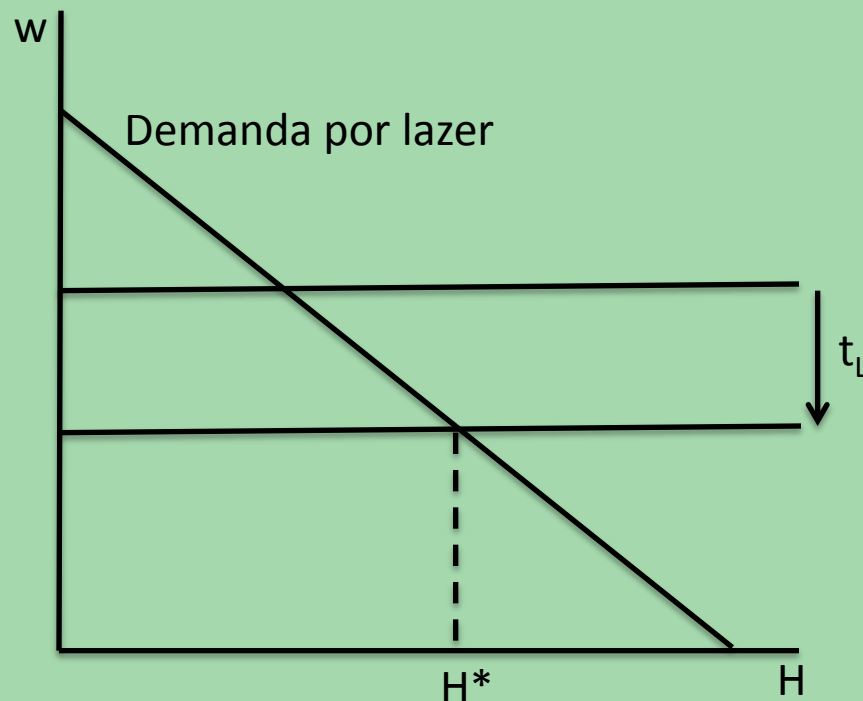
- t_L reduz a demanda (horizontal) por trabalho: empregadores pagariam mais se não houvesse imposto sobre trabalho – Distorção no mercado de trabalho.



ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

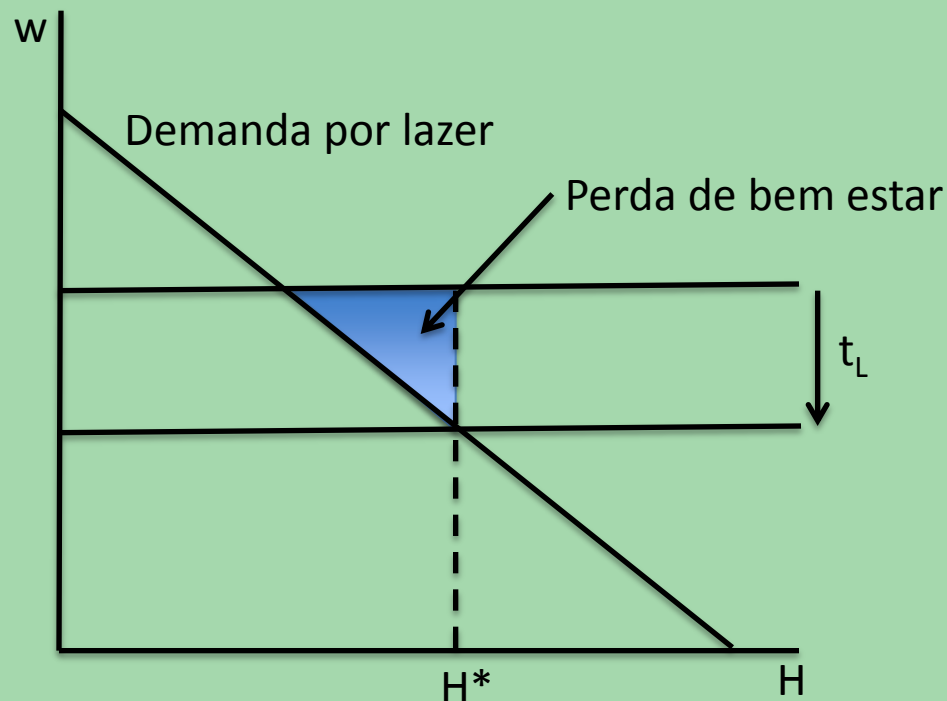
- t_L corresponde a um incentivo ou subsídio ao lazer (já que o salário cai com t_L , maior incentivo ao lazer).



ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

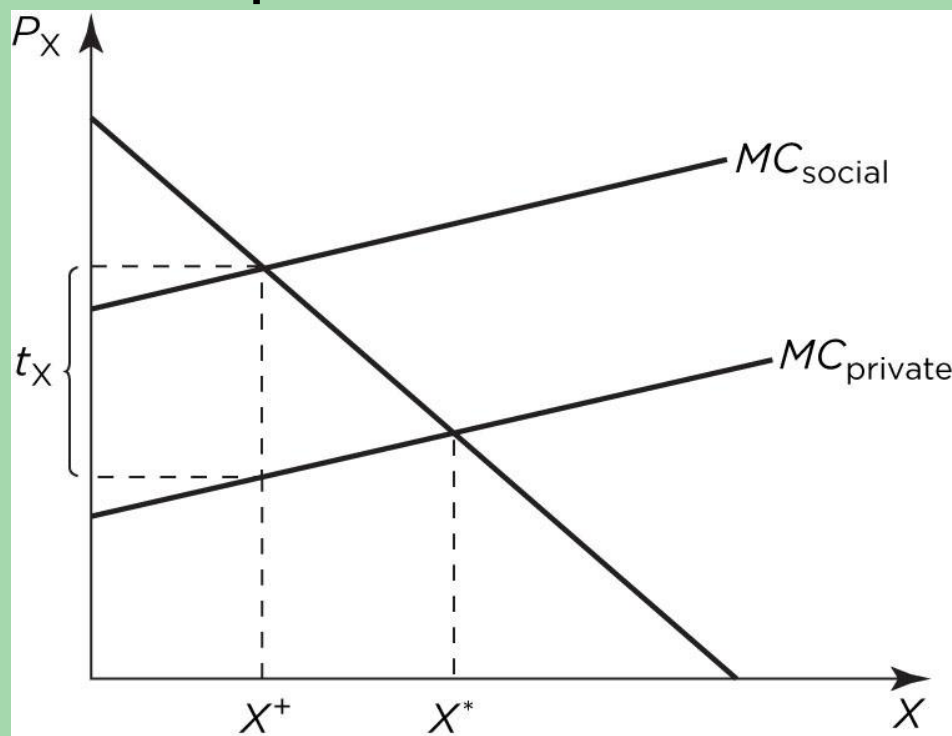
- t_L corresponde a um incentivo ou subsídio ao lazer (já que o salário cai com t_L , maior incentivo ao lazer).



ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

- Suponha que o imposto Pigoviano t_X seja cobrado dos produtores de X .



An aerial photograph showing a multi-lane highway with several cars driving on it. To the left of the highway is a river or a large canal, bordered by green vegetation. The image is used as a background for the top section of the slide.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

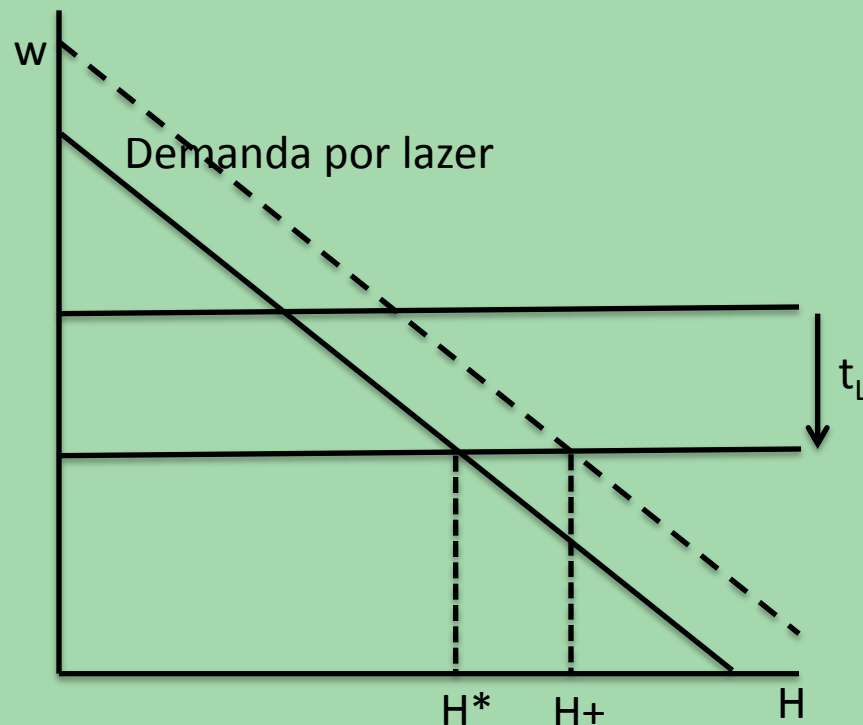
Hipótese do Dividendo Duplo

- Suponha que o imposto Pigoviano t_x seja cobrado dos produtores de X.
- Isso faz com quem X torne-se mais caro.
- Se X e H forem substitutos (imperfeitos), indivíduos terão o incentivo de consumir mais lazer com o aumento do preço de X.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

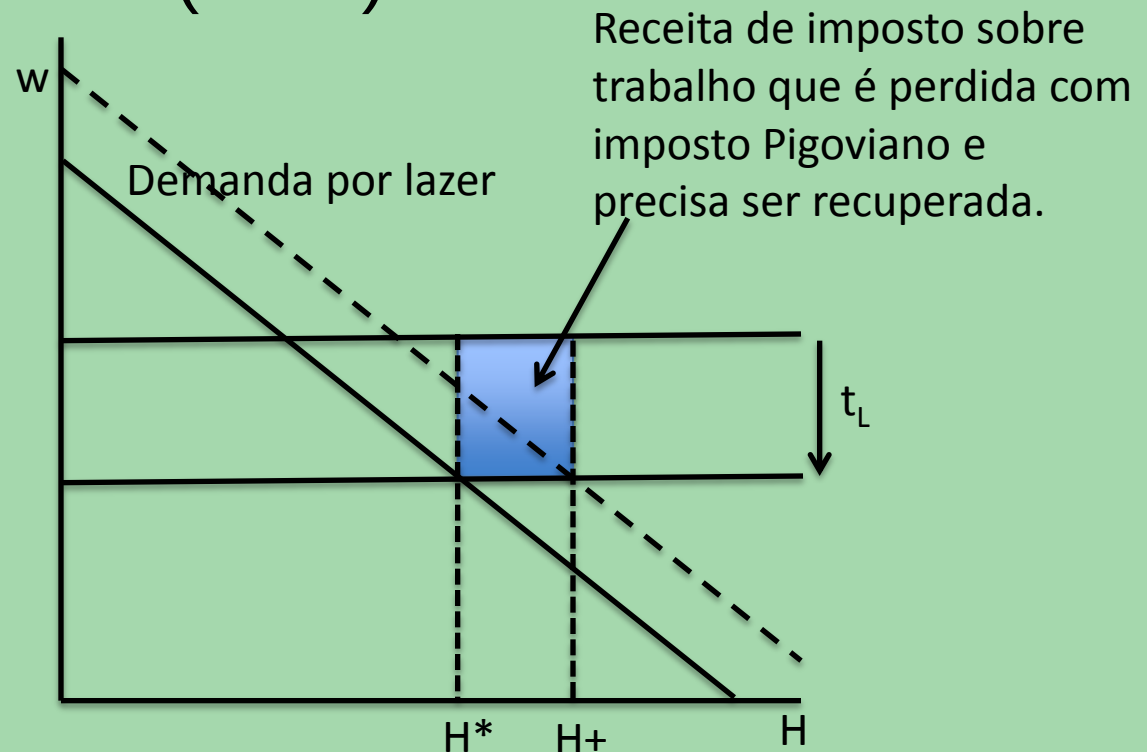
- X e H substitutos: demanda por H desloca-se para a direita com aumento do preço de X.



ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

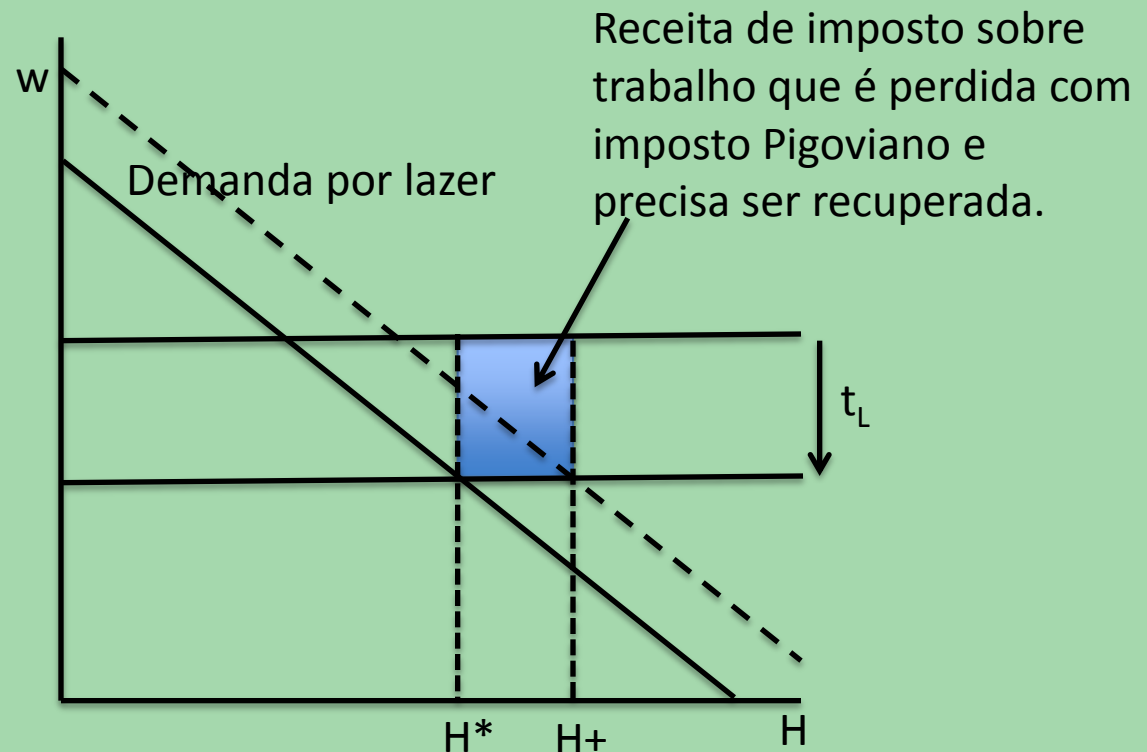
- Imposto Pigoviano aumenta distorção no mercado de trabalho (lazer).



ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

- Receita perdida a ser recuperada: $(H^+ - H^*)t_L$



An aerial photograph showing a river on the left and a multi-lane highway on the right, with some vehicles visible. The image is used as a background for the title.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

- Receita perdida a ser recuperada: $(H^+ - H^*)t_L$
- Custo de recuperar receita perdida com imposto sobre trabalho: $(1 + V) (H^+ - H^*)t_L$

An aerial photograph showing a multi-lane highway with several cars driving on it. To the left of the highway is a river or a large canal, bordered by green vegetation. The overall scene is captured from a high angle, looking down on the infrastructure.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

- Receita perdida a ser recuperada: $(H^+ - H^*)t_L$
- Custo de recuperar receita perdida com imposto sobre trabalho: $(1 + V) (H^+ - H^*)t_L$
- Este custo é chamado Efeito da Interação de Impostos (*tax interaction effect* ou IE).

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

- Receita perdida a ser recuperada: $(H^+ - H^*)t_L$
- Custo de recuperar receita perdida com imposto sobre trabalho: $(1 + V)(H^+ - H^*)t_L$
- Este custo é chamado Efeito da Interação de Impostos (*tax interaction effect* ou IE).
- $IE = (1 + V)(H^+ - H^*)t_L = (1 + V)t_L \Delta p_X \eta_{HX} H^*/p_X$
- Onde $\eta_{HX} = (\Delta H/H)/(\Delta p_X/p_X) = [(H^+ - H^*)/\Delta p_X](p_X/H^*)$

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

- $IE = (1 + V)(H^+ - H^*)t_L = (1 + V)t_L \Delta p_X \eta_{HX} H^*/p_X$
- Se $t_L = 0$, $IE = 0$
- Se $\eta_{HX} = 0$, $IE = 0$
- Ou seja, IE é um custo adicional gerado pelo imposto Pigoviano devido a existência de outras distorções no mercado (imposto sobre o trabalho).
- IE depende da existência/tamanho da distorção (t_L) e da elasticidade cruzada de preço da demanda por lazer.

An aerial photograph showing a river on the left and a multi-lane highway on the right, with several cars visible. The image is used as a background for the title.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

- Por fim, notamos que a receita com o imposto Pigoviano, $t_x X$, pode ser usada para diminuir arrecadação com imposto sobre trabalho e diminuir distorções neste mercado.
- Este é o Efeito de Reciclagem de Renda (*revenue recycling effect* ou RE):

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

- Por fim, notamos que a receita com o imposto Pigoviano, $t_x X$, pode ser usada para diminuir arrecadação com imposto sobre trabalho e diminuir distorções neste mercado.
- Este é o Efeito de Reciclagem de Renda (*revenue recycling effect* ou RE):
- Lembre-se que cada real arrecadado no mercado de trabalho, tem um custo adicional de V .
- Assim, RE é este custo evitado:
- $RE = V t_x X$

An aerial photograph showing a river on the left and a multi-lane highway on the right, with several cars visible. The image is used as a background for the title slide.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

- Resumindo, imposto Pigoviano gera três benefícios líquidos:
 - EP (+): redução do problema da externalidade
 - RE (+): diminuição da arrecadação no mercado de trabalho.
 - IE (-): aumento na distorção no mercado de trabalho.

An aerial photograph showing a river on the left and a multi-lane highway on the right, with several cars visible. The image is used as a background for the top section of the slide.

ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Hipótese do Dividendo Duplo

- Efeito líquido total = $EP + RE + IE$
- Efeito líquido total é positivo, negativo ou nulo?
 - Questão empírica.
- Note que se a correção da externalidade não envolver diminuição de outros impostos distorcionários, ficaremos apenas com EP e IE, e perderemos o RE.
- Exemplos onde RE desaparece:
 - Comando e controle.
 - Títulos de poluição distribuídos gratuitamente.