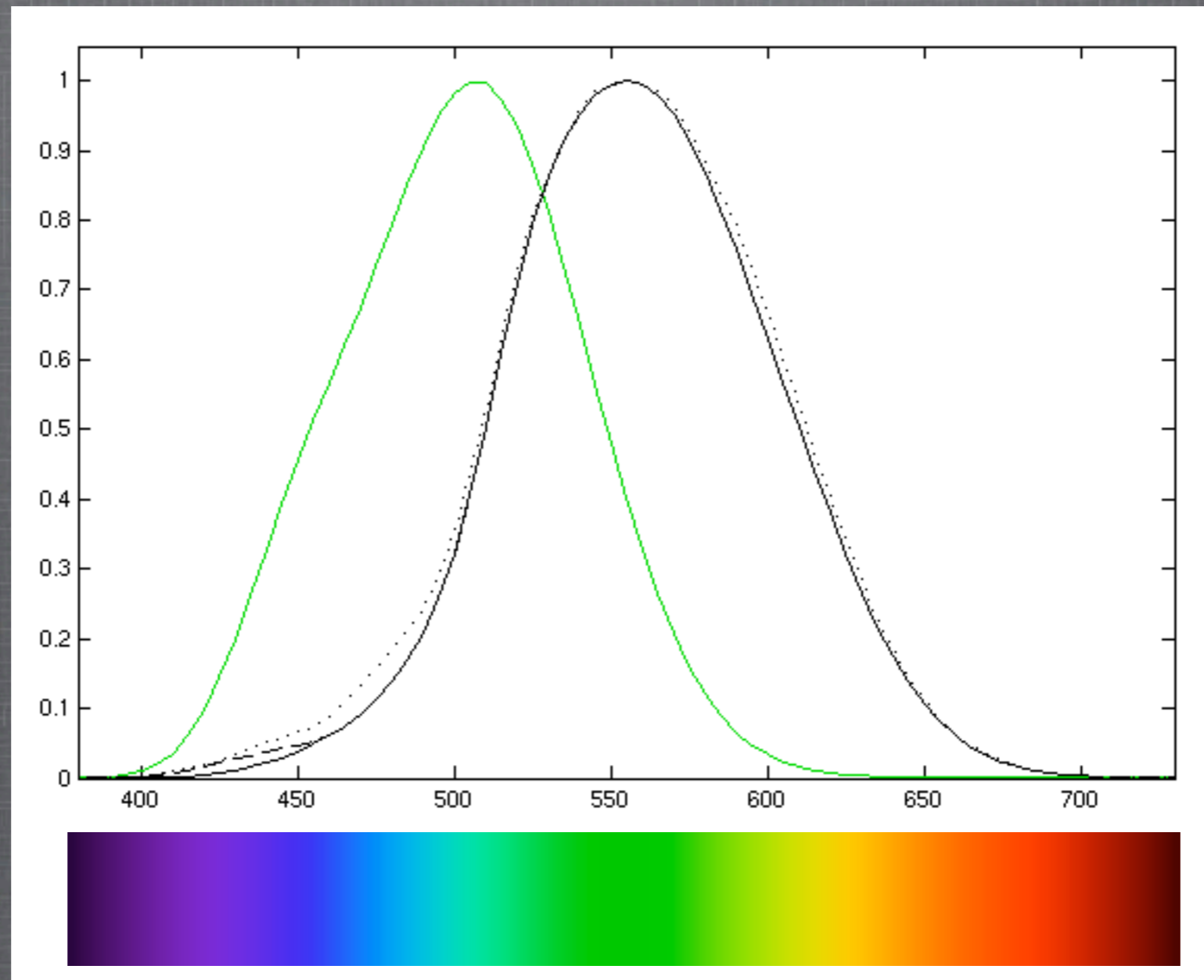


# WORKSHOP LUZ E IMAGEM

## Aula 7 — Fotometria e Sensitometria



Paulo Tribolet Abreu e Manuel Silveira Ramos  
Ar.Co, 2011

# ENERGIA

- **Capacidade** de realizar trabalho (mover massa).

Unidade: [E] = J (joule).

- **Luz (radiação)** é transporte de energia.

- Cada partícula de luz (fotão) transporta energia:

$$E = h \cdot f = h \cdot (c/\lambda)$$

Frequência

Comp. de onda

Const. de Plank  
 $6,6 \times 10^{-34}$  J.s

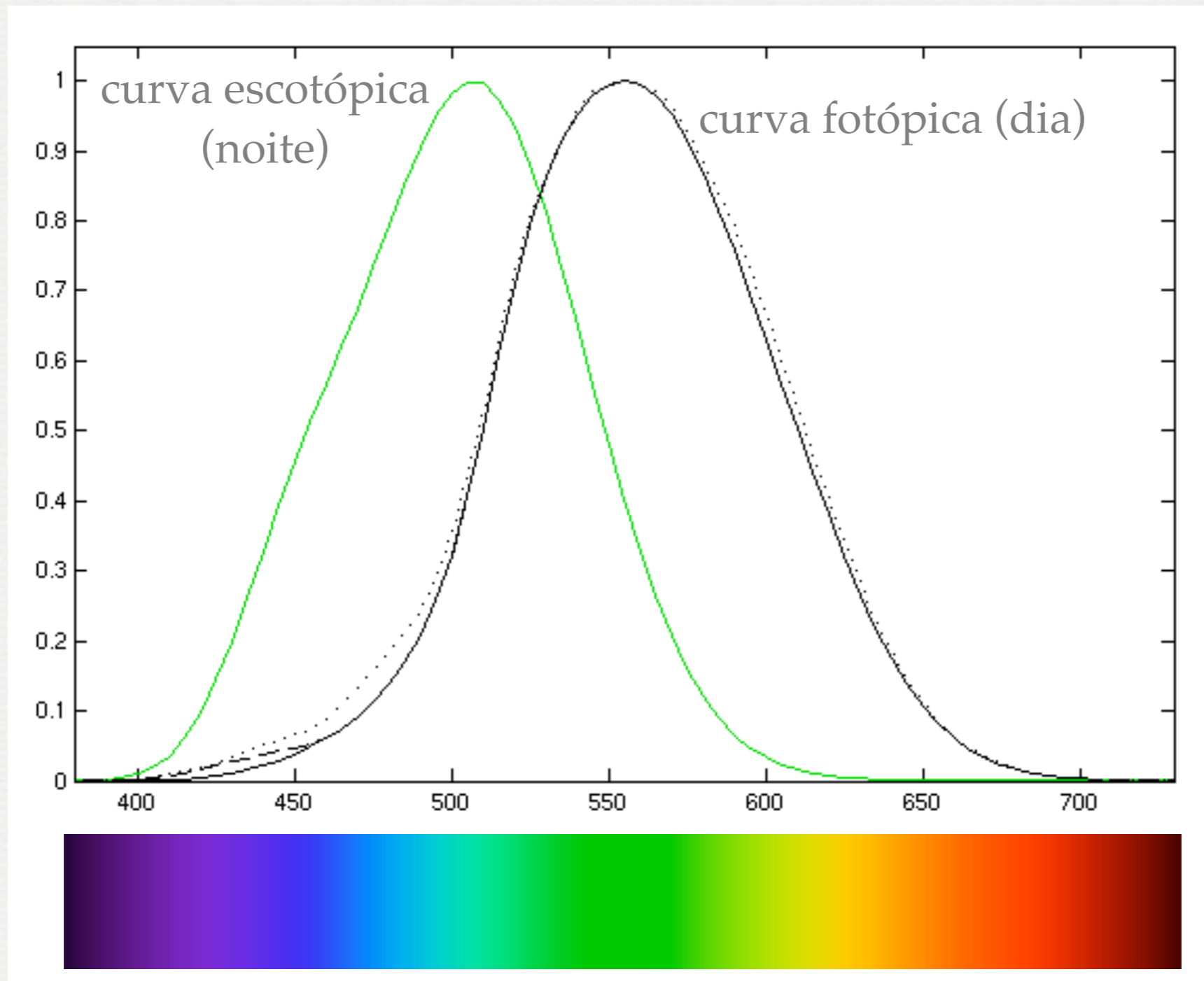
Vel. da luz  
 $3 \times 10^8$  m/s

- *Exemplo:* calcular a energia de um fotão de luz azul (400 nm), verde (500 nm), vermelha (700 nm).

# POTÊNCIA

- Variação de energia (aumento ou diminuição).
- É a “velocidade” com que se perde ou ganha energia.
- $[P] = \text{J/s} = \text{W (watt)}$
- *Exemplo:* Lâmpada de incandescência: 60 W, 10% de eficiência => 6 W de energia luminosa.
- *Exemplo:* Lâmpada de fluorescência: 10 W, 60% de eficiência => 6 W de energia luminosa.

# FUNÇÃO DE EFICIÊNCIA LUMINOSA



# LUMEN

- Unidade de **fluxo** luminoso de uma fonte de luz.
- “luminoso” significa “ajustado à visão humana através da curva fotópica”
- Tem uma relação directa com potência (W):
  - Para  $\lambda=555$  nm,  $1 \text{ W} = 683 \text{ lm}$  e  $1 \text{ lm} = 1 / 683 \text{ W}$ .
  - Para outros  $\lambda$ , usar o factor da curva fotópica .

# EXEMPLOS

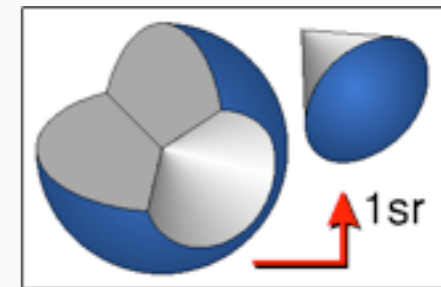
- Cálculo aproximado para uma lâmpada de incandescência:
  - Consumo: 60 W, eficiência: 10%, logo 6 W de luz emitida.
  - Admitamos 80% nos vermelhos ( $y=0,2$ ), 15% nos amarelos ( $y=0,7$ ) e 5% nos azuis ( $y=0,01$ ).
  - $$Fl = 0,8 \times 6 \times 683 \times 0,2 \quad (\text{vermelhos})$$
$$+ 0,15 \times 6 \times 683 \times 0,7 \quad (\text{amarelos})$$
$$+ 0,05 \times 6 \times 683 \times 0,01 \quad (\text{azuis})$$
$$= 1088 \text{ lm (na realidade são cerca de 860 lm).}$$
- Sol ao meio-dia: 100 000 lm; nublado: 10 000 lm.
- Luz de incandescência: 14 lm/W.
- Luz de fluorescência: 40 lm/W.



# CANDELA

- Unidade de **intensidade** luminosa.

- $1 \text{ cd} = 1 \text{ lm}$  por ângulo sólido, isto é:  
 $1 \text{ cd} = 1 / 683 \text{ W}\cdot\text{sr}^{-1}$  (para  $\lambda=555 \text{ nm}$ ).



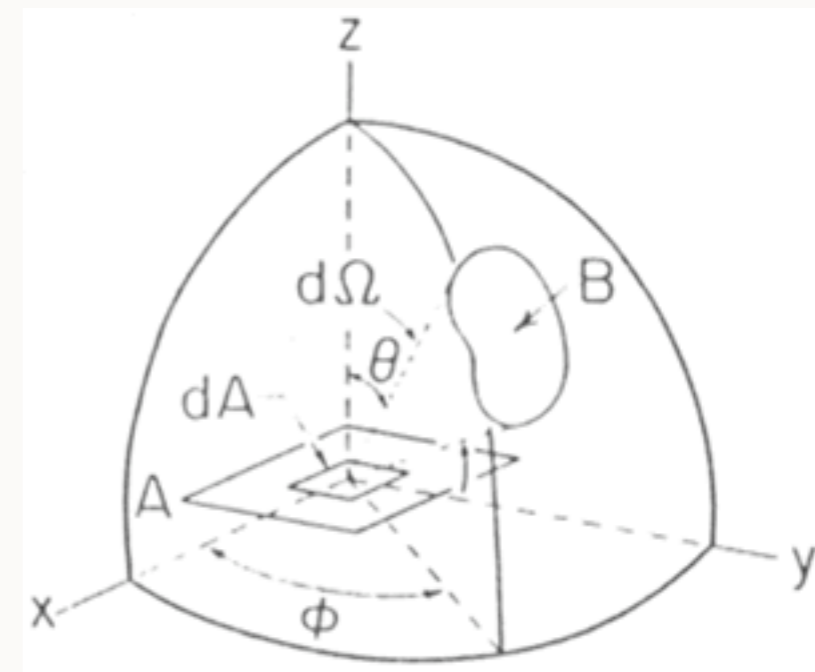
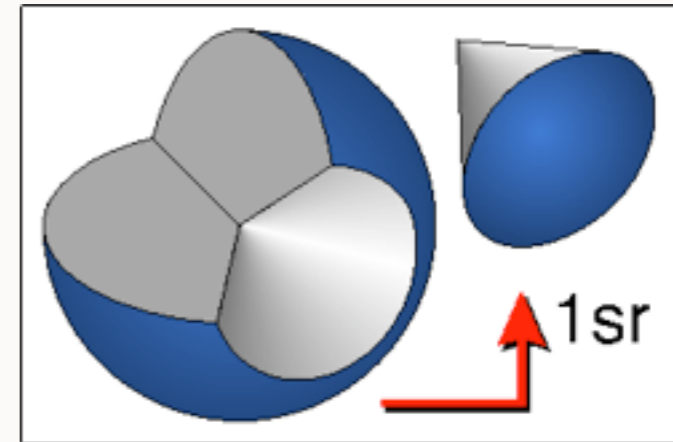
- Intensidade não depende da distância, só do ângulo.
- *Exemplo:* Qual a intensidade luminosa de uma lâmpada de incandescência de 60 W anterior?

$$F_l = 1088 \text{ lm.}$$

$$I_l = 1088 / 4\pi = 87 \text{ cd (admitindo fonte de luz esférica).}$$

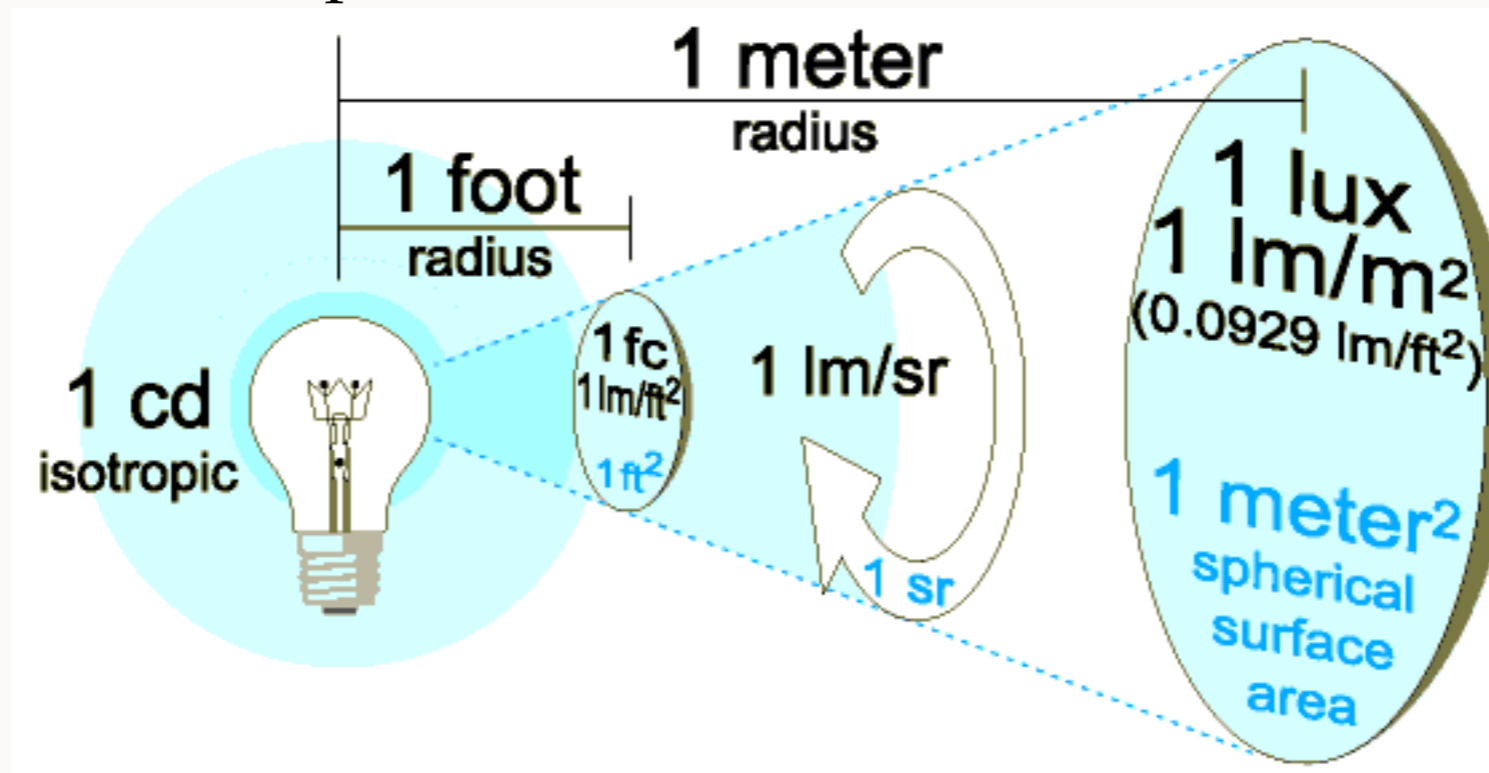
# ÂNGULO SÓLIDO (ESTERADIANOS)

- $\text{sr} = \text{esteradiano} = \text{ângulo sólido}.$
- Uma esfera tem  $4\pi \text{ sr}.$
- Meia esfera =  $2\pi \text{ sr}.$
- $1/4$  esfera =  $\pi \text{ sr}.$
- $1/8$  esfera =  $\pi/2 \text{ sr}.$



# ILUMINAÇÃO (LUX)

- **Fluxo luminoso por unidade de área.** Mede-se em lux (lx).  
Logo:  $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} / \text{m}^2$ .
- Mede a intensidade luminosa que *chega* a uma superfície.  
(Tem uma relação directa com a *irradiância*, que é a *potência* luminosa que chega a uma superfície ( $\text{W} / \text{m}^2$ ).)



# LUMINÂNCIA OU BRILHO

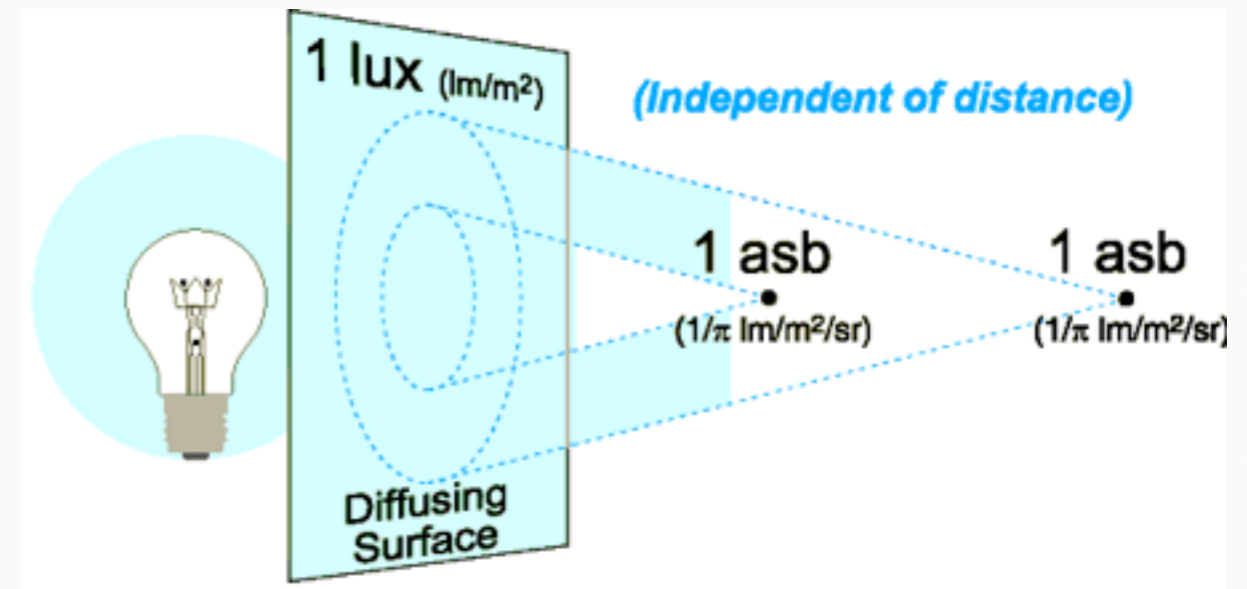
- Intensidade luminosa *emitida* (gerada, reflectida ou transmitida) por um ponto uma superfície. Portanto é a intensidade por unidade de área. Mede-se em  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

- $L = I.R / \pi$ .

I = iluminação,

R = factor de reflexão

- É o brilho que o olho distingue.  
Não depende da distância.



- *Exemplo:* Uma superfície de reflectividade  $r=0,6$  está sujeita a uma iluminação I de 100 lx. Qual a luminância dessa superfície?

A superfície vai reflectir  $100 \times 0,6 = 60$  lx.

$$L = 60 / \pi = 19 \text{ cd}/\text{m}^2$$

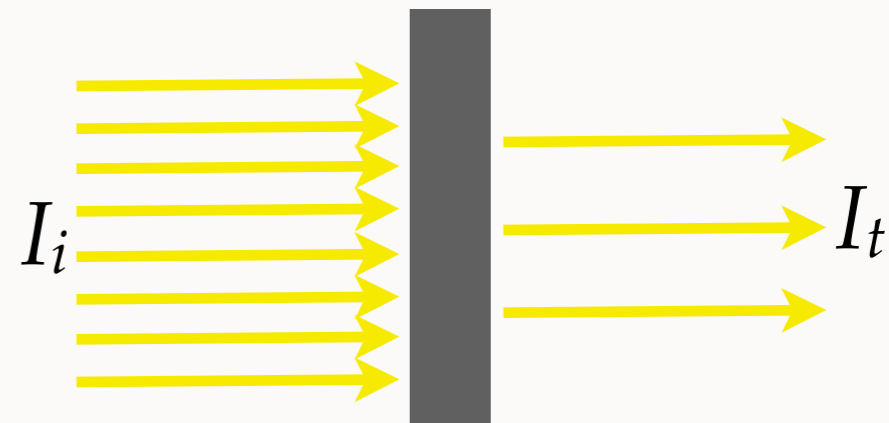
# EXPOSIÇÃO

$$E = I.t$$

- *Lei da reciprocidade*: a sensibilidade do material é proporcional à exposição. Portanto metade da iluminação pode ser compensado com o dobro do tempo.
- Limite: tempos muito curtos ou muito longos (*perca da reciprocidade*).
- *Intermitência*: o efeito de várias exposições curtas não é exactamente igual à exposição longa correspondente à soma.
- Isto é: geralmente  $I.T \neq I.n.t$  (com  $T = n.t$ ).

# RESPOSTA DO MATERIAL

- *Transmissividade:  $T = I_t / I_i$*

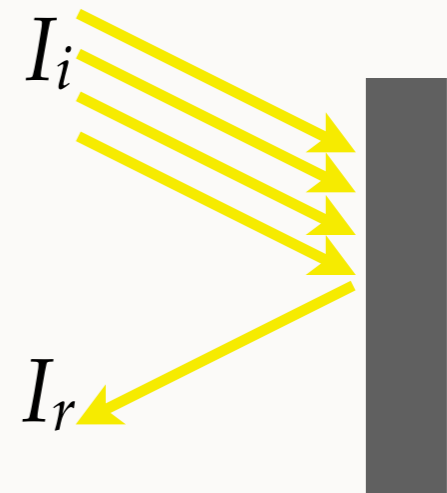


- Entre 0 (opaco) e 1 (transparente), ou entre 0% e 100%.

- *Opacidade:  $O = I_i / I_t = 1/T$*

- Entre 1 (transparente) e  $\infty$  (opaco).

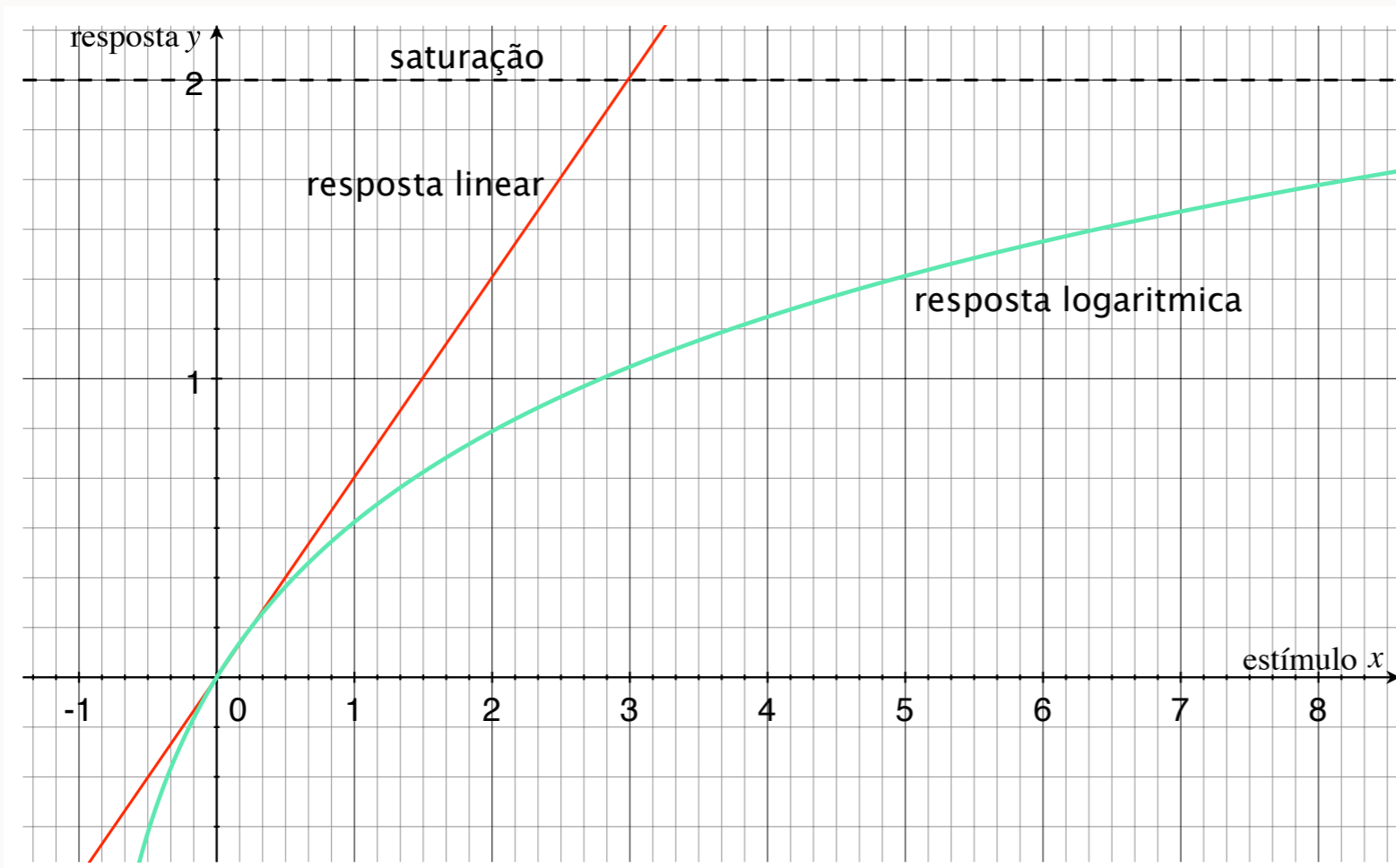
- *Reflectividade:  $R = I_r / I_i$*



- Entre 0 (transparente) e 1 (reflexão total), ou entre 0% e 100%.

# RESPOSTA SENSORIAL

- A resposta dos sentidos humanos a estímulos não é linear, mas sim *logarítmica*: estímulos mais intensos atenuam a sensibilidade (até eventualmente uma saturação).

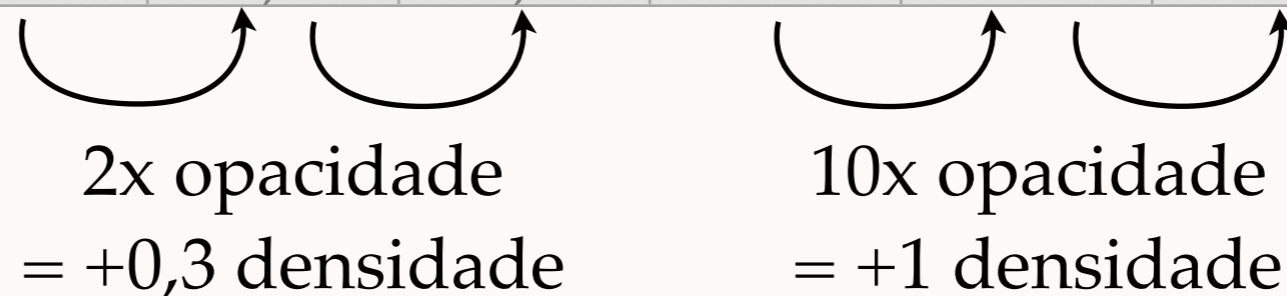


- Exemplo na figura: para ter 2x de resposta tenho estimular ~3x.
- Exemplo do corpo humano: para sentir 2x de intensidade tenho que ter ~10x mais potência.

# DENSIDADE

- $D = \log 1/T = \log O$  (transparências).
- $D = \log 1/R$  (papel).

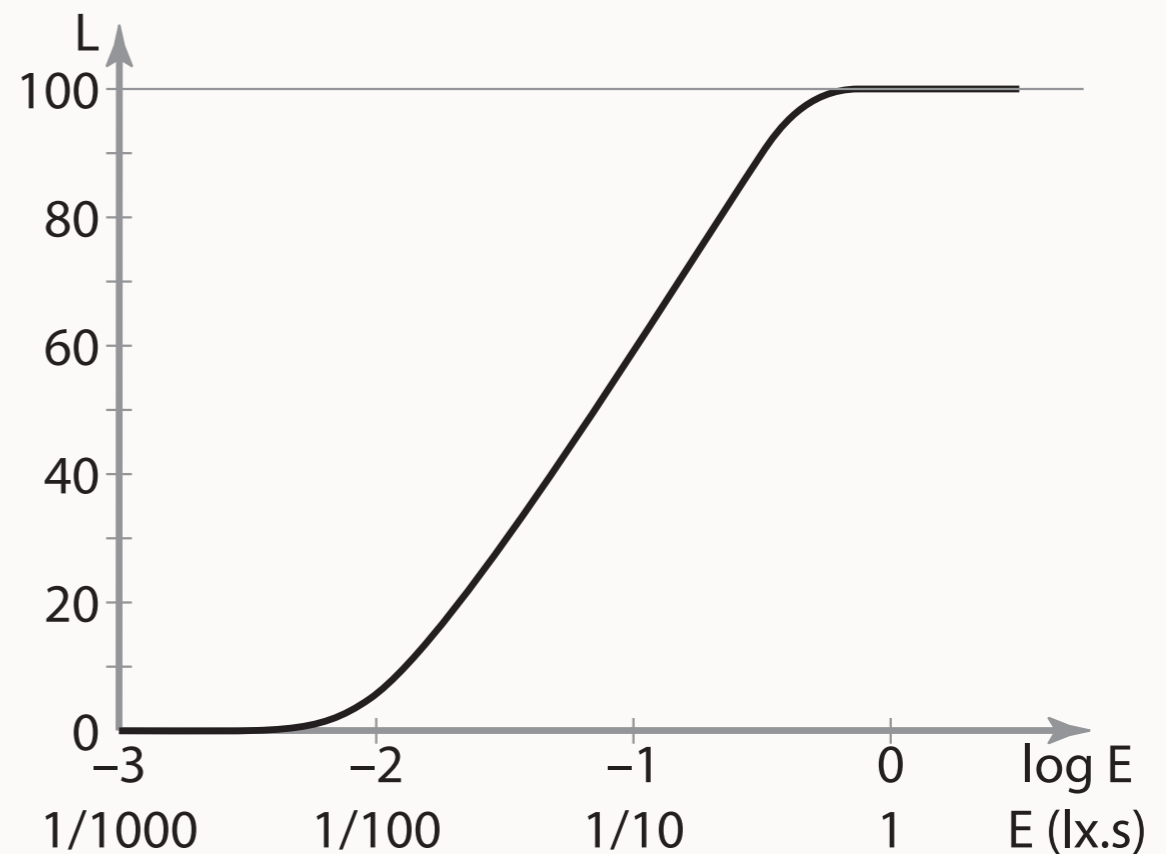
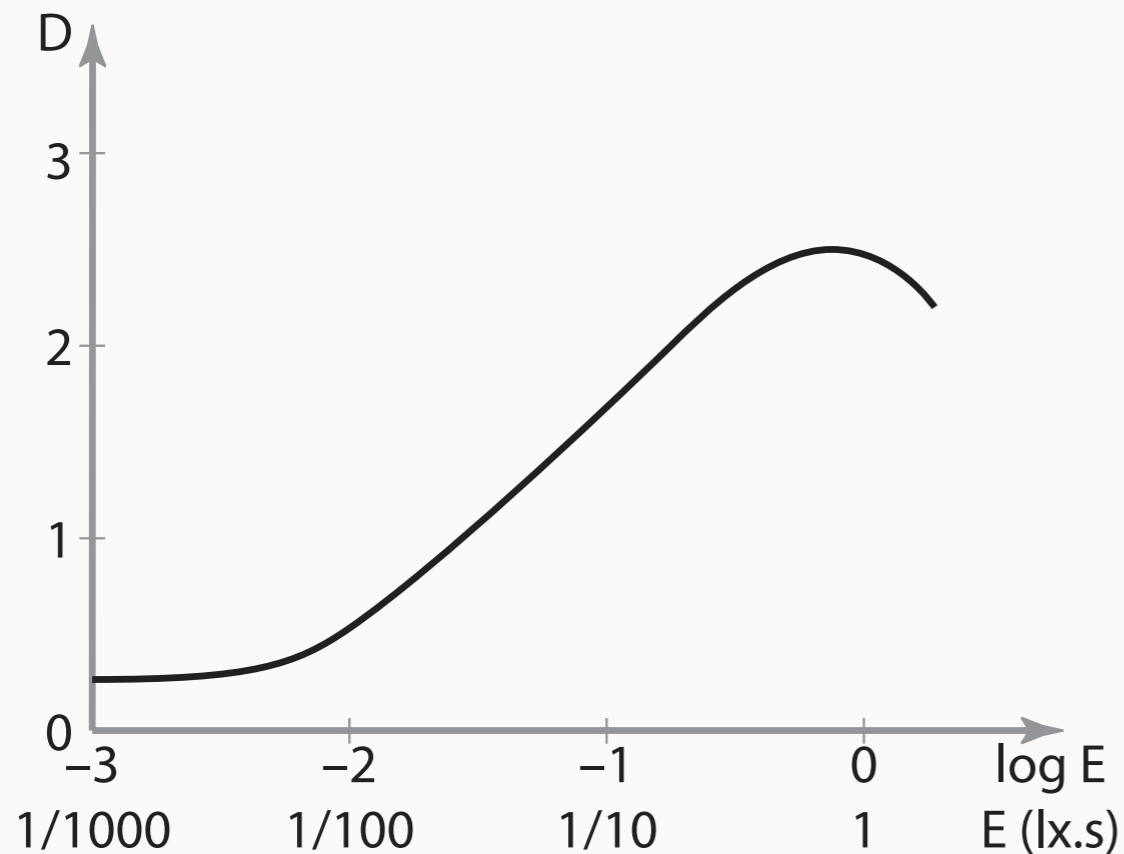
T ou R	1	0,5	0,25	0,1	0,01	0,001	...
1/T ou 1/R	1	2	4	10	100	1000	...
D	0	0,3	0,6	1	2	3	...



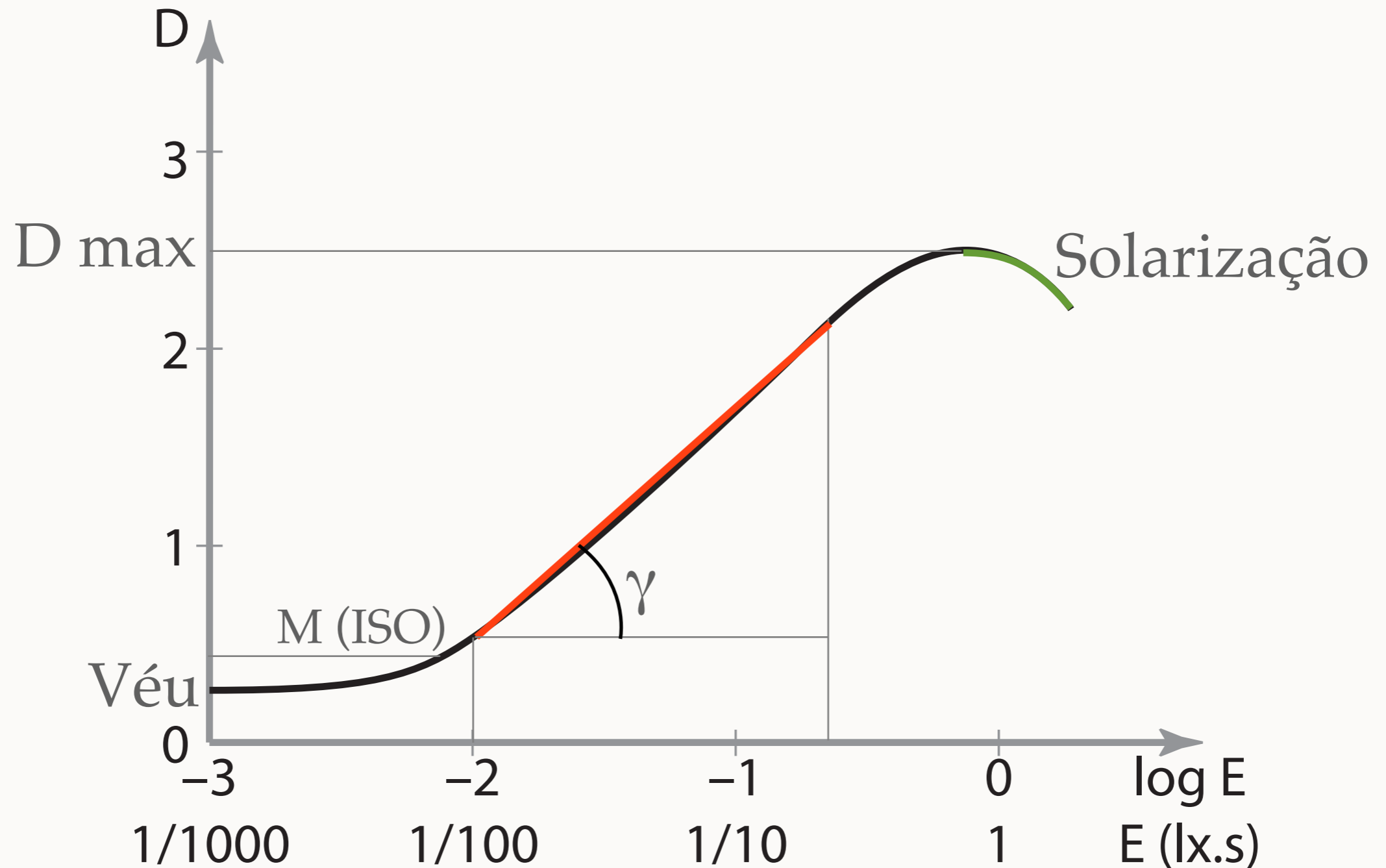
- Cinzento 18% = 0,18  $\Rightarrow 1/R = 5,5 \Rightarrow D = 0,75$ .

# CURVA CARACTERÍSTICA

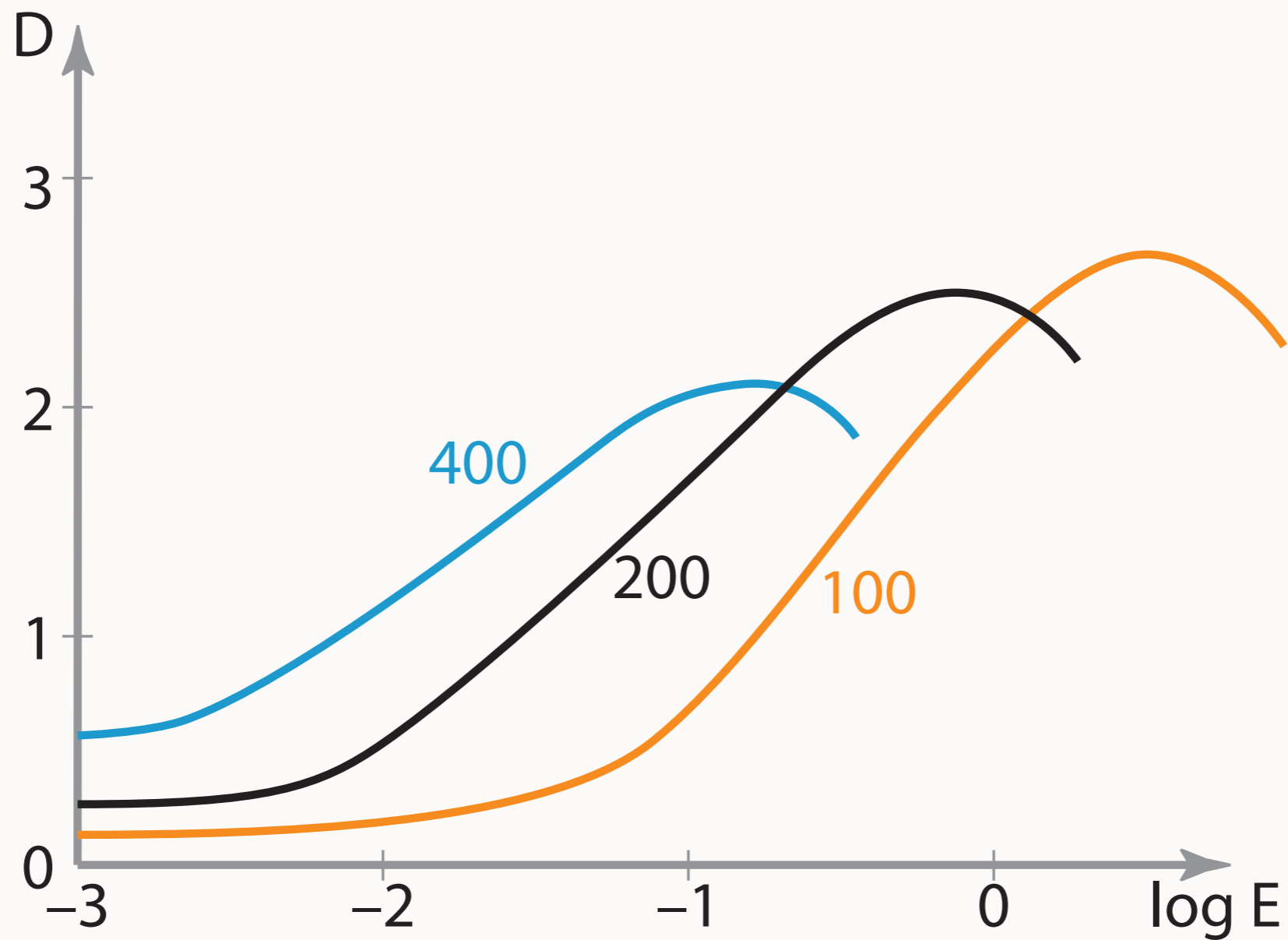
- Resposta do meio ao estímulo da luz.
- $\log E$  vs.  $\log D$  (emulsão) ou vs. luminância (digital)



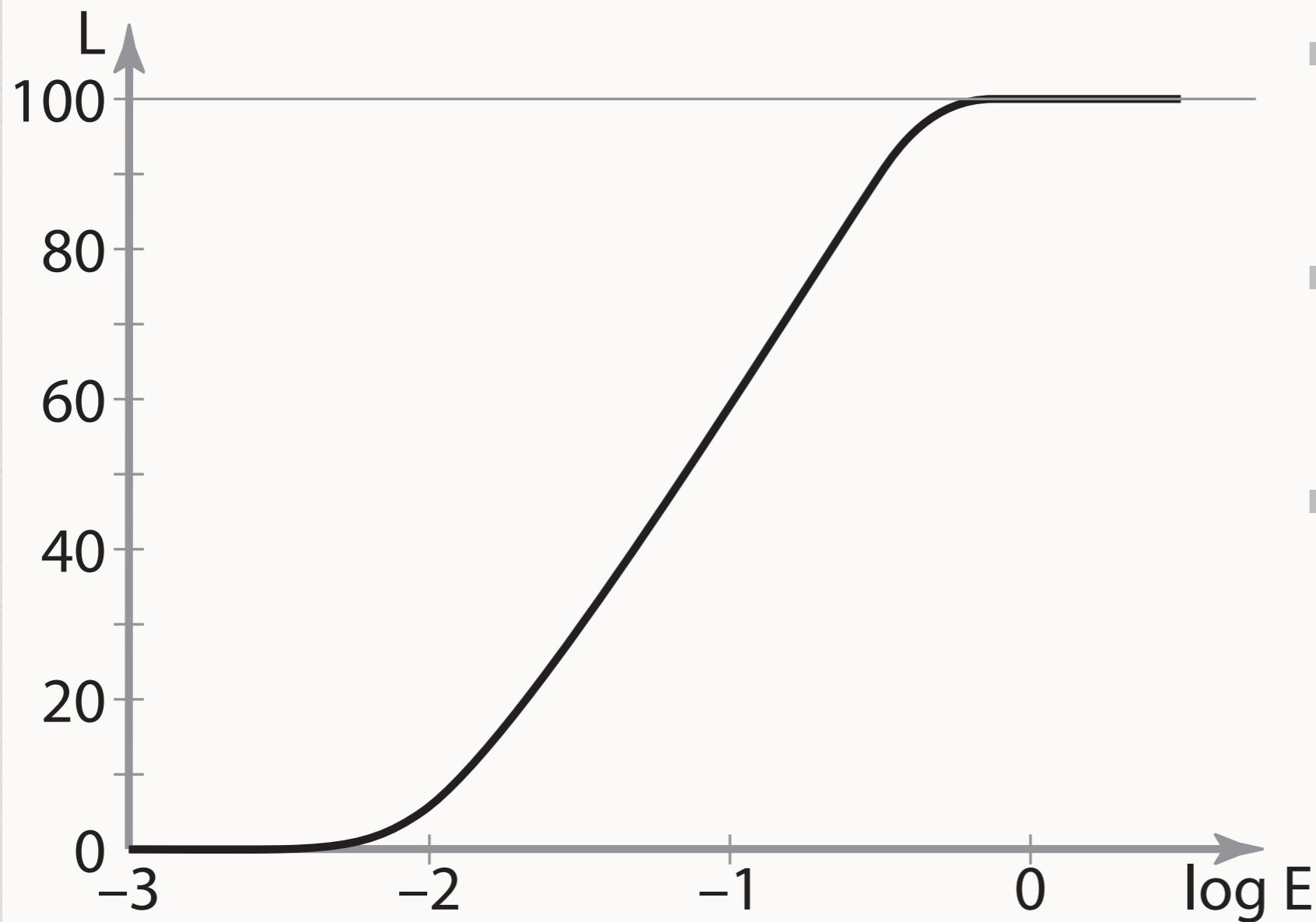
# CURVA CARACTERÍSTICA — EMULSÃO



# DIFERENTES SENSIBILIDADES



# CURVA CARACTERÍSTICA — DIGITAL



- Não tem véu, mas tem ruído.
- Satura nas altas luzes.
- Logo, expor para as altas luzes ficarem correctas, corrigir as sombras em pós-produção.