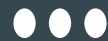


# Óptica



Aula 2 - Natureza da Luz II: Ondas, Raios e Modelos  
ewout@usp.br

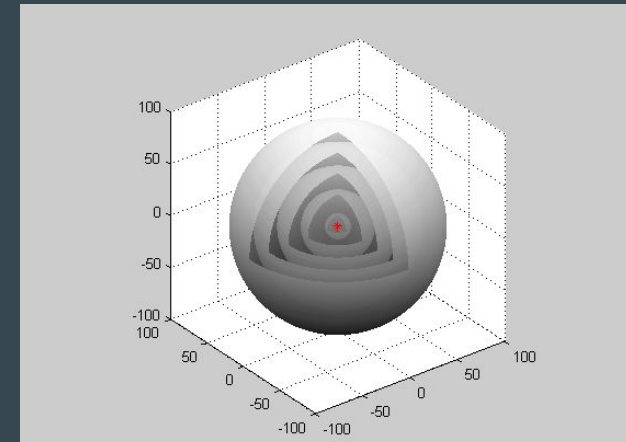
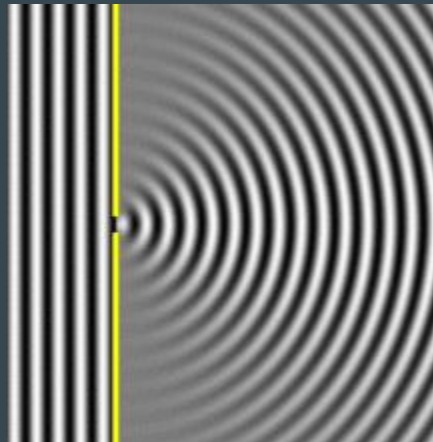
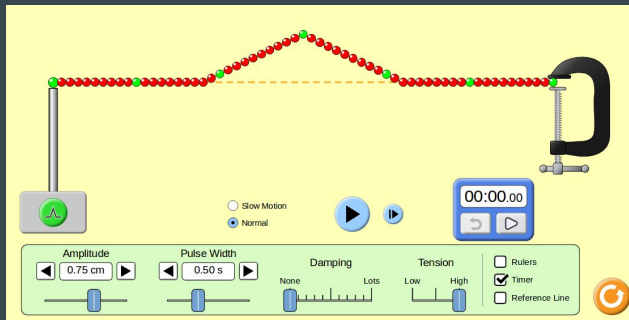
# Natureza da Luz

Luz é uma onda que transporta energia de uma fonte emissora pelo vácuo até ser absorvida, refratada ou refletida.

# Natureza da Luz

Luz é uma **onda** que transporta **energia** de uma **fonte** emissora pelo vácuo até ser **absorvida**, **refratada** ou **refletida**.

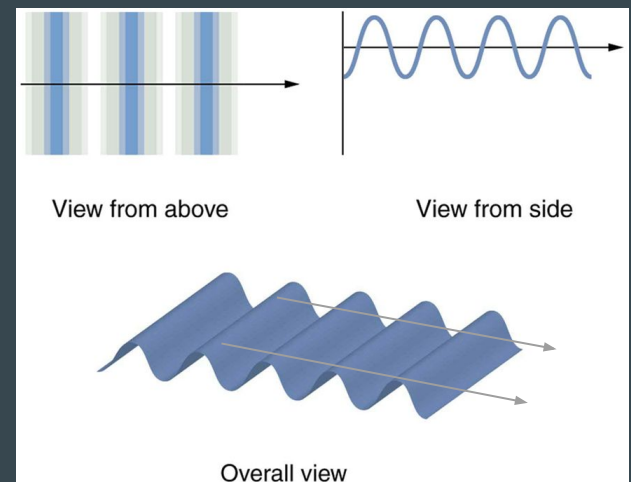
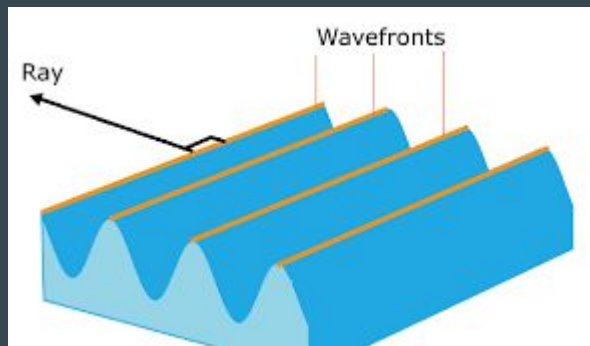
[ repare que explicar conceitos em termos de outros não parece adiantar muito o processo de construção de conhecimento. Mas é o que vamos fazer: a transição novato → especialista é em grande parte fazer mais *ligações* entre vários conceitos ]



# Ondas em 2 e 3 dimensões: frente de ondas e raios

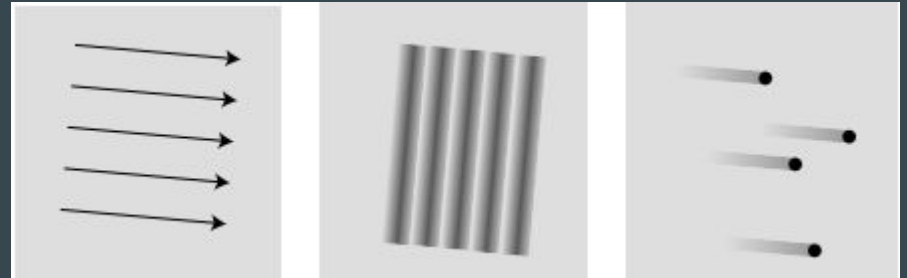
Ondas (ou melhor, as perturbações do meio) se propagam, com certa **velocidade da onda**. Para ondas senoidais podemos definir um **comprimento de onda** e uma **frequência**.

Num determinado instante de tempo os máximos ou mínimos da perturbação tem uma certa *forma*: **as frentes de onda**. Os **raios** são construções geométricas: retas perpendiculares às frentes.



# Três modelos para Luz

1. raios (óptica geométrica)
2. ondas (óptica ondulatória)
3. quântica (óptica quântica)

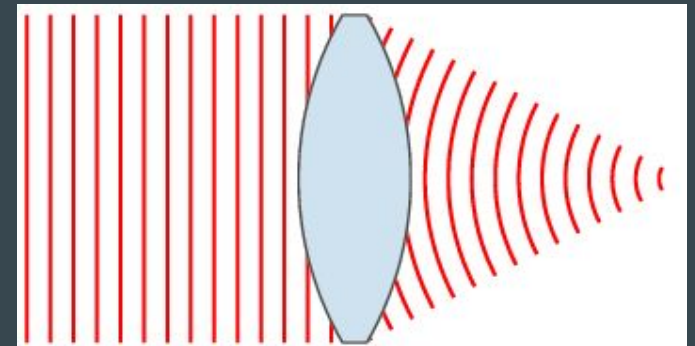
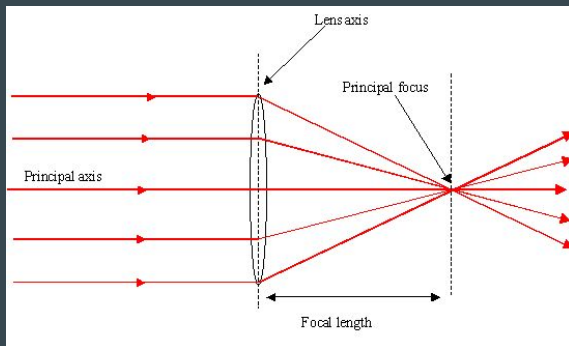


Vantagem do modelos (o de raios em particular): simplificar a situação, tirar do modelo aspectos que são desnecessários para explicar os fenômenos.

Exemplo de animação onde a aproximação **não** foi feita (alt.)

# Modelo de raios

Luz é uma onda, e raios podem ser entendidos como linhas perpendicular às frentes de onda. Na sua cabeça, deve poder mudar rapidamente entre os dois modelos. [Exemplo em material didático.](#)

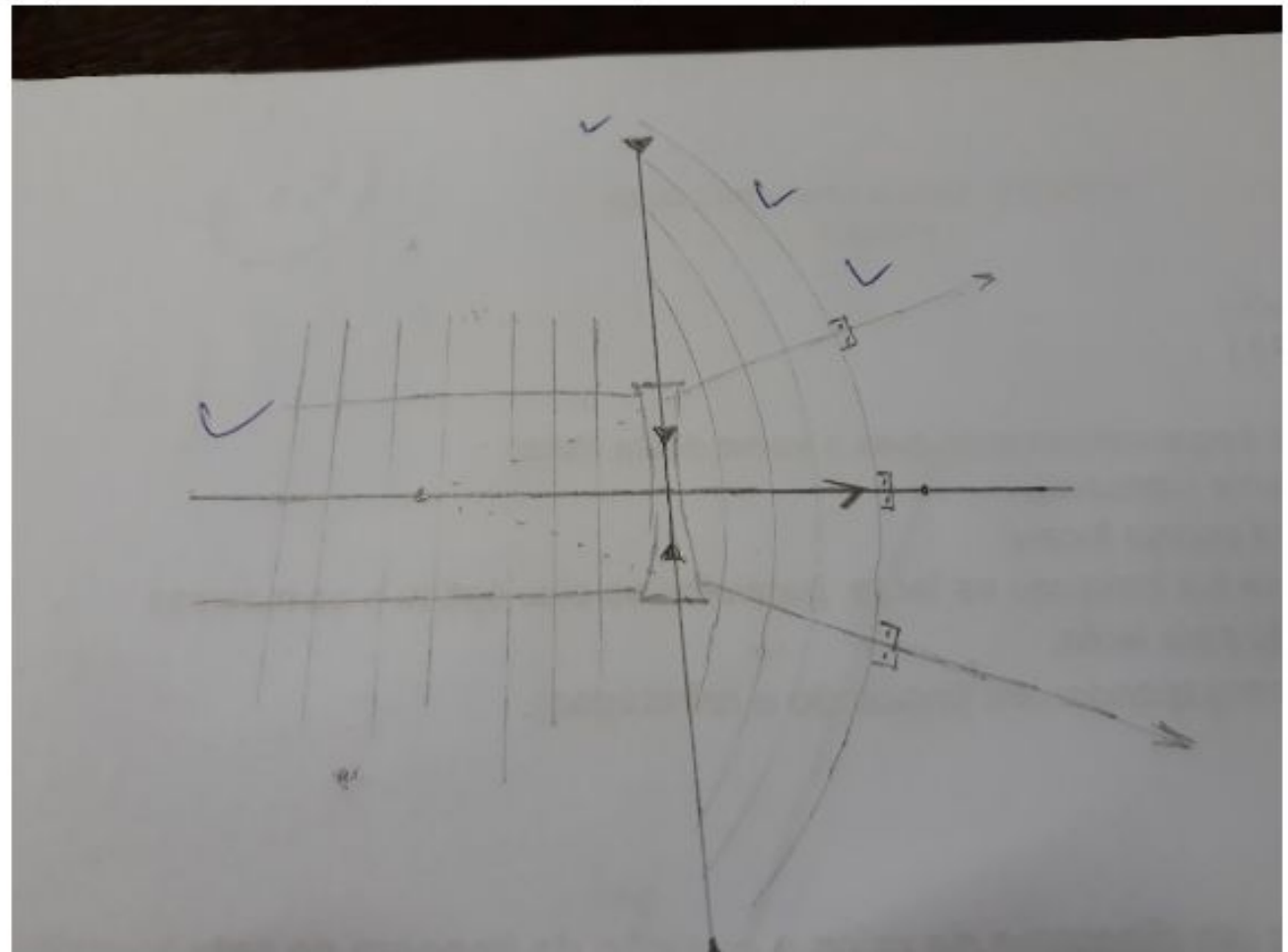


# Prova 1 2017

Q1 (2 pontos) Desenhar esquematicamente (use o verso desta folha)

- uma lente divergente (côncava);
- um eixo óptico e os pontos focais;
- três ou mais raios de luz incidindo na lente, paralelos ao eixo óptico e os mesmos raios após a refração pela lente;
- as frentes de onda correspondentes (incidindo e refratadas).

*A maioria acertou a-c, mas não desenhou frentes de onda curvadas atrás da lente. Exemplo de uma resposta correta (Zeca). Reparem que não somente desenhou segmentos perpendiculares aos raios, mas reconheceu que fazem parte de uma frente de onda inteira.*



# Resumindo o modelo de raios para luz

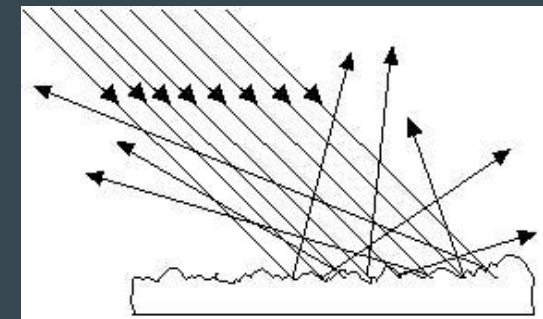
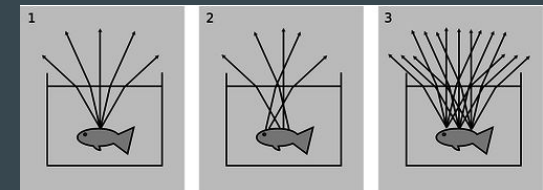
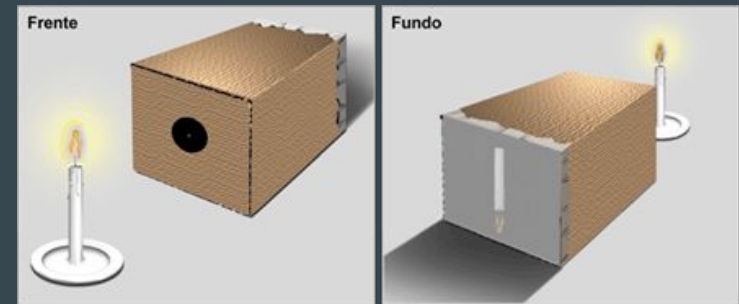
Luz é uma onda, mas vamos usar o modelo de raios

Em resumo:

1. propagação retilínea da luz
2. independência dos raios
3. reversibilidade da luz

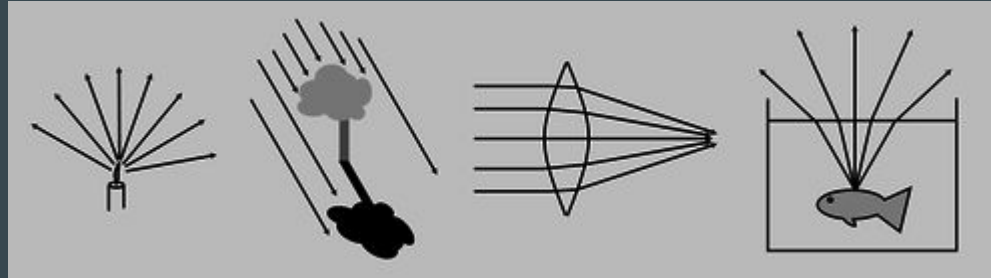
cuidados conceituais

Reflexão difusa -> raios refletidas em todas as direções





# Quando usar o modelo de raios?



Para descrever/explicar/representar fenômenos como:

- sombras
- reflexão e espelhos, refração e lentes
- formação de imagens em geral

Modelo de ondas:

- a cor é descrito melhor em termos da frequência da onda
- essencial se tamanho do objeto  $\approx$  comprimento da onda

# Cuidados com o Modelo de Raios

Muitas concepções alternativas

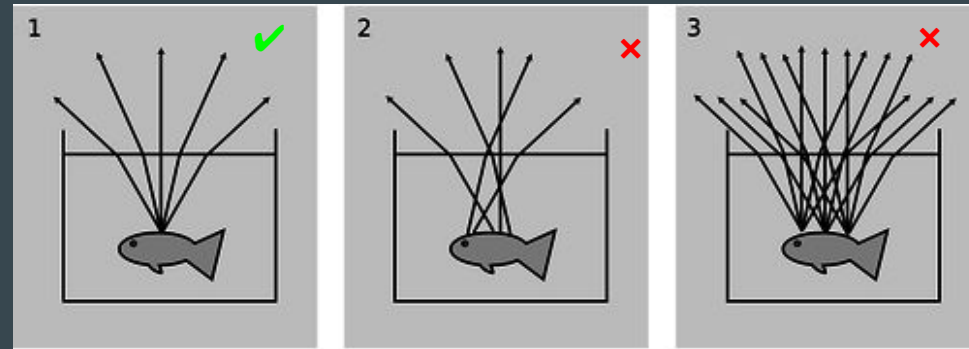
Saem muitos ( $\infty$ ) de cada ponto

Escolher o número apropriado

Se estendem até o infinito, mas nós desenhamos eles até certo ponto

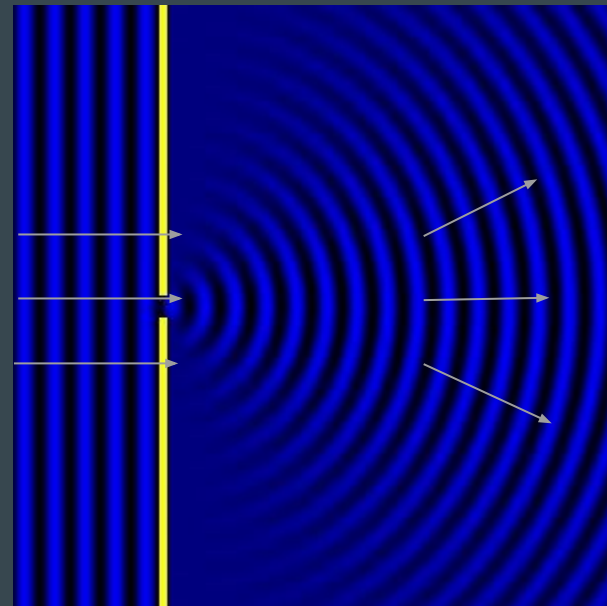
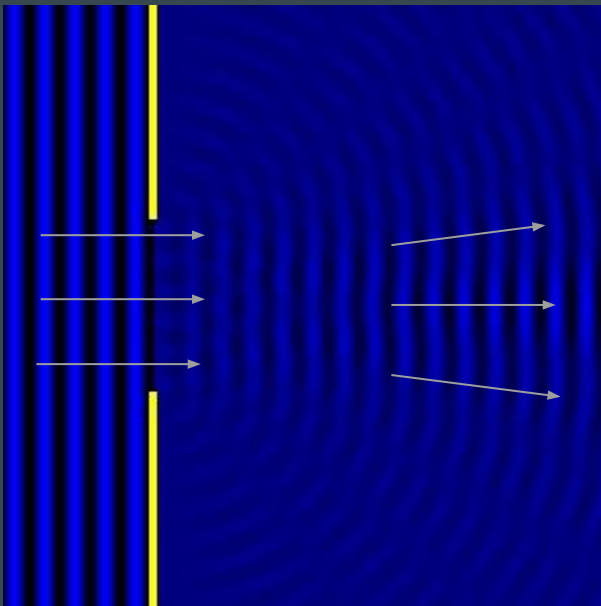
Raios são retas (somente) em meios homogêneos (Exemplo).

Tendência de “reificar” (coisaficar) os raios, como se fossem objetos reais. Na verdade, existem só na nossa cabeça, para simplificar o modelo. Em particular, não são coisas que podem ser “quebradas”.



# Validade do modelo de raios

O modelo de raios não é válido para descrever interações de luz com objetos de tamanho comparável ou menor que o comprimento de onda (0,5 micron para luz visível)

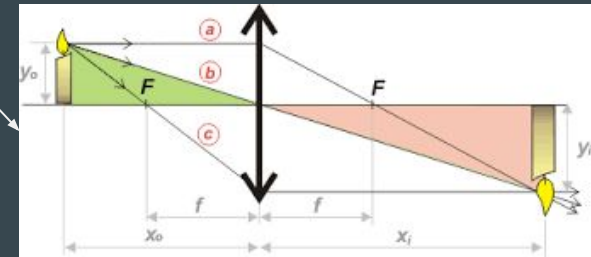
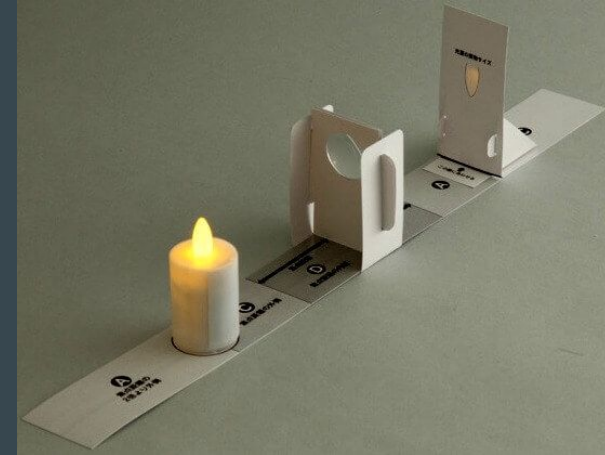


Imagens: Lookangmany thanks to Fu-Kwun Hwang and author of Easy Java Simulation = Francisco Esquembre - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16981636>

# Fenômenos, Modelos e sua formulação matemática

Modelos e experimentos são *aproximações* da complexidade da natureza:

1. Modelos são simplificações
  - a. modelos mentais e visuais: compreensão qualitativa e conceitual
  - b. a formulação matemática dos modelos: compreensão quantitativa e operacional
2. Experimentos são simplificações. Desenhamos exps. para ressaltar os aspectos essenciais dos fenômenos

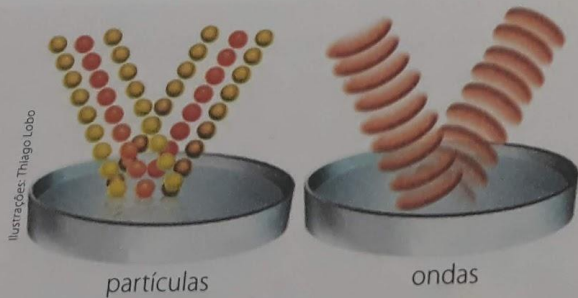


$$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

# Intermezzo: critique este material didático

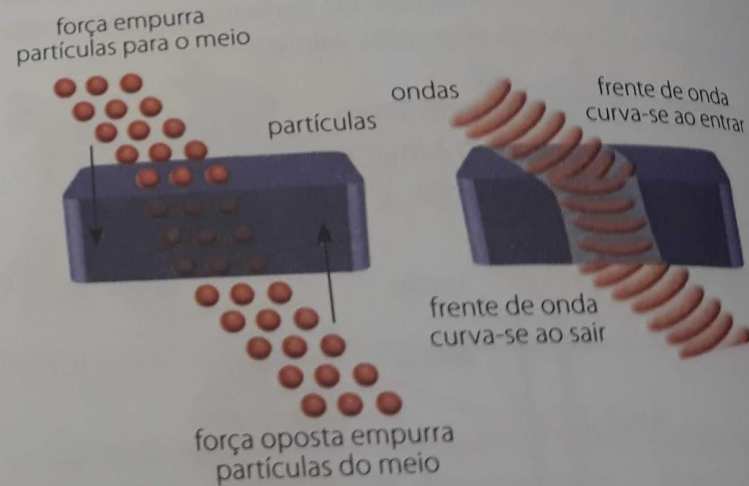
## Reflexão

A reflexão da luz pode ser de dois tipos: **regular** – quando a luz refletir em superfícies planas e polidas – e **irregular** (ou **difusa**) – se a superfície onde a luz refletir não for plana nem polida, mas apresentar rugosidades. Pode-se representar a reflexão regular da luz utilizando a abordagem corpuscular ou a ondulatória, conforme ilustrado a seguir:



Reflexão de partículas ou ondas com ângulos de incidência e reflexão congruentes.

quando passa de um meio para outro, ocorre em meios transparentes, e difusa quando em meios translúcidos. Pode-se ilustrar a refração regular da seguinte forma:



Refração da luz como partículas e como ondas ao passar obliquamente do ar para a água.

# Frentes de onda versus raios

4300160 - Óptica - IME - 2016  
Prova 1

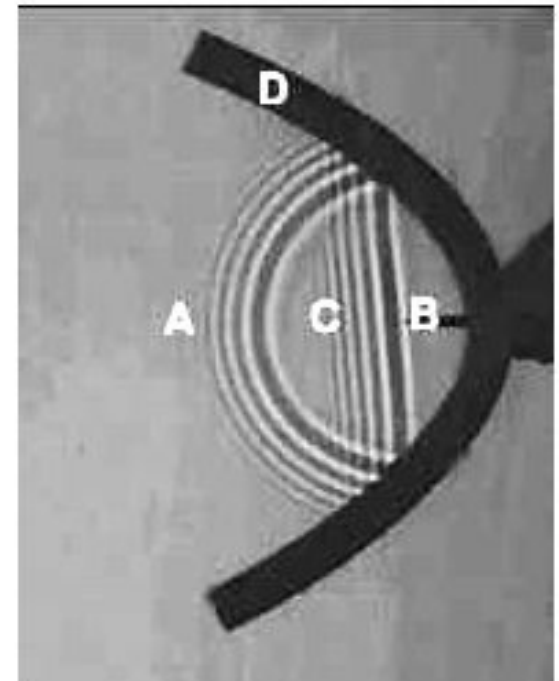
Nome:

Número USP:

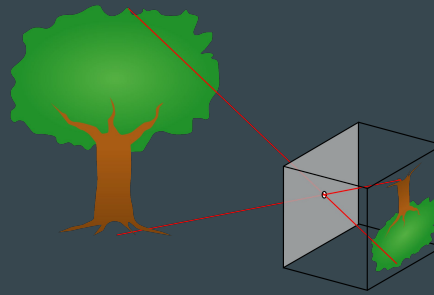
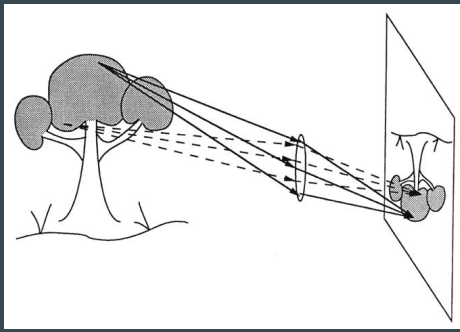
Turma:

Q1 (1 ponto). Veja uma onda gerada num tanque de ondas com uma barreira parabólica. A onda esférica foi gerada no ponto focal C e a foto foi tomada alguns instantes depois.

- Desenha na figura três "raios" (dois na parte curva e um na parte plano da onda) e indique a direção.
- Qual é o nome do conceito físico sendo ilustrado aqui? Escolhe um de "dispersão", "difração", "reflexão", "refração" ou "radiação"

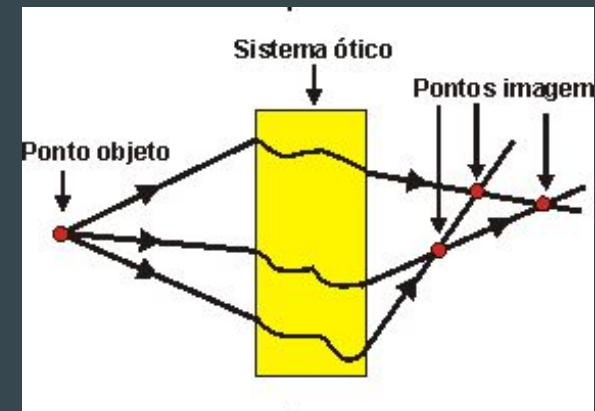
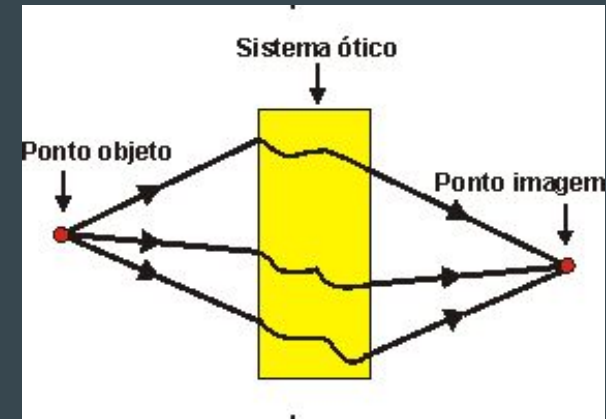






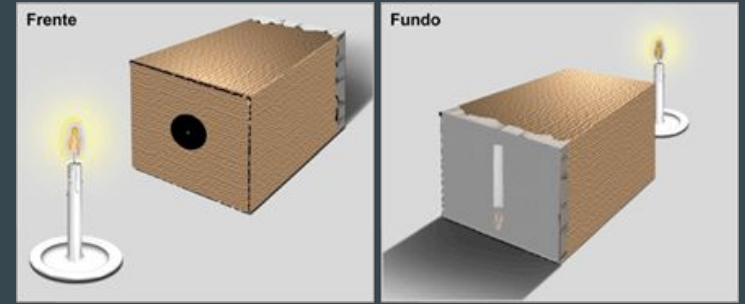
**Formação de imagens:** Raios de luz refletido por um objeto, passam por algum **sistema óptico** que desvia luz. No outro lado do sistema óptico definimos o espaço de imagem.

Se a cada ponto do espaço de objeto corresponde 1 (único) ponto no espaço da imagem: S.O. *estigmático*. Senão: *astigmático*. Neste último caso é mais difícil ou impossível achar um plano com uma imagem nítida.



[Link das imagens](#)

# Demonstração Câmera Escura

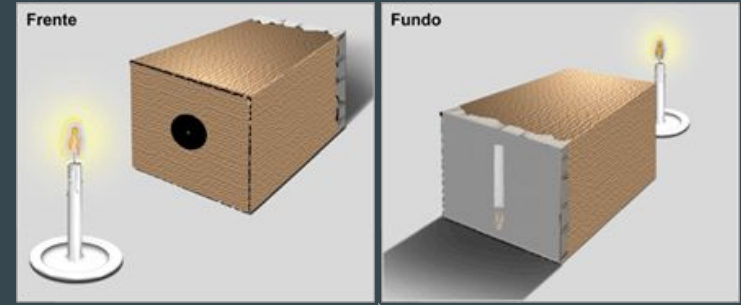
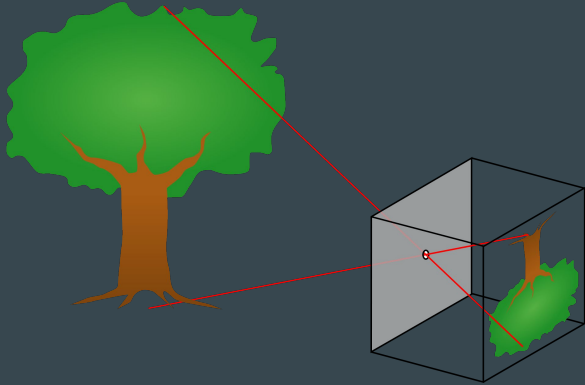


O que são as principais características do fenômeno para explicar?

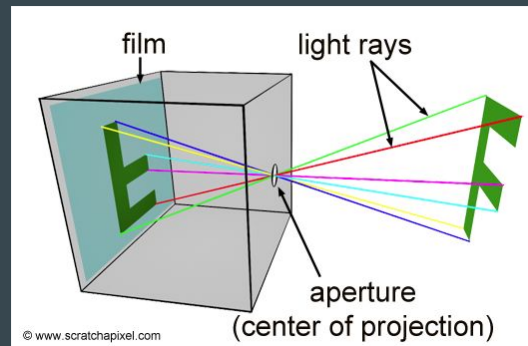
Como você explicaria o fenômeno ao seu vizinho?



# Câmera escura (*pinhole camera*)



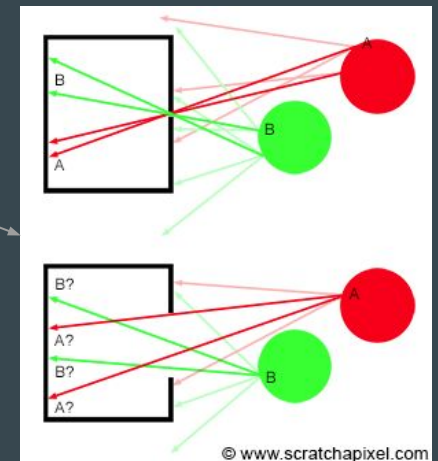
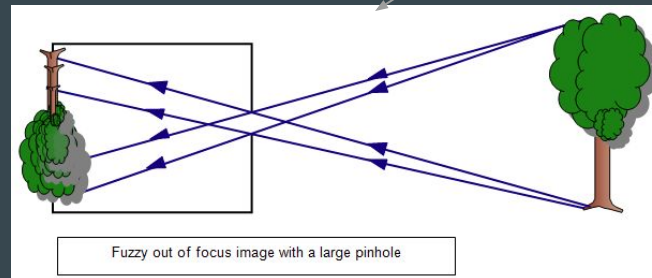
Fenômeno



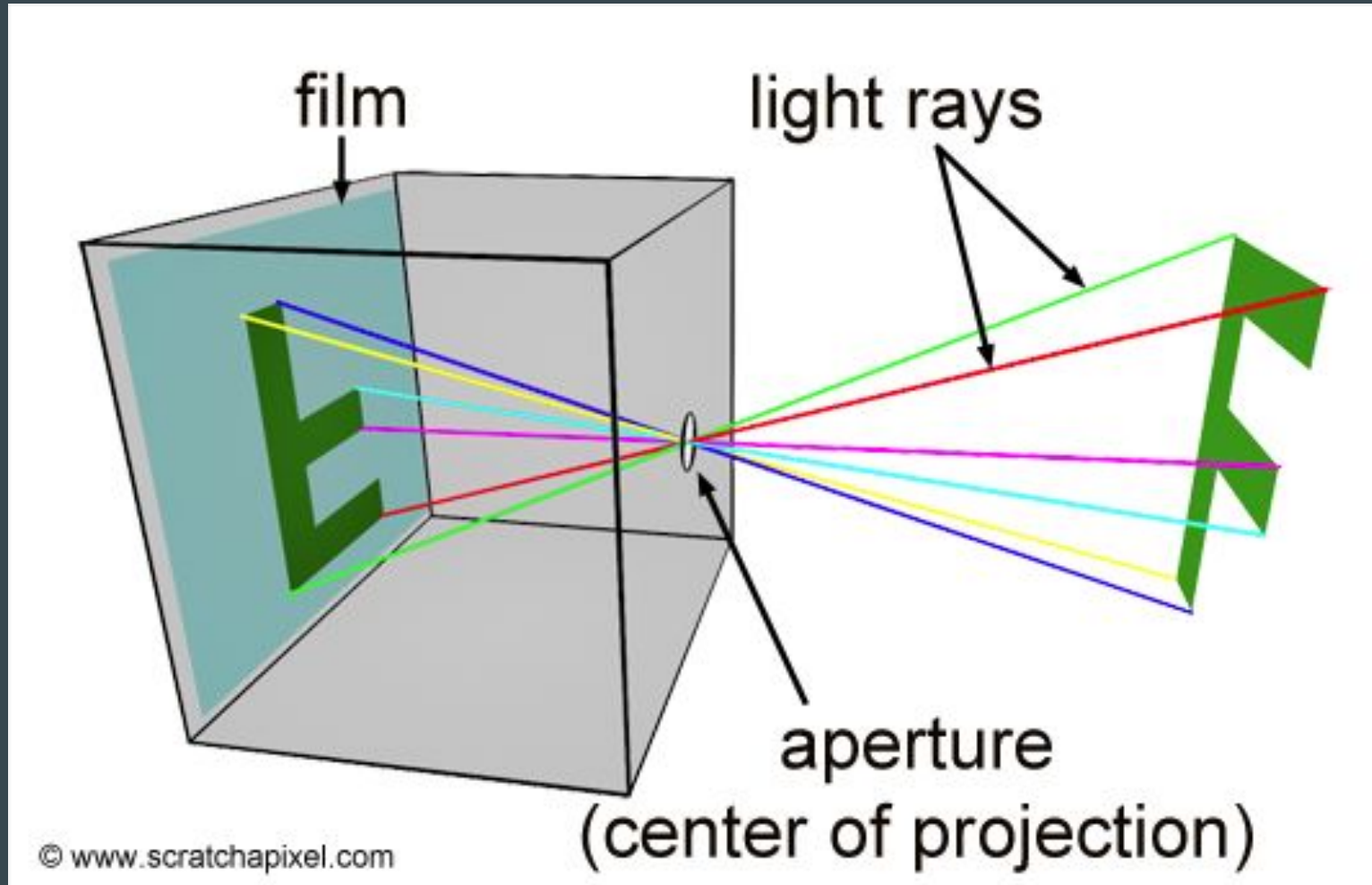
Modelo

A formação de imagem se dá porque a maioria dos raios que emanam do objeto é bloqueado.

## Complicações



# Intermezzo didático: critique esta visualização



# Discussão desta imagem (veja também [Veritassium](#))

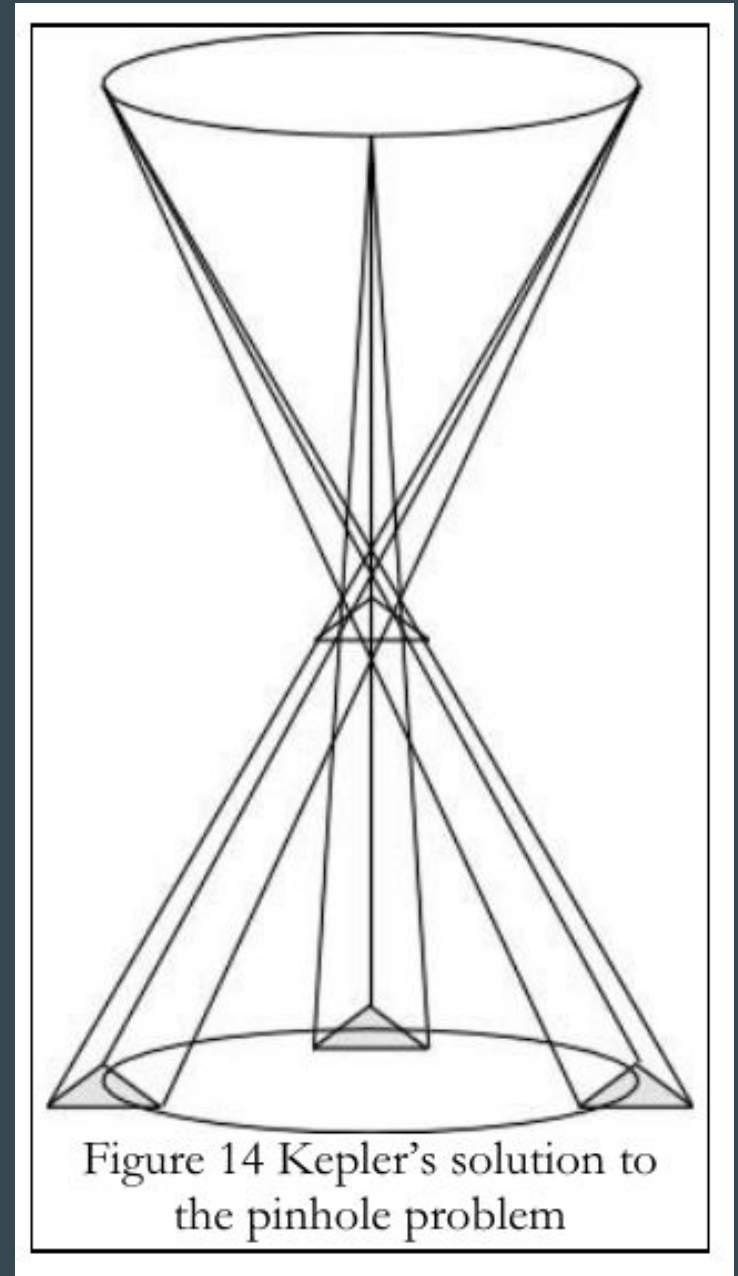
1. O que acontece se o furinho é maior? 2. o furinho é triangular?! 3. diâmetro angular do sol?



# Explicação do Kepler (1604)

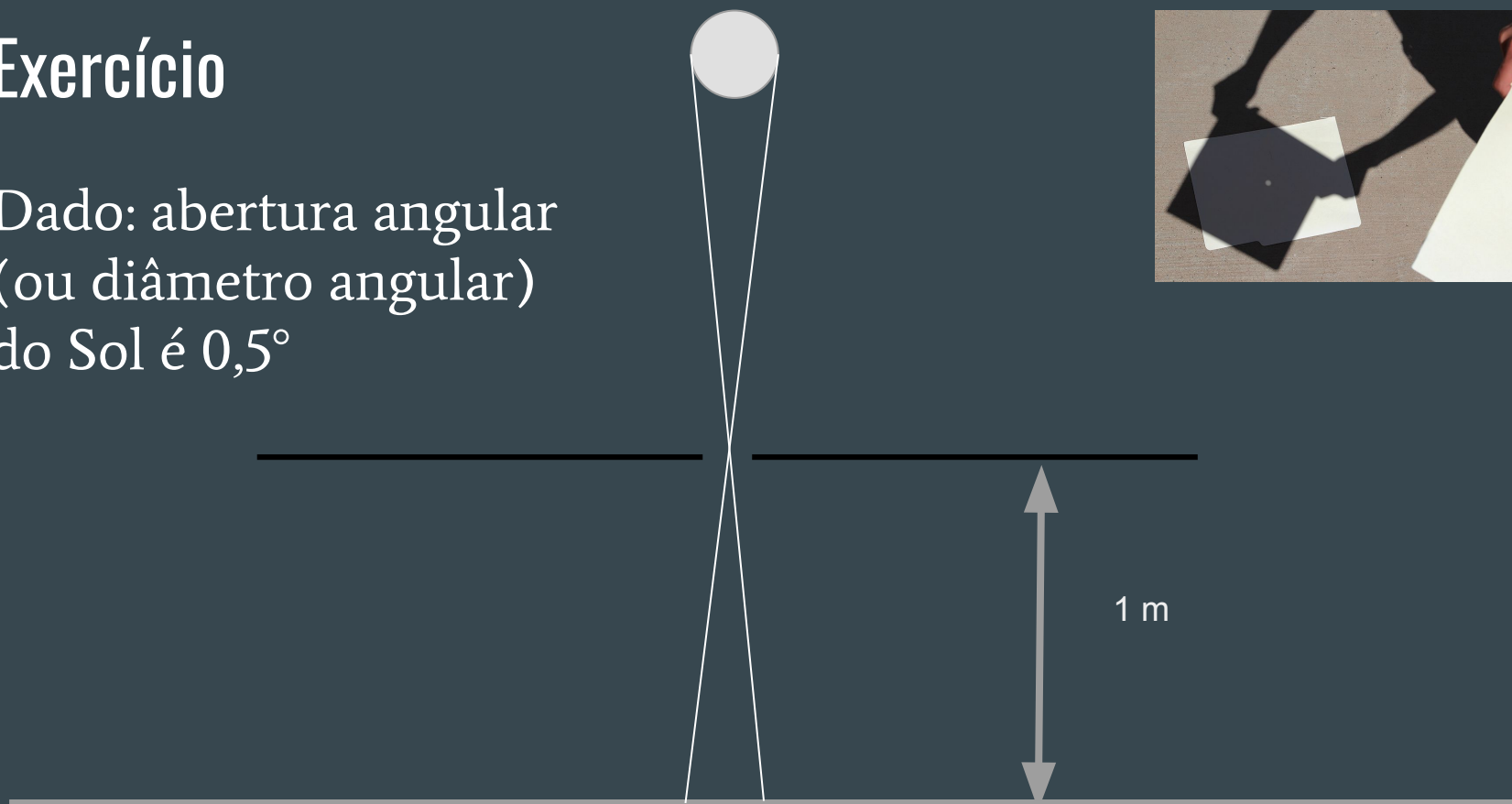
“ It was known since Antiquity that the image of the sun, projected by a square aperture, can still be round. This seemed to contradict the basic principle of optics: the rectilinearity of light rays.”

FOKKO JAN DIJKSTERHUIS, *Lenses and Waves*, 2005, p27



# Exercício

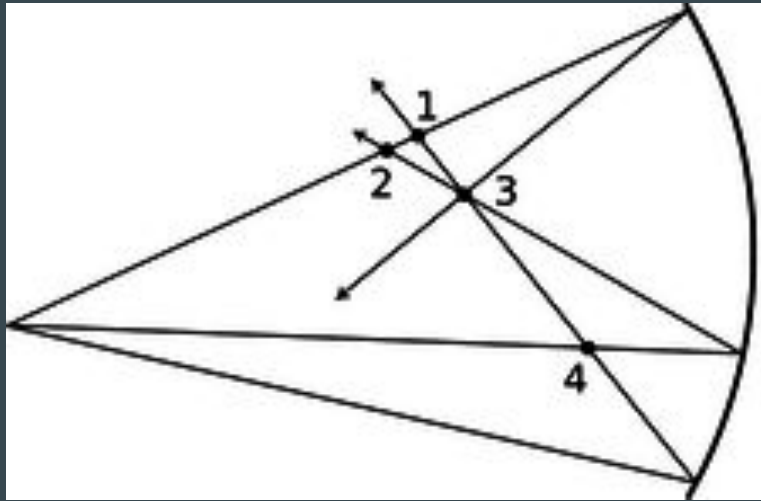
Dado: abertura angular  
(ou diâmetro angular)  
do Sol é  $0,5^\circ$



1. Calcule o diâmetro da imagem do sol
2. (opcional) Se o furo tem diâmetro  $d > 0$ , com qual precisão podemos determinar o diâmetro da imagem?



# Exercício



Caso do Sistema Óptico = espelho. Dois dificuldades neste caso:

1. O espaço da imagem é “no mesmo lugar” que o espaço do objeto.
2. A posição da imagem correspondendo ao objeto pontual, achar “onde raios de luz se cruzam”. Destes 4 cruzamentos de raios, quais correspondem a pontos de uma imagem?