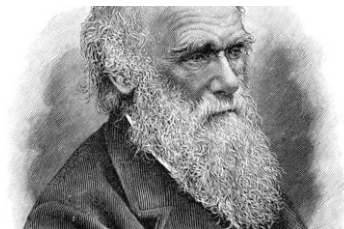


FÍSICA  
FRENTE II  
Professor Danilo



1º ANO DO ENSINO MÉDIO

Turmas Gregor Mendel e Charles Darwin

Consulte nova versão após 01/Abr/2022 em

<http://fisica.professordanilo.com/>

## ÍNDICE

PRIMEIRO BIMESTRE .....	6
1. INTRODUÇÃO À FRENTE 2 .....	6
a) AVALIAÇÃO .....	6
b) CONTEÚDO .....	6
2. INTRODUÇÃO À FÍSICA E À FRENTE 2 .....	6
3. INTRODUÇÃO À ÓTICA .....	7
4. ARCO-ÍRIS, MEIOS, FENÔMENOS E CORES .....	10
a) AS CORES DO ARCO-ÍRIS .....	10
b) TIPOS DE MEIOS .....	10
c) FENÔMENOS ÓPTICOS.....	10
d) COR DE UM CORPO POR REFLEXÃO.....	11
5. PRINCÍPIOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA .....	15
a) SOMBRA E PENÚMBRA .....	15
b) CÂMARA ESCURA .....	16
c) A LUA.....	16
d) ÂNGULO VISUAL.....	17
6. LEIS DA REFLEXÃO (ESPELHOS PLANOS) .....	19
PRIMEIRA LEI DA REFLEXÃO .....	19
SEGUNDA LEI DA REFLEXÃO .....	19
a) REFLEXÃO EM SUPERFÍCIE PLANA.....	19
b) REFLEXÃO EM SUPERFÍCIE CURVA.....	19
7. IMAGENS EM ESPELHOS PLANOS .....	20
a) IMAGENS DE OBJETOS PONTUAIS.....	20
b) IMAGENS DE OBJETOS EXTENSOS.....	23
8. TAMANHO MÍNIMO DE UM ESPELHO PARA SE VER POR COMPLETO .....	24
9. CAMPO VISUAL .....	25
10. TRANSLAÇÃO DE UM ESPELHO PLANO.....	25
11. ROTAÇÃO DE UM ESPELHO PLANO .....	30
12. IMAGEM FORMADA POR DOIS ESPELHOS .....	30
13. OS ESPELHOS ESFÉRICOS.....	33
a) RAIOS NOTÁVEIS .....	34
RAIOS NOTÁVEIS NO ESPELHO CÔNCAVO.....	34
RAIOS NOTÁVEIS NO ESPELHO CONVEXO .....	35
b) LOCALIZANDO O FOCO SECUNDÁRIO.....	36

c) FORMAÇÃO DE IMAGENS: CONSTRUÇÃO GEOMÉTRICA ....	39
d) FORMAÇÃO DE IMAGENS: EQUAÇÃO DE GAUSS .....	42
i – O REFERENCIAL DE GAUSS .....	42
ii – PADRÕES IMPORTANTES.....	42
iii – EQUAÇÃO DE GAUSS:.....	43
iv – EQUAÇÃO DO AUMENTO LINEAR TRANSVERSAL .....	43
14. REFRAÇÃO E LEI DE SNELL-DESCARTES .....	45
a) VELOCIDADE DA LUZ.....	45
b) PRINCÍPIO DE FERMAT.....	47
c) LEI DE SNELL-DESCARTES.....	47
15. DIOPTRO PLANO E REFLEXÃO TOTAL .....	47
Dioptro plano.....	47
Reflexão Total.....	49
16. LÂMINAS DE FACES PARALELAS .....	50
17. FIBRA ÓPTICA .....	50
18. POSIÇÃO APARENTE DOS ASTROS E MIRAGEM.....	52
(A) Posição aparente dos astros .....	52
(B) Miragem .....	52
19. DISPERSÃO CROMÁTICA .....	54
20. PRISMAS .....	55
(A) Prisma – introdução .....	55
(B) Dispersão .....	56
(C) Desvio mínimo .....	56
21. LENTES ESFÉRICAS.....	57
(A) DIOPTRO ESFÉRICO .....	57
(B) NOMENCLATURA.....	58
(C) COMPORTAMENTO ÓPTICO .....	60
(D) RAIOS NOTÁVEIS.....	61
(E) FORMAÇÃO DE IMAGENS.....	64
(F) FOCO SECUNDÁRIO .....	68
(G) REFERENCIAL DE GAUSS .....	68
(H) EQUAÇÃO DOS FABRICANTES DE LENTES.....	71
(I) ASSOCIAÇÃO DE LENTES.....	72
(J) ASSOCIAÇÃO DE LENTES COM ESPELHOS .....	72
22. ÓPTICA DA VISÃO.....	72

---

(A) INTRODUÇÃO .....	72
(B) AMETROPIAS (PROBLEMAS DA VISÃO).....	74
23. INSTRUMENTOS ÓPTICOS .....	77

## NOTA DO AUTOR AOS LEITORES

Este material foi desenvolvido como notas de aula para o ensino médio do colégio Elite Col, Campinas, SP.

O Conteúdo deste material é livre para ser utilizado por qualquer pessoa para fins educacionais. A cópia e divulgação é livre.

O presente arquivo é a terceira edição (primeira em 2018, segunda em 2019, terceira em 2021 e agora estamos na quarta edição), que está sendo revisada, revista e reformulada ao longo de todo ano e você pode contribuir com isso enviando e-mail para o professor Danilo para:

[danilo@professordanilo.com](mailto:danilo@professordanilo.com)

Se você viu alguma figura com direitos autorais sem as devidas referências, por gentileza, envie e-mail para o endereço acima que providenciarei o quanto antes a adequação do material.

Campinas, 31 janeiro de 2022.

## NOTA DO AUTOR AOS ALUNOS

O material de 2022 não será idêntico ao material de 2021 devido à algumas mudanças no cronograma, portanto, acompanhe a edição deste arquivo ao longo do ano bem como anote todo o conteúdo apresentado na aula: ao copiar você irá estudar e treinar fazer alguns desenhos, por exemplo.

Ao longo do ano, conforme as aulas forem sendo dadas, o professor irá modificar este material, adicionando links, figuras e textos que antes não tinham bem como melhorando ou corrigindo o conteúdo deste arquivo. Você poderá visualizar as melhorias semanais deste material acessando o link:

[fisica.professordanilo.com](http://fisica.professordanilo.com)

Erratas e contato com o professor: [danilo@professordanilo.com](mailto:danilo@professordanilo.com)

Campinas, 31 janeiro de 2022.

## PRIMEIRO BIMESTRE

### 1. INTRODUÇÃO À FRENTE 2

#### a) AVALIAÇÃO

↳ Prova

#### b) CONTEÚDO

↳ Parte 1: ótica

→ Lentes, espelhos, microscópio, lunetas, olhos humanos, problemas da visão etc.

↳ Parte 2: termologia, calorimetria e dilatação

→ Escalas de temperaturas, como o calor altera a temperatura, fusão, ebulição, variação de comprimento, área e volume em função da temperatura etc.

### 2. INTRODUÇÃO À FÍSICA E À FRENTE 2

#### ● Física

→ Do grego *physis*: natureza

→ A Física trata do mundo real

→ O descrevemos usando a Matemática

→ Modo de estudo

##### ● Princípios

⇒ Assume-se como verdade sem poder ser demonstrado

##### ● Teoremas

⇒ Podem ser demonstrados

##### ● Leis

⇒ Podem ser Princípios ou Teoremas

↳ Ótica

→ Do grego *optiké*: visão

● O termo ótica (sem “p”) está relacionado ao ouvido (exemplo: otite) mas a grafia ótica muitas vezes é empregada como sinônimo de óptica

→ Divisões

##### ● Óptica geométrica

⇒ O que estudaremos neste semestre

⇒ Trata a luz como raio

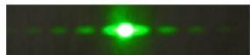
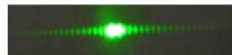
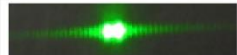

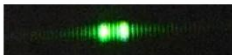
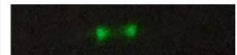
⇒ Ferramenta principal: Geometria

##### ● Óptica ondulatória

⇒ Veremos no ano que vem

⇒ Trata a luz como uma onda

⇒ Explica a difração da luz (se você apontar um laser verde para um fio de cabelo irá obter as figuras a seguir)

a) Fio de cabelo	b) Grafite 0,3 mm	c) Grafite 0,5 mm
		
d) Grafite 0,7 mm	e) Grafite 0,9 mm	f) Grafite 2 mm
		

Fonte: <http://www.scielo.br/img/revistas/rbep/v37n4/0102-4744-rbep-37-4-4311-gf04.jpg>

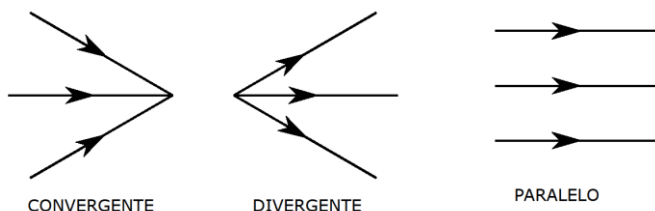
### ● Óptica física

- ⇒ Vocês verão no ano que vem, mas com outro professor
- ⇒ Trata a luz como partícula
- ⇒ Explica por que quando a luz com determinada cor consegue retirar elétrons de alguns metais (efeito fotoelétrico)

## 3. INTRODUÇÃO À ÓTICA

↳ Conceitos fundamentais

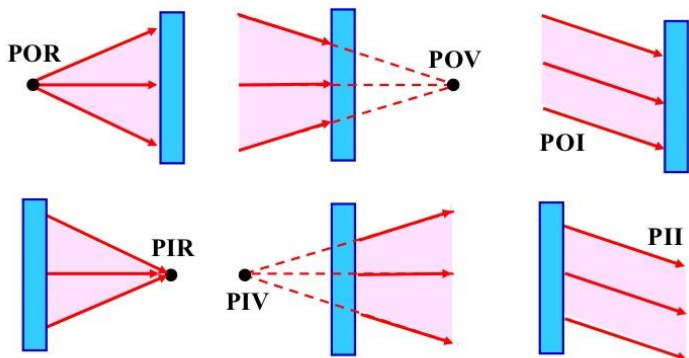
- Raios de luz:
- Linhas orientadas que representam o caminho percorrido pela luz, indicando também o sentido



↳ Veja na figura a seguir diversos tipos de pontos que serão muito importantes para entendermos o que é imagem e objeto reais, virtuais ou impróprios. Siga a legenda abaixo para melhor entender o que está na figura:

- POR ● Ponto objeto real
- POV ● Ponto objeto virtual
- PIR ● Ponto imagem real
- PIV ● Ponto imagem virtual
- POI ● Ponto objeto impróprio
- PII ● Ponto imagem imprópria

# Ponto Objeto e Ponto Imagem



↳ Fontes de luz

- ➔ Primárias (emitem luz como o Sol, lâmpadas, estrelas etc.)
- ➔ Secundárias (que refletem luz como a Lua, o caderno, os planetas etc.)

↳ A luz pode ser

- ➔ Simples ou Monocromática (uma só cor)
- ➔ Composta ou Policromática (duas ou mais cores superpostas – a luz do Sol é a mistura de todas as cores visíveis)

↳ Velocidade da luz

- ➔ No vácuo é  $3 \cdot 10^8$  m/s e representado pela letra  $c$ .
- ➔ Uma **ano-luz** é a distância percorrida pela luz em um ano.

Isto é:

$$\text{sendo } v = c = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Leftrightarrow \Delta s = c \cdot \Delta t$$

Substituindo os dados:

$$1 \text{ a.l.} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) \approx 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

Ou

$$1 \text{ a.l.} \approx 9,46 \cdot 10^{12} \text{ km} \approx 240.000.000 \text{ de voltas na Terra}$$

Você também pode pensar que ao dizer anos-luz (sem o artigo “por”, como em metros **por** segundo) então temos uma multiplicação:

$$1 \text{ a.l.} = 1 \text{ ano} \times c.$$

Mapa mental do que acabamos de ver



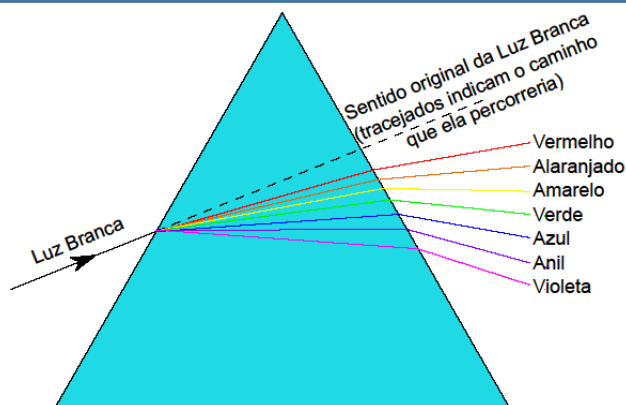


#### 4. ARCO-ÍRIS, MEIOS, FENÔMENOS E CORES

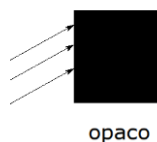
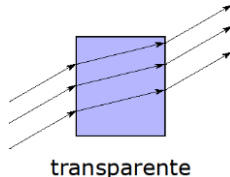
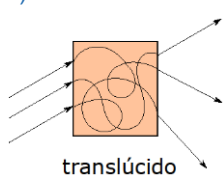
##### a) AS CORES DO ARCO-ÍRIS

↳ DECORE:

Vermelho, alaranjado, Amarelo, Verde, Azul, Anil, Violeta  
VAAVAAV



##### b) TIPOS DE MEIOS



↳ Exemplos de meios

→ Translúcidos

● Vidro canelado, papel de seda etc.

→ Transparentes

● Lâmina de água limpa, vidro liso, ar etc.

→ Opacos

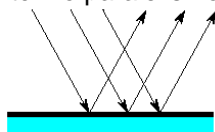
● Cimento, lousa, madeira etc.

##### c) FENÔMENOS ÓPTICOS

↳ REFLEXÃO: quando a luz incide em um objeto e volta para o meio de propagação original, como quando incidimos uma luz laser no espelho.

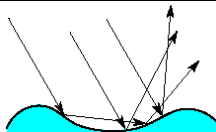
→ Reflexão regular

● Feixe paralelo incidente em uma superfície plana e polida mantém o paralelismo

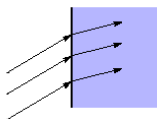


→ Reflexão difusa

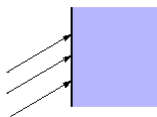
● Feixe de raios paralelos incidentes em uma superfície não mantém o paralelismo



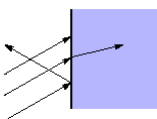
↳ REFRAÇÃO: quando a luz incide em um meio e o atravessa.



↳ ABSORÇÃO: quando a luz, ao incidir em um meio, não é refletida e não é refratada dizemos que o meio absorveu a luz.



↳ TODOS OS TRÊS FENÔMENOS ACIMA PODEM OCORRER SIMULTANEAMENTE



#### d) COR DE UM CORPO POR REFLEXÃO

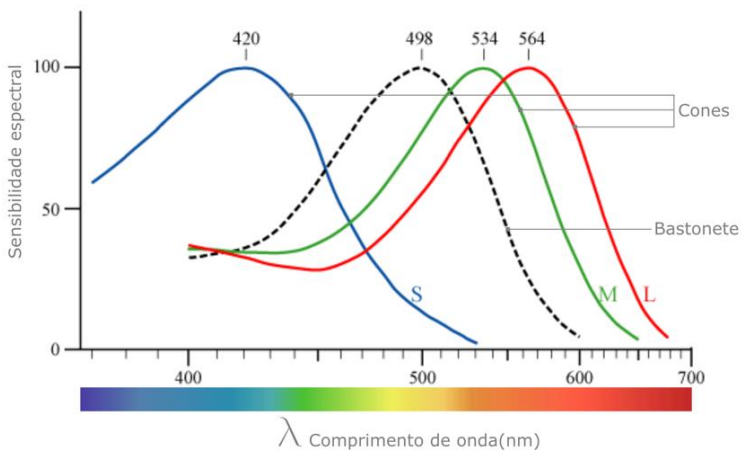
↳ Células da visão

→ Bastonetes

- Células mais finas e responsáveis por detectar presença e ausência de luz, independentemente da cor
- Em ambientes mais escuros somente usamos estas células
- Por isso enxergamos branco e preto no escuro

→ Cones

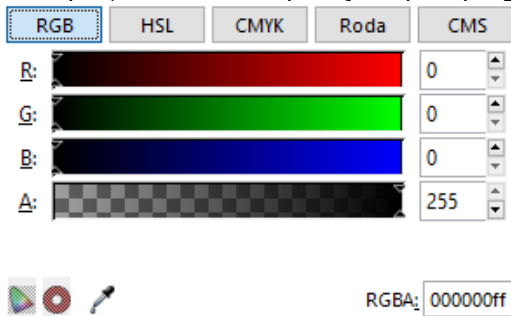
- Três tipos
- Responsáveis por vermos cores
- Menos sensíveis: por isso só enxergamos cores quando há maior intensidade luminosa (mais luz)
- Maior sensibilidade nas cores *Red* (Vermelho), *Green* (Verde) e *Blue* (Azul)
- Por isso televisores, celulares e projetores utilizam apenas estas três cores, cujo padrão é chamado de RGB (*Red*, *Green*, *Blue*)



Fonte: <https://muralcientifico.files.wordpress.com/2017/10/000.jpg>

### → Cores primárias aditivas

- São chamadas de aditivas por se tratar da soma das cores adicionando luz
- Chamamos de cores primárias aditivas estas três cores (RGB) que sensibilizam os cones
- Se misturarmos todas elas obtêm o branco
- Disco de Newton ([vídeo YouTube](#))
- *Inkscape* (download e explicações pelo programa)



Acima vemos o print das opções de cores de um programa de desenho: Inkscape. Note a opção de escolha baseada nas cores RGB. A  $\alpha$  é o fator Alfa que representa a transparência do desenho.

### → Cores primárias subtrativas

- É chamada subtrativa porque a tinta absorve (subtrai) cores
- Consideraremos as cores da impressora
  - Cyan (Ciano)
    - ⇒ Não absorve (reflete) somente as cores Azul e Verde
  - Magenta (Magenta)
    - ⇒ Não absorve (reflete) somente as cores Azul e Vermelho
  - Yellow (Amarelo)

⇒ Não absorve (reflete) somente as cores Vermelho e Verde

● *black* (Preto – Key)

⇒ Absorve Todas as cores

● Abreviando: *CMYK*

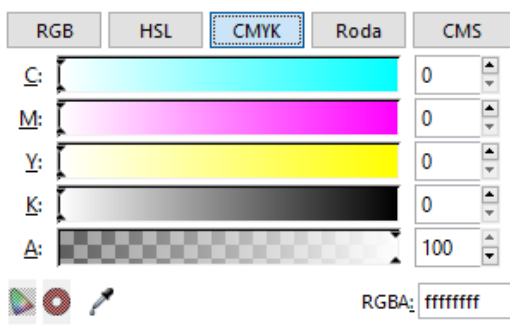
→ Note que se misturarmos:

● **C**IANO e **M**MAGENTA as cores Vermelho e Verde serão absorvidas, restando apenas o **A**ZUL

● **M**MAGENTA e **A**AMARELO as cores Verde e Azul serão absorvidas, restando apenas o **V**ERMELHO

● **C**CIANO e **A**AMARELO as cores Vermelho e Azul serão absorvidas, restando apenas o **V**ERDE

● Se misturarmos todas as cores, então o Vermelho, o Verde e o Azul serão absorvidos, resultando em preto.



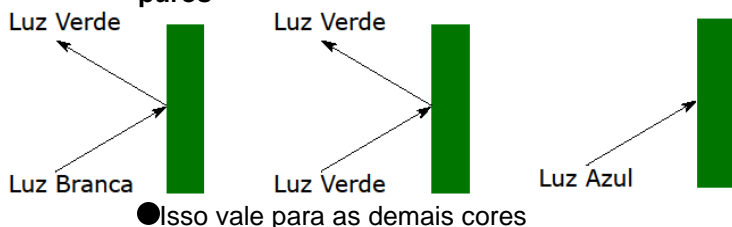
Acima vemos o print das opções de cores de um programa de desenho: Inkscape. Note a opção de escolha baseada nas cores CMYK. A é o fator Alfa que representa a transparência do desenho.

Note também que é apresentado um número hexadecimal que se refere às cores escolhidas usando o padrão RGBA, sendo A o fator Alfa. Cada dois dígitos representa a intensidade da cor indo de 00 até ff. Os primeiros números hexadecimais são: 00, 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 0a, 0b, 0c, 0d, 0e, 0f, 10, 11 etc.

## → Pigmentos Puros

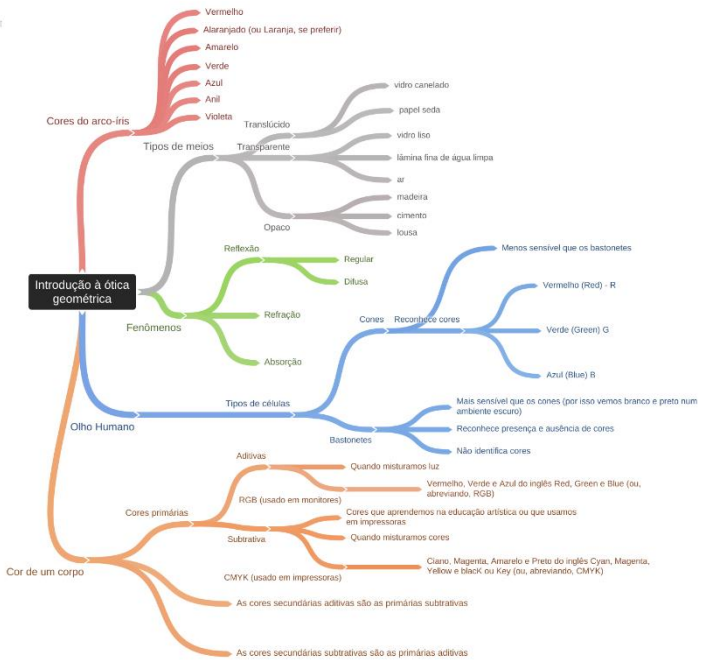
→ Pigmentos puros são pigmentos ideais que absorvem todas as cores, menos uma: a que ele reflete ou permite que atravesse o material

● Uma superfície é verde porque ela reflete somente a cor verde se a substância for feita de **pigmentos puros**



● Isso vale para as demais cores

Mapa mental do que acabamos de ver



Da lista, Introdução ao  
Estudo da Ótica, comece  
fazendo os exercícios  
1 ao 9, 13 e 16 ao 20

## 5. PRINCÍPIOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

↳ Princípio da propagação retilínea da luz

Em meios homogêneos e transparentes, a luz se propaga em linha reta.

↳ Princípio da reversibilidade dos raios de luz

Se a luz percorre um caminho ao ir de um ponto A para um ponto B, então ao ir do ponto B para o A ela fará o mesmo caminho.

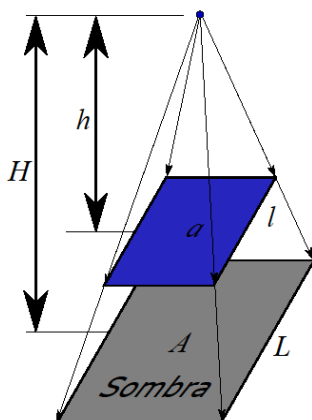
↳ Princípio da independência dos raios luminosos

Quando raios de luz se cruzam, eles se interferem mutuamente apenas na região onde se cruzam, mas cada um segue seu caminho como se os demais não existissem.

### APLICAÇÕES DO PRINCÍPIO DA PROPAGAÇÃO RETILÍNEA DA LUZ:

#### a) SOMBRA E PENÚMBRA

↳ Fonte pontual



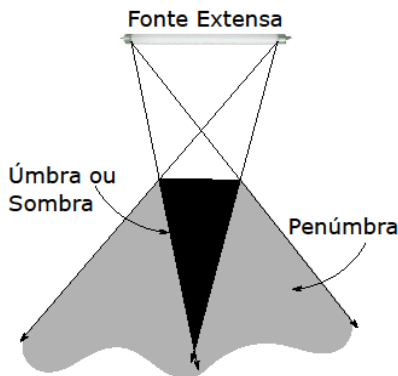
Semelhança de triângulos

$$\frac{l}{L} = \frac{h}{H} = k$$

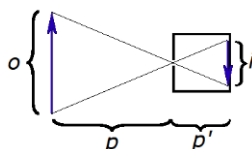
Há uma relação também para as áreas:

$$\frac{a}{A} = k^2$$

↳ Fonte extensa



## b) CÂMARA ESCURA



Novamente semelhança de triângulo

$$\frac{i}{o} = \frac{p'}{p}$$

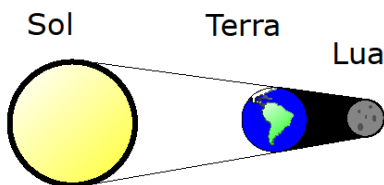
Veja um vídeo sobre isso feito pelo professor Danilo:

<https://youtu.be/zlGH3LrsKMc>

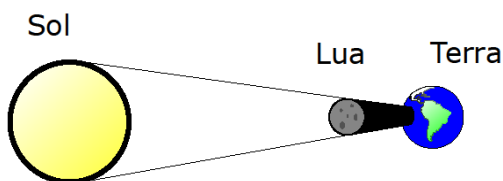
## c) A LUA

↳ ECLIPSES

→ LUNAR



→ SOLAR

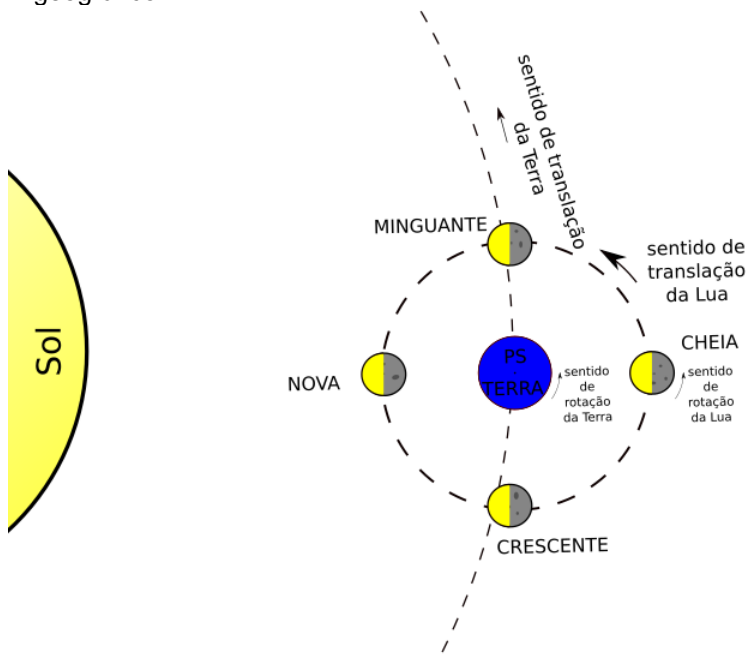


↳ FASES DA LUA

→ O sentido de rotação da Terra em torno do próprio eixo, da Lua em torno do próprio eixo, de translação da Terra em torno do Sol e o de translação da Lua em torno da Terra são os mesmos

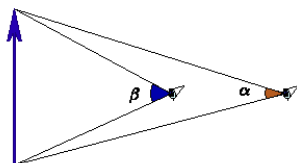


→ Usando a “regra da mão direita” você pode determinar este sentido de rotação apontando seu dedo para o norte geográfico

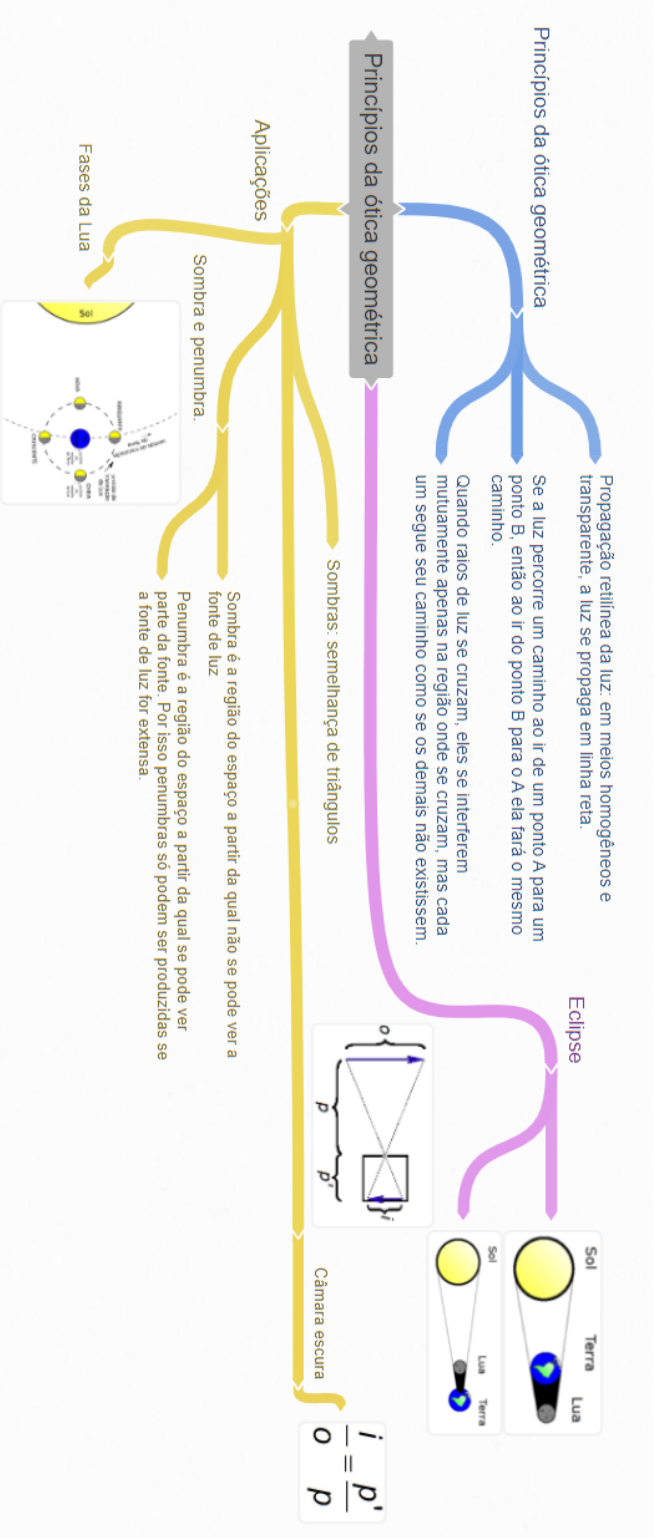


#### d) ÂNGULO VISUAL

↳ Ângulo formado entre os raios que saem das extremidades do objeto e atingem o observador



No SisQ, toda a lista de nome  
“Introdução ao estudo da  
óptica” podem ser resolvidos



## 6. LEIS DA REFLEXÃO (ESPELHOS PLANOS)

### PRIMEIRA LEI DA REFLEXÃO

O raio refletido, a normal e o raio incidente estão situados no mesmo plano.

### SEGUNDA LEI DA REFLEXÃO

O ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência.

↳ Vamos ver alguns vídeos sobre o assunto.

➡ Se você gosta de game, que tal dar uma olhada em como os espelhos são criados em jogos eletrônicos

<https://youtu.be/Vb7wFW4u7zs>

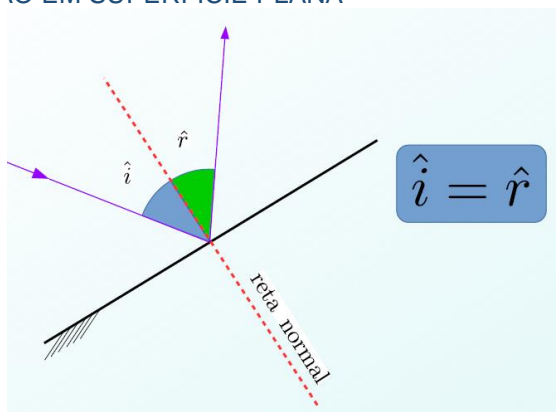
➡ Ainda nesta linha de games, veja um pouco sobre Ray Tracing

<https://youtu.be/IGZaBwk-o0M>

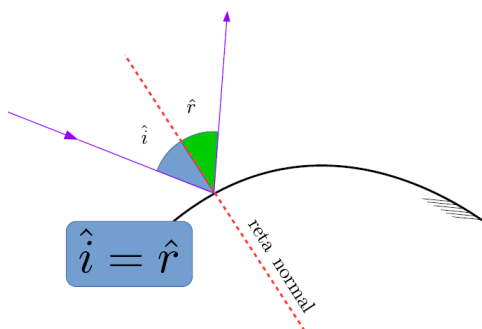
➡ Veja agora um vídeo do professor Danilo onde ele mostra, na prática, as leis da reflexão

<https://youtu.be/8bgNJmZw5dE>

#### a) REFLEXÃO EM SUPERFÍCIE PLANA



#### b) REFLEXÃO EM SUPERFÍCIE CURVA



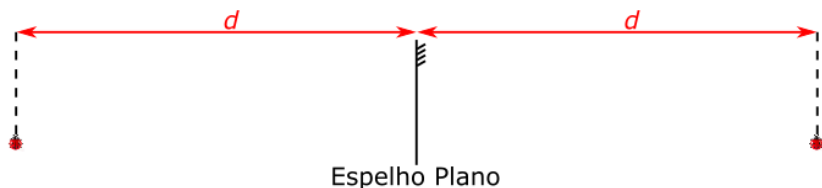
No SisQ, faça os exercícios de 1 à 8 da lista "Os Espelhos Planos".

## 7. IMAGENS EM ESPELHOS PLANOS

### a) IMAGENS DE OBJETOS PONTUAIS

↳ Vamos aprender um método geométrico para obtermos a imagem de um objeto real e pontual à frente de um espelho plano

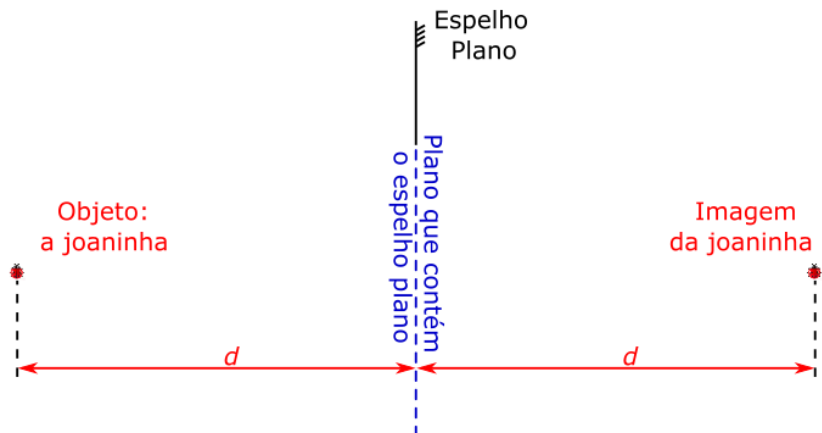
→ Como exemplo, imaginemos uma pequena joaninha à frente de um espelho plano



→ Basta medirmos a distância até o plano que contém o espelho e replicarmos esta distância atrás do plano: veja isso na figura acima.

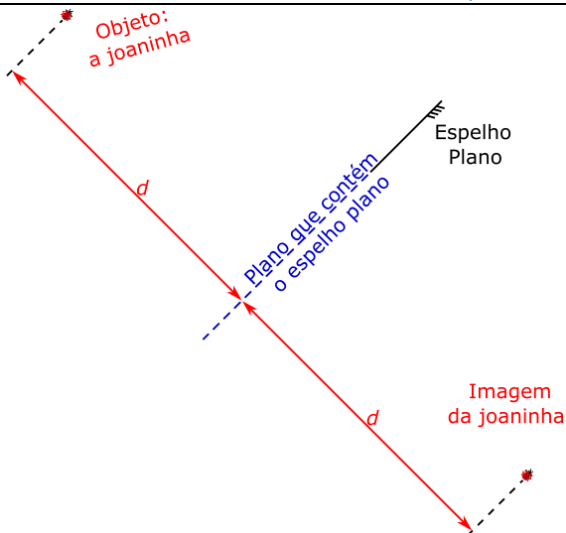
→ E se o objeto não estiver diante do espelho?

● Prolongue o espelho para encontrar o plano que contém o espelho e repita o método acima.



● Note que a imagem existe mesmo que o objeto, imagem e espelho não estejam todos alinhados.

● Observe também que o método é o mesmo no caso de inclinarmos o espelho. A figura a seguir apresenta este resultado.



→ Veja um vídeo onde o professor Danilo mostra a formação da imagem de um objeto e a sua simetria

<https://youtu.be/4-oKwSKkLMU>

→ Vamos verificar que as duas leis da reflexão, vistas acima, levam à esta conclusão.

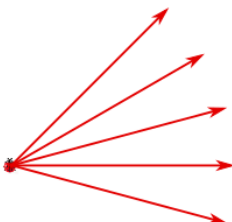
● Por simplicidade, comecemos com o caso da joaninha não logo adiante do espelho, mas um pouco abaixo



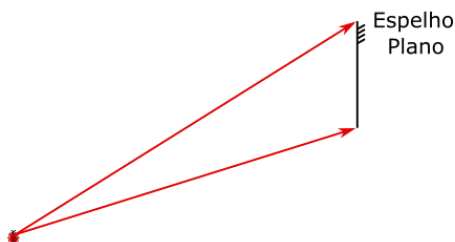
Objeto:  
a joaninha



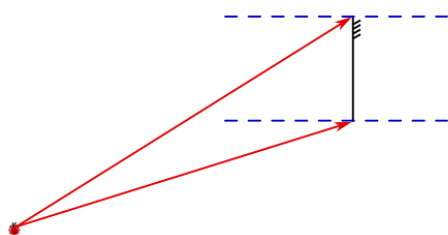
● A joaninha é um objeto real, portanto, vamos tratá-la assim, representando alguns raios de luz que partiram dela:



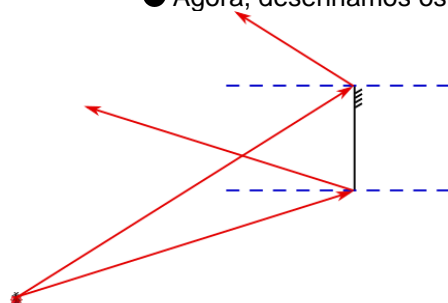
● Dentre estes raios, vamos escolher dois que atingem as extremidades do espelho:



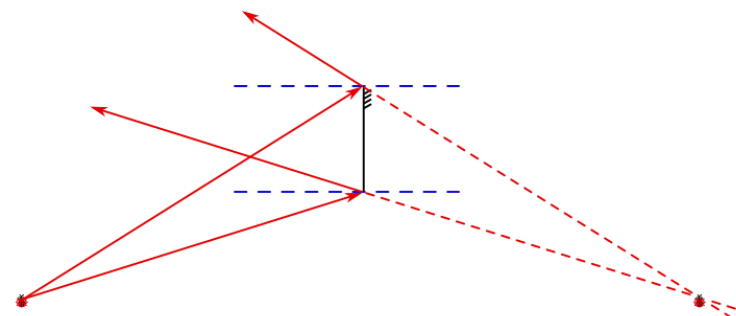
● Vamos desenhar as normais ao espelho nos pontos onde estes raios o atingem:



● Agora, desenhamos os raios refletidos:

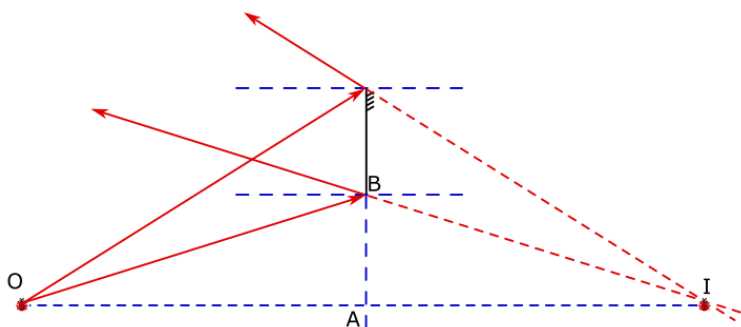


● Observe que os raios refletidos não se encontram. Portanto, para encontrarmos a imagem formada por este espelho devemos prolongar os raios refletidos. O ponto de encontro destes prolongamentos é onde se encontra a imagem da joaninha.



● Por fim, observe que se prolongarmos o espelho e desenharmos um segmento de reta que liga objeto e

imagem, teremos dois triângulos semelhantes:  $\triangle OAB$  e  $\triangle IAB$ :



● Portanto, concluímos que:

$$\overline{OA} = \overline{IA} = d$$

sendo  $d$  a distância entre objeto e o plano que contém o espelho, como havíamos considerado no início deste item.

➔ Agora você sabe: para encontrar a imagem de um objeto pontual, siga os seguintes passos:

- prolongue o espelho;
- meça a distância entre o objeto pontual e o plano que contém este espelho;
- replique esta distância outro lado do espelho;
- A imagem está contida na normal do plano do espelho que contém objeto e imagem (na figura acima,  $\overline{OI}$ ).

## b) IMAGENS DE OBJETOS EXTENSOS

↳ Para determinar a imagem de um objeto extenso, podemos escolher um dos três métodos abaixo:

➔ Método 1:

- desenhe diversos pontos no objeto;
- localize a imagem de cada ponto do objeto utilizando o método aprendido no item acima (imagens de objetos pontuais) e ligue-os.

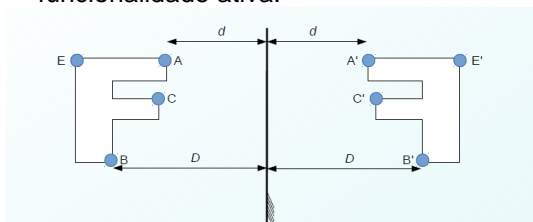
➔ Método 2:

- se o que você tem é um desenho numa folha de papel, você pode olhar no verso do papel para saber como fica a imagem.
- Uma alternativa é dobrar o papel exatamente ao longo do espelho e passar com a caneta por cima do desenho com força. Quando você abrir o papel novamente, o decalque que fica corresponde exatamente à imagem que você procura.

➔ Método 3:

- Parece bobo, mas que tal colocar o objeto diante do espelho e ver como ele fica?

- Você também pode verificar se o aplicativo da câmera de seu celular tem a funcionalidade “espelhar”. Normalmente a câmera frontal já vem com esta funcionalidade ativa.

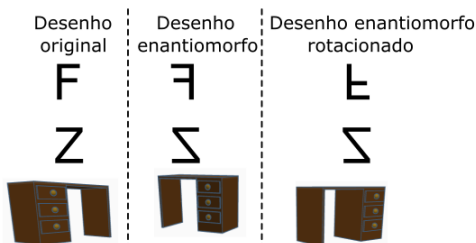


↳ A imagem fica com uma inversão estranha.

→ O nome disto é enantiomorfismo.

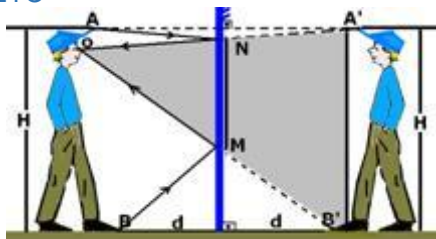
- Se um desenho é enantiomorfo em relação a outro, significa que você não pode recuperar o desenho original utilizando apenas simples rotações.

⇒ A exceção seria um desenho simétrico



→ A imagem de uma imagem (espelho plano) recupera a imagem original. Portanto, você pode olhar no espelho para saber se seu desenho está certo, pois ele, visto no espelho, deve voltar a ser como era.

## 8. TAMANHO MÍNIMO DE UM ESPELHO PARA SE VER POR COMPLETO



↳ Sabe-se que você tem altura  $H$  e está a uma distância  $d$  do espelho.

→ Qual o tamanho mínimo de um espelho para que você possa se ver por completo? O tamanho do espelho depende da distância  $d$ ?

$$\frac{H}{MN} = \frac{2d}{d} \Rightarrow \overline{MN} = \frac{H}{2}$$

- O tamanho mínimo do espelho é metade da sua altura
- O tamanho mínimo do espelho não depende da distância entre o observador e o espelho ( $d$ )



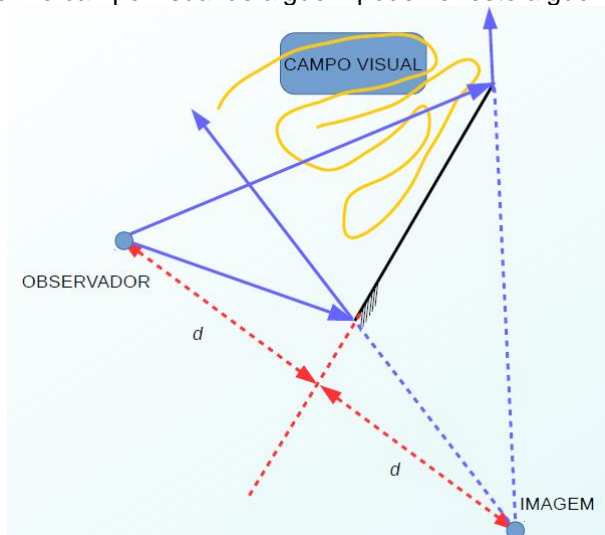
→ E qual a distância que o espelho deve ficar do chão?  
Sabe-se que a altura dos seus olhos é  $h$ .

$$\frac{h}{MC} = \frac{2d}{d} \Rightarrow MC = \frac{h}{2}$$

- O espelho deve ficar com sua base à uma distância do chão que corresponde à metade da altura dos seus olhos.

## 9. CAMPO VISUAL

↳ É a região que um observador pode ver através de um espelho. Note que tudo o que está no campo visual é visto pelo observador e, devido ao princípio da reversibilidade dos raios luminosos, qualquer observador no campo visual de alguém pode ver este alguém.



No SisQ, faça os exercícios de 9 à 40 da lista "Os Espelhos Planos".

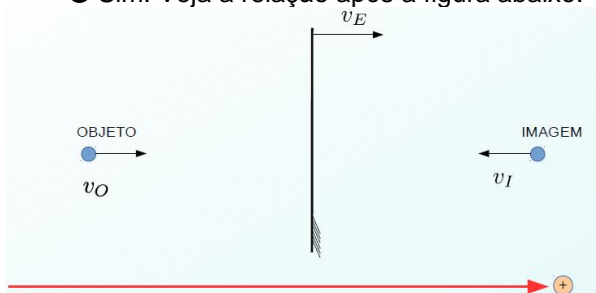
## 10. TRANSLAÇÃO DE UM ESPELHO PLANO

↳ Seja um espelho e um observador que podem se mover APENAS NA DIREÇÃO NORMAL do espelho plano

- $v_E$  é a velocidade do espelho medida num referencial perpendicular ao espelho, isto é, ela pode ser positiva (para direita, de acordo com o referencial da figura abaixo) ou negativa (para a esquerda, no mesmo referencial abaixo).
- $v_O$  é a velocidade do objeto, medida no mesmo referencial utilizado para a velocidade do espelho.
- $v_I$  é a velocidade da imagem, também medida neste referencial.

➔ Existe alguma relação matemática entre estas velocidades?

● Sim. Veja a relação após a figura abaixo.



$$v_E = \frac{v_O + v_I}{2}$$

↳ Vamos aprofundar este assunto a seguir. Esta discussão não será feita em sala de aula.

### APROFUNDANDO O ASSUNTO:

#### TRANSLAÇÃO DE ESPELHOS PLANOS

Vamos estudar a relação da velocidade da imagem de um objeto com a velocidade do espelho e a velocidade do objeto. Para isso, podemos analisar o problema de duas maneiras: uma vetorial, tal como foi feito em sala de aula, e outra geométrica.

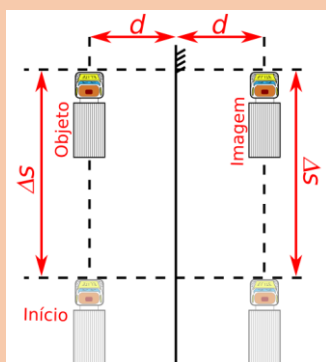
Para apresentar uma outra maneira, talvez mais simples, vamos apresentar aqui apenas a análise geométrica.

#### ANÁLISE GEOMÉTRICA

Vamos dividir o problema estudando o movimento somente do objeto e depois somente da imagem e por fim compor o movimento final que considera o movimento do objeto e do espelho.

#### OBJETO SE MOVENDO PARALELAMENTE AO ESPELHO

Imagine um caminhão de frente do espelho e se move ao longo do espelho. Nesse caso, a velocidade da imagem é igual à velocidade do objeto, pois a distância percorrida pelo objeto é igual à distância percorrida pela sua imagem. Veja isso em dois instantes diferentes:



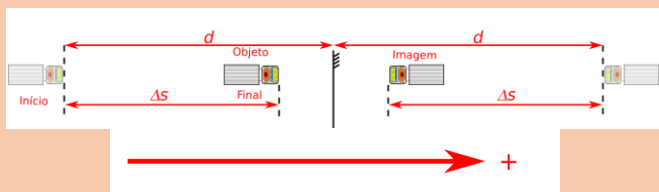
Observe que se o objeto se desloca  $\Delta S$ , a imagem se desloca da mesma quantidade  $\Delta S$ . Logo concluímos que:

$$V_{// \text{ objeto}} = V_{// \text{ imagem}} \quad (1)$$

O símbolo “//” representa “paralelo”, isto é,  $V_{// \text{ objeto}}$  é a velocidade do objeto paralela ao espelho e  $V_{// \text{ imagem}}$  é a velocidade da imagem paralela ao espelho.

### OBJETO SE MOVENDO PERPENDICULARMENTE AO ESPELHO

Seja este mesmo caminhão agora se aproximando do espelho. Nesse caso, a velocidade da imagem é igual ao módulo da velocidade do objeto, pois a distância percorrida pelo objeto é igual à distância percorrida pela sua imagem. Veja isso em dois instantes diferentes:



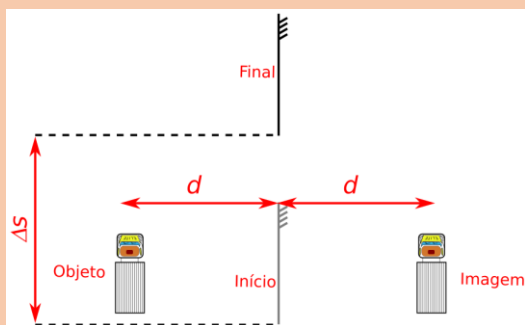
Observe que se a imagem se desloca  $\Delta S$ , a imagem se desloca da mesma quantidade  $\Delta S$ . Podemos dizer então que:

$$V_{\perp \text{ objeto}} = -V_{\perp \text{ imagem}} \quad (2)$$

Aqui, o símbolo “ $\perp$ ” quer dizer “perpendicular ao espelho”, assim a velocidade do objeto na direção perpendicular ao espelho é  $V_{\perp \text{ objeto}}$  e a velocidade da imagem, na direção perpendicular ao espelho, é  $V_{\perp \text{ imagem}}$ . Observe também que, em módulo, a velocidade da imagem é igual à do objeto, porém elas estão em sentidos opostos, por isso há um sinal negativo na equação (2).

### ESPELHO SE MOVENDO PARALELAMENTE AO SEU PRÓPRIO PLANO

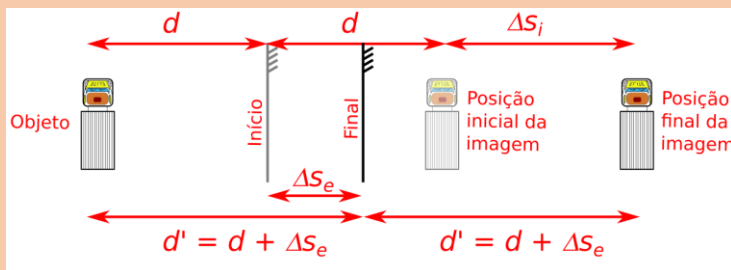
Ainda pensando no esquema anterior, pense no caminhão parado e o espelho se movendo com velocidade  $V_{// \text{ espelho}}$ . O que acontece com a imagem do caminhão?



A resposta é: NADA. Ou seja, a imagem do caminhão não muda sua posição quando o espelho se move na direção indicada, assim o movimento do espelho ao longo de seu plano não influencia na posição da imagem.

## ESPELHO SE MOVENDO PERPENDICULARMENTE AO SEU PRÓPRIO PLANO

Agora suponha que o espelho esteja indo para a direita  $V_{\perp \text{espelho}}$ . O que acontece com a imagem do caminhão?



Observe a imagem acima e note que:

$$\begin{aligned}d + d + \Delta S_i &= d' + d' \Rightarrow \\2d + \Delta S_i &= 2d' \Rightarrow \\2d + \Delta S_i &= 2(d + \Delta S_e) \Rightarrow \\\Delta S_i &= 2\Delta S_e\end{aligned}$$

Com isso podemos dizer que a velocidade da imagem é o dobro da velocidade do espelho, portanto:

$$V_{\perp \text{imagem}} = 2V_{\perp \text{espelho}} \quad (3)$$

Note que não há sinal negativo na relação, como na equação (2), isso porque a velocidade da imagem é na mesma direção e sentido que a velocidade do espelho.

## SOBREPONDO TODOS OS EFEITOS

Agora, imagine que tanto objeto como espelho se movam. Podemos fazer uma composição de movimento:

1. Considere que o objeto possui velocidade  $V_{// \text{objeto}}$  paralela ao espelho e  $V_{\perp \text{objeto}}$  a velocidade perpendicular ao espelho. Isso implica que a velocidade da imagem é  $V_{// \text{imagem}} = V_{// \text{objeto}}$  paralela ao espelho e  $V_{\perp \text{imagem}} = -V_{\perp \text{objeto}}$ .

2. Se o espelho se move com velocidade  $V_{\perp \text{espelho}}$  na direção perpendicular ao seu plano, a velocidade da imagem será  $V_{\perp \text{imagem}} = 2V_{\perp \text{espelho}}$ .

3. Por superposição, a velocidade da imagem deve ser a soma das velocidades da imagem devido aos movimentos do espelho e do objeto, assim a velocidade da imagem será:

$$V_{// \text{imagem}} = V_{// \text{objeto}} \quad (4)$$

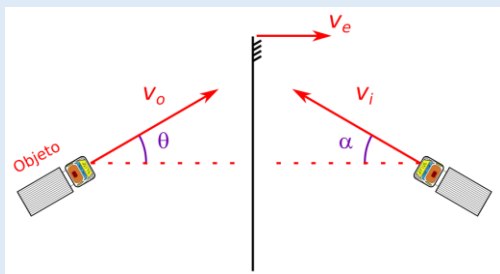
e

$$\begin{aligned}V_{\perp \text{imagem}} &= 2V_{\perp \text{espelho}} - V_{\perp \text{objeto}} \Rightarrow \\V_{\perp \text{espelho}} &= \frac{V_{\perp \text{imagem}} + V_{\perp \text{objeto}}}{2}\end{aligned} \quad (5)$$

Note que a velocidade do espelho ao longo de seu plano, isto é,  $V_{// \text{espelho}}$ , não é relevante neste caso.

### Vamos para um exemplo:

Seja um caminhão se aproximando com velocidade de 30 m/s na direção indicada na figura abaixo com  $\theta = 30^\circ$ . O espelho se move para a direita com 10 m/s. Determine:



- $V_{// \text{ objeto}}$  e  $V_{\perp \text{ objeto}}$ .
- $V_{// \text{ imagem}}$ .
- $V_{\perp \text{ imagem}}$ .
- O ângulo  $\alpha$ .
- o módulo da velocidade da imagem.

### RESOLUÇÃO:

a) Decompos a velocidade do objeto:

$$V_{// \text{ objeto}} = v_o \sin \theta \Rightarrow V_{// \text{ objeto}} = 30 \cdot \frac{1}{2} \Rightarrow$$

$$V_{// \text{ objeto}} = 15 \text{ m/s}$$

Agora para a outra direção:

$$V_{\perp \text{ objeto}} = v_o \cos \theta \Rightarrow V_{\perp \text{ objeto}} = 30 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow$$

$$V_{\perp \text{ objeto}} = 15\sqrt{3} \text{ m/s}$$

b) A velocidade da imagem, paralela ao espelho, é igual à velocidade do objeto na direção paralela ao espelho:

$$V_{// \text{ imagem}} = V_{// \text{ objeto}} = 15 \text{ m/s}$$

c) Para calcular  $V_{\perp \text{ imagem}}$ , usamos a equação (5):

$$V_{\perp \text{ espelho}} = \frac{V_{\perp \text{ imagem}} + V_{\perp \text{ objeto}}}{2} \Rightarrow 10 = \frac{V_{\perp \text{ imagem}} + 15\sqrt{3}}{2} \Rightarrow$$

$$V_{\perp \text{ imagem}} = 5(4 - 3\sqrt{3}) \text{ m/s}$$

d) Vamos usar a tangente de  $\alpha$ :

$$\tan \alpha = \frac{V_{y \text{ imagem}}}{V_{x \text{ imagem}}} \Rightarrow \tan \alpha = \frac{|V_{// \text{ imagem}}|}{|V_{\perp \text{ imagem}}|} \Rightarrow \tan \alpha = \frac{15}{5(3\sqrt{3} - 4)} \Rightarrow$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{3}{3\sqrt{3} - 4}\right)$$

Note que como  $3\sqrt{3} > 4$ , o módulo de  $V_{\perp \text{ imagem}}$  é  $5(3\sqrt{3} - 4)$ .

e) Por fim, para determinarmos a velocidade da imagem utilizamos o Teorema de Pitágoras:

$$v_i^2 = v_{//\text{imagem}}^2 + v_{\perp\text{imagem}}^2 \Rightarrow v_i^2 = 15^2 + (5(4 - 3\sqrt{3}))^2 \Rightarrow v_i^2 = 225 + 25(4 - 3\sqrt{3})^2 \Rightarrow$$

$$v_i^2 = 225 + 25(16 - 12\sqrt{3} + 27) \Rightarrow v_i^2 = 225 + 400 - 300\sqrt{3} + 675 \Rightarrow$$

$$v_i^2 = 1300 - 300\sqrt{3} \Rightarrow v_i = 10\sqrt{13 - 3\sqrt{3}} \text{ m/s}$$

Não entendeu? Penguantaê: [danilo@professordanilo.com](mailto:danilo@professordanilo.com)

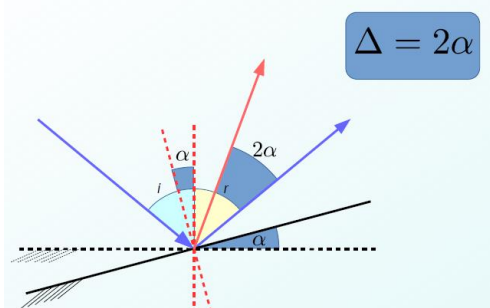
## 11. ROTAÇÃO DE UM ESPELHO PLANO

↳ Seja um raio de luz incidindo em um espelho plano.

→ Seja a normal  $n$  a reta perpendicular ao espelho no ponto onde o raio atinge o espelho.

→ Seja  $r$  a reta perpendicular à esta normal, contida no plano deste espelho.

→ Se o espelho plano girar de um ângulo  $\alpha$  em torno da reta  $r$ , o raio refletido girará  $2\alpha$  em torno da mesma reta  $r$  e no mesmo sentido de rotação do espelho (horário ou anti-horário).



↳ Veja mais um vídeo do professor Danilo sobre rotação de um espelho plano

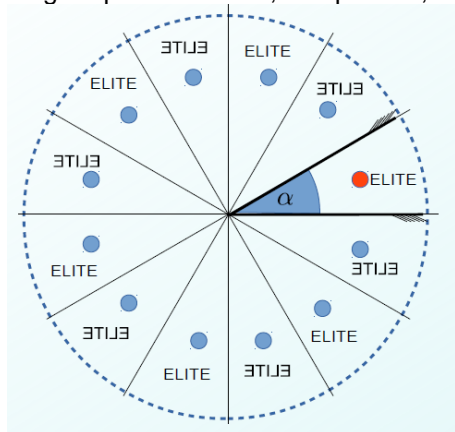
<https://youtu.be/nIP4tjTyhjw>

## 12. IMAGEM FORMADA POR DOIS ESPELHOS

↳ Sejam dois espelhos planos que formam um setor circular  $\alpha$ .

Quantas imagens serão formadas?

→ Utilizaremos a figura a seguir. Portanto, a cada item lido, volte à esta figura para entender, aos poucos, sua construção.



→ Para responder à esta pergunta, vamos primeiramente determinar quantos setores circulares, como o formado pelos dois espelhos, serão necessários para formar uma circunferência inteira.

$$\text{número de setores circulares} = \frac{360^\circ}{\alpha}$$

→ Imagine um objeto colocado no setor circular formado por estes dois espelhos. Imagine um letreiro onde está escrito a palavra ELITE.

→ Note, na figura, que o número de setores corresponde à soma do número de imagens mais o objeto. Portanto, sendo  $n$  o número de imagens, este pode ser calculado por:

$$n = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$$

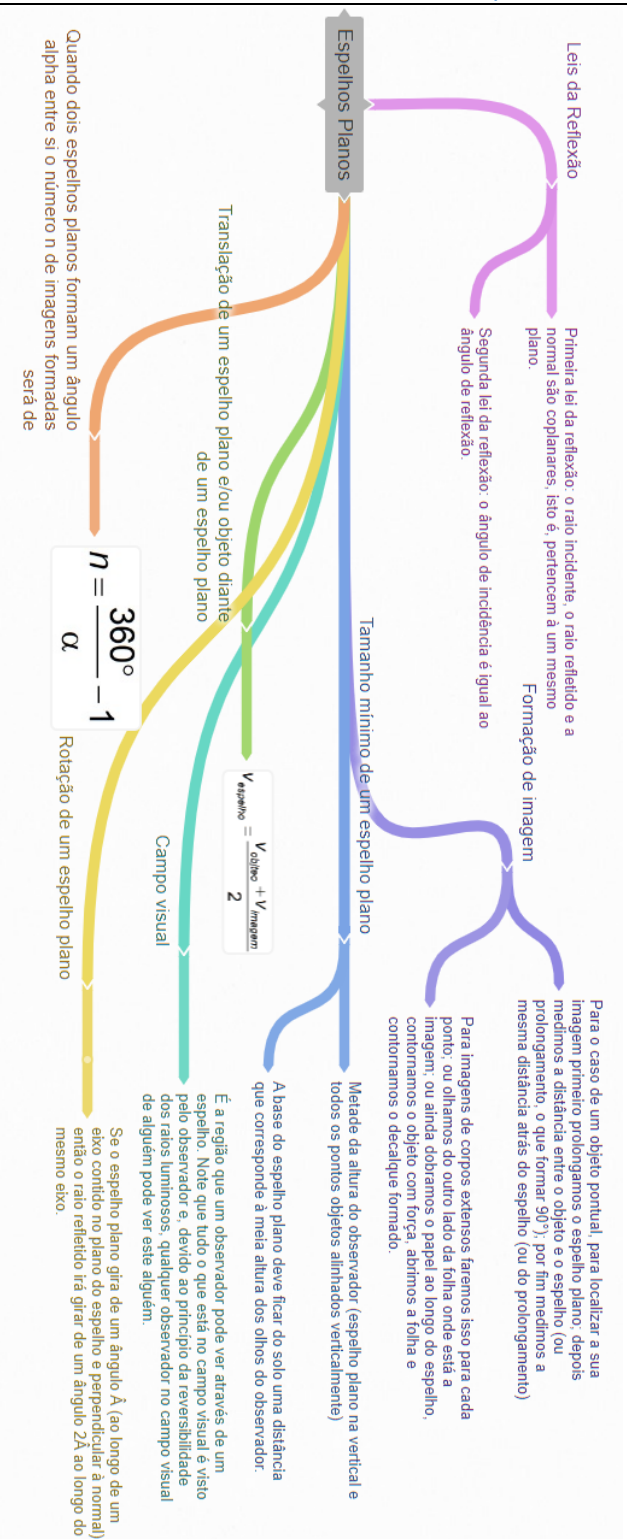
→ Neste sentido, quais imagens são enantiomorfas e quais não são?

- Observe a figura, novamente, e perceba que a palavra ELITE alterna com sua forma enantiomorfa ETILE. Veja que isso ocorre pois temos imagens de imagens, conforme visto em sala de aula.

↳ Veja vídeo do professor Danilo sobre este assunto:

<https://youtu.be/u4yzLhi3ryk>

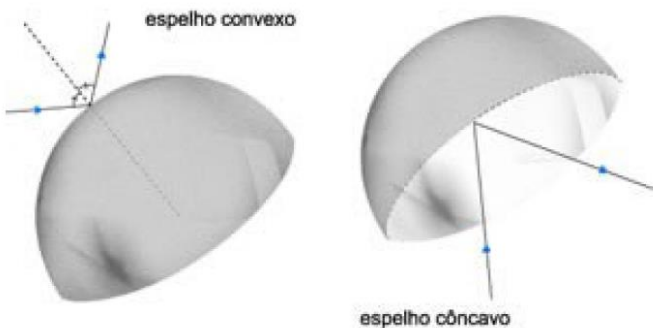
No SisQ, a lista "Os Espelhos Planos", pode ser feita por completo.



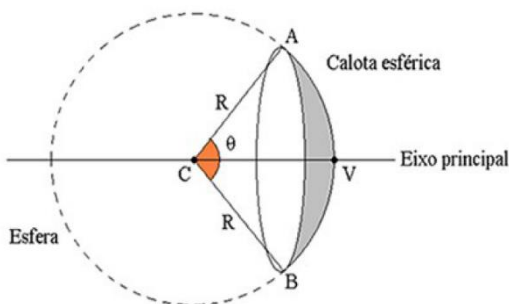


### 13. OS ESPELHOS ESFÉRICOS

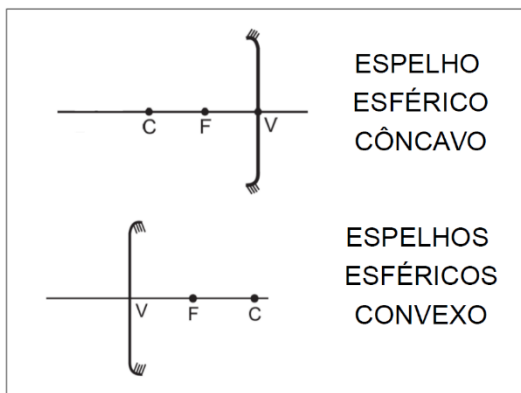
- Definição



- Elementos do espelho esférico



- Representação usual



- O ponto C é o centro do espelho
- O ponto V é a intersecção entre o eixo principal e o espelho (vértice)
- O foco (F) é o ponto médio entre o vértice (V) e o centro (C) do espelho
- Quando  $\theta$  é muito pequeno ( $\theta < 15$  graus) dizemos que o espelho é gaussiano

## a) RAIOS NOTÁVEIS

### RAIOS NOTÁVEIS NO ESPELHO CÔNCAVO

<https://youtu.be/4-MXnlosUtY> (vídeo mostrando os raios notáveis do espelho esférico côncavo)

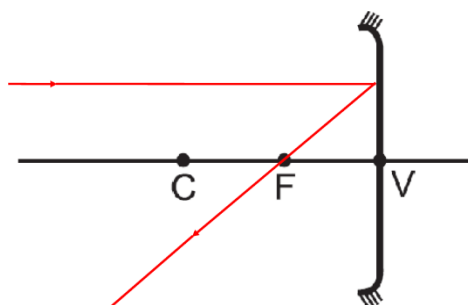


Figura 1: raio incidindo paralelamente ao eixo principal e saindo passando pelo foco

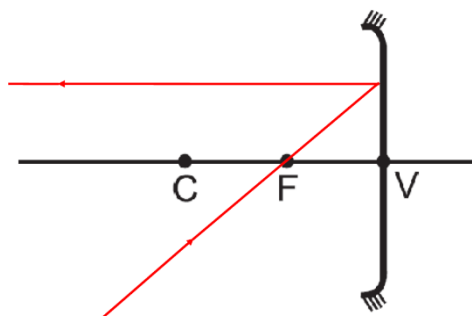


Figura 2: raio incidindo no foco e saindo paralelo ao eixo principal.

Note que se usarmos o princípio da reversibilidade dos raios de luz concluímos que o que é representado na figura 1 corresponde ao que é apresentado na figura 2.

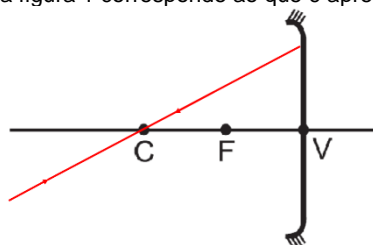


Figura 3: raio incidindo passando pelo centro do espelho e voltando pelo mesmo caminho

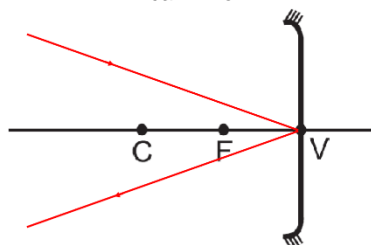


Figura 4: raio incidindo no vértice V do espelho. O ângulo entre o raio incidente e o eixo principal é igual ao ângulo entre o raio emergente (raio refletido) e o eixo principal

# RAIOS NOTÁVEIS NO ESPELHO CONVEXO

<https://youtu.be/0kFHhT5ZFMk> (vídeo mostrando os raios notáveis do espelho esférico côncavo)

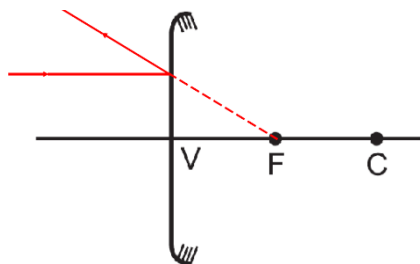


Figura 5: raio incidindo paralelamente ao eixo principal sairá na direção do foco. Note que o raio refletido não pode passar sobre o foco.

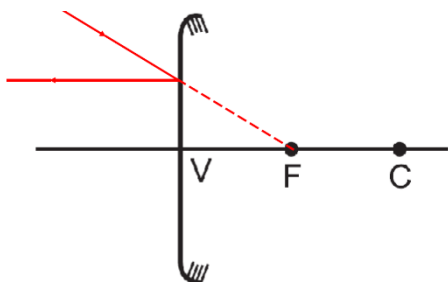


Figura 6: raio incidindo na direção do foco do espelho sai paralelamente ao eixo principal

Novamente, pelo princípio da reversibilidade dos raios de luz podemos concluir que a figura 5 e a figura 6 são equivalentes.

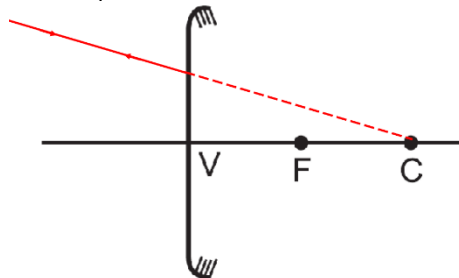


Figura 7: raio incidindo na direção do centro de curvatura volta pelo mesmo caminho que chegou

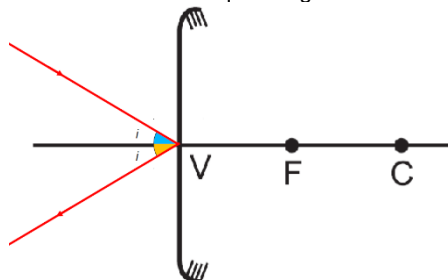


Figura 8: raio incidindo no vértice V do espelho. O ângulo entre o raio incidente e o eixo principal é igual ao ângulo entre o raio emergente (raio refletido) e o eixo principal

## b) LOCALIZANDO O FOCO SECUNDÁRIO

## ESPELHO CÔNCAVO

Seja um raio incidente num espelho esférico côncavo tal como na figura a seguir. Note que este raio, pelo que se pode perceber pela figura, não é um raio notável, assim não podemos saber, a priori, para onde o raio vai.

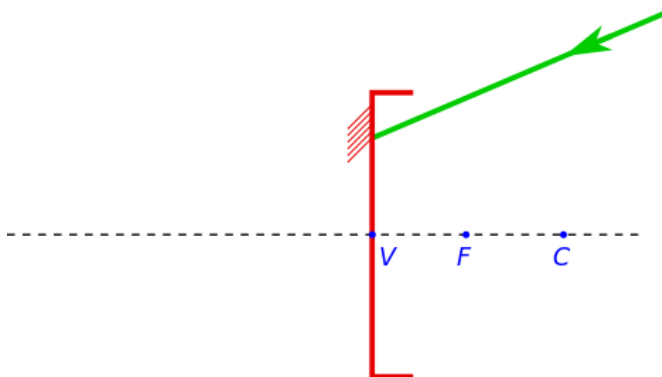


Figura 9: Raio incidindo em um espelho esférico côncavo. O raio não é nenhum dos casos de raio notável.

Para sabermos onde este raio vai utilizamos um eixo secundário e determinamos um foco secundário, assim o raio passará pelo foco secundário. Vamos ao método:

- Trace uma linha tracejada paralela ao raio incidente passando pelo centro C do espelho, conforme figura 10, assim você terá obtido o eixo secundário;
- Trace uma linha também tracejada perpendicular ao eixo principal passando pelo foco. O encontro das duas retas é o local onde se encontra o foco secundário, conforme figura 11.
- Por fim, o raio incidente irá passar pelo foco secundário assim obtido, conforme figura 12.

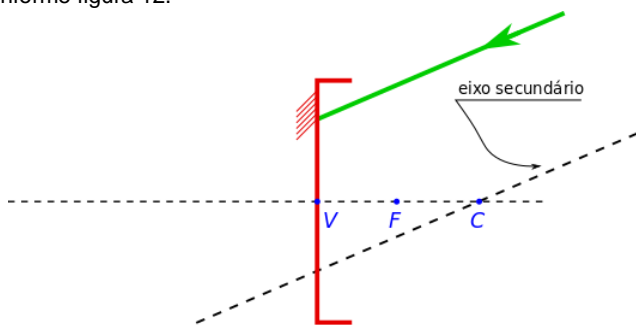


Figura 10: A linha tracejada passando pelo centro de curvatura do espelho e é paralela ao raio incidente corresponde ao eixo secundário.

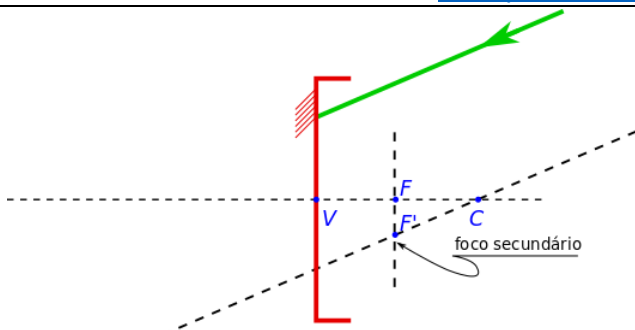


Figura 11: Ao traçarmos a linha vertical obtemos o foco secundário, pois este é a interseção entre o eixo secundário e essa reta vertical.

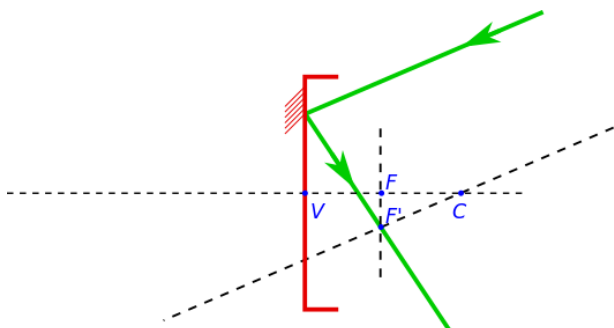


Figura 12: O raio incidente, que é paralelo ao eixo secundário, ao ser refletido irá passar pelo foco secundário.

Chamamos de  $F'$  o foco secundário localizado no eixo secundário do espelho esférico côncavo.

### **ESPELHO CONVEXO**

O processo é praticamente o mesmo, mas vamos repeti-lo.

Seja um raio incidente num espelho esférico tal como na figura a seguir. Note que este raio, pelo que se pode perceber pela figura, não é um raio notável, assim não podemos saber a priori para onde o raio vai.

Seja um raio incidente num espelho esférico tal como na figura a seguir. Note que este raio, pelo que se pode perceber pela figura, não é um raio notável, assim não podemos saber a priori para onde o raio vai.

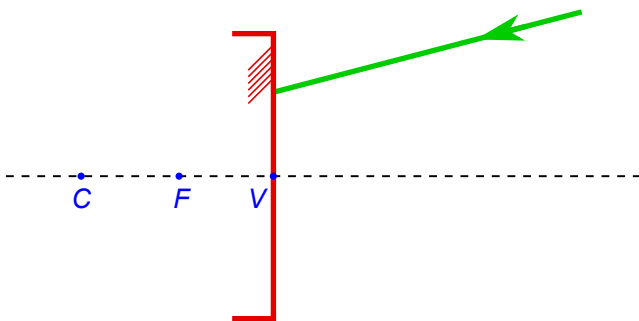


Figura 13: Raio incidindo em um espelho esférico côncavo. O raio não é nenhum dos casos de raios notáveis.

Para sabermos onde este raio vai utilizamos um eixo secundário e determinamos um foco secundário, assim o raio passará pelo foco secundário. Vamos ao método:

- Trace uma linha tracejada paralela ao raio incidente passando pelo centro  $C$  do espelho, conforme figura 14, assim você terá obtido o eixo secundário;
- Trace uma linha também tracejada perpendicular ao eixo principal passando pelo foco. O encontro das duas retas é o local onde se encontra o foco secundário, conforme figura 15.
- Por fim, o raio incidente sairá na direção do foco secundário assim obtido, conforme figura 16.

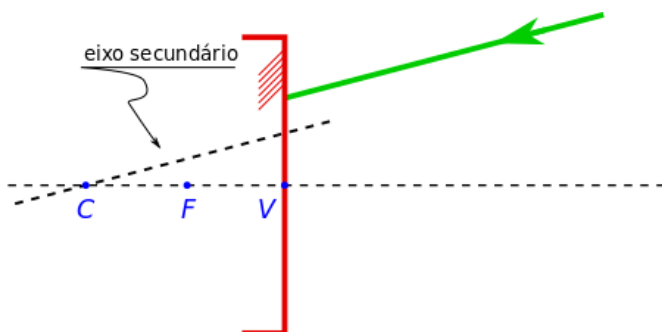


Figura 14: A linha tracejada passando pelo centro de curvatura do espelho e é paralela ao raio incidente corresponde ao eixo secundário.

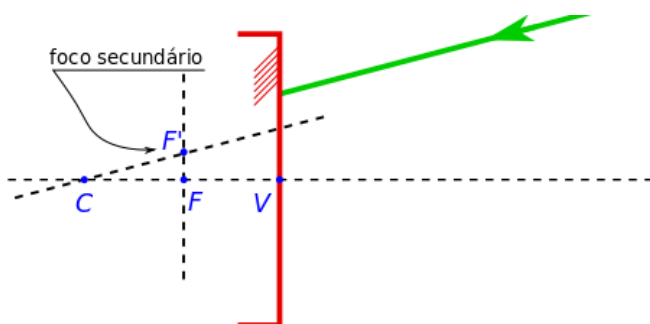


Figura 15: Ao traçarmos a linha vertical obtemos o foco secundário, pois este é a interseção entre o eixo secundário e essa reta vertical.

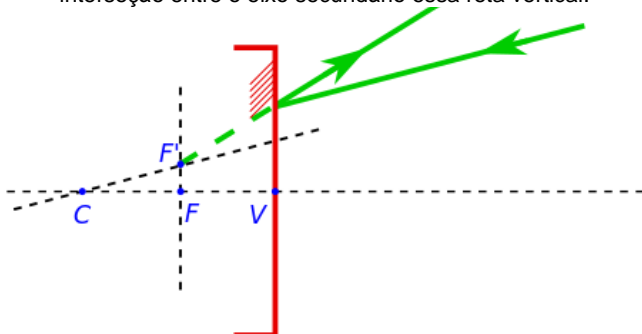


Figura 16: O raio incidente, que é paralelo ao eixo secundário, ao ser refletido irá sair na direção do foco secundário, uma vez que é um espelho esférico convexo.

Chamamos de  $F'$  o foco secundário localizado no eixo secundário do espelho esférico convexo.

## RESUMINDO

Note que podemos ter novos raios notáveis. Resumindo para o caso dos espelhos côncavos:

- Um raio que incide paralelo ao eixo secundário, ao ser refletido, sai passando pelo foco secundário;
- Um raio que incide passando pelo foco secundário sai paralelo ao eixo secundário.

Agora para espelhos convexos:

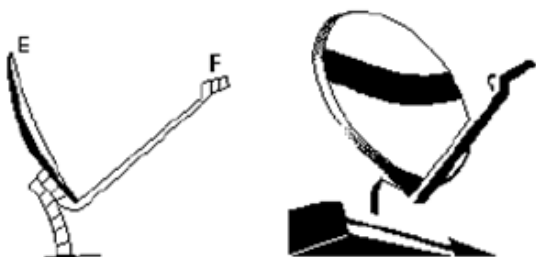
- Um raio que incide paralelo ao eixo secundário, ao ser refletido, sai na direção do foco secundário;
- Um raio que incide na direção do foco secundário, ao ser refletido, sai paralelo ao eixo secundário.

Note que o “centro de curvatura secundário” continua sendo no mesmo lugar, como tinha que ser.

Por fim, lembre-se que estamos falando de um espelho esférico gaussiano, ou seja, válido apenas para a aproximação paraxial (ângulos pequenos).

## CAIU NO VESTIBULAR

(UFSCAR) Os refletores das antenas parabólicas funcionam como espelhos esféricos para a radiação eletromagnética emitida por satélites retransmissores, localizados em órbitas estacionárias, a cerca de 36.000 km de altitude. A figura à esquerda representa esquematicamente uma miniantena parabólica, cuja foto está à direita, onde E é o refletor e F é o receptor, localizado num foco secundário do refletor.



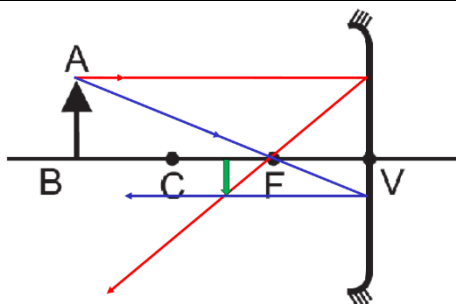
a) Copie o esquema da figura da esquerda e represente o traçado da radiação eletromagnética proveniente do satélite retransmissor que incide no refletor E e se reflete, convergindo para o foco secundário F (faça um traçado semelhante ao traçado de raios de luz). Coloque nessa figura uma seta apontando para a posição do satélite.

b) Nas miniantenas parabólicas o receptor é colocado no foco secundário e não no foco principal, localizado no eixo principal do refletor, como ocorre nas antenas normais. Por quê?

(Sugestão: lembre-se que a energia captada pelo refletor da antena é diretamente proporcional à área atingida pela radiação proveniente do satélite.)

## c) FORMAÇÃO DE IMAGENS: CONSTRUÇÃO GEOMÉTRICA

Figura 17: objeto além do centro de curvatura C no espelho esférico



côncavo. [Natureza:  
real; Orientação:  
invertida; Tamanho:  
menor.]

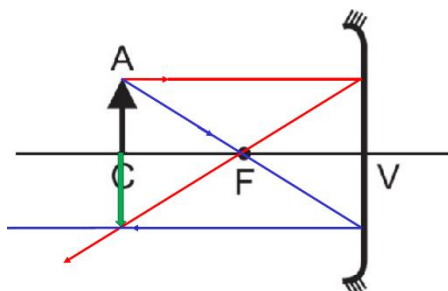


Figura 18: objeto localizado exatamente sobre o centro de curvatura C do espelho esférico côncavo.

[Natureza: real; Orientação: invertida; Tamanho: igual]

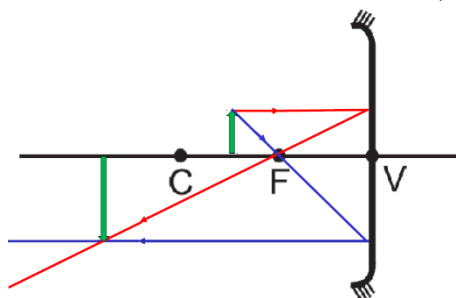


Figura 19: objeto entre o centro de curvatura C e o foco F de um espelho esférico côncavo. [Natureza: real; Orientação: invertida; Tamanho: maior.]

**IMPORTANTE:** se o objeto estiver sobre o foco, os raios que saírem de um ponto do objeto e atingirem o espelho sairão todos paralelos entre si, portanto não há encontro dos raios e, com isso, não haverá formação de imagem.

Com isso dizemos que a imagem é imprópria.



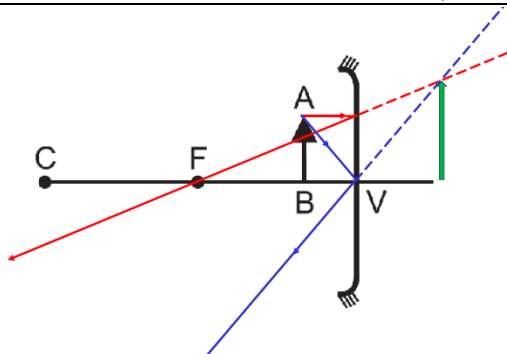


Figura 20: objeto entre o foco e o vértice V de um espelho esférico côncavo. [Natureza: virtual; Orientação: direita; Tamanho: maior.]

Perceba que até o momento só vimos os casos de formação de imagem para espelhos esféricos côncavos. A seguir, o único caso relevante, de formação e classificação de imagens, para o espelho esférico convexo.

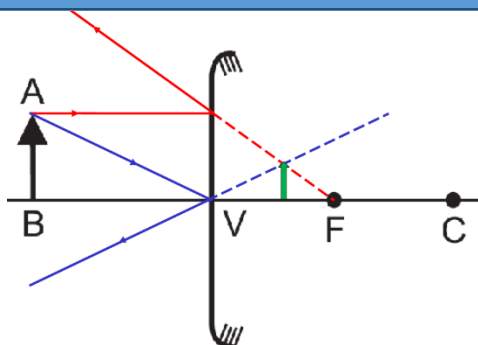


Figura 21: objeto diante de um espelho esférico convexo. Todos os casos de formação de imagem para um objeto em frente a um espelho esférico convexo serão iguais. [Natureza: virtual; Orientação: direita; Tamanho: menor.]

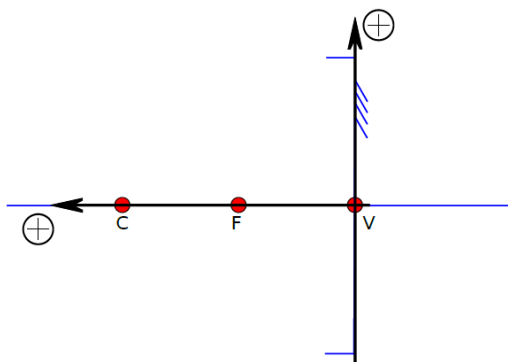
**IMPORTANTE:** perceba que toda imagem real é invertida e toda imagem virtual é direita

No SisQ, faça os exercícios de 1 a 21 da lista “Os Espelhos Esféricos”.

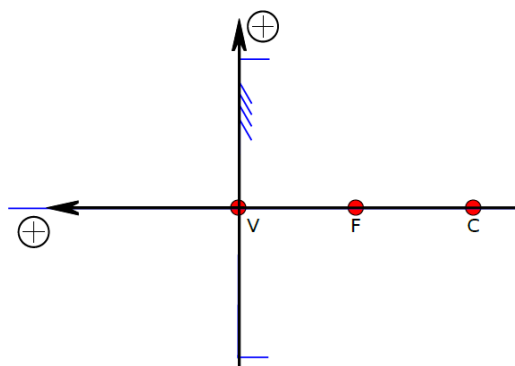
## d) FORMAÇÃO DE IMAGENS: EQUAÇÃO DE GAUSS

### i – O REFERENCIAL DE GAUSS

Espelho  
côncavo:



Espelho  
convexo:



### ii – PADRÕES IMPORTANTES

$p$ : abscissa do objeto

$p'$ : abscissa da imagem

$y = o$ : ordenada do objeto

$y' = i$ : ordenada da imagem

$f$ : abscissa do foco

$2f$ : abscissa do centro do espelho

$p > 0$ : Objeto Real

$p' > 0$ : Imagem Real

$p < 0$ : Objeto Virtual

$p' < 0$ : Imagem Virtual

Se  $i$  e  $o$  tiverem o mesmo sinal, então a imagem é direita, já se tiverem sinais opostos ela é invertida. Segue então que:

$i \cdot o > 0$  : Imagem Direita

$i \cdot o < 0$  : Imagem Invertida

Com relação ao tipo de espelho:

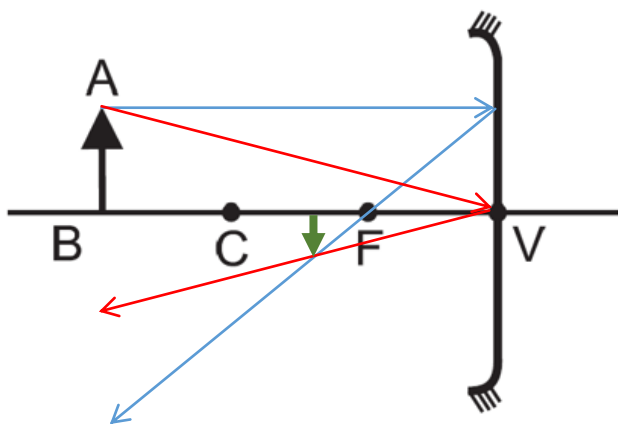
$f > 0$ : Espelho Côncavo

$f < 0$ : Espelho Convexo

iii – EQUAÇÃO DE GAUSS:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

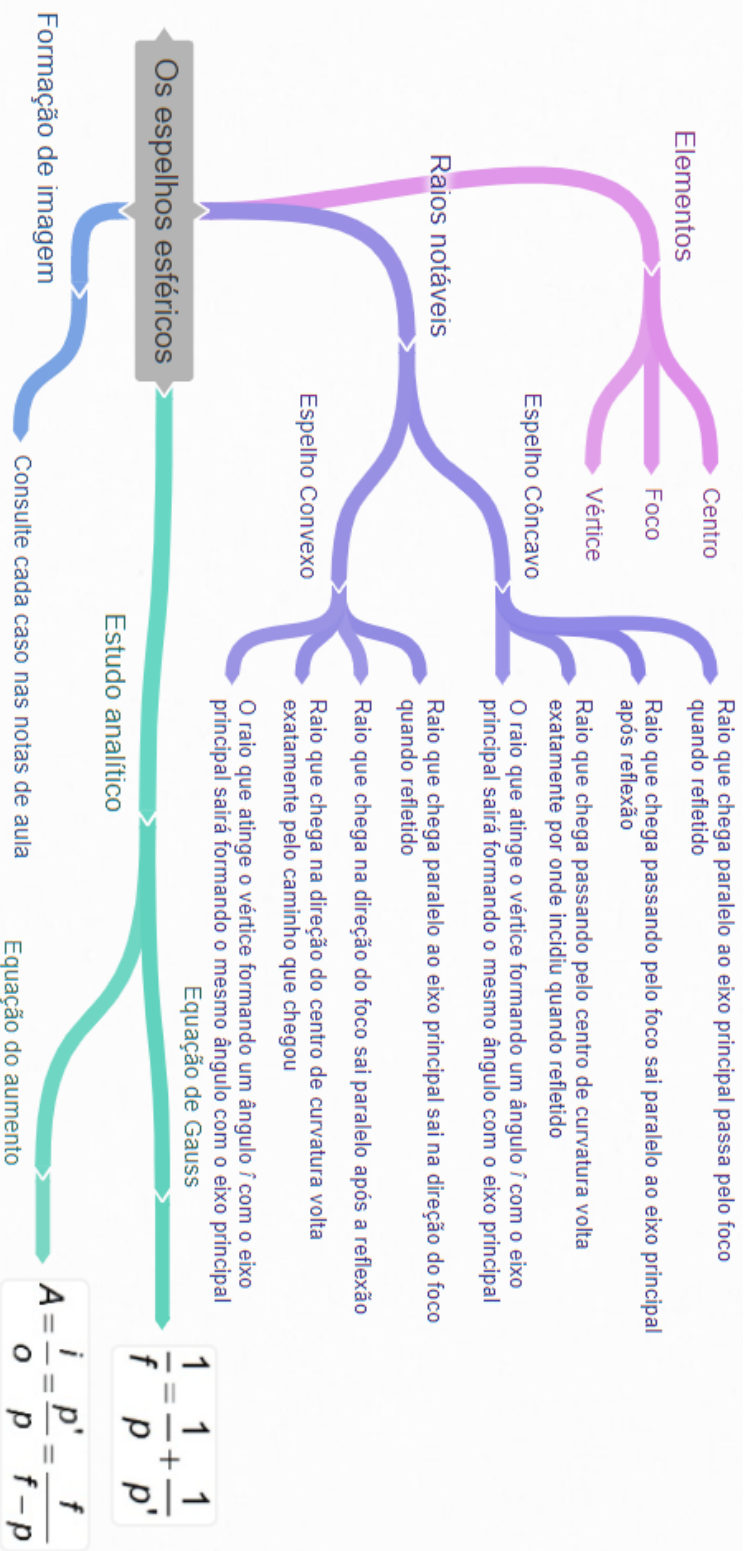
iv – EQUAÇÃO DO AUMENTO LINEAR TRANSVERSAL



$$\frac{|o|}{|p|} = \frac{|i|}{|p'|} \Rightarrow \frac{|i|}{|o|} = \frac{|p'|}{|p|} \Rightarrow \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$$

$$A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} = \frac{f}{f-p}$$

No SisQ, faça os exercícios de 24 a 52 da lista “Os Espelhos Esféricos”. O 51 é um bom desafio.



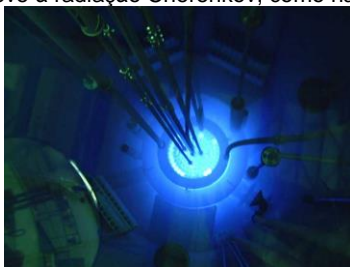
## 14. REFRAÇÃO E LEI DE SNELL-DESCARTES

### a) VELOCIDADE DA LUZ

- ÍNDICE DE REFRAÇÃO
  - A luz é a entidade mais rápida na natureza apenas quando ela se propaga no vácuo
  - A máxima velocidade que qualquer coisa (seja matéria, energia ou apenas informação) é a chamada velocidade da luz
  - Seu valor é de  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s
  - Quando a luz se propaga em meios materiais ela será mais lenta que este valor
  - Chamamos de índice de refração  $n$  a razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio em que estamos estudando a luz. Ou seja

$$n = \frac{c}{v}$$

Apenas por curiosidade, quando um elétron supera a velocidade da luz em um meio, o elétron emite radiação e esta radiação é chamada de radiação Cherenkov em homenagem ao cientista soviético Pavel Cherenkov (a coloração azul de reatores nucleares se deve à radiação Cherenkov, como na figura abaixo).



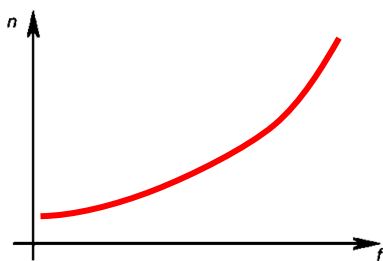
Fonte: <http://cienciaxreligiao.blogspot.com.br/2013/03/o-universo-dos-taquions-parte-3.html>

- Utilizamos a letra  $c$  para representar a velocidade da luz porque o fato da velocidade da luz ter um certo limite influencia a relação de causalidade entre fenômenos
- Lembre-se, no entanto, que a velocidade da luz é constante ( $c$ ).

Na tabela a seguir vemos alguns valores de índices de refração

Meio material	Índice de refração ( $n$ )
ar	1,00
água	1,33
vidro	1,50
glicerina	1,90
álcool etílico	1,36
diamante	2,42
acrílico	1,49

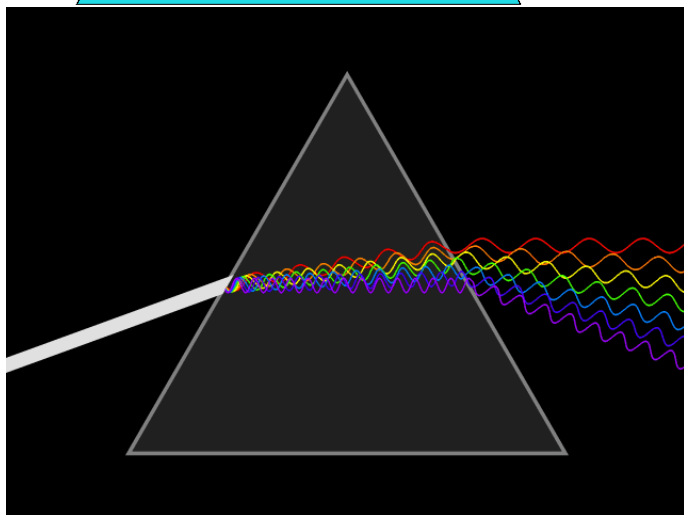
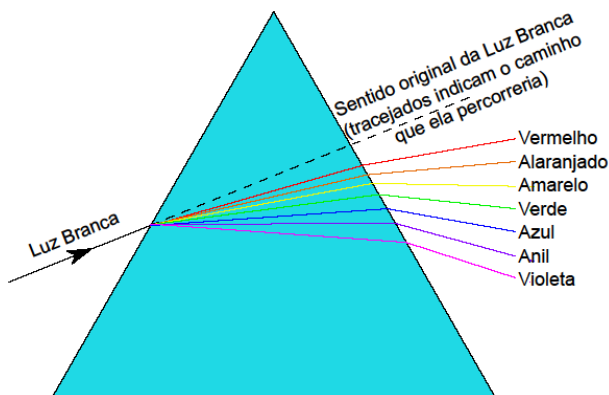
- Em breve estudaremos ondas e veremos que o índice de refração depende da frequência e que quanto maior a frequência da radiação, tanto maior será o índice de refração



Índice de refração do vidro crown	
Cor	Índice
Violeta	1,532
Azul	1,528
Verde	1,519
Amarelo	1,517
Alaranjado	1,514
Vermelho	1,513

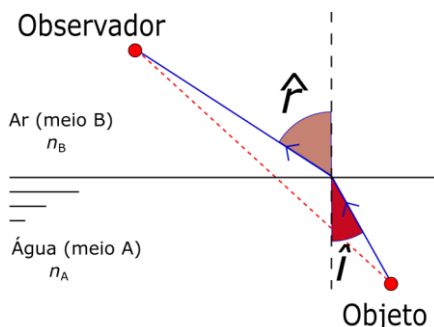
- Observe que apesar de ter certa dependência, esta não é tão perceptível, porém isso que explica a dispersão da luz, como visto em aulas passadas.
- Dizemos que um meio B é mais refringente que um meio A quando  $n_B > n_A$
- ÍNDICE DE REFRAÇÃO RELATIVO
  - Podemos definir um índice de refração de um meio A em relação ao meio B como

$$n_{AB} = \frac{n_A}{n_B}$$



## b) PRINCÍPIO DE FERMAT

- Lembre-se que a luz procura não o menor caminho, mas o que leva o menor tempo
- Chamamos de dióptro à interface entre dois meios (A e B) homogêneos. Um exemplo disso é o sistema ar-água como a seguir



- Não faremos aqui, mas é possível demonstrar uma relação entre os índices de refração dos meios e os ângulos de incidência  $\hat{i}$  e de refração  $\hat{r}$ .
- Com isso podemos concluir que
  - Quando um raio vai de um meio menos refringente para um meio mais refringente o raio se aproxima da normal
  - Quando um raio vai de um meio mais refringente para um meio menos refringente o raio se afasta da normal

## c) LEI DE SNELL-DESCARTES

- O resultado da aplicação apresentada anteriormente para o Princípio de Fermat pode servir para provar a chamada lei de Snell-Descartes. A saber:

$$n_A \cdot \sin \hat{i} = n_B \cdot \sin \hat{r}$$

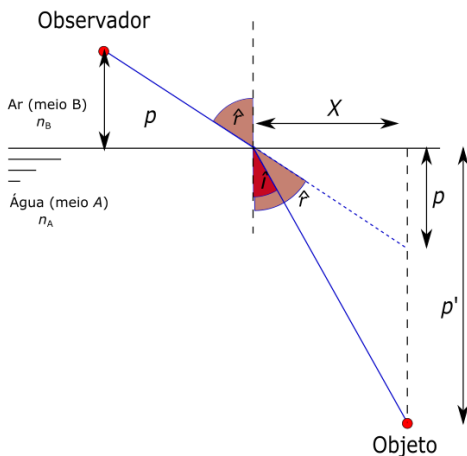
No SisQ, toda a lista de nome "Refração e lei de Snell-Descartes" podem ser resolvidos

## 15. DIÓPTRO PLANO E REFLEXÃO TOTAL

### Dióptro plano

- A interface entre dois meios com propriedades ópticas diferentes, como água e ar, é chamado de dióptro. Vamos estudar agora o caso em que essa interface é plana.
- Quando o observador em um meio A com índice de refração  $n_A$  olha um objeto dentro de um outro meio com índice de refração  $n_B$  de tal forma que o ângulo de incidência  $\hat{i}$  e de refração  $\hat{r}$  sejam pequenos, podemos encontrar uma equação que relaciona as posições do objeto  $p$  e imagem  $p'$  com os índices de refração. Vejamos como.

- Observe primeiramente a figura a seguir onde representamos além das variáveis já mencionadas, uma distância horizontal entre a normal do ponto onde o raio incide na interface e a vertical do objeto.
- Aqui é importante mencionar que isso só é certo se o objeto e observador estiverem na mesma vertical, ou seja,  $\hat{i} = \hat{r} = 0$ . Se, no entanto, considerarmos os ângulos  $\hat{i}$  e  $\hat{r}$  muito pequenos podemos assumir que a imagem do objeto e o objeto estão na mesma vertical.



Para aproximação para pequenos ângulos temos que

$$\begin{cases} \sin \hat{i} \approx \tan \hat{i} \approx \hat{i} \\ \sin \hat{r} \approx \tan \hat{r} \approx \hat{r} \end{cases}$$

desde que estejamos trabalhando com unidades de medidas de ângulos em radianos.

Com estas informações podemos substituir os senos que aparecem na lei de Snell por tangentes, isto é:

$$n_A \cdot \sin \hat{i} = n_B \cdot \sin \hat{r} \Rightarrow$$

$$n_A \cdot \tan \hat{i} \approx n_B \cdot \tan \hat{r}$$

Mas pela figura anterior podemos encontrar as tangentes:

$$\begin{cases} \tan \hat{i} = \frac{x}{p'} \\ \tan \hat{r} = \frac{x}{p} \end{cases}$$

Substituindo as equações do sistema acima na equação da lei de Snell anterior ao sistema temos a relação do dioptro plano:

$$n_A \cdot \frac{x}{p'} \approx n_B \cdot \frac{x}{p} \Rightarrow \boxed{\frac{n_A}{n_B} \approx \frac{p'}{p}}$$



Esta é a equação do dióptro plano e você deve ter cuidado ao usá-la, pois ela é válida apenas quando objeto e observador estiverem numa mesma vertical.

É recomendável que memorize esta fórmula, embora você deva saber também como demonstrá-la.

### Reflexão Total

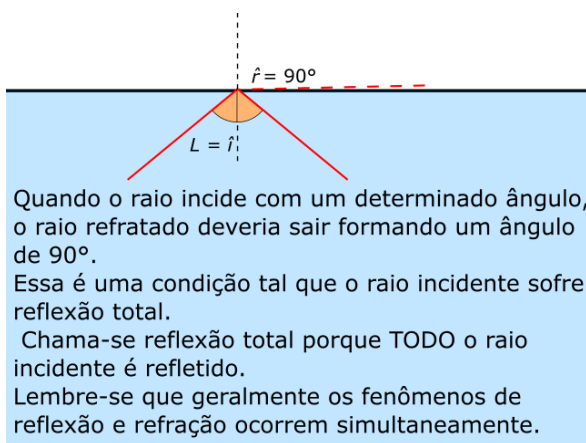
- Imagine um raio de luz indo do meio mais para o meio menos refringente.
- Aumentando-se o ângulo de incidência aumenta-se o ângulo de refração.
- Existe um ângulo chamado de ângulo limite  $\hat{L}$  tal que se o raio incidente refratar e sai formando um ângulo  $\hat{r} = 90^\circ$ . Assim, se  $\hat{i} = \hat{L}$  temos:

$$n_A \cdot \sin \hat{i} = n_B \cdot \sin \hat{r} \Rightarrow$$

$$n_A \cdot \sin \hat{L} = n_B \cdot \sin 90^\circ \Rightarrow$$

$$\boxed{\sin \hat{L} = \frac{n_B}{n_A}}$$

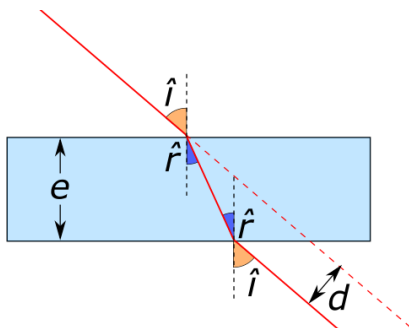
Observe a figura a seguir, isso deve lhe ajudar:



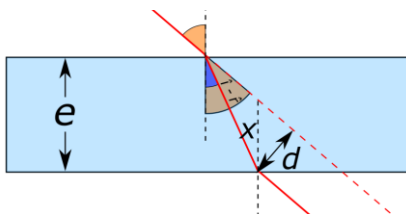
Falamos sobre lâminas de faces paralelas, mas não foi demonstrada a fórmula do desvio lateral.

## 16. LÂMINAS DE FACES PARALELAS

- Uma lâmina de material transparente, tais como vidros planos de carros, janelas etc. constituem lâminas de faces paralelas.
- Representamos da seguinte maneira um raio de luz atravessando uma lâmina de faces paralelas



- Observe que um raio incidente na lâmina sofre um desvio lateral  $d$ , ou seja, a direção e o sentido de propagação da luz não mudam quando ela atravessa uma lâmina de faces paralelas
- Se soubermos a espessura  $e$  da lâmina e o ângulo de incidência, podemos determinar o desvio lateral.
- Primeiramente vamos determinar  $x$  e  $y$  conforme a figura a seguir



- Vamos ter que utilizar um pouco de matemática. Observe que as seguintes relações são válidas:

$$\begin{cases} \cos \hat{r} = \frac{e}{x} \\ \text{sen}(\hat{i} - \hat{r}) = \frac{d}{x} \end{cases} \Rightarrow$$

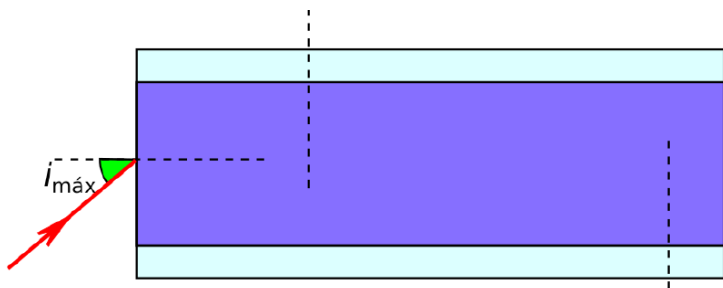
$$\begin{cases} x = \frac{e}{\cos \hat{r}} \\ d = x \cdot \text{sen}(\hat{i} - \hat{r}) \end{cases} \Rightarrow$$

$$d = e \frac{\text{sen}(\hat{i} - \hat{r})}{\cos(\hat{r})}$$

## 17. FIBRA ÓPTICA

- Atualmente estamos utilizando ondas eletromagnéticas com frequências tão altas que chegaram na frequência do visível
- Fibras ópticas são como “fios” que são capazes de direcionar a luz

- Para isso a luz deve ser “aprimorada” dentro de um meio ótico



- Seja uma fibra ótica imersa em um meio (geralmente o ar) cujo índice de refração é  $n_{ar}$ , com centro tendo índice de refração  $n_{in}$  e revestido por material de índice de refração  $n_{rev}$
- Vamos determinar qual o maior ângulo de incidência que o raio pode ter.

$$n_{ar} \cdot \text{sen} i_{\text{máx}} = n_{in} \cdot \text{sen} r \Rightarrow$$

$$\text{sen} r = \frac{n_{ar} \cdot \text{sen} i_{\text{máx}}}{n_{in}}$$

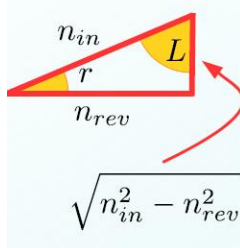
$$\text{sen} L = \frac{n_{rev}}{n_{in}}$$

$$=$$

$$\text{sen} r = \frac{\sqrt{n_{in}^2 - n_{rev}^2}}{n_{in}}$$

$$\text{sen} i_{\text{máx}} = \frac{\sqrt{n_{in}^2 - n_{rev}^2}}{n_{ar}}$$

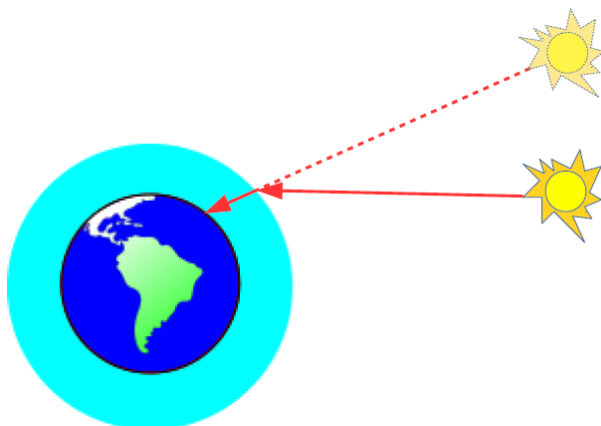
Usamos o triângulo a seguir para finalizar as contas:



- Utilizamos também a condição para reflexão total (necessário para que a luz se mantenha dentro da fibra).

## 18. POSIÇÃO APARENTE DOS ASTROS E MIRAGEM

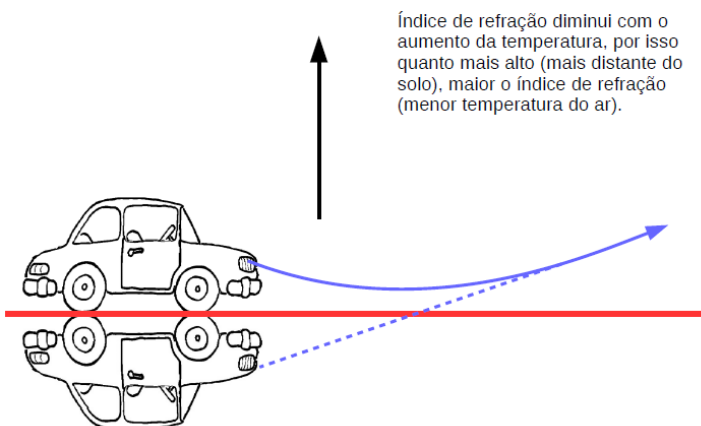
### (A) Posição aparente dos astros



- Como o índice de refração do ar não é EXATAMENTE igual à 1, a luz proveniente dos astros sofre refração ao entrar na atmosfera, aproximando-se da normal.

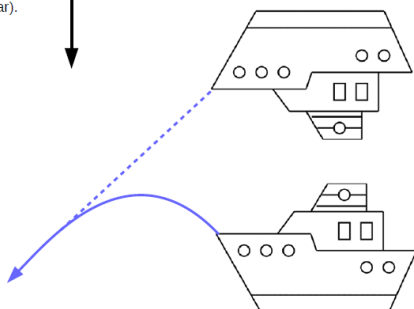
### (B) Miragem

- Em dias quentes, temos a impressão que o asfalto à nossa frente é quase que como um lago



- Como o índice de refração do ar mais quente é menor, a luz é desviada
- É importante notar que não ocorre em momento algum a reflexão total tal como vemos anteriormente, já que a direção dos raios muda lentamente
- Podemos utilizar então o princípio da reversibilidade da luz para justificar que a luz deve “entortar” para cima, e não sair paralelamente ao solo
- Mas cuidado, pois já caí em vestibular mais de uma vez em que a resposta certa associa o fenômeno à reflexão total
- Mas, e se o dia for frio, podemos ver miragens? Sim... Vejamos a Fata Morgana

Índice de refração diminui com o aumento da temperatura, por isso quanto mais alto (mais distante do solo), MENOR o índice de refração (MAIOR a temperatura do ar).



- O professor está falando sério? Prove, mostre fotos...

MIRAGEM NO DESERTO (NÃO HÁ ÁGUA A FRENTE):



Disponível em: <https://thumbs.dreamstime.com/b/miragem-no-deserto-13581435.jpg>

Mais fotos? Mais uma então:



Disponível em: <https://www.fatosdesconhecidos.com.br/wp-content/uploads/2015/02/2113-600x450.jpg>

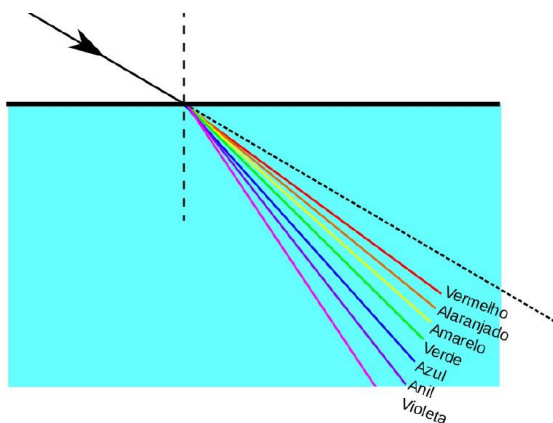
FATA MORGANA:



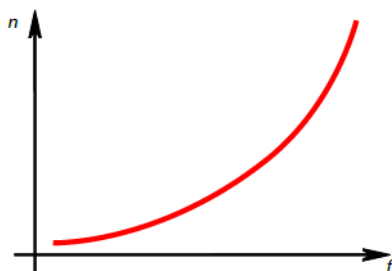
Disponível em <https://mgtvwhtm.files.wordpress.com/2015/05/mirage1.jpg?w=650>

## 19. DISPERSÃO CROMÁTICA

- Se a luz branca atravessar um dióptro ela irá se dispersar, isto é, as cores serão separadas

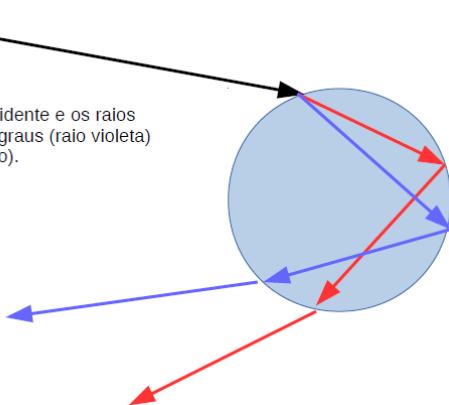


- Lembre-se que a velocidade da luz para todas as frequências é a mesma no vácuo.
- Mas quando as ondas se propagam em meios materiais, quanto maior a frequência menor a velocidade. Então, segundo a Lei de Snell, podemos ver que a onda mais lente sofre maior desvio.



- Por fim, isso explica os arco-íris

O ângulo entre o raio incidente e os raios refratados variam de 40 graus (raio violeta) à 42 graus (raio vermelho).



- Explique por que ao olhar o arco-íris vemos a parte vermelha acima e a azul em baixo. Isso não parece ser contraditório com o que foi apresentado aqui?
- Resposta parcial: não é contraditório. Tente entender por que...

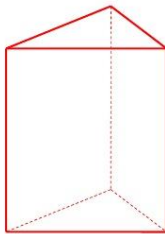
No SisQ, toda a lista, da apostila 1, de nome "Dioptro plano e reflexão total" podem ser resolvidos

## 20. PRISMAS

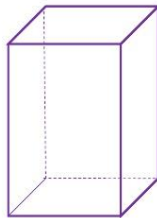
### (A) Prisma – introdução

- O que é um prisma?

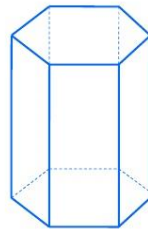
### CLASSIFICAÇÃO



**Prisma  
Triangular**



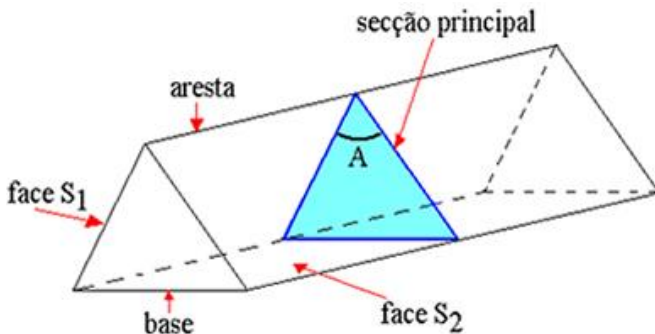
**Prisma  
Quadrangular**



**Prisma  
Hexagonal**

Disponível em: <https://3.bp.blogspot.com/-NdqnIPVzMU/V7XxILTS9wI/AAAAAAAAAL8/r1rmj5EgbMMPoOrS6ffgqevGxrlr72mfQCLcB/s1600/prismas-3-728.jpg>

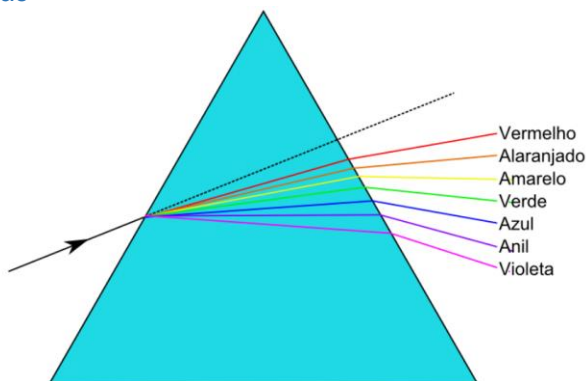
- Na física vamos trabalhar apenas com o prisma de base triangular e o representaremos por um simples triângulo



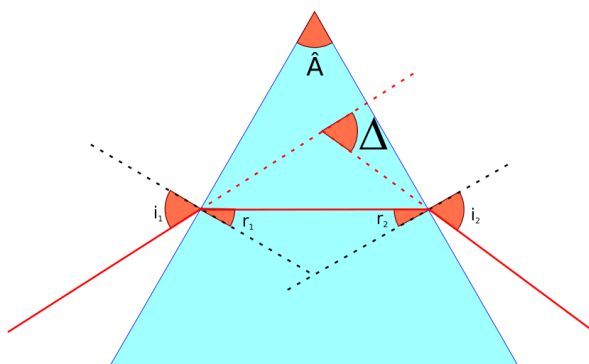
Disponível em: <http://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo/images/prisma-triangular.jpg>

- Chamaremos o ângulo de abertura  $\hat{A}$  do prisma de ângulo de refração do prisma

## (B) Dispersão



## (C) Desvio mínimo



- Chamamos de desvio  $\Delta$  o desvio angular sofrido pelo raio incidente ao atravessar o prisma

$$\Delta = i_1 - r_1 + i_2 - r_2$$

$$A + (90^\circ - r_1) + (90^\circ - r_2) = 180^\circ \Rightarrow A = r_1 + r_2$$

- Se variarmos o ângulo de incidência,  $\Delta$  poderá ter um valor mínimo que chamaremos de  $\delta$



## 21. LENTES ESFÉRICAS

### (A) DIÓPTRO ESFÉRICO

- A figura abaixo apresenta uma ideia do que seria um dióptro esférico: imagine duas esferas de vidro. Agora imagine que fazemos uma interseccionar a outra; por fim, selecionamos apenas a interseção.

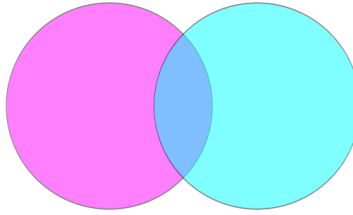


Figura 1: Interseção de duas esferas

- Com esta interseção podemos formar o que chamamos de dióptro esférico e então podemos definir o que seria raio de curvatura.



Figura 2: A interseção forma uma lente esférica

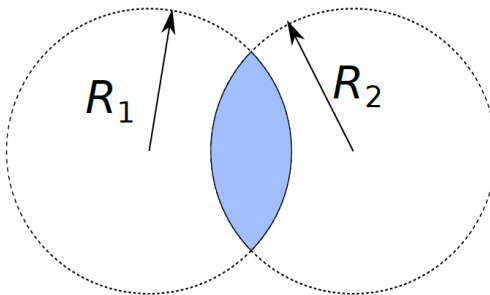


Figura 3: Raios de curvatura

- Vamos estudar lentes esféricas delgadas. Isso significa que a espessura da lente deve ser bem pequena comparada com os raios de curvatura das partes que formam as lentes.

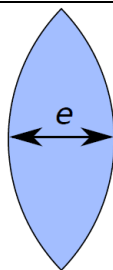
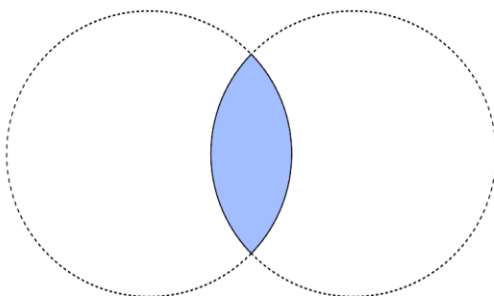


Figura 4: Lentes delgadas:  $e \ll R$

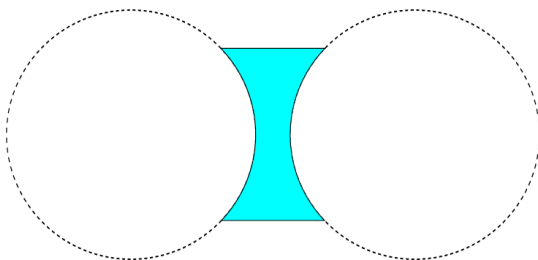
## (B) NOMENCLATURA

- Para nomear, começamos com a face de raio maior primeiro

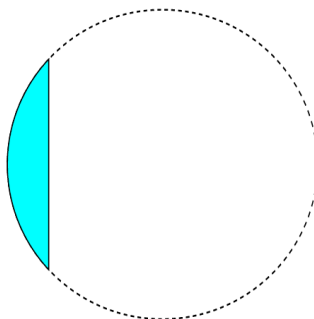
### LENTE BICONVEXA



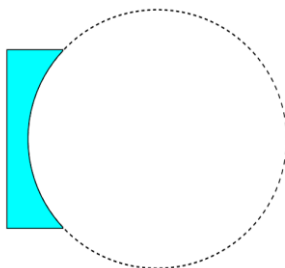
### LENTE BICÔNCAVA



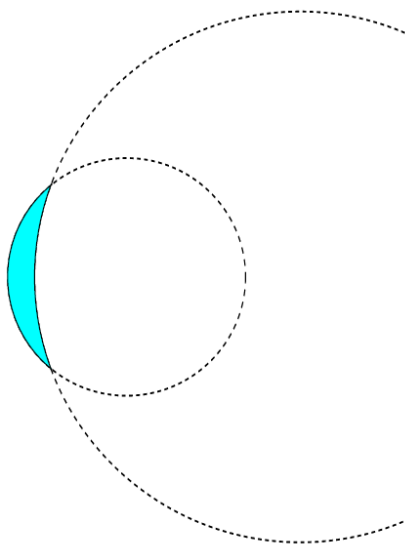
### LENTE PLANO-CONVEXA



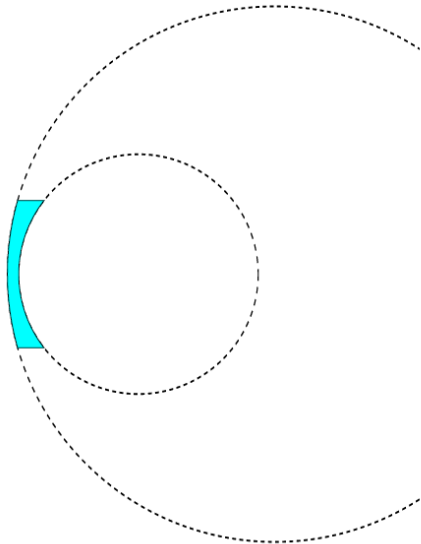
LENTE PLANO CÔNCAVA



LENTE CÔNCAVA-CONVEXA

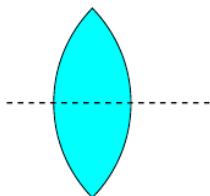


LENTE CONVEXA-CÔNCAVA

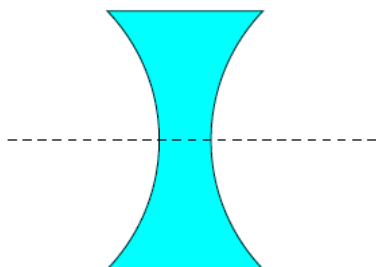


## (C) COMPORTAMENTO ÓPTICO

### LENTE DE BORDOS FINOS

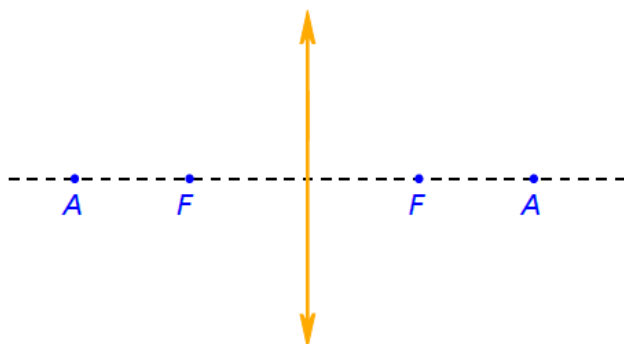


### LENTE DE BORDOS GROSSOS



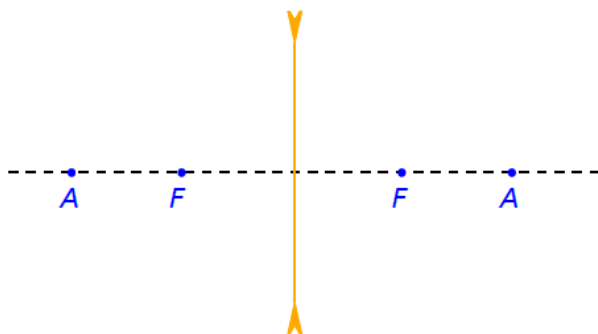
- Vamos estudar o comportamento ótico das lentes esféricas delgadas considerando que elas sejam feitas de material cujo índice de refração seja maior que o índice de refração do meio em que estejam inseridas
- Representaremos as lentes esféricas delgadas de forma mais simples. Vejamos a representação de uma lente de bordos finos (que diremos ser convergente, uma vez que em geral a lente terá índice de refração maior que do meio em que se encontra).

### LENTE CONVERGENTE (BORDOS FINOS)



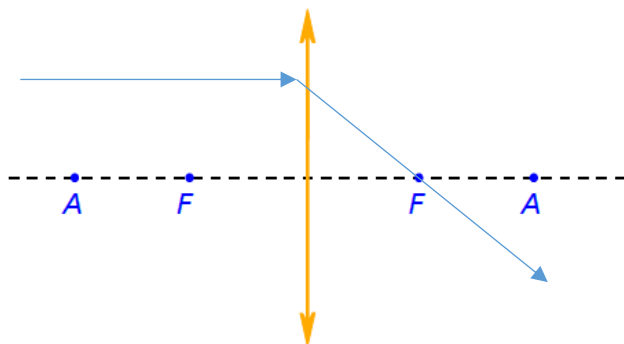
- Lentes de bordos grossos terá representação similar:

### LENTE DIVERGENTE (BORDOS GROSSOS)

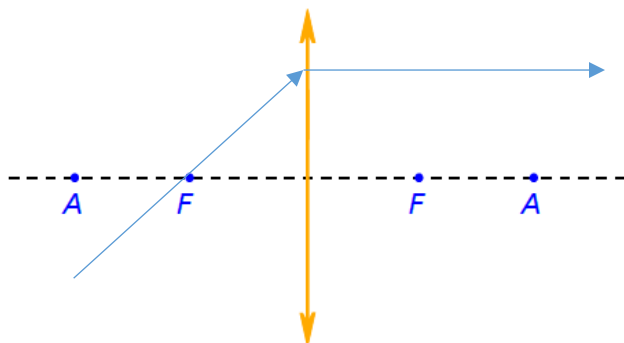


#### (D) RAIOS NOTÁVEIS

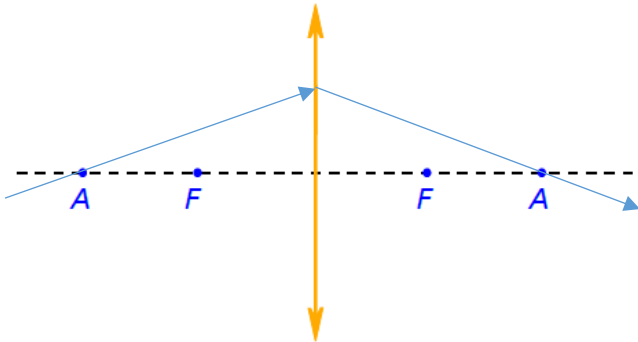
- **Vamos começar com a lente convergente (bordos finos).**
- Raio que chega paralelo ao eixo principal passa pelo foco



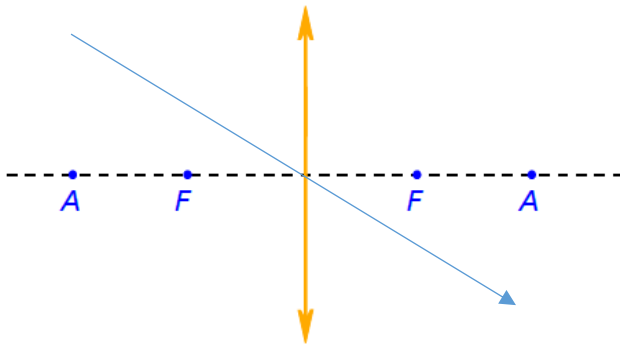
- Raio que chega passando pelo foco sai paralelo



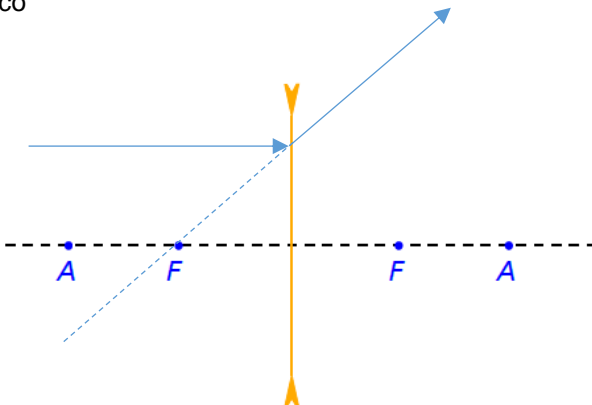
- Raio que chega passando pelo antiprincipal sai passando pelo outro antiprincipal



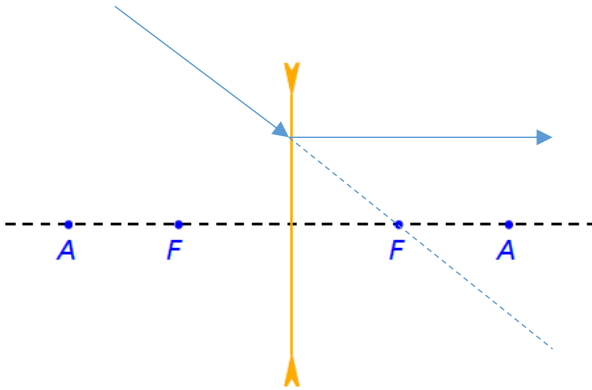
- Raio que chega passando pelo vértice não sofre desvio



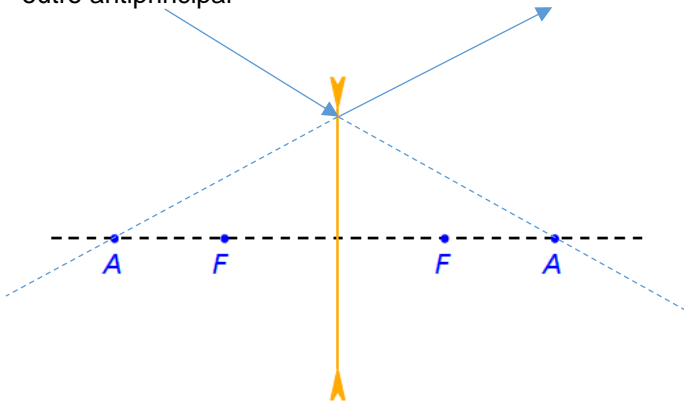
- **Vamos ver agora os raios notáveis para a lente divergente (bordos grossos).**
- Raio que chega paralelo ao eixo principal sai na direção do foco



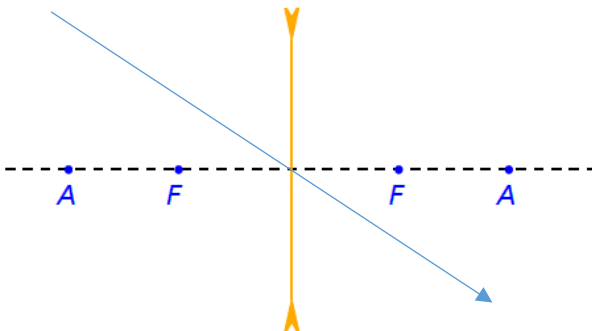
- Raio que chega na direção do foco sai paralelo



- Raio que chega na direção do antiprincipal sai na direção do outro antiprincipal



- Raio que chega passando pelo vértice não sofre desvio



## (E) FORMAÇÃO DE IMAGENS

Para praticar, você pode imprimir um material quadriculado para fazer os raios, conforme feito em aula:

CLIQUE AQUI

Você também pode baixar uma apresentação de slides para te ajudar a preencher a folhinha.

Slides

Vamos aqui apenas colar os slides finais da apresentação.

### LENTE CONVERGENTE

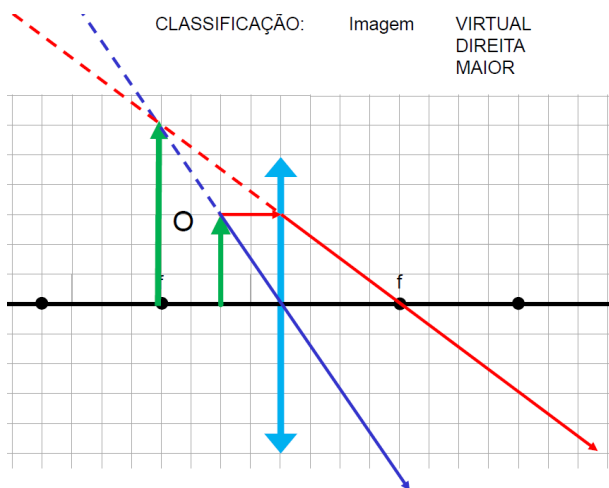


Figura 1: Objeto entre o vértice e o foco

### IMAGEM IMPRÓPRIA

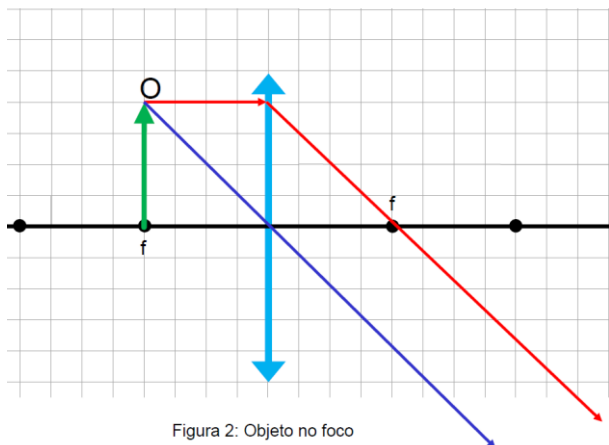


Figura 2: Objeto no foco



CLASSIFICAÇÃO: Imagem

REAL  
INVERTIDA  
MAIOR

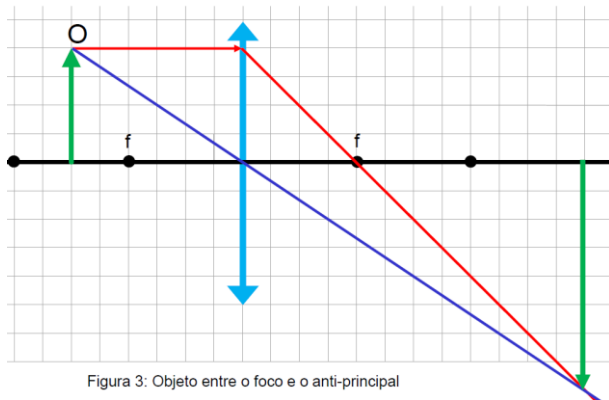


Figura 3: Objeto entre o foco e o anti-principal

CLASSIFICAÇÃO: Imagem

REAL  
INVERTIDA  
IGUAL

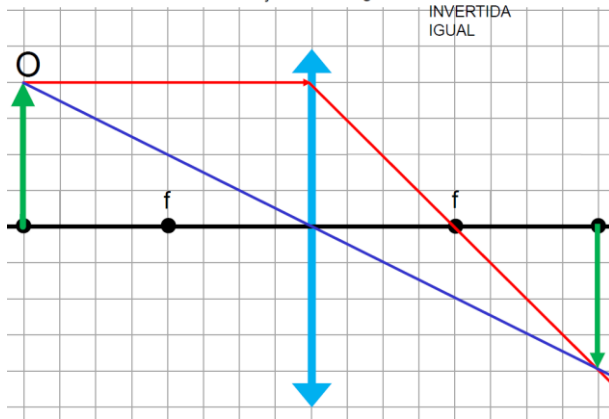


Figura 4: Objeto no anti-principal

CLASSIFICAÇÃO: Imagem

REAL  
INVERTIDA  
MENOR

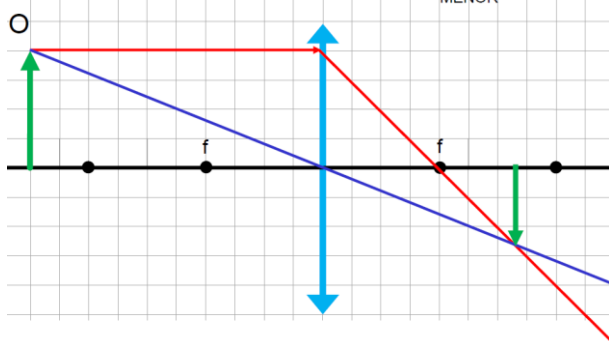


Figura 5: Objeto além do anti-principal

CLASSIFICAÇÃO:

Imagem PONTUAL, REAL  
E LOCALIZADA NO FOCO  
IMAGEM

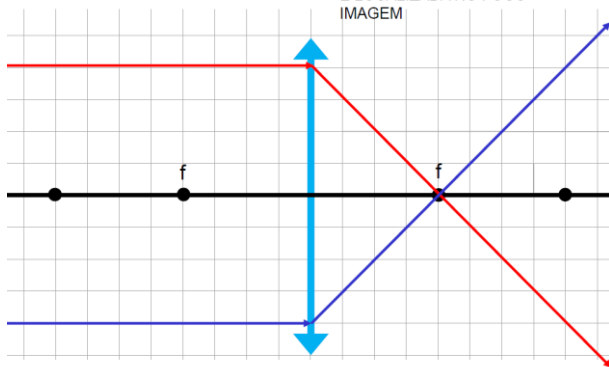


Figura 6: Objeto no "infinito"

## LENTES DIVERGENTES

CLASSIFICAÇÃO:

Imagem VIRTUAL  
DIREITA  
MENOR

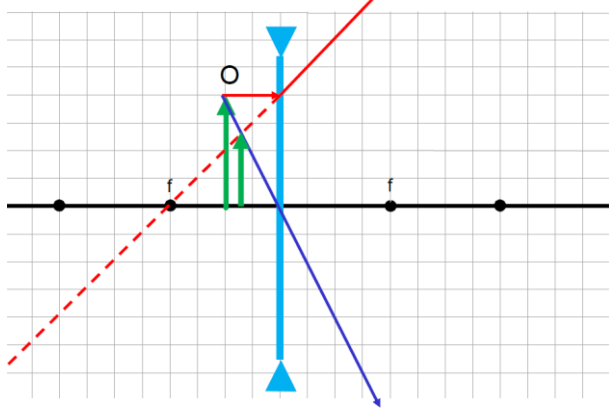


Figura 7: Objeto entre o vértice e o foco

CLASSIFICAÇÃO:

Imagem VIRTUAL  
DIREITA  
MENOR

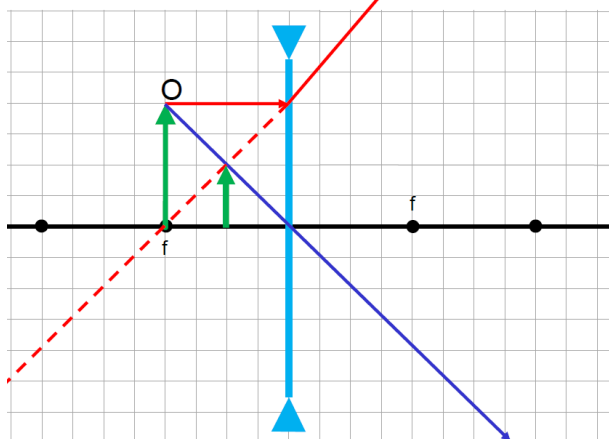


Figura 8: Objeto no foco

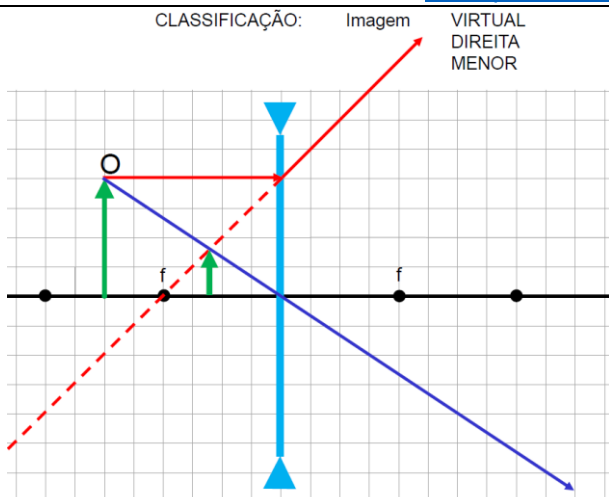


Figura 9: Objeto entre o foco e o anti-principal

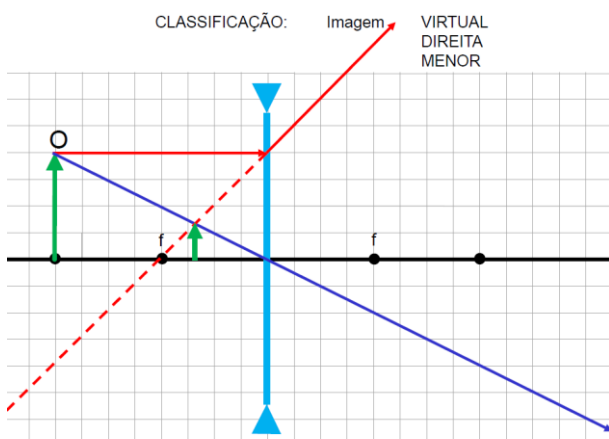


Figura 10: Objeto no anti-principal

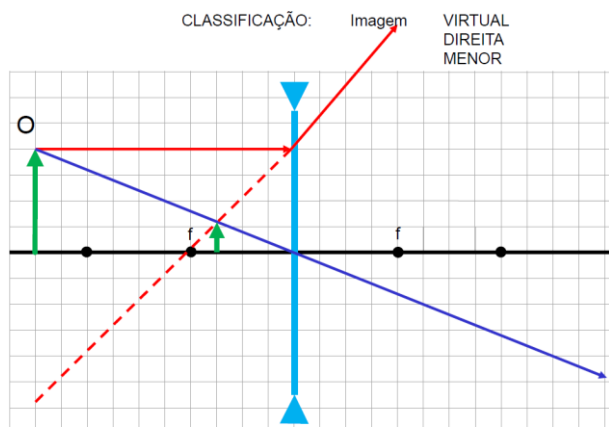


Figura 11: Objeto além do anti-principal

CLASSIFICAÇÃO:

Imagem PONTUAL E  
LOCALIZADA NO FOCO  
IMAGEM DA LENTE

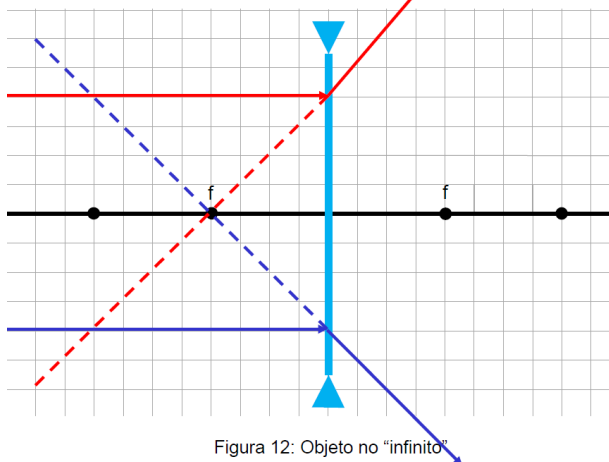
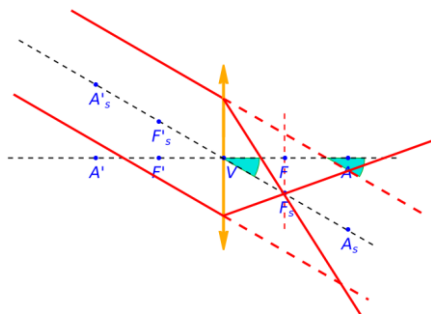


Figura 12: Objeto no "infinito"

## (F) FOCO SECUNDÁRIO

- Se raios chegarem paralelos entre si, mas não paralelos ao eixo principal, como proceder?
- Primeiro desenhe um eixo que passe pelo vértice da lente e que seja paralelo aos raios incidentes (chamaremos este eixo de eixo secundário)
- Segundo, trace retas perpendiculares ao eixo principal que passa pelos pontos notáveis. Esta reta cruzará o eixo secundário nos focos e antiprincipais secundários
- Os raios se cruzam no foco imagem secundário



## (G) REFERENCIAL DE GAUSS

- Para um estudo analítico devemos primeiro escolher um referencial.
- Esse referencial é chamado de referencial de Gauss e associa coordenadas reais (onde realmente passam os raios) com sinal positivo enquanto as coordenadas virtuais (por onde representamos apenas os prolongamentos) associa-se a sinal negativo.
- No caso das lentes, as convenções de sinais são as mesmas que para os espelhos:

- $p$ : abscissa do objeto
- $p'$ : abscissa da imagem
- $y=0$ : ordenada do objeto
- $y'=i'$  ordenada da imagem
- $f$ : abscissa do foco
- Para objetos reais:
  - $p > 0$
- Para objetos virtuais:
  - $p < 0$
- Geralmente, consideramos a abscissa dos Objetos positivas:
  - $o > 0$
- Se a imagem for direita, em geral temos
  - $i > 0$
- Se a imagem for invertida, em geral temos
  - $i < 0$
- A rigor, a imagem é invertida quando  $o$  e  $i$  possuem sinais opostos e direita quando possuem mesmo sinal
- Para imagens reais:
  - $p' > 0$
- Para objetos virtuais:
  - $p' < 0$
- Lente convergente:
  - $f > 0$
- Lente divergente:
  - $f < 0$
- Diferente dos espelhos, as imagens reais estarão do lado oposto em relação aos objetos reais, então devemos adotar dois referenciais de Gauss para cada tipo de lente: um para objetos e outro para imagens.

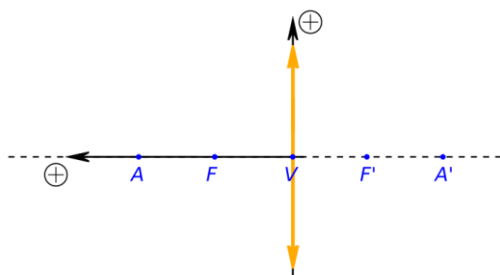


Figura 1: Referencial de Gauss para objeto real à esquerda: Lente Convergente

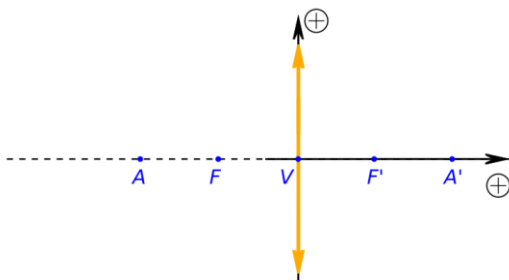


Figura 2: Referencial de Gauss para imagem real à direita: Lente Convergente

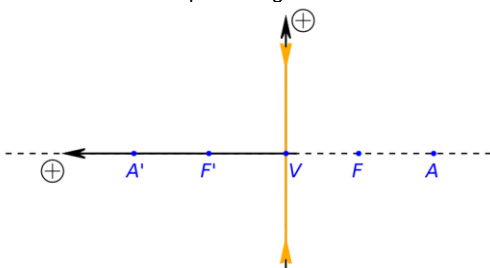


Figura 3: Referencial de Gauss para objeto real à esquerda: Lente Divergente

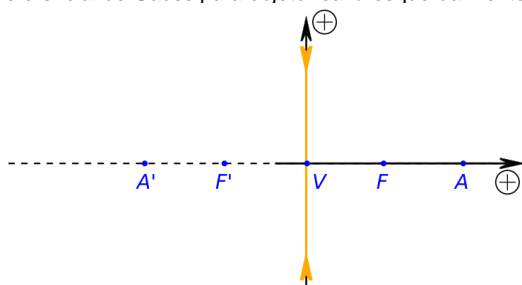


Figura 4: Referencial de Gauss para imagem real à direita: Lente Divergente

- Tendo esta convenção de sinais em mente, podemos usar a dita Equação de Gauss

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

- Vamos agora ver a equação do aumento.

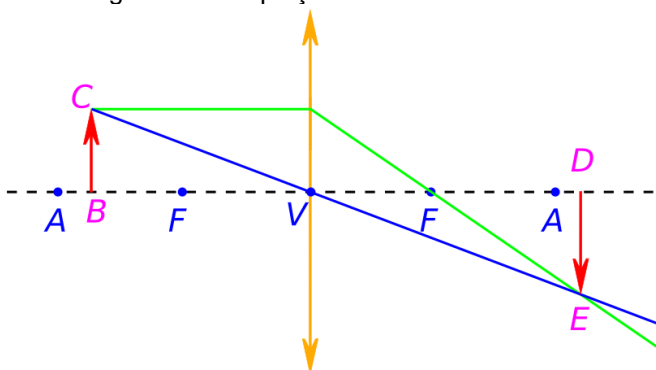


Figura 5: Cálculo do Aumento Linear Transversal

- Por semelhança de triângulo entre os triângulos  $\triangle BCV$  e  $\triangle DEV$  :

$$\frac{|o|}{p} = \frac{|i|}{p'} \Rightarrow \frac{|i|}{|o|} = \frac{p'}{p}$$

- Como a imagem é invertida, temos:

$$\frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$$

- Por definição, o aumento linear é

$$A = \frac{i}{o}$$

Assim:

$$A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$$

Nota: Se você isolar o  $p'$  na equação de Gauss e substituir na equação do aumento você obtêm mais uma relação que pode ser bem útil:

$$A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} = \frac{f}{f-p}$$

Esta equação condensa as equações de aumento e de Gauss.

### IMPORTANTE!!!!!!!!!!

Agora podemos falar em vergência de uma lente, ou “grau” de uma lente.

A unidade de medida, quando tudo do SI, é a dioptria:

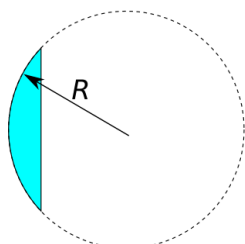
$$V = \frac{1}{f}$$

### (H) EQUAÇÃO DOS FABRICANTES DE LENTES

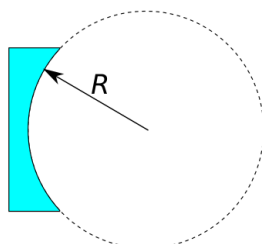
Equação dos fabricantes:

$$V = \frac{1}{f} = \left( \frac{n_{lente}}{n_{meio}} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Os raios são determinados pelas esferas imaginárias que definiram as lentes e seu valor pode ser positivo ou negativo.



Face convexa:  $R > 0$



Face côncava:  $R < 0$

Faremos um exercício para melhor entender.

Isso significa, portanto, que uma lente é divergente ou convergente dependendo do meio em que se encontra.

## (I) ASSOCIAÇÃO DE LENTES

### LENTE DELGADAS JUSTAPOSTAS

Quando justapostas, a vergência total é a soma das vergências de cada lente da associação:

$$V_{eq} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

Nota: isso é válido quando falamos de lentes delgadas justapostas apenas. Assim, após a associação de diversas lentes, a lente equivalente deixa de ser delgada e esta equação deixa de valer.



Em geral, isso vale para algumas poucas lentes apenas.

### LENTE NÃO JUSTAPOSTAS

Faremos um exercício sobre isso.

## (J) ASSOCIAÇÃO DE LENTES COM ESPELHOS

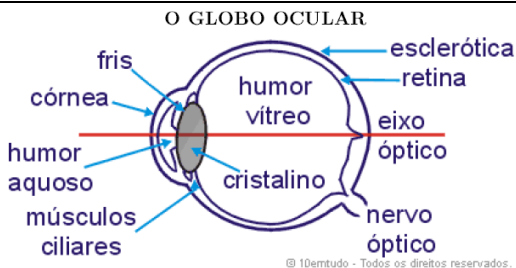
Faremos um exercício sobre isso e teremos maiores aplicações quando estudarmos instrumentos óticos.

No SisQ, toda a lista, da apostila 2, de nome "Lentes Esféricas" podem ser resolvidos

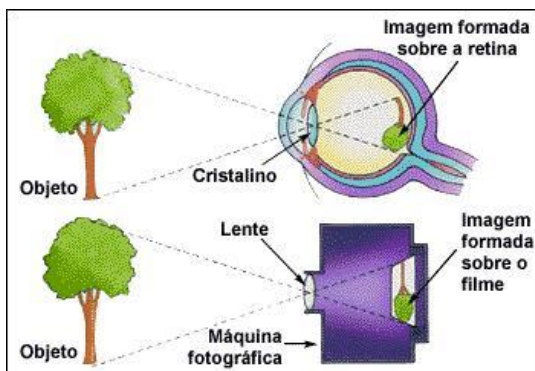
## 22. ÓPTICA DA VISÃO

### (A) INTRODUÇÃO



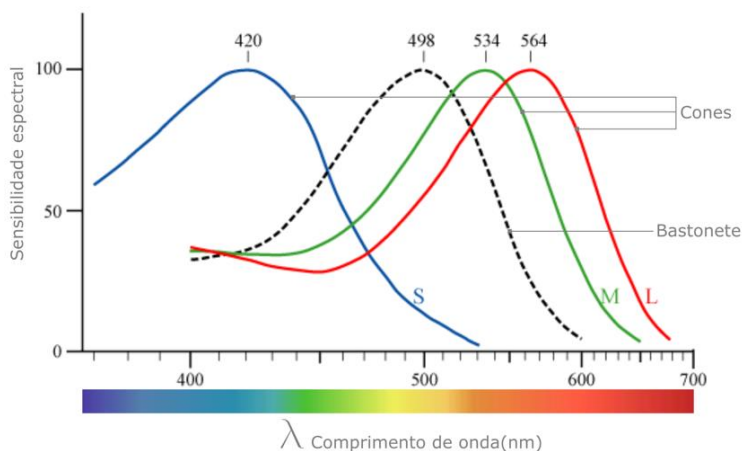


- Característica da imagem



Fonte: <http://professorhonda.blog.br/index.php/2014/03/07/como-se-forma-a-imagem-no-olho/>

- Note que a imagem é real, invertida e menor
- A retina possui dois tipos de células: os cones e os bastonetes
- Os bastonetes são mais sensíveis e não diferenciam as cores
- Os cones se subdividem em três tipos cada um mais sensível em determinada cor, o que possibilita que vejamos diversas cores



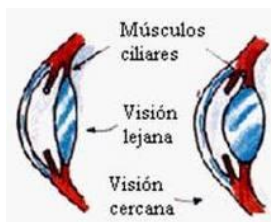
Fonte: <https://muralcientifico.files.wordpress.com/2017/10/000.jpg>

- Acomodação visual
  - Um olho humano dito normal tem uma profundidade entorno de 17 mm

- Ou seja,  $p' = 17 \text{ mm}$
- Para que a imagem seja sempre formada na retina é necessário que o foco da lente seja modificada

$$\frac{1}{\uparrow f} = \frac{1}{\uparrow p} + \frac{1}{17} \quad (\text{em mm})$$

- Note que quanto maior a distância do objeto, maior deve ser a distância focal



Fonte:

[http://cmapspub3.ihmc.us/rid=1291095162365\\_1862553055\\_19093/MUSCULO%20CILIAR%20Y%20CRISTALINO.jpg](http://cmapspub3.ihmc.us/rid=1291095162365_1862553055_19093/MUSCULO%20CILIAR%20Y%20CRISTALINO.jpg)

- Note que quando o cristalino é comprimido, o raio de curvatura diminui. Quando isso ocorre, podemos ver pela equação dos fabricantes de lentes que a o foco diminui
- Podemos portanto concluir que quanto menor a distância do objeto ao olho, mais os músculos devem comprimir o cristalino
- Isso justifica porque há certo incômodo quando tentamos observar um objeto muito perto

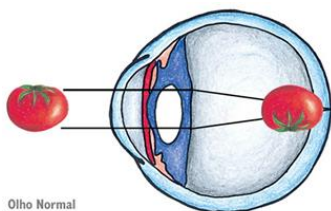
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\downarrow f} = \left( \frac{n_{\text{lente}}}{n_{\text{meio}}} - 1 \right) \left( \frac{1}{\downarrow R_1} + \frac{1}{\downarrow R_2} \right) \\ \frac{1}{\downarrow f} = \frac{1}{\downarrow p} + \frac{1}{17} \end{array} \right.$$

- Quando um objeto está à mínima distância que se pode ver com nitidez, dizemos que o objeto está no ponto próximo
  - Para uma visão dita normal essa distância varia de 7 cm (aos 10 anos) à 40 cm (aos 50 anos)
- Quando o objeto está na máxima distância, dizemos que o objeto está no ponto remoto
  - Para uma visão normal dizemos que o ponto remoto está no infinito ( $p \rightarrow \infty$ )

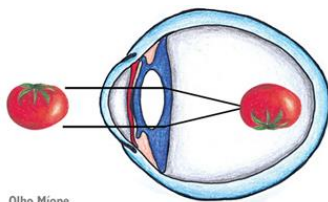
## (B) AMETROPIAS (PROBLEMAS DA VISÃO)

- Miopia
  - Dificuldade de se enxergar de longe

- O raio de curvatura do cristalino é pequeno e/ou o olho é alongado
- Vê melhor de perto tendo seu ponto próximo mais próximo que o "normal"
- A imagem de um objeto distante é formada antes de chegar na retina



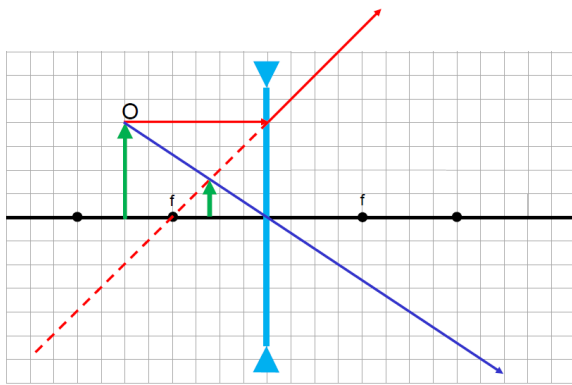
Olho Normal



Olho Míope

Fonte: <http://www.aptomed.com.br/canal/Oftalmologia/Erros-Refracionais/Miopia>

- A lente necessária para correção visual é a divergente pois ela aproxima a imagem



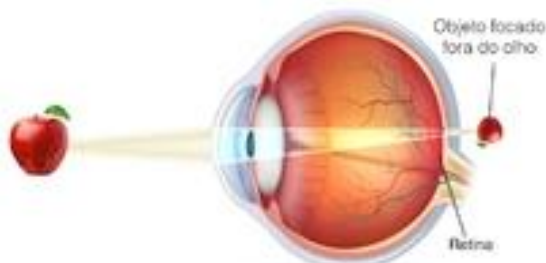
- Se a distância máxima que um míope pode ver é  $D$ , então temos que produzir a imagem de um objeto "no infinito" pelo menos nessa distância.
- Com isso podemos dizer que  $p \rightarrow \infty$  e  $p' = -D$  pois a imagem é virtual.
- Por Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{-D} \Rightarrow \boxed{V = \frac{1}{f} = \frac{1}{-D}} \text{ ("grau da lente" no S.I.)}$$

- Hipermetropia

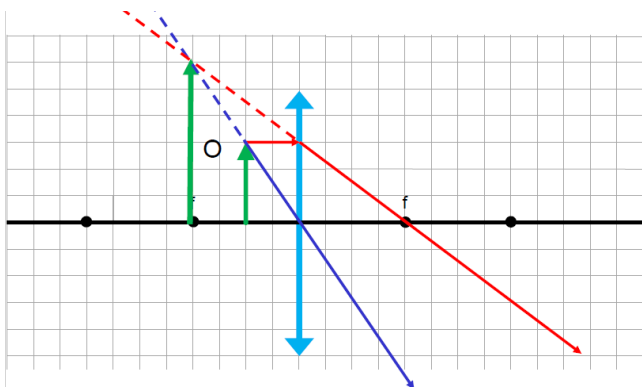
- Dificuldade de se enxergar de perto
- O raio de curvatura do cristalino não se reduz o suficiente para ver objetos próximos – olho mais curto que o normal
- A imagem de um objeto distante é formada depois da retina

## Hipermetropia



Fonte: [https://static.tuasaude.com/media/article/r5/ps/hipermetropia\\_4696\\_s.jpg](https://static.tuasaude.com/media/article/r5/ps/hipermetropia_4696_s.jpg)

- A lente necessária para correção visual é a convergente pois ela afasta a imagem de um objeto próximo
- Considera-se que uma pessoa com visão normal vê com nitidez objetos localizados à 25 cm ou mais



- Digamos que um hipermetrope possa ver no mínimo um objeto à uma distância  $d > 25$  cm
- Com isso podemos dizer que  $p = 25$  cm e  $p' = -d$  para que um hipermetrope possa ver um objeto localizado a 25 cm, pois sua imagem formará a um ponto mais distante, localizado no ponto próximo do hipermetrope
- Assim, pela equação de Gauss, o “grau da lente” e dioptrias será:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{0,25} + \frac{1}{-d} \Rightarrow V = \frac{1}{f} = \frac{4d - 1}{d} \quad (\text{di})$$

### • Presbiopia

- Conhecida como vista cansada
- Tanto a visão para curta distância (no início) como a visão para longas distâncias são prejudicadas
- Deve-se usar lentes convergentes (base) e divergente (topo)

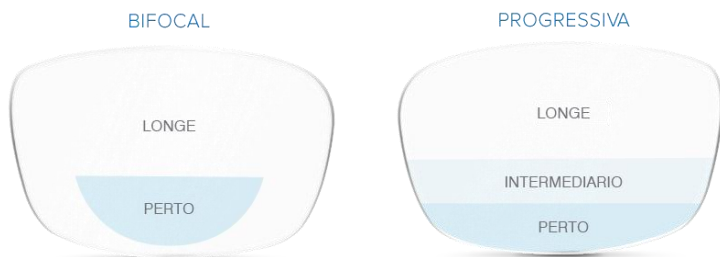


Figura: <http://lentes-hoya.com.br/optico/wp-content/uploads/2015/04/Bifocal-Progressiva.png>

- Outras anomalias
  - Astigmatismo
  - Estrabismo
  - Daltonismo

No SisQ, toda a lista, da apostila 2, de nome "Ótica da visão" podem ser resolvidos

### 23. INSTRUMENTOS ÓPTICOS

Material a parte: usaremos slides em aula.

Vídeo:

<https://youtu.be/G3TtI3o0Mtk>

Considere estudar apenas os quatro primeiros instrumentos:

Lupa

Luneta Astronômica

Luneta Terrestre

Microscópio

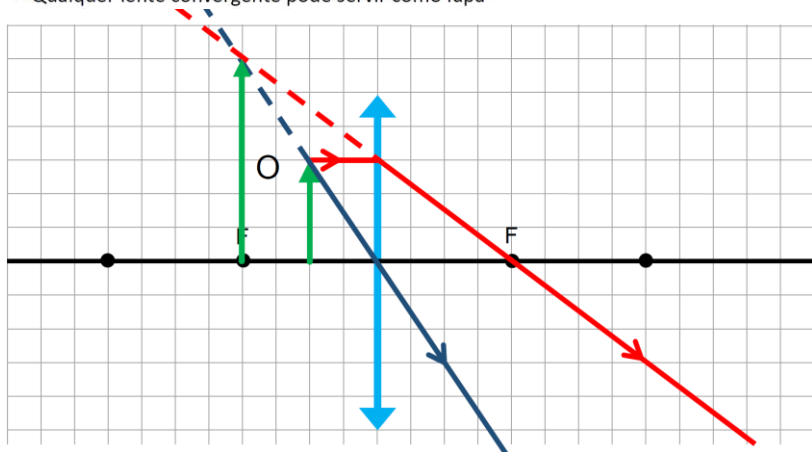
Os demais itens (telescópios refletores) não abordaremos em sala, mas você pode consultar no vídeo.

Caso você queira praticar com material quadriculado, você pode imprimir o material clicando no botão abaixo:

CLIQUE AQUI

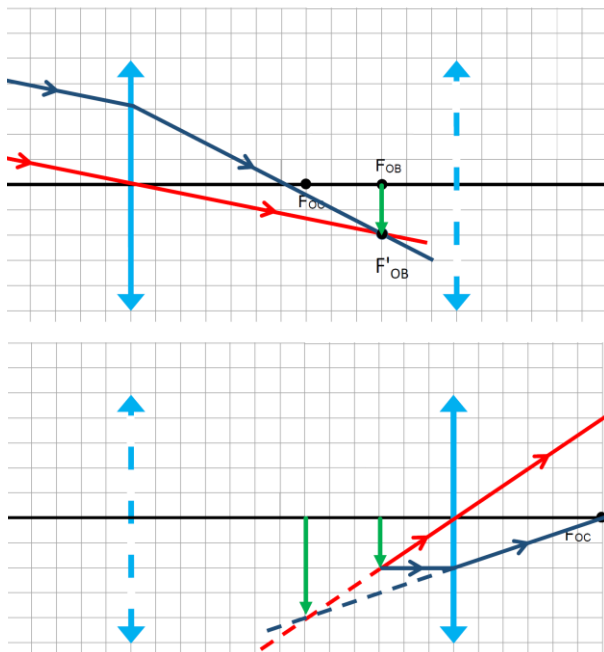
## LUPA

- IMAGEM:
  - VIRTUAL
  - DIREITA
  - MAIOR
  - Mais distante da lente que o objeto
- Qualquer lente convergente pode servir como lupa



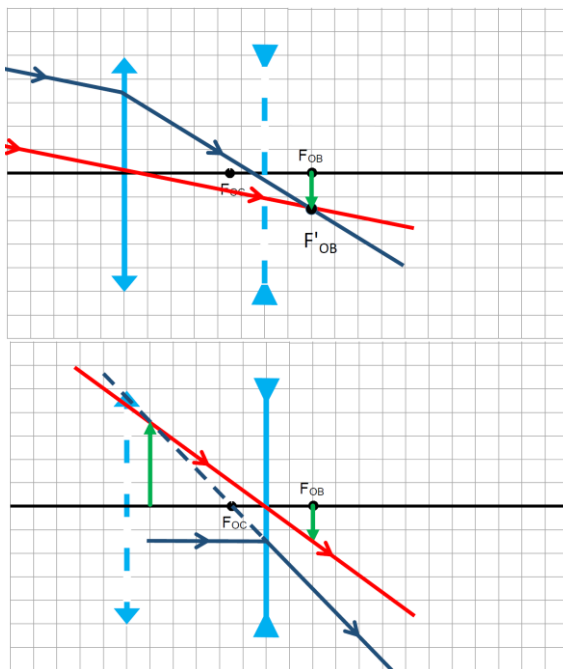
## LUNETAS ASTRONÔMICAS

- IMAGEM:
  - VIRTUAL
  - INVERTIDA
  - MAIOR



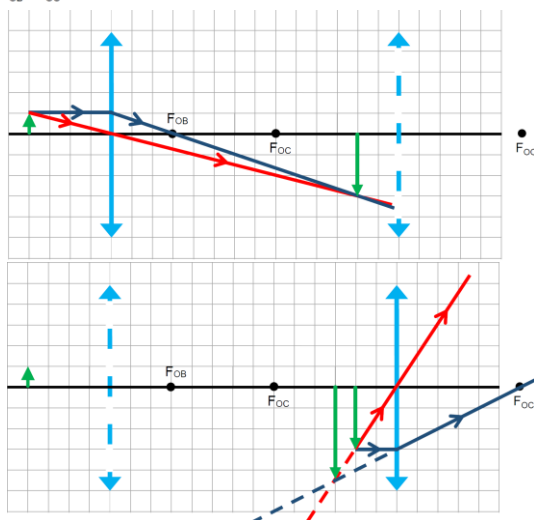
## LUNETA TERRESTRE

- IMAGEM:
  - VIRTUAL
  - DIREITA
  - MAIOR



MICROSCÓPIO

- IMAGEM:
  - VIRTUAL
  - INVERTIDA
  - MAIOR
- AUMENTO:  $A = A_{OB} \cdot A_{OC}$



ENCERRAMOS ÓTICA  
VAMOS AO SEGUNDO ASSUNTO: TERMOMETRIA