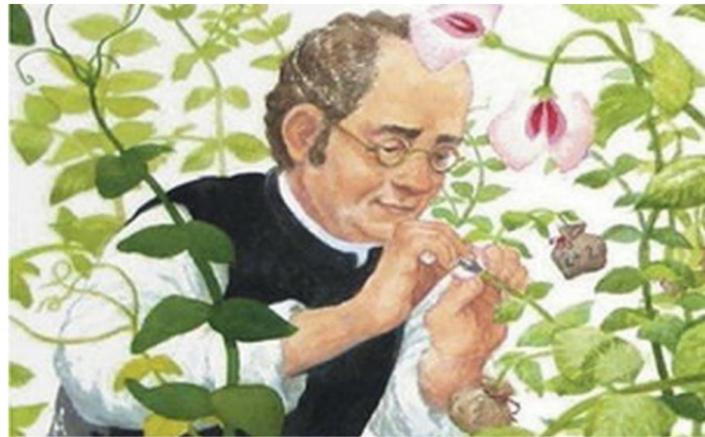


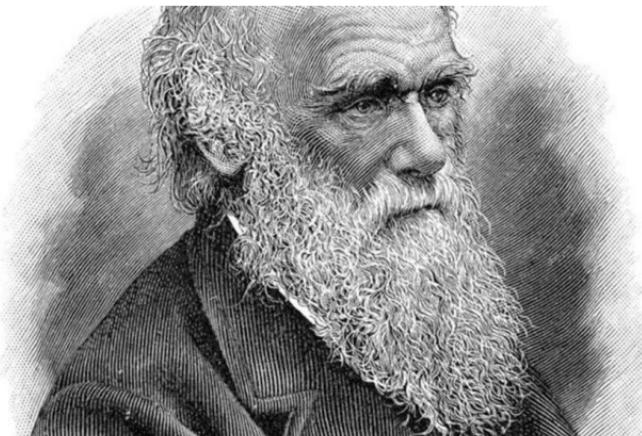
FÍSICA
FRENTE II
Professor Danilo



1º ANO DO ENSINO MÉDIO
Turmas Gregor Mendel e Charles Darwin

Consulte nova versão após 01/Jan/2022 em

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



ÍNDICE

PRIMEIRO BIMESTRE	6
1. INTRODUÇÃO À FRENTES 2	6
a) AVALIAÇÃO.....	6
b) CONTEÚDO PROGRAMÁTICO	6
2. INTRODUÇÃO À FÍSICA.....	6
3. INTRODUÇÃO À ÓPTICA GEOMÉTRICA	7
a) AS CORES DO ARCO-ÍRIS	9
b) TIPOS DE MEIOS.....	9
c) FENÔMENOS ÓPTICOS	9
d) COR DE UM CORPO POR REFLEXÃO	10
4. PRINCÍPIOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA	14
APLICAÇÕES DO PRINCÍPIO DA PROPAGAÇÃO	
RETILÍNEA DA LUZ	14
a) SOMBRA	14
b) PENÚMBRA.....	15
c) CÂMARA ESCURA	15

d) A LUA.....	15
e) ÂNGULO VISUAL	16
5. LEIS DA REFLEXÃO	19
PRIMEIRA LEI DA REFLEXÃO	19
SEGUNDA LEI DA REFLEXÃO	19
6. IMAGENS EM ESPELHOS PLANOS	20
IMAGENS DE OBJETOS PONTUAIS	20
IMAGENS DE OBJETOS EXTENSOS	21
7. TAMANHO MÍNIMO DE UM ESPELHO PARA SE VER POR COMPLETO.....	21
8. CAMPO VISUAL	22
9. TRANSLAÇÃO DE UM ESPELHO PLANO	23
10. ROTAÇÃO DE UM ESPELHO PLANO	23
11. IMAGEM FORMADA POR DOIS ESPELHOS	24
12. OS ESPELHOS ESFÉRICOS.....	26
a) DEFINIÇÃO, ELEMENTOS E REPRESENTAÇÃO	26
b) RAIOS NOTÁVEIS	27

RAIOS NOTÁVEIS NO ESPELHO CÔNCAVO	27	17. MIRAGEM E ELEVAÇÃO APARENTE DOS ASTROS	43
RAIOS NOTÁVEIS NO ESPELHO CONVEXO	28	(A) Posição aparente dos astros	43
c) FORMAÇÃO DE IMAGENS: CONSTRUÇÃO GEOMÉTRICA ...	29	(B) Miragem.....	43
d) FORMAÇÃO DE IMAGENS: EQUAÇÃO DE GAUSS.....	32	18. DISPERSÃO CROMÁTICA.....	45
i – O REFERENCIAL DE GAUSS	32	19. PRISMAS.....	47
ii – PADRÕES IMPORTANTES.....	32	(A) Prisma – introdução.....	47
iii – EQUAÇÃO DE GAUSS:.....	33	(B) Dispersão	48
iv – EQUAÇÃO DO AUMENTO LINEAR TRANSVERSAL (A) ..	33	(C) Desvio mínimo	49
13. REFRAÇÃO E LEI DE SNELL-DESCARTES	35	20. LENTES ESFÉRICAS	50
a) VELOCIDADE DA LUZ.....	35	(A) DIOPTRO ESFÉRICO	50
b) PRINCÍPIO DE FERMAT.....	37	(B) NOMENCLATURA	51
c) LEI DE SNELL-DESCARTES	37	(D) RAIOS NOTÁVEIS.....	56
14. DIOPTRO PLANO E REFLEXÃO TOTAL	38	(E) FORMAÇÃO DE IMAGENS.....	60
Dioptrô plano.....	38	(F) FOCO SECUNDÁRIO	67
Reflexão Total.....	40	(G) REFERENCIAL DE GAUSS	68
15. LÂMINAS DE FACES PARALELAS	41	21. EQUAÇÃO DOS FABRICANTES DE LENTES.....	71
16. FIBRA ÓPTICA	42		

22.	ASSOCIAÇÃO DE LENTES	72	(D) DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA.....	95
23.	ASSOCIAÇÃO DE LENTES COM ESPELHOS	73	(E) COMPORTAMENTO ANÔMALO DA ÁGUA.....	96
24.	ÓPTICA DA VISÃO	74	3. CALORIMETRIA	97
25.	AMETROPIAS (PROBLEMAS DA VISÃO)	76	(A) CALOR SENSÍVEL	97
26.	INSTRUMENTOS ÓPTICOS.....	79	(B) CURVAS DE AQUECIMENTO	98
	SEGUNDO SEMESTRE	83	(C) CAPACIDADE TÉRMICA.....	98
	TERMOMETRIA	83	(D) POTÊNCIA TÉRMICA.....	98
1.	ESCALAS TERMOMÉTRICAS	83	(E) TROCAS DE CALOR.....	99
	(A) PRINCIPAIS ESCALAS	84	(F) CALOR LATENTE.....	99
	(B) CONVERSÃO CÉLSIUS E FAHRENHEIT	85	(G) DIAGRAMAS DE FASE.....	101
	(C) CONVERSÃO CÉLSIUS E KELVIN	87	4. TRANSMISSÃO DE CALOR	101
	(D) VARIAÇÃO DE TEMPERATURA.....	88	(A) TIPOS DE TRANSMISSÃO DE CALOR	101
	(E) TERMÔMETRO DE VALOR MÁXIMO	88	(B) CONDUÇÃO	101
2.	DILATAÇÃO TÉRMICA	89	(C) TRANSMISSÃO POR CONVEÇÃO.....	103
	(A) INTRODUÇÃO	89	(D) TRANSMISSÃO POR IRRADIAÇÃO	105
	(B) DILATAÇÃO LINEAR	90		
	(C) DILATAÇÃO SUPERFICIAL.....	94		

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 e terceira em 2021), que está sendo revisada, revista e reformulada ao longo de 2021 e você pode contribuir com isso enviando e-mail para o professor Danilo para:

dani@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, 21 janeiro de 2020.

NOTA DO AUTOR AOS ALUNOS

O material de 2021 não será idêntico ao material de 2019 portanto apesar deste material estar completo, com resumos e figuras, recomendo fortemente que copie o conteúdo da sala de aula e use este arquivo mais como um apoio e para poder visualizar alguns links utilizados em aula pelo professor.

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

Erratas e contato com o professor: dani@professordanilo.com

Campinas, 21 janeiro de 2021.

PRIMEIRO BIMESTRE

1. INTRODUÇÃO À FRENTE 2

a) AVALIAÇÃO

- Apenas provas

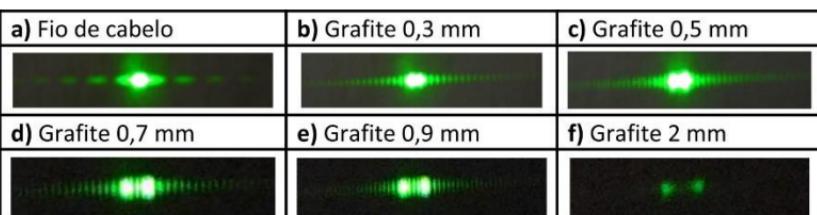
b) CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

- Frente 2
 - Parte 1: Óptica
 - 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

- 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
- Óptica
 - 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)

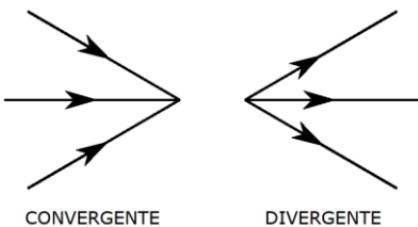


Fonte: <http://www.scielo.br/img/revistas/rbef/v37n4//0102-4744-rbef-37-4-4311-gf04.jpg>

- 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 ÓPTICA GEOMÉTRICA

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



CONVERGENTE

DIVERGENTE

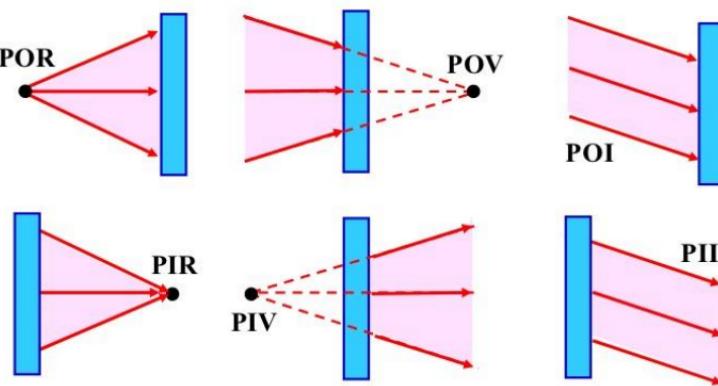
PARALELO

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:

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

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

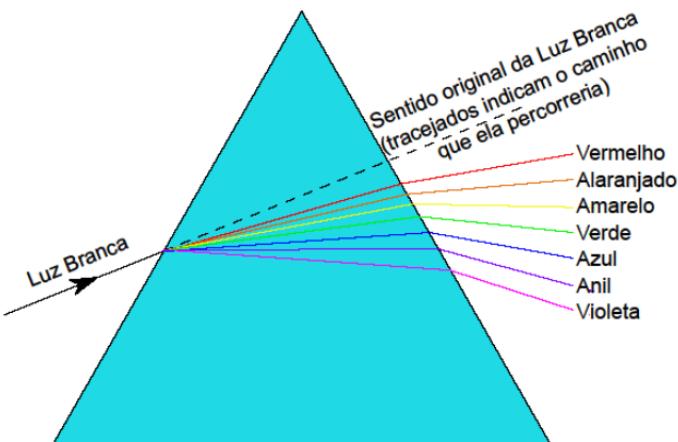


a) AS CORES DO ARCO-ÍRIS

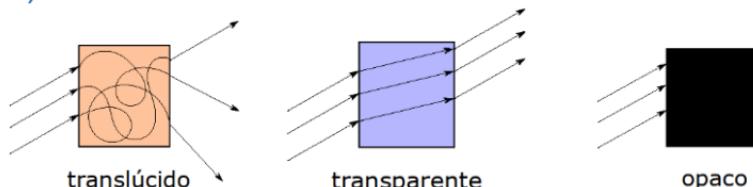
- DECORE:

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

VAAVAAV



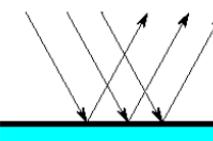
b) TIPOS DE MEIOS

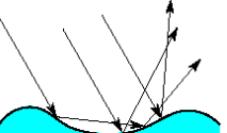
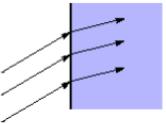
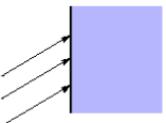
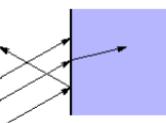


- Exemplos de meios
 - Translúcidos
 - Vidro canelado, papel de seda etc.
 - Transparentes
 - Lâmina de água limpa, vidro liso, ar etc.
 - Opacos
 - Cimento, lousa, madeira etc.

c) FENÔMENOS ÓPTICOS

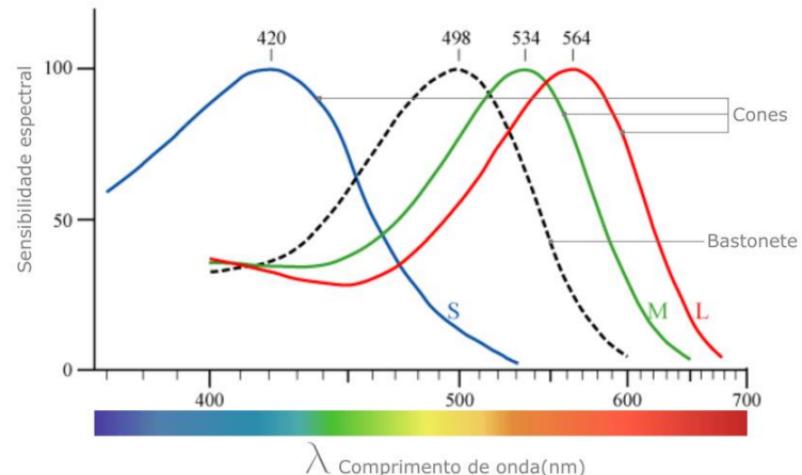
- REFLEXÃO: quando a luz incide em um objeto e volta para o meio de propagação original, como quando incidimos uma luz laser no espelho.
 - Reflexão regular
 - Feixe paralelo incidente em uma superfície plana e polida mantém o paralelismo



- 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*)
- Cores primárias aditivas
 - Chamamos de cores primárias aditivas estas três cores (RGB) que sensibilizam os cones
 - Se misturarmos todas elas obtém o branco
 - Disco de Newton ([vídeo YouTube](#))
 - *Inkscape* (download e explicações pelo programa)



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

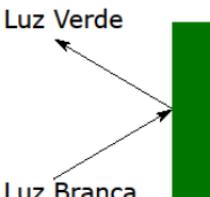
• Cores primárias subtrativas

- A vida real é mais complicada: as cores primárias das tintas são
 - 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

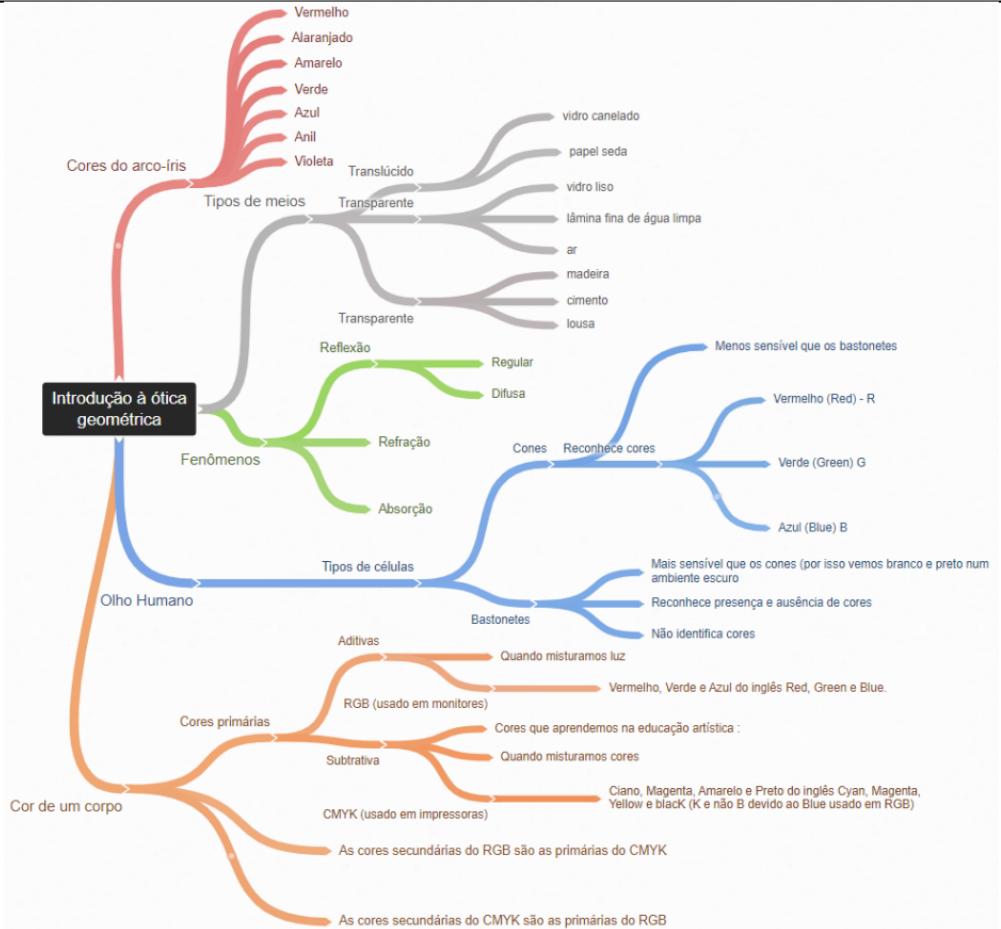
- *black* (Preto – Key)
 - Absorve Todas as cores
- Abreviando: CMYK
- Note que se misturarmos:
 - CIANO e MAGENTA as cores Vermelho e Verde serão absorvidas, restando apenas o AZUL
 - MAGENTA e AMARELO as cores Verde e Azul serão absorvidas, restando apenas o VERMELHO
 - CIANO e AMARELO as cores Vermelho e Azul serão absorvidas, restando apenas o VERDE
 - Se misturarmos todas as cores, então o Vermelho, o Verde e o Azul serão absorvidos, resultando em preto.

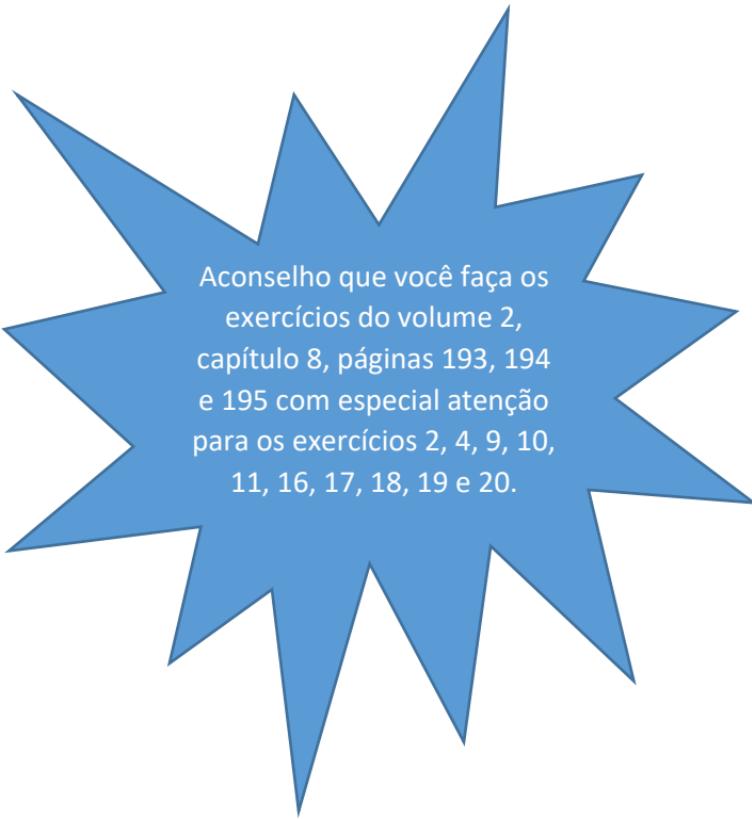
• Pigmentos Puros

- Vamos simplificar as coisas
 - 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





Aconselho que você faça os exercícios do volume 2, capítulo 8, páginas 193, 194 e 195 com especial atenção para os exercícios 2, 4, 9, 10, 11, 16, 17, 18, 19 e 20.

4. PRINCÍPIOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

- Na verdade, não são princípios, pois podem ser demonstrados
- São três “princípios”:
 - 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.

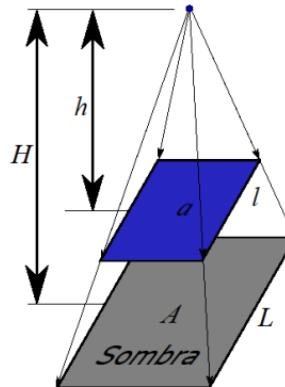
- Princípio da independência dos raios luminosos

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

- Fonte pontual



Semelhança de triângulos

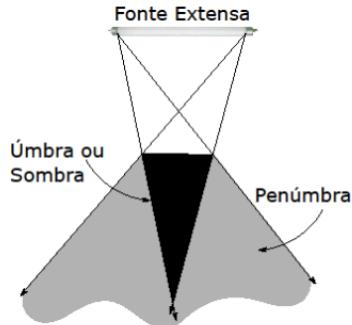
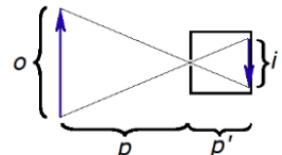
$$\frac{l}{L} = \frac{h}{H} = k$$

Há uma relação também para as áreas:

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

b) PENÚMBRA

- Fonte extensa

**c) CÂMARA ESCURA**

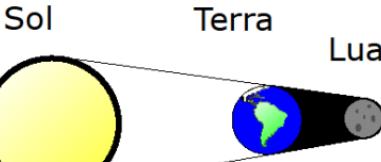
Novamente semelhança de triângulo

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

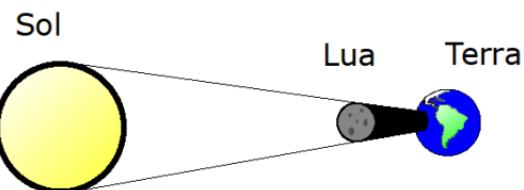
d) A LUA

- ECLIPSES

- LUNAR

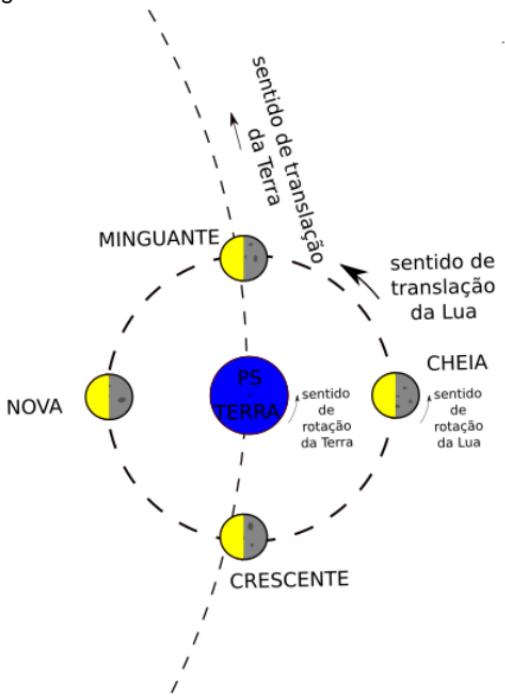


- SOLAR



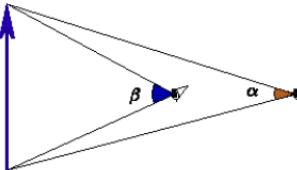
- FASES DA LUA

- 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 dedão para o norte geográfico



e) ÂNGULO VISUAL

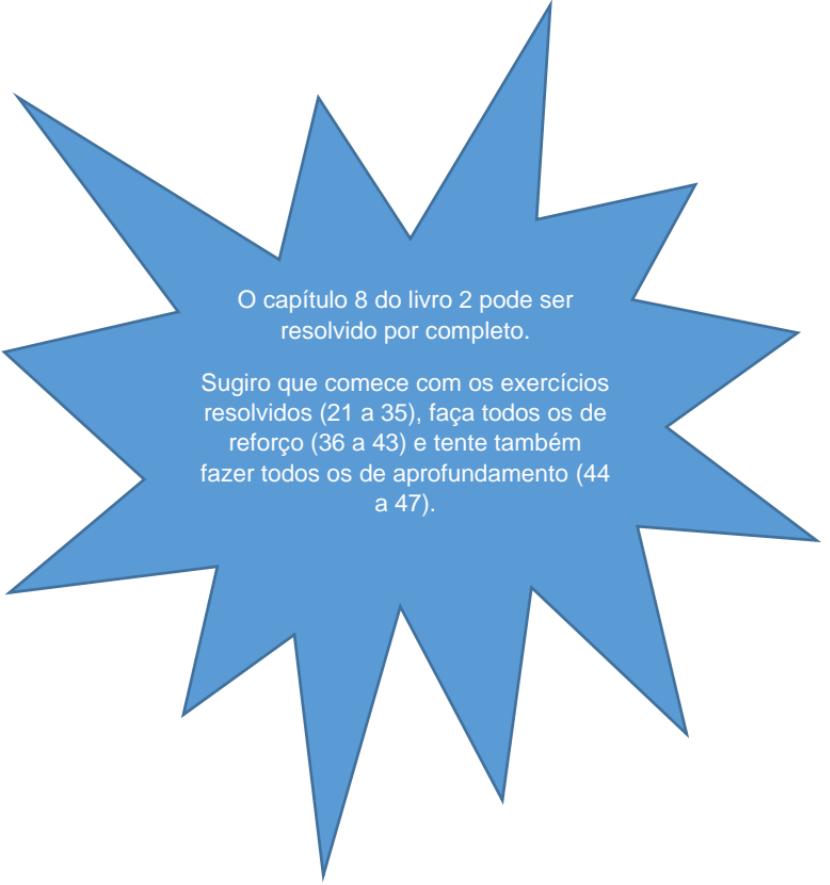
- Ângulo formado entre os raios que saem das extremidades do objeto e atingem o observador



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

Muita atenção ao resolver o exercício 29 da página
201 do livro 2, uma vez que os cálculos estão
incorrectos e a resposta correta é $R = 1,8$ m.

EXERCÍCIOS SUGERIDOS NA PÁGINA A SEGUIR



O capítulo 8 do livro 2 pode ser resolvido por completo.

Sugiro que comece com os exercícios resolvidos (21 a 35), faça todos os de reforço (36 a 43) e tente também fazer todos os de aprofundamento (44 a 47).

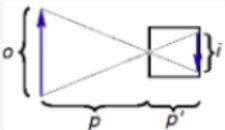
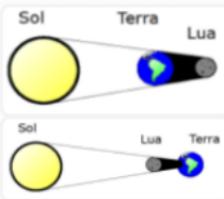
Princípios da ótica geométrica

Propagação retilínea da luz: em meios homogêneos e transparente, a luz se propaga em linha reta.

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.

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.

Eclipse



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

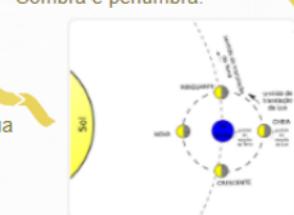
Princípios da ótica geométrica

Aplicações

Sombras: semelhança de triângulos

Sombra é a região do espaço a partir da qual não se pode ver a fonte de luz

Penumbra é a região do espaço a partir da qual se pode ver parte da fonte. Por isso penumbras só podem ser produzidas se a fonte de luz for extensa.



Fases da Lua

5. LEIS DA REFLEXÃO

PRIMEIRA LEI DA REFLEXÃO

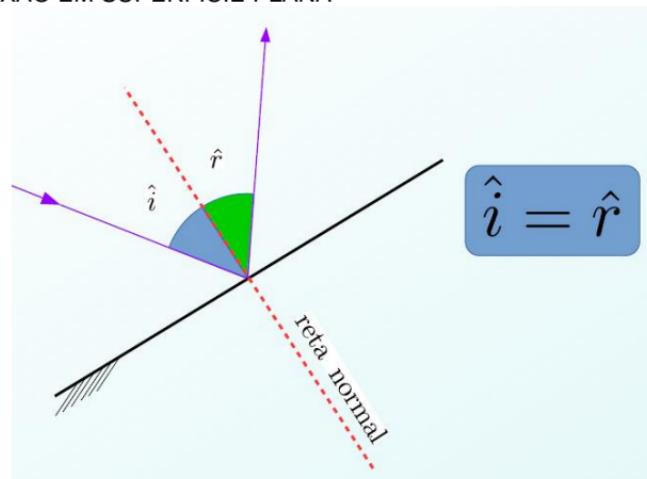
O raio refletido, a normal e o raio incidente estão situados no mesmo plano.

SEGUNDA LEI DA REFLEXÃO

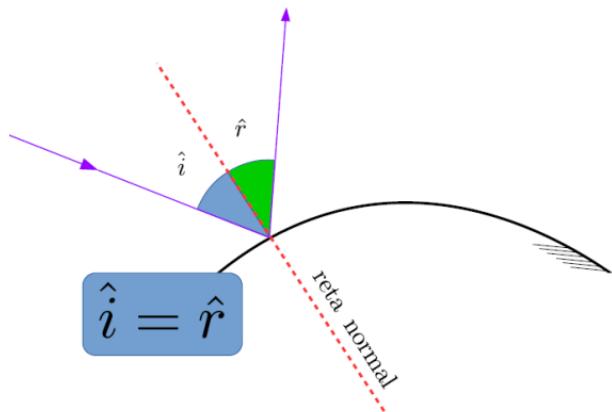
O ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência.

O “RESTO” É GEOMETRIA...

REFLEXÃO EM SUPERFÍCIE PLANA



REFLEXÃO EM SUPERFÍCIE CURVA

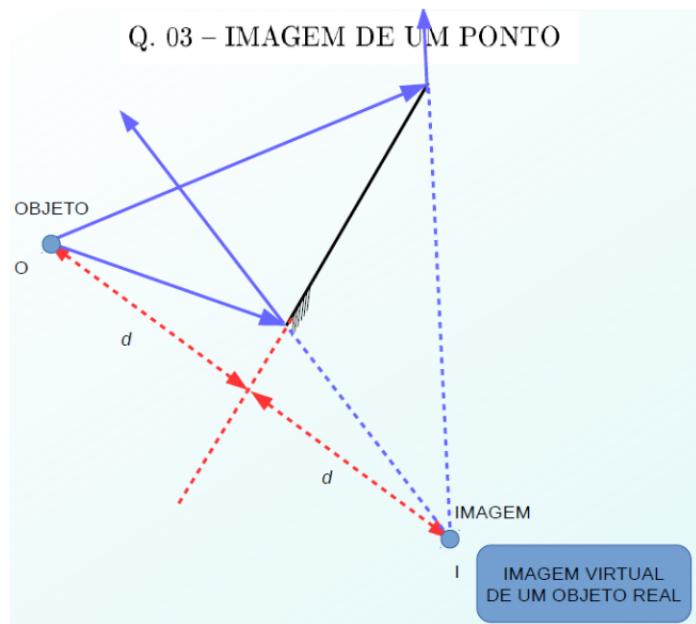


No SisQ, faça os exercícios de 1 à 8 da lista “Os Espelhos Planos”.

6. IMAGENS EM ESPELHOS PLANOS

IMAGENS DE OBJETOS PONTUAIS

Q. 03 – IMAGEM DE UM PONTO

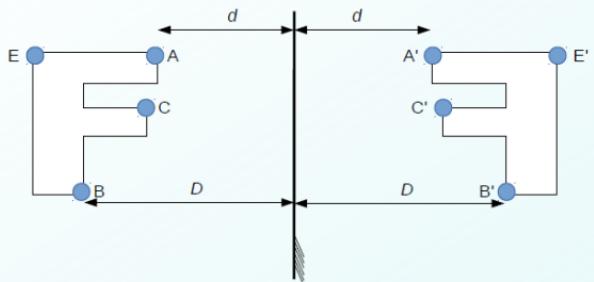


I IMAGEM VIRTUAL
DE UM OBJETO REAL

O capítulo 9 do livro 2 pode ser resolvido por completo.

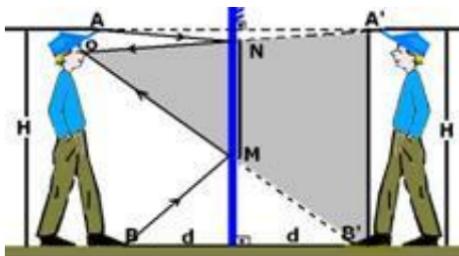
Faça os exercícios de 1 à 10 da página 208 a 211.

IMAGENS DE OBJETOS EXTENSOS



UMA FORMA ALTERNATIVA É ESCREVER EM UM PAPEL E OLHAR NO VERSO.
OU, OLHAR NO ESPELHO :p

O nome disso é ENANTIOMORFISMO!

7. TAMANHO MÍNIMO DE UM
ESPELHO PARA SE VER POR
COMPLETO

Sabe-se que eu tenho altura H e estou a uma distância d do espelho.

Qual o tamanho mínimo de um espelho para que eu possa me ver por completo? O tamanho do espelho depende da distância d ?

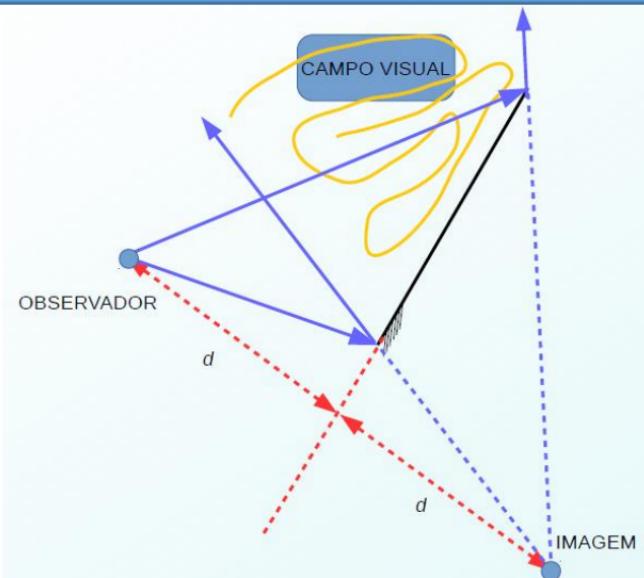
$$\frac{H}{MN} = \frac{2d}{d} \Rightarrow MN = \frac{H}{2}$$

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

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

8. 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.

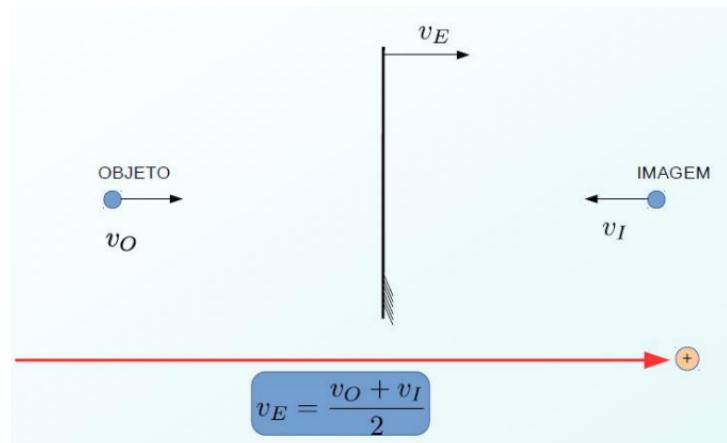


No SisQ, faça os exercícios de 9 à 40 da lista “Os Espelhos Planos”.

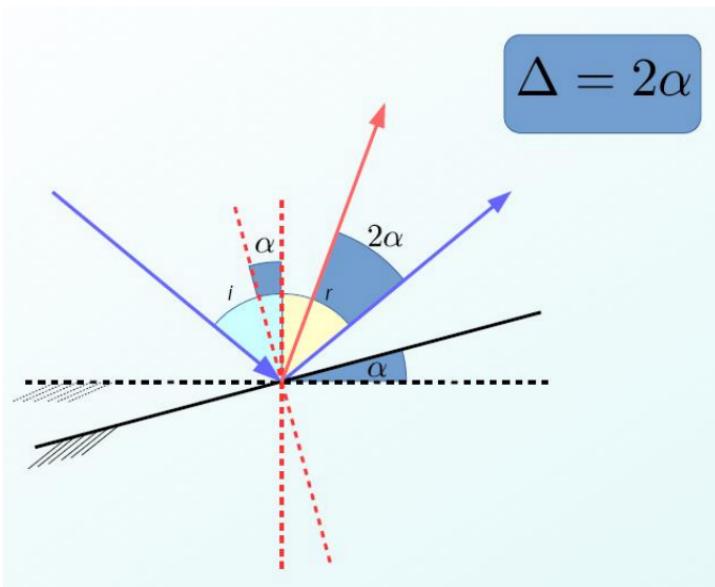
O capítulo 9 do livro 2 pode ser resolvido por completo.

Faça os exercícios de 11 à 32 da página 213 a 219.

9. TRANSLAÇÃO DE UM ESPelho PLANO

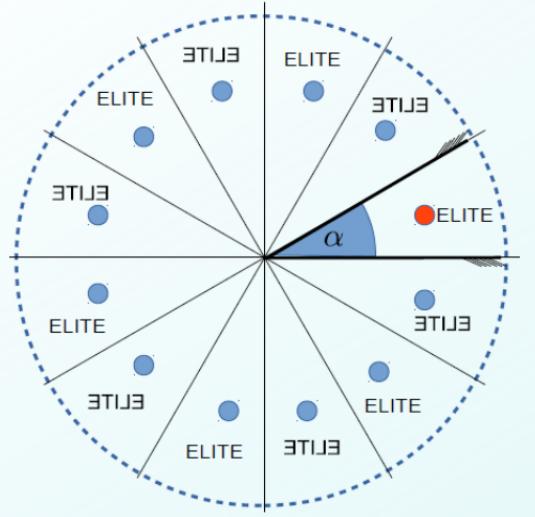


10. ROTAÇÃO DE UM ESPelho PLANO



11. IMAGEM FORMADA POR DOIS ESPELHOS

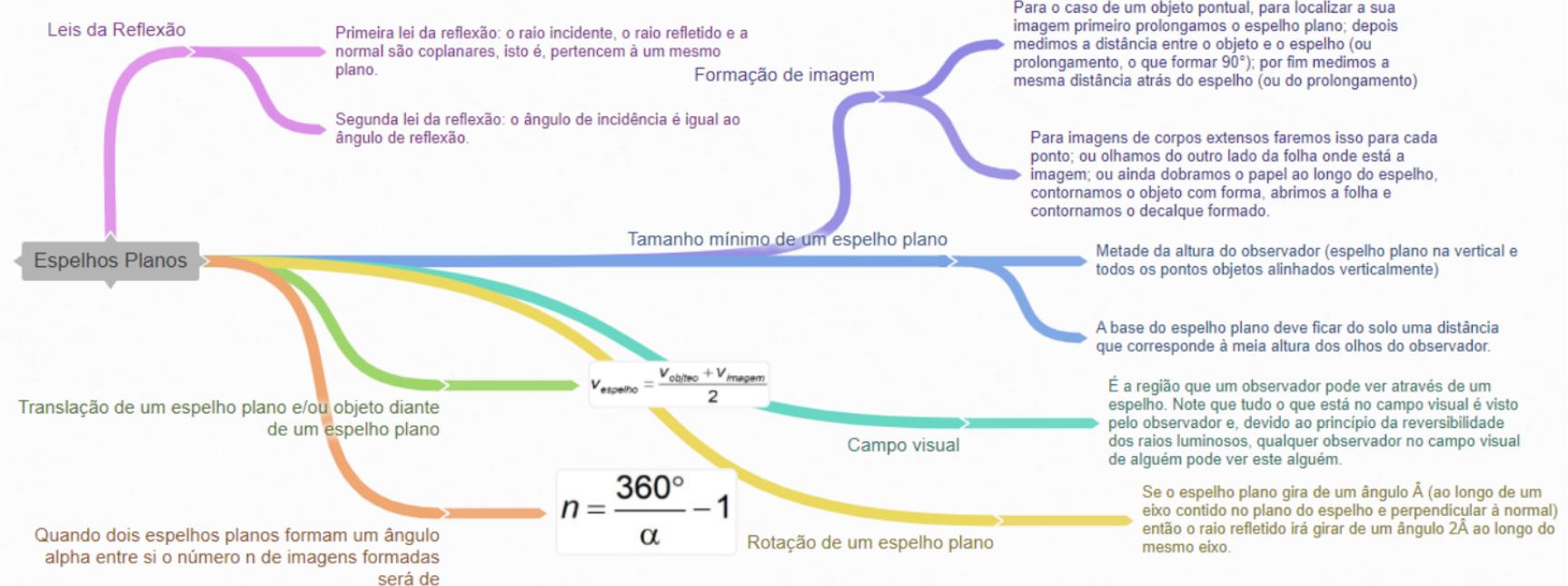
$$\text{número de setores} = \frac{360^\circ}{\alpha}$$



No SisQ, faça os exercícios
de 41 à 57 da lista “Os
Espelhos Planos”.

O capítulo 9 do livro 2 pode ser
resolvido por completo.

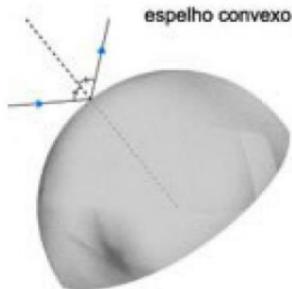
Faça os exercícios de 33 à 65 da
página 222 a 234.



12. OS ESPERROS ESFÉRICOS

a) DEFINIÇÃO, ELEMENTOS E REPRESENTAÇÃO

- Definição

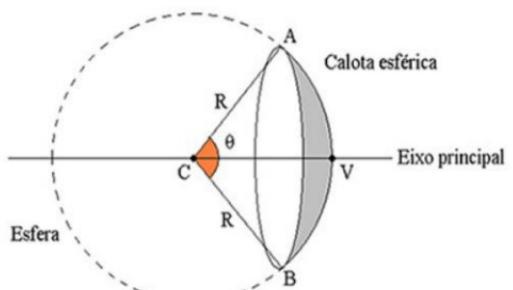


espelho convexo

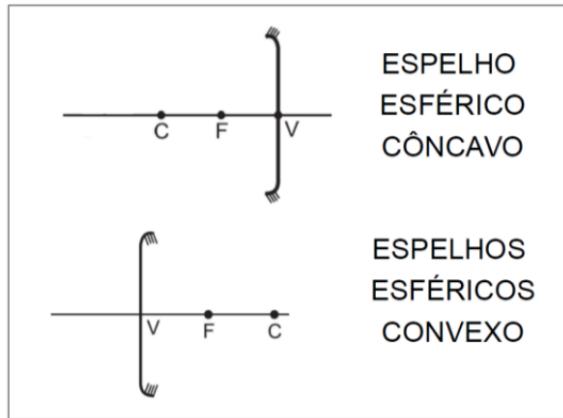


espelho côncavo

- Elementos do espelho esférico



- Representação usual



ESPELHO
ESFÉRICO
CÔNCAVO

ESPELHOS
ESFÉRICOS
CONVEXO

- 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 θ é muito pequeno ($\theta < 15$ graus) dizemos que o espelho é gaussiano

b) RAIOS NOTÁVEIS

RAIOS NOTÁVEIS NO ESPELHO CÔNCAVO

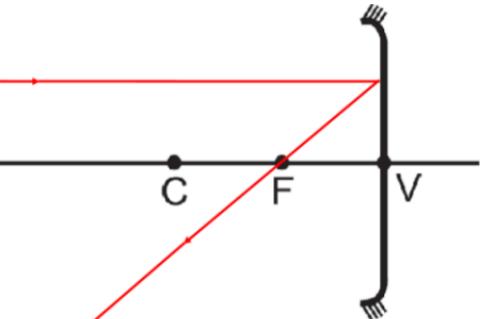


Figura 1: raio incidindo paralelamente ao eixo principal e saindo passando pelo foco

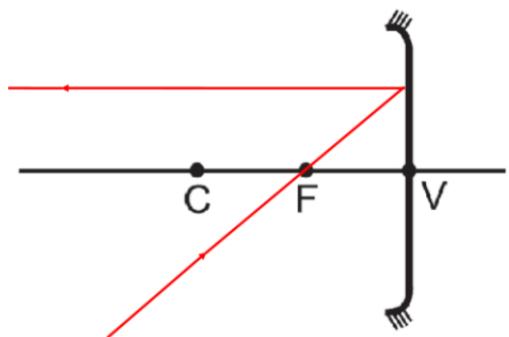


Figura 2: raio incidindo no foco e saindo paralelo ao eixo principal.

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.

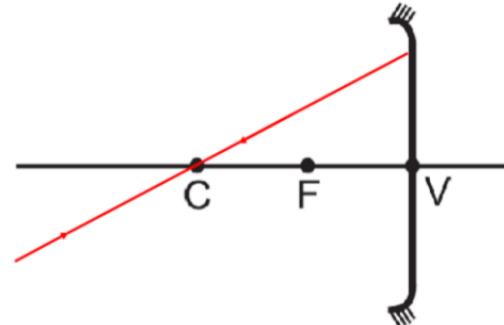


Figura 3: raio incidindo passando pelo centro do espelho e voltando pelo mesmo caminho

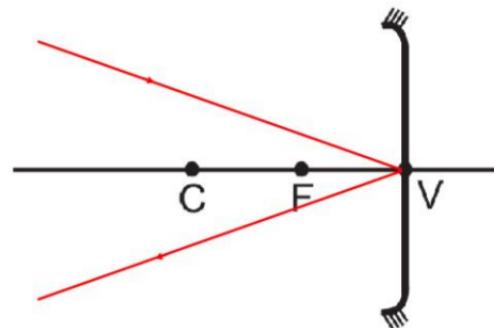


Figura 4:raio incidindo no vértice V do espelho. O ângulo entre o raio incidente e o eixo principal é igual ao ângulo entre o raio emergente (raio refletido) e o eixo principal

RAIOS NOTÁVEIS NO ESPELHO CONVEXO

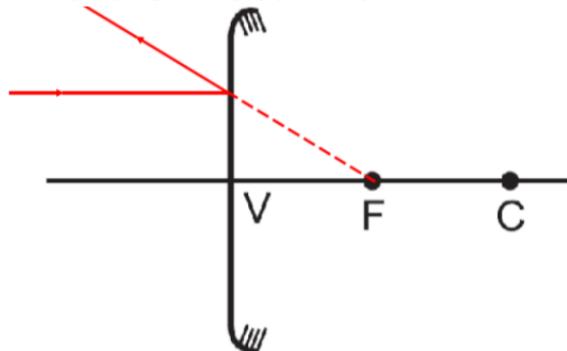


Figura 5: raio incidindo paralelamente ao eixo principal sairá na direção do foco. Note que o raio refletido não pode passar sobre o foco.

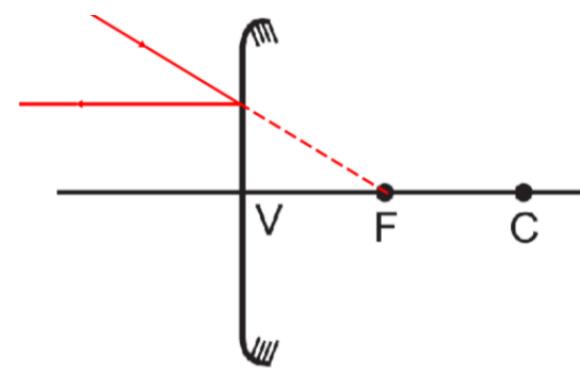


Figura 6: raio incidindo na direção do foco do espelho sai paralelamente ao eixo principal

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

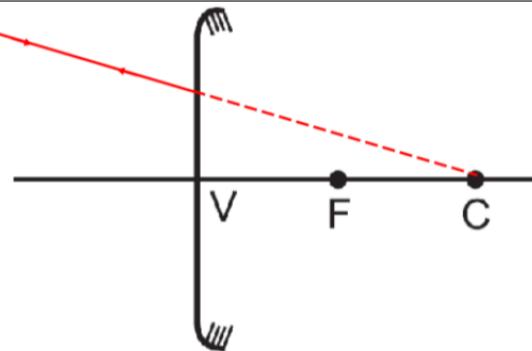


Figura 7: raio incidindo na direção do centro de curvatura volta pelo mesmo caminho que chegou

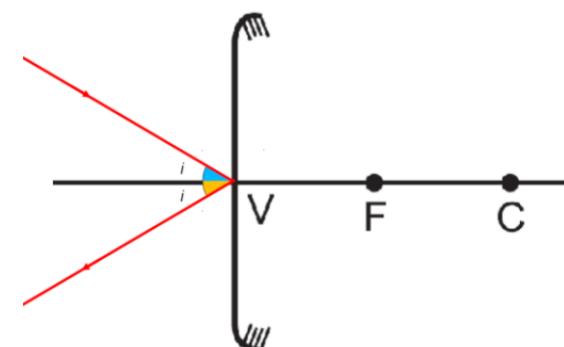


Figura 8: raio incidindo no vértice V do espelho. O ângulo entre o raio incidente e o eixo principal é igual ao ângulo entre o raio emergente (raio refletido) e o eixo principal

c) FORMAÇÃO DE IMAGENS: CONSTRUÇÃO GEOMÉTRICA

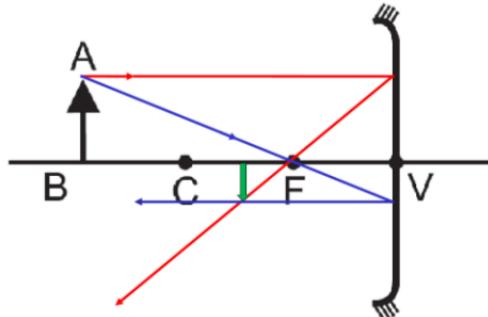


Figura 9: objeto além do centro de curvatura C no espelho esférico côncavo. [Natureza: real; Orientação: invertida; Tamanho: menor.]

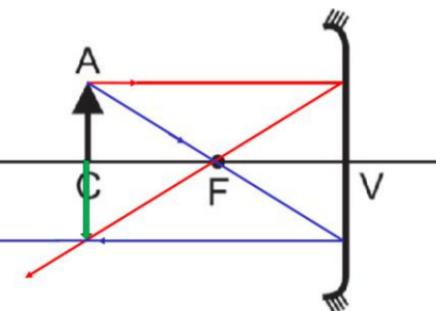


Figura 10: objeto localizado exatamente sobre o centro de curvatura C do espelho esférico côncavo. [Natureza: real; Orientação: invertida; Tamanho: igual]

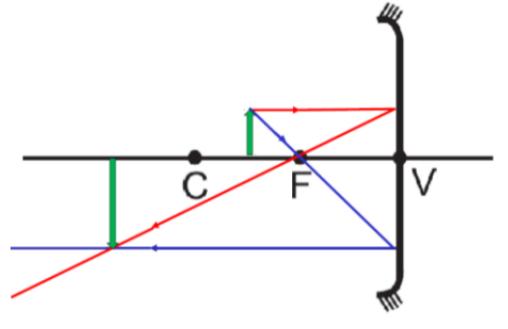


Figura 11: objeto entre o centro de curvatura C e o foco F de um espelho esférico côncavo. [Natureza: real; Orientação: invertida; Tamanho: maior.]

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.

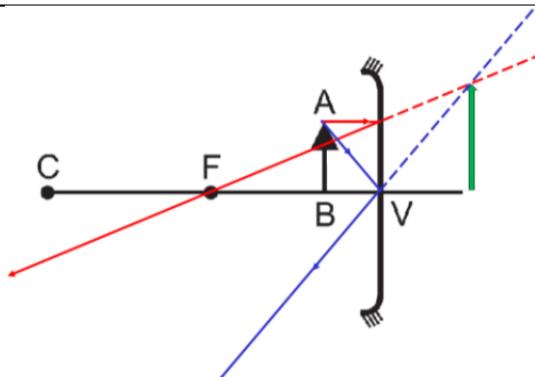


Figura 12: objeto entre o foco e o vértice V de um espelho esférico côncavo. [Natureza: virtual; Orientação: direita; Tamanho: maior.]

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.

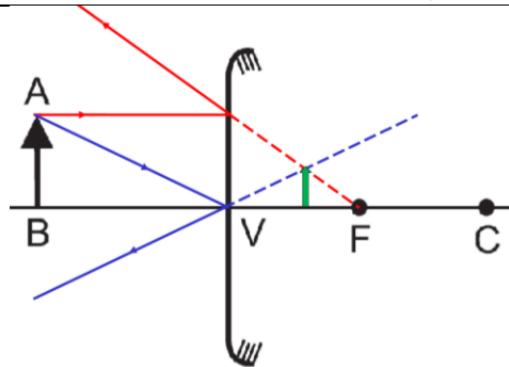
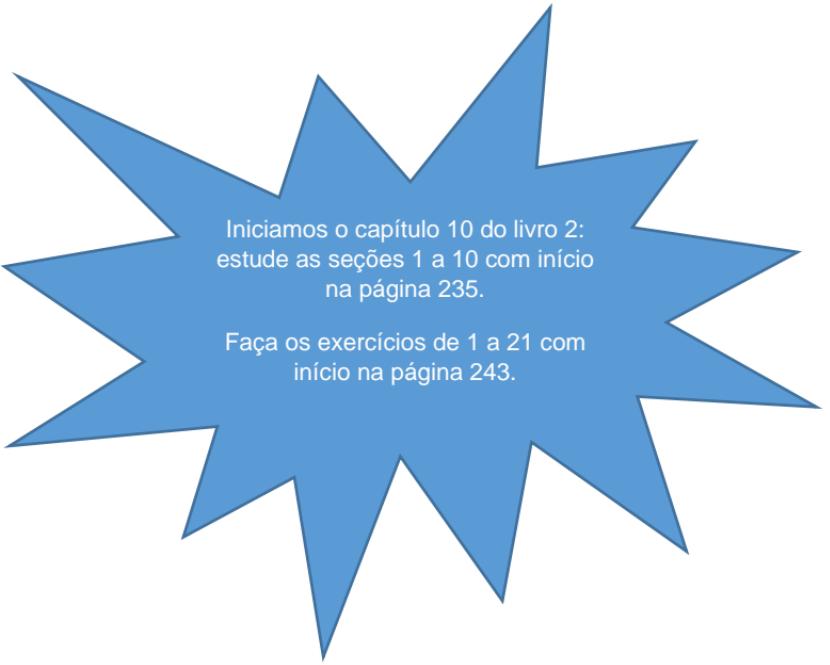


Figura 13: objeto diante de um espelho esférico convexo. Todos os casos de formação de imagem para um objeto em frente à um espelho esférico convexo serão iguais. [Natureza: virtual; Orientação: direita; Tamanho: menor.]

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”.



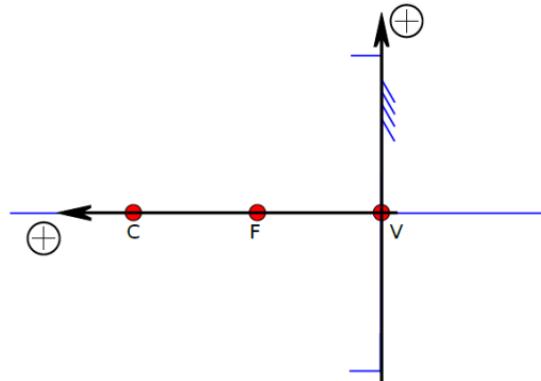
Iniciamos o capítulo 10 do livro 2:
estude as seções 1 a 10 com início na página 235.

Faça os exercícios de 1 a 21 com início na página 243.

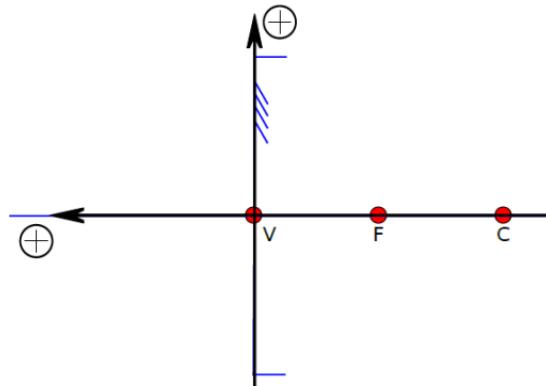
d) FORMAÇÃO DE IMAGENS: EQUAÇÃO DE GAUSS

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:

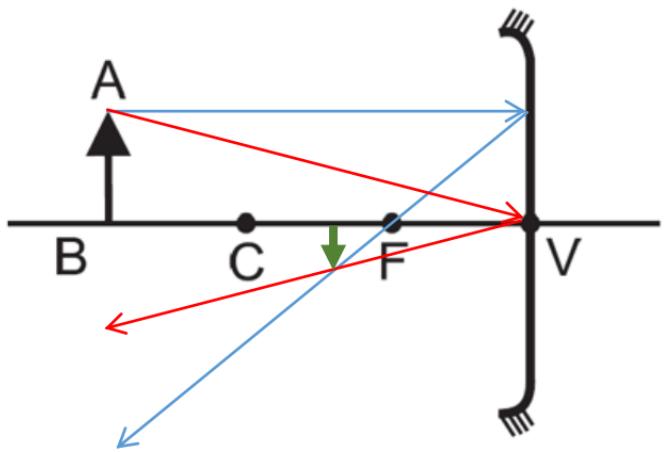
$f > 0$: Espelho Côncavo

$f < 0$: Espelho Convexo

iii – EQUAÇÃO DE GAUSS:

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

iv – EQUAÇÃO DO AUMENTO LINEAR TRANSVERSAL (A)



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

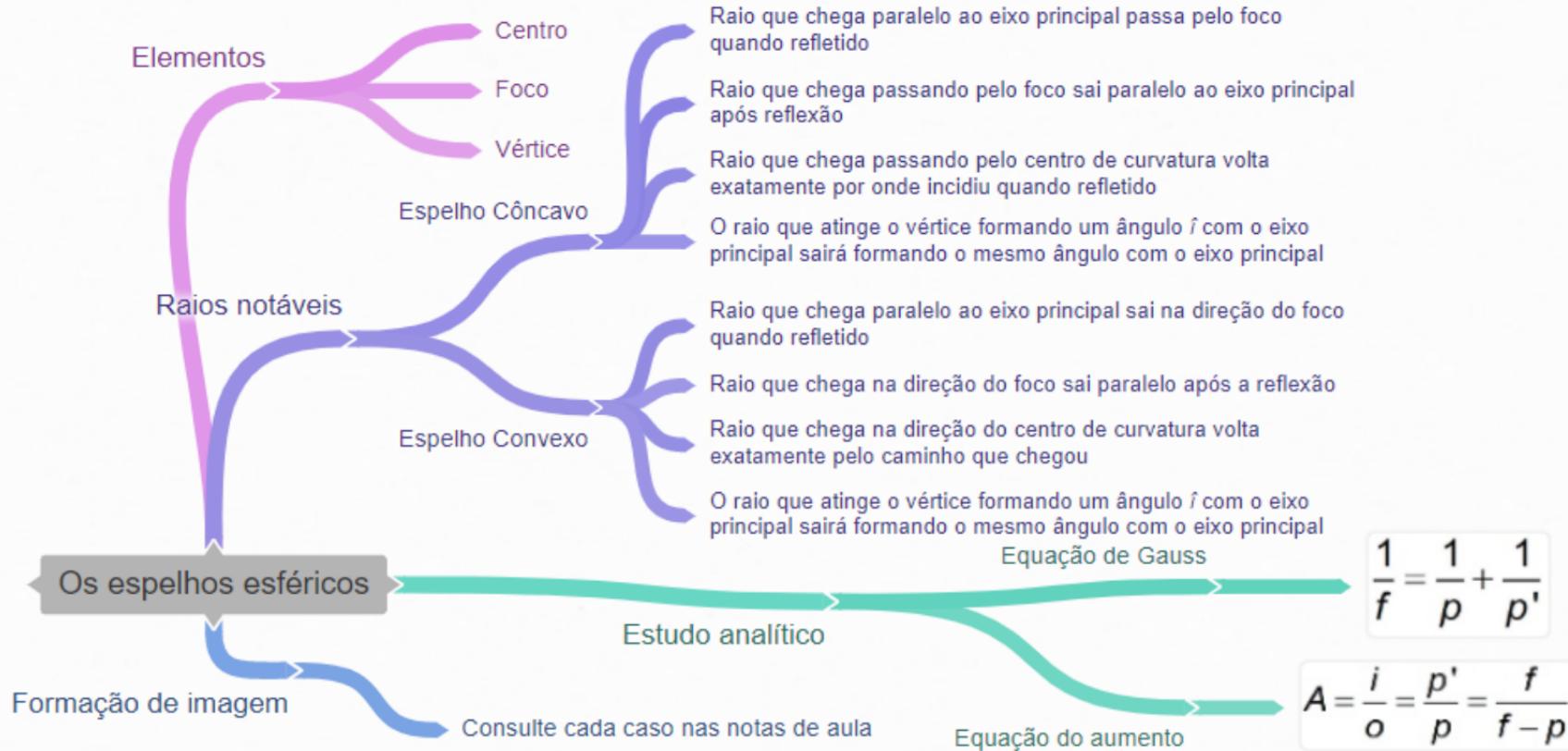
$$A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} = \frac{f}{f-p}$$

No SisQ, faça os exercícios de 22 a 55 da lista “Os Espelhos Esféricos”.

O 54 é um bom desafio e **não** está com o gabarito errado.

Continuando o capítulo 10 do livro 2: estude as seções 11 a 12 com início na página 250.

Faça os exercícios de 22 a 57 com início na página 254.



13. REFRAÇÃO E LEI DE SNELL-DESCARTES

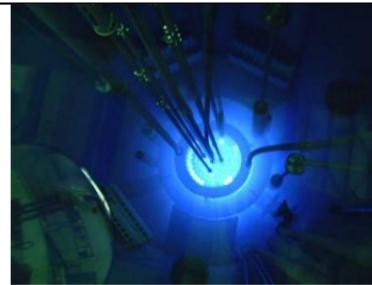
a) VELOCIDADE DA LUZ

- 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).



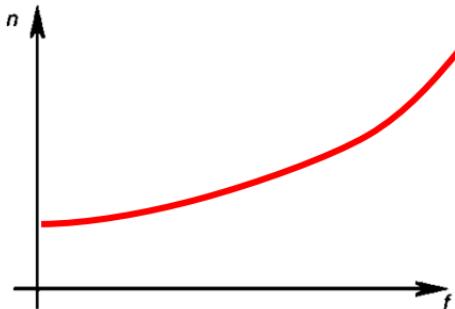
Fonte: <http://cienciasxreligiao.blogspot.com.br/2013/03/o-universo-dos-taquions-parte-3.html>

- 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

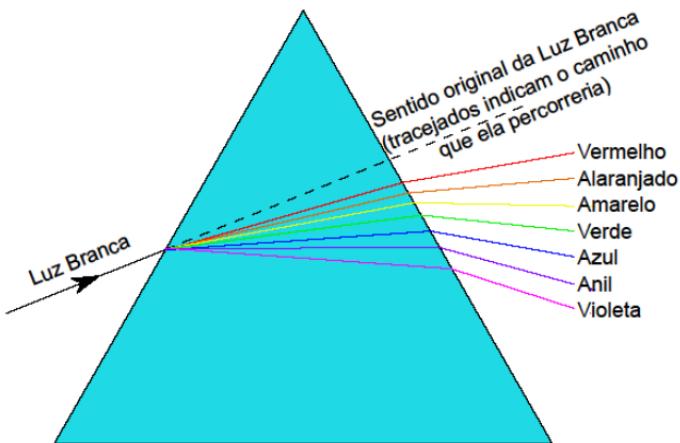


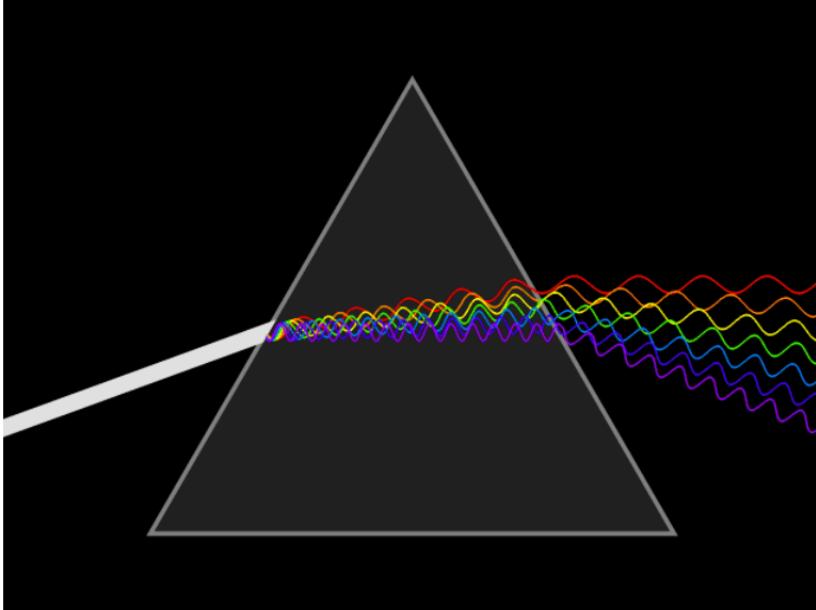
Índice de refração do vidro crown	
Cor	Índice
Violeta	1,532
Azul	1,528
Verde	1,519
Amarelo	1,517
Alaranjado	1,514
Vermelho	1,513

- 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

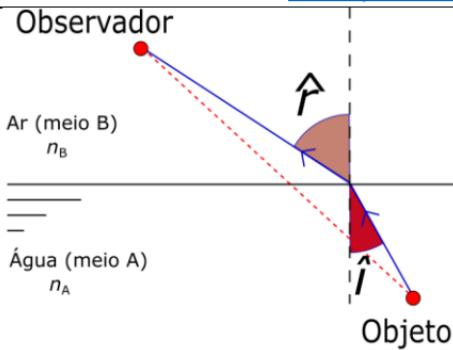
$$n_{AB} = \frac{n_A}{n_B}$$





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 refringentes 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:

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

14. DIOPTRO PLANO E REFLEXÃO TOTAL

Dioptro plano

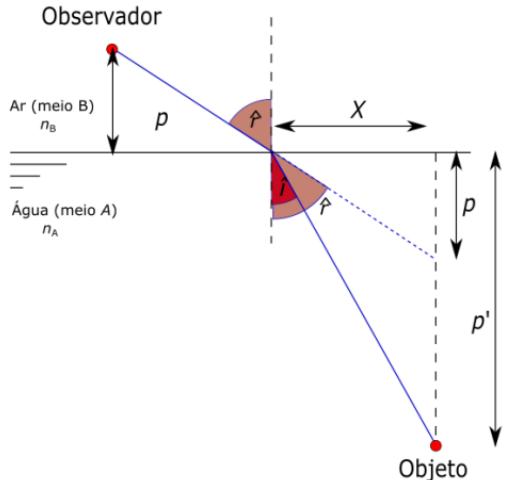
- A interface entre dois meios com propriedades ópticas diferentes, como água e ar, é chamado de dioptro. Vamos estudar agora o caso em que essa interface é plana.
- Quando o observador em um meio A com índice de refração n_A olha um objeto dentro de um outro meio com índice de refração n_B de tal forma 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

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

Resolva os exercícios de 1 a 22 do capítulo 11, livro 2.

Sugiro a leitura do capítulo 11.3 sobre índice de refração relativo.

\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 dioptrômetro:

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

$$\boxed{\frac{n_A}{n_B} \approx \frac{p'}{p}}$$

Esta é a equação do dioptro 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

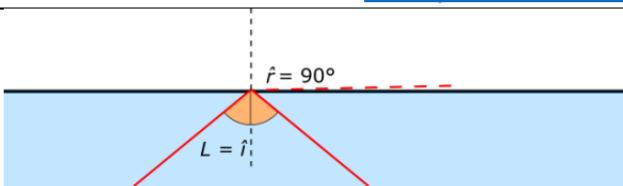
- Imagine um raio de luz indo do meio mais para o meio menos refringente.
- Aumentando-se o ângulo de incidência aumenta-se o ângulo de refração.
- Existe um ângulo chamado de ângulo limite \hat{L} tal que se o raio incidente refratar e sai formando um ângulo $\hat{r} = 90^\circ$. Assim, se $\hat{i}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



Quando o raio incide com um determinado ângulo, o raio refratado deveria sair formando um ângulo de 90° .

Essa é uma condição tal que o raio incidente sofre reflexão total.

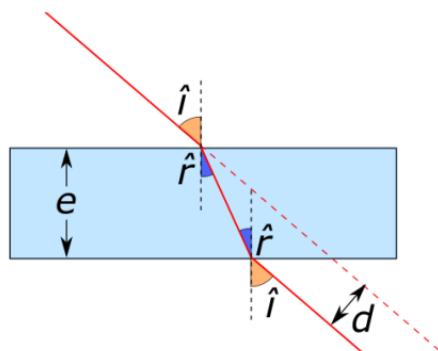
Chama-se reflexão total porque TODO o raio incidente é refletido.

Lembre-se que geralmente os fenômenos de reflexão e refração ocorrem simultaneamente.

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

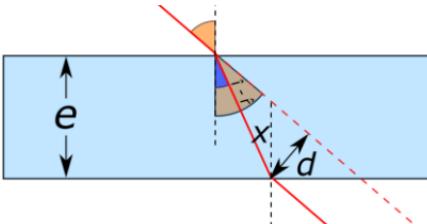
15. LÂMINAS DE FACES PARALELAS

- 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:

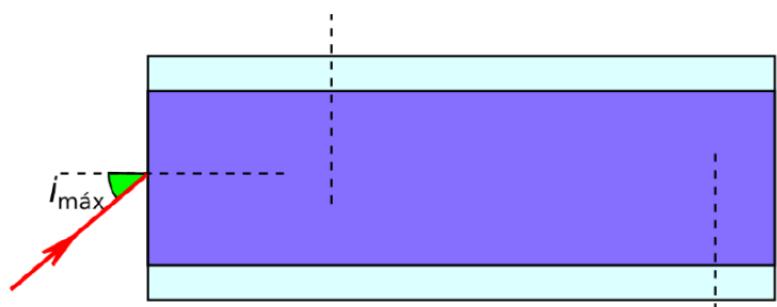
$$\begin{cases} \cos \hat{r} = \frac{e}{x} \\ \sin(\hat{i} - \hat{r}) = \frac{d}{x} \end{cases} \Rightarrow$$

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

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

16. 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 “aprisionada” dentro de um meio óptico



- Seja uma fibra óptica 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.

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

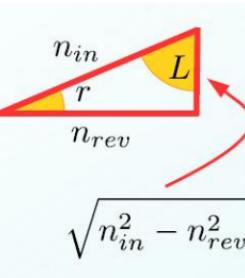
$$\text{sen} r = \frac{n_{\text{ar}} \cdot \text{sen} i_{\text{máx}}}{n_{\text{in}}}$$

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

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

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

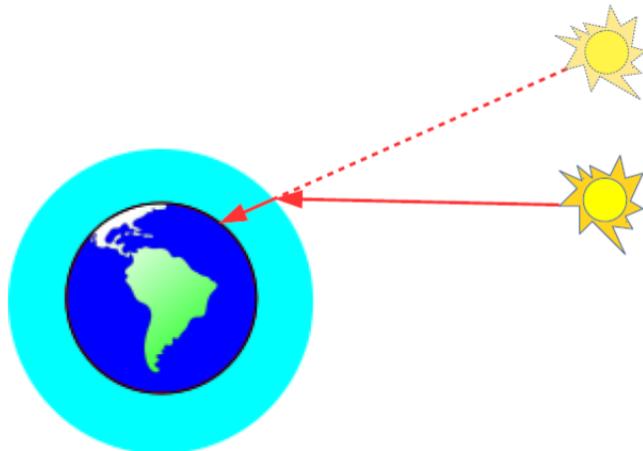
Usamos o triângulo a seguir para finalizar as contas:



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

17. MIRAGEM E ELEVAÇÃO APARENTE DOS ASTROS

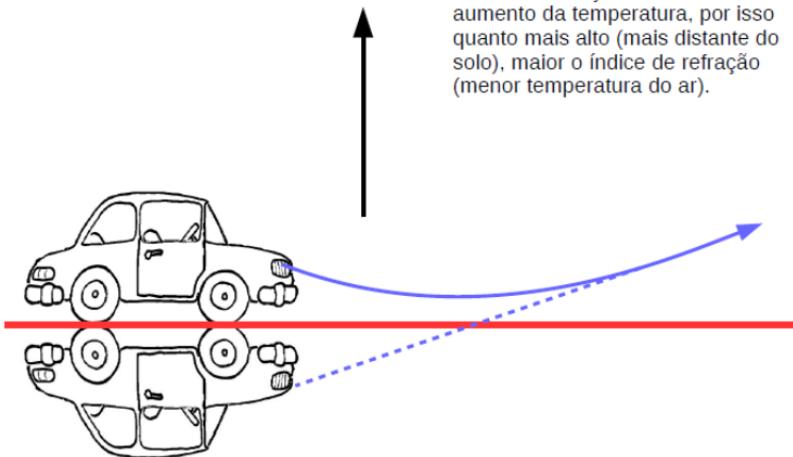
(A) Posição aparente dos astros



- 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

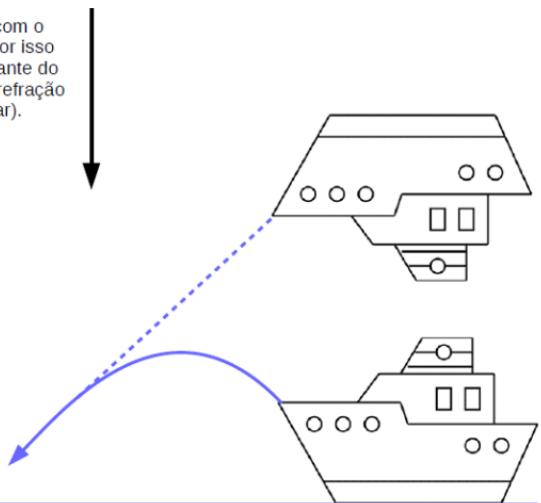


índice de refração diminui com o aumento da temperatura, por isso quanto mais alto (mais distante do solo), maior o índice de refração (menor temperatura do ar).

- 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 caiu 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>

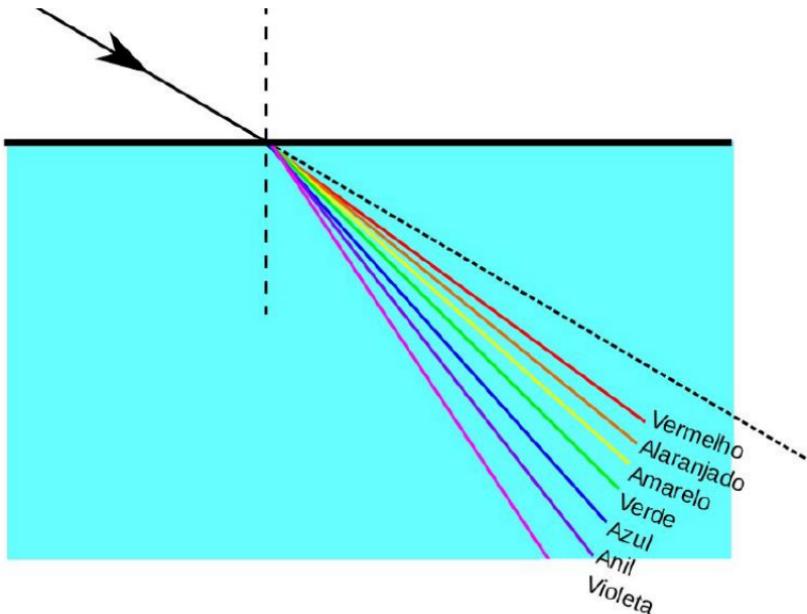
FATA MORGANA:



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

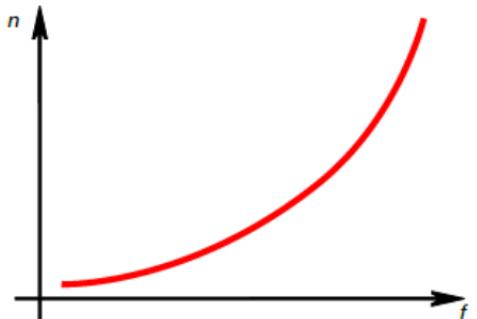
18. DISPERSÃO CROMÁTICA

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

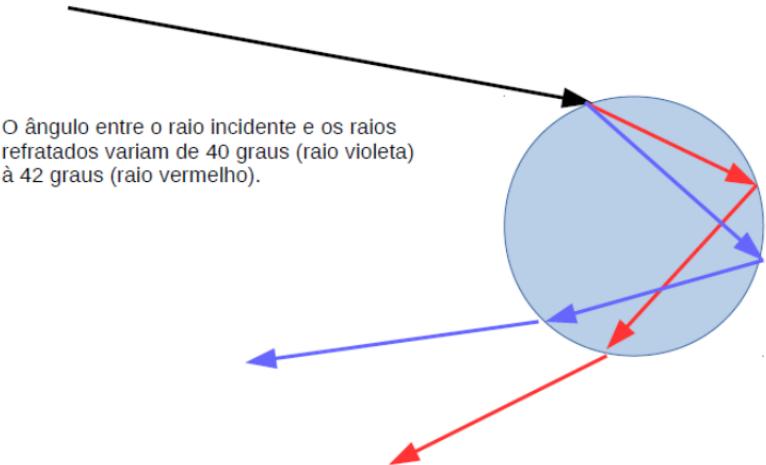


- Lembre-se que a velocidade da luz para todas as frequências é a mesma no vácuo.

- 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



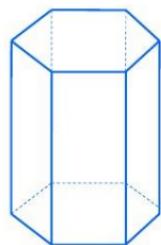
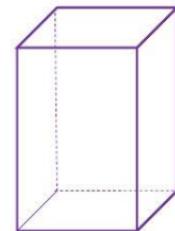
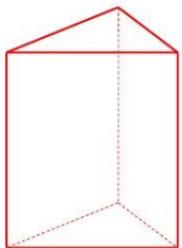
- Explique porque ao olhar o arco-íris vemos a parte vermelha acima e a azul em baixo. Isso não parece ser contraditório com o que foi apresentado aqui?
- Resposta parcial: não é contraditório. Tente entender por que...

19. PRISMAS

(A) Prisma – introdução

- O que é um prisma?

CLASSIFICAÇÃO



*Prisma
Triangular*

*Prisma
Quadrangular*

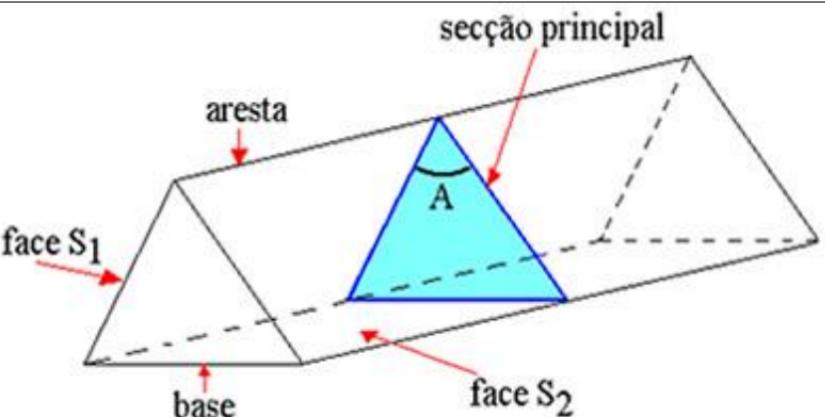
*Prisma
Hexagonal*

Disponível em: <https://3.bp.blogspot.com/-NdqnIPVzMU/V7XxILTS9wI/AAAAAAAAL8/r1rmj5EgbMMPoOrS6ffqgevGxrIr72mfQCLcB/s1600/prismas-3-728.jpg>

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

Resolva os exercícios 23 até o 63 do capítulo 11 livro 2.

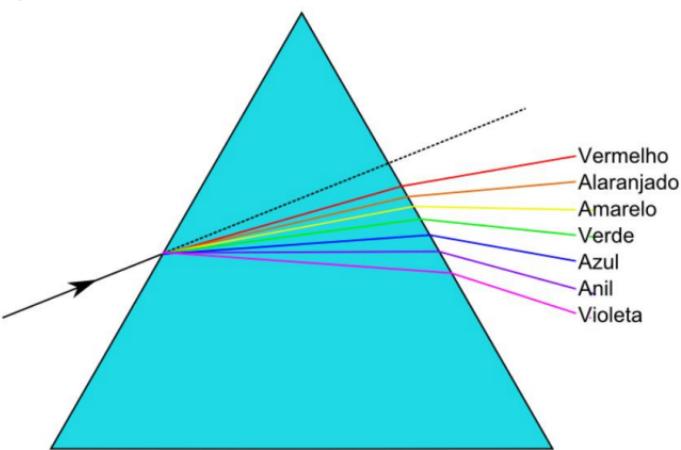
No SisQ, toda a lista, da apostila 1, de nome "Dioptrô pleno e reflexão total" podem ser resolvidos



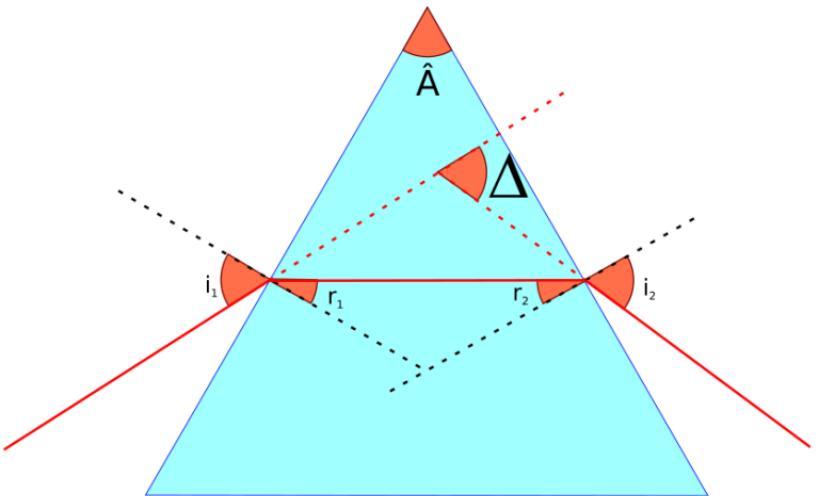
Disponível em: <http://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo/images/prisma-triangular.jpg>

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

(B) Dispersão



(C) Desvio mínimo



- Chamamos de desvio Δ 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, Δ poderá ter um valor mínimo que chamaremos de δ

No SisQ, toda a lista, da apostila 2, de nome “Prismas e dispersão cromática” podem ser resolvidos

Resolva os exercícios 64 até o 76 do capítulo 11 livro 2.

Resolva do 77 até o 86 para uma revisão.

20. LENTES ESFÉRICAS

(A) DIOPTRO ESFÉRICO

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

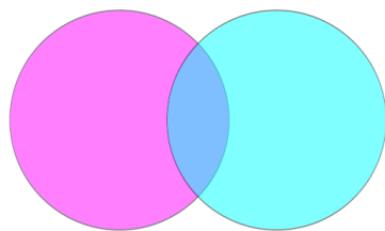


Figura 1: Interseção de duas esferas

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



Figura 2: A interseção forma uma lente esférica

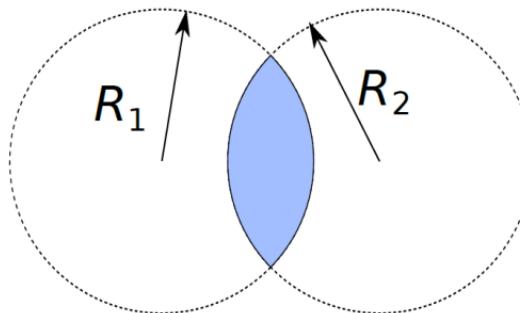


Figura 3: Raios de curvatura

- 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.

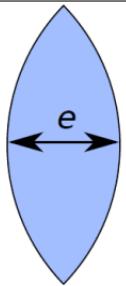
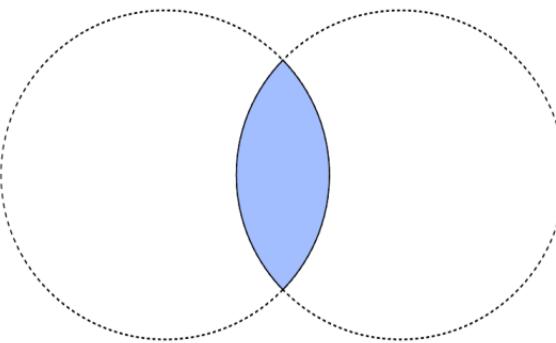


Figura 4: Lentes delgadas: $e \ll R$

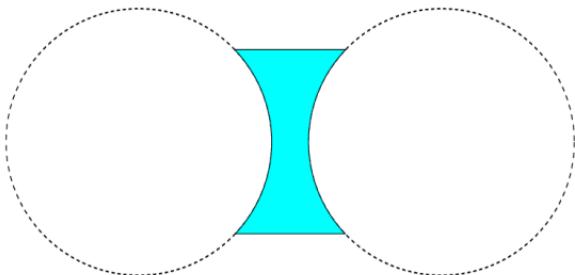
LENTE BICONVEXA



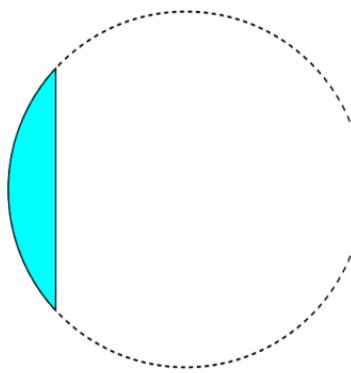
(B) NOMENCLATURA

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

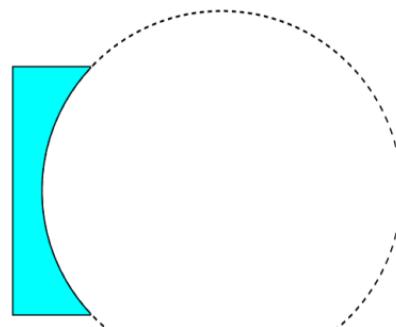
LENTE BICÔNCAVA



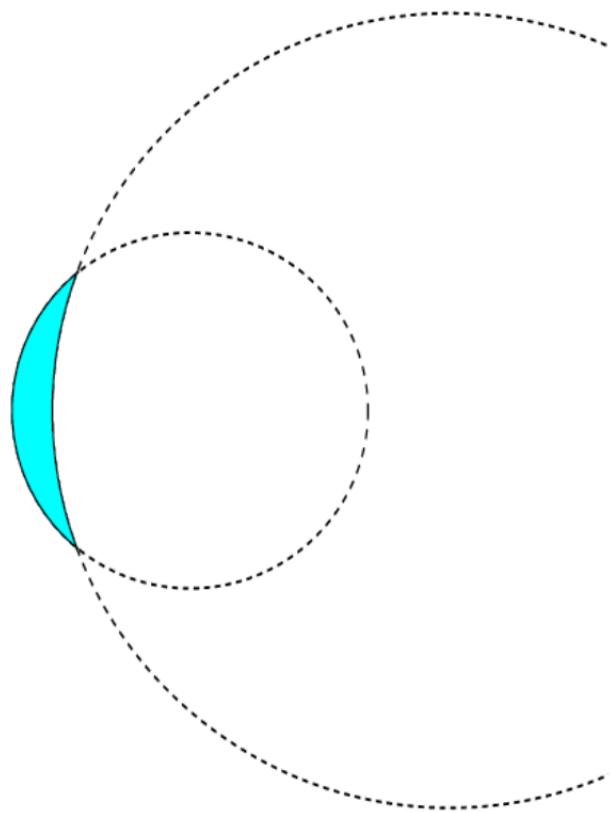
LENTE PLANO-CONVEXA



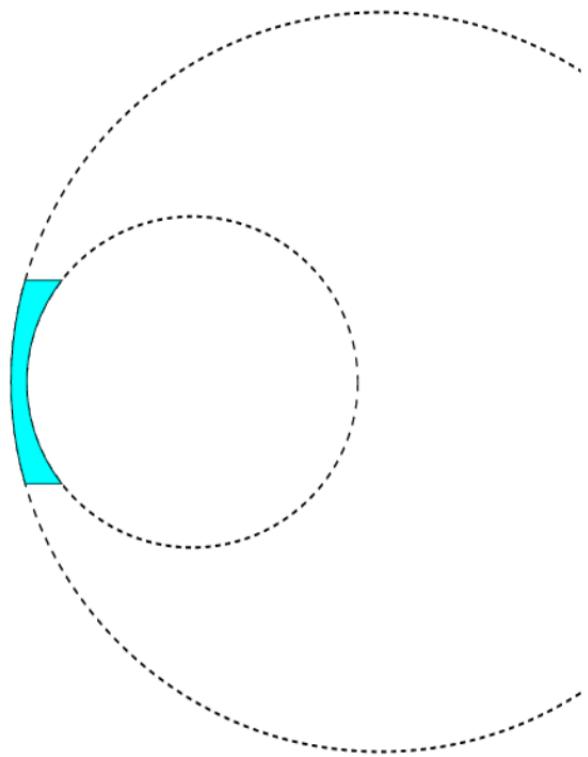
LENTE PLANO CÔNCAVA



LENTE CÔNCAVA-CONVEXA

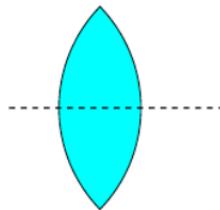


LENTE CONVEXA-CÔNCAVA

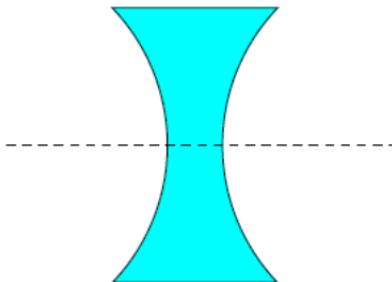


(C) COMPORTAMENTO ÓPTICO

LENTES DE BORDOS FINOS

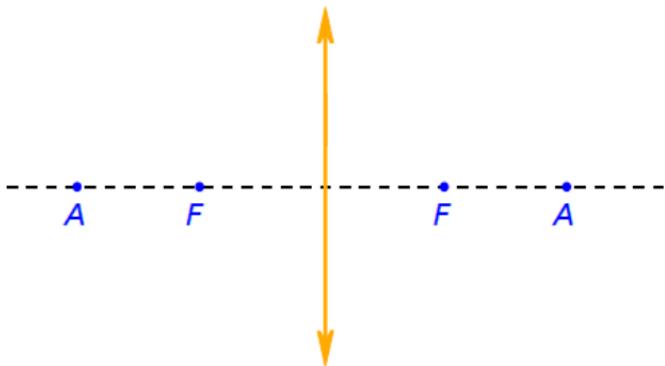


LENTES DE BORDOS GROSSOS



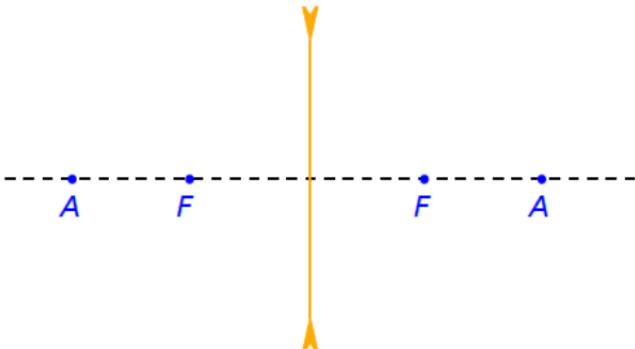
- Vamos estudar o comportamento ótico das lentes esféricas delgadas considerando que elas sejam feitas de material cujo índice de refração seja maior que o índice de refração do meio em que estejam inseridas
- Representaremos as lentes esféricas delgadas de forma mais simples. Vejamos a representação 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).

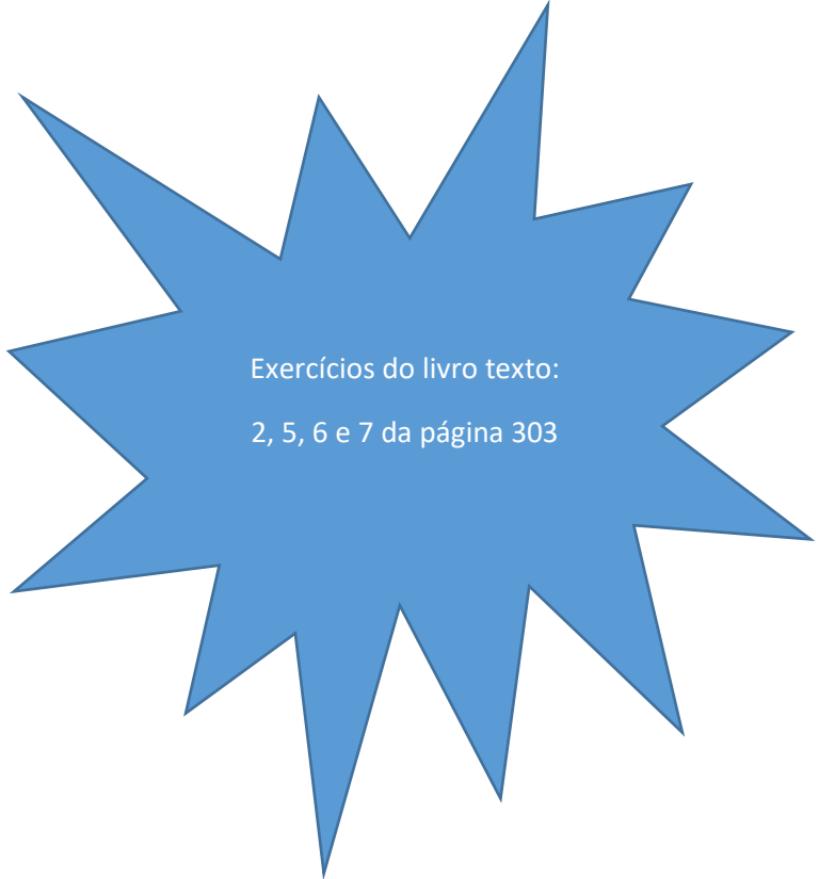
LENTE CONVERGENTE (BORDOS FINOS)



- Lentes de bordos grossos terá representação similar:

LENTE DIVERGENTE (BORDOS GROSSOS)

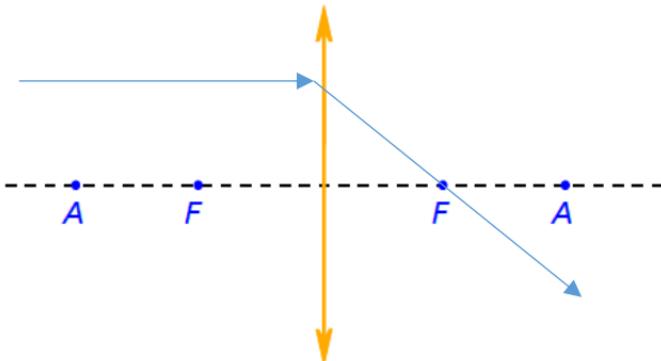




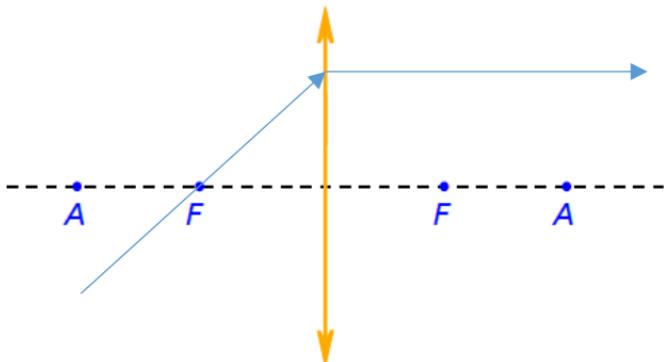
Exercícios do livro texto:
2, 5, 6 e 7 da página 303

(D) RAIOS NOTÁVEIS

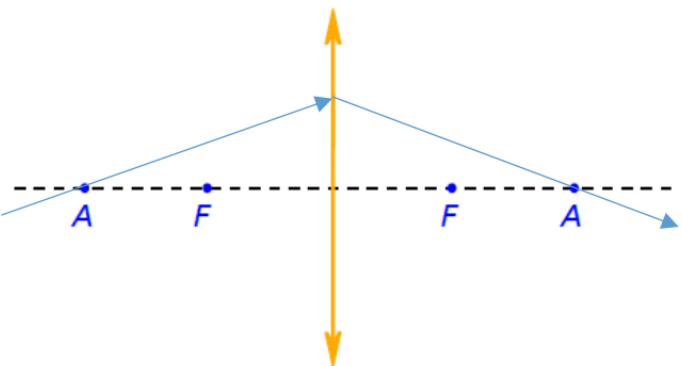
- Vamos começar com a lente convergente (bordos finos).
- Raio que chega paralelo ao eixo principal passa pelo foco



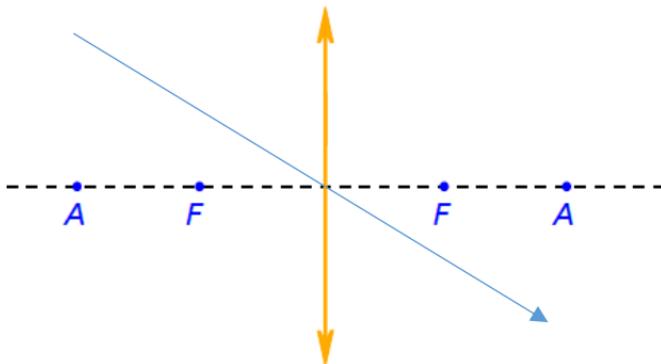
- Raio que chega passando pelo foco sai paralelo



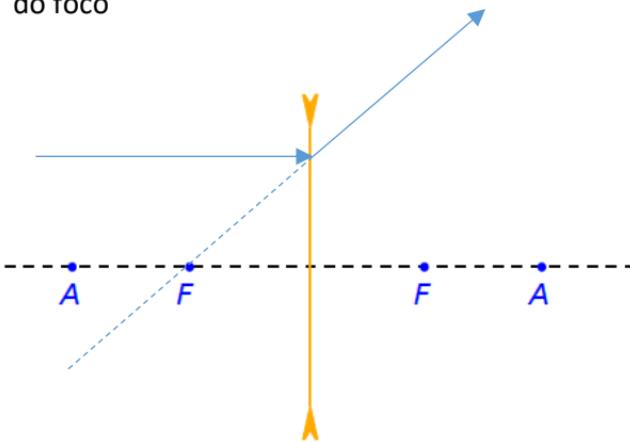
- Raio que chega passando pelo antiprincipal sai passando pelo outro antiprincipal



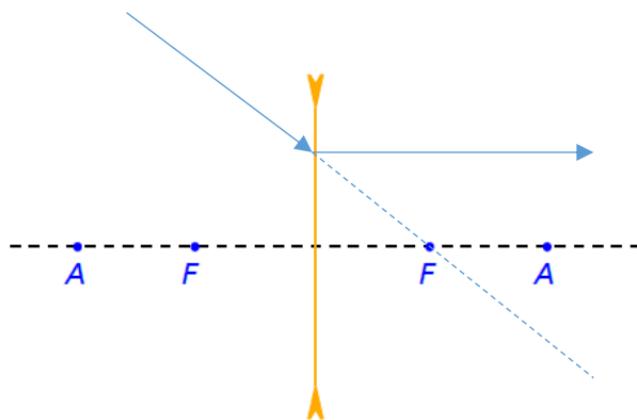
- Raio que chega passando pelo vértice não sofre desvio



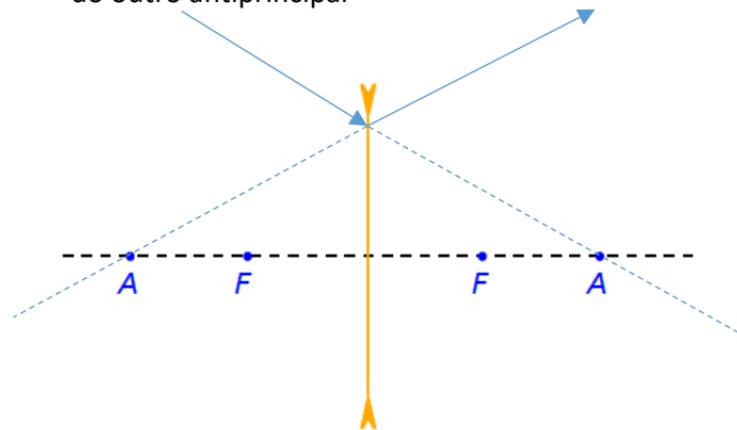
- Vamos ver agora os raios notáveis para a lente divergente (bordos grossos).
- Raio que chega paralelo ao eixo principal sai na direção do foco



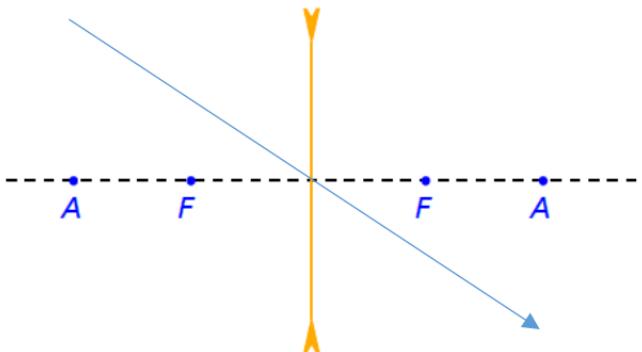
- Raio que chega na direção do foco sai paralelo



- 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

Você pode conferir uma apresentação de slide com a formação de imagem detalhada no link:

<http://fisica.professordanilo.com/extras/2021/otica/MC%201%20-%20Forma%C3%A7%C3%A3o%20de%20imagens%20-%20Lentes.pdf>

Vamos aqui apenas colar os slides finais da apresentação.

LENTES CONVERGENTES

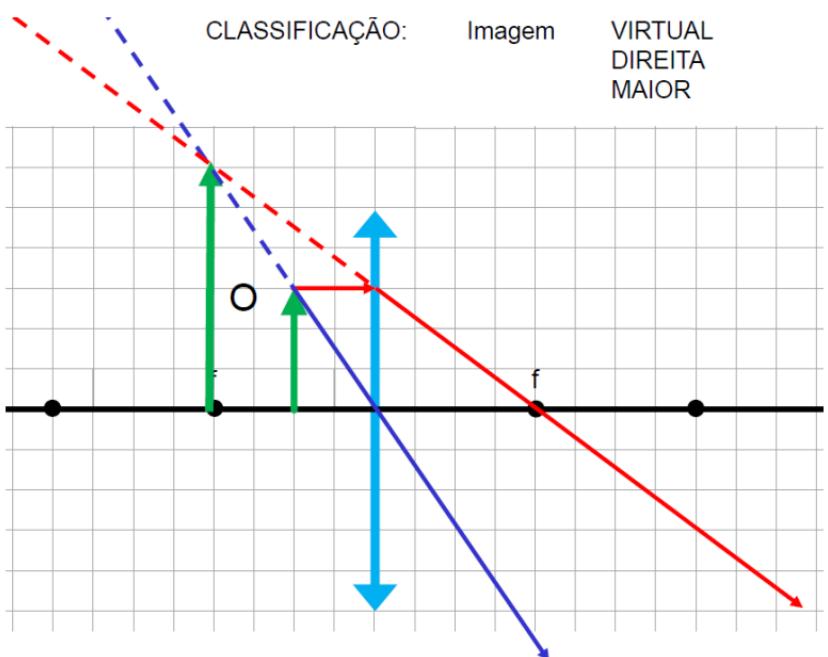
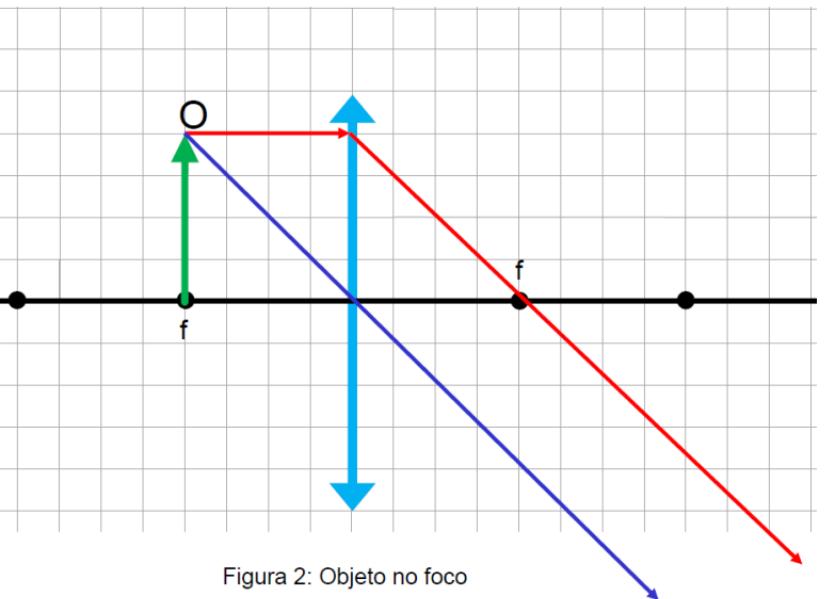
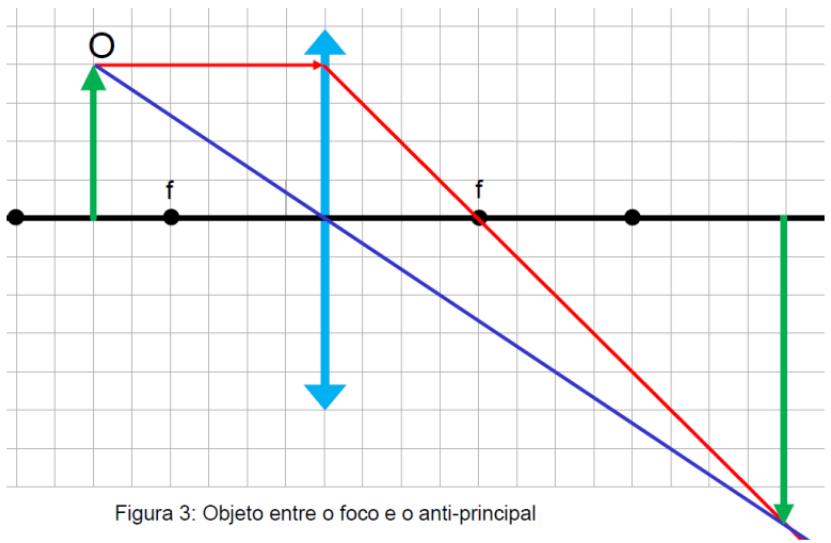


Figura 1: Objeto entre o vértice e o foco

IMAGEM IMPRÓPRIA



CLASSIFICAÇÃO: Imagem
REAL
INVERTIDA
MAIOR



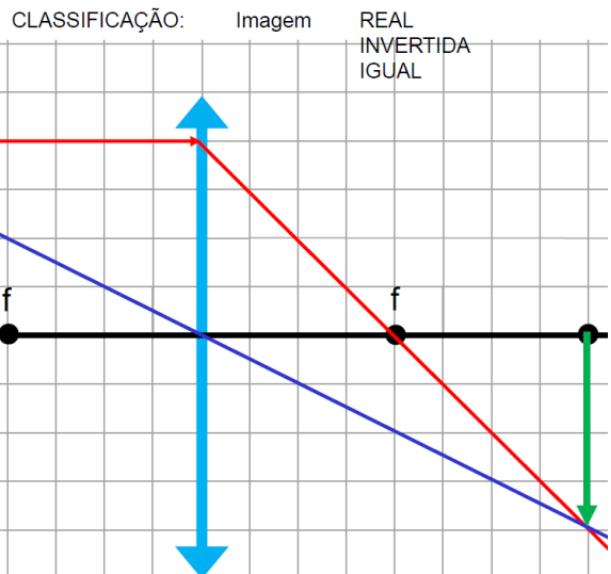


Figura 4: Objeto no anti-principal

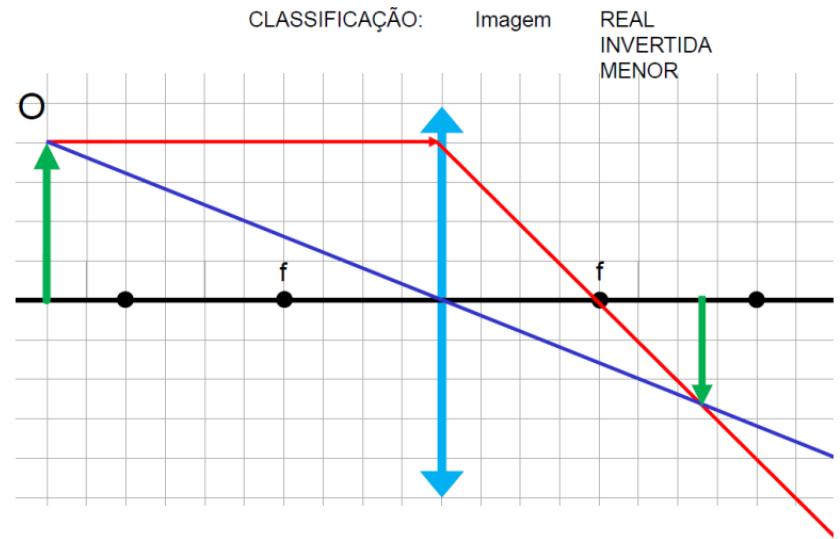


Figura 5: Objeto além do anti-principal

LENTE DIVERGENTE

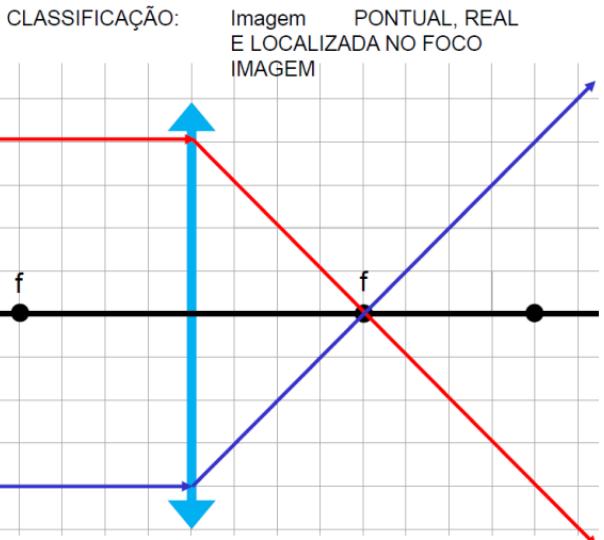


Figura 6: Objeto no “infinito”

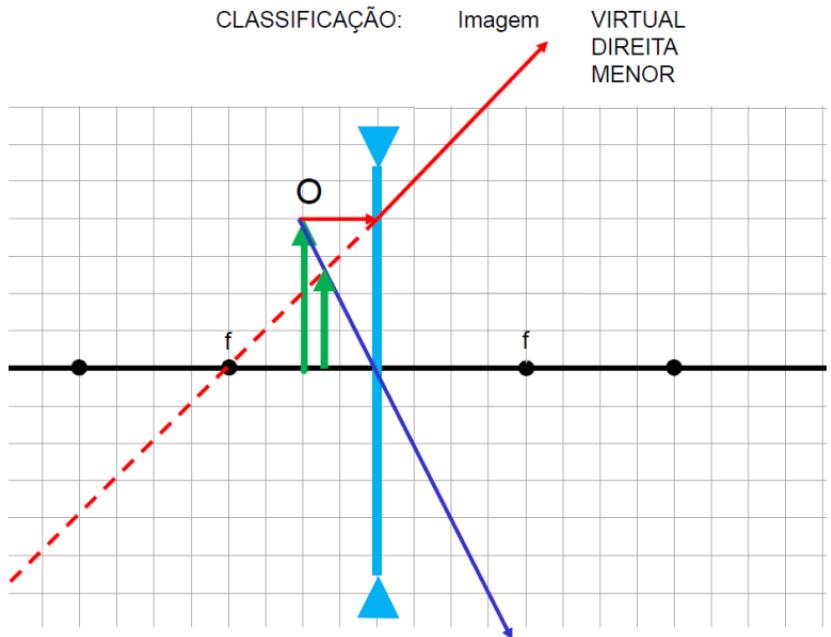


Figura 7: Objeto entre o vértice e o foco

CLASSIFICAÇÃO: Imagem
VIRTUAL
DIREITA
MENOR

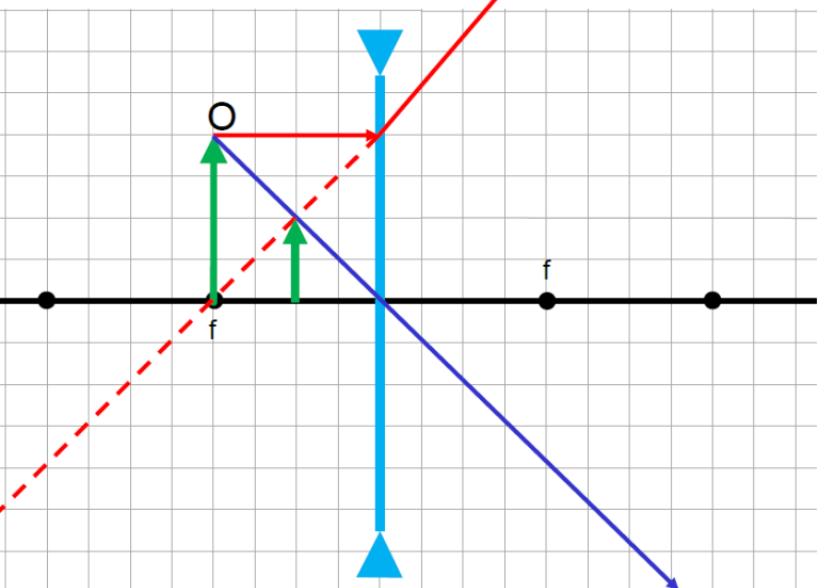


Figura 8: Objeto no foco

CLASSIFICAÇÃO: Imagem
VIRTUAL
DIREITA
MENOR

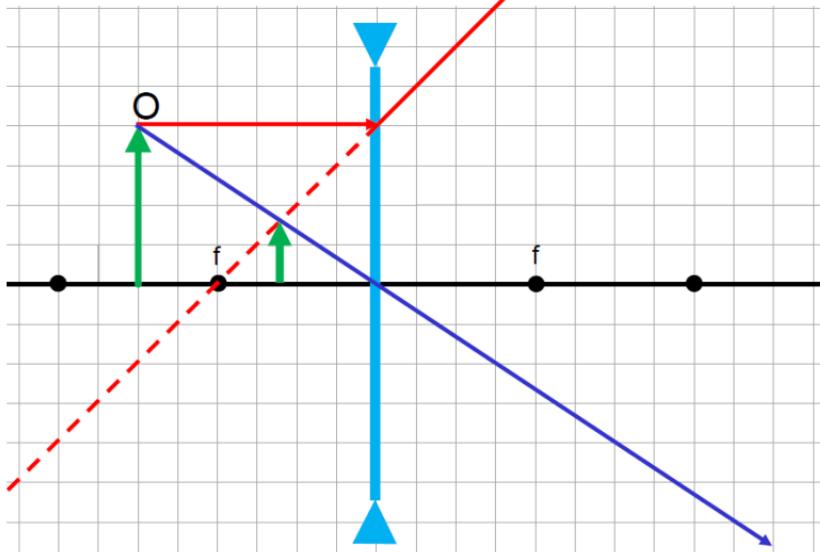


Figura 9: Objeto entre o foco e o anti-principal

CLASSIFICAÇÃO: Imagem
VIRTUAL
DIREITA
MENOR

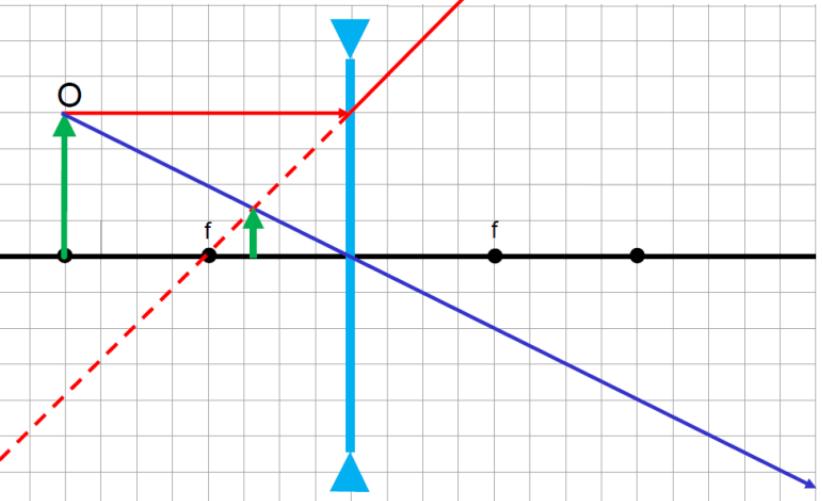


Figura 10: Objeto no anti-principal

CLASSIFICAÇÃO: Imagem
VIRTUAL
DIREITA
MENOR

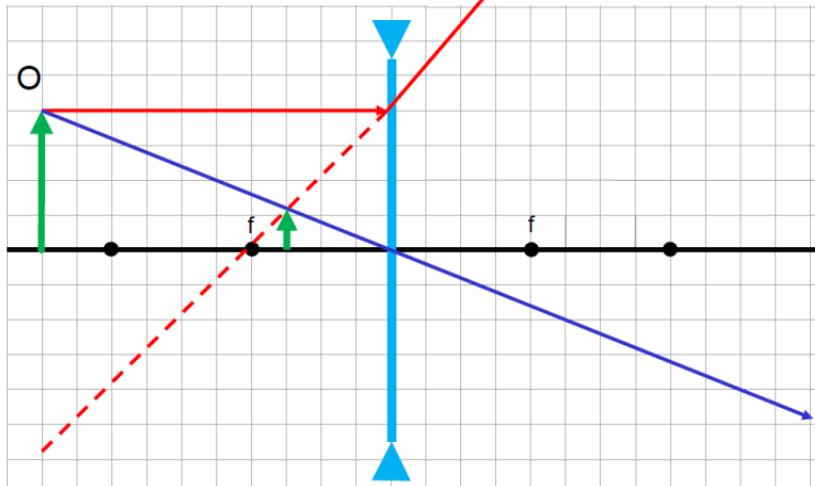


Figura 11: Objeto além do anti-principal

CLASSIFICAÇÃO:

Imagem PONTUAL E
LOCALIZADA NO FOCO
IMAGEM DA LENTE

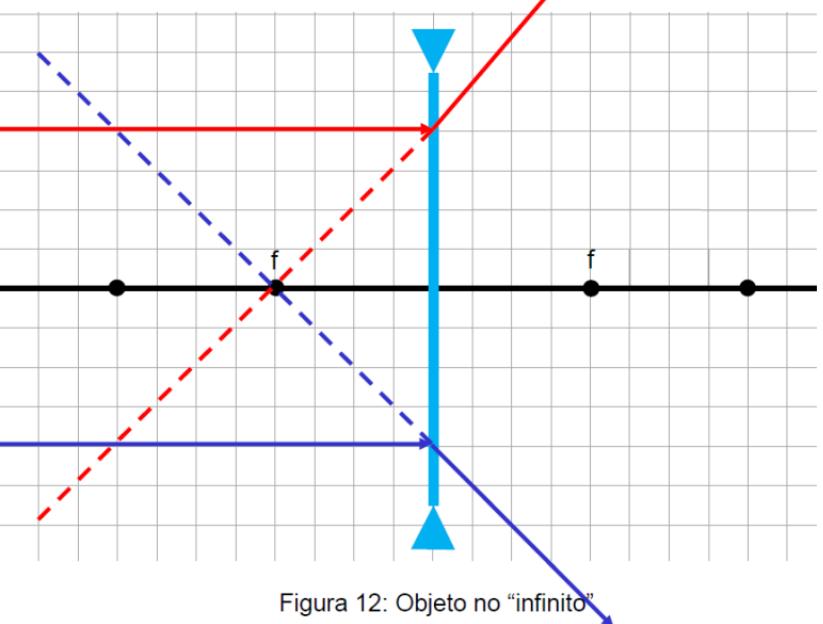


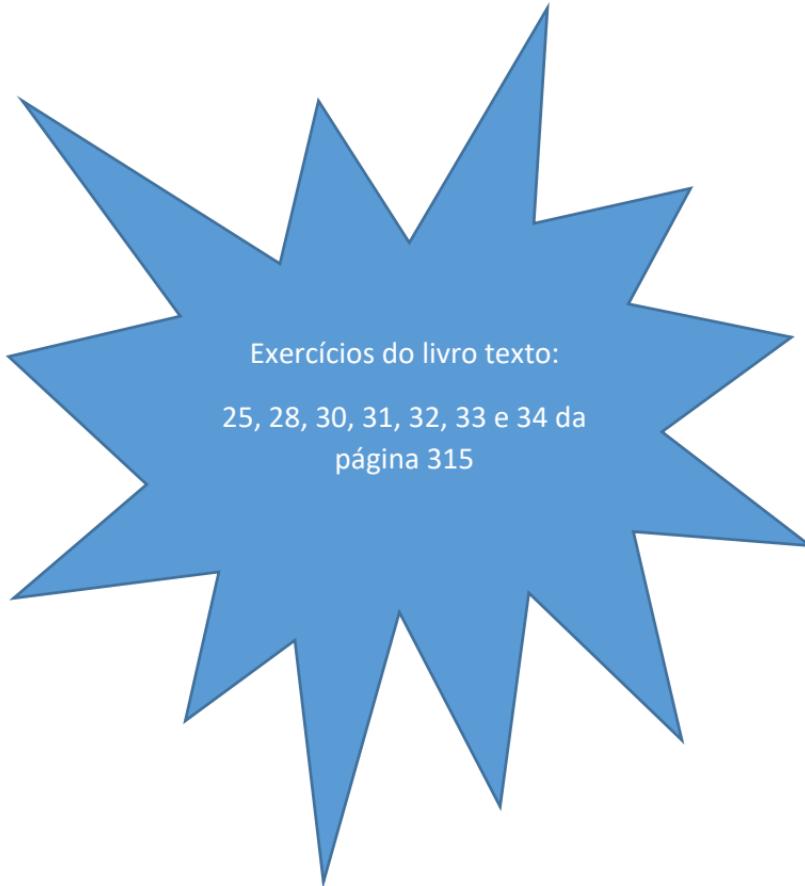
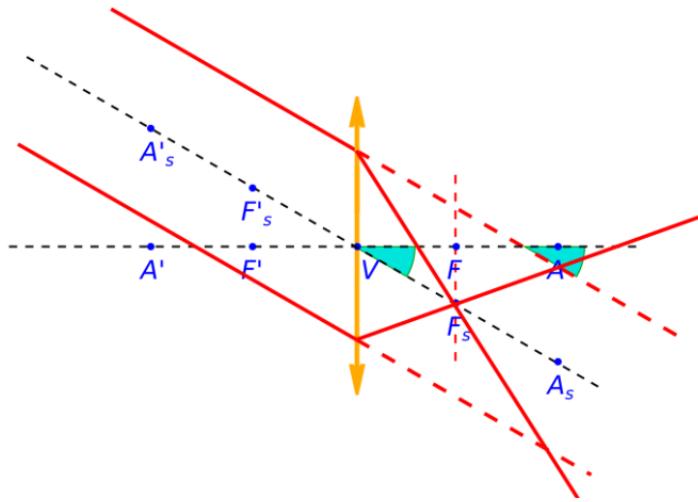
Figura 12: Objeto no “infinito”

Exercícios do livro texto:

9, 10, 12, 13, 15, 17, 18, 19,
20, 21, 22, 23 e 24 da página
309

(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
 - $y = o$: 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.

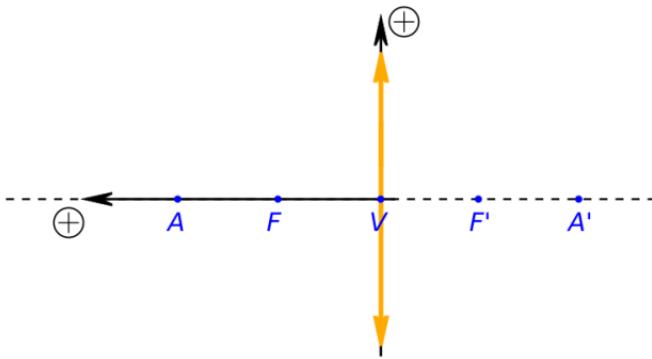


Figura 1: Referencial de Gauss para objeto real à esquerda: Lente Convergente

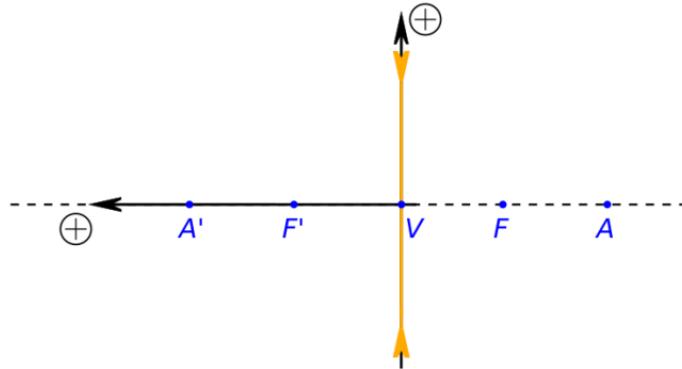


Figura 3: Referencial de Gauss para objeto real à esquerda: Lente Divergente

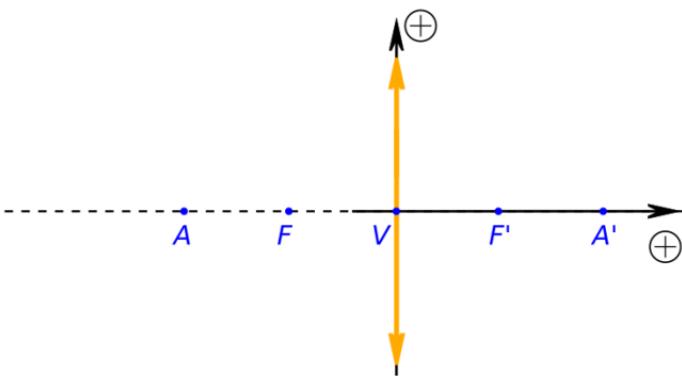


Figura 2: Referencial de Gauss para imagem real à direita: Lente Convergente

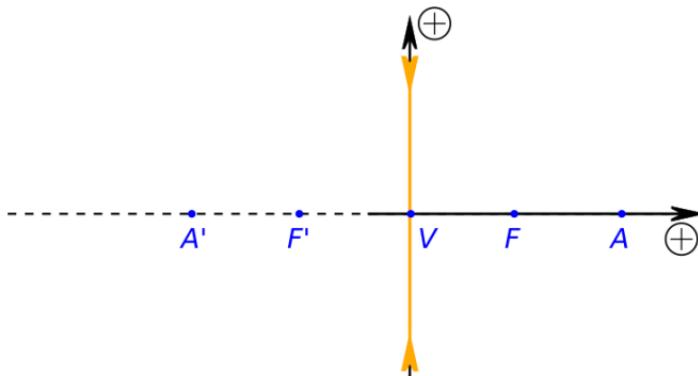


Figura 4: Referencial de Gauss para imagem real à direita: Lente Divergente

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

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

Obs: uma demonstração da Equação de Gauss pode ser encontrada na página 320 do livro texto.

- Vamos agora ver a equação do aumento.

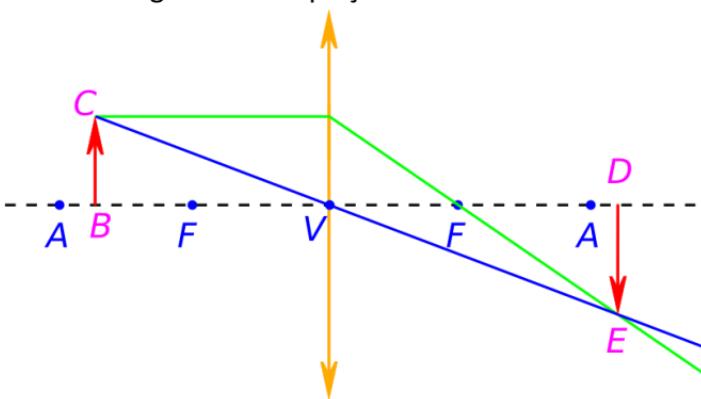


Figura 5: Cálculo do Aumento Linear Transversal

- Por semelhança de triângulo entre os triângulos $\triangle ABCV$ e $\triangle A'DEV$:

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

- 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 obtém 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:

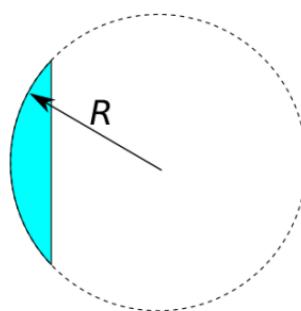
$$V = \frac{1}{f}$$

21. EQUAÇÃO DOS FABRICANTES DE LENTES

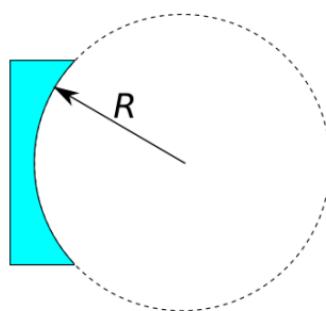
Equação dos fabricantes:

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

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



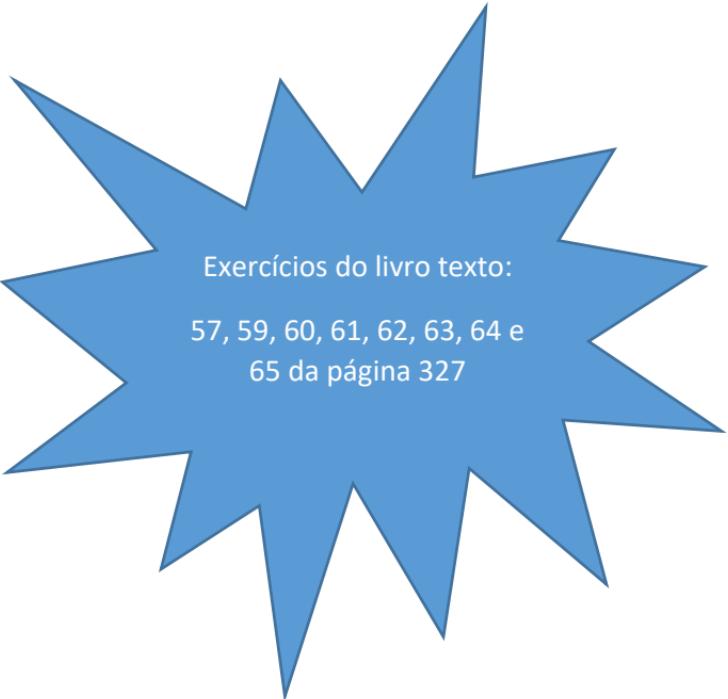
Face convexa: $R > 0$



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.



22. 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.

23. ASSOCIAÇÃO DE LENTES COM ESPELHOS

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

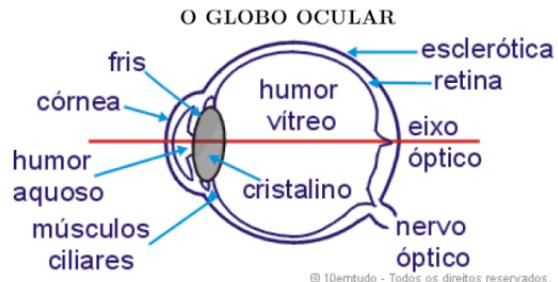
Aprofundamento pp 334

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

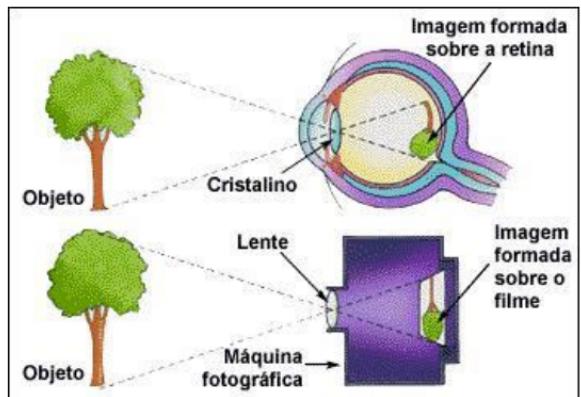
Exercícios do livro texto:

68, 69, 70, 71, 72, 74, 75, 76,
77 e 79 da página 331

24. ÓPTICA DA VISÃO

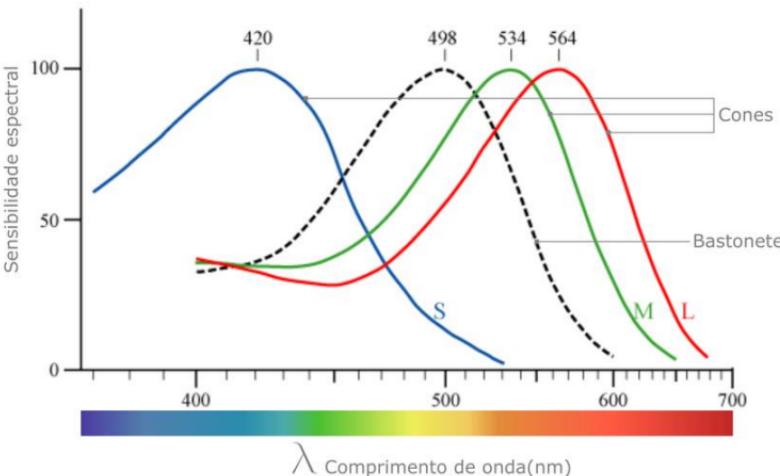


- Característica da imagem



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

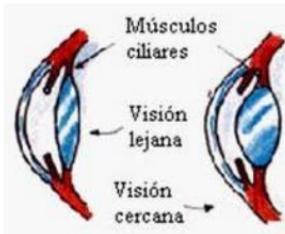


Fonte: <https://muralcientifico.files.wordpress.com/2017/10/000.jpg>

- 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:

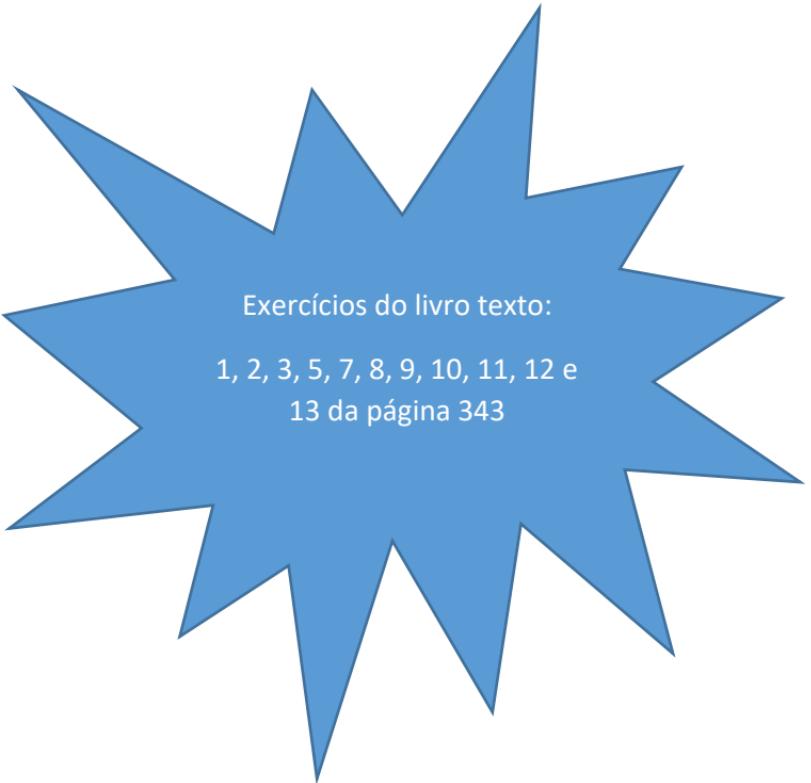
http://cmappublic3.ihmc.us/rid=1291095162365_1862553055_19093/MUSCULO%20CILIAR%20Y%20CRISTALINO.jpg

- Note que quando o cristalino é comprimido, o raio de curvatura diminui. Quando isso ocorre, podemos ver pela equação dos fabricantes de lentes que 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

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

- 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

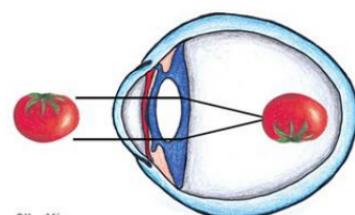
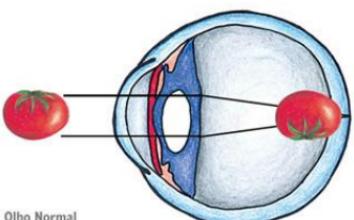
- Para uma visão normal dizemos que o ponto remoto está no infinito ($p \rightarrow \infty$)



25. AMETROPIAS (PROBLEMAS DA VISÃO)

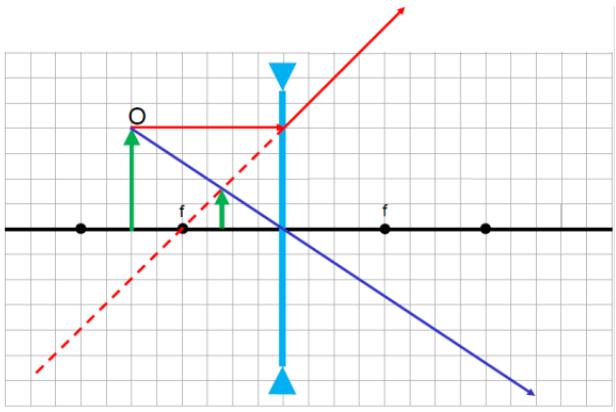
- Miopia

- 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



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

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



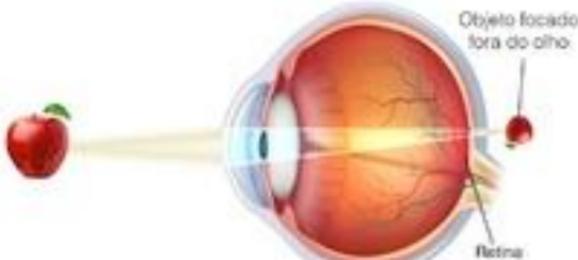
- Se a distância máxima que um míope pode ver é D , então temos que produzir a imagem de um objeto “no infinito” pelo menos nessa distância.
- Com isso podemos dizer que $p \rightarrow \infty$ e $p' = -D$ pois a imagem é virtual.
- Por Gauss:

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

- Hipermetropia

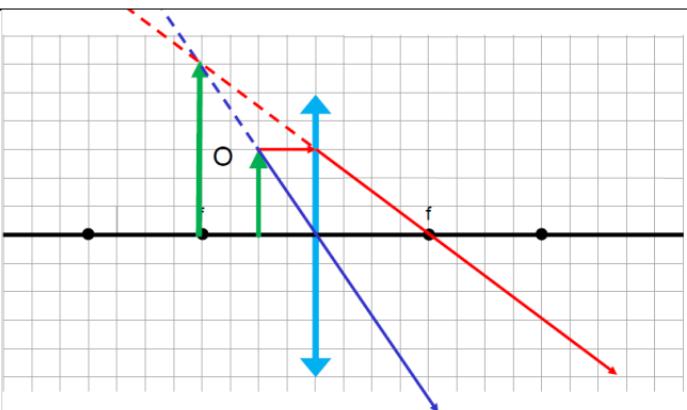
- Dificuldade de se enxergar de perto
- O raio de curvatura do cristalino não se reduz o suficiente para ver objetos próximos – olho mais curto que o normal
- A imagem de um objeto distante é formada depois da retina

Hipermetropia



Fonte: https://static.tuasaude.com/media/article/r5/ps/hipermetropia_4696_s.jpg

- 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:

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

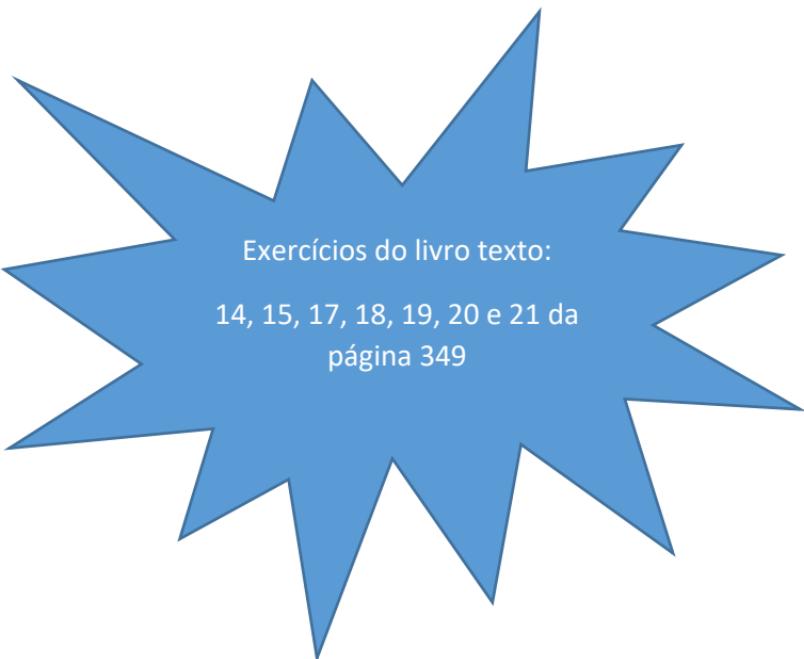
- Presbiopia
 - Conhecida como vista cansada
 - Tanto a visão para curta distância (no início) como a visão para longas distâncias são prejudicadas
 - Deve-se usar lentes convergentes (base) e divergente (topo)



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 “Optica da visão” podem ser resolvidos



26. INSTRUMENTOS ÓPTICOS

Material a parte: usaremos slides em aula.

Vídeo:

<https://youtu.be/G3Ttl3o0Mtk>

Material para impressão:

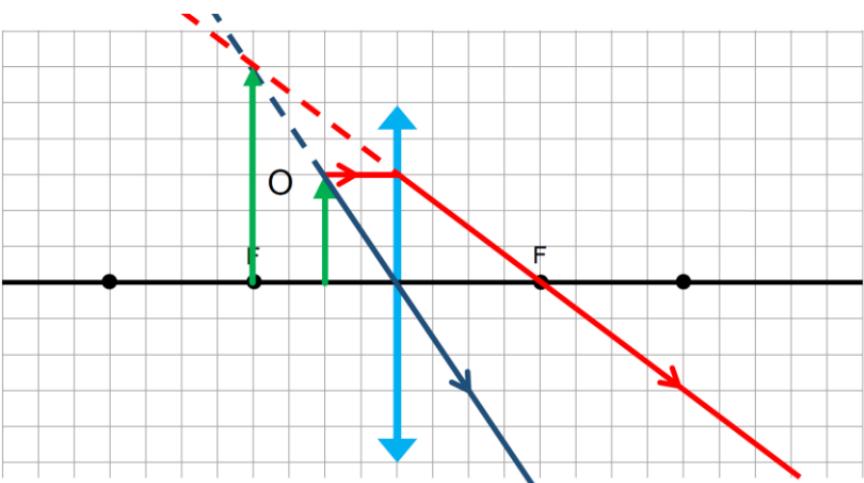
<http://estudeadistancia.professordanilo.com/wp-content/uploads/2021/05/InstrumentosOticosImpressao.pdf>

Slides (conteúdo replicado no corpo deste material):

<http://estudeadistancia.professordanilo.com/wp-content/uploads/2021/05/SlidesInstrumentosOticos.pdf>

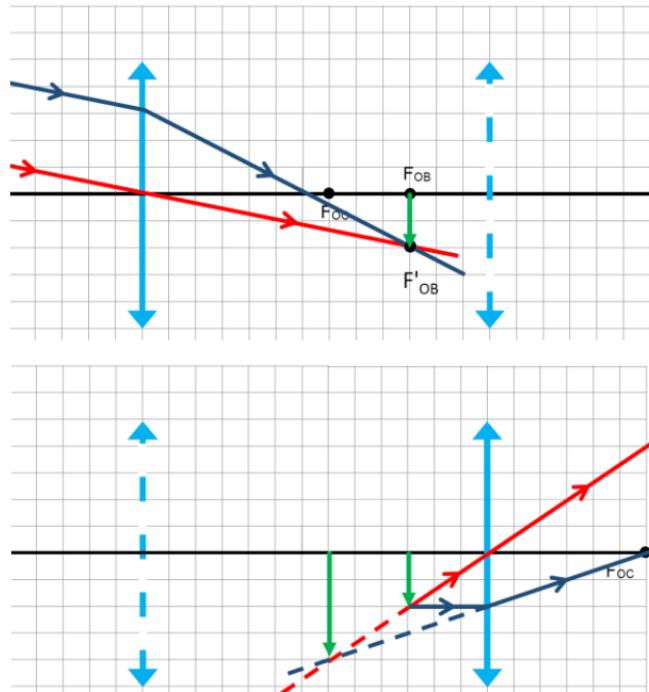
LUPA

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



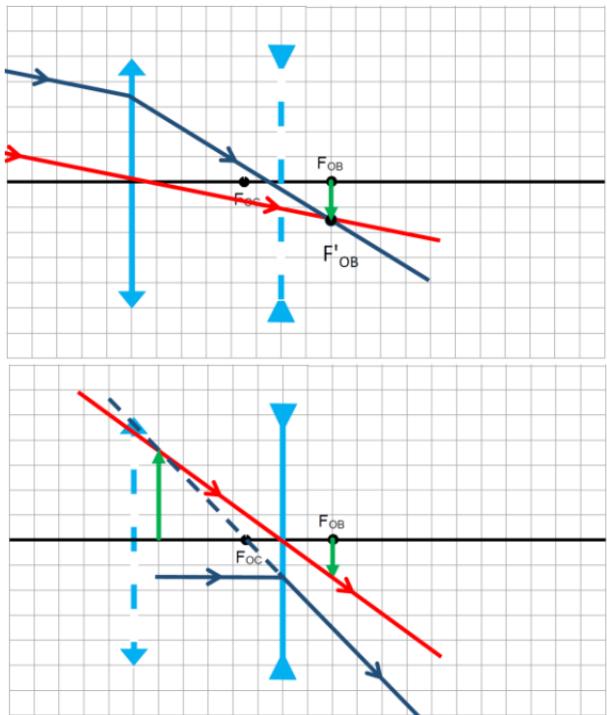
LUNETA ASTRONÔMICA

- IMAGEM:
 - VIRTUAL
 - INVERTIDA
 - MAIOR



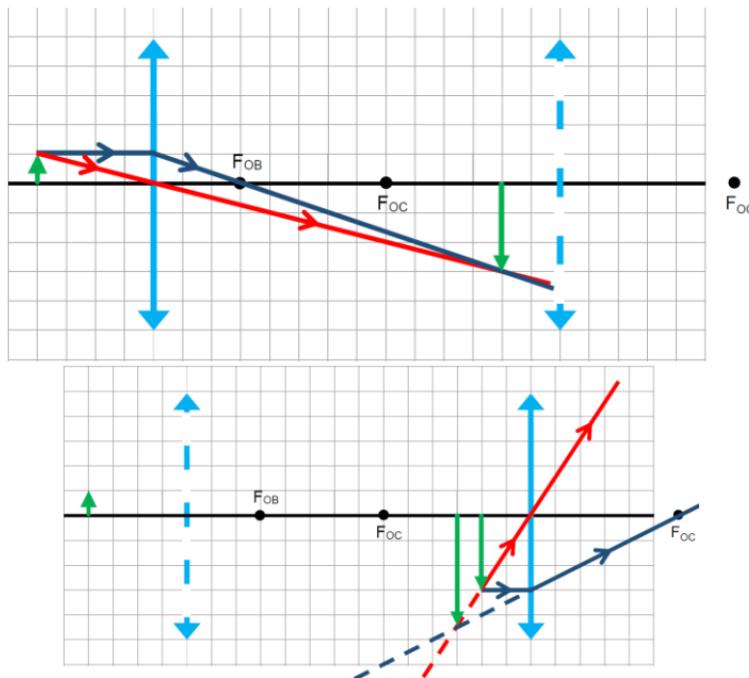
LUNETA TERRESTRE

- IMAGEM:
- VIRTUAL
- DIREITA
- MAIOR

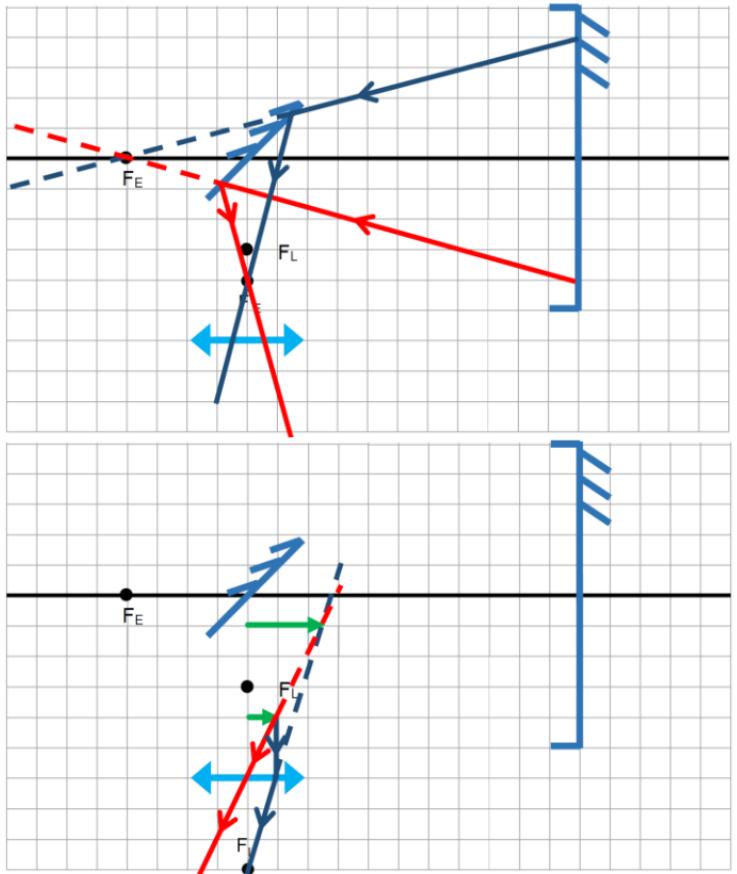
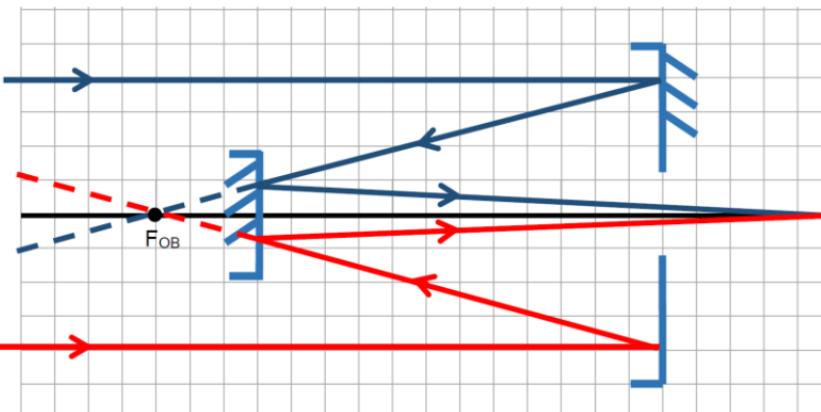


MICROSCÓPIO

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



TELESCÓPIO NEWTONIANO

TELESCÓPIO CASSEGRAIN
(MODELO DO HUBBLE)

SEGUNDO SEMESTRE

No SisQ, toda a lista, da apostila 2, de nome “Instrumentos ópticos” podem ser resolvidos

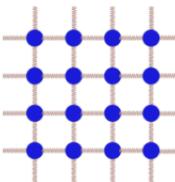
Exercícios do livro texto: 1, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 e 24 até 34. A partir da página 353

TERMOMETRIA

1. ESCALAS TERMOMÉTRICAS

FONTE: http://professordanilo.com-teoria/aula301_ESCALAS.html

- Calor
 - Energia em trânsito
- Temperatura
 - Associado à energia interna (agitação) das moléculas

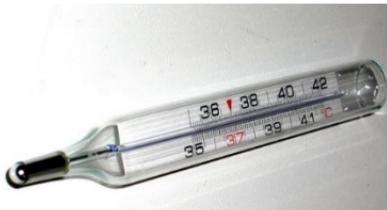


- Equilíbrio térmico
 - Dois corpos estão em equilíbrio térmico quando estão à uma mesma temperatura

- Imagine agora que um corpo A está em equilíbrio térmico com um corpo B (ou seja, estão numa mesma temperatura). Um terceiro corpo C também está em equilíbrio térmico com o corpo B. Então podemos afirmar com certeza que o corpo A está também em equilíbrio térmico com o corpo C. À esse fato damos o nome de **Princípio Zero da Termodinâmica** ou **Lei Zero da Termodinâmica**.

Como medir temperatura?

- Sabemos que a temperatura expande a matéria
- Então medimos comprimento de algo dilatável
- Normalmente, utiliza-se o termômetro de mercúrio

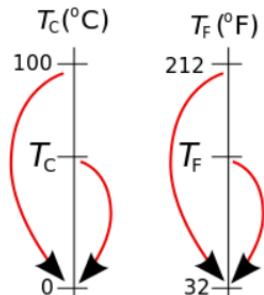


(A) PRINCIPAIS ESCALAS

- Um cientista escolheu dizer que quando a água se congela ela está à zero graus e quando entra em ebulição está à 100 graus. Este cientista chamava-se Celsius e por isso dizemos que a água congela a 0°C e entra em ebulição à 100°C
- Outro cientista chamado Fahrenheit escolheu como 0°F a menor temperatura registrada em determinado lugar no planeta e 100°F a temperatura de sua esposa
- Outro cientista preferiu escolher como zero a temperatura em que as partículas na matéria parariam de vibrar. Escolheu que a cada 100 unidades de sua medida corresponderia à 100°C. Esta escala ficou conhecida como escala Kelvin e é absoluta (ou seja, sempre positiva), por isso não usamos o símbolo “grau” (°).
- Podemos relacionar estas grandezas da seguinte maneira

(B) CONVERSÃO CÉLSIUS E FAHRENHEIT

(i) Primeiro método

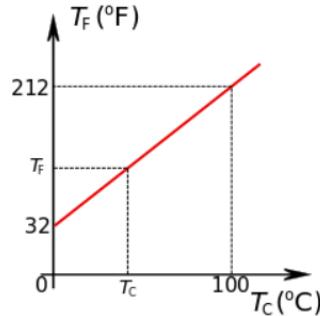


$$\frac{T_C - 0}{100 - 0} = \frac{T_F - 32}{212 - 32} \Leftrightarrow \frac{T_C}{100} = \frac{T_F - 32}{180} \Leftrightarrow$$

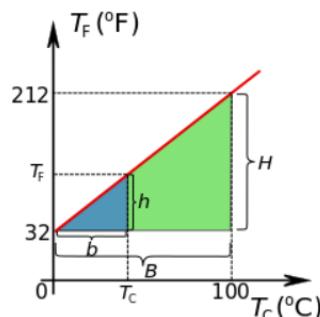
$$\boxed{\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9}}$$

eq(1)

(ii) segundo método



Por semelhança de triângulos:



$$\frac{H}{h} = \frac{B}{b} \Leftrightarrow \frac{H}{B} = \frac{h}{b} \Leftrightarrow \frac{h}{H} = \frac{b}{B}$$

$$\Leftrightarrow \frac{T_F - 32}{212 - 32} = \frac{T_C - 0}{100 - 0} \Leftrightarrow$$

$$\frac{T_F - 32}{180} = \frac{T_C}{100} \Leftrightarrow$$

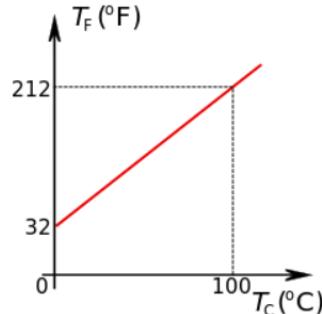
$$20 \cdot \frac{T_F - 32}{180} = 20 \cdot \frac{T_C}{100} \Leftrightarrow$$

$$\boxed{\frac{T_F - 32}{9} = \frac{T_C}{5}}$$

eq(2)

(iii) terceiro método

Seja o gráfico novamente



Lembremos da equação da reta:

$$y = ax + b$$

Sendo x a temperatura em graus célsius e y corresponde à temperatura em graus fahrenheit.

Calculemos o coeficiente angular:

$$a = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta T_F}{\Delta T_C} \Leftrightarrow$$

$$a = \frac{212 - 32}{100} = \frac{180}{100} = 1,8$$

Obtemos o coeficiente linear:

$$m = 32$$

Assim:

$$y = 1,8x + 32$$

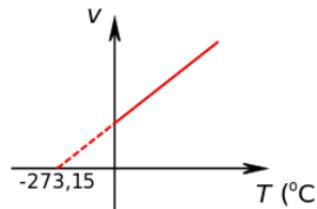
Ou melhor ainda

$$T_F = 1,8T_C + 32 \quad \text{eq(3)}$$

Fica como exercício verificar que as equações (1), (2) e (3) são as mesmas.

(C) CONVERSÃO CÉLSIUS E KELVIN

Estudando gases, por extrapolação, Kelvin concluiu que a temperatura para que as moléculas de um gás parassem de vibrar e consequentemente tivesse volume nulo seria $-273,15^\circ\text{C}$ e ele definiu que isso corresponderia a 0 K.



Sabendo que a variação de 1°C corresponde à variação de 1 K , fica como exercício encontrar a seguinte relação:

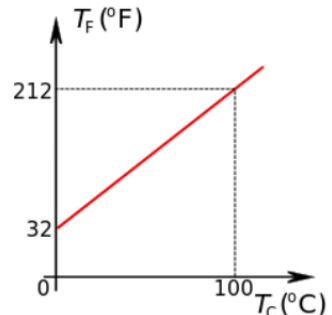
$$T_C = T_K + 273,15$$

Faça isso pelos três métodos apresentados anteriormente.

Depois verifique que a relação geral entre as três temperaturas é:

$$\frac{T_F - 32}{9} = \frac{T_C}{5} = \frac{T_K + 273,15}{5}$$

Se julgar útil utilize o gráfico a seguir:



(D) VARIAÇÃO DE TEMPERATURA

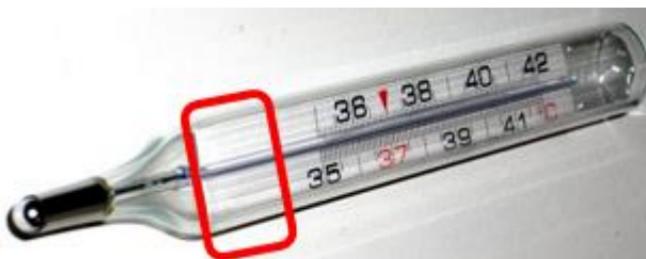
Em termos de variação de temperatura, temos:

$$1^\circ\text{C} = 1\text{K} = 1,8^\circ\text{F}$$

Ou seja, uma variação de 100°F corresponde à uma variação de 180°C e 100K .

(E) TERMÔMETRO DE VALOR MÁXIMO

Observe que um termômetro de mercúrio possui um estrangulamento próximo ao bulbo.



Isso faz com que a indicação de temperatura fique “travada” em seu valor máximo.

Por isso é necessário chacoalhar (“abaixar”) o termômetro.

2. DILATAÇÃO TÉRMICA

(A) INTRODUÇÃO

Temperatura está relacionada à

- Agitação das moléculas
 - Velocidade das moléculas
- Dilatação dos materiais

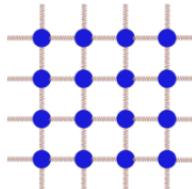


Figura 1: Estrutura atômica da matéria

Exercícios do livro texto:

1, 2, 4, 5 e 6 da página 16,
8, 15, 17, 18, 19, 22, 23, 24, 25,
26, 27 e 28 das páginas 22 à
24.

Consideraremos que a dilatação (variação do tamanho) é proporcional à variação de temperatura, por isso chamamos de dilatação linear.

A constante de proporcionalidade é chamado de coeficiente de dilatação.

$$\frac{\text{Variação do tamanho}}{\text{tamanho inicial}} = \times \text{coeficiente de dilatação} \times \text{Variação da temperatura}$$

(B) DILATAÇÃO LINEAR

Quando aquecido, um sólido geralmente expande e quando resfriado geralmente se contrai.

- Na dilatação linear, apenas o comprimento importa e as demais dimensões são desprezíveis
- Suponha então uma barra longa de tal forma que a sua espessura e largura sejam desprezíveis

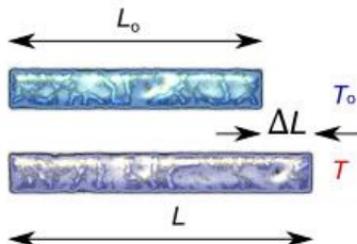


Figura 2: Dilatação linear (uma barra sendo aquecida)

Podemos dizer que

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

ΔL : variação do comprimento

L_0 : comprimento inicial

α : coeficiente de dilatação linear

ΔT : variação da temperatura sofrida pela barra

- As unidades de comprimento devem ser as mesmas
- A unidade de medida de α deve ser o inverso da unidade de ΔT

Exemplos:

Se L é medido em metros, então ΔL é medido em metros; se a temperatura é medida em $^{\circ}\text{C}$ então α é medido em

$$^{\circ}\text{C}^{-1} = \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

Tabela 1: Exemplo de coeficientes lineares

Material	$\alpha (^{\circ}\text{C}^{-1})$
Zinco	$27 \cdot 10^{-6}$
Alumínio	$24 \cdot 10^{-6}$
Latão	$19 \cdot 10^{-6}$
Cobre	$17 \cdot 10^{-6}$
Ferro	$12 \cdot 10^{-6}$

A dilatação é sempre pequena em relação ao comprimento do material.

Exemplo 1:

Uma barra de ferro de 1 km = 1000 m tem sua temperatura variada de zero à 100 °C, qual será a variação do comprimento dessa barra?

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \Delta T \Rightarrow$$

$$\Delta L = 1000 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \Rightarrow$$

$$\Delta L = 1,2 \text{ m}$$

Note que esta variação é pequena. Calcule o comprimento final da barra após o aquecimento.

$$\Delta L = L - L_0 \Rightarrow$$

$$1,2 = L - 1000 \Rightarrow$$

$$L = 1.001,2 \text{ m}$$

Se quisermos saber o comprimento final podemos escrever

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \Rightarrow$$

$$L - L_0 = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \Rightarrow$$

$$L = L_0 + L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \Rightarrow$$

$$L = L_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Compare com a equação da reta:

$$L = L_0 + a \Delta T$$

$$y = a x + b$$

Isto representa a equação de uma reta, portanto o gráfico é:

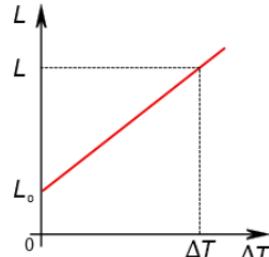


Figura 3: Gráfico do comprimento de uma barra em função da variação da temperatura.

Veja que o coeficiente angular é

$$a = L_0 \alpha$$

E o linear é

$$b = L_0$$

Exemplo 2:

O gráfico abaixo representa o comprimento de duas barras de comprimentos iniciais L_{0A} e L_{0B} de coeficiente de dilatação linear, respectivamente, iguais à α_A e α_B . Determine qual dos coeficientes, α_A e α_B , é maior?

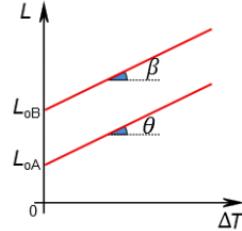


Figura 4: Gráfico representando o comprimento de duas barras com comprimentos iniciais diferentes. Note que a diferença entre os comprimentos das duas barras é constante; note também que a relação entre os coeficientes lineares é ant-intuitivo.

Os coeficientes angulares são iguais, isto é:

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \alpha \Rightarrow$$

$$L_{0A} \cdot \alpha_A = L_{0B} \cdot \alpha_B$$

Como o comprimento inicial de B é maior, o seu coeficiente de dilatação linear é menor

$$\alpha_A > \alpha_B$$

Note que uma fita métrica é afetada pela dilatação.

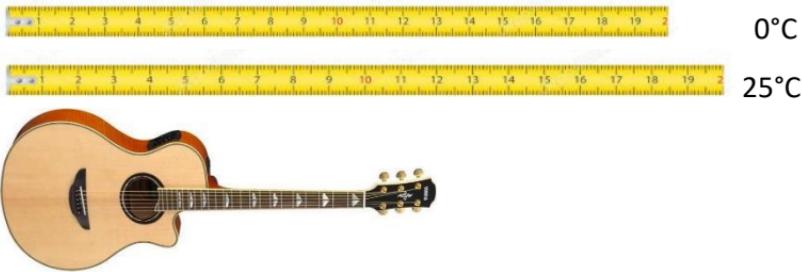


Figura 5: Observe que se uma fita métrica (ou régua, por exemplo) sofrer dilatação, quando dilatada irá medir um valor menor

Exemplo 3:

Considere a figura 4 na qual um pequeno violão é medido por uma fita métrica metálica construída para medir corretamente quando em 0°C. A essa temperatura o violão mede 13 cm, mas se aquecermos apenas a fita ela indica que o violão mede 12 cm. Determine qual o valor do coeficiente de dilatação do material do qual é feito a fita.

Vamos considerar que o comprimento de interesse possui 12 cm quando a 0°C e quando aquecido atingirá 13 cm. Ou seja:

$$L_0 = 12 \text{ cm}; L = 13 \text{ cm}; \Delta T = 25^\circ\text{C}.$$

Jogando na fórmula:

$$L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \Rightarrow$$

$$13 = 12 \cdot (1 + \alpha \cdot 25) \Rightarrow$$

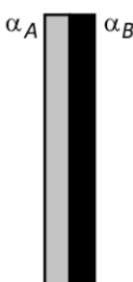
$$25\alpha = 0,0833 \Rightarrow$$

$$\alpha = 3,33 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Este valor é, no entanto, grande (compare com os valores da tabela 1). O efeito nessa fita foi exagerado, para ficar mais visível, assim o erro real seria bem menor.

Exemplo 4:

Uma lâmina bimetálica é feita de dois materiais, A e B, quando aquecida, enverga. Sabendo que $\alpha_A > \alpha_B$, para qual lado a barra enverga (direita ou esquerda)?



Direita

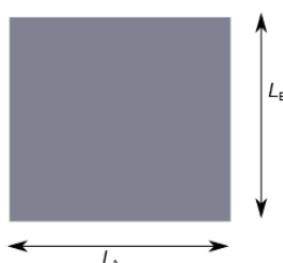
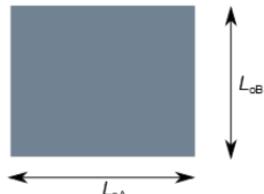
Exercícios do livro texto:

2, 3, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15,
16 e 17 das páginas 30 à 32.

(C) DILATAÇÃO SUPERFICIAL

- A extensão para dilatação superficial é direta
- Seja uma placa de lados L_{0A} e L_{0B} que é aquecida.

Qual será a área final e a variação da área dessa placa?
Suponha que o coeficiente de dilatação linear é α .



A área inicial é:

$$A_0 = L_{0A} \cdot L_{0B}$$

A área final será:

$$A = L_A \cdot L_B$$

Sabemos, do item anterior, o comprimento final de cada lado da placa:

$$\begin{cases} L_A = L_{0A} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \\ L_B = L_{0B} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \end{cases}$$

Portanto sabemos a área final da placa (basta fazer contas):

$$A = L_A \cdot L_B \Rightarrow$$

$$A = L_{0A} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot L_{0B} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \Rightarrow$$

$$A = L_{0A} \cdot L_{0B} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \Rightarrow$$

$$A = A_0 \cdot (1 + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta T + \alpha^2 \cdot \Delta T^2)$$

Lembre-se que α é muito pequeno, assim podemos desprezar o termo $\alpha^2 \cdot \Delta T^2$ obtendo:

$$A = A_0 \cdot (1 + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta T)$$

Em geral dizemos que $2 \cdot \alpha$ é o coeficiente de dilatação superficial e o chamamos de β , assim, com $\beta = 2 \cdot \alpha$ temos:

$$A = A_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta T)$$

Esta é a equação para a dilatação superficial.

Observe que a estrutura

$$\begin{array}{l} \text{Variação do tamanho} \\ = \quad \times \quad \times \\ \text{inicial} \quad \text{de dilatação} \quad \text{temperatura} \end{array}$$

se mantém, isto é:

$$A = A_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta T) = A_0 + A_0 \cdot \beta \cdot \Delta T \Rightarrow$$

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta T$$

- Placas com furos
 - Os furos se comportam como se fossem feitos do mesmo material que a placa
- Considere que o furo é feito do mesmo material que a placa



Assim usamos a mesma equação para estudar a dilatação do furo.

(D) DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA

- Podemos supor que:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

e

$$V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T)$$

Sendo

$$\gamma = 3\alpha$$

- Como desafio, considere um paralelogramos retangular de lados L_{01} , L_{02} e L_{03} , suponha que ele foi aquecido de ΔT e demonstre que $\gamma = 3\alpha$.
- Da mesma forma da dilatação superficial quando consideramos um furo, um corpo oco tem seu volume dilatado como se fosse feito do próprio material
- Assim, se tivermos um copo de vidro, como exemplo, para saber o quanto a sua capacidade varia precisamos conhecer o coeficiente de dilatação volumétrico do vidro

- Observe que agora podemos tratar de sólidos ou líquidos
- Chamamos de dilatação aparente de um líquido a diferença entre a dilatação real do líquido e a dilatação real do recipiente que o contém:

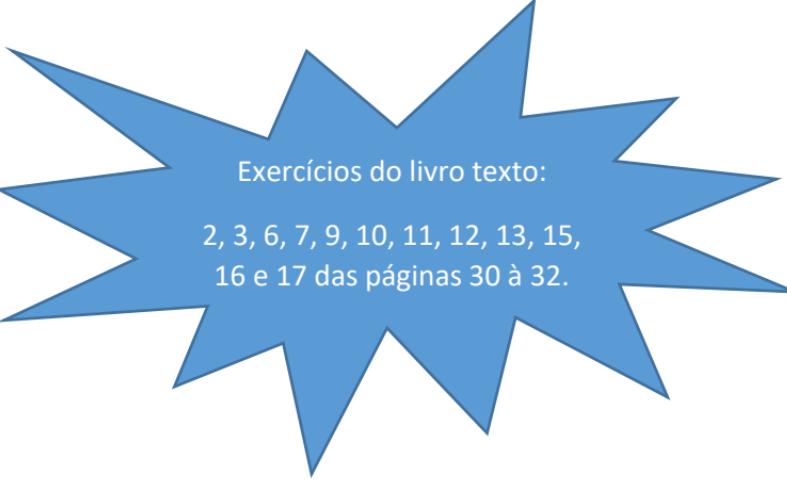
$$\Delta V_{aparente} = \Delta V_{líquido} - \Delta V_{recipiente}$$

(E) COMPORTAMENTO ANÔMALO DA ÁGUA

- A água no estado líquido, quando resfriada, a partir de 100°C, se contrai como a maioria das substâncias
- Abaixo de 4°C quando se refria a água ela se expande (dilata)
- Quando congelada, o volume da água aumenta ainda mais, por isso que o gelo flutua na água

Vamos fazer muitos exercícios.

Sugestão dos exercícios em sala:



Exercícios do livro texto:

2, 3, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15,
16 e 17 das páginas 30 à 32.

3. CALORIMETRIA

- Calor é a energia em trânsito
- Algumas substâncias requerem mais calor que outras para variar da mesma temperatura, mesmo que tenham a mesma massa.

(A) CALOR SENSÍVEL

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Q : quantidade de calor transmitida para o (ou a partir do) corpo

m : massa do corpo em estudo

c : constante de proporcionalidade chamada de calor específico. Varia de material para material.

ΔT : variação da temperatura.

- Normalmente não trabalhamos no Sistema Internacional de Unidades
 - Em geral, o calor é medido em calorias
 - A massa em grama
 - A variação de temperatura em °C

- O calor específico, portanto, em

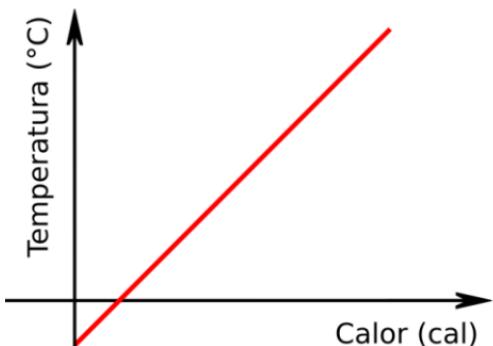
$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \Rightarrow [c] = \frac{[Q]}{[m] \cdot [\Delta T]} \Rightarrow$$

$$[c] = \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

- Calor é uma forma de energia
 - Por isso, a quantidade de calor trocado em um sistema é sempre nula
 - Aqui é importante lembrar que quando se recebe calor ele é considerado positivo e quando ele é perdido, ele será negativo
- Nem sempre quando um corpo recebe calor ele aumenta a temperatura.
 - Nesse caso, quando há variação da temperatura, dizemos que o calor é sensível.

(B) CURVAS DE AQUECIMENTO

- Podemos representar em um gráfico a temperatura de uma substância em função da energia térmica (Calor Q) dado à substância
- Esta representação é chamada de curva de aquecimento
- Apesar do nome, pode ser usado para representar um corpo sendo resfriado



(C) CAPACIDADE TÉRMICA

- Capacidade térmica é a quantidade de calor por variação de temperatura

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

- Note que a capacidade térmica pode ser escrita como

$$C = m \cdot c$$

(D) POTÊNCIA TÉRMICA

- Potência é a taxa com que uma energia é transmitida
- Potência térmica é a taxa com que um calor é transferido

$$P = \frac{Q}{\Delta t}$$

Sendo:

Δt : o tempo que leva para transmitir o calor Q

(E) TROCAS DE CALOR

- Calor, como vimos, é a quantidade de energia térmica que um corpo ganhou ou perdeu
- Dizemos que um sistema isolado é um sistema que não ganha nem perde calor
- Em um sistema isolado a soma de todos os calores trocados é zero

$$\sum Q_{trocados} = 0$$

- Além disso, dizemos que um sistema está em equilíbrio térmico quando todos os corpos que compõem o sistema atingem a mesma temperatura
 - Assim, a temperatura final de um sistema será a temperatura de equilíbrio térmico T_{eq}
- Por fim, sabemos que o calor sempre flui do corpo mais quente para o corpo mais frio

(F) CALOR LATENTE

- Algumas vezes o calor que uma substância recebe é utilizado para alterar o estado físico desta substância.

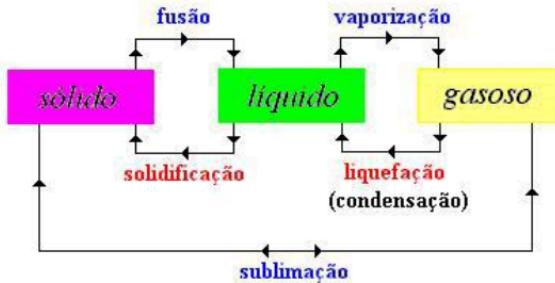
$$Q = m \cdot L$$

Q : quantidade de calor transmitida para o (ou a partir do) corpo

m : massa do corpo QUE SOFREU MUDANÇA DE ESTADO FÍSICO

L : calor específico latente.

- Para entendermos melhor o que é calor latente devemos estudar as mudanças de fase das substâncias.



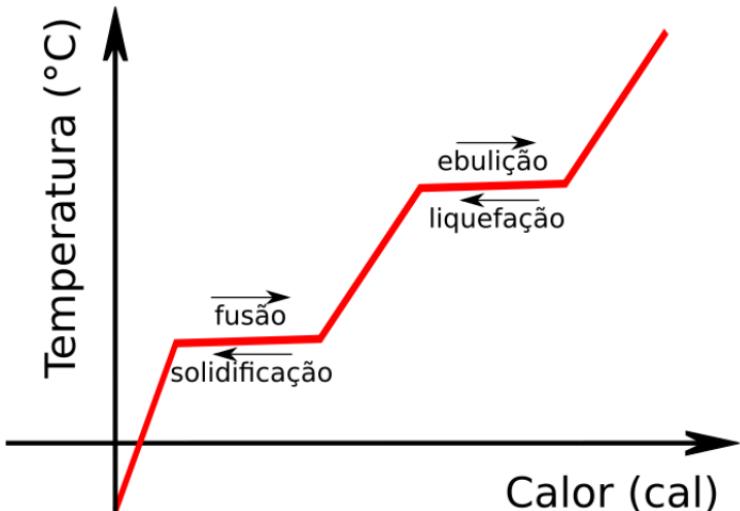
Leis da mudança de estado de agregação

Durante a mudança de estado, a sua temperatura permanece constante, desde que estejamos trabalhando com substância pura à pressão constante.

Todas as substâncias possuem uma temperatura de fusão e uma de ebulição cujos valores dependem da pressão e da substância.

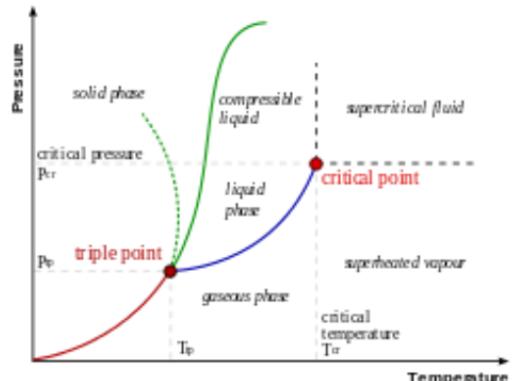
As temperaturas de fusão e ebulição coincidem, respectivamente, com as temperaturas de solidificação e liquefação

Podemos falar em novas curvas de aquecimento:

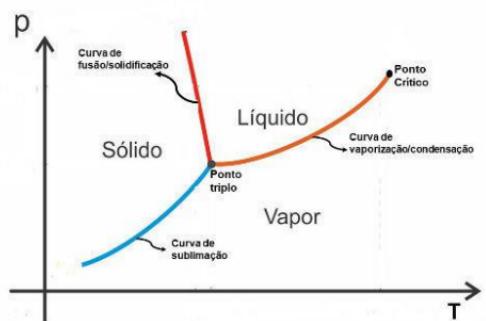


(G) DIAGRAMAS DE FASE

- MATERIAIS DE PRIMEIRA CATEGORIA



- MATERIAIS DE SEGUNDA CATEGORIA



4. TRANSMISSÃO DE CALOR

(A) TIPOS DE TRANSMISSÃO DE CALOR

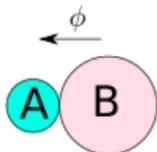
- Condução
 - Necessita de meio sólido para transmitir.
- Convecção
 - Precisa de meio fluido (líquido ou gasoso) para ocorrer.
 - Ocorre devido à diferença de densidade.
- Irradiação
 - Não precisa de um meio para ocorrer.
 - Ocorre tanto no vácuo como em meio material.
 - É transmitido por meio de ondas eletromagnéticas.

(B) CONDUÇÃO

- O calor flui do meio mais quente para o meio mais frio.
- Para ter condução os meios devem estar em contato térmico.
- A lei de Fourier estabelece uma relação matemática entre fluxo de calor (calor por unidade de tempo) e as dimensões do material, bem como o material.

FLUXO DE CALOR:

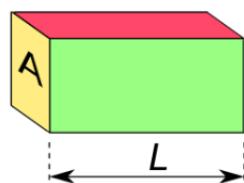
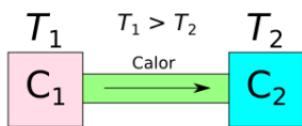
$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}$$



ϕ : Fluxo de Calor
 Q : Calor Transmitido
 Δt : tempo decorrido

As unidades de fluxo pode ser cal/s, cal/min etc. No sistema internacional usamos J/s que é o mesmo que watt (W).

LEI DE FOURIER



$$\phi = k \frac{A \cdot (T_1 - T_2)}{L}$$

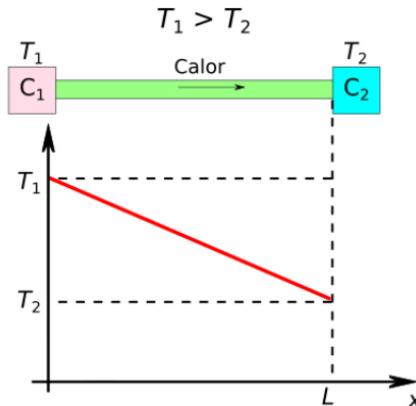
Sendo A a área da secção transversal do meio que irá conduzir calor; L o comprimento do material condutor; $\Delta T = T_1 - T_2$ a

diferença de temperatura dos dois corpos cujas temperaturas são diferentes.

k é chamado de condutibilidade térmica que varia de material para material.

Como exemplo, imagine um dia quente onde a temperatura externa T_1 é maior que a interna da sala de aula T_2 , devido ao ar-condicionado; L é a espessura de um dos vidros e A é a área do vidro da janela.

Vejamos a variação da temperatura de uma barra sob duas temperaturas diferentes:



Alguns exemplos de condutibilidade térmica:

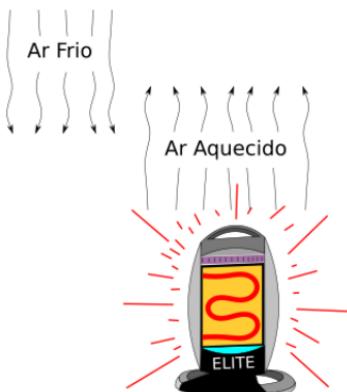
Material	k em W/(m.K)
Aço	40
Prata	420
Cobre	380
Ouro	310
Alumínio	200
Gelo	2
Vidro	0,84
Água	0,6
Tecido Humano	0,2
Amianto	0,16
Madeira	0,08 a 0,16
Lã	0,04
Ar	0,023
Isopor®	0,01

O gelo é um mal condutor, por isso o iglu é de gelo e por isso um *freezer*, quando acumula muito gelo, deve ser descongelado.

Uma panela é boa condutora, mas o cabo da panela é mal condutor.

(C) TRANSMISSÃO POR CONVEÇÃO

- Em geral, quanto menor a temperatura de um fluido, maior a densidade e o fluido mais frio tende a afundar e o mais quente sobe.
 - Por isso o *freezer* da geladeira é em cima;
 - ar-condicionado é colocado na parte superior da sala;
 - aquecedor na parte inferior;
 - algumas aves e planadores usam a convecção para manter-se voando (planando).



AQUECEDOR



Ar Frio

Ar Aquecido

AR-CONDICIONADO

- Inversão térmica ocorre quando o ar de um grande centro urbano está frio e acima há uma camada de ar quente. Assim toda a poluição não sai da cidade, mantendo a poluição no local de origem.
- Brisa Marítima ocorre devido à diferença de temperatura entre água e terra: à noite a terra é mais fria que a água e por isso ocorre uma brisa da terra para o mar; durante o dia, a terra é mais quente e por isso ocorre uma brisa da água para a terra.

Ar Aquecido

Água Quente

Areia Fria

BRISA TERRESTRE



Ar Frio

Ar Aquecido

Água Fria

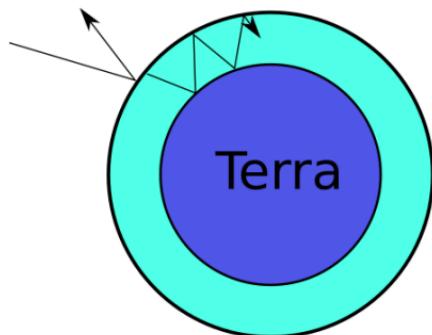
Areia Quente

BRISA MARÍTIMA

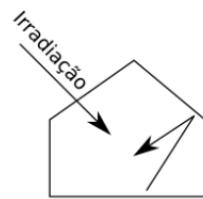
Cuidado: os nomes das figuras estão na parte de baixo.

(D) TRANSMISSÃO POR IRRADIAÇÃO

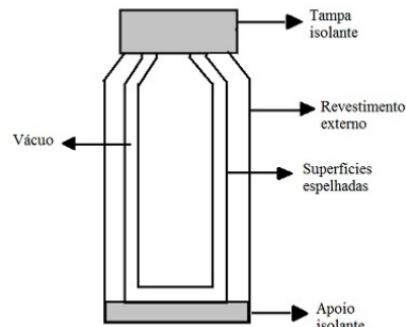
- O Sol transmite calor para a Terra por meio da irradiação.
- A potência irradiada depende da temperatura do corpo que está emitindo.
- A irradiação pode atravessar o vácuo e meios materiais como o ar e a água.
- Isso explica o efeito estufa.



EFEITO ESTUFA NA TERRA



O NOME EFEITO ESTUFA VEM DEVIDO AO QUE OCORRE COM ESTUFAS: MANTENDO A PARTE INTERNA MAIS QUENTE QUE A EXTERNA



GARRAFA TÉRMICA

- Lei da irradiação: Stefan-Boltzmann

$$P = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

P : potência emitida;

e : emissividade;

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$: constante de Boltzmann;

T : temperatura em kelvin.

A potência absorvida pelo meio que possui uma temperatura

T' é:

$$P' = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T'^4$$

Por fim, a potência líquida emitida pelo corpo é $P_{liq} = P - P'$:

$$P_{liq} = e \cdot \sigma \cdot A \cdot (T^4 - T'^4)$$

Desafio: use $e = 1$; estime a área superficial de um adulto; considere 36 °C como a temperatura de um ser humano; use 20 °C como a temperatura ambiente e determine qual a ingestão mínima, em calorias, que uma pessoa deve ingerir diariamente.