

# Aula 4

## ESPELHOS ESFÉRICOS

### META

- Fazer com que o estudante comece a pensar no ensino de ciências como algo “orgânico” que está em profunda transformação;
- Fazer com que os alunos percebam, através de uma atividade lúdica, que podemos ensinar física através de experimentos muito simples, e que física é uma ciência aplicada e que pode ser aprendida através da observação de vários dispositivos do nosso cotidiano;
- Fazer com que os alunos percebam as aplicações da física no cotidiano.
- Mostrar que existem muitas animações virtuais sobre o tema, e que ensinar e aprender física podem ser uma atividade divertida e interessante.

### OBJETIVOS

- Ao final desta aula, o aluno deverá:
  - estar cientes das novas possibilidades e dos desafios que envolvem o ensino de ciências em geral;
  - Que para se ensinar física não precisamos ficar presos ao livro didático;
- Que ensinar física não é ensinar a resolver problemas e que a física é uma mera aplicação da matemática.
- Devem ter compreendido que a óptica geométrica é um ramo fundamental da física com aplicações tecnológicas e de ciência básica (Astronomia, por exemplo);
- Que se ensinar através de exemplos reais (experimentais) pode ser muito mais interessante, assimilativo e divertido;
- Estes devem estar cientes que é possível explorar vários recursos de multimídias e de experimentos de baixo custo em sala de aula.

### PRÉ-REQUISITOS

Os alunos deveram ter cursado as disciplinas de Psicologia da Educação, Física A, B e C.

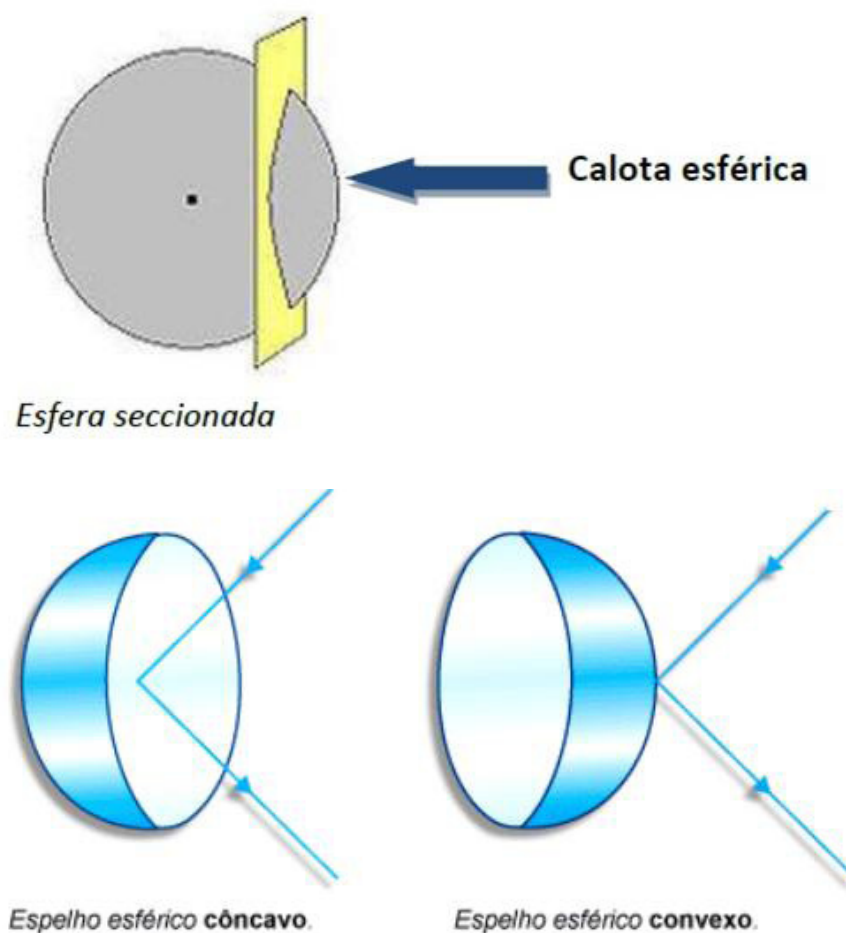
**Vera Lucia Martins de Mello**

## INTRODUÇÃO

Como dissemos na aula anterior, deixamos o tema “Espelhos Curvos” para ser tratado nessa aula e “Lentes” para ser tratado na próxima aula. Como sempre, tomamos um texto escolhido arbitrariamente.

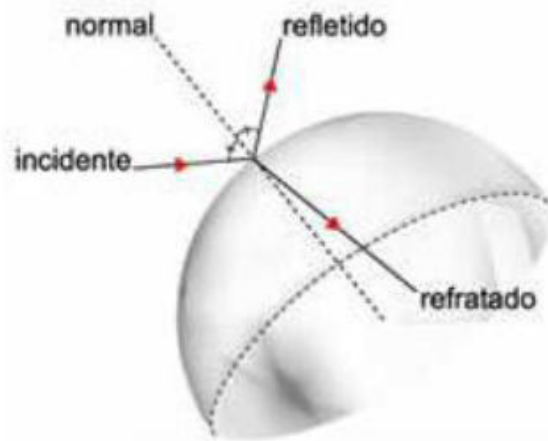
## ESPELHOS ESFÉRICOS

Ao se cortar uma esfera por um plano se obtém duas calotas esféricas. Espelhos esféricos é uma calota esférica, como mostra a figura 1, na qual uma de suas faces é espelhada produzindo reflexão regular ou especular. Assim, surgem dois tipos de espelhos, os côncavos cuja superfície refletora é a parte interna da calota e os convexos, onde a superfície refletora é a externa. Esses espelhos obedecem às mesmas leis de reflexão da luz dos espelhos planos da Óptica Geométrica, apresentados na aula 3.

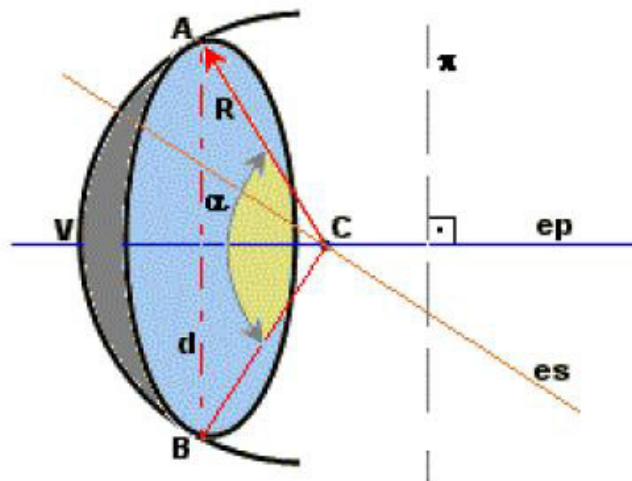


## REFLEXÃO DA LUZ EM ESPELHOS ESFÉRICOS

Como nos espelhos planos os espelhos esféricos obedecem as leis da reflexão, ou seja, os ângulos de incidência e reflexão são iguais, os raios incidentes e refletidos e a reta normal ao ponto de incidência são coplanares, (ver figura abaixo).



Para facilitar o estudo da formação da imagem define-se os elementos geométricos dos espelhos esféricos como:



- C é o centro da esfera;
- V é o vértice da calota;
- O eixo que passa pelo centro e pelo vértice da calota é chamado eixo principal;
- As demais retas que cruzam o centro da esfera são chamadas eixos secundários;

- O ângulo  $\alpha$ , que mede a distância angular entre os dois eixos secundários que cruzam os dois pontos mais externos da calota, é a abertura do espelho.

A abertura ( $\alpha$ ) de um espelho, como mostra a figura, varia diretamente com o diâmetro  $d$  ( $R$  é mantido constante) e inversamente com o raio de curvatura  $R$  ( $d$  é mantido constante). O raio da esfera  $R$  que origina a calota é chamado raio de curvatura do espelho.

Um sistema óptico que consegue conjugar a um ponto objeto, um único ponto como imagem é dito estigmático. Os espelhos esféricos só são estigmáticos para os raios que incidem próximos do seu vértice  $V$  e com uma pequena inclinação em relação ao eixo principal. Um espelho com essas propriedades é conhecido como espelho de Gauss. Um espelho que não satisfaz as condições de Gauss (incidência próxima do vértice e pequena inclinação em relação ao eixo principal) é dito astigmático. Um espelho astigmático conjuga a um ponto uma imagem parecendo uma mancha. Assim, para se ter nitidez na imagem, o ângulo de abertura do espelho tem que ser inferior a 10 graus. Se essas condições forem obedecidas, esses espelhos são chamados de espelhos esféricos de Gauss.

### FOCOS DOS ESPELHOS ESFÉRICOS

Define-se como foco de um espelho convexo, como o ponto entre o centro de curvatura e o vértice no qual os raios refletidos pelo espelho convergem (côncavo) ou divergem (convexo). Observe as imagens abaixo:

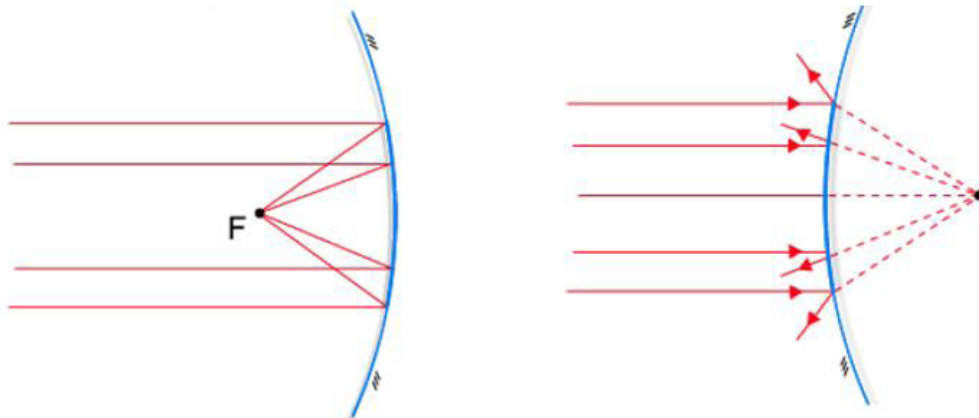


Figura 5 - Focos de um espelho côncavo e um convexo.

Vemos que no caso dos espelhos côncavos (convergentes) o foco é real, pois é formado pelo cruzamento direto dos raios refletidos, e para os espelhos convexas (divergentes) o foco é virtual, pois é formado pelo cruzamento dos prolongamentos dos raios refletidos.

A distância entre o foco e o vértice do espelho é chamada distância focal ( $f_0$ ). Nos espelhos de Gauss podemos considerar  $f_0 = R/2$ , onde  $R$  é o raio de curvatura (o raio da esfera seccionada).

## DETERMINAÇÃO DAS IMAGENS

Considere um objeto diante de um espelho esférico e em posição perpendicular ao eixo principal do espelho. Sabemos da experiência que:

- Uma imagem pode ser real ou virtual. No caso dos espelhos, dizemos que a imagem é virtual se ela se encontra “atrás” do espelho e real se ela se encontra em frente ao espelho podendo ser projetada em um anteparo.
- A imagem ainda pode ser classificada de acordo com o seu tamanho em maior, menor ou igual ao tamanho do objeto.
- A imagem pode ser invertida em relação ao objeto. Se não houver sua inversão dizemos que ela é direita.

Para que possamos determinar o tipo de imagem e sua posição em relação ao vértice do espelho nos espelhos esféricos, devemos conhecer alguns raios chamados raios notáveis, que obedecem às chamadas propriedades fundamentais dos espelhos esféricos.

- 1 - Todo raio de luz que incide paralelamente a um eixo (principal ou secundário), se reflete na direção do foco (principal ou secundário).

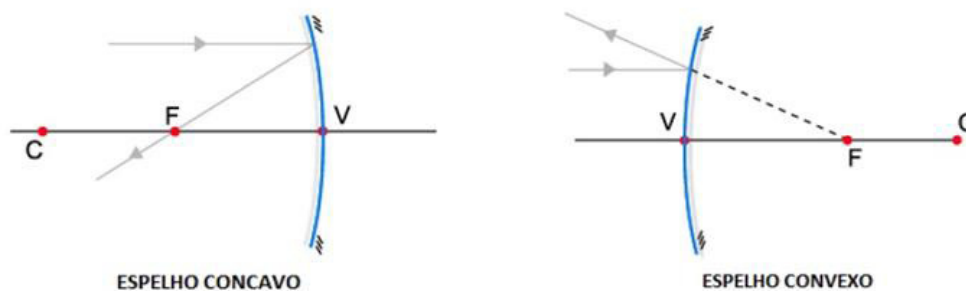


Figura 6 – Disponível em: <http://caldeiradigital.files.wordpress.com/2010/05/espelhos-esfericos.pdf>.

- 2 - Todo raio de luz que incide na direção do foco, é refletido paralelamente ao eixo

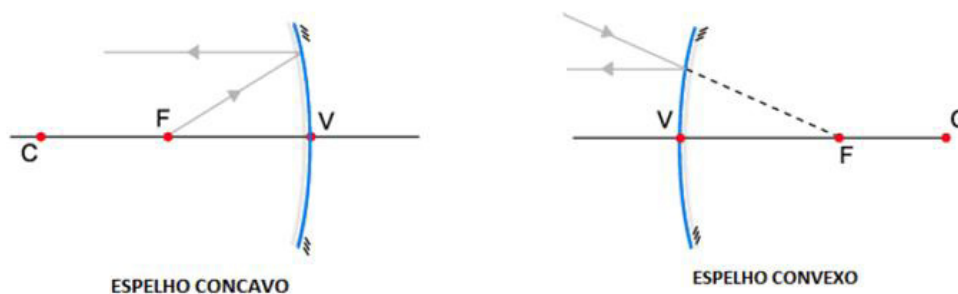


Figura 7 – Disponível em: <http://caldeiradigital.files.wordpress.com/2010/05/espelhos-esfericos.pdf>.

3 - Todo raio de luz que incide na direção do centro de curvatura, é refletido sobre si mesmo

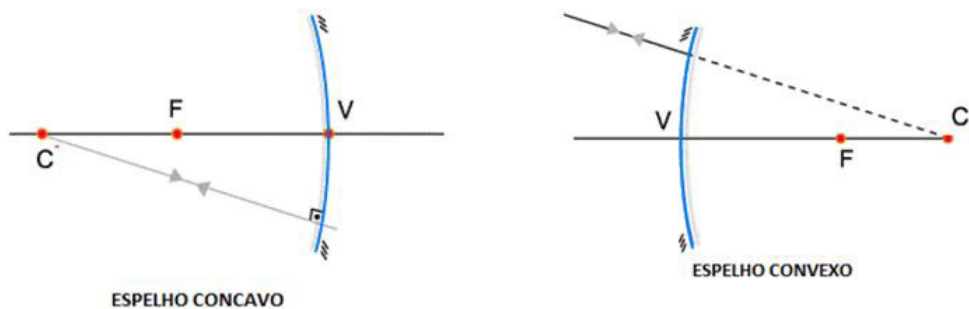


Figura 8 – Disponível em: <http://caldeiradigital.files.wordpress.com/2010/05/espelhos-esfericos.pdf>.

4 - Todo raio de luz que incide sobre o vértice, é refletido simetricamente em relação ao eixo principal.

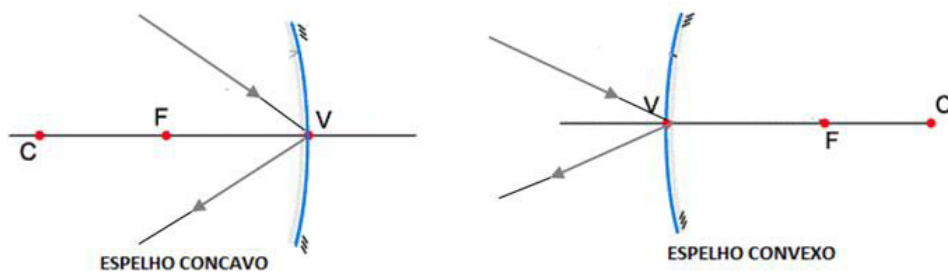


Figura 9 – Disponível em: <http://caldeiradigital.files.wordpress.com/2010/05/espelhos-esfericos.pdf>.

Veremos que nos espelhos côncavos, a característica da imagem formada depende da posição do objeto em relação a ele e nos convexos, a imagem formada tem sempre a mesma característica qualquer que seja a posição do objeto.

## ESPELHOS CÔNCAVOS

1 - Objeto além do centro de curvatura

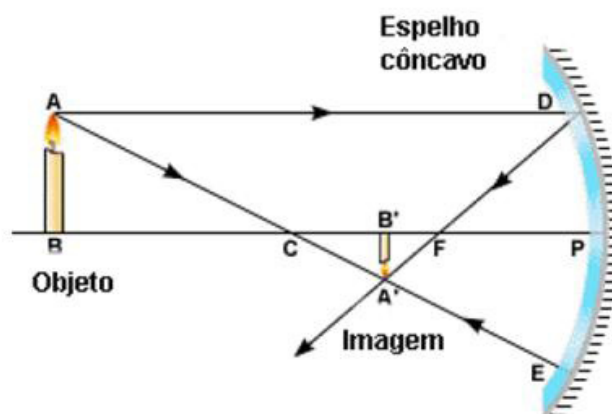


Figura 10 – Imagem real, invertida e menor.

2 - Objeto no centro de curvatura

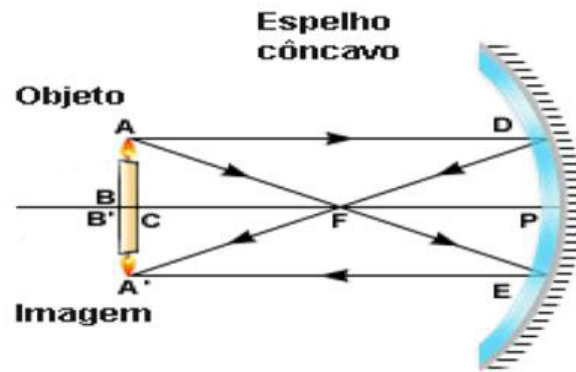


Figura 11 - Imagem real, invertida e igual.

3 - Objeto entre o foco (F) e o centro de curvatura (C)

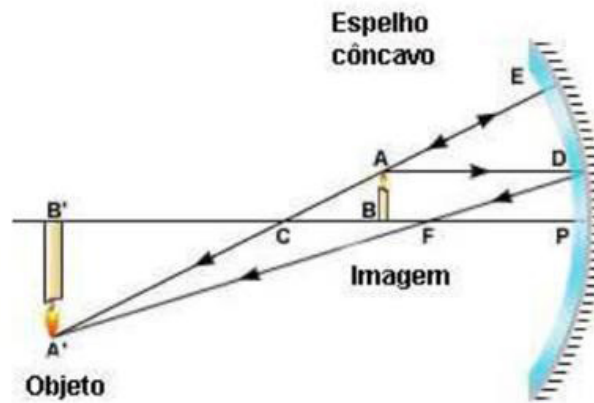


Figura 12 - Imagem real, invertida e maior.

4 - Objeto no foco

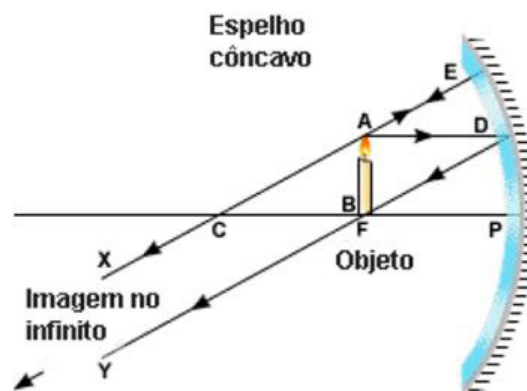


Figura 13 - Imagem imprópria.

5 - Objeto entre o foco (F) e o vértice (P)

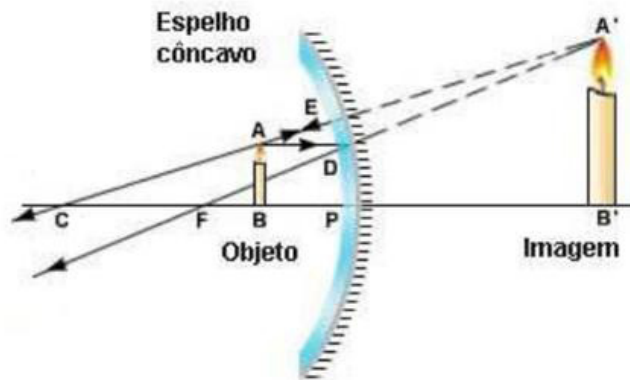


Figura 14 - Imagem virtual, direita e maior.

## ESPELHOS CONVEXOS

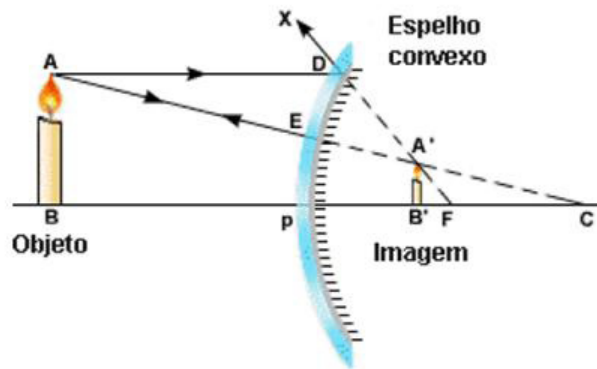


Figura 15 - Imagem virtual, direita e menor.

## ESTUDO ANALÍTICO DOS ESPELHOS

Referencial de Gauss

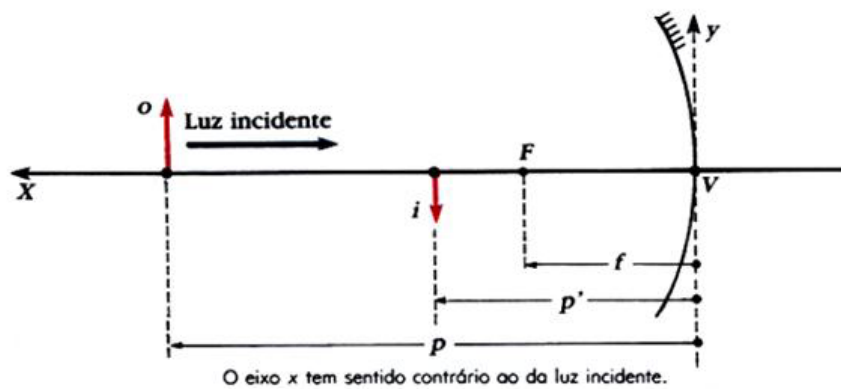


Figura 16 - Referencial de Gauss.



Esse estudo basicamente é uma forma de determinar matematicamente a posição da imagem. Considerando o espelho da figura acima onde:

- $o$  = Tamanho do objeto
- $i$  = Tamanho da imagem
- $f$  = Distância focal
- $p$  = Distância do objeto ao espelho
- $p'$  = Distância da imagem ao espelho

#### Estudo de sinais

Considerando o objeto sempre real ( $p > 0$ ), temos então:  
 Espelho côncavo:  $f > 0$ ; Espelho convexo:  $f < 0$   
 Imagem real:  $p' > 0$ , ou seja, se  $p'$  for um número positivo a imagem estará sendo formada antes do espelho;  
 Imagem virtual:  $p' < 0$ , ou seja, se  $p'$  for um número negativo a imagem estará sendo formada dentro do espelho;  
 Imagem direita:  $i > 0$ , ou seja, se  $i$  for um número positivo a imagem estará sendo formada acima do eixo principal;  
 Imagem invertida:  $i < 0$ , ou seja, se  $i$  for um número negativo a imagem estará sendo formada abaixo do eixo principal.

#### Quanto à ampliação:

- Se  $A < 0$  a imagem é invertida;
- Se  $A > 0$  a imagem é direita;
- Se  $A > 1$  a imagem é maior que o objeto;
- Se  $A < 1$  a imagem é menor que o objeto.

Por semelhança de triângulos poderíamos deduzir a equação de Gauss e a lei da ampliação da imagem, que simplesmente forneceremos aqui:

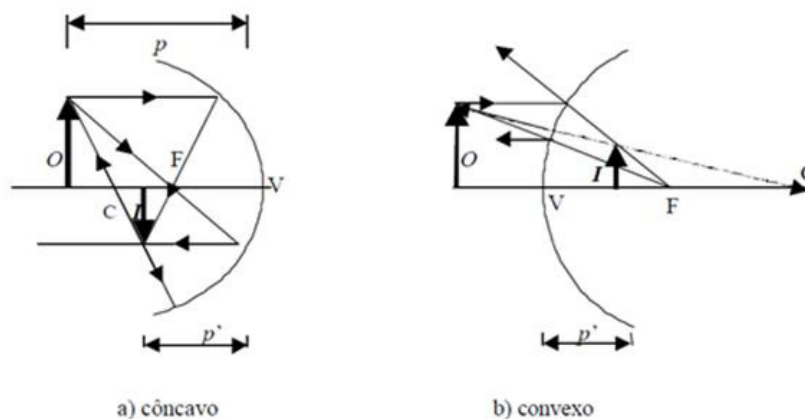


Figura 17 - Formação de imagens em espelhos esféricos. Disponível em: <http://www.fisica.ufsc.br/~lab2/pdfs/exp09.pdf>.

Lei de Gauss

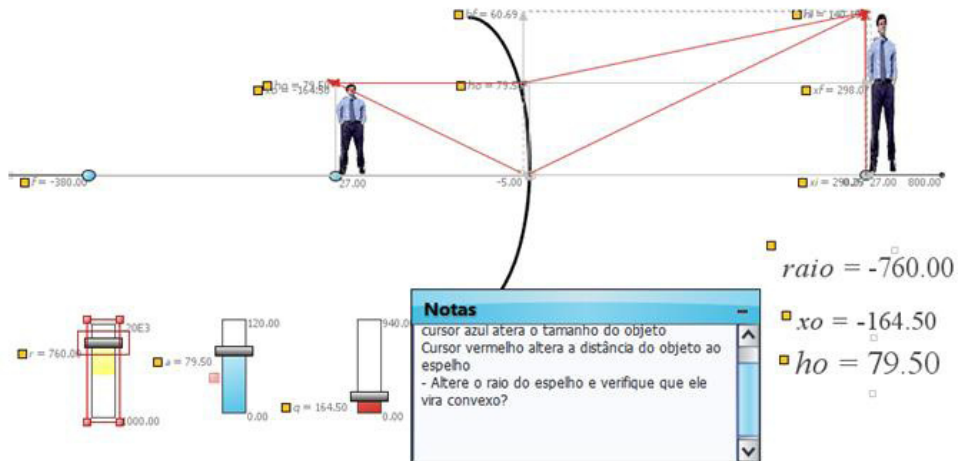
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{P} + \frac{1}{P'}$$

Lei da Ampliação da Imagem

$$A = \frac{i}{o} = -\frac{P'}{P} = \frac{F}{F-P}$$

Questões:

Q1 – Abra o modelo “imagem\_esp\_côncavo” e verifique as leis acima.



## ATIVIDADES – APPLET'S

Analise os sites com applets abaixo:

- Lab/Metro. Site da Universidade Federal de Santa Catarina. <http://www.labmetro.ufsc.br/Disciplinas/EMC6422/APPLETS/EspelhoEsferico/EspelhoEsferico.html>

1.2 – Lentes Fu-Kwun Hwang.

[http://www.phys.hawaii.edu/~teb/java/ntnujava/Lens/lens\\_e.html](http://www.phys.hawaii.edu/~teb/java/ntnujava/Lens/lens_e.html)

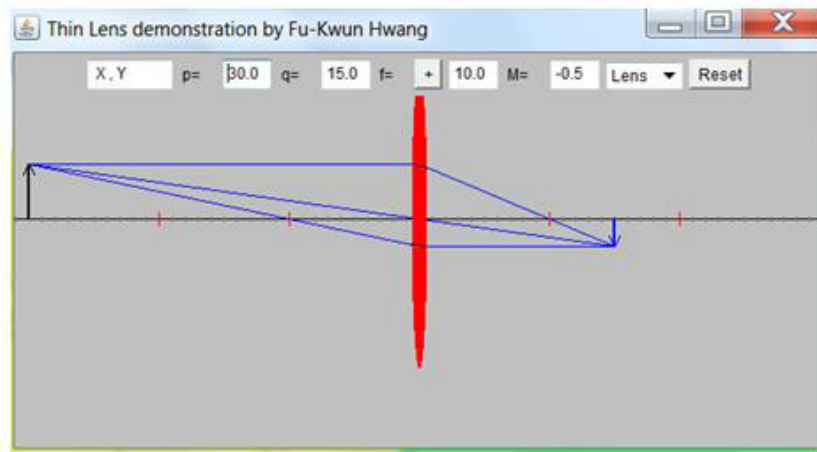


Figura 19 – Disponível em: [http://www.phys.hawaii.edu/~teb/java/ntnujava/Lens/lens\\_e.html](http://www.phys.hawaii.edu/~teb/java/ntnujava/Lens/lens_e.html).

1.3 – Site do Educaplus. <http://www.educaplus.org/luz/espejo2.html>.  
Clicando no botão “mais” inverte o sinal do foco.

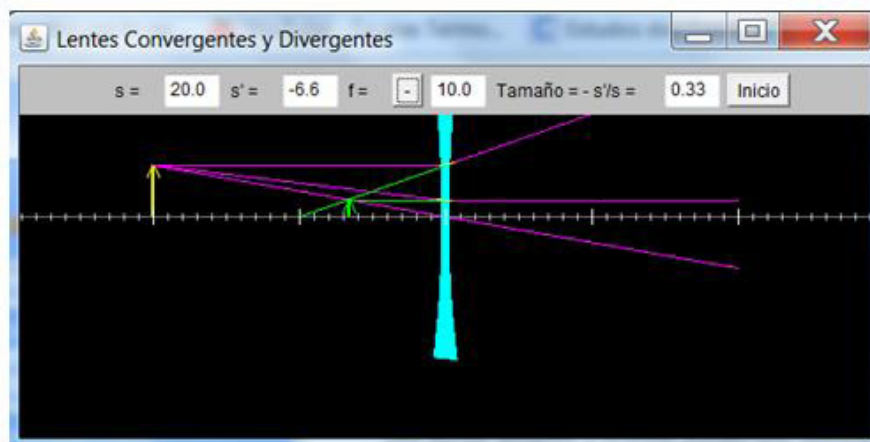


Figura 20 – Disponível em: <http://www.educaplus.org/luz/espejo2.html>.

1.4 – Espelhos

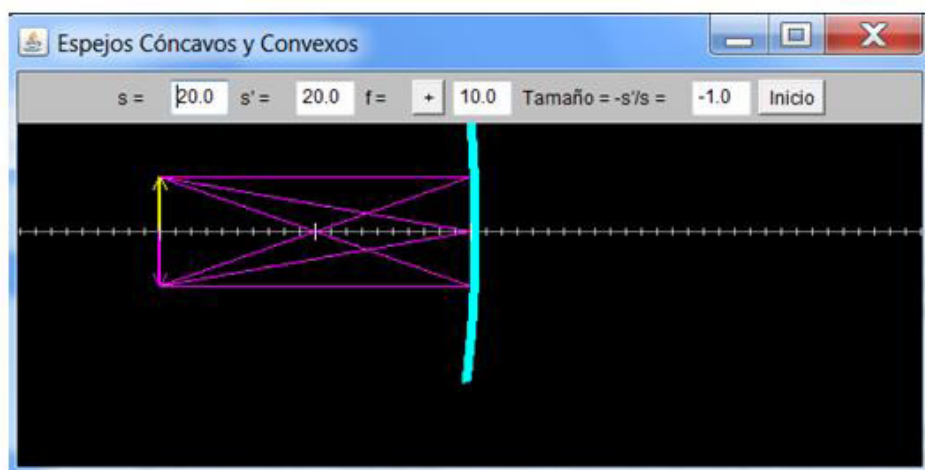


Figura 21 – Disponível em: <http://www.educaplus.org/luz/espejo2.html>.

1.5 – General Physics Java Applets. <http://www.schulphysik.de/suren/Applets.html>. É necessário clicar e arrastar o ponto objeto.

Cabeçalho	Rodapé
Focal length = Distância focal	Image distance = distância da imagem
Object Distance = Distância do Objeto	Image height = Altura da imagem
Object Height = altura do objeto	Magnification = Ampliação

Tabela 1

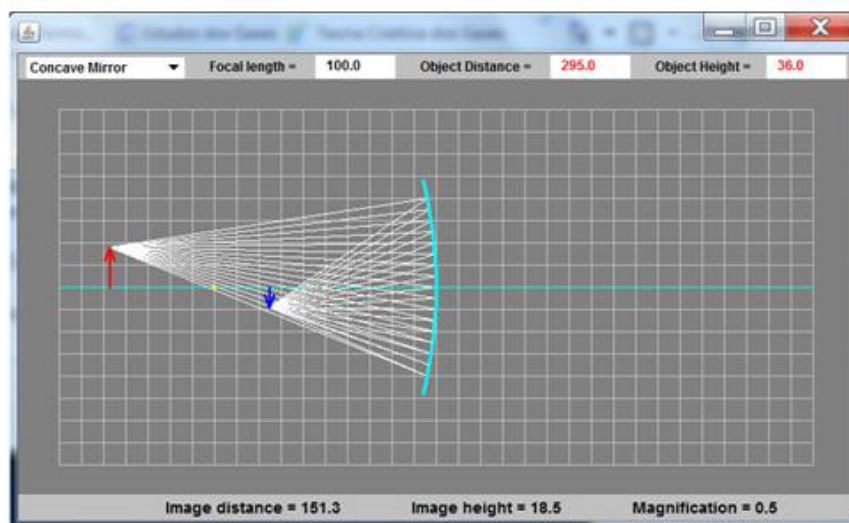


Figura 22 – Disponível em: <http://www.schulphysik.de/suren/Applets.html>.

1.6 – Projeto Phet. Universidade do Colorado.

[http://phet.colorado.edu/sims/geometric-optics/geometric-optics\\_en.html](http://phet.colorado.edu/sims/geometric-optics/geometric-optics_en.html)

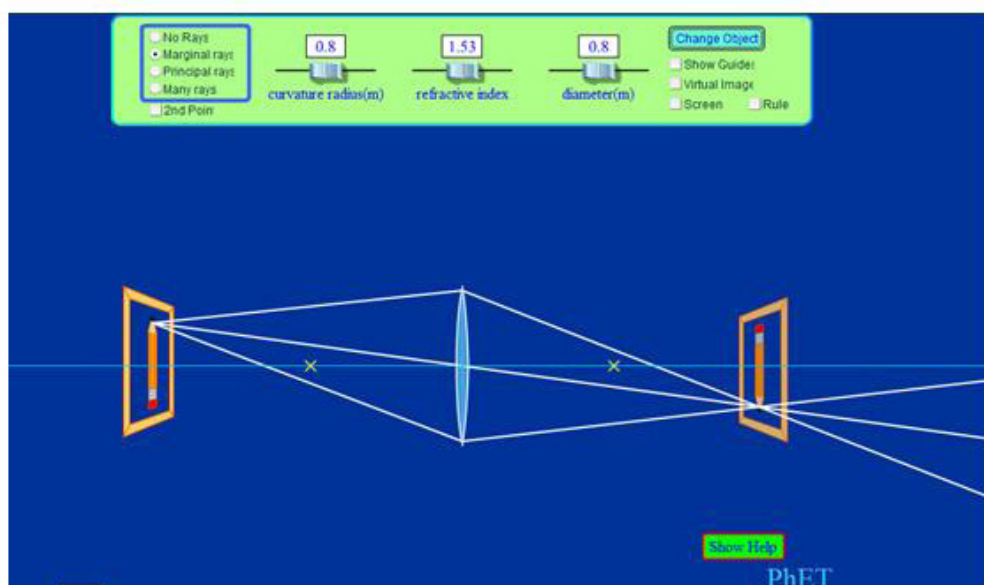


Figura 23 – Disponível em: [http://phet.colorado.edu/sims/geometric-optics/geometric-optics\\_en.html](http://phet.colorado.edu/sims/geometric-optics/geometric-optics_en.html).

- VÍDEO AULAS

2.1 – Sei mais física. Espelhos côncavo e convexo.

<http://www.youtube.com/watch?v=CxH1rrXI-Qg>

2.2 - Espelhos côncavo e convexo.

<http://www.youtube.com/watch?v=eWmeGk14Om0>

2.3 - Músicas de física - Côncavo e convexo

[http://www.youtube.com/watch?v=h\\_ZPbiUljSo](http://www.youtube.com/watch?v=h_ZPbiUljSo)

## EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO

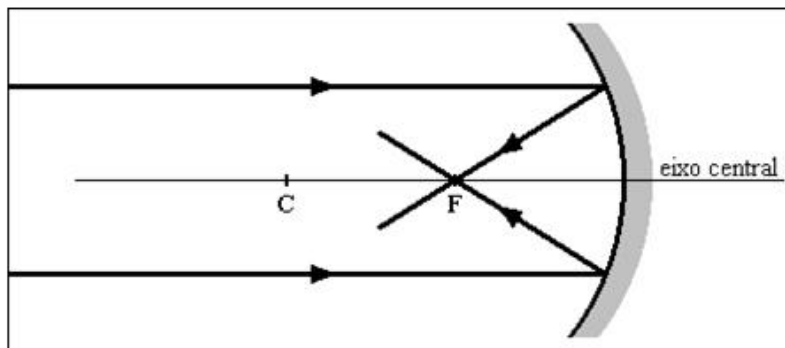
### 3.1 – ESPELHO CÔNCAVO [8]

Objetivo:

Este experimento tem por objetivo construir um espelho côncavo, bem como, observar como os raios de luz se comportam quando são refletidos por ele.

Contexto:

Sabe-se que quando um raio de luz incide em um espelho plano, é refletido com o mesmo ângulo com o qual incidiu em relação à normal. Porém se encurvamos este espelho, de modo que a superfície refletora assuma uma forma côncava, isto não ocorre. Neste caso teremos um espelho côncavo que obedece à algumas propriedades. Uma delas, e a mais interessante neste caso, é que os raios que incidem paralelamente ao eixo central desse espelho côncavo, são refletidos passando pelo foco do mesmo, como mostra a figura abaixo. Foco, ou distância focal, é a metade do raio de curvatura do espelho.



F é o foco e C o centro de curvatura

Ideia do Experimento:

Um pente e uma lanterna são utilizados para formar feixes luminosos paralelos. Ao interceptar os feixes com um espelho côncavo, observa-se que os raios luminosos são refletidos por ele, passando por um ponto que é a metade do seu raio, ou seja, o foco.

Item	Observação
Garrafa Pet de 2L	Ou qualquer outro objeto/embalagem que possa fornecer um anel com diâmetro semelhante.
Embalagem dos Salgadinhos ELMA CHIPS	Utilizamos uma embalagem de BACONZITOS, mas pode ser utilizada a embalagem de qualquer outro salgadinho desta marca. Pode-se utilizar também uma embalagem de pó de café que é feita de um material muito parecido.
Pente	
Lanterna	
Cola branca	

Tabela 2 - Material necessário para o experimento.

### Montagem:

Corte a garrafa transversalmente de modo a formar um anel como mostra a figura 33;

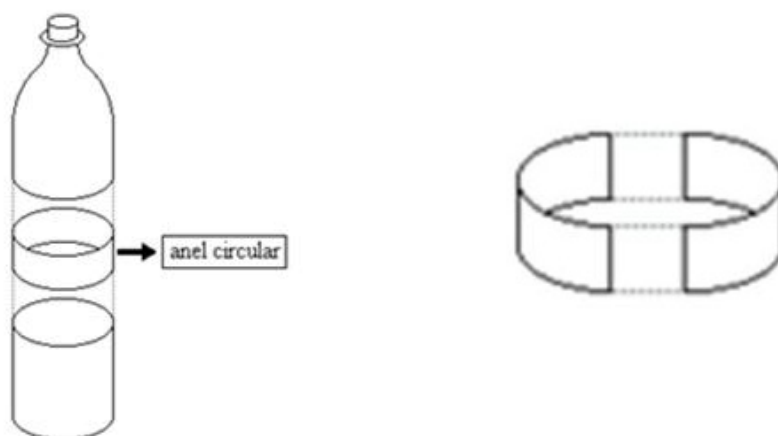
Corte o anel ao meio de forma que visto de cima seja um semicírculo (figura 34);

Cole um pedaço da embalagem de salgadinho (com o mesmo tamanho da parte da garrafa) na face côncava do semicírculo, tendo cuidado para que a face mais refletora da embalagem fique voltada para a concavidade do semicírculo, com a finalidade de se formar um espelho côncavo. A face mais refletora da embalagem é o lado de dentro;

Ilumine, com a lanterna, a superfície na qual será realizada a experiência, fazendo com que o feixe de luz gerado pela lanterna fique quase paralelo à esta superfície;

Coloque o pente na frente deste fixe na posição vertical ("em pé");

A luz gerada pela lanterna foi dividida em pequenos feixes. Colocando o espelho côncavo na frente desses feixes, é possível observar que eles são refletidos em direção ao foco do espelho.

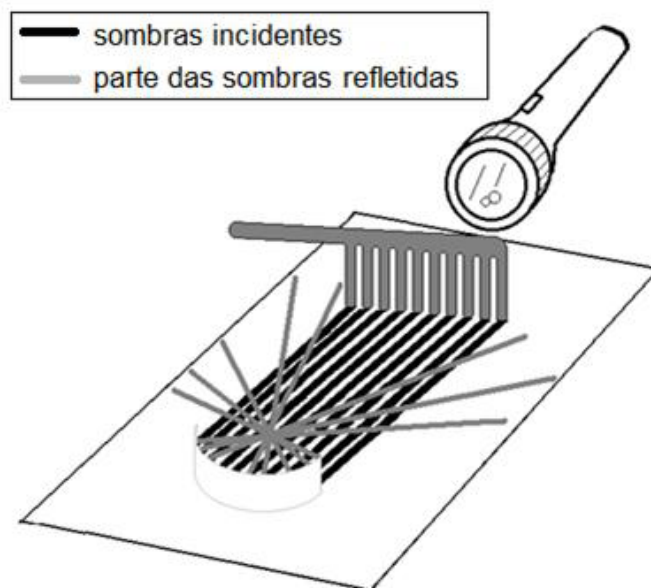


Comentário:

Melhores resultados serão obtidos se a lanterna permanecer o mais longe possível do pente.

Utilizando os mesmos princípios também é possível construir um espelho convexo apenas colando o pedaço da embalagem do outro lado da parte retirada da garrafa.

Esquema Geral de Montagem:



Os raios andam paralelos às sombras, que são mais facilmente visualizadas.

## CONCLUSÃO

Uma aula sobre espelhos esféricos e lentes é muito interessante e leva os estudantes do segundo grau a gostarem mais da física. Esse tópico da física possui muitos recursos didáticos e deve ser abordado no ensino médio e sempre podemos ilustrar a aula com experiências de demonstração.



## RESUMO

Apresentamos uma aula padrão sobre o tópico da Óptica Geométrica “Lentes e Espelhos”. Complementamos com uma animação gráfica feita com o software Modellus, com experimentos de baixo custo, applets de ensino e vídeo aulas.



### RESPOSTA ÀS QUESTÕES

1 – Abrir o applet e fazer a simulação.

#### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

As vídeo aulas e os applets de ensino sugeridos são muito bons e ilustram o conteúdo desta aula. A modelagem feita com o software de ensino Modellus ilustra muito bem a equação das lentes delgadas e o princípio de formação das imagens.

Apesar do texto escolhido para ilustrar o conteúdo ser bastante simples ele serve como complemento ao curso de Física C onde não se é dado este tema.

#### REFERÊNCIAS

CDCC – USP. Experimentoteca. Ótica: Lentes e espelhos esféricos. **Espelhos Esféricos**. Disponível em: <[http://www.cdcc.usp.br/exper/medio/fisica/kit5\\_otica\\_lente\\_espelho/exp1\\_lente\\_espelho.pdf](http://www.cdcc.usp.br/exper/medio/fisica/kit5_otica_lente_espelho/exp1_lente_espelho.pdf)>. Acesso em 28/08/2012.

\_\_\_\_\_. Experimentoteca. Ótica: Lentes e Espelhos Esféricos. **Projeção de Imagens utilizando Espelhos Esféricos**. Disponível em: <<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/9008/projecao-deimagensemepelhosesfericos.pdf?sequence=1>>. Acesso em 28/08/2012.

Centro Educacional Stella Maris. Espelhos Esféricos. Disponível em: <<http://caldeiradigital.files.wordpress.com/2010/05/espelhos-esfericos.pdf>>. Acesso em 28/08/2012.

Espelhos Esféricos. Disponível em: <[http://www.singularsaobernardo.com.br/portal/emn/ar/professores/suzana/terceiro\\_ano/espelhos\\_esfericos/espelhos\\_esfericos.pdf](http://www.singularsaobernardo.com.br/portal/emn/ar/professores/suzana/terceiro_ano/espelhos_esfericos/espelhos_esfericos.pdf)>. Acesso em 28/08/2012.

Física com Abud. Espelhos Esféricos. Disponível em: <<http://fisicacomabud.com.br/01.04.11/Espelhos%20esf%C3%A9ricos.pdf>>. Acesso em 28/08/2012.

\_\_\_\_\_. Lentes Esféricas. Disponível em: <<http://fisicacomabud.com.br/18.05.2011/LENTES%20ESFERICAS%20docx.pdf>>. Acesso em 28/08/2012.

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Departamento de Física. Experiência 09 – Espelhos e lentes. Disponível em: <<http://www.fisica.ufsc.br/~lab2/pdfs/exp09.pdf>>. Acesso em 28/08/2012.

UNESP/Bauru. Projeto Experimentos de Física com Materiais do Dia a Dia. Disponível em: <[http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/opt\\_list.htm](http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/opt_list.htm)>. Acesso em 28/08/2012.