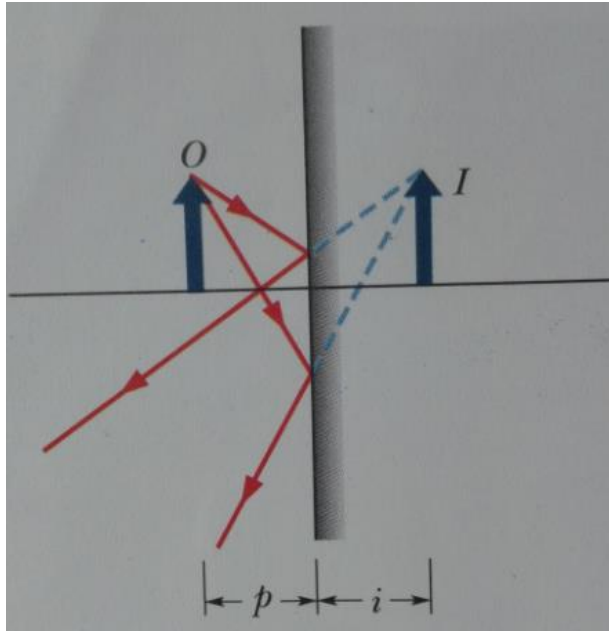
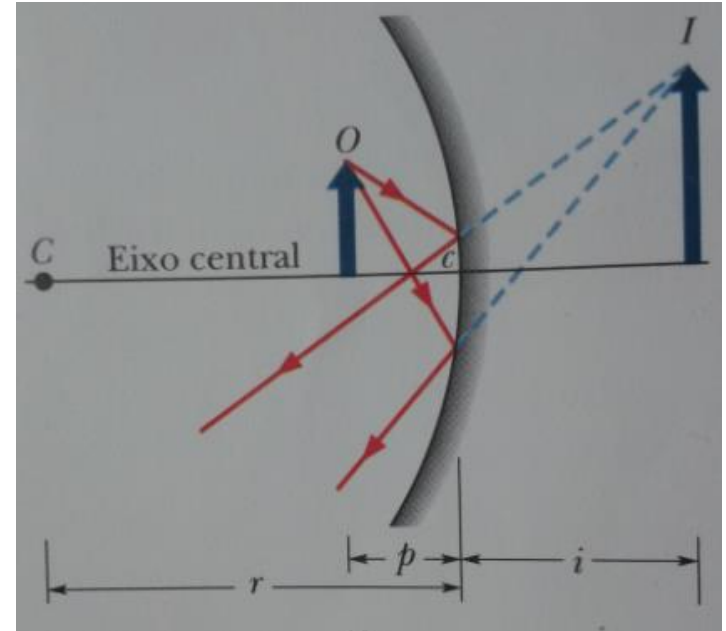


## 34.4 Espelhos Esféricos

### Como fazer um Espelho Esférico



**Espelho Plano**



**Espelho Côncavo**

Um **espelho côncavo** possui as seguintes características:

1. O *centro de curvatura*  $C$  (o centro da esfera à qual pertence a superfície do espelho) estava a uma distância infinita no caso do espelho plano; agora está mais próximo, à frente do espelho.
2. O *campo de visão* (região que o observador pode perceber refletida através do espelho) diminui em relação ao espelho plano.
3. A distância da imagem aumenta em relação ao espelho plano.
4. O tamanho da imagem aumenta em relação ao espelho plano. É por isso que muitos espelhos de maquiagem são côncavos.

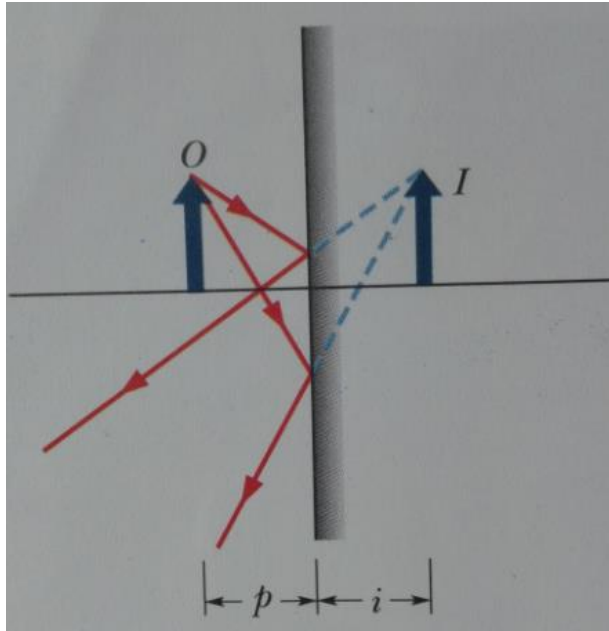
# Aplicações para Espelhos Côncavos



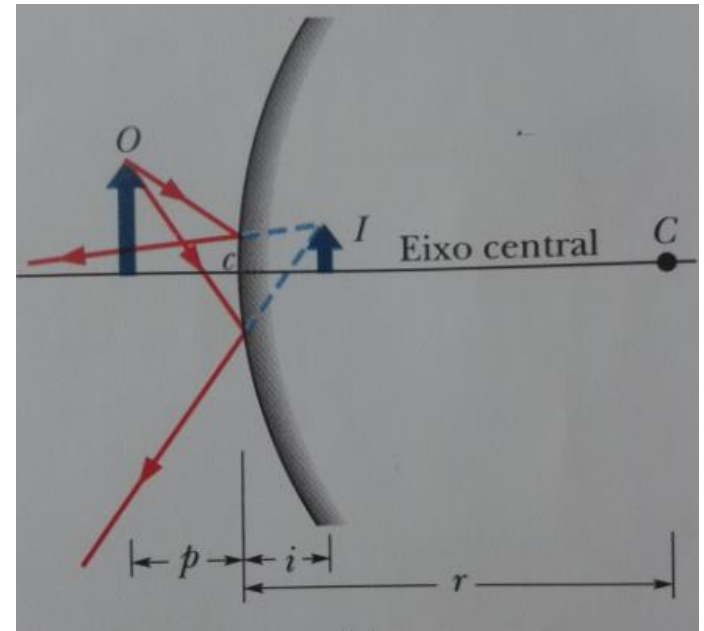
Ao se maquiar diante de um **espelho côncavo**, estando o objeto (o rosto) bem próximo (entre o foco e o centro do espelho) do espelho, a imagem produzida pelo espelho será virtual e maior que o objeto, o que irá proporcionar uma melhor percepção dos detalhes do objeto devido ao aumento proporcionado.



**Espelhos côncavos** também podem ser encontrados em alguns tipos de telescópios, projetores e nos consultórios odontológicos, pois com ele é possível observar mais detalhes dos dentes.



**Espelho Plano**



**Espelho Convexo**

Um **espelho convexo** possui as seguintes características:

1. O *centro de curvatura*  $C$  agora está atrás do espelho.
2. O *campo de visão* aumenta em relação ao espelho plano. É por isso que quase todos os espelhos usados nas lojas para observar o movimento dos fregueses são convexos.
3. A distância da imagem diminui em relação ao espelho plano.
4. O tamanho da imagem diminui em relação ao espelho plano.

# Aplicações para Espelhos Convexos



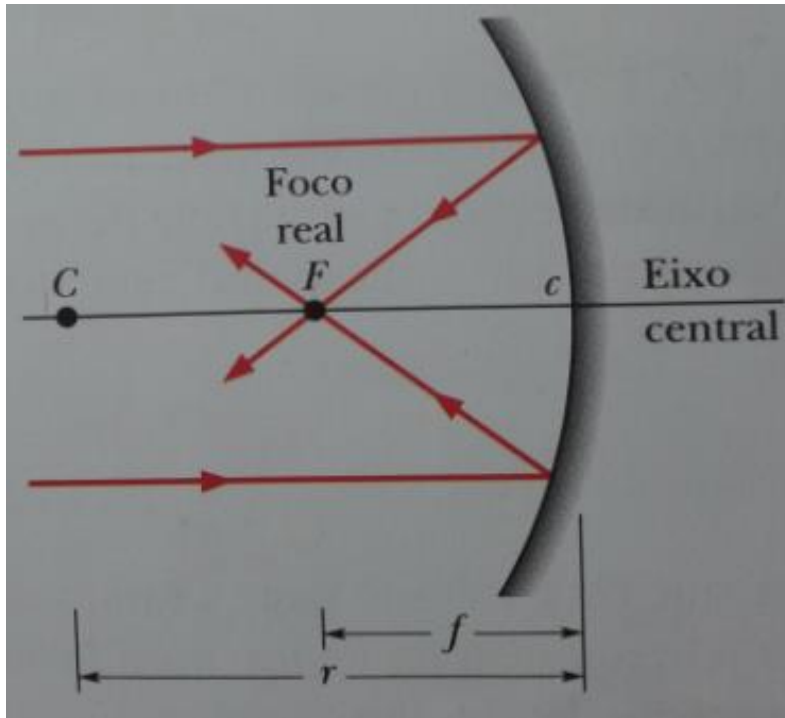
**Espelhos convexos** geralmente são usados em portarias de prédio, no interior de lojas, supermercados e farmácias,.



Os espelhos retrovisores usados em carros também são **convexos**.

# Os Pontos Focais dos Espelhos Esféricos

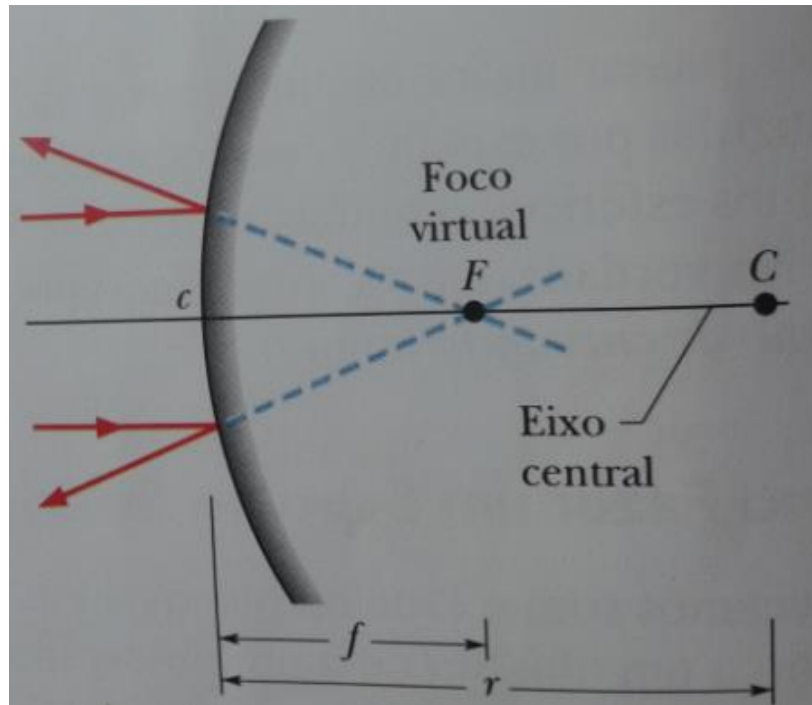
Em um **espelho côncavo**, os raios (provenientes de um objeto localizado a uma distância grande do espelho) paralelos incidentes convergem para um **foco real** situado no ponto  $F$ , do mesmo lado do espelho que os raios incidentes.



**Espelho Côncavo**

- Se colocarmos uma tela em no ponto  $F$ , uma imagem pontual do objeto  $O$  aparece na tela.
- O ponto  $F$  recebe o nome de **ponto focal real** (ou **foco**) do espelho.
- A distância entre  $F$  e o centro  $c$  do espelho é chamado de **distância focal** do espelho, representada pela letra  $f$ .

Em um **espelho convexo**, os raios (provenientes de um objeto localizado a uma distância grande do espelho) paralelos incidentes parecem divergir de um **foco virtual** situado no ponto  $F$ , que é o ponto para o qual os prolongamentos dos raios refletidos pelo espelho convergem.



### Espelho Convexo

- Se colocarmos uma tela em no ponto  $F$ , uma imagem pontual do objeto  $O$  não aparece na tela, o que mostra que existe uma diferença essencial entre os pontos focais dos dois tipos de espelhos esféricos.
- O ponto  $F$  recebe o nome de **ponto focal virtual** (ou **foco**) do espelho.

➤ Em ambos os casos, a relação entre a **distância focal**  $f$  e o **raio de curvatura**  $r$  do espelho é dada por

$$f = \frac{1}{2}r. \quad (\text{espelho esférico}) \quad (34.3)$$

#### Convenção:

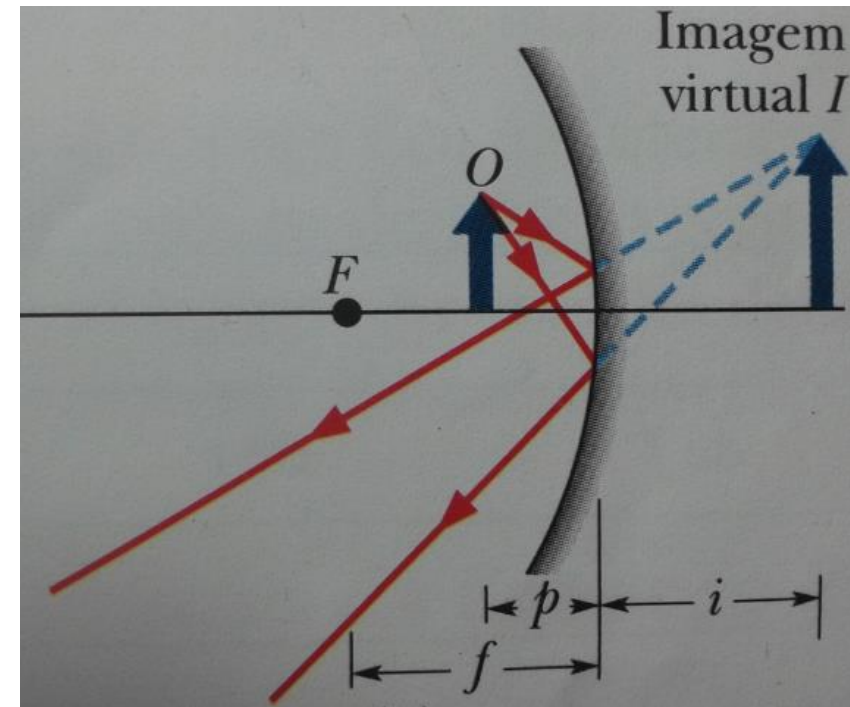
$r > 0$  (espelho côncavo)  
 $r < 0$  (espelho convexo)



## 34.5 Imagens Produzidas por Espelhos Esféricos

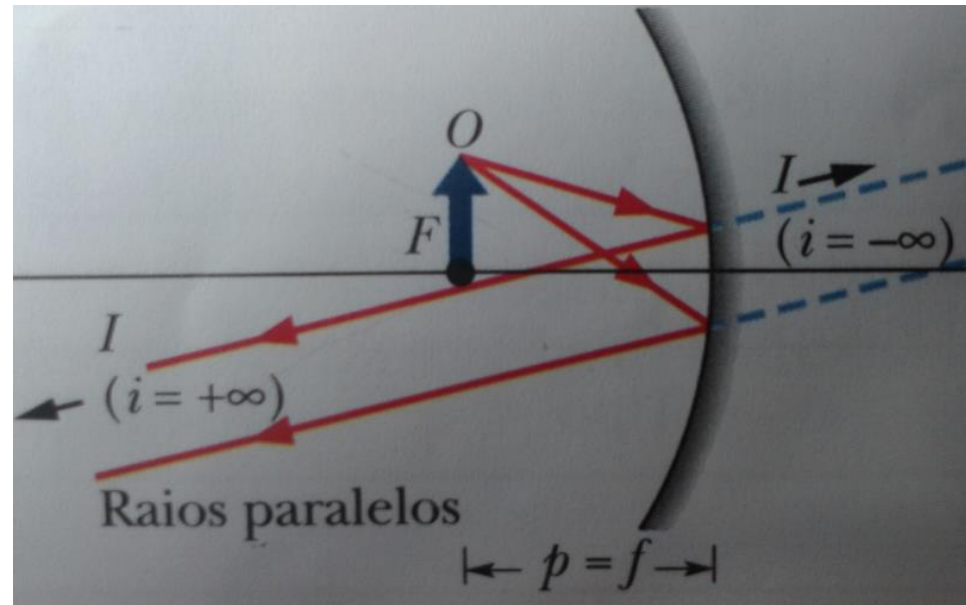
### Relação entre a distância da imagem e a distância do objeto

➤ Objeto  $O$  entre  $F$  e  $c$  ( $p < f$ ).



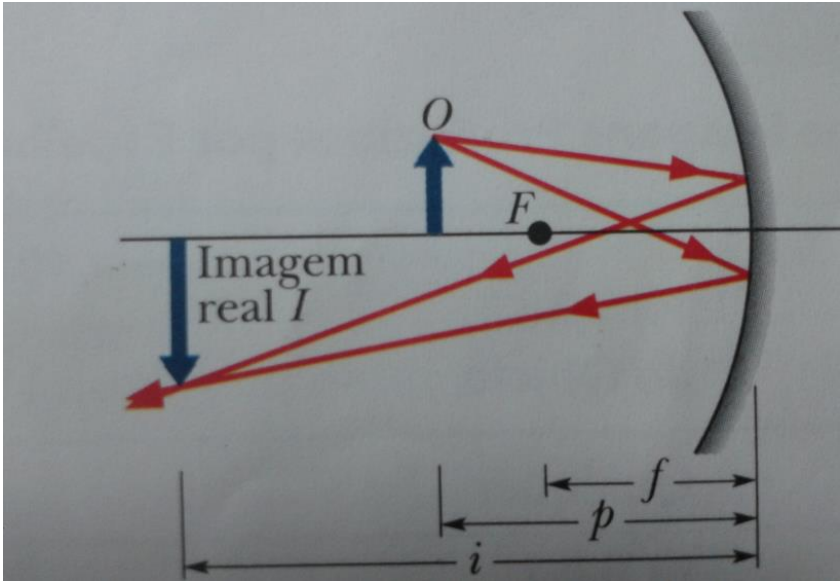
Nesse caso, a imagem produzida é uma **imagem virtual**, que parece estar atrás do espelho e tem a mesma orientação do objeto.

➤ Objeto  $O$  sobre  $F$  ( $p = f$ ).

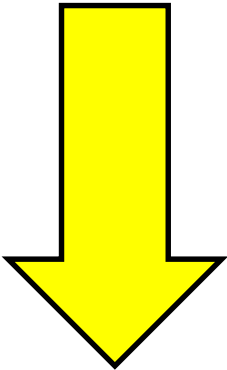


Agora os raios refletidos são paralelos e, portanto, **não se forma uma imagem**, já que nem os raios refletidos pelo espelho nem os prolongamentos dos raios se interceptam.

➤ Objeto  $O$  além de  $F$  ( $p > f$ ).



Nesse caso, os raios refletidos convergem para formar uma **imagem real invertida** do objeto à frente do espelho. Se colocarmos uma tela na posição da imagem, a imagem aparece na tela; dizemos que o objeto foi focalizado na tela pelo espelho.



**As imagens reais ( $i > 0$ ) se formam do mesmo lado do espelho em que se encontra o objeto, enquanto as imagens virtuais ( $i < 0$ ) se formam do lado oposto.**



É possível demonstrar que quando os raios luminosos de um objeto fazem apenas pequenos ângulos ( $\theta \ll 1 \text{ rad}$ , **aproximação paraxial**) com o eixo central de um espelho esférico, a distância do objeto,  $p$ , a distância da imagem,  $i$ , e a distância focal,  $f$ , estão relacionadas através da seguinte equação:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f} \quad (\text{espelho esférico}). \quad (34.4)$$

O tamanho de um objeto ou imagem, medido perpendicularmente ao eixo central do espelho, é chamado de **altura** do objeto ou imagem. Seja  $h$  a altura de um objeto e  $h'$  a altura da imagem correspondente. Nesse caso, o módulo da **ampliação lateral** do espelho é definido como

$$|m| = \frac{h'}{h} \quad (\text{módulo da ampliação lateral}). \quad (34.5)$$

Por fim, é possível demonstrar que **ampliação lateral** também pode ser obtida a partir da seguinte expressão:

$$m = -\frac{i}{p} \quad (\text{ampliação lateral}). \quad (34.6)$$

- Para um espelho plano,  $i = -p \Rightarrow m = +1$ . A ampliação lateral de 1 significa que a imagem e o objeto são do mesmo tamanho e o sinal  $+$  significa que a imagem e o objeto têm a mesma orientação.

### Convenção para a ampliação lateral:

- $m > 0$  quando a imagem tem a mesma orientação que o objeto.
- $m < 0$  quando a imagem tem orientação oposta a do objeto.

# Tabela de imagens produzidas por espelhos

Espelho	Posição do objeto	Imagem			Sinal	
		posição	tipo	orientação	f	m
Plano	Qualquer	oposta	virtual	mesma	$\infty$	+1
Côncavo	Mais próx. que foco	oposta	virtual	mesma	+	+ ( $ m  > 1$ )
Côncavo	Mais longe que foco	mesma	real	oposta	+	-
Convexo	Qualquer	oposta	virtual	mesma	-	+ ( $ m  < 1$ )

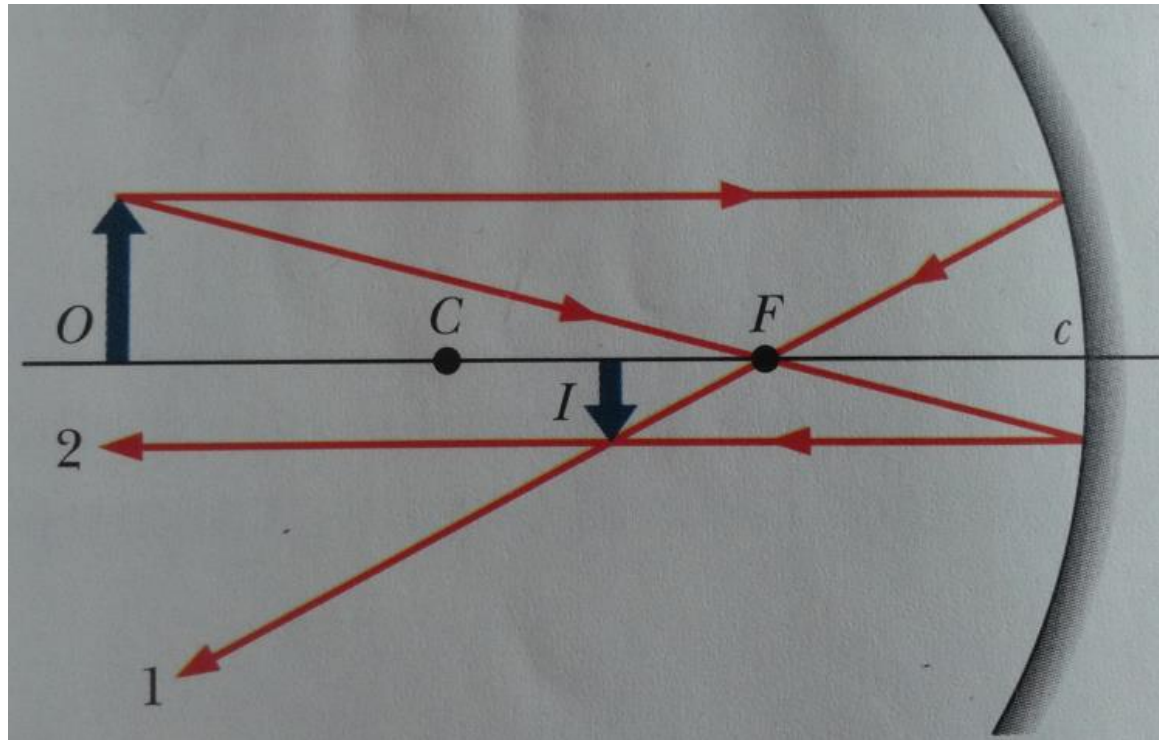
- ✓ Na coluna **Posição da Imagem**, indique se a imagem está do mesmo lado do espelho ou do lado oposto.
- ✓ Na coluna **Tipo de Imagem**, indique se a imagem é real ou virtual.
- ✓ Na coluna **Orientação da Imagem**, indique se a imagem tem a mesma orientação que o objeto ou a orientação oposta.
- ✓ Na coluna **Sinal de f**, indique se o sinal da distância focal é positivo ou negativo.
- ✓ Na coluna **Sinal de m**, indique se o sinal da ampliação lateral é positivo ou negativo.

# Como Localizar Imagens Produzidas por Espelhos Desenhando Raios

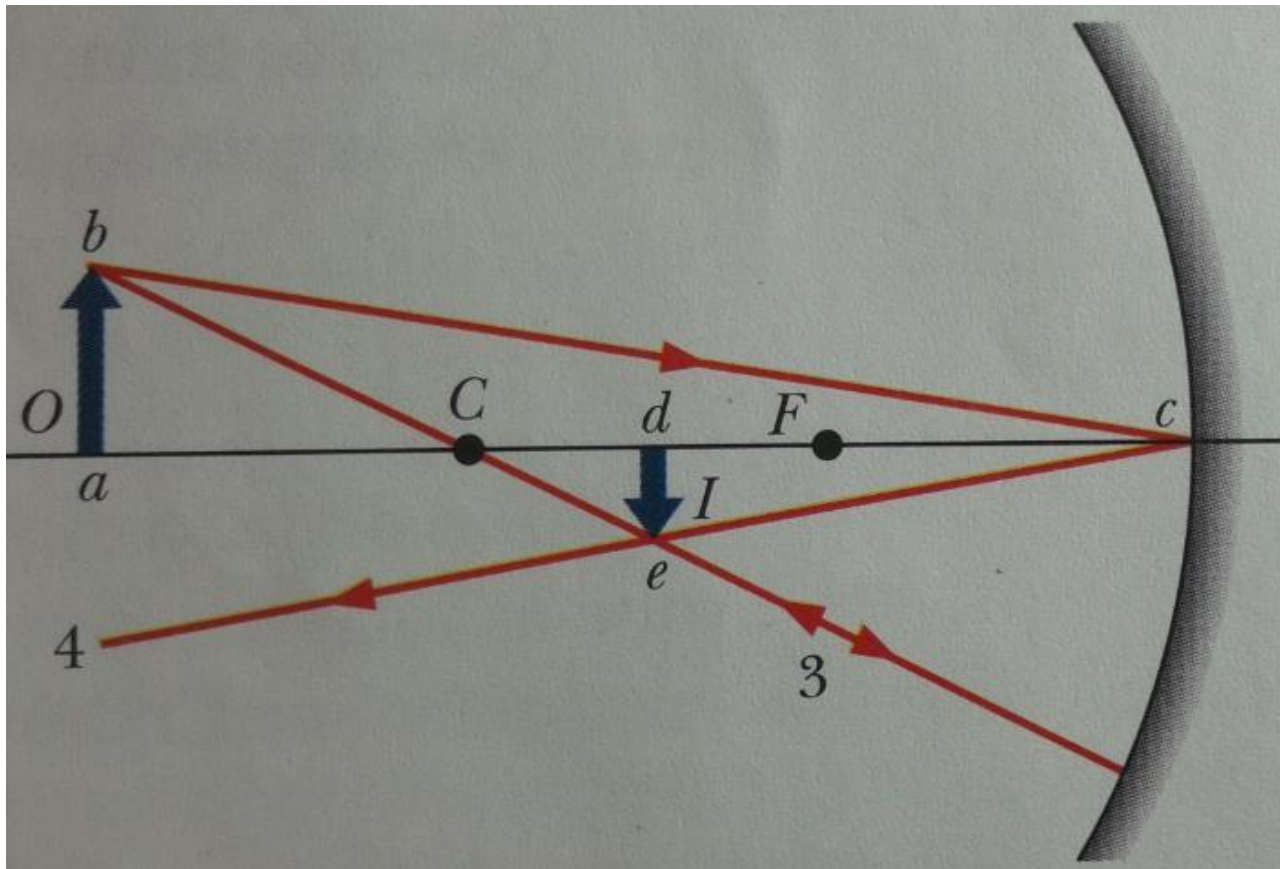
## ESPELHOS CÔNCAVOS

Podemos localizar graficamente a imagem de qualquer objeto fora do eixo central desenhando um diagrama de raios com dois dos quatro raios especiais que passam pelo ponto:

- 1) Um raio inicialmente paralelo ao eixo central, que passa pelo ponto focal  $F$  depois de ser refletido pelo espelho (raio 1 da figura abaixo).
- 2) Um raio que passa pelo ponto focal  $F$  e se torna paralelo ao eixo central depois de ser refletido pelo espelho (raio 2 da figura abaixo).



- 3) Um raio que passa pelo centro de curvatura  $C$  do espelho volta a passar pelo centro de curvatura depois de ser refletido pelo espelho (raio 3 da figura abaixo).
- 4) Um raio que incide no centro  $c$  do espelho e é refletido com um ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência (raio 4 da figura abaixo).

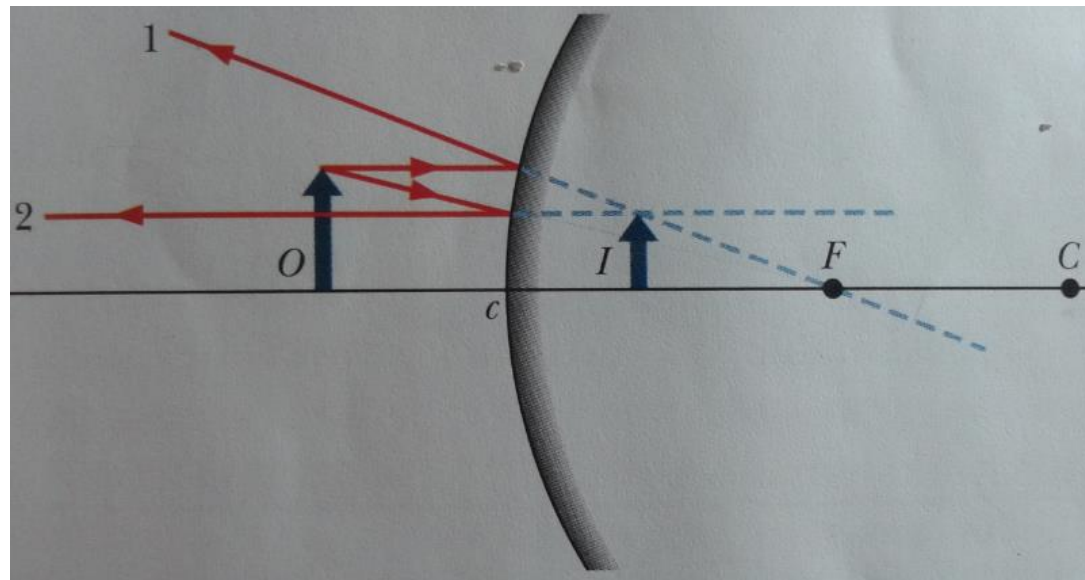


# Como Localizar Imagens Produzidas por Espelhos Desenhando Raios

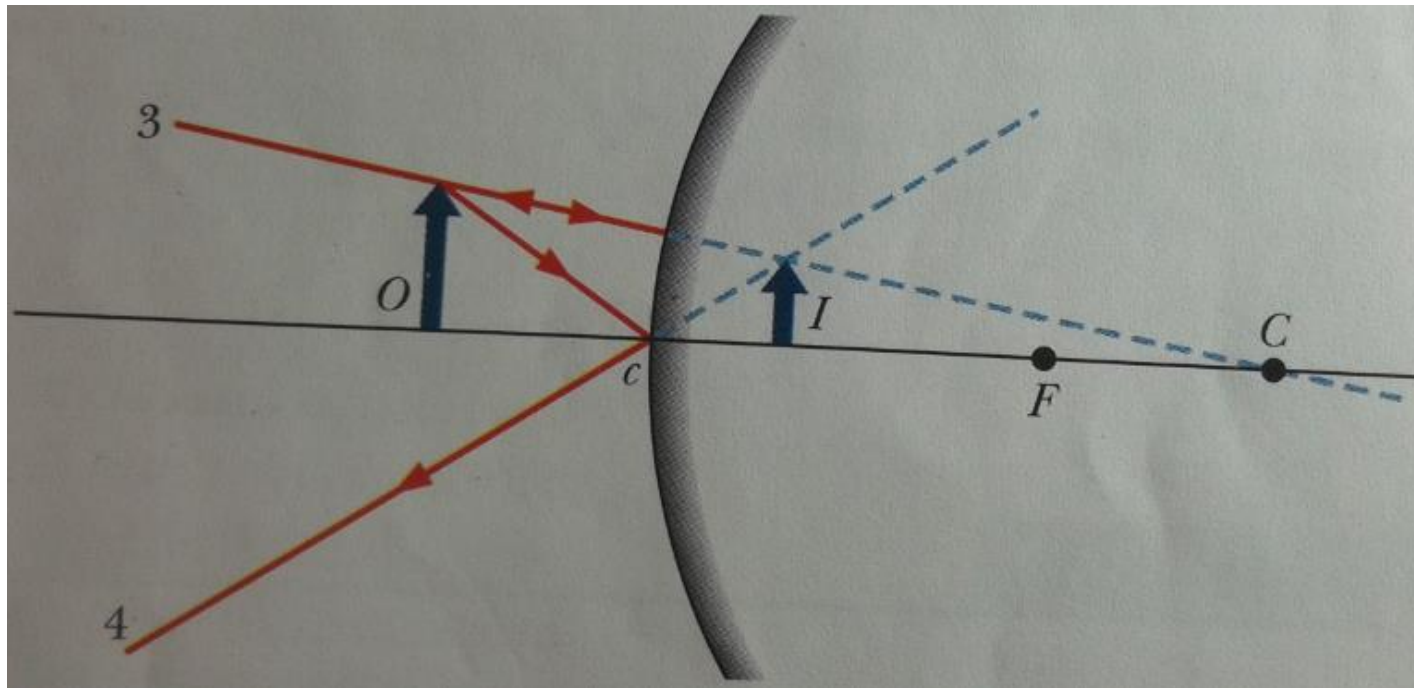
## ESPELHOS CONVEXOS

Podemos localizar graficamente a imagem de qualquer objeto fora do eixo central desenhando um diagrama de raios com dois dos quatro (prolongamentos) dos raios especiais que passam pelo ponto:

- 1) Um raio inicialmente paralelo ao eixo central é refletido pelo espelho para longe do ponto focal  $F$ , de modo que o prolongamento do raio refletido passe pelo ponto focal  $F$  do espelho (prolongamento do raio 1 da figura abaixo).
- 2) Um raio inicialmente em direção ponto focal  $F$  se torna paralelo ao eixo central depois de ser refletido pelo espelho, de modo que o prolongamento do raio refletido também seja paralelo ao eixo central (prolongamento do raio 2 da figura abaixo).



- 3) Um raio inicialmente em direção ao centro de curvatura  $C$  do espelho é refletido na mesma direção e no sentido contrário, de modo que o prolongamento do raio refletido passe pelo centro de curvatura do espelho (prolongamento do raio 3 da figura abaixo).
- 4) Um raio que incide no centro  $c$  do espelho é refletido com um ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência, de modo que prolongamento do raio refletido passe pelo centro  $c$  do espelho e tenha a mesma direção e o sentido contrário ao do raio refletido (prolongamento do raio 4 da figura abaixo).





Exercícios sugeridos da Seção 34.5: 6, 7, 9-16, 17, 19-31

7) Um espelho de barbear côncavo, com um raio de curvatura de  $35,0\text{ cm}$ , é posicionado de tal forma que a imagem (não-invertida) do rosto de um homem é  $2,50\text{ cm}$  maior que o original. A que distância do homem está o espelho?

Dicas:

- \*  $f > 0$  (por que?),  $i < 0$  (por que?),  $m > 0$  (por que?).
- \* use as equações  $f = \frac{r}{2}$  (34.3) e  $\frac{1}{p} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$  (34.4) e  $m = -\frac{i}{p}$  (34.6).

Resposta:  $p = 10,5\text{ cm}$ .

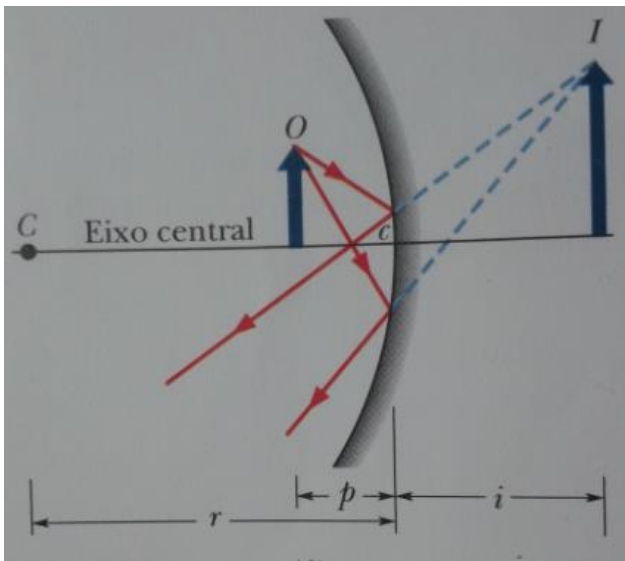
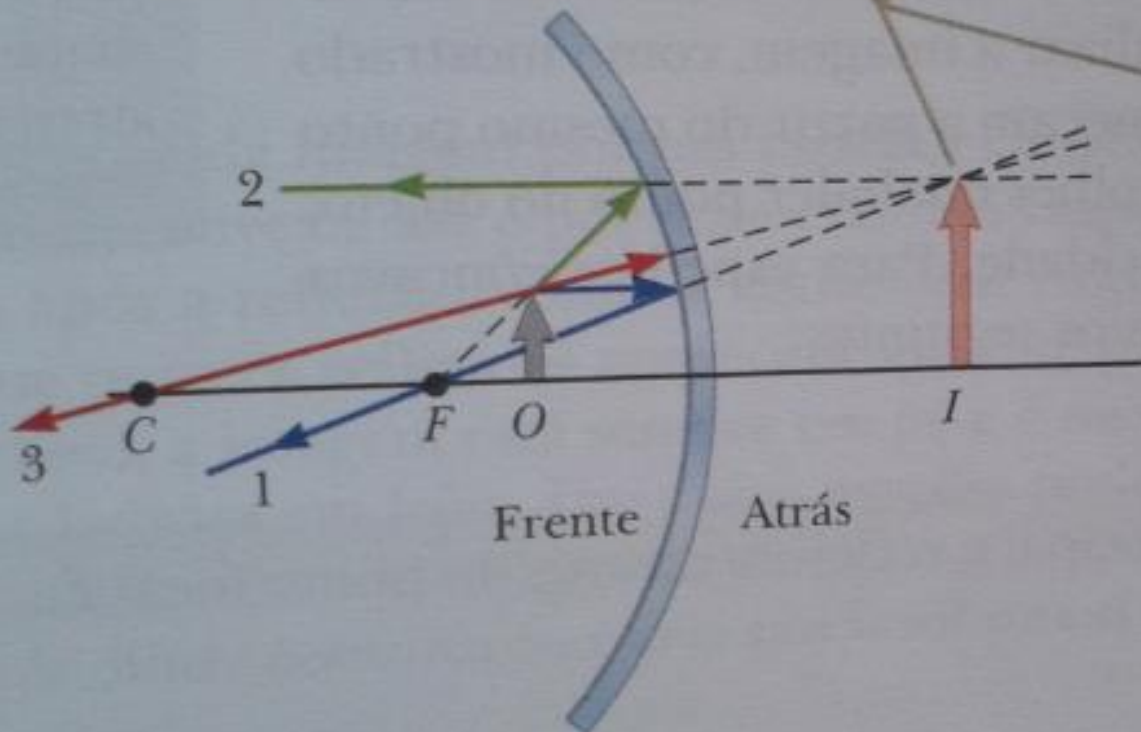


Tabela de imagens produzidas por espelhos

Espelho	Posição do objeto	Imagem			Sinal	
		posição	tipo	orientação	f	m
Plano	Qualquer	oposta	virtual	mesma	$\infty$	+1
Côncavo $f > 0$	Mais próx. que foco	oposta $i < 0$	virtual $i < 0$	mesma $m > 1$	+	+ ( $ m  > 1$ )
Côncavo	Mais longe que foco	mesma	real	oposta	+	-
Convexo	Qualquer	oposta	virtual	mesma	-	+ ( $ m  < 1$ )

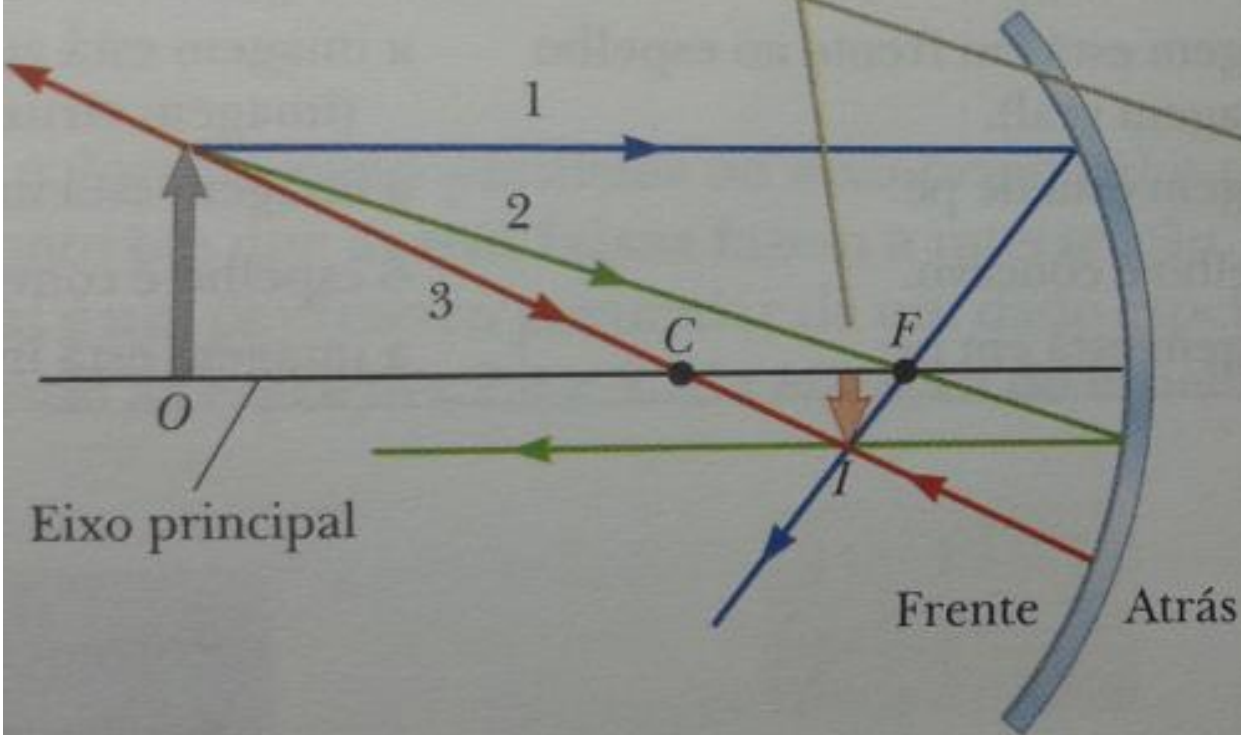
## Espelho Côncavo - Objeto $O$ entre $F$ e $c$ ( $p < f$ )

Quando o objeto está localizado entre o ponto focal e a superfície côncava do espelho, a imagem é virtual, em pé e aumentada.



## Espelho Côncavo - Objeto $O$ depois de $C$ ( $p > f$ )

Quando o objeto está localizado de forma que o centro de curvatura fica entre o objeto e a superfície côncava do espelho, a imagem é real, invertida e reduzida no tamanho.



Fotos cortesia de David Rogers



## Espelho Convexo - Objeto $O$

Quando o objeto está em frente a um espelho convexo, a imagem é virtual, fica em pé e reduzida no tamanho.

