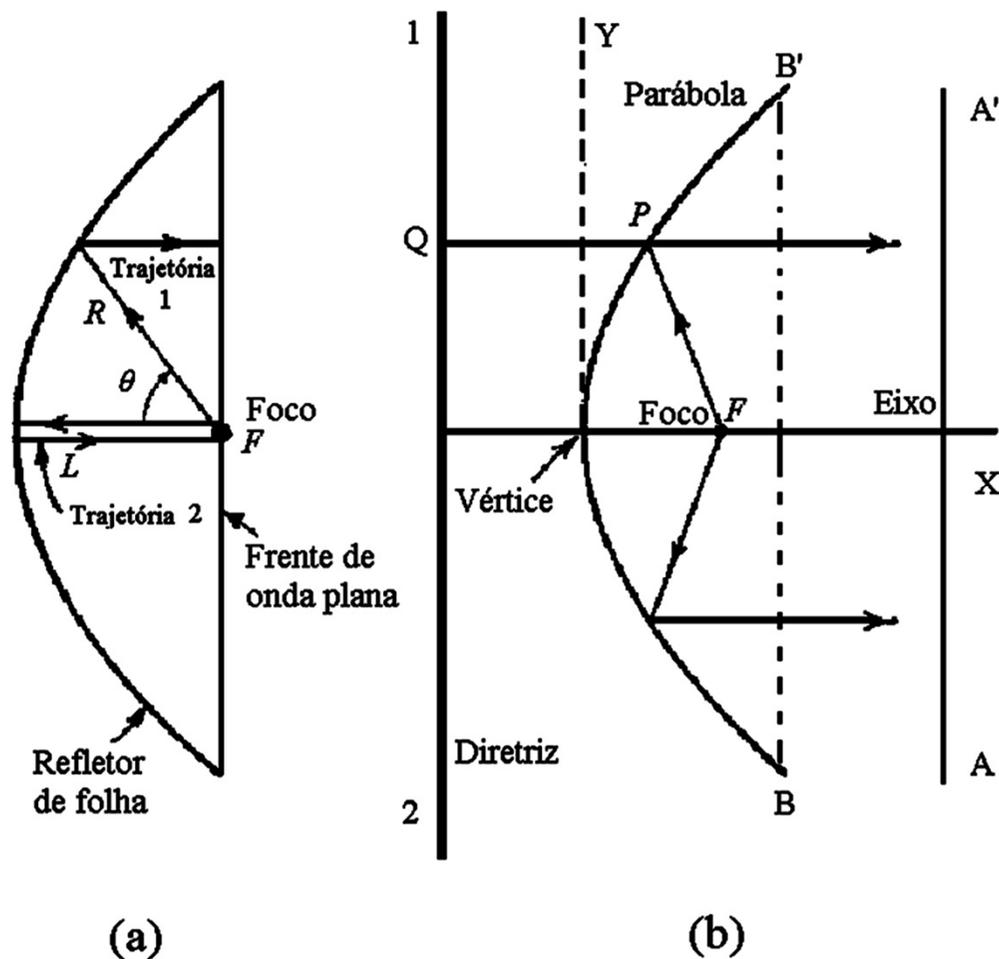


Refletor Parabólico

Antenas de abertura – Refletor Parabólico

- Suponhamos um irradiador isotrópico puntual. A partir da irradiação eletromagnética desta fonte puntual desejamos produzir uma frente de onda plana sobre uma grande abertura por meio de um refletor parabólico:

Disco parabólico refletindo a irradiação eletromagnética de um irradiador isotrópico puntual localizado no foco F . A imagem do foco é a diretriz e o campo que incide no plano AA' aparece como uma onda plana que se origina na diretriz.



Antenas de abertura – Refletor Parabólico

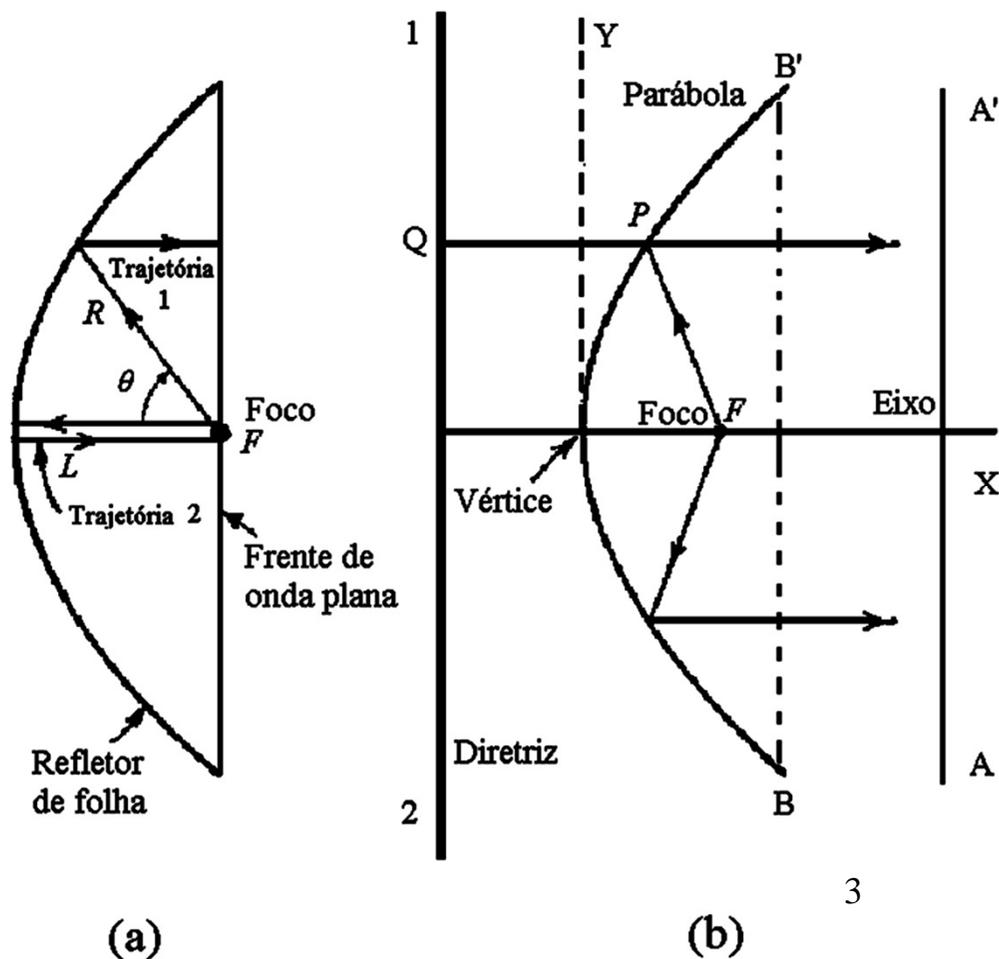
⇒ Em a superfície refletora sendo parabólica, as distâncias da fonte no foco F até a frente da onda plana via trajetórias 1 e 2 na figura tornam-se iguais, de modo que a fase das frentes de ondas são iguais quando atingem o plano (disco) B-B', e, assim, interferem-se construtivamente. O plano B-B' é denominado de plano de abertura e define o diâmetro D do refletor. Em termos analíticos esta situação é expressa por :

$$2L = R(1 + \cos \theta)$$

ou

$$R = \frac{2L}{(1 + \cos \theta)}$$

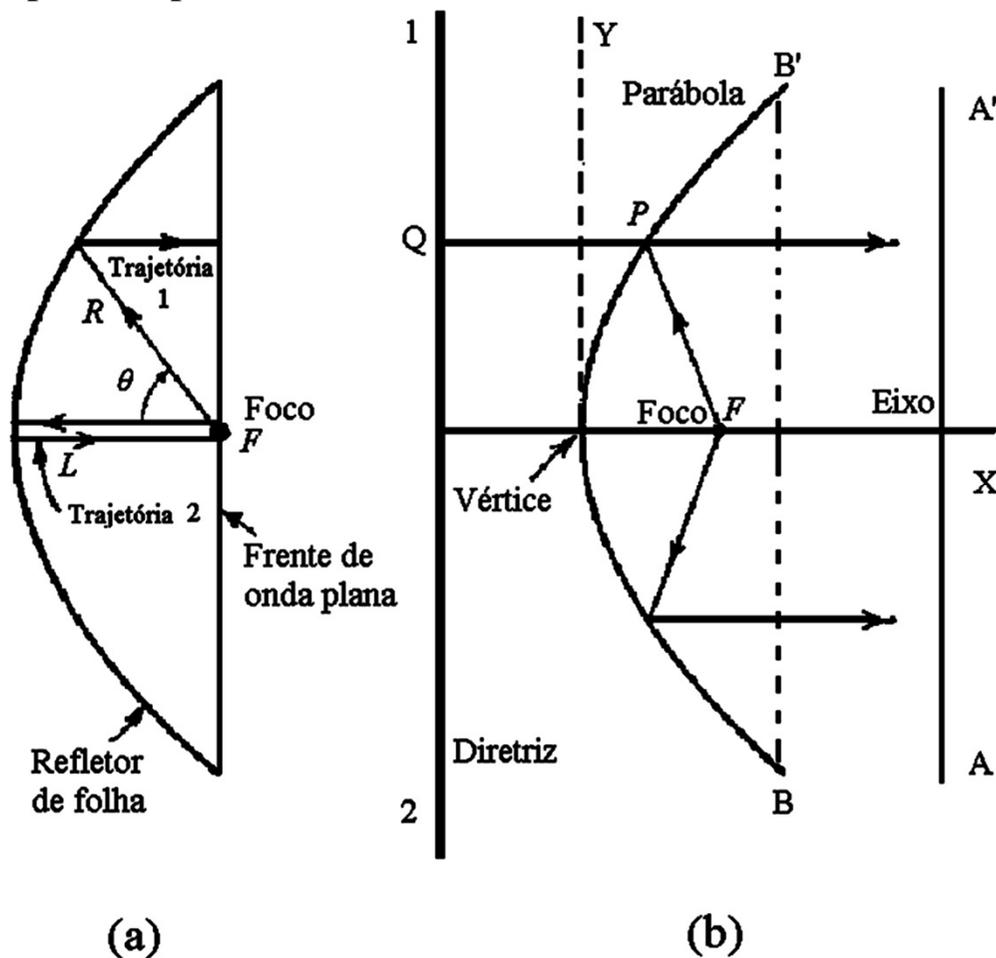
que é a equação de uma parábola com foco em F . Se o vértice da parábola estiver na origem, então $F = L$.



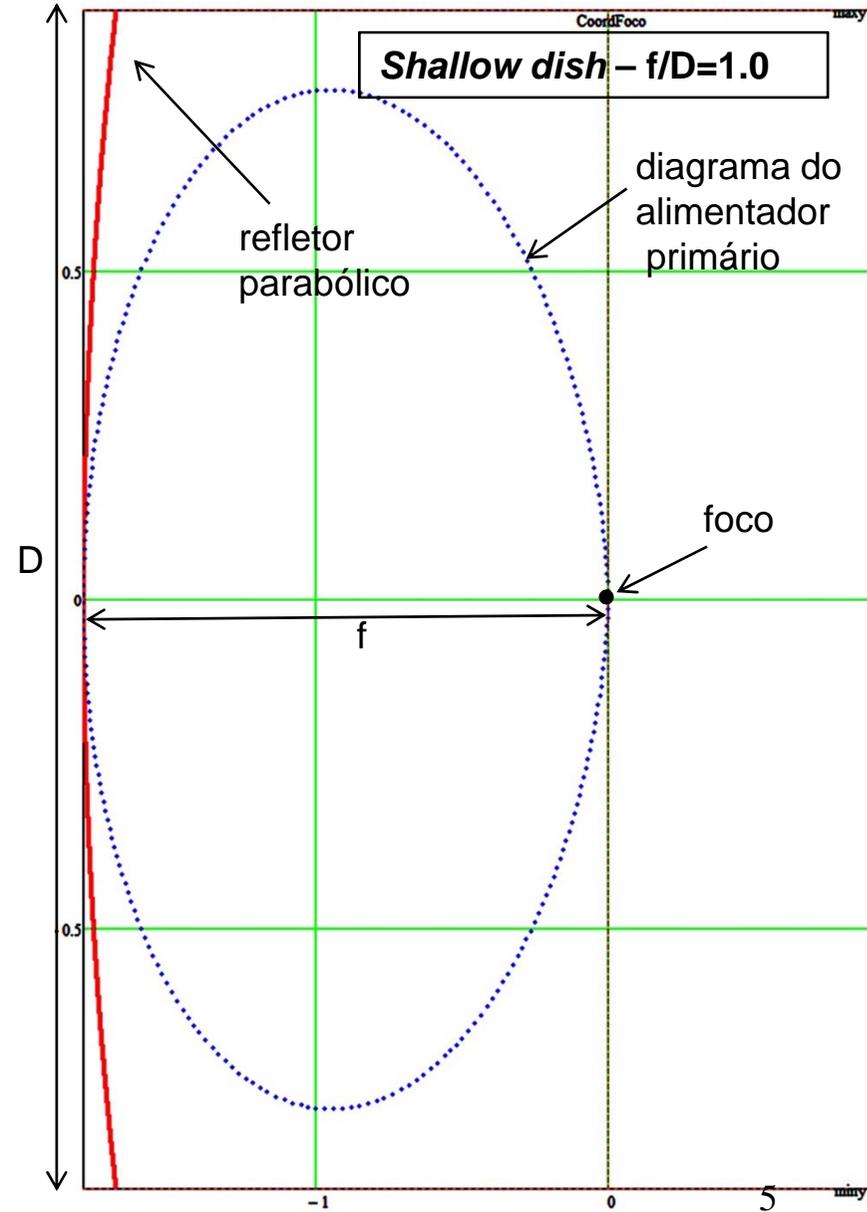
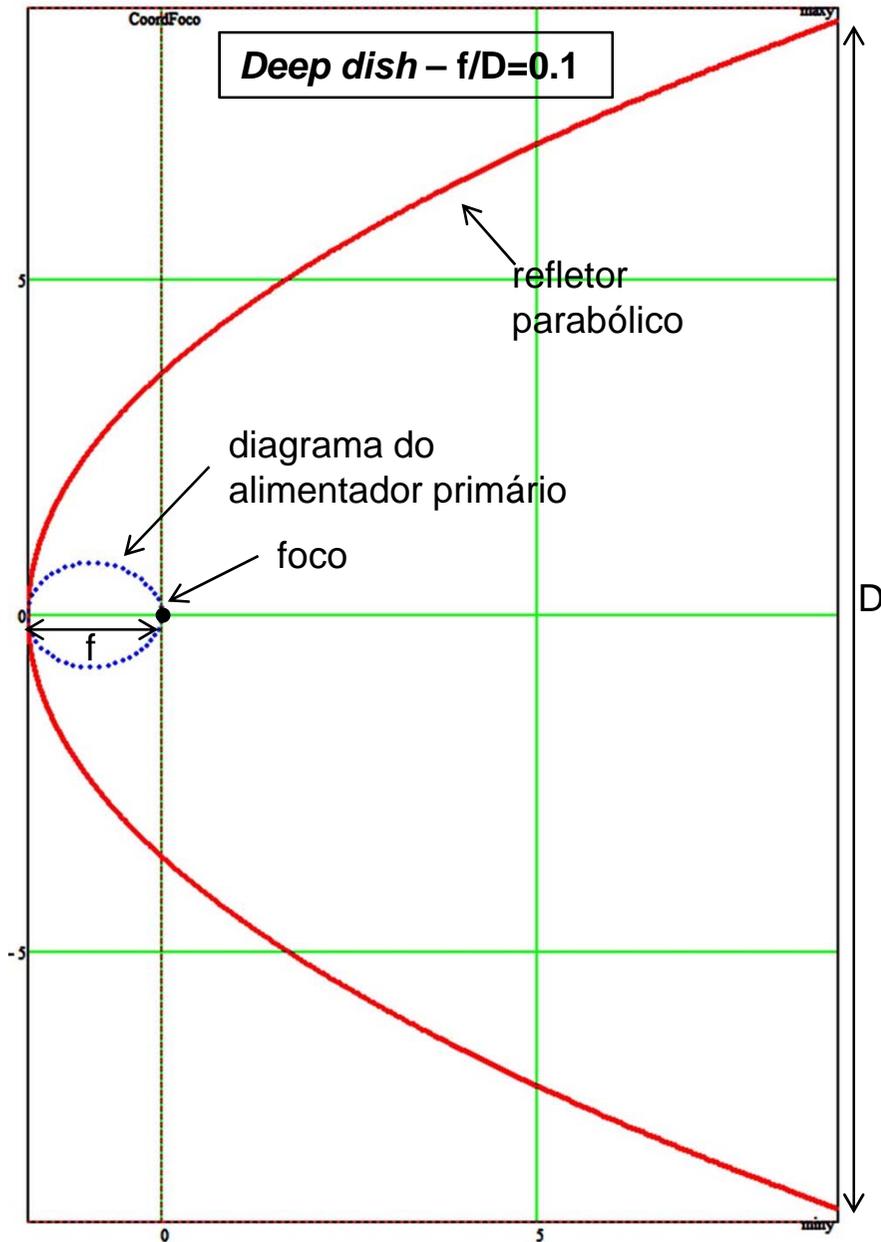
Antenas de abertura – Refletor Parabólico

⇒ Se um irradiador isotrópico é colocado no foco F , as ondas EM irradiadas do foco e que são refletidas pela superfície parabólica chegam ao plano de abertura BB' da figura com fase igual, interferindo-se construtivamente.

⇒ A razão f/D ($=F/D$) entre a distância focal f (distância de F ao vértice da superfície parabólica) e o diâmetro D do refletor mede o quão “raso” é o “prato” formado pela superfície parabólica.



Antenas de abertura – Refletor Parabólico

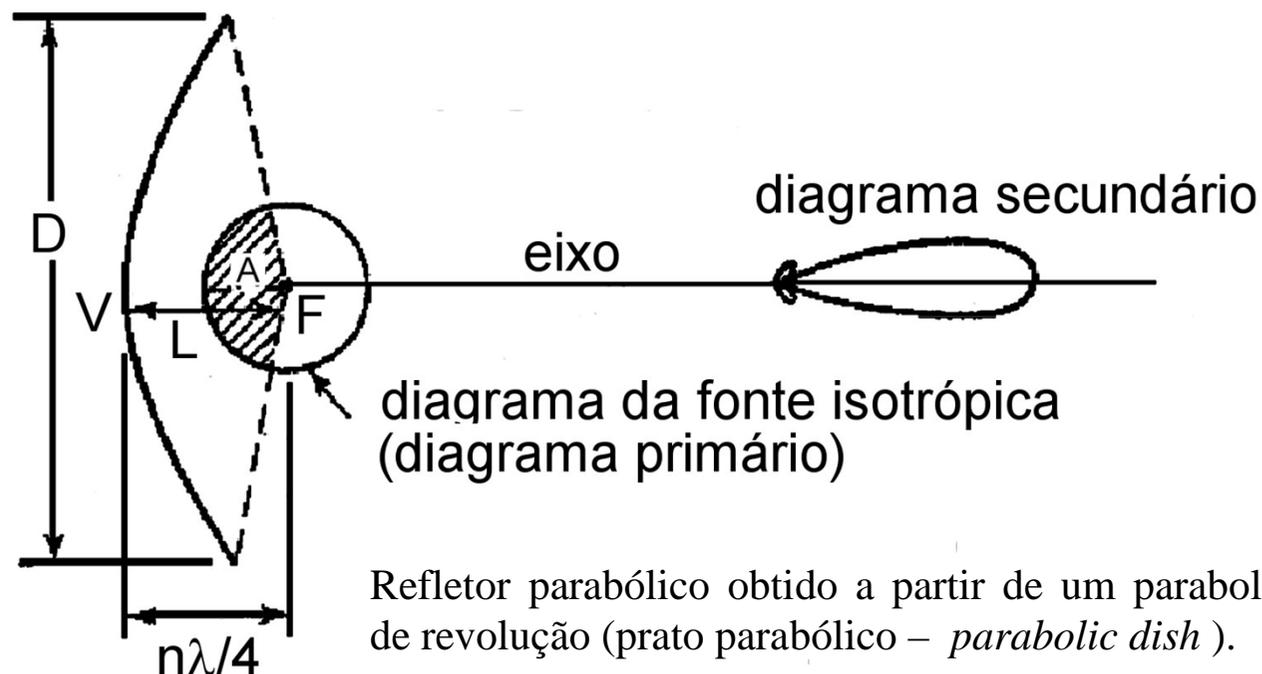


Antenas de abertura – Refletor Parabólico

⇒ Portanto, um parabolóide de revolução converte uma onda esférica de uma fonte isotrópica no foco numa onda plana uniforme no plano de abertura, conforme mostra a figura.

⇒ Se a distância L entre o foco e o vértice do parabolóide for um número par de $\lambda/4$, a radiação direta na direção axial partindo da fonte estará em fase oposta à radiação refletida pela parábola e o resultado será a tendência da antena a anular a irradiação na região central da onda refletida.

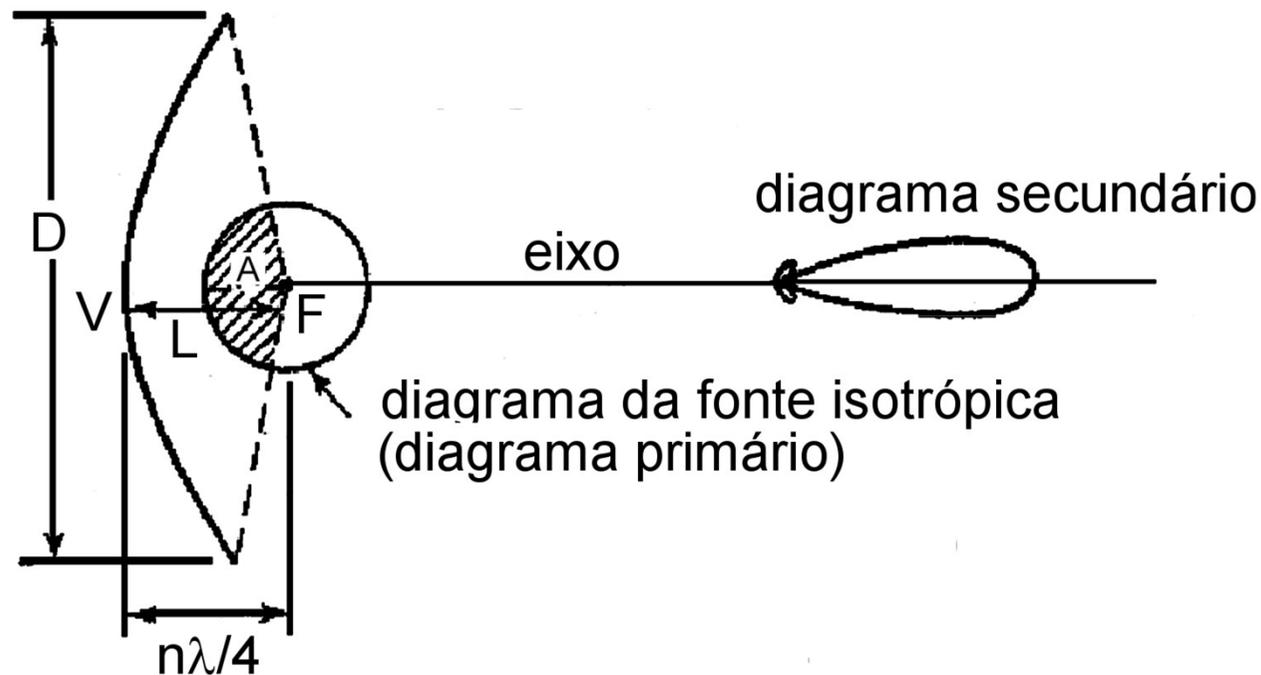
⇒ No entanto, se a distância L for tal que $L = \frac{n\lambda}{4}$ com $n = 1,3,5,\dots$ a radiação direta na direção axial partindo da fonte estará na mesma fase e tenderá reforçar a região central da onda refletida.



Refletor parabólico obtido a partir de um parabolóide de revolução (prato parabólico – *parabolic dish*).

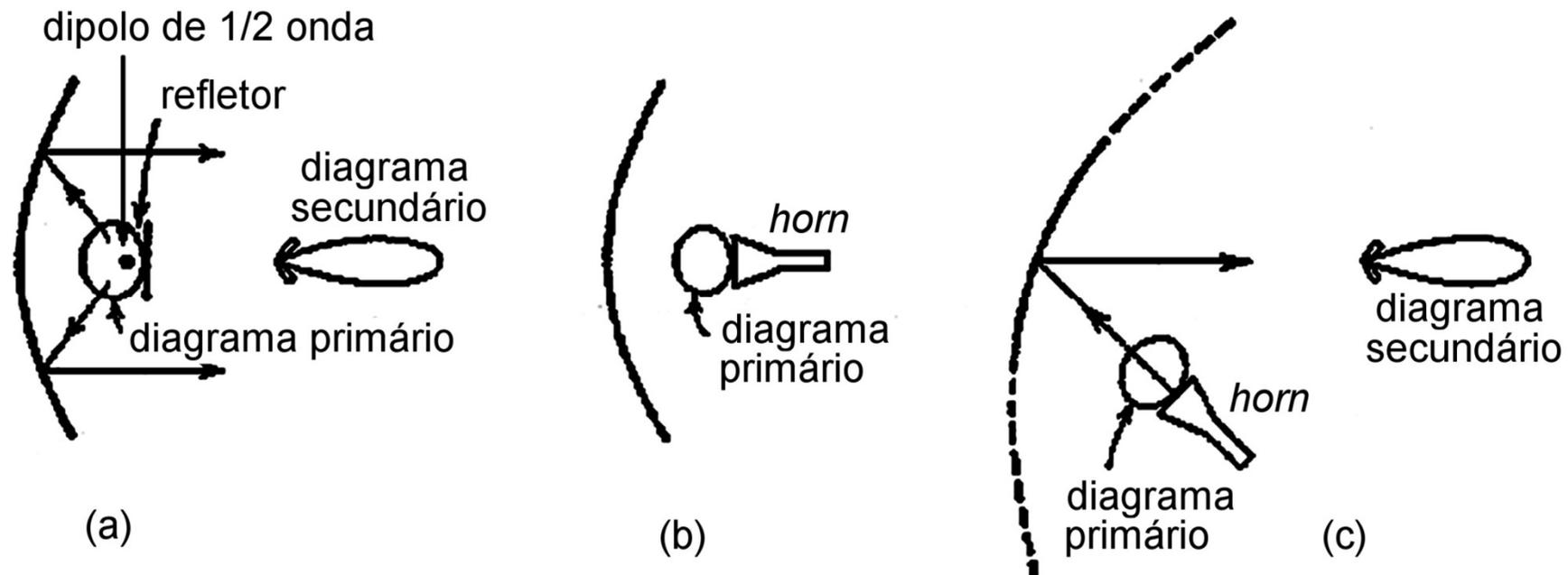
Antenas de abertura – Refletor Parabólico

⇒ As ondas EM que se propagam na região hachurada da radiação da fonte primária na figura é interceptada pelo parabolóide e refletida como uma onda plana de seção transversal circular desde que a superfície do refletor parabólico não se desvie de uma superfície parabólica por mais do que uma fração de comprimento de onda.



Antenas de abertura – Refletor Parabólico

⇒ As ondas que se propagam fora da região hachurada não experimentam o efeito de alinhamento de fase no plano de abertura BB' porque não interceptam a superfície parabólica, e, portanto, não contribuem para o processo de interferência construtiva, reduzindo o ganho do refletor. Isto é contornado através de um alimentador primário com diagrama de irradiação direcional:



Diagramas direcionais obtidos com vários tipos de antenas primárias. (a) dipolo de $\lambda/2$ com refletor (b) antena *horn* (corneta) (c) *Horn* deslocada (*offset*) para evitar *mismatching* - ROE alta devido à onda refletida na parábola e que re-incide na *horn*.

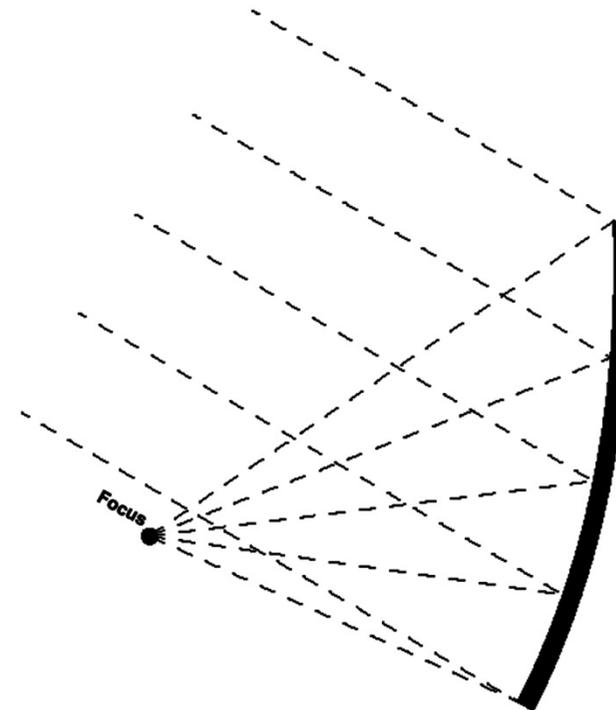
Antenas de abertura – Refletor Parabólico

⇒ A presença de uma antena primária na trajetória da onda refletida tem duas desvantagens:

- Ondas refletidas na parábola que reincidentem sobre a antena primária causam *mismatching* de impedância na antena primária devido à onda estacionária que se estabelece entre a parábola e a antena primária. Uma possível solução é utilizar uma antena primária helicoidal com polarização circular: a onda que reincidente na antena primária originada da reflexão na parábola terá polarização circular contrária à original, não interagindo com a hélice.
- A antena primária age como uma obstrução, bloqueando a região central da abertura.

⇒ Para evitar estes problemas, a antena primária é deslocada (*offset dish*), conforme mostram as figuras (c) no slide anterior e (d) abaixo.

(d) *Offset Dish* com lobo principal apontando para um satélite geostacionário. Note que o eixo geométrico da parábola não aponta para o satélite.



Antenas de abertura – Refletor Parabólico

- O ganho G de um refletor parabólico em relação ao irradiador isotrópico em função do diâmetro D da circunferência do plano de abertura e da frequência f de operação pode ser obtido através de:

$$ARX_{\max} = G \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

$$A_{\text{disco}} = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$ARX_{\max} = \eta_{\text{ilum}} A_{\text{disco}}$$

$$G \frac{\lambda^2}{4\pi} = \eta_{\text{ilum}} \pi \frac{D^2}{4}$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$G \frac{c^2}{4\pi f^2} = \eta_{\text{ilum}} \pi \frac{D^2}{4}$$

$$G = \eta_{\text{ilum}} f^2 \pi^2 \frac{D^2}{c^2}$$

$$G = \eta_{\text{ilum}} \left(\frac{f\pi D}{c} \right)^2$$

$$G_{\text{dBi}} = 10 \log \left(\eta_{\text{ilum}} \left(\frac{f\pi D}{c} \right)^2 \right)$$

onde $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ e η_{ilum} é a **eficiência de iluminação** do refletor parabólico e que expressa a uniformidade com que a área do refletor iluminada pelo campo E irradiado pelo alimentador primário.

Antenas de abertura – Refletor Parabólico

Exemplo: Uma antena parabólica é constituída de um refletor parabólico com 8m de diâmetro opera na frequência de 2.4GHz tendo como alimentador primário um dipolo de $\frac{1}{2}$ onda com refletor, cujo ganho é 5dBi. Sabendo que a eficiência de iluminação do refletor é 0.8, determine o ganho em dBi desta antena parabólica.

São dados:

$$f := 2.4\text{GHz} \quad D := 8\text{m}$$

$$G_{\text{Prim}} := 5 \text{ dBi} \quad \eta_{\text{Illum}} := 0.8$$

Solução:

$$G_{\text{Refl}} := 10 \cdot \log \left[\eta_{\text{Illum}} \cdot \left(\frac{\pi \cdot D \cdot f}{c} \right)^2 \right] = 45.104 \text{ dBi}$$

$$G_{\text{tot}} := G_{\text{Refl}} + G_{\text{Prim}} = 50.104 \text{ dBi}$$

Refletor Parabólico – eficiência de iluminação – *Taper x Spillover*

- A eficiência de iluminação de um refletor parabólico expressa a uniformidade com que a área do refletor parabólico é iluminada pelo diagrama de irradiação do alimentador primário.

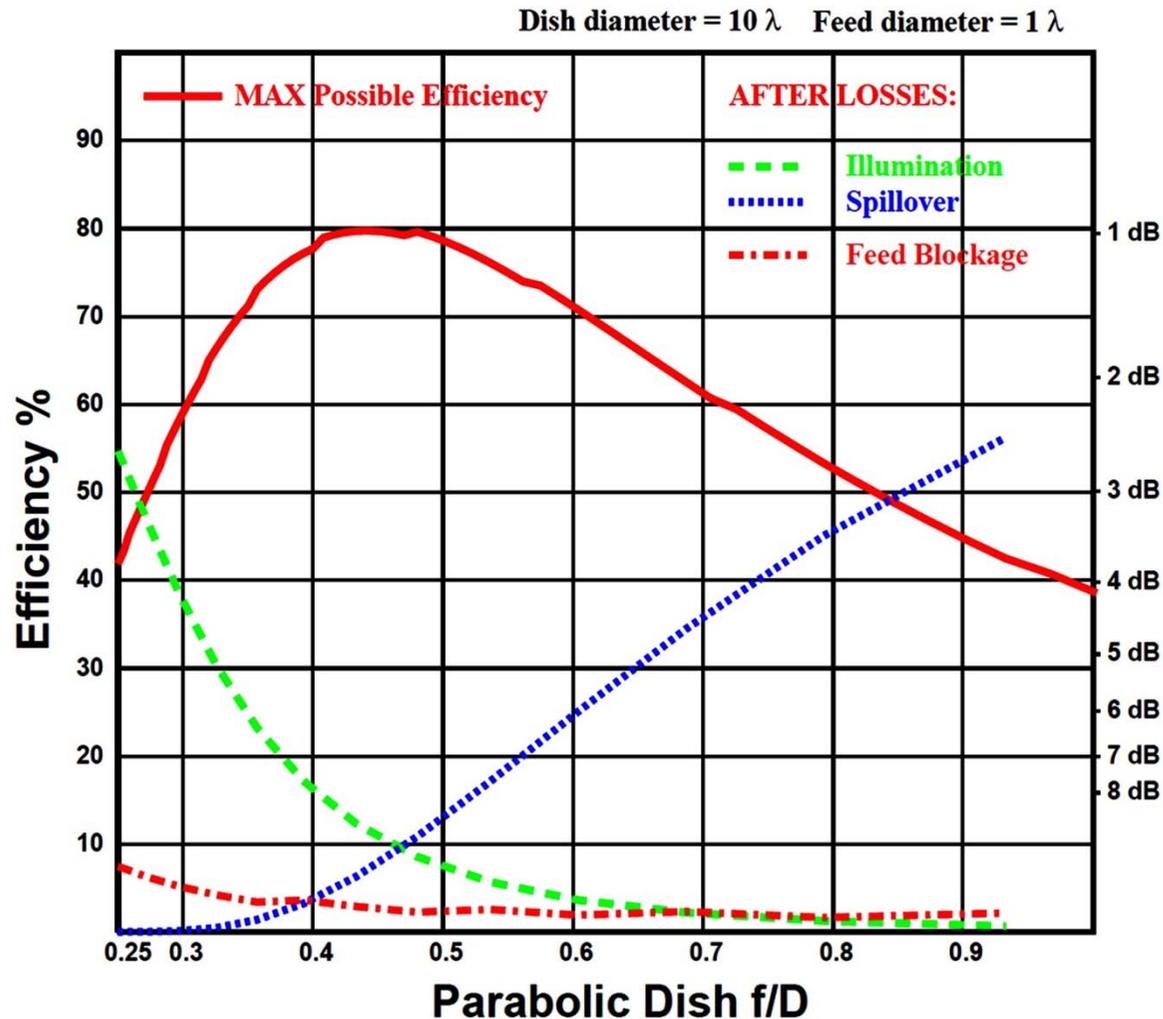
⇒ Assim, a eficiência de um refletor parabólico depende do compromisso entre os valores do *taper* e do *spillover* nas bordas da superfície refletora.

Taper é o efeito da redução da densidade de potência eletromagnética (Vetor de Poynting) nas bordas do refletor parabólico com relação ao seu eixo devido a potência variar de modo inverso com o quadrado da distância do foco e também variar com o diagrama de irradiação direcional do alimentador primário.

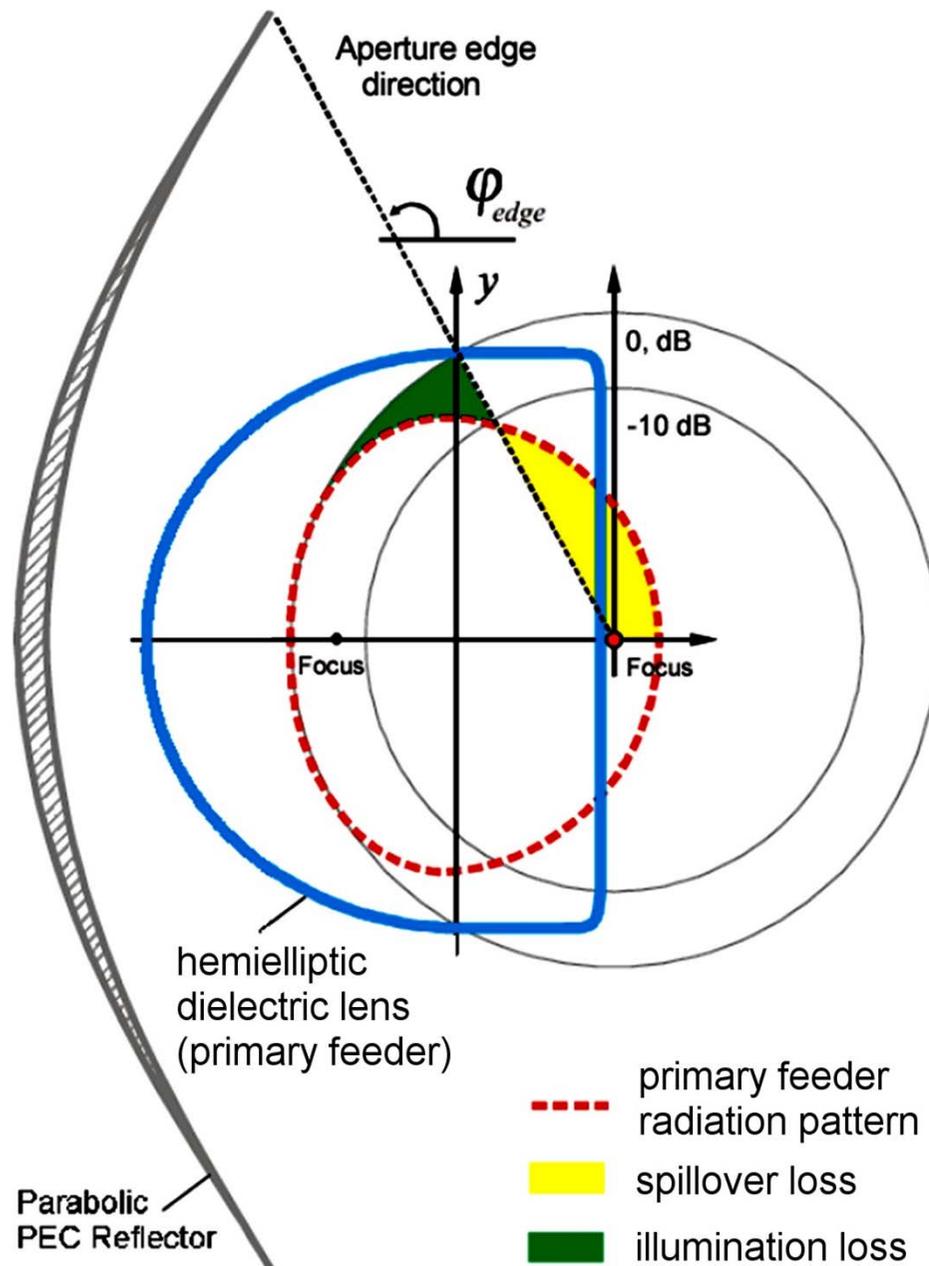
Spillover é o transbordamento de potência para fora da área do refletor quando se tenta reduzir o *taper* através de uma excessiva abertura angular no diagrama de irradiação do alimentador primário visando aumentar o módulo do Vetor de Poynting nas bordas.

Refletor Parabólico – eficiência de iluminação – *Taper x Spillover*

⇒ Determinou-se experimentalmente que, ajustando o compromisso *taper* × *spillover*, a eficiência de iluminação de um refletor parabólico é maximizada atingindo o valor máximo $\eta_{\text{ilum}} = 0.8$ quando o *taper* nas bordas do refletor fica em torno de 10 dB, isto é, o alimentador primário apresenta um diagrama de irradiação tal que o módulo do campo elétrico E nas bordas do refletor é 10 dB abaixo do valor do módulo de E no eixo.



Refletor Parabólico – eficiência de iluminação – *Taper x Spillover*

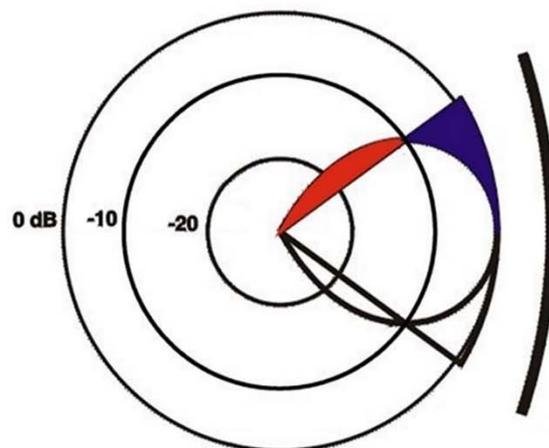


Refletor Parabólico – eficiência de iluminação – *Taper x Spillover*

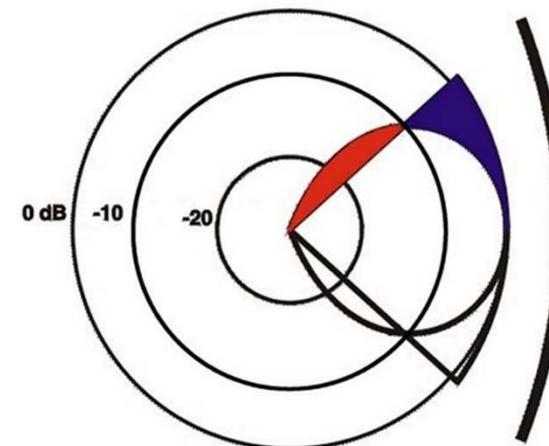
⇒ A figura ao lado mostra a razão f/D que deve ser adotada na construção do refletor parabólico em função do padrão de iluminação gerado pelo *feeder* primário para que obtenha-se um *taper* resultante de 10 dB. A razão f/D é a razão entre a distância focal f (distância de F ao vértice) e o diâmetro D do refletor.

Padrões de iluminação para um *taper* resultante de 10 dB nas bordas do refletor em função da razão f/D . Uma vez definido o diâmetro D a partir do ganho G desejado e uma vez definido o *feeder* primário (dipolo, *horn*, hélice, etc...) determina-se graficamente o f/D de modo que o *taper* de 10 dB seja obtido nas bordas.

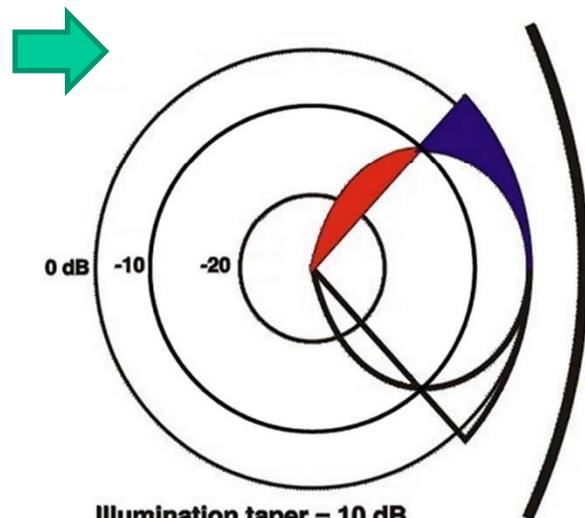
■ *Spillover loss* ■ *Illumination loss*



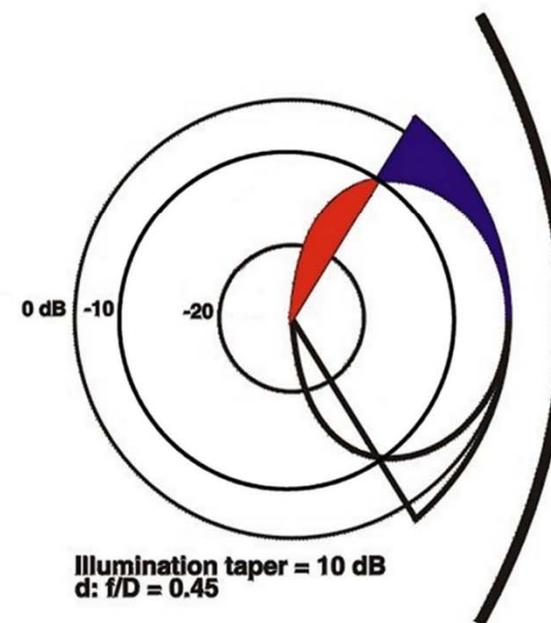
Illumination taper = 10 dB
a: $f/D = 0.75$



Illumination taper = 10 dB
b: $f/D = 0.65$



Illumination taper = 10 dB
c: $f/D = 0.55$



Illumination taper = 10 dB
d: $f/D = 0.45$

Refletor Parabólico – eficiência de iluminação – *Taper x Spillover*

Exemplo: Mediu-se um campo elétrico $E_\theta = 9.86$ V/m no lobo principal do padrão de irradiação de uma antena parabólica, em um ponto situado a 1.0 Km da mesma. O alimentador primário localizado no foco do refletor parabólico possui um ganho de 10dBi. A antena é alimentada por um transmissor que opera em 2.4GHz e que entrega 5.0W à antena. Considere desprezíveis as perdas ôhmicas, as perdas dielétricas e as perdas de polarização. As condições de propagação entre antena e o ponto de medição são equivalentes às do espaço livre. Sabendo que o refletor parabólico possui 8 m de diâmetro, determine a **eficiência de iluminação** deste refletor.

Solução :

São dados:

$$\begin{aligned} P &:= 5.0 \cdot \text{W} & r &:= 1000 \text{m} & E_{\theta_Parabolica} &:= 9.86 \cdot \frac{\text{V}}{\text{m}} & G_{\text{Prim}} &:= 10 \text{ dBi} \\ D &:= 8 \cdot \text{m} & f &:= 2.4 \cdot \text{GHz} \end{aligned}$$

Determinação do ganho G_{tot} do refletor + alimentador primário:

$$E_{\theta_Isotropica} := \sqrt{\frac{60 \cdot \Omega \cdot P}{r^2}} \quad E_{\theta_Isotropica} = 17.321 \cdot \frac{\text{mV}}{\text{m}}$$

$$G_{\text{tot}} := 20 \cdot \log\left(\frac{E_{\theta_Parabolica}}{E_{\theta_Isotropica}}\right) \quad G_{\text{tot}} = 55.106 \text{ dBi}$$

Refletor Parabólico – eficiência de iluminação – *Taper x Spillover*

Determinação do ganho G_{Refl} do refletor:

$$G_{\text{Refl}} := G_{\text{tot}} - G_{\text{Prim}} \quad G_{\text{Refl}} = 45.106 \text{ dBi}$$

Determinação da eficiência de iluminação η_{Illum} do refletor parabólico:

$$G_{\text{Refl}} = 10 \cdot \left[\log \left[\eta_{\text{Illum}} \cdot \left(\frac{\pi \cdot D \cdot f}{c} \right)^2 \right] \right]$$

$$\eta_{\text{Illum}} := \frac{\exp\left(\frac{1}{10} \cdot G_{\text{Refl}} \cdot \ln(10)\right)}{\pi^2 \cdot (D^2 \cdot f^2)} \cdot c^2$$

$$\eta_{\text{Illum}} = 0.801$$