Capítulo 13 - Troca de calor por radiação entre duas superfícies

-Vamos considerar apenas a situação em que o meio entre as duas superfícies é não participante (não absorve, não emite e não distribui radiação, e portanto não tem nenhum efeito na troca de calor entre as superfícies).

-Exs.: vácuo, maioria dos gases

-Fator de forma:

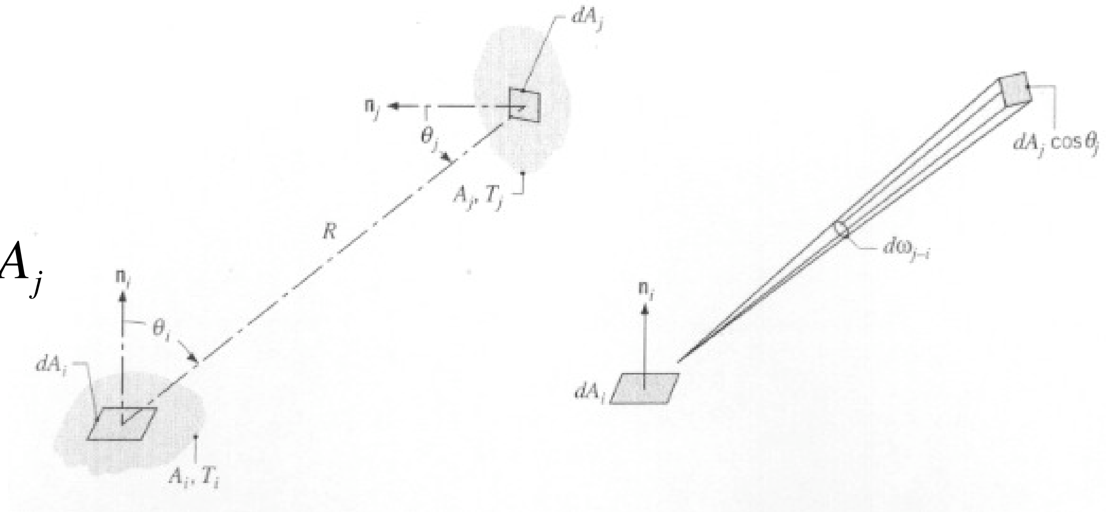
-fração de radiação que deixa uma superfície i e é interceptada por uma superfície j.

- usando os conceitos definidos previamente:

$$F_{ij} = \frac{q_{i \to j}}{A_i J_i}$$

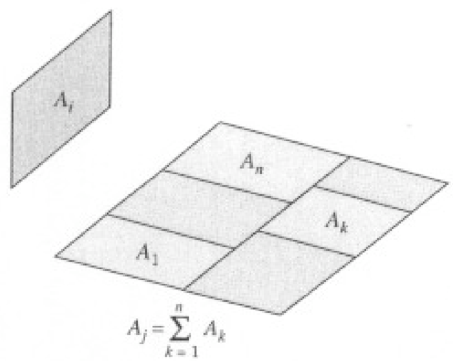
$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos\theta_i \cos\theta_j}{\pi R^2} dA_i dA_j$$

$$A_i F_{ij} = A_j F_{ji}$$



-Para radiação de uma superfície i para uma superfície j, dividida em n intervalos:

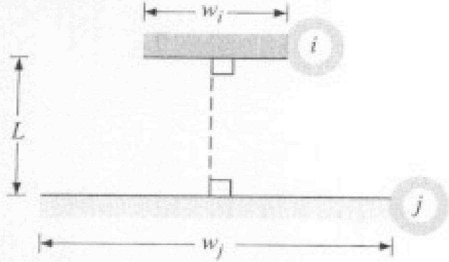
$$F_{i(j)} = \sum_{k=1}^{N} F_{ik}$$



- Para superfícies em cavidades fechadas: $\sum_{j=1}^{N} F_{ij} = 1$

Geometry	Relation

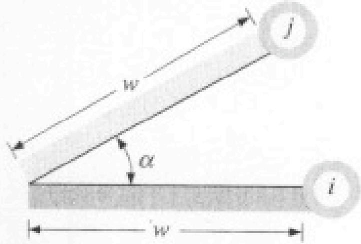
Parallel Plates with Midlines Connected by Perpendicular



$$F_{ij} = \frac{[(W_i + W_j)^2 + 4]^{1/2} - [(W_j - W_i)^2 + 4]^{1/2}}{2W_i}$$

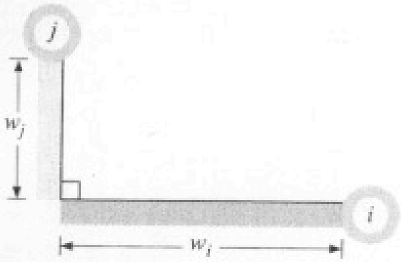
$$W_i = w_i/L,\ W_j = w_j/L$$

Inclined Parallel Plates of Equal Width and a Common Edge



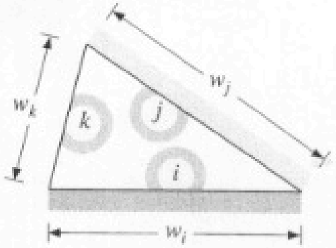
$$F_{ij} = 1 - \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

Perpendicular Plates with a Common Edge



$$F_{ij} = \frac{1 + (w_j/w_i) - [1 + (w_j/w_i)^2]^{1/2}}{2}$$

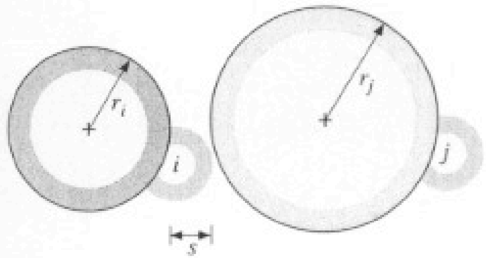
Three-Sided Enclosure



$$F_{ij} = \frac{w_i + w_j - w_k}{2w_i}$$

Geometry	Relation

Parallel Cylinders of Different Radii

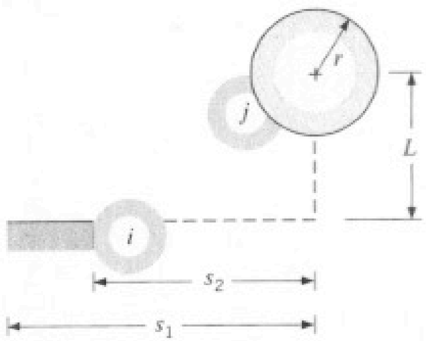


$$F_{ij} = \frac{1}{2\pi}\Big\{\pi + [C^2 - (R+1)^2]^{1/2} - [C^2 - (R-1)^2]^{1/2} + (R-1)\cos^{-1}\left[\left(\frac{R}{C}\right) - \left(\frac{1}{C}\right)\right] - (R+1)\cos^{-1}\left[\left(\frac{R}{C}\right) + \left(\frac{1}{C}\right)\right]\Big\}$$

$$R = r_j/r_i,\ S = s/r_i$$

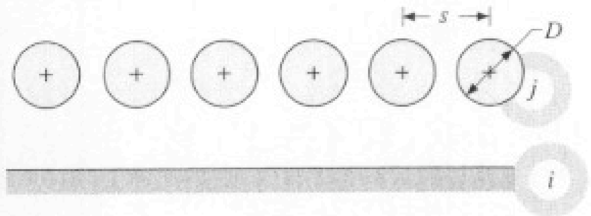
$$C = 1 + R + S$$

Cylinder and Parallel Rectangle



$$F_{ij} = \frac{r}{s_1 - s_2}\left[\tan^{-1}\frac{s_1}{L} - \tan^{-1}\frac{s_2}{L}\right]$$

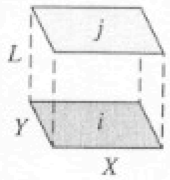
Infinite Plane and Row of Cylinders



$$F_{ij} = 1 - \left[1 - \left(\frac{D}{s}\right)^2\right]^{1/2} + \left(\frac{D}{s}\right)\tan^{-1}\left(\frac{s^2 - D^2}{D^2}\right)^{1/2}$$

Geometry	Relation

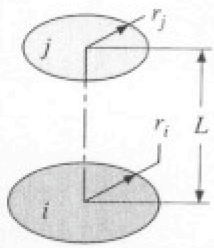
Aligned Parallel Rectangles (Figure 13.4)



$$\bar{X} = X/L,\ \bar{Y} = Y/L$$

$$F_{ij} = \frac{2}{\pi \bar{X}\bar{Y}}\left\{ \ln\left[\frac{(1+\bar{X}^2)(1+\bar{Y}^2)}{1+\bar{X}^2+\bar{Y}^2}\right]^{1/2} + \bar{X}(1+\bar{Y}^2)^{1/2}\tan^{-1}\frac{\bar{X}}{(1+\bar{Y}^2)^{1/2}} + \bar{Y}(1+\bar{X}^2)^{1/2}\tan^{-1}\frac{\bar{Y}}{(1+\bar{X}^2)^{1/2}} - \bar{X}\tan^{-1}\bar{X} - \bar{Y}\tan^{-1}\bar{Y} \right\}$$

Coaxial Parallel Disks (Figure 13.5)

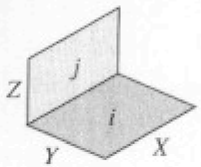


$$R_i = r_i/L,\ R_j = r_j/L$$

$$S = 1 + \frac{1+R_j^2}{R_i^2}$$

$$F_{ij} = \frac{1}{2}\{S - [S^2 - 4(r_j/r_i)^2]^{1/2}\}$$

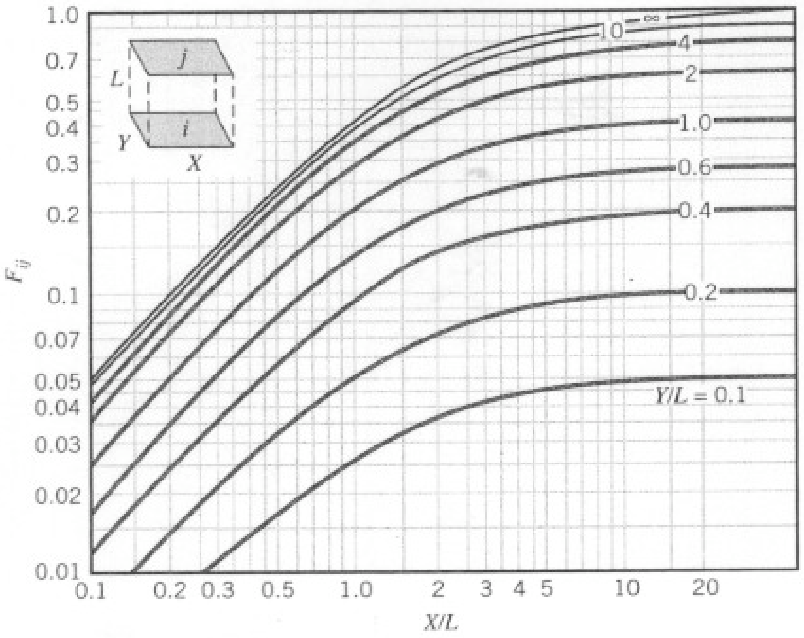
Perpendicular Rectangles with a Common Edge (Figure 13.6)

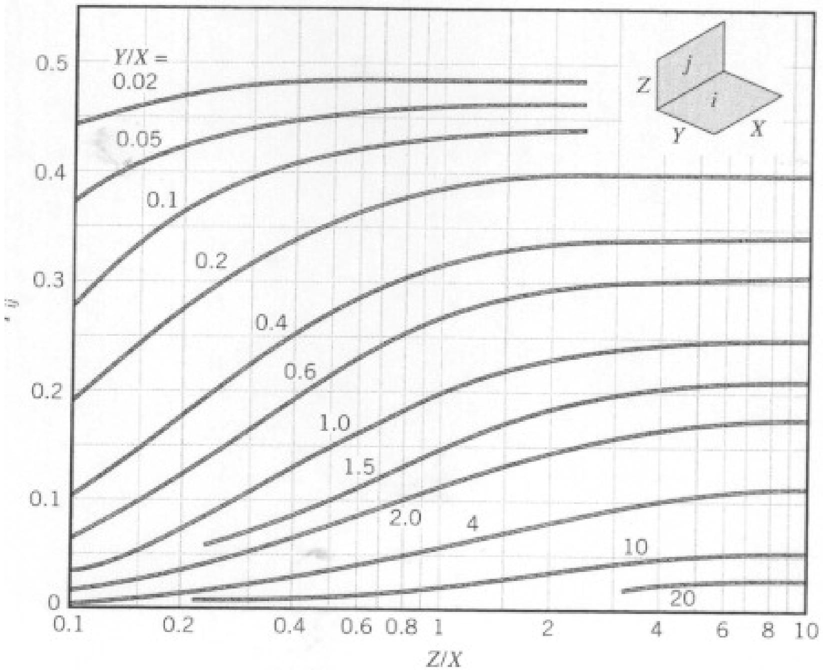


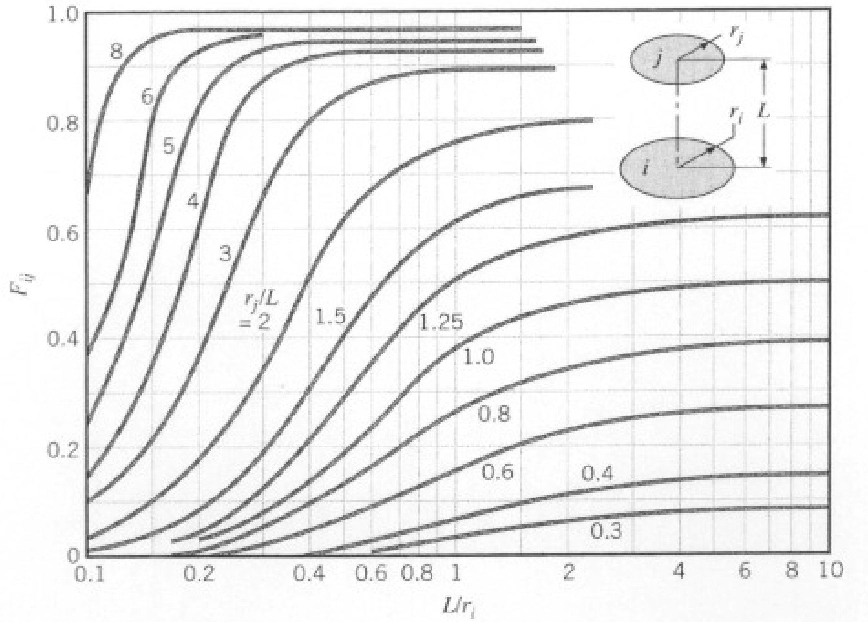
$$H = Z/X,\ W = Y/X$$

$$F_{ij} = \frac{1}{\pi W}\left(W\tan^{-1}\frac{1}{W} + H\tan^{-1}\frac{1}{H} - (H^2+W^2)^{1/2}\tan^{-1}\frac{1}{(H^2+W^2)^{1/2}} + \frac{1}{4}\ln\left\{ \frac{(1+W^2)(1+H^2)}{1+W^2+H^2}\left[\frac{W^2(1+W^2+H^2)}{(1+W^2)(W^2+H^2)}\right]^{W^2} \times \left[\frac{H^2(1+H^2+W^2)}{(1+H^2)(H^2+W^2)}\right]^{H^2} \right\} \right)$$

Gráficos para determinação do Fator de Forma

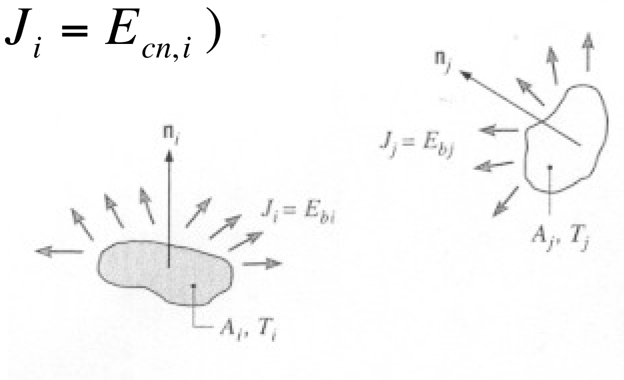






- <u>Troca de calor por radiação entre 2 superfícies consideradas como CN</u>

$$q_{i\to j} = (A_i J_i) F_{ij} = A_i E_{cn,i} F_{ij} \quad \text{(pois p/ CN, } J_i = E_{cn,i}\text{)}$$



Analogamente,

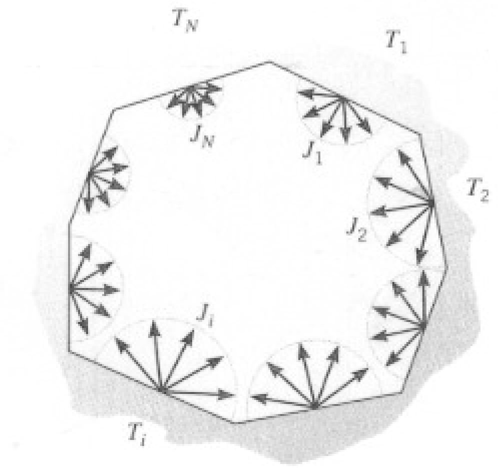
$$q_{j\to i} = A_j E_{cn,j} F_{ji}$$

$$q_{ij} = q_{i\to j} - q_{j\to i}$$

$$\boxed{q_{ij} = A_i F_{ij} \sigma (T_i^4 - T_j^4)}$$

- numa cavidade fechada, composta por N superfícies de CN:

$$\boxed{q_i = \sum_{j=1}^{N} A_i F_{ij} \sigma (T_i^4 - T_j^4)}$$



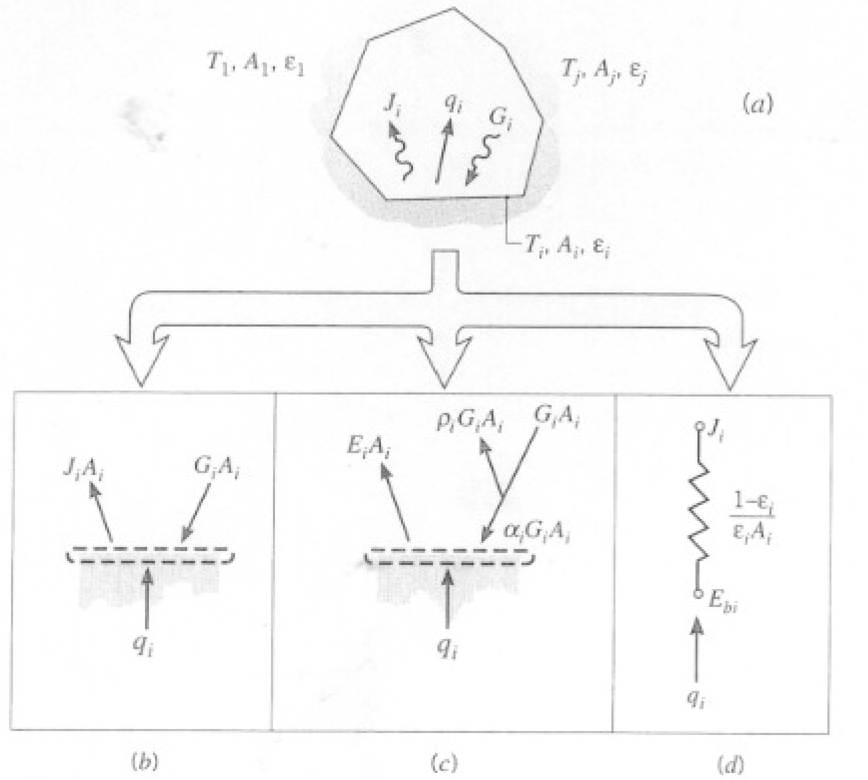
-Troca de calor entre superfícies cinzas difusas em cavidades fechadas

- neste caso existe reflexão
- hipóteses: superfícies isotérmicas, radiosidade e irradiação uniformes, superfície opaca e difusa, meio não participante

-fluxo líquido de radiação que deixa a superfície i: $q_i=A_i(J_i-G_i)$

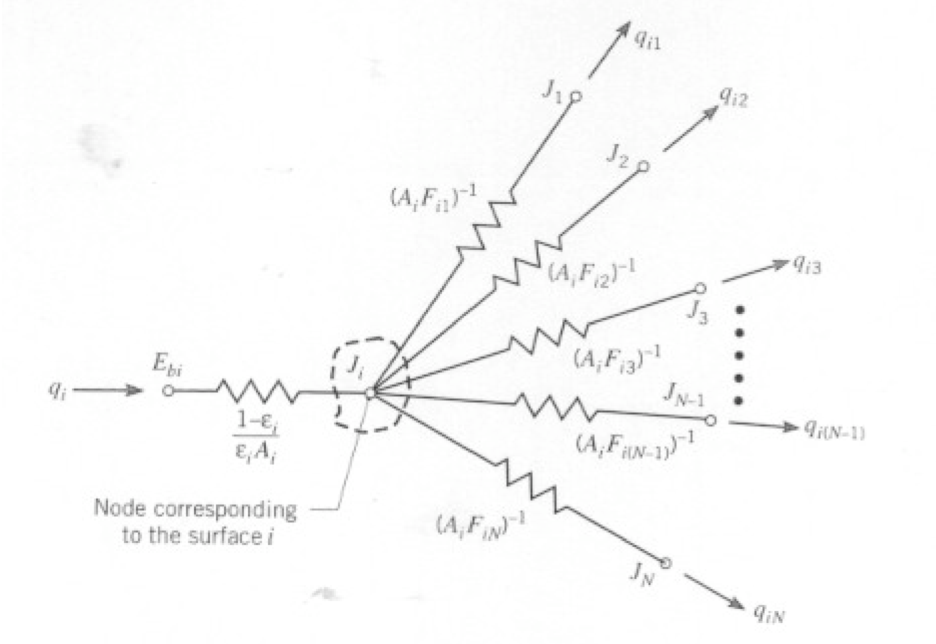
-radiosidade $J_i \equiv E_i+\rho_i G_i$

$$\Rightarrow q_i = \frac{E_{cn,i} - J_i}{(1-\varepsilon_i)/\varepsilon_i A_i}$$

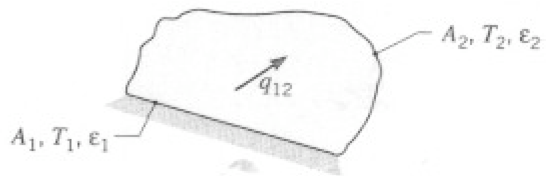


- Troca por radiação entre as superfícies da cavidade:

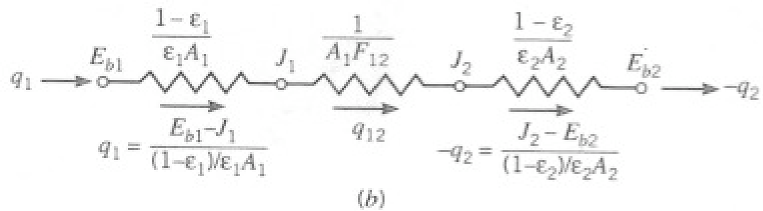
$$q_i = \sum_{j=1}^{N} \frac{J_i - J_j}{(A_i F_{ij})^{-1}}$$



- para uma cavidade composta por 2 superfícies:

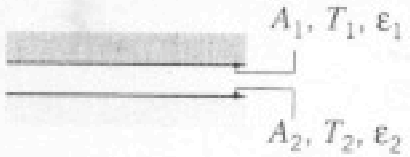


(a)


(b)

$$q_1 = -q_2 = q_{12} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\dfrac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 A_1} + \dfrac{1}{A_1 F_{12}} + \dfrac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 A_2}}$$

Large (Infinite) Parallel Planes

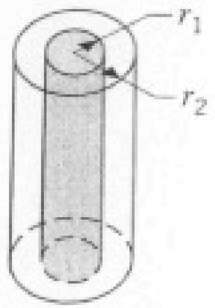


$A_1 = A_2 = A$

$F_{12} = 1$

$$q_{12} = \frac{A\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\dfrac{1}{\varepsilon_1} + \dfrac{1}{\varepsilon_2} - 1} \qquad (13.24)$$

Long (Infinite) Concentric Cylinders

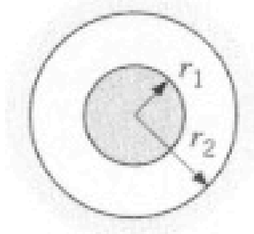


$\dfrac{A_1}{A_2} = \dfrac{r_1}{r_2}$

$F_{12} = 1$

$$q_{12} = \frac{\sigma A_1(T_1^4 - T_2^4)}{\dfrac{1}{\varepsilon_1} + \dfrac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2}\left(\dfrac{r_1}{r_2}\right)} \qquad (13.25)$$

Concentric Spheres

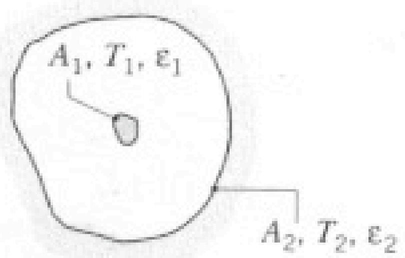


$\dfrac{A_1}{A_2} = \dfrac{r_1^2}{r_2^2}$

$F_{12} = 1$

$$q_{12} = \frac{\sigma A_1(T_1^4 - T_2^4)}{\dfrac{1}{\varepsilon_1} + \dfrac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2}\left(\dfrac{r_1}{r_2}\right)^2} \qquad (13.26)$$

Small Convex Object in a Large Cavity



$\dfrac{A_1}{A_2} \approx 0$

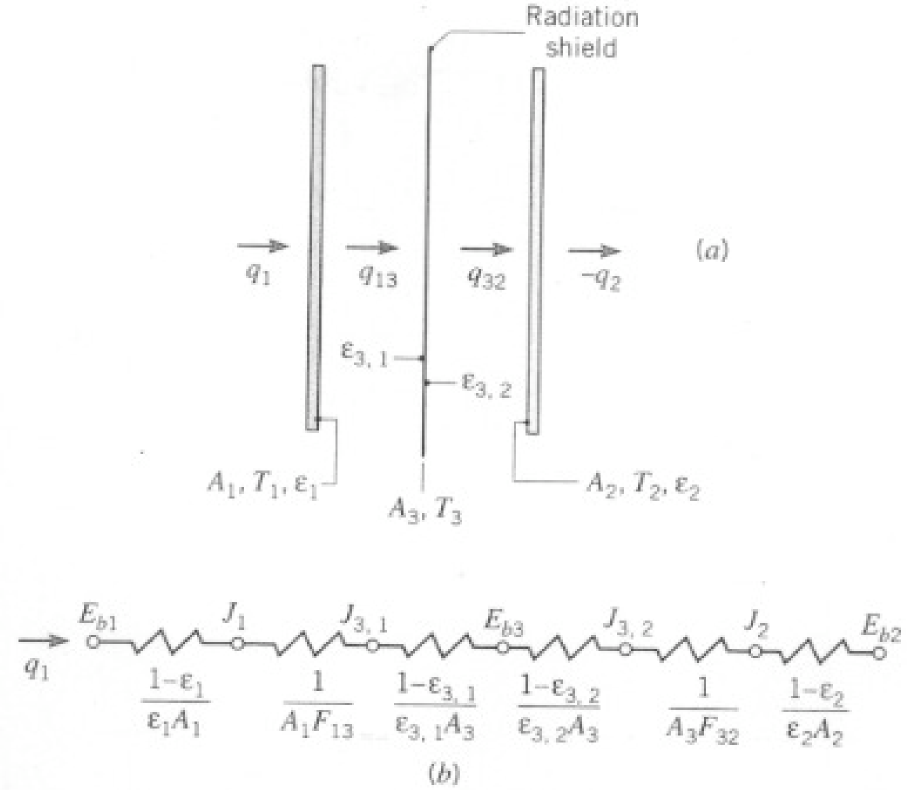
$F_{12} = 1$

$$q_{12} = \sigma A_1 \varepsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) \qquad (13.27)$$

-Blindagens para radiação:

- são construídas de materiais de baixa emissividade ($\Rightarrow \varepsilon_{3,1}$ e $\varepsilon_{3,2}$ pequenos e alta refletividade), usadas para reduzir a transferência líquida por radiação entre 2 superfícies)
- a presença da blindagem proporciona uma resistência térmica adicional, reduzindo a troca de calor entre as superfícies, que passa a ser dada por:

$$q_{12} = \frac{A_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\dfrac{1}{\varepsilon_1} + \dfrac{1}{\varepsilon_2} + \dfrac{1-\varepsilon_{3,1}}{\varepsilon_{3,1}} + \dfrac{1-\varepsilon_{3,2}}{\varepsilon_{3,2}}}$$



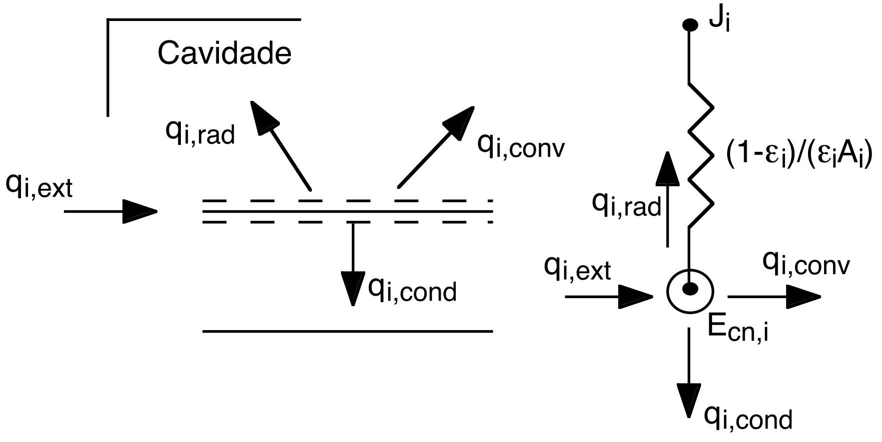
-Troca de calor combinada:
Condução + convecção + radiação

-Em muitas aplicações práticas da engenharia, encontramos os 3 modos de transferência de calor

- O balanço de calor para o exemplo da figura é dado por:

$$q_{i,ext} = q_{i,rad} + q_{i,conv} + q_{i,cond}$$

$q_{i,rad}$ - fluxo líquido de radiação da superfície



Exercícios - Capítulo 13

13.6, 13.8, 13.10, 13.18,13.21, 13.41, 13.42, 13.95, 13.98

Exercícios - Capítulo 12

12.15, 12.17, 12.18, 12.34, 12.51, 12.61, 12.63, 12.64, 12.69, 12.71, 12.109