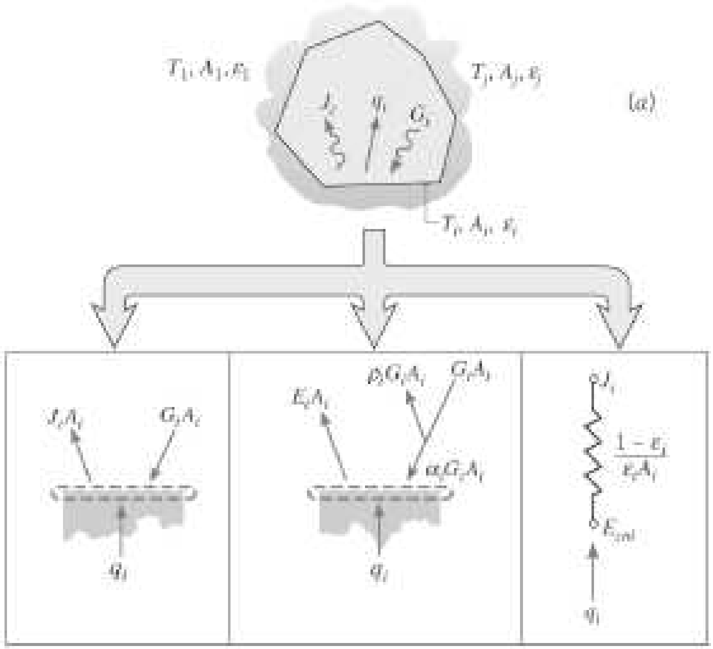
13.3-TROCA DE RADIAÇÃO ENTRE SUPERFÍCIES CINZAS, DIFUSAS E OPACAS EM UMA CAVIDADE FECHADA

- Em geral, a radiação pode deixar uma superfície opaca devido à reflexão e à emissão, e ao atingir uma segunda superfície opaca experimenta reflexão assim como absorção.



Em uma cavidade fechada a radiação pode passar por múltiplas reflexões em todas as superfícies, com absorção parcial ocorrendo em cada uma delas.

- O objetivo aqui é: CONHECIDA A TEMPERATURA T_i OU O FLUXO TÉRMICO RADIANTE q_i'' EM UMA SUPERFÍCIE, DETERMINAR OS FLUXOS TÉRMICOS RADIANTES E AS TEMPERATURAS NAS OUTRAS SUPERFÍCIES.

- Considerações para simplificar a análise de radiação:

1. Cada superfície da cavidade é isotérmica e está em regime permanente.
2. A radiosidade e a irradiação são uniformes.
3. As superfícies são opacas $(\tau = 0)$.
4. ε, α e τ são independentes da direção (superfícies difusas).
5. ε, α e τ são independentes do comprimento de onda (superfícies cinzas).
6. Vale a lei de Kirchhoff $(\varepsilon = \alpha)$.
7. O meio no interior da cavidade é não-participante.

13.3.1-Troca Radiante Líquida em uma Superfície

- O termo q_i é a taxa líquida na qual a radiação deixa a superfície *i*, representando o efeito líquido das interações radiantes que ocorrem na superfície. Ele representa a taxa na qual energia teria que ser transferida para a superfície por outros meios para mantê-la a uma temperatura constante.

- q_i é a diferença entre a radiosidade e a irradiação: $q_i = A_i(J_i - G_i)$ (ver figura)

- Da definição de radiosidade, $J_i = E_i + \rho_i G_i$ e sabendo que $1 - \rho_i = \alpha_i$ obtém-se:

$$q_i = A_i(E_i + \rho_i G_i - G_i) = A_i[E_i - (1 - \rho_i)G_i] \Rightarrow q_i = A_i(E_i - \alpha_i G_i) \text{ (ver figura)}$$

- Sabendo que $E_i = \varepsilon_i E_{cni}$ e que $1-\rho_i = \alpha_i = \varepsilon_i$ para uma superfície cinza, difusa e opaca, pode-se reescrever a radiosidade e explicitar a irradiação como:

$$J_i = \varepsilon_i E_{cni} + (1-\varepsilon_i) G_i \Rightarrow G_i = \frac{J_i - \varepsilon_i E_{cni}}{1-\varepsilon_i}$$

- Substituindo esse resultado em $q_i = A_i (J_i - G_i)$ e rearranjando obtém-se:

$$q_i = A_i \left(J_i - \frac{J_i - \varepsilon_i E_{cni}}{1-\varepsilon_i} \right) = A_i \left[\frac{(1-\varepsilon_i) J_i - (J_i - \varepsilon_i E_{cni})}{1-\varepsilon_i} \right] = A_i \left(\frac{J_i - \varepsilon_i J_i - J_i + \varepsilon_i E_{cni}}{1-\varepsilon_i} \right) =$$

$$A_i \left[\frac{\varepsilon_i (E_{cni} - J_i)}{1-\varepsilon_i} \right] \Rightarrow q_i = \frac{E_{cni} - J_i}{(1-\varepsilon_i)/\varepsilon_i A_i}$$ (*) (ver figura)

- A expressão anterior fornece uma representação conveniente para a taxa de transferência de calor radiante líquida em uma superfície.

- O POTENCIAL MOTRIZ é: $E_{cni} - J_i$

- A RESISTÊNCIA RADIANTE SUPERFICIAL é: $(1-\varepsilon_i)/\varepsilon_i A_i$

- Se $E_{cni} > J_i \Rightarrow$ transferência radiante líquida SAINDO DA SUPERFÍCIE.

- Se $E_{cni} < J_i \Rightarrow$ transferência radiante líquida ENTRANDO NA SUPERFÍCIE.

- Para o caso de uma superfície muita grande com relação as outras $(A_i \rightarrow \infty)$.

- Nesse caso, $(1-\varepsilon_i)/\varepsilon_i A_i \rightarrow 0$, $q_i = 0$ e $J_i = E_{cni}$, equivalente a uma superfície negra

- Assim, quando uma superfície é considerada grande com relação a todas as outras superfícies sendo consideradas, ela pode ser tratada como um corpo negro $(\varepsilon_i = 1)$.

- Fisicamente, mesmo que a superfície grande possa refletir parte da irradiação incidente sobre ela, ela é tão grande que há uma grande probabilidade de que a radiação refletida atinja outro ponto na mesma superfície. Após muitas dessas reflexões, toda a radiação que incidiu originalmente sobre a superfície grande é absorvida por ela e nenhuma dessa radiação atinge qualquer uma das superfícies menores.

13.3.2-Troca Radiante entre Superfícies

- Para utilizar $q_i = \dfrac{E_{cni} - J_i}{(1-\varepsilon_i)/\varepsilon_i A_i}$ a radiosidade da superfície *i* tem que ser conhecida.

- Para isso, é necessário considerar a troca de radiação entre as superfícies da cavidade.

- A irradiação na superfície *i* pode ser determinada a partir das radiosidades de todas as superfícies da cavidade.

$$A_i G_i = q_{1\to i} + q_{2\to i} + \ldots + q_{N\to i}, \quad \text{mas} \quad q_{j\to i} = F_{ji} A_j J_j$$

$$A_i G_i = F_{1i} A_1 J_1 + F_{2i} A_2 J_2 + \ldots + F_{Ni} A_N J_N = \sum_{j=1}^{N} F_{ji} A_j J_j, \text{ mas } A_i F_{ij} = A_j F_{ji}$$

$$A_i G_i = \sum_{j=1}^{N} A_i F_{ij} J_j, \text{ mas } G_i = J_i - \frac{q_i}{A_i}$$

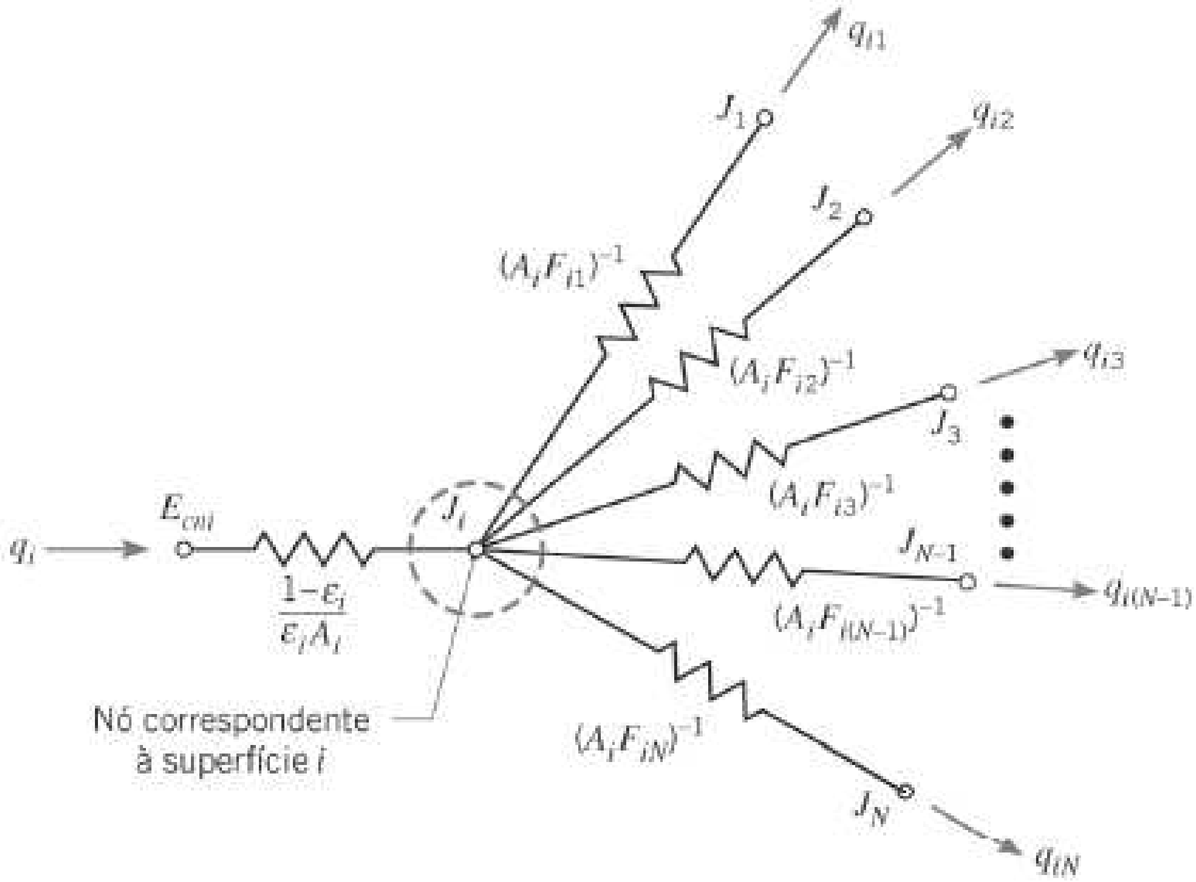
$$A_i \left(J_i - \frac{q_i}{A_i} \right) = \sum_{j=1}^{N} A_i F_{ij} J_j \Rightarrow A_i J_i - q_i = \sum_{j=1}^{N} A_i F_{ij} J_j \Rightarrow q_i = A_i \left(J_i - \sum_{j=1}^{N} F_{ij} J_j \right), \text{ mas } \sum_{j=1}^{N} F_{ij} = 1$$

$$q_i = A_i \left(\sum_{j=1}^{N} F_{ij} J_i - \sum_{j=1}^{N} F_{ij} J_j \right) \Rightarrow q_i = \sum_{j=1}^{N} A_i F_{ij} (J_i - J_j) = \sum_{j=1}^{N} q_{ij} \quad (**)$$

Abordagem da rede de radiação: a última expressão iguala a taxa radiante líquida na superfície i, q_i, à soma dos componentes q_{ij} que estão relacionados à troca radiante com as outras superfícies. Cada componente pode ser interpretado como:

- O POTENCIAL MOTRIZ é: $J_i - J_j$

- A RESISTÊNCIA ESPACIAL GEOMÉTRICA é: $(A_i F_{ij})^{-1}$



- Combinando as Eqs. (*) e (**) obtém-se:

$$q_i = \frac{E_{cni} - J_i}{(1-\varepsilon_i)/\varepsilon_i A_i} \quad \text{e} \quad q_i = \sum_{j=1}^{N} \frac{J_i - J_j}{(A_i F_{ij})^{-1}} \Rightarrow \boxed{\frac{E_{cni} - J_i}{(1-\varepsilon_i)/\varepsilon_i A_i} = \sum_{j=1}^{N} \frac{J_i - J_j}{(A_i F_{ij})^{-1}}}$$

- A expressão anterior representa um balanço de radiação no nó de radiosidade associado à superfície *i*.

- A taxa de transferência de radiação (corrente) para *i* através de sua resistência superficial deve ser igual à taxa de transferência de radiação líquida (correntes) de *i* para todas as demais superfícies através das correspondentes resistências espaciais.

- A expressão anterior é adequada quando a temperatura superficial for conhecida.

- No caso onde a taxa radiante líquida na superfície for conhecida, a forma apropriada do balanço de radiação é $q_i = \sum_{j=1}^{N} \frac{J_i - J_j}{(A_i F_{ij})^{-1}}$

- A abordagem em forma de redes é construída pela identificação inicial dos nós associados às radiosidades de cada uma das N superfícies da cavidade fechada.

- Esse método é uma ferramenta útil para visualizar a troca da radiação para cavidades simples.

Abordagem direta: consiste em escrever $\frac{E_{cni} - J_i}{(1-\varepsilon_i)/\varepsilon_i A_i} = \sum_{j=1}^{N} \frac{J_i - J_j}{(A_i F_{ij})^{-1}}$ para as superfícies com T_i conhecida e $q_i = \sum_{j=1}^{N} \frac{J_i - J_j}{(A_i F_{ij})^{-1}}$ para as superfícies com q_i conhecido.

- O conjunto de N equações algébricas lineares é resolvido para $J_1, J_2, ..., J_N$.

- Com o conhecimento dos J_i utiliza-se $q_i = \frac{E_{cni} - J_i}{(1-\varepsilon_i)/\varepsilon_i A_i}$ para determinar q_i para cada superfície com T_i conhecido ou o valor de T_i para cada superfície com q_i conhecido.

- O sistema resultante pode ser resolvido por métodos diretos ou métodos iterativos.