



ANALISANDO AS TROCAS RADIATIVAS SOB A ÓTICA DA 2^A. LEI DA TERMODINÂMICA

Washington Braga Filho

Departamento de Engenharia Mecânica, PUC - Rio, R. Marquês de São Vicente, 225, CEP 22453-900, Rio de Janeiro, RJ, wbraga@mec.puc-rio.br

Resumo. *Este artigo estuda a influência do uso e da localização de superfícies que refletem a energia radiante de forma especular, como nos espelhos, na troca de calor em cavidades quadradas ou retangulares. A partir de um processo discreto de posicionamento da superfície especular face as demais e em especial, à superfície quente da cavidade, as taxas internas de troca de calor são analisadas, verificando-se uma redução nestes valores se a superfície especular for posta em frente à superfície quente. Analisando-se a geração interna de entropia, conclui-se que a irreversibilidade do processo é mínima naquelas condições. Resultados são apresentados para os efeitos da refletividade da superfície especular, da emissividade da demais superfícies, além do nível de temperaturas. Uma análise aproximada capaz de fornecer resultados bastante interessantes é ainda apresentada, mostrando o efeito da razão de aspecto da cavidade na redução das perdas de energia. Futuros desenvolvimentos são ainda indicados.*

Palavras-chave: *Radiação Térmica, Superfícies Especulares, Posicionamento Ótimo, Geração de Entropia*

1. INTRODUÇÃO

Parte considerável do esforço desenvolvido em ciência e em engenharia nos últimos tempos refere-se à procura de conhecimento sobre a natureza física dos processos industriais, visando a redução do consumo de energia e em consequência, do custo final dos produtos. Se tais questões eram relevantes no contexto de um mundo globalizado, mais recentemente, as preocupações com o meio ambiente vieram fornecer motivação adicional para tal, quer pela nova mentalidade ecológica dos industriais que não querem associar suas empresas aos prejuízos ambientais quer pelas pesadas multas emitidas pelos sistemas fiscalizadores. Em todos os casos, esta preocupação envolve a modelagem das situações físicas e ao mesmo tempo a procura de critérios eficientes de otimização. Em Ciências Térmicas, um critério já bastante comum de análise visando a redução das perdas utiliza a conceito da irreversibilidade ou seja, da entropia gerada nestes processos, como pode ser visto nos livros já publicados sobre o assunto (e.g. Moran, 1982 e Bejan 1982), teses de doutoramento (e.g. Alves, 1998) e diversos trabalhos técnicos apresentados em congressos e revistas (e.g. Sciuba, 1997). Na maior parte dos trabalhos, a ênfase tem sido nos processos de Condução-Convecção, utilizando, por exemplo, programas comerciais de simulação numérica como o Fluent e outros.

O presente trabalho, ainda em desenvolvimento, envolve o estudo dos processos de otimização da quantidade de energia a ser liberada para garantir determinado padrão de temperaturas em fornos, simulados aqui como cavidades quadradas ou retangulares nas quais uma das superfícies é considerada quente e em situações nas quais a troca de calor é essencialmente radiativa. A presença de uma superfície com características perfeitamente especulares a ser colocada dentro da cavidade em posição a ser determinada é o fator de análise. Após o estudo da situação física, faz-se uma análise da geração de entropia no processo, visando um melhor entendimento físico do problema.

O estudo de outras características, como a influência da direção nas propriedades radiativas, a presença de superfícies refratárias, gases participantes, etc, está ainda sendo feito, devendo ser apresentado futuramente. Pelas características da etapa atual de desenvolvimento, o processo de otimização é conduzido de forma discreta. Numa etapa posterior, pretende-se analisar o processo contínuo, a ser implementado quando a hipótese de superfícies não isotérmicas for considerada.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Considere, para efeitos de análise, uma cavidade retangular (eventualmente quadrada) de comprimento L e altura H, suposta bidimensional nesta etapa do trabalho, cujas temperaturas podem ser controladas por agentes externos independentes. Para se estudar analiticamente o problema, vai-se considerar que a cavidade tenha apenas uma fonte quente, de temperatura igual a T_Q , enquanto as outras três temperaturas são mantidas no mesmo nível, T_F . De forma análoga, três das superfícies são consideradas perfeitamente difusas enquanto que a superfície 4 é suposta ser parcialmente especular. A geometria estudada é mostrada na Fig.(1) abaixo.

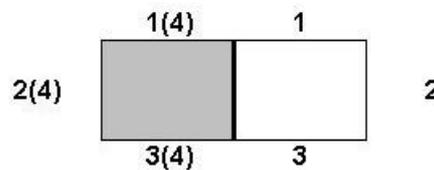


Figura 1. Esquema da Cavidade Analisada - Superfície 4 é a espelhada

As superfícies indicadas por 1(4), 2(4) e 3(4) são superfícies virtuais, ou seja, são reflexos das outras superfícies através do espelho definido pela superfície 4. Como discutido na literatura (e.g. Modest, 1993), as superfícies podem ser tratadas como refletoras ou como emissoras difusas. Enquanto que esta última aproximação é considerada como razoável, frequentemente, a hipótese das superfícies serem difusamente refletoras é de difícil sustentação, tendo em vista as condições das superfícies de materiais industriais comumente utilizadas. Na verdade, a experiência indica que muitas superfícies apresentam comportamento misto, refletindo difusamente em outras direções que não a idêntica ao ângulo de incidência mas apresentando fortes picos de reflexão especular, típica de superfície espelhadas. Como é usual neste tipo de análise, as propriedades radiativas serão consideradas da forma mostrada na Eq. (1) e indicadas na Tab. (1). Como pode ser visto, a superfície 4 será sempre a superfície especular, por comodidade.

$$\rho = \rho^s + \rho^d \quad (1)$$

Neste trabalho, as superfícies serão consideradas como sendo puramente difusas ou especulares, ou seja, comportamentos híbridos não serão estudados, para facilitar o entendimento do problema.

Tabela 1. Propriedades Radiativas das Superfícies da Cavidade

Superfície	ϵ	ρ^d	ρ^s
1	0,8	0,2	0
2	0,8	0,2	0
3	0,8	0,2	0
4 (espelho)	0,2	0	0,8

3. CALOR TROCADO NA CAVIDADE

A determinação das quantidades de calor trocado entre as superfícies da cavidade pode ser feito utilizando-se as equações disponíveis em Modest, 1993 ou Sparrow e Cess, 1975. Considerando a superfície 1 como referência, e utilizando os conceitos da radiosidade (J) e da irradiação (G), podemos aplicar um balanço de energia e escrever:

$$q_1'' = J_1 - G_1 \quad (2)$$

A determinação da irradiação precisará levar em conta a energia que chega na superfície 1 vinda diretamente das outras duas superfícies, indicada pelos termos $A_2 F_{21} J_2 + A_3 F_{31} J_3$, e também pelas parcelas que deixam estas superfícies e que são refletidas pelo espelho 4 na direção da superfície 1, indicadas pelos termos $\rho_4 A_1 F_{1(4)-1} J_1 + \rho_4^s A_2 F_{2(4)-1} J_2 + \rho_4^s A_3 F_{3(4)-1} J_3$. No problema em questão, o termo $F_{1(4)-1}$ é nulo, embora $F_{2(4)-2}$ que será utilizado na análise do termo G_2 não o é, como pode ser visto por inspeção direta. A estes termos, deve-se acrescentar a quantidade de energia emitida pelo espelho 4 e que atinge a superfície 1 em questão. Utilizando a lei da reciprocidade, pode-se escrever que:

$$G_1 = F_{12} J_2 + \rho_4^s F_{1-2(4)} J_2 + F_{13} J_3 + \rho_4^s F_{1-3(4)} J_3 + \varepsilon_4 F_{14} E_{b_4} \quad (3)$$

Por outro lado, a superfície 1 é uma superfície cinza e com isto:

$$q_1'' = (E_{b_1} - J_1) / (\rho_1^d / \varepsilon_1) = (E_{b_1} - J_1) / R_{\varepsilon_1} \quad (4)$$

onde utilizou-se o conceito das resistências elétricas equivalentes. Substituindo-se as Eqs (3) e (4) em (2), obtém-se:

$$\begin{aligned} J_1 \left[1 + 1/R_{\varepsilon_1} \right] - \left[F_{12} + \rho_4^s F_{1-2(4)} \right] J_2 - \left[F_{13} + \rho_4^s F_{1-3(4)} \right] J_3 \\ = E_{b_1} / R_{\varepsilon_1} + \varepsilon_4 F_{14} E_{b_4} \end{aligned} \quad (5)$$

Repetindo-se a presente análise para as demais superfícies difusas, um sistema de 3 equações a 3 incógnitas é obtido, cuja solução irá fornecer os valores das 3 radiosidades:

$$\begin{aligned} A_{11} J_1 + A_{12} J_2 + A_{13} J_3 &= B_1 \\ A_{21} J_1 + A_{22} J_2 + A_{23} J_3 &= B_2 \\ A_{31} J_1 + A_{32} J_2 + A_{33} J_3 &= B_3 \end{aligned} \quad (6)$$

Com isto, os calores trocados poderão ser determinados diretamente pela Eq. (4) e suas análogas. O problema é fechado com a determinação do calor trocado pela superfície 4, o que pode ser feito através de um novo balanço de energia. No caso, temos que:

$$q_4'' = \varepsilon_4 E_{b_4} - \varepsilon_4 (F_{41} J_1 + F_{42} J_2 + F_{43} J_3) \quad (7)$$

Deve ser observado que a matriz A dos coeficientes do sistema definido pela Eq. (6) refere-se às considerações geométricas (através dos fatores de forma) e às características superficiais (através das propriedades radiativas). De forma análoga, o vetor dos termos independentes considera a influência das temperaturas (através dos poderes emissivos) e também das características superficiais. Aplicando-se estas equações ao problema em questão, podemos determinar as taxas de troca de calor em função dos parâmetros físicos relevantes. Os resultados obtidos, supondo que $T_Q = 1000\text{ K}$ e $T_F = 450\text{ K}$, $T_Q/T_F = 2,2$, em duas situações, são mostrados na Tab. (2). Na primeira, a fonte quente foi considerada como sendo a superfície 1, perpendicular ao espelho 4. Este é o Caso 1, na presente análise. Em seguida, "moveu-se" a fonte quente para ficar oposta ao espelho, isto é, colocou-se a fonte quente em frente à superfície 2, definindo o Caso 2. Naturalmente, a situação em que a fonte quente seja colocada na superfície 3 é análoga à primeira situação tratada, visto que apenas trocas radiativas estão sendo consideradas.

Tabela 2. Efeito da Localização da Fonte Quente na Troca de Calor

Calor Trocado pela Fonte Quente	Caso 1: ($T_1 = T_Q$) (kW/m ²)	Caso 2: ($T_2 = T_Q$) (kW/m ²)	Diferença (kW/m ²)
3 superfícies difusas + 1 especular	39,9	34,4	5,5
4 superfícies difusas	40,8	40,8	0

Nesta tabela, são mostrados ainda, para efeitos de comparação, os resultados obtidos considerando-se que as 4 superfícies sejam refletoras difusamente. Nesta situação, a posição da fonte quente é irrelevante, supondo-se que as emissividades das quatro superfícies sejam iguais e também os fatores de forma geométricos (cavidade quadrada). Em presença de uma superfície idealmente espelhada, a alteração na localização da fonte quente reduz, para o problema em análise, a taxa de troca de calor desta fonte em 13,8%, obviamente como resultado das características especulares da superfície 4.

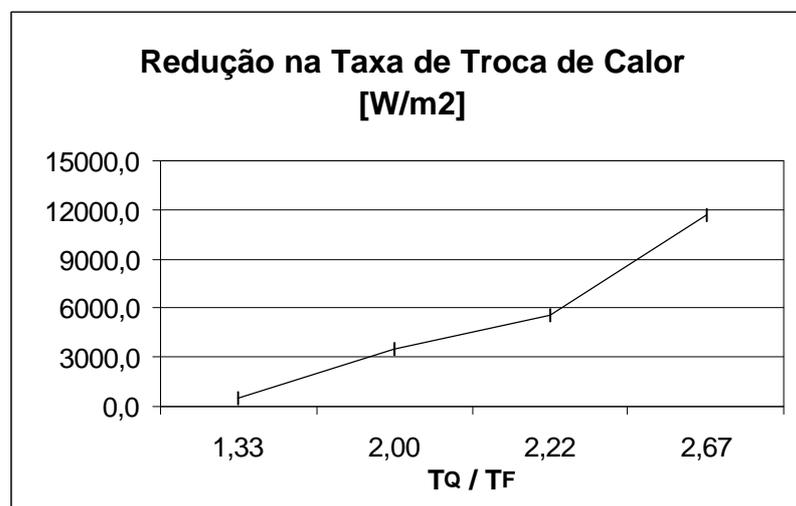


Figura 2. Redução Obtida na Taxa de Troca de Calor em Função da Razão entre Temperaturas

Figura (2) mostra a redução obtida em função da razão entre as temperaturas T_Q / T_F . Os resultados indicam que o aumento do nível de temperaturas possibilita uma maior redução na taxa de troca de calor. Na próxima seção, serão discutidos outras formas para tornar o processo menos irreversível, reduzindo assim, a quantidade de energia necessária.

4. GERAÇÃO DE ENTROPIA

A taxa de geração de entropia em sistemas tem sido utilizada como um dos parâmetros para avaliação das irreversibilidades relacionadas aos processos de transporte, Bejan, 1982. No presente trabalho, pretende-se estudar a influência da localização da fonte quente e das propriedades radiativas nesta geração, visando a otimização dos processos de transferência de energia. Pela definição do termo de geração de entropia, Moran, 1982, tem-se que:

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T} + \sigma \quad (8)$$

Nesta equação, S é a entropia e σ é o termo de geração. Aplicando esta definição ao problema em questão, obtém-se, após extensa manipulação algébrica dos termos envolvidos, que o termo de geração de entropia para o problema em questão se escreve:

$$\begin{aligned} \sigma = & \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right] (J_1 - J_2) \{ A_1 F_{12} + \rho_4^s A_1 F_{1-2(4)} \} + \\ & \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_3} \right] (J_1 - J_3) \{ A_1 F_{13} + \rho_4^s A_1 F_{1-3(4)} \} + \\ & \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_3} \right] (J_2 - J_3) \{ A_2 F_{23} + \rho_4^s A_2 F_{2-3(4)} \} + \\ & \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_4} \right] (J_1 - E_{b_4}) \epsilon_4 A_1 F_{14} + \\ & \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_4} \right] (J_2 - E_{b_4}) \epsilon_4 A_2 F_{24} + \left[\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_4} \right] (J_3 - E_{b_4}) \epsilon_4 A_3 F_{34} \end{aligned} \quad (9)$$

Pode-se notar que a Eq. (9) relaciona os termos de uma forma clássica. A troca líquida de radiação entre duas quaisquer das superfícies é um processo irreversível (Moran, 1982) devido à diferença de temperaturas. Supondo $T_1 > T_2$, a entropia gerada, σ , para a situação envolvendo a troca de calor em presença de uma diferença finita de temperaturas é dada pela Eq. (10):

$$\sigma = Q \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right] > 0 \quad (10)$$

Analisando a Eq. (9), vê-se claramente que melhores resultados são obtidos para cavidades onde os níveis de temperatura são praticamente iguais, uma situação de pequeno interesse na prática. Assim, vai-se estudar a influência das seguintes variáveis na geração:

- Refletividade da superfície espelhada;
- Emissividade das outras superfícies;
- Geometria (razão de aspectos da cavidade);

Alguns destes resultados aparecem nas próximas figuras. Conforme já comentado, Caso 1 corresponde à situação na qual a superfície quente está colocada perpendicularmente à superfície espelhada e Caso 2 é a situação na qual a superfície quente está colocada em frente à superfície espelhada.

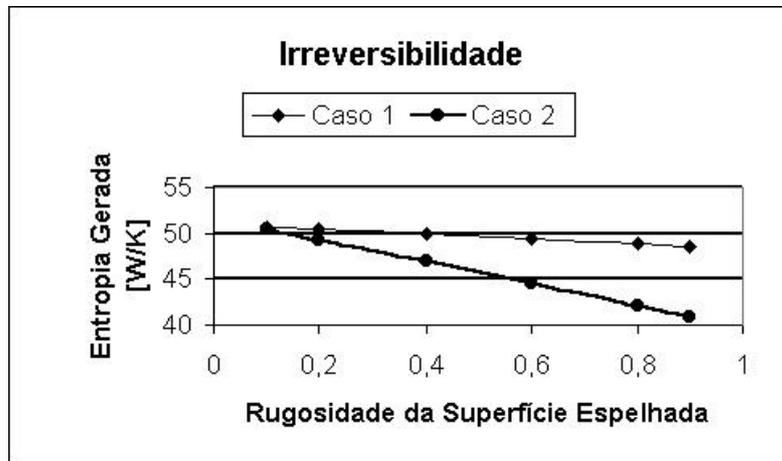


Figura 4. Geração de Entropia em função da Rugosidade da Superfície Espelhada. Cavidade quadrada, emissividade 0,8, $T_Q = 1000$ K, $T_F = 450$ K

Analisando estes resultados, pode-se concluir que o aumento do espelhamento da superfície especular, por exemplo, a partir de um maior polimento superficial, e também a utilização de materiais para as superfícies não-espelhadas que tenham baixa emissividade resultam na diminuição das irreversibilidades em ambas as situações. Entretanto, a vantagem do uso de superfícies bem polidas (isto é, com alta refletividade) na configuração do Caso 2, é bastante evidente, sendo por isto, fortemente recomendada. A influência da emissividade das superfícies não espelhadas nesta redução de irreversibilidades, em função da localização da superfície especular, não é tão marcante, como mostrado na Fig. (5).

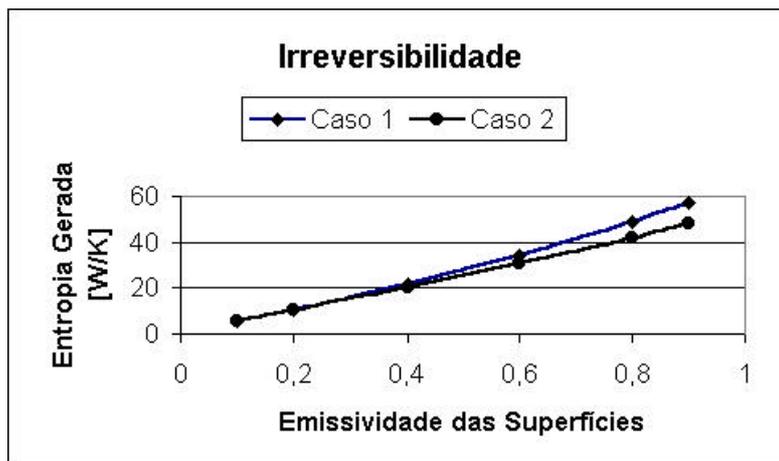


Figura 5. Geração de Entropia em função da Emissividade das Superfícies não-espelhadas. Cavidade quadrada, refletividade especular 0,8, $T_Q = 1000$ K, $T_F = 450$ K

Uma explicação singela para este fato utiliza a Teoria da Informação, para a qual associa-se o termo entropia ao conteúdo de informação existente (e.g. Holman, 1980). Considere um fóton incidindo em uma superfície perfeitamente especular. Ao ser refletido, o fóton mantém a informação sobre a direção de onde veio, visto que o ângulo de reflexão é o de incidência na

reflexão especular. Por outro lado, se a incidência for feita em uma superfície difusa, o fóton será refletido em qualquer direção, perdendo assim, parte da informação a ela associada e portanto, aumentando o nível de desinformação, isto é, a entropia.

5. ANÁLISE APROXIMADA

Os resultados da seção anterior são em geral bastante complexos para serem obtidos. Para reduzir tal esforço, pode-se associar a redução percentual nesta taxa obtida pela alteração na posição da fonte quente, escrevendo-a da forma:

$$\%R = \left(A_1 q_1'' - A_2 q_2'' \right) / A_1 q_1'' \quad (11)$$

onde q_1'' é a taxa de energia a ser fornecida através da superfície 1 para a situação na qual a fonte quente estar colocada nesta superfície, Caso 1, e q_2'' é a mesma taxa para o caso da fonte quente estar localizada na superfície 2, Caso 2. Utilizando a definição de q_1'' , mostrada na Eq. (4), sua análoga para o segundo caso, q_2'' , e considerando que a temperatura da fonte quente permanece a mesma independentemente da sua localização, obtemos que a redução se escreve da forma:

$$\%R = \frac{E_b(T_Q) \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) + \frac{A_2}{A_1} J_2 - J_1}{\left(E_b(T_Q) - J_1\right)} \quad (12)$$

onde J_1 indica a radiosidade da superfície 1, enquanto superfície quente, e J_2 é a radiosidade da superfície 2, nas mesmas condições. Naturalmente, os valores destas duas radiosidades dependem também das temperaturas do problema. Para eliminar tal dependência, pode-se considerar o fato que a influência das temperaturas se faz no termo independente do sistema de equações definido por (6), o que permite a utilização da técnica proposta por Hottel (e.g. Wiebelt, 1966), que observou a linearidade do problema de Radiação quando escrito em termos das radiosidades e poderes emissivos (e não das temperaturas). Seu método de solução, a ser aplicado em cada um dos dois Casos, consiste em se evitar os potenciais do problema original, definidos por $(E_{b_1}, E_{b_2}, E_{b_3}, e E_{b_4})$, e se trabalhar com quatro problemas auxiliares, definidos pelos potenciais $(1,0,0,0)$, $(0,1,0,0)$, $(0,0,1,0)$ e $(0,0,0,1)$. A superposição das soluções destes 4 problemas fornece a solução desejada. Em princípio, esta superposição deve ser feita para cada um dos dois casos.

Pelas opções feitas no presente trabalho, é preciso apenas considerar a radiosidade da superfície 1 obtida para o problema auxiliar $(1,0,0,0)$ e a radiosidade obtida para o problema auxiliar $(0,1,0,0)$, como pode ser observado. Com isto, obtem-se que o percentual de redução passa a independe dos níveis de temperatura. Para o problema em questão, supondo uma cavidade quadrada, o percentual de redução é de aproximadamente 13,8%, para toda e qualquer temperatura das duas fontes, isto é, T_Q e T_F , reduzindo-se assim, o número de parâmetros do problema. Deve ficar claro, contudo, que esta independência diz respeito apenas ao percentual de redução e não às quantidades envolvidas. A Fig. (6) mostra o perfil obtido a partir desta análise.

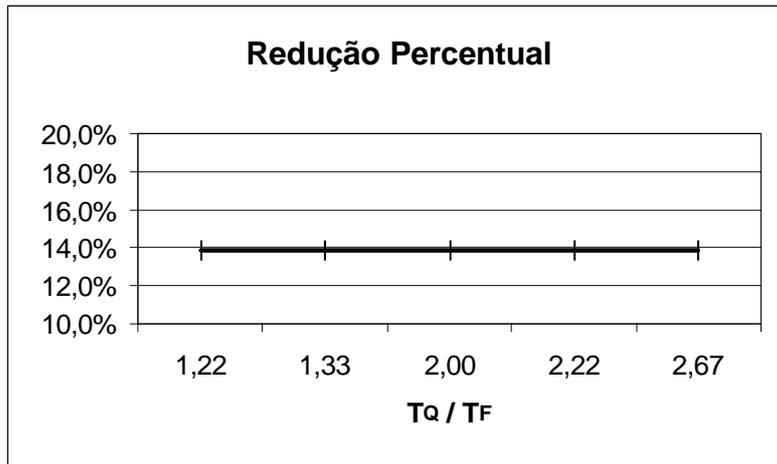


Figura 6. Redução Percentual obtida a partir da alteração da posição da Fonte Quente

A análise mais detalhada da influência da geometria e das propriedades radiativas das quatro superfícies é um pouco mais complexa. Embora isto possa ser feito de forma trivial utilizando-se um programa de computador, como o que foi desenvolvido na seção 4, vai-se preferir aqui uma análise teórica, ainda que aproximada. A partir do uso destes potenciais auxiliares, percebe-se a presença de termos dominantes no sistema de equações definido em (6). Assim é que, supondo que a fonte quente seja a superfície 1, a radiosidade da superfície 1 pode ser determinada através da Eq. (13), mostrada abaixo:

$$J_1 \left[1 + 1/R_{\varepsilon_1} \right] \cong 1/R_{\varepsilon_1} \quad (13)$$

ou seja,

$$J_1 \cong 1/(1 + R_{\varepsilon_1}) \quad (14)$$

Movendo-se a fonte quente para a superfície 2, a radiosidade de interesse passa a ser a da superfície 2. Numa análise aproximada, este valor se escreve:

$$J_2 \cong 1 / \left[1 + R_{\varepsilon_2} (1 - \rho_4^s F_{2-2(4)}) \right] \quad (15)$$

Supondo uma cavidade retangular, esta análise aproximada indica que o percentual de redução, definido pela Eq. (11) passa a ser escrito como mostrado abaixo:

$$\%R = \frac{E_b(T_Q) \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) + \frac{A_2}{A_1} J_2 - J_1}{(E_b(T_Q) - J_1)} \cong \left[1 - \frac{A_2}{A_1} \right] + \frac{A_2}{A_1} \left[\frac{\rho_4^s F_{2-2(4)}}{1 + R_{\varepsilon_2} (1 - \rho_4^s F_{2-2(4)})} \right] \quad (16)$$

Definindo-se a razão de aspectos da cavidade pela razão $RA = A_2 / A_1 = L / H$, obtém-se então que:

$$\%R \cong (1 - AR) + \frac{AR\epsilon_Q}{(\epsilon_Q - 1) + 1/(\rho_4^s F_{2-2(4)})} \quad (17)$$

onde ϵ_Q refere-se à emissividade da superfície quente, suposta constante na presente análise.

Analisando ainda os termos desprezados no sistema definido pela Eq. (6), na qual os coeficientes A_{12} e A_{13} são negativos e lembrando que as radiosidades são sempre positivas, pode-se concluir que a Eq. (17) fornece resultados super-estimados em todas as situações. De fato, para o conjunto de dados reportados aqui, o resultado da Eq. (17) é 15,7% de redução, enquanto o resultado exato foi de 13,8%. Entretanto, a facilidade da análise obtida certamente justifica tal aproximação.

Observando a expressão acima, nota-se que, para cavidades quadradas, na ausência da superfície espelhada, isto é, se $\rho_4^s = 0$, a redução obtida será nula, como mostrado na Tab. (2) para o caso da cavidade com 4 superfícies difusas. Da mesma maneira, se a emissividade das superfícies perfeitamente difusas for aumentada, o percentual de redução aumenta, o que também acontece se a refletividade especular da superfície espelhada aumentar. Figura (7) mostra a influência da razão de aspectos da cavidade. Deve ser observado que cavidades esbeltas, com $RA < 1$, promovem o uso eficiente da superfície espelhada e com isto, há redução nas irreversibilidades e portanto nas taxas de troca de calor. Para cavidades compridas, o efeito obtido é o contrário.

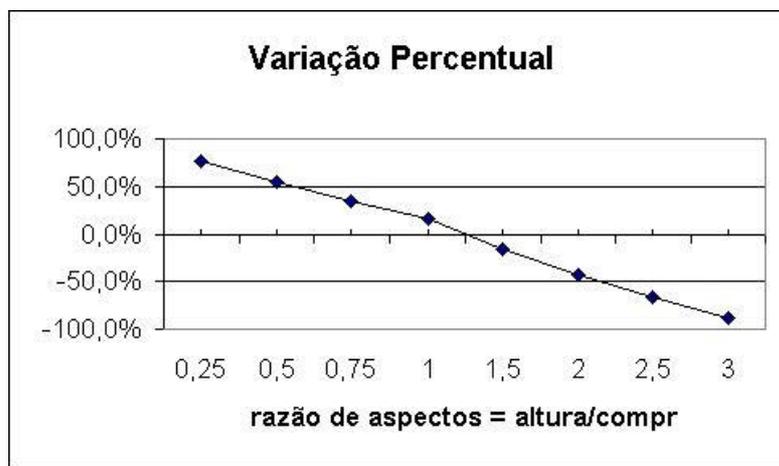


Figura 7. Efeito da Razão de Aspectos na Redução Percentual da Taxa de Troca de Calor

Naturalmente, quando a relação de parâmetros satisfizer a Eq. (18) abaixo, não haverá redução na taxa de troca de calor e qualquer modificação neste sentido deverá ser evitada.

$$\frac{(1 - AR)}{AR} = \frac{\epsilon_Q}{(\epsilon_Q - 1) + 1/(\rho_4^s F_{2-2(4)})} \quad (18)$$

Por limitações de espaço, não serão mostrados aqui os resultados aproximados para a influência da refletividade da superfície especular e da emissividade da fonte quente no problema. Eles seguem a tendência já mostrada nas Figuras (4) e (5), como pode-se esperar.

5. CONCLUSÕES

Concluindo a presente análise, vê-se claramente que a localização da fonte quente face à da superfície espelhada resulta na diminuição da quantidade de calor necessária para a manutenção do nível de temperatura da fonte quente da cavidade. De posse dos resultados, sugere-se então que a fonte quente seja sempre colocada em frente à superfície espelhada e que especial consideração seja feita com relação ao grau de polimento desta superfície. A explicação deste fato tem a ver com a menor geração de entropia visto que a superfície espelhada mantém a informação da direção do feixe radiante original, o que não acontece com as superfícies difusas.

4. REFERÊNCIAS

- Alves, C.F.E., Transientes em Difusores Radiais Alimentados Axialmente, Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Mecânica, PUC-Rio, 1998.
- Bejan, A., "Entropy Generation Through Heat and Fluid Flow", Wiley, New York, 1982.
- Holman, J.P., "Thermodynamics", 3ª edição, McGraw-Hill, 1980.
- Modest, M. F., "Radiative Heat Transfer", McGraw-Hill, Inc., N.York, 1993.
- Moran, M. J., "Availability Analysis: A Guide To Efficient Energy Use", Prentice Hall, 1982.
- Sciuba, E., Entropy-Generation Primer, disponível em <http://www.memagazine.org/backissues/october97/features/entropy/entropy.html>.
- Wiebelt, J.A., "Engineering Radiation Heat Transfer", Holt, Rinehart & Winston, Inc, 1966.

ANALYSIS OF RADIATIVE EXCHANGES USING THE SECOND LAW OF THERMODYNAMICS

Washington Braga

Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, Marquês de São Vicente, 225, wbraga@mec.puc-rio.br

***Abstract.** This paper analyzes the use and localization of specular reflecting surfaces, such as mirrors, in the heat exchange inside square and rectangular surfaces. Following a discrete localization process for both the specular surface and the high temperature surface, the heat exchange is studied. Among other conclusions, the results so far obtained indicate clearly that the specular surface should be positioned in front of the high temperature surface, a situation that mostly reduces the entropy generation. Finally, an approximated analysis is performed in order to help the understanding the overall physical characteristics of such cavities. Future developments should include the effects of directional properties, non uniform temperatures, participating media and so on.*

***Keywords.** Radiative Transfer, Specular Surfaces, Optimal Localization, Entropy Generation*