

ANÁLISE NUMÉRICA DA CONVECÇÃO NATURAL EM GEOMETRIAS TÍPICAS DE SISTEMA INTEGRADOS COLETOR SOLAR TANQUE ARMAZENADOR

Rafael Pavan Bagagli

Cocam Cia de Café Solúvel e Derivados - Catanduva (SP)
Rafael@cocam.com.br

Vicente Luiz Scalon

UNESP/FEB/DEM - Av Luiz E.C. Coube, s/n, C.P. 476, CEP 17033-360 Bauru (SP)
scalon@feb.unesp.br

Alcides Padilha

UNESP/FEB/DEM - Av Luiz E.C. Coube, s/n, C.P. 476, CEP 17033-360 Bauru (SP)
padilha@feb.unesp.br

Resumo. Com a crise energética recente, houve uma conscientização da necessidade de um uso mais racional de energia. Uma série de trabalhos já realizados com fontes alternativas de energia e que vinham sendo preteridos desde a crise energética do início dos anos 70 ganhou, com este fato, nova vitalidade. Dentre todas as alternativas para aproveitamento de energia solar, a mais utilizada atualmente é o chamado "sistema doméstico de aquecimento de água"(SDHWS). Este tipo de sistema, entretanto, ainda é relativamente complexo e possui uma série de dutos e conexões entre coletor e tanque armazenador e que contribuem para elevar o custo do sistema. Uma alternativa para o seu barateamento é o uso do sistema integrados coletor solar-tanque armazenador (ICS). Neste trabalho, será apresentada uma avaliação de como ocorre o processo de movimentação natural do fluido na geometria mais comum destes sistemas. A influência do número de Rayleigh e a razão de aspecto da geometria proposta é analisada e discutida.

Palavras chave: Armazenamento Térmico, Energia Solar, Coletor Solar, Sistemas Integrados

1. Introdução

A disponibilidade de energia representa nos dias de hoje uma questão crítica na economia mundial, uma vez que é indispensável na indústria, agricultura, comércio e residências. A energia elétrica, em particular, é uma forma de energia de alta qualidade termodinâmica e que permite grande flexibilidade na sua utilização. A demanda por energia elétrica é elevada e as projeções estatísticas para este século estabelecem que, quantidades crescentes deverão ser fornecidas a fim de evitar um colapso econômico mundial. O Brasil, por exemplo, passou por uma crise energética nos anos 2000/2001, que se manifestou devido à uma redução crítica no nível dos reservatórios utilizados nas hidrelétricas para geração de eletricidade.

Nesta situação, a intensificação do uso da energia solar, representa um importante fator de redução do consumo de energia elétrica doméstico. Ainda mais, seu uso no aquecimento de água representa uma significativa redução da demanda de energia elétrica que ocorre próximo do horário das 19:00 hs e no qual os chuveiros elétricos tem grande contribuição. Esta redução de demanda, mesmo que parcial, representaria um significativo alívio para a futura política energética brasileira. Entretanto, sistemas de aproveitamento de energia solar ainda apresentam um custo relativamente alto para a sua implantação. Alternativas para barateá-los podem e devem ser buscadas como forma de popularização destes dispositivos.

Uma alternativa que vem sendo bastante estudada para a redução de custos dos sistemas é a utilização de sistemas integrados coletor/armazenador. Embora isto até possa parecer retrocesso, uma vez que resgata as idéias originalmente utilizadas nos primórdios dos estudos de aproveitamento de energia solar, muitos pesquisadores tem apostado na idéia. Este tipo de sistema elimina a necessidade de uma série de dutos e conexões interligando armazenador e tanque de estratificação tendendo, desta forma, a uma redução no seu custo.

Vários estudos recentes tem abordado o tema, como o desenvolvido por Kaptan and Kilic, 1996, em que é analisado teórica e experimentalmente este tipo de aquecedor. Neste caso, uma placa defletora é inserida no tanque e o seu comportamento é avaliado em laboratório através do uso de iluminação artificial. Mohamad, 1997, segue a mesma linha, entretanto avalia o uso de diodos térmicos e mostra a importância destes dispositivos para prevenir a circulação reversa no período noturno. Uma descrição detalhada do problema de circulação reversa nestes dispositivos pode ser encontrada,

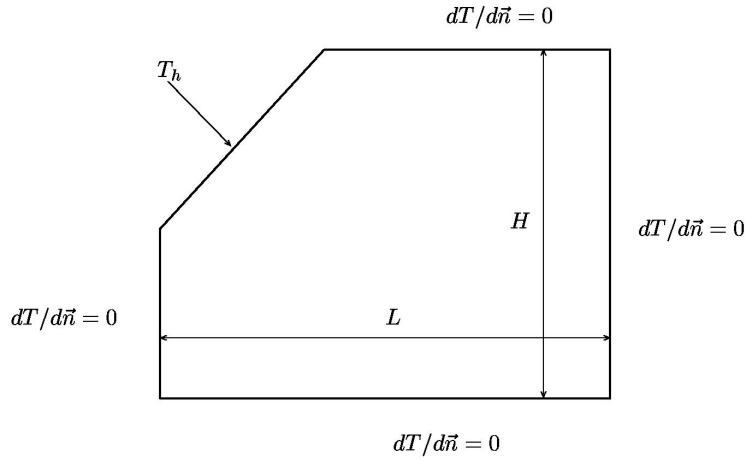


Figura 1: Esquema geral do problema a ser resolvido

ainda, em Chaurasia and Twidell, 2001. Outras alterações no projeto que permitam utilizar e otimizar os sistemas integrados foram apresentados por Faiman et al., 2001. Ainda nesta linha, cabe ressaltar os trabalhos desenvolvidos por Cruz, 2002, em que se utiliza o armazenador sem o canal e, conseqüentemente sem a instalação de nenhum diodo térmico. Em todos estes estudos foram utilizadas geometrias do tipo trapezoidal.

Outras diferentes geometrias também vêm sendo analisadas como alternativas e, embora ainda se encontrem num estágio incipiente, podem vir a predominar no futuro dos dispositivos acoplados. Exemplos de trabalhos deste tipo foram desenvolvidos em geometria do tipo CPC, foram apresentados publicados por Tripanagnostopoulos and Souliotis, 2004, e na forma de um tanque cilindro, foi analisada e por Smyth et al., 1999.

Este trabalho se propõe a avaliar, através de um modelo numérico, como ocorre o processo de convecção natural nas geometrias trapezoidais típicas de coletores solar integrados aos tanques armazenadores apresentados anteriormente. Esta avaliação permitirá uma análise mais detalhada de como e o processo de convecção natural ocorre no interior do tanque armazenador quando na presença de uma placa superior aquecida. Para o seu desenvolvimento será utilizada uma geometria simplificada representando o armazenador como um trapézioide. Todas as superfícies serão consideradas isoladas exceto a da face superior inclinada trapézio, sujeita a uma condição de temperatura elevada. Um esquema deste dispositivo e as condições de contorno pode ser visto na Fig. (1).

2. Metodologia

A solução do problema de convecção natural na geometria proposta depende da solução das equações de Navier-Stokes, associadas à equação da Energia. Desprezando-se os termos relativos a dissipação viscosa e que envolveriam direção z , as equações na sua forma adimensional são dadas por:

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} + U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + Pr \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) + Ra Pr \theta \frac{\vec{g}_i \cdot \vec{i}}{\|g\|} \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} + U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + Pr \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + Ra Pr \theta \frac{\vec{g}_j \cdot \vec{j}}{\|g\|} \quad (3)$$

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} \right) = \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) \quad (4)$$

e as expressões que representam os adimensionais são dadas por:

$$X = \frac{x}{H}; \quad Y = \frac{y}{H}; \quad U = \frac{uH}{\alpha}; \quad V = \frac{vH}{\alpha}; \quad P = \frac{p}{\rho} \left(\frac{H}{\alpha} \right)^2; \\ \theta = \frac{T - T_f}{T_s - T_\infty}; \quad Pr = \frac{\nu}{\alpha}; \quad \tau = Fo = \frac{\alpha t}{H^2}; \quad Ra = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) H^3}{\nu^2} Pr \quad (5)$$

Estas equações são resolvidas de acordo com as condições apresentadas para cada uma das superfícies mostradas na Fig. (1). Para tanto, basta também expressar as condições de contorno em termos das variáveis adimensionais.

Feito isto, a solução do problema é obtida através do uso do método dos elementos finitos com uma discretização por Galerkin e o sistema de equações diferenciais resultante, resolvidos de forma iterativa e acoplada. O método de acoplamento das equações é feito através de uma malha em que os pontos de pressão e velocidade são co-localizados num procedimento similar ao proposto por Rice and Schnipke, 1985. Nesta metodologia, são resolvidos numa primeira etapa as equações da quantidade de movimento nas direções X e Y e da energia, devidamente discretizadas na forma da equação geral de transporte:

$$\frac{1}{\Delta\tau} [M]\{U\}^{m+1} + ([C] + Pr[K])\{U\}^{m+\gamma} = \frac{1}{\Delta\tau} [M]\{U\}^m + \{S_X\} - [M] \frac{\partial P}{\partial X} + Pr \int_{\Gamma} N_i \frac{\partial U}{\partial n} d\Gamma \quad (6)$$

$$\frac{1}{\Delta\tau} [M]\{V\}^{m+1} + ([C] + Pr[K])\{V\}^{m+\gamma} = \frac{1}{\Delta\tau} [M]\{V\}^m + \{S_Y\} - [M] \frac{\partial P}{\partial Y} + Pr \int_{\Gamma} N_i \frac{\partial V}{\partial n} d\Gamma \quad (7)$$

$$\left(\frac{1}{\Delta\tau} [M] + [C] + [K] \right) \{\theta\}^{m+1} = \frac{1}{\Delta\tau} [M] \{\theta\}^m \quad (8)$$

e onde os valores das matrizes elementares, obtidos da discretização da equação, são representados por:

$$\begin{aligned} M_{i,i} &= \int_{\Omega} N_i d\Omega \\ [C] &= \int_{\Omega} \left(N_k u_k N_i \frac{\partial N_j}{\partial x} + N_k v_k N_i \frac{\partial N_j}{\partial y} \right) d\Omega \\ [K] &= \int_{\Omega} \left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right) d\Omega \\ \{S\} &= [M] \{S_p\} \end{aligned}$$

A equação para a obtenção do campo de pressão é baseada na equação da continuidade, e resulta em um sistema do tipo:

$$[\bar{A}_p], \{P\} = \{B_p\} \quad (9)$$

e os termos das matrizes seriam dados por:

$$\begin{aligned} [\bar{A}_p] &= \int_{\Omega} \left(\frac{\partial N_i}{\partial X} \frac{\partial N_j}{\partial X} + \frac{\partial N_i}{\partial Y} \frac{\partial N_j}{\partial Y} \right) N_l, K_{p,l} d\Omega \\ \{B_p\} &= \int_{\Omega} \frac{\partial N_i}{\partial X} N_j, (\hat{U}_j + S_j^{p,X}) d\Omega + \int_{\Omega} \frac{\partial N_i}{\partial Y} N_j, (\hat{V}_j + S_j^{p,Y}) d\Omega - \int_{\Gamma} N_i \vec{U}_n d\Gamma \end{aligned}$$

Os valores de \hat{U} e \hat{V} e K_p e termo fonte modificado $S^{p,z}$ também podem ser obtidos do sistema envolvendo as quantidades de movimento nas direções X e Y , na forma:

$$\hat{U}_i = -\frac{\sum_{j \neq i} a_{i,j} U_j}{a_{i,i}}; \quad \hat{V}_i = -\frac{\sum_{j \neq i} a_{i,j} V_j}{a_{i,i}}; \quad K_{p,i} = \frac{b_i}{a_{i,i}}; \quad S_i^{p,z} = \frac{s_i^{p,z}}{a_{i,i}} \quad (10)$$

Obtido o campo de pressões pode-se corrigir o valor das velocidades através da seguinte equação de correção:

$$U_i = \hat{U}_i + S_i^{p,X} - [P_X] \frac{P_{i,j}}{a_{i,i}} \quad (11)$$

$$V_i = \hat{V}_i + S_i^{p,Y} - [P_Y] \frac{P_{i,j}}{a_{i,i}} \quad (12)$$

e as matrizes dos termos de correção de pressão podem ser calculadas na forma:

$$[P_z] = \int_{\Omega} N_i \frac{\partial N_j}{\partial z} d\Omega \quad (13)$$

Este procedimento é iterativo e somente é finalizado, para um determinado instante de tempo, quando os campos de pressão, velocidade e temperatura oscilam dentro de uma faixa de tolerância pré-estabelecida. Maiores detalhes do procedimento de obtenção das matrizes elementares e de solução podem ser vistos em Rice and Schnipke, 1985 e Scalon, 1998.

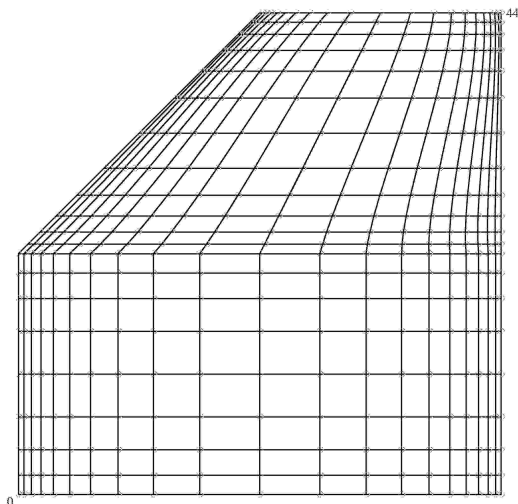


Figura 2: Malha com refinamento localizado utilizada na solução da geometria proposta

Como se trata de uma geometria relativamente complexa foi elaborado um gerador de malhas baseando-se nos princípios de superelementos e transformação por mapeamento transfinito. Este procedimento permite a discretização do domínio apresentado e, inclusive, a utilização de regiões com diferentes níveis de refinamento da malha. A Figura (2) apresenta o esquema de uma malha gerada através deste procedimento e, através dela, é possível verificar o refinamento utilizado na solução destes problemas, inclusive, com a malha mais refinada nas proximidades das superfícies.

3. Resultados e Discussão

Com base no procedimento apresentado foi feita uma avaliação do comportamento da geometria trapezoidal em diversas situações e para diferentes valores do número de Rayleigh na faixa do regime laminar. Entretanto, antes do estudo que efetivamente analise a geometria proposta, uma verificação utilizando a comparação com os resultados de Vahl Davis, 1983 para uma geometria quadrada, foi realizada. Neste caso, a comparação de resultados foi voltada fundamentalmente para a avaliação do valor do número de Nusselt local na superfície aquecida e a influência que os esquemas de alta ordem tem sobre o valor da derivada na superfície.

Para este estudo comparativo deve-se observar, antes de mais nada, que o comportamento do Nusselt nas superfícies opostas é anti-simétrico. Maiores detalhes sobre este comportamento podem ainda ser obtidos da literatura, como em Ismail and Scalon, 2000. A Figura (3) apresenta o comportamento dos números de Nusselt em diferentes malhas e níveis

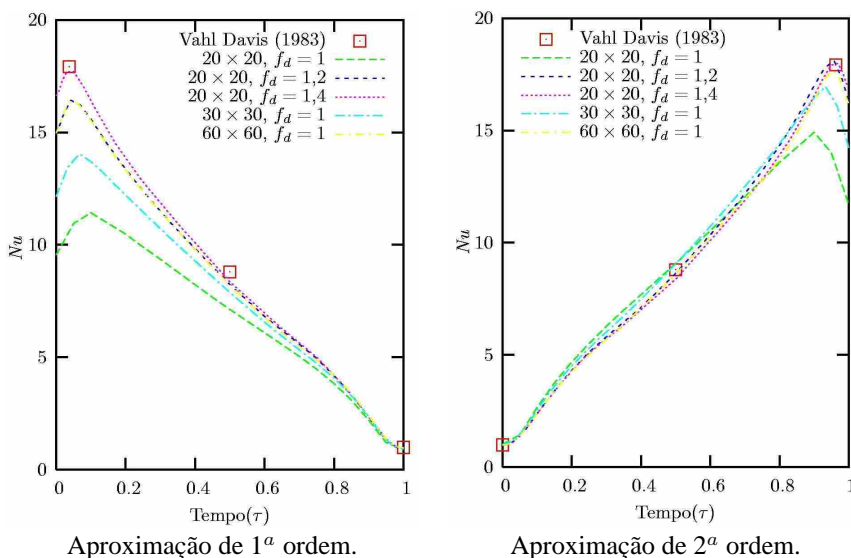


Figura 3: Esquemas de diferentes ordens para avaliação do Número de Nusselt

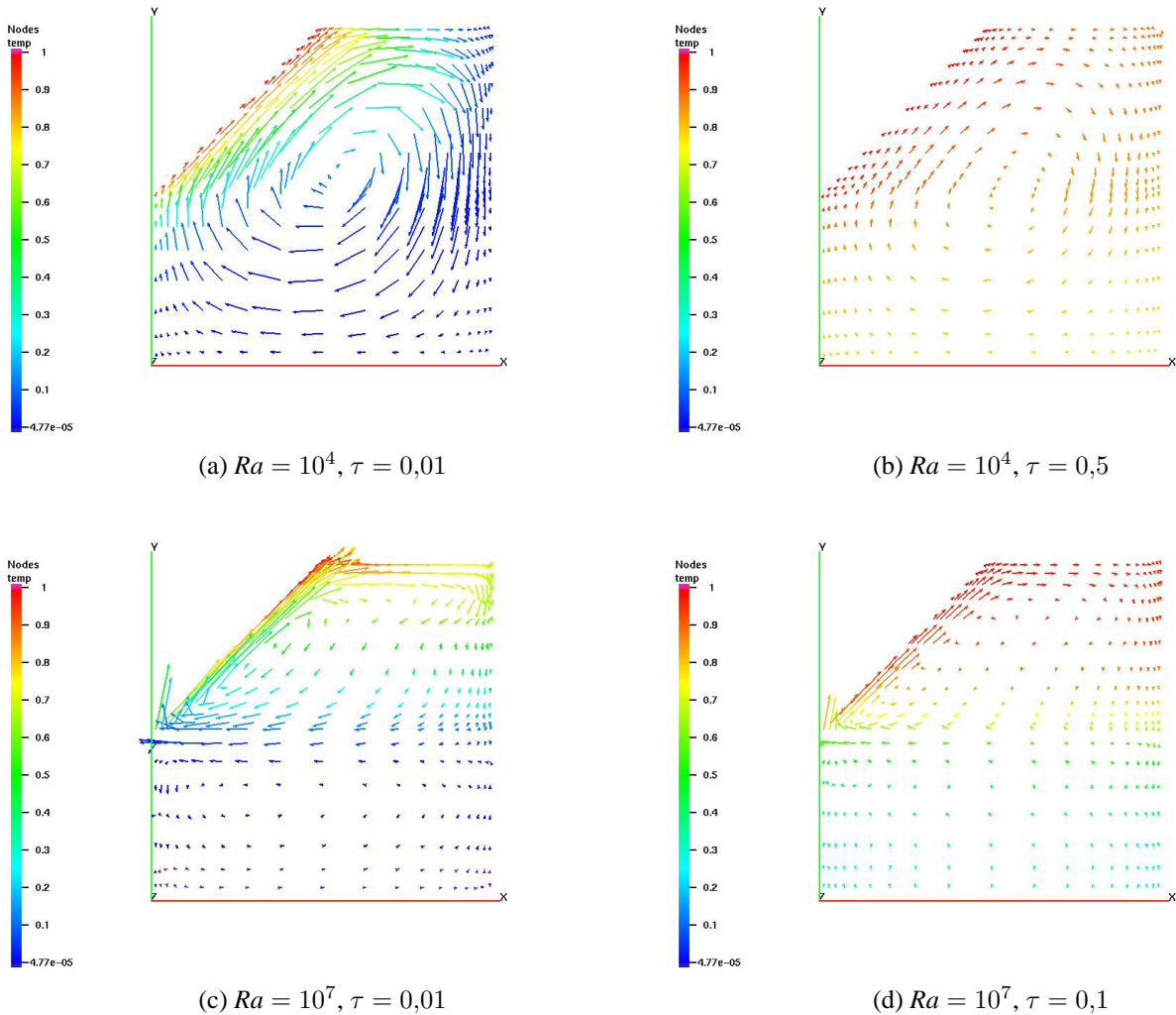


Figura 4: Comportamento das isothermas e campo de velocidades para alguns tempos e diferentes Ra

de aproximação. Uma análise desta figura mostra aspectos importantes que serão levados em consideração na simulação do problema proposto. Em primeiro lugar, deve se enfatizar que com elementos lineares, como os utilizados, é impossível fazer uma aproximação de segunda ordem. Desta forma, os valores deste tipo apresentados nos gráficos foram obtidos através de expressões usuais de segunda ordem em diferenças finitas para malhas irregulares. Entretanto, quando a malha é não ortogonal, a utilização deste procedimento torn-se significativamente complexo.

A análise dos resultados apresentados mostra, entretanto, que apesar dos esquemas de segunda ordem apresentarem uma melhora sensível em relação aos esquemas de primeira ordem, as técnicas de deformação seletiva de malhas nas proximidades das paredes são uma forma alternativa eficiente para contornar o problema. Esta deformação na superfície é representada na legenda da figura pelo valor de f_x e, quanto maior o seu valor (em relação à unidade) maior é a diferença entre tamanho do elemento e seu vizinho. Nota-se que na Fig. (3) que os resultados de primeira e segunda ordem praticamente convergem para solução com a utilização de maiores fatores de deformação da malha nas proximidades da superfície, comparando-se com a solução apresentada por Vahl Davis, 1983.

Estes resultados agora permitem avaliar o comportamento do perfil de escoamentos na geometria usual dos sistemas integrados de captação de energia solar considerando o fluido de trabalho com propriedades similares à da água ($Pr = 3,5$). Em todos os casos serão utilizadas malhas deformadas nas proximidades da superfície, em função do já exposto anteriormente. Um primeiro fator e que, certamente, tem forte influência no comportamento da convecção natural no interior do sistema é o valor do número de Rayleigh. Este parâmetro está diretamente relacionado à intensidade do processo de troca de calor na superfície quente. Foram estudados os valores de Rayleigh de $10^3, 10^4, 10^5, 10^6$ e 10^7 para um tanque com forma $L/H = 1$ e para um ângulo de 45° de inclinação da placa quente. Alguns resultados relativos à forma do escoamento, mostrando vetores de velocidade e temperaturas dos pontos podem ser vistos na Fig. (4).

Com base nestes resultados alguns aspectos interessantes podem ser analisados, inclusive, no que se refere à evolução

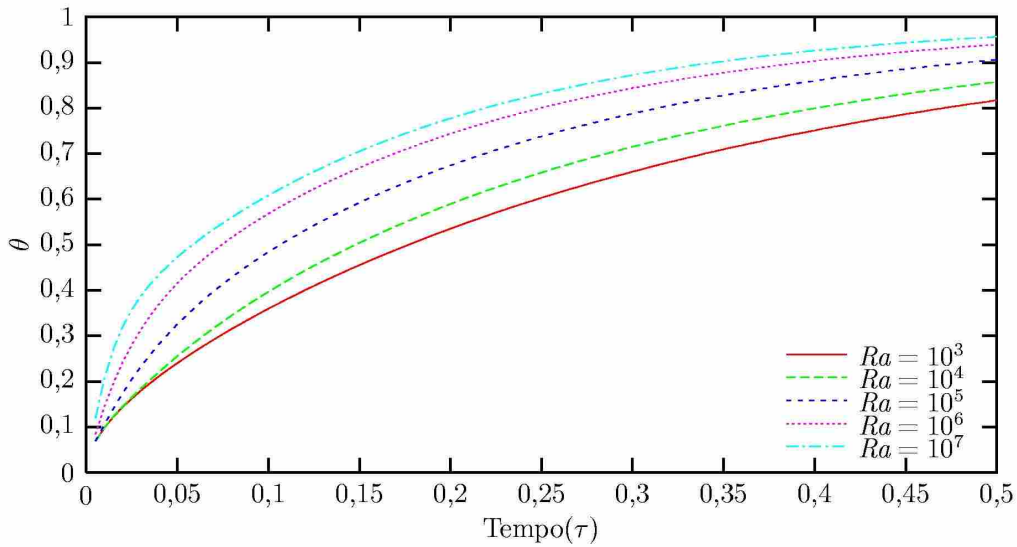
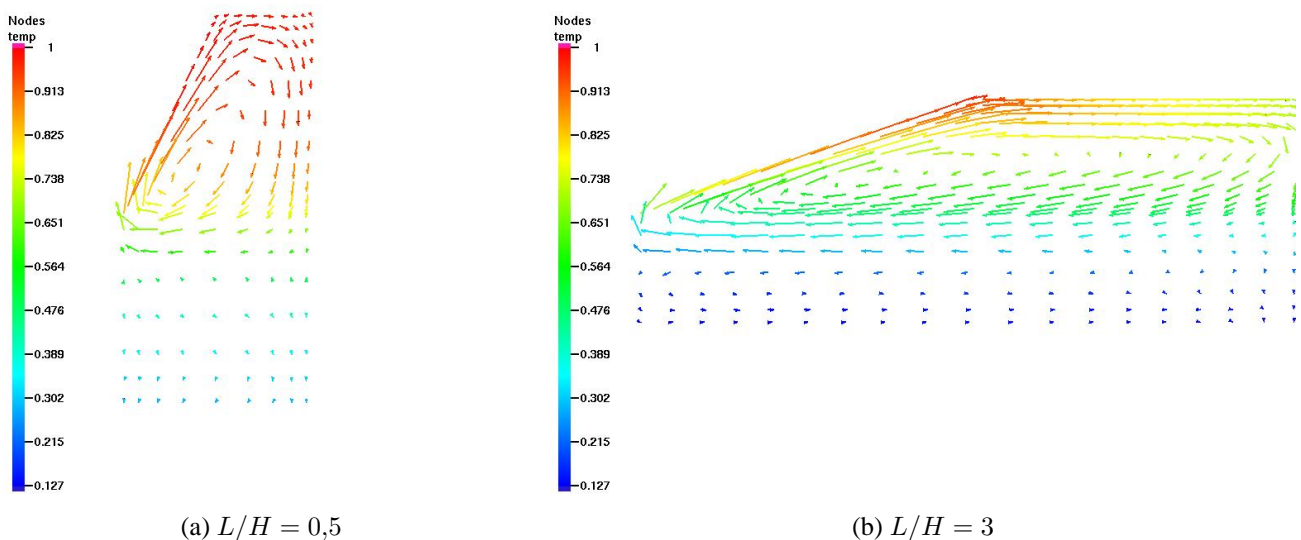


Figura 5: Valores para a temperatura de mistura em função do tempo para diversos números de Rayleigh

do escoamento em função do tempo. Através destes gráficos, é possível notar que o escoamento mais intenso fica restrito à parcela superior da geometria e nas proximidades da placa aquecida, principalmente, para os maiores valores de número de Rayleigh. No caso de menores valores do número de Rayleigh, o escoamento se difunde ao longo de todo o domínio e, por conta disto, estes são menos eficientes no que tange à sua capacidade de manutenção da estratificação térmica. Uma análise dos gráficos da Fig. (4) mostra também que em maiores valores do número de Rayleigh, o tempo necessário para o carga completa do tanque, e no qual a circulação natural existe, é menor. Este resultado pode ainda ser comprovado, para os diversos valores de número de Rayleigh, através da Fig. (5), que mostra a evolução da temperatura de mistura com o tempo. Este gráfico apenas confirma as considerações já feitas anteriormente para todos os valores do número de Rayleigh.

Outro aspecto importante a ser levado em consideração neste tipo de dispositivo é a sua razão de aspecto. As relações de aspecto para $L/H = 0,5, 2$ e 3 foram avaliadas e o comportamento dos perfis de velocidade e temperatura podem ser vistos na Fig. (6). A análise dos perfis de velocidade permite verificar que, para depois de decorrido um determinado tempo ($\tau = 0,6$), o escoamento para o caso de menor razão de aspecto está menos intenso. Este fato pode ser decorrência tanto de uma menor intensidade, característica desta geometria, como devido à uma natural diminuição da intensidade do



(a) $L/H = 0,5$

(b) $L/H = 3$

Figura 6: Comportamento dos isoterma e campos de velocidade em no tempo $\tau = 0,1$ para algumas relações de aspecto da cavidade

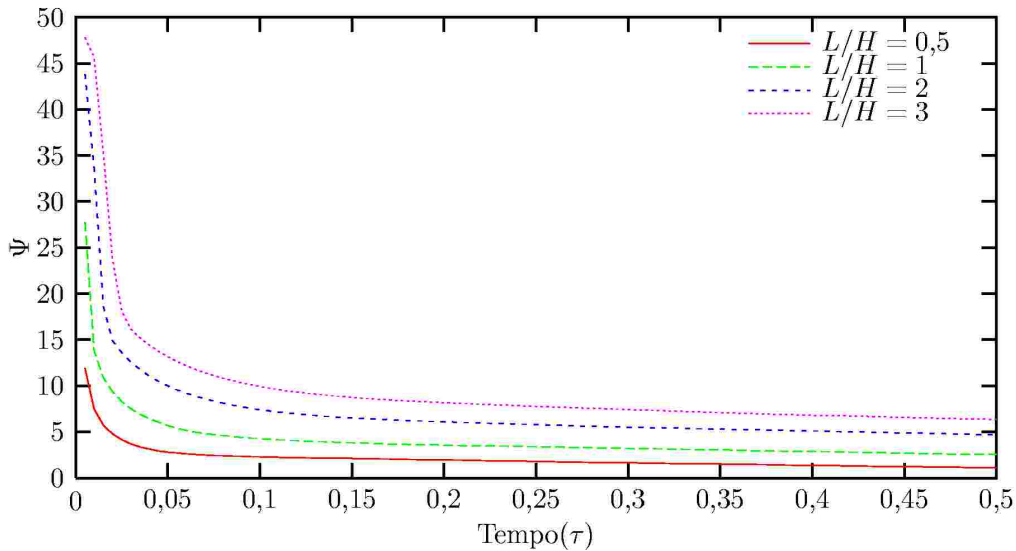


Figura 7: Valores máximos a função corrente Ψ em função do tempo para diversas relações de aspecto da cavidade

escoamento com processo de carga do tanque.

Desta forma, uma conclusão mais objetiva sobre este aspecto só é possível acompanhando-se a evolução do escoamento e verificando-se o seu comportamento. Para acompanhar este desenvolvimento está apresentado na Fig. (7) a evolução do Ψ_{\max} , em função do tempo. As curvas apresentadas na Fig. (7) mostram que o escoamento é realmente mais intenso para maiores razões de aspecto, uma vez que possui maiores valores de ψ_{\max} nestes casos. O comportamento da função corrente com o tempo apenas confirma a sua característica de diminuição de intensidade a medida que o carregamento do tanque vai se dando. Nota-se, a partir desta análise que os tanques maiores, por possuírem maior volume de água e, conseqüentemente, maior tempo de carregamento, também apresentam um maior tempo necessário para ocorra a diminuição de sua intensidade.

Além destas afirmações já analisadas, pode-se também avaliar a influência da razão de aspecto do dispositivo sobre o seu carregamento térmico. Neste caso, pode-se retomar a Fig. (6), onde nota-se que para os valores limites apresentados a estratificação térmica sofre pequena influência da razão de aspecto, se apresentando de maneira adequada nos dois casos apresentados. Nota-se entretanto, que a região térmica afetada difere bastante entre os dois casos.

No entanto, este aspecto pode ser melhor abordado utilizando-se o gráfico que mostra a evolução da temperatura de mistura em função do tempo, como mostrado na Fig. (8). Através deste resultado é possível verificar claramente a elevação mais rápida da temperatura de mistura nos casos em que a razão de aspecto é menor. Cabe ressaltar, entretanto,

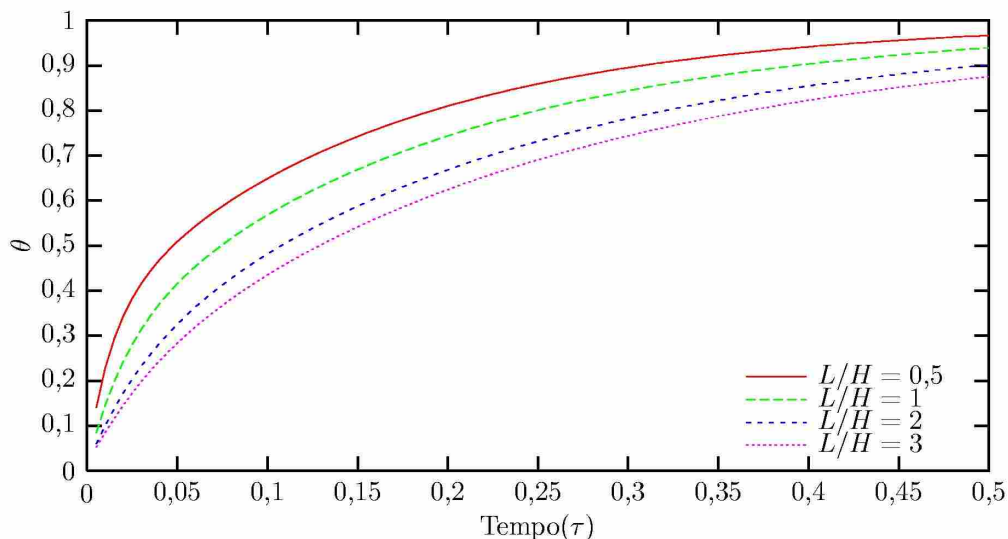


Figura 8: Valores para a temperatura de mistura em função do tempo para diversas razões de aspecto da cavidade

que neste caso os tanques possuem diferentes volumes de água e, conseqüentemente, analisando-se o problema pela ótica da quantidade de energia armazenada, certamente os dispositivos que apresentam maior razão de aspecto seriam mais eficientes.

4. Conclusões

Com base nestes resultados é possível verificar que a presença do canal direcionador de fluxo, paralelo à placa quente, poderia ser dispensado, sem grande prejuízo, nos sistemas domésticos de água quente integrados. Esta conclusão se justifica pelo bom nível de estratificação térmica apresentado nos casos associados a elevados valores de número de Rayleigh, típicos deste tipo de dispositivos. Entretanto, não pode se deixar de enfatizar que, se esta for a opção, deve-se prevenir de alguma maneira a possibilidade de ocorrência da circulação reversa no período noturno.

Com relação à razão de aspecto, notou-se que ele não apresentou significativa alteração da estratificação térmica em função das relações de aspecto estudadas. Nestes casos notou-se que o aquecimento total ocorre mais rapidamente nos sistemas de razão de aspecto menores mas, em contrapartida, a quantidade total de energia armazenada é maior naqueles que tem maiores razões de aspecto. Neste caso, pode-se dizer que a forma adequada irá depender, fundamentalmente, do comportamento desejado para o dispositivo.

Finalmente o modelo numérico elaborado e o procedimento adotado se mostraram adequados para a proposta e, a partir disto, uma série de outras considerações físicas e geométricas podem ser analisadas para o projeto de um dispositivo integrado verdadeiramente otimizado.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao auxílio financeiro obtido através do processo 02/11109-9 junto à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, e que muito auxiliou no desenvolvimento do mesmo.

6. Referências

- Chaurasia, P. and Twidell, J., 2001, Collector cum storage solar water heaters with and without transparent insulation material, "Solar Energy", Vol. 70, No. 5, pp. 403–416.
- Cruz, J. M. S., 2002, Thermal performance of trapezoidal-shaped solar collector/energy store, "Applied Energy", Vol. 73, pp. 195–212.
- Faiman, D., Hazan, H., and Laufer, I., 2001, Reducing the Heat Loss at Night From Solar Water Heaters of the Integrated Collector-Storage Variety, "Solar Energy", Vol. 71, No. 2, pp. 87–93.
- Ismail, K. A. R. and Scalon, V. L., 2000, A finite element free convection model for the side wall heated cavity, "Int. J. of Heat and Mass Transfer", Vol. 43, No. 8, pp. 1373–1389.
- Kaptan, I. N. and Kilic, A., 1996, A theoretical and experimental investigation of a novel built-in-storage solar water heater, "Solar Energy", Vol. 57, No. 5, pp. 393–400.
- Mohamad, A. A., 1997, Integrated Solar Collector-Storage Tank System With Thermal Diode, "Solar Energy", Vol. 61, No. 3, pp. 211–218.
- Rice, J. and Schnipke, R., 1985, A Monotone Streamline Upwind Finite Elements Method for Convection-Dominated Flows, "Comp. Meth. Applied Mechanical Eng.", Vol. 48, pp. 313–327.
- Scalon, V. L., 1998, "Estudo de mudança de fase em geometria plana aletada incluindo os efeitos convectivos", PhD thesis, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- Smyth, M., Eames, P., and Norton, B., 1999, A comparative performance rating for an integrated solar collector/storage vessel with inner sleeves to increase heat retention, "Solar Energy", Vol. 66, No. 4, pp. 291–303.
- Tripanagnostopoulos, Y. and Souliotis, M., 2004, Integrated collector storage solar systems with asymmetric CPC reflectors, "Renewable Energy", Vol. 29, No. 2, pp. 223–248.
- Vahl Davis, G., 1983, Natural convection of air in a square cavity: a bench mark numerical solution, "Int. J. for Numer. Meth. in Fluids", Vol. 3, pp. 249–264.

NUMERICAL STUDY OF FREE CONVECTION IN INTEGRATED COLLECTOR-STORAGE TYPICAL GEOMETRIES

Rafael Pavan Bagagli

Cocam Cia de Café Solúvel e Derivados - Catanduva (SP)
Rafael@cocam.com.br

Vicente Luiz Scalon

UNESP/FEB/DEM - Av Luiz E.C. Coube, s/n, C.P. 476, CEP 17033-360 Bauru (SP)
scalon@feb.unesp.br

Alcides Padilha

UNESP/FEB/DEM - Av Luiz E.C. Coube, s/n, C.P. 476, CEP 17033-360 Bauru (SP)
padilha@feb.unesp.br

Abstract. *The recent energy crisis brings to the world population the consience of rational consupcion energy is needing. Several works with renewable energy, that was abandoned for several years since the last energy crisis occurred at the beginning of 70's, are rising again. By the way, the Solar Domestic Hot Water Systems (SDHWS) are already yet the better device for solar energy use. However, this kind of device are very complex and it has several pipes and accessories between the heat storage tank and the solar collector that became it more expensive. An alternative for this problem is the use of the Integrated Collector Storage devices(ICS). In this work, a natural convection that are developed in the most common geomety of the integrated device are analysed and discussed. A hot wall flat plate is considered in the device upper region for developing the natural convection .*

Keywords . *Thermal Storage, Solar energy, Solar Collector, Integrated Solar Colector - ICS*