

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE COLETORES SOLARES TUBULARES A VÁCUO OPERANDO EM TRANSFERÊNCIA DIRETA

Rejane De César Oliveski – decesaroo@gmail.com

Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Arno Krenzinger – arno.krenzinger@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Energia Solar

Lucas Lopes de Morin Oliveira – lucaslopesdemorimoliveira@yahoo.com.br

Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Resumo. *Em sistemas de aquecimento de líquidos por energia solar, coletores utilizando tubos evacuados apresentam atualmente melhor desempenho do que coletores planos para a operação de alta temperatura. Isto por causa da perda reduzida de convecção de calor devido ao envelope de vácuo em torno da superfície externa. Os coletores solares com tubo a vácuo são uma novidade no Brasil, além disso, sua utilização em escala comercial tem menos de 10 anos e ainda há muitas questões a serem respondidas sobre sua utilização e eficiência. Assim, através de uma colaboração entre o NETE (Núcleo de Estudos Térmicos e Energéticos) da UNISINOS e o LABSOL (Laboratório de Energia Solar) da UFRGS, foi iniciado um programa de estudos para buscar a melhor compreensão da operação destes equipamentos. A metodologia empregada consiste em simulação numérica por CFD (Computer Fluid Dynamics) e validação desta com resultados numéricos, disponíveis na literatura, e experimentais. Os resultados de campos de velocidade e temperatura média indicam que a metodologia utilizada é bastante adequada.*

Palavras-chave: Energia Solar, Tubo a Vácuo, CFD.

1. INTRODUÇÃO

Os coletores solares tubulares isolados com vácuo vêm aumentando seu lugar no mercado mundial de forma impressionante. Embora a primeira proposta de utilização tenha ocorrido na década de sessenta, através de Speyer (1965), há pouco mais de uma década eles são produzidos em escala comercial. No Brasil ainda são novidade, pois o frio nas regiões de menor latitude é bastante ameno, e os coletores solares de placa plana ainda satisfazem as necessidades nestas regiões.

Os coletores planos convencionais ainda são mais baratos do que os coletores solares a vácuo, mas o custo do a vácuo vem diminuindo bastante. Justamente devido a esta aproximação de custo é que se torna importante estudar detalhadamente a operação dos diferentes tipos de coletor e definir com segurança qual a melhor configuração para cada aplicação em função do clima do local onde ocorre a demanda. Além disso, segundo Zambolin e Del Coll (2010), coletores evacuados apresentam maior eficiência para uma maior gama de condições de funcionamento, em comparação com o coletor de placa plana.

Os coletores solares tubulares isolados com vácuo podem operar basicamente com 4 configurações. O que é comum nestas 4 configurações é o absorvedor instalado em um filme de superfície seletiva depositado na superfície externa do tubo de vidro interno, como pode ser observado na Fig. 1. Neste caso, quando os coletores são expostos ao sol, o primeiro elemento a aquecer é o vidro do tubo interno, onde o absorvedor está depositado. A diferenciação entre as configurações ocorre pela forma como esta energia é transferida à água no momento seguinte.

Das duas configurações mantêm o interior dos tubos de vidro seco, em contato com uma chapa metálica, a qual aquece por condução e repassa a energia a tubos soldados à mesma. Esta chapa metálica será designada como aleta neste texto. Destas duas configurações, uma tem a aleta conectada a um tubo de calor que transfere energia térmica por mudança de fase até um condensador, o qual se conecta com um trocador de calor para aquecer a água que circula no tubo cabeçote. A segunda tem a aleta conectada a um tubo metálico em forma de "U", com descida e retorno de água dentro de cada tubo de vidro.

As outras duas configurações utilizam o próprio tubo interno de vidro para ceder calor à água. A terceira possibilidade de configuração de coletor solar tubular apresenta um outro tubo dentro do tubo de vidro interno. A água desce por este tubo e retorna pelo espaço entre este último tubo e o tubo de vidro interno. Mas a configuração que tem encontrado maior difusão no Brasil é simplesmente o coletor tubular preenchido diretamente com água (water-in-glass). Neste caso, o tubo de vidro interno fica cheio de água e a transferência de calor é realizada pelo contato direto do fluido nas paredes do tubo de vidro. Independentemente de haver ou não uma bomba que aciona a água através do tubo cabeçote, a circulação da água dentro dos tubos de vidro nesta última configuração ocorre devido ao efeito termossifão, o qual se processa pela diferença de temperatura causada pela absorção solar na superfície seletiva.

A Fig. 1 mostra um desenho esquemático de um conjunto tubo de vácuo conectado ao tubo acumulador. Nesta figura identificam-se escoamentos principais escoamentos dentro do tubo, os quais são identificados através das

flechas. Com o aquecimento do fluido pela radiação solar incidente para parte superior do tudo, ocorre uma diminuição da massa específica da água, provocando o efeito termossifão, com deslocamento de massa menos densa para o interior do tubo acumulador (tanque horizontal) e consequente deslocamento de massa mais densa do tubo acumulador para dentro do tubo de vácuo.

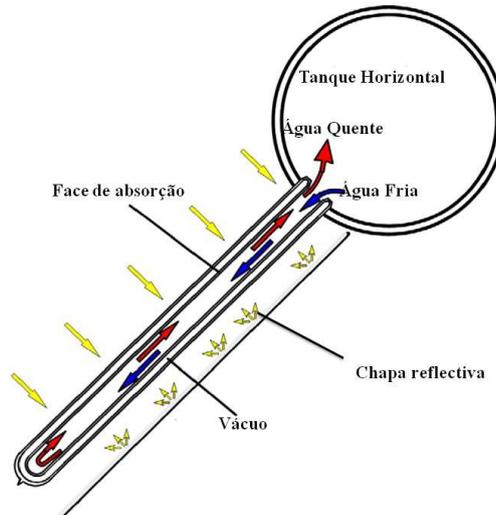


Figura 1 - Tubo evacuado. Adaptado de Budihardjo *et al.* (2007).

Usualmente os equipamentos incluem arranjos compostos com aproximadamente 20 tubos evacuados, com ligação direta a um tanque de armazenamento. Investigações utilizando simulações CFD indicam que a transferência de calor em cada tubo não é significativamente influenciada pelo que acontece em tubos adjacentes. Este modelo simplificado reduz o tempo de simulação, no entanto, mesmo modelando uma secção de um sistema de tubo e tanque requer elevado tempo de simulação, tomando elevada capacidade computacional e não sendo adequado para estudos paramétricos (Budihardjo *et al.*, 2007).

O posicionamento inclinado destes tubos na sua utilização faz com que ocorra um escoamento complexo da água no interior do tubo, o que não pode ser analisado corretamente por meio de simulações numéricas uni ou bidimensionais, fazendo-se necessário o uso de modelos tridimensionais acoplados. Com este tipo de abordagem, numérica tridimensional e por CFD, pode-se citar os trabalhos de Morrison *et al.* (2005) e Budihardjo *et al.* (2007). Estes autores abordaram o problema de forma experimental e numérica tridimensional utilizando o software comercial Fluent. Além de análises sobre condições térmicas e dinâmicas, estes autores apresentaram uma correlação para o processo de convecção natural em um tubo evacuado, sendo a correlação de Budihardjo *et al.* (2007) bem mais ampla do que a de Morrison *et al.* (2005). Tanto um quanto outro trabalho foram baseados em tubos evacuados do tipo mostrado na Fig. 2.

As Figs. 2a-b mostram, respectivamente, a secção longitudinal e transversal do tubo evacuado utilizado neste trabalho. Nelas estão indicados seus principais elementos, os quais são: tubo externo, tubo interno, localização da superfície absorvedora e espaço evacuado.

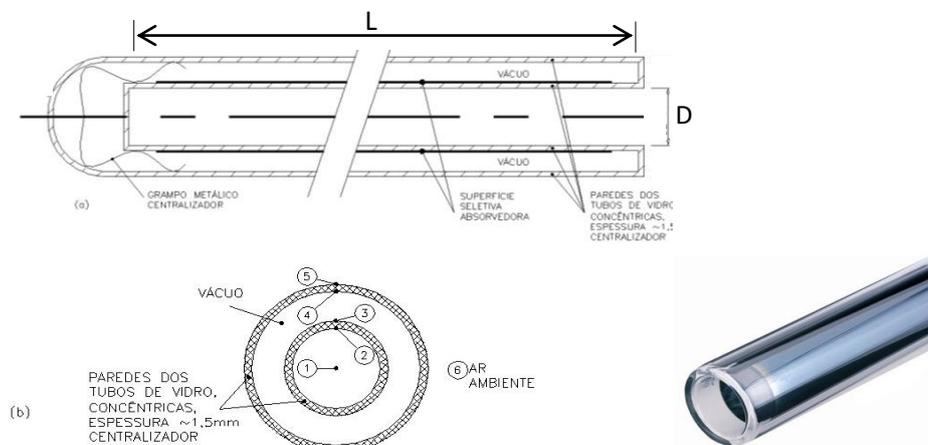


Figura 2 - Tubo coletor solar isolado a vácuo (a) Vista lateral; (b) Corte transversal.

FONTE: Manea *et al.* (2010).

Sendo uma configuração mais barata e bastante eficiente, é natural que esta configuração seja muito usada, mas é interessante conhecer seu comportamento com maior profundidade. Assim, através de uma colaboração entre o NETE (Núcleo de Estudos Térmicos e Energéticos) da UNISINOS e o LABSOL (Laboratório de Energia Solar) da UFRGS, foi iniciado um programa de estudos para buscar a melhor compreensão da operação destes equipamentos.

2. OBJETO DE ANÁLISE

Para ter uma validação inicial aos resultados numéricos, trabalhos de dois autores foram considerados: Budihardjo *et al.* (2007) e Manea *et al.* (2010). Os casos abordados pelos primeiros e segundos autores serão chamados neste trabalho de Tubo Aberto e Tubo Fechado, respectivamente, e serão descritos na sequência. Para efeito de simulação numérica, em ambos os casos, apenas o volume ocupado pela água no tubo interno foi considerado como domínio de cálculo.

2.1 Tubo Aberto

Neste caso o tubo coletor, de comprimento $L=1420$ mm e diâmetro $D = 34$ mm, é conectado ao tubo coletor. Assim, pelas condições físicas descritas no item anterior, a água entra e sai livremente pela superfície aberta do tubo. Budihardjo *et al.* (2007) realizaram simulações numérica com diferentes distribuições e intensidades de fluxo de calor incidentes na superfície radial. Para fins de validação numérica, apenas duas configurações térmicas serão apresentadas/comparadas neste trabalho, os quais são: (a) potência de 75 W distribuída uniformemente na metade superior do tubo e considerando a metade inferior como adiabática; (b) intensidade de radiação variável em toda superfície do tubo, cuja função é apresentada na Fig. 3.

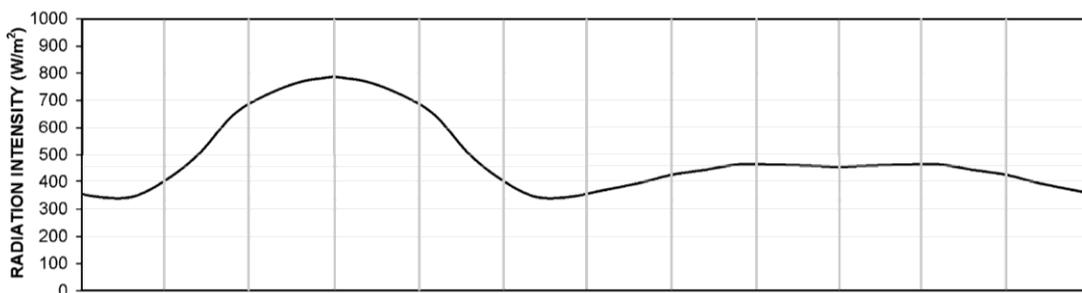


Figura 3 - Distribuição da radiação sobre um tubo evacuado.
Adaptado de Cabanillas *et al.* (1995).

2.2 Tubo Fechado

Nesse trabalho o tubo coletor solar, de comprimento $L= 1775$ mm e diâmetro $D=44$ mm, foi preenchido com 2.7 kg de água a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ e logo depois foi fechado e exposto ao sol, sendo mantido nesta condição durante 600s. Imediatamente após esta exposição, a água foi misturada e sua temperatura média determinada.

A irradiância solar direta foi medida através de um pireliômetro modelo NIP da marca Eppley e a irradiância solar global foi medida com um piranômetro modelo CM11 da marca Kipp&Zonen, sendo as temperatura medidas com sensores PT100 com ligação a 4 fios e previamente calibrados.

Na ocasião, este experimento foi utilizado para comprovar que o produto entre a transmitância do vidro e a absorptância do absorvedor seletivo corresponde ao valor de 0,78. O tubo, exposto a uma irradiância solar direta de 455 W/m^2 e a uma irradiância difusa de 280 W/m^2 , fez com que a água aquecesse $2,7^{\circ}\text{C}$ em 6 minutos.

3. METODOLOGIA

A proposta deste trabalho é simular numericamente escoamentos em tubos de vácuo enquanto estes recebem energia na forma de calor através do topo e da lateral dos mesmas. O estudo é realizado em tubos circulares, inclinados 45° com o eixo horizontal e o fluido de trabalho é água.

3.1 Modelo Matemático

Para simular o processo de convecção natural no interior de tubos evacuados, é considerado que o fluido de trabalho é incompressível, o regime de escoamento é laminar e que as propriedades da água são mantidas constantes. Sendo assim, o modelo matemático consiste das equações da conservação da massa (1), Navier-Stokes (2-4) e energia (5), conforme apresentado na sequência.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \rho g \quad (3)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

$$\rho c p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \kappa \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

onde u , v e w são as componentes de velocidades nas direções x , y e z , respectivamente, ρ a massa específica, μ a viscosidade dinâmica, κ a condutividade térmica, p a pressão, cp o calor específico e T a temperatura.

As simulações foram realizadas com o software comercial CFX-12, onde as equações diferenciais (1-5) são discretizadas e resolvidas numericamente para cada ponto do domínio computacional.

A malha utilizada é do tipo hexaédrica e foi refinada junto à superfície lateral e também nas extremidades do tubo, regiões estas que, claramente, exigem refinamento por apresentarem ali os maiores gradientes térmicos e dinâmicos do sistema. Conforme pode ser observado na Fig. 1, o problema estudado apresenta uma região de cisalhamento no centro do domínio, decorrente da recirculação do fluido. Além disso, o problema é tipicamente tridimensional e possui a atuação da gravidade. Estas características fazem com que a posição do cisalhamento, decorrente do escoamento em contra-corrente, seja variável. Desta forma, além da necessidade de refinamento em todo contorno do domínio, impostas pelas condições de contorno, o problema físico exige que a malha seja refinada na região central. A Fig. 3 mostra a malha computacional utilizada, onde é possível identificar os diferentes tipos de refinamento que foram citados.

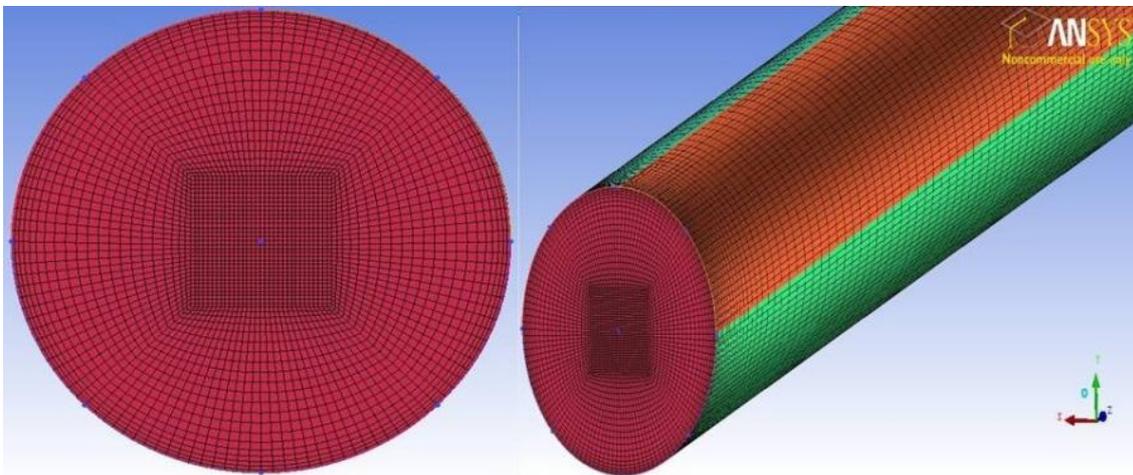


Figura 3 - Malha computacional.

2.2 Condições de Contorno, Iniciais e de Operação

A condição de contorno de não deslizamento foi utilizada em todas as paredes dos tubos. Como condição inicial utilizou-se campos uniformes de temperatura e velocidade, sendo esta igual à zero em ambos.

2.2.1 Tubo Fechado

A simulação numérica foi realizada em regime transiente, com intervalo de tempo de 2 s e campo inicial de temperatura uniforme de 18 °C. O tempo físico total de simulação foi de 600 s. Como condição de contorno do problema térmico, foi utilizada a condição de fluxo de calor uniforme na calha superior do tubo, equivalente a 412 W/m². A calha inferior foi considerada adiabática, assim como as extremidades inferior e superior.

2.2.2 Tubo Aberto

O tubo aberto foi simulado na condição de regime permanente e foi considerado um campo temperatura inicial de 300 K.

Na extremidade superior (seção transversal aberta), é assumida com condição de contorno hidrodinâmica de pressão constante, com entrada e saída livre de quantidades de massa pela mesma superfície. A temperatura da massa que entra no tubo é fixada em 300 K, enquanto que a temperatura de saída é desconhecida a priori, variando de acordo com as condições de operação.

Para o problema térmico são utilizadas diferentes condições de contorno para os dois casos estudados. Em um é mantido um fluxo de calor uniforme, igual a 989 W/m², na metade superior da superfície lateral, enquanto a metade inferior e a extremidade fechada são consideradas adiabáticas. No outro caso foi utilizada a condição de contorno adiabática para o extremo fechado e de fluxo de calor variável em todo o perímetro do tubo. A função de distribuição da radiação solar implementada como condição de contorno é mostrada na Fig. 3.

4. RESULTADOS

Em um primeiro momento, pretende-se validar a metodologia empregada através de comparação quantitativa e qualitativa. Assim, neste item são apresentados os resultados para o caso chamado de Tubo Aberto, no qual são apresentadas comparações qualitativas, através de resultados encontrados na literatura, e para o Tubo Fechado, onde o resultado numérico quantitativo é comparado com resultado experimentais.

3.1 Tubo aberto

As Figs. 5(a-b) e 6(a-b) mostram contornos de velocidade em quatro seções transversais do tubo. De acordo com as escala de cores, pode-se identificar uma região de velocidade zero em toda a circunferência do tubo, o que corresponde à condição de não deslizamento implementada no modelo numérico.

Algumas observações devem ser feitas quanto à questão de velocidade zero: (a) observa-se um aumento da espessura dessa camada na base do tubo. Esta espessura está inversamente relacionada com a intensidade e localização do fluxo de calor, assim como com a quantidade de movimento provocada por ele, ocasionando um desbalanço entre as forças de empuxo e as forças viscosas. Nestas figuras as forças de empuxo são predominantes na metade superior do tubo, principalmente entre a entrada e o meio deste, o que pode ser inferido através das maiores velocidades ali encontradas. Por outro lado, as forças viscosas predominam junto à parede da metade inferior do tubo; (b) uma vez que as forças de empuxo localizadas no topo do tubo provocam um movimento ascendente da massa e que a força gravitacional provoca a entrada de massa no tubo em movimento descendente, deve ocorrer uma região de cisalhamento entre os dois escoamento em contra-corrente. É esta região de cisalhamento que pode ser observada através das regiões de velocidade zero próximo ao meio do tubo.

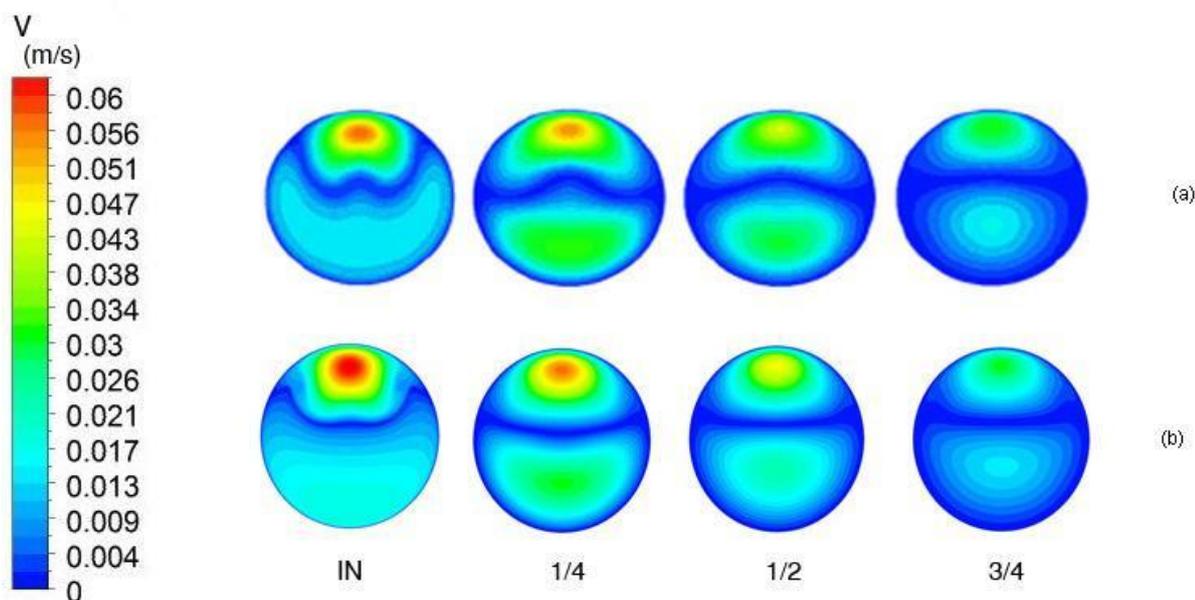


Figura 5 - Fluxo de calor constante no topo: (a) Budihardjo *et al.* (2007); (b) presente.

Os resultados da Fig. 5(a) e 6(a) são de Budihardjo *et al.* (2007), obtidas através do software comercial Fluent. Já os resultados da Fig. 5(b) e 6(b) são resultados obtidos pelos autores deste trabalho através do software CFX, utilizando-se a mesma escala de velocidades do trabalho em comparação. Nestas figuras pode-se observar que os campos de velocidade, entre $\frac{1}{4}$ e $\frac{3}{4}$ do comprimento são muito parecidos com aqueles apresentados por Budihardjo *et al.* (2007), tanto para o caso de fluxo de calor uniforme no topo, Fig. 5(a-b), quanto para a condição de fluxo de calor variável, Fig. 6(a-b).

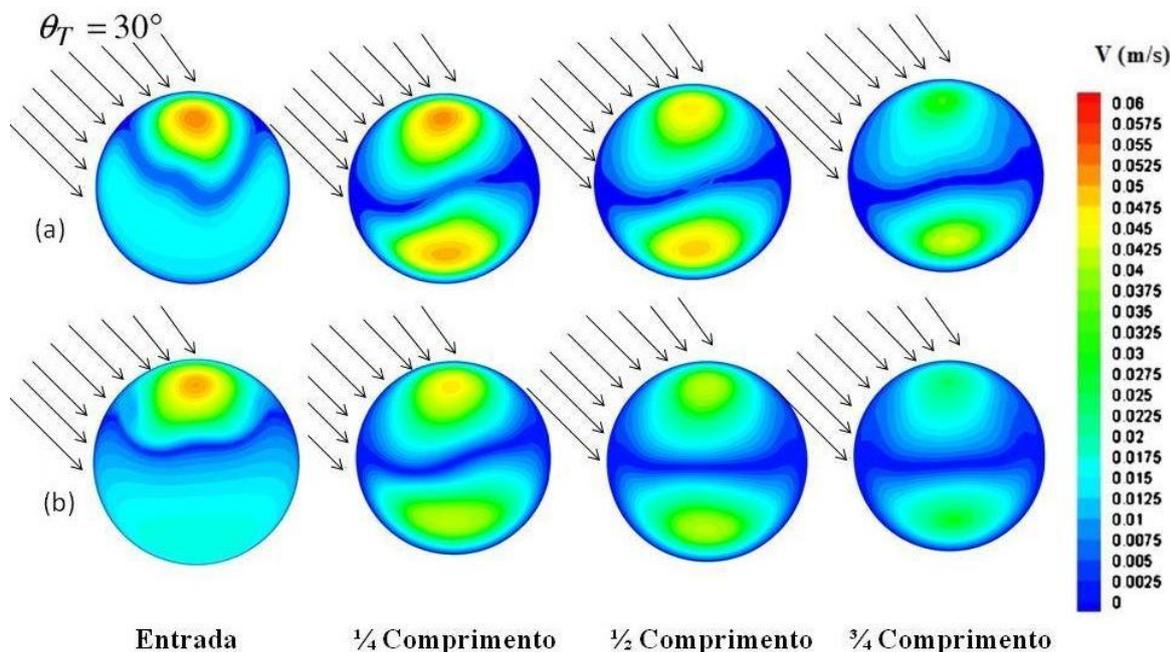


Figura 6 - Fluxo de calor máximo com inclinação de 30° : (a) Budihardjo *et al.* (2007); (b) presente.

Apesar da concordância verificada nas posições anteriormente citadas, observa-se também que há uma pequena diferença entre os resultados para em $L=0$. Estes autores creditam estas diferenças às diferentes formas de implementar a condição de contorno na entrada do tubo entre o Fluent e o CFX. Budihardjo *et al.* (2007) utilizou a condição de Open Source, com pressão constante e fluxo de entrada e saída de massa perpendicular à superfície aberta. O CFX não disponibiliza a condição Open Source, mas disponibiliza a condição a Opening, com algumas opções para massa e quantidade de movimento. Utilizou-se a condição Pressure and Direction, com pressão relativa de 0 Pa, Opening Temperature igual a 300 K e fluxo de massa normal à superfície. Outra condição diferente entre os modelos numéricos é o tamanho da malha computacional. Budihardjo *et al.* (2007) utilizou 70.000 elementos, sendo 150 deles distribuídos na direção longitudinal. Para as outras direções nada foi informado sobre número de elementos e distribuição deles. Os autores do presente trabalho fizeram algumas tentativas aleatórias de distribuição desse número de elementos, porém sem sucesso. Os resultados aqui apresentados só foram possível com malhas bem maiores daquela informada pelo autor citado, embora tenham sido refinadas em todas as paredes (lateral, base e entrada), assim com no centro do tubo, região em que ocorre cisalhamento entre o escoamento descendente e ascendente.

A Figura 7 mostra o campo de vetor velocidade no centro do tubo. Nesta figura pode-se observar claramente que o cisalhamento entre o escoamento ascendente e descendente ocorre na região central do tubo. Além disso, na representação do tubo inteiro, verifica-se que as maiores estão próximas à saída do tudo.

Nos detalhes A e B Fig. 7 pode-se observar claramente o perfil de velocidade do escoamento ascendente, tanto quanto o do descendente. Mais precisamente no detalhe B, percebe-se a importância de um bom refinamento de malha no centro do tubo. Caso a malha computacional não tivesse um refinamento adequado, não seria possível capturar gradientes adversos de velocidade com tantos detalhes.

3.2 Tubo Fechado

A Figura 8 apresenta campos de temperatura em diferentes instantes de tempo (100, 200, 300, 400 e 600 s) para o caso de aquecimento do tubo nas condições citadas. Nestas figuras pode-se observar que, com o passar do tempo, quantidades de massa com maior temperatura se deslocam a parte superior do tudo. Fato este decorrente do empuxo causado pela diferença de massa específica, que varia em função da temperatura. Apesar dessa condição bastante óbvia, nem toda massa de maior temperatura está localizada na parte mais alta do tubo. Como pode se observado nas figuras, independentemente do instante de tempo, existe uma estratificação térmica em duas direções: vertical e longitudinal, sendo a primeira em função do empuxo e a segunda em função da quantidade de movimento que possui a água que chega ao topo do tubo. Ao chegar nesta região, a água encontra a parede, fazendo-a mudar direção, ocasionando até um escoamento descendente, ocorrendo assim a estratificação longitudinal.

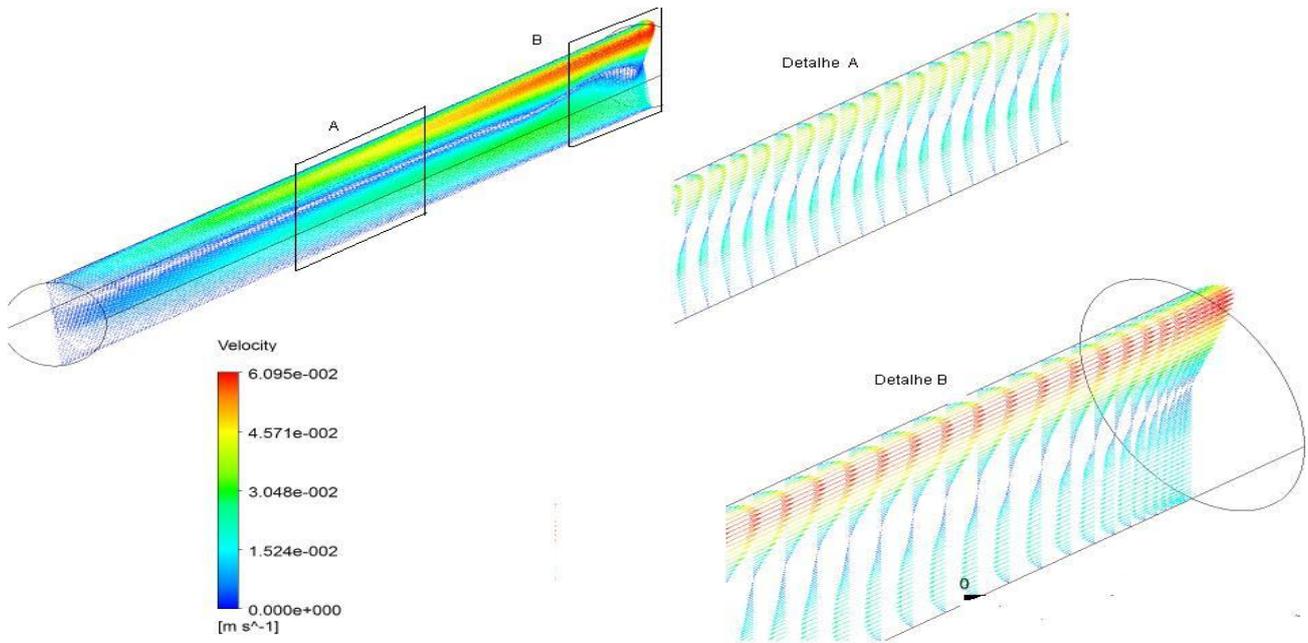


Figura 7 - Campo de vetor velocidade no tubo aberto.

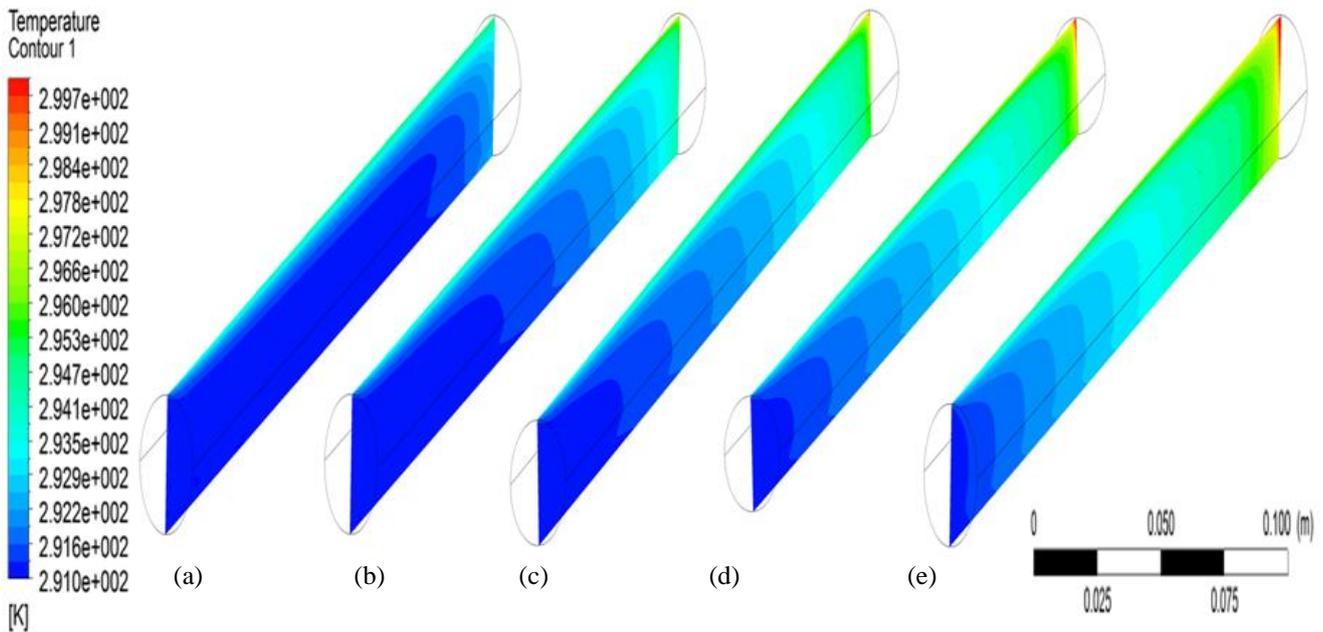


Figura 8 - Tubo fechado - evolução temporal do campo de temperatura.
(a) 100 s; (b) 200 s; (c) 300 s, (d) 400 s e (e) 600 s.

Pode-se observar pela escala de temperatura da figura anterior que, em apenas 600 s, alguma parcela de água aumentou até 9 °C. No entanto, a maior parcela está numa temperatura pouco superior a inicial, e a temperatura média no interior do domínio computacional foi de 293,88 K, o coincide com o valor obtido experimentalmente para o caso do tubo fechado.

5. CONCLUSÕES

O processo de convecção natural no interior de diferentes tubos evacuados foi simulado numericamente por CFD. O modelo numérico utilizado é tridimensional e o estudo foi realizado em duas condições de operação: permanente e transiente.

Em regime permanente foram implementas numericamente as mesma condições geométricas e de operação das apresentadas por Budihardjo *et al.* (2007), na condição de tubo aberto e com várias condições de radiação incidente.

Os resultados quantitativos e qualitativos desta implementação concordam com aqueles apresentados pelo referido autor.

A metodologia numérica utilizada também foi validada com resultados experimentais com tubo fechado. Também neste caso, a comparação entre resultados indicam que a metodologia numérica é adequada.

Os resultados estimulam os autores a dar prosseguimento na pesquisa e simular diferentes condições de operação e também diferentes configurações de coletores para aprofundar o conhecimento sobre o comportamento destes equipamentos.

Agradecimentos

O LABSOL é associado ao INCT de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia. Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil.

REFERÊNCIAS

- Budihardjo, I., Morrison, G. L., Behnia, M. Natural circulation flow through water-in-glass evacuated tube solar collectors. *Solar Energy*, 81 (2007), 1460-1472.
- Cabanillas, R. E., Estrada, C. A., Avila, F. A device for measuring the angular distribution of incident radiation on tubular solar collectors. *Renewable Energy*, Vol. 6, No. 7 (1995) 843-847.
- Manea, T. F., Rosa, F. N., Perin, A. P., Krenzinger, A. Determinação de parâmetros de desempenho para coletores solares tubulares a vácuo. IV Conferencia Latinoamericana de la ISES, Cusco, Peru, 2010.
- Morrison, G. L., Budihardjo, I., Behnia, M. Measurement and simulation of flow rate in a evacuated tube solar water heater. *Solar Energy*, 78 (2005), 257-267.
- Speyer, E., Solar energy collection with evacuated tubes. *J. Eng. Power* 86 (1965) 270-276.
- Zambolin, E., Del Coll.D. Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationaty standard and daily conditions. *Solar Energy* 84 (2010) 1382-1396.

STUDY OF THE BEHAVIOR OF TUBULAR EVACUATED SOLAR COLLECTORS OPERATING IN DIRECT TRANSFER

Abstract. *Solar liquid heating systems using evacuated tube collectors currently have a better performance than flat plate collectors for high temperature operation. This is due to reduced convection heat losses, as a result of the vacuum layer between the inner and outer tubes. The solar collectors with evacuated tubes are a novelty in Brazil, in addition, its use on a commercial scale is less than 10 years and there are many questions to be answered about their use and efficiency. To get a better understanding of the operation of this equipment it was started a cooperation study program between the NETE - UNISINOS (Thermal and Energy Study Center of University of Vale do Rio dos Sinos) and LABSOL-UFRGS (Solar Energy Laboratory of Federal University of Rio Grande do Sul). The methodology consists in the numerical simulation by CFD (Computer Fluid Dynamics) and its validation through comparison of numerical and experimental results. The results of velocity fields and mean temperature indicate that the methodology is quite adequate.*

Key words: Solar Energy, Evacuated tube, CFD