

VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM PROGRAMA DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA COM ENERGIA SOLAR E GÁS

Jean-Marc Stephane Lafay

Centro Federal de Educação Tecnológica – Via do Conhecimento, km 01 - CEP 85501-970 Pato branco - PR
jean@mecanica.ufrgs.br

Arno Krenzinger

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Sarmiento Leite, 425 - CEP 90050-170 Porto Alegre - RS
arno@mecanica.ufrgs.br

Resumo. *O propósito deste trabalho é de apresentar a metodologia e os resultados da validação de um programa de sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás. Dois sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás foram construídos em duas configurações distintas, denominadas série e paralela. Estas configurações utilizam os mesmos componentes, porém a forma de conexão varia. Os componentes do sistema foram caracterizados e determinaram-se seus parâmetros. Simulações do comportamento do reservatório, aquecedor a gás e coletor solar foram realizadas e confrontados com os dados experimentais. Os resultados apresentados demonstram que o programa de simulação "AQUESOLGAS" consegue prever com bastante exatidão o comportamento de sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás.*

Palavras chave: Energia solar, Aquecimento de água, Simulação, Aquecimento a gás.

1. Introdução

A utilização da energia solar para aquecimento de água para fins residenciais, industriais e comerciais vem aumentando nos últimos anos no mundo todo. Percebe-se, no entanto, que para uma disseminação mais intensa do uso destas tecnologias são necessários programas de apoio e estímulo promovidos por órgãos governamentais. Um dos quesitos que retarda a expansão deste mercado é o custo inicial de um sistema de aquecimento de água com energia solar. Embora se saiba que estes sistemas apresentam um ciclo de vida elevado (aproximadamente 20 anos) e que neste período eles conseguem facilmente pagar o investimento inicial através da economia obtida no consumo de energia elétrica neste mesmo período, a realidade econômica da maioria das famílias brasileiras não permite adquirir tais sistemas.

Com o objetivo de permitir a redução do custo de instalação de sistemas de aquecimento de água com energia solar sem comprometer a qualidade do mesmo, o laboratório de energia solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul propõe um sistema de aquecimento de água "híbrido" com gás natural. Este sistema permite um sub-dimensionamento da fração solar, que por sua vez diminui o custo inicial do sistema por utilizar menos coletores, porém aumenta os custos de operação, pelo consumo de gás. Cabe salientar que o preço do gás natural é significativamente menor que o preço equivalente da energia elétrica e que se pode ao longo do tempo aumentar a quantidade de coletores e conseqüentemente reduzir o custo de operação.

Para aprofundar o conhecimento sobre o comportamento deste sistema e para ajudar profissionais da área a dimensionar sistemas deste tipo, foi desenvolvido um programa de simulação por computador, no âmbito de um projeto conjunto entre UFRGS, PETROBRÁS e FINEP. Foram construídos dois sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás. Estes sistemas foram monitorados por um programa de computador conectado a uma central de aquisição de dados. Os sistemas monitorados foram montados utilizando os mesmos componentes, modificando apenas a forma em que foram conectados entre si. Após a validação do programa com os dados gerados experimentalmente pretende-se utilizar o mesmo para projetar e dimensionar sistemas que atinjam o máximo de eficiência.

2. Descrição dos sistemas

Cada um dos sistemas de aquecimento de água solar-gás é constituído por dois coletores de placas planas conectados em paralelo, um reservatório termicamente isolado, um aquecedor a gás de passagem, uma bomba e um termostato. Os componentes do sistema estão ligados por tubos de cobre isolados com espuma de polietileno. Um reservatório de água fria de fibra de vidro é compartilhado por ambos os sistemas.

Foram montados dois sistemas de aquecimento em duas configurações distintas, série e paralelo, com características idênticas, diferenciando-se apenas quanto à forma de conexão de seus componentes entre si. Os sistemas funcionam por termossifão e utilizam um aquecedor a gás de passagem como fonte auxiliar de energia. Um termostato, instalado a 73 cm do fundo do reservatório, aciona automaticamente a motobomba e o aquecedor a gás de passagem, assim que a temperatura da camada de água na altura do termostato no interior do reservatório fica abaixo da

temperatura de operação ajustada (43 °C) e desliga o aquecedor quando esta mesma temperatura atingir 44°C. A Figura 1 apresenta a diferença de conexão entre os componentes dos sistemas. Na configuração paralela, a entrada do coletor solar e a entrada do aquecedor a gás estão conectadas ao fundo do reservatório e suas saídas ao topo deste. Na configuração série, a entrada do coletor solar também está conectada ao fundo do reservatório, mas o retorno se dá no meio do reservatório. A entrada do aquecedor a gás conecta-se ao meio do reservatório enquanto sua saída está conectada ao topo do mesmo.

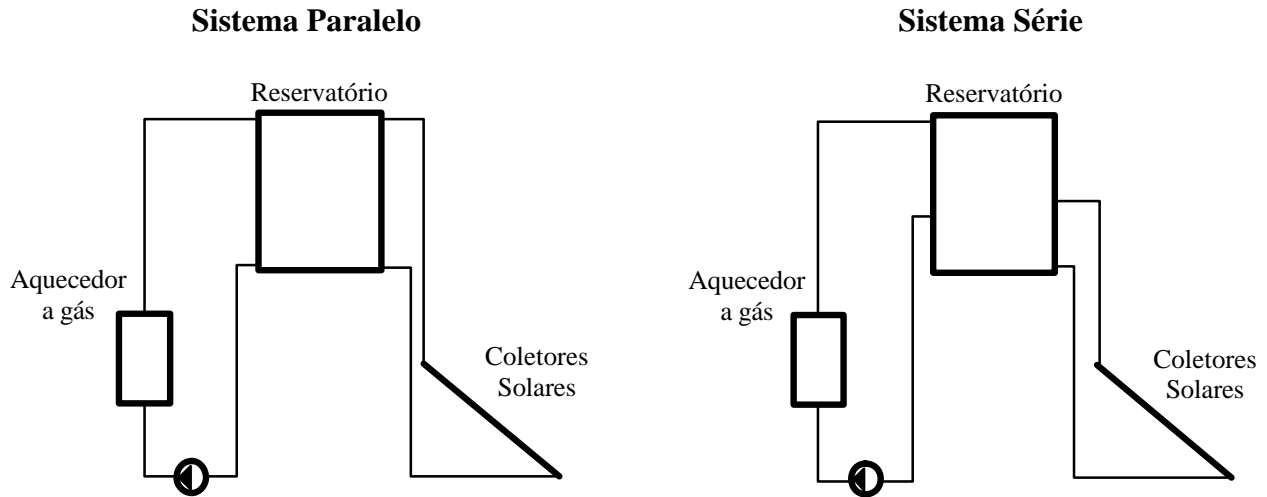


Figura 1. Representação das conexões dos componentes do sistema paralelo e série.

Os sensores de temperatura foram instalados para monitorar a temperatura da água e do ar ambiente. A irradiação solar é medida por um piranômetro fotovoltaico (Zanenco, 1991). Todos os sinais dos sensores são coletados por um sistema automatizado de aquisição de dados.

A metodologia de caracterização dos componentes dos sistemas seguiu normas da ABNT (1988, 1998), seus resultados foram publicados em Lafay et al (2003).

Gutierrez et al (1974) e Shariah (1997) simularam a influência do horário de consumo e da quantidade de consumo sobre sistemas de aquecimento de água com energia solar e uma fonte auxiliar de energia. A diferença é que a fonte auxiliar de energia utilizada em suas simulações é uma resistência elétrica localizada internamente no reservatório ou externamente em “by pass” ou em série com o consumo. Pouco se sabe sobre a influência do consumo na eficiência dos sistemas propostos. Ensaio variando o horário de consumo de água quente nos sistemas experimentais foram realizados por Lafay et al (2004) com o intuito de verificar a influência do horário de consumo sobre o rendimento dos sistemas.

O modelo experimental foi montado com o objetivo de obter parâmetros confiáveis dos sistemas, os quais são imprescindíveis para efetuar com êxito a simulação do sistema em estudo e gerar dados experimentais para serem comparados com os resultados das simulações. Os parâmetros são principalmente a curva de eficiência instantânea dos coletores solares, rendimento do aquecedor a gás, vazão de gás, vazão de água no aquecedor a gás, vazão de consumo de água quente e o coeficiente global de perdas térmicas do reservatório.

Os dados de geometria do sistema são fornecidos para o programa através do formulário apresentado na Fig. 2 e a Tab. 1 apresenta os parâmetros obtidos experimentalmente para cada sistema. Algumas das características construtivas dos sistemas de aquecimentos são apresentados na Tab. 2, nesta tabela encontram-se principalmente valores de alturas de conexões junto ao reservatório.

Tabela 1- Parâmetros dos sistemas de aquecimento de água quente.

Parâmetros	Sistema Paralelo	Sistema Série
Curva de eficiência instantânea dos coletores solares	$h_c = 0,71 - 8,75 \cdot (T_e - T_a) / G_T$	$h_c = 0,71 - 8,75 \cdot (T_e - T_a) / G_T$
Rendimento do aquecedor a gás(%)	81	81
Vazão de gás (m³/h)	0,31	0,28
Vazão de água no aquecedor a gás (m³/h)	0,18	0,21
Vazão de consumo de água quente (m³/h)	0,322	0,325
Coefficiente médio global de perdas térmicas do reservatório (W/°C)	4,2	4,8

Tabela 2 – Alturas de conexão dos componentes do sistema paralelo e série.

	Sistema paralelo	Sistema série
Altura de saída da água do reservatório para o coletor (mm)	80	80
Altura de entrada da água do coletor para o reservatório (mm)	1100	540
Altura de saída da água do reservatório para o aquecedor a gás (mm)	80	440
Altura de entrada da água do aquecedor para o reservatório (mm)	1100	1100
Altura de entrada da água da rede para o reservatório (mm)	80	80
Altura de saída do reservatório da água de consumo (mm)	950	950
Altura do termostato (mm)	730	730
Desnível entre o topo do coletor e a base do reservatório (mm)	400	400

3. Programa de simulação

O programa AQUESOLGAS, utilizado neste trabalho, tem como objetivo principal servir de ferramenta de simulação por computador e de dimensionamento de sistemas de aquecimento de água com gás. Foi desenvolvido em Visual Basic 5.0 no Laboratório de Energia Solar da UFRGS, com financiamento da PETROBRÁS e FINEP. O programa tem uma interface amigável, exigindo um questionário mínimo para obtenção dos resultados desejados. Apresenta a característica de ser capaz de simular individualmente cada componente do sistema e guardar o resultado individual para formar o resultado global do sistema. No caso de sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás os componentes do sistema são: coletores solares, reservatório térmico, aquecedor a gás, tubulação e geometria do sistema. Da mesma forma que considera os componentes físicos da instalação, o programa de simulação deve considerar também componentes lógicos como: ativação do termostato, ativação da bomba, deslocamento de camadas de água no interior do reservatório em função de suas temperaturas e alguns componentes meteorológicos como: temperatura ambiente, radiação solar e velocidade do vento.

O programa é dividido em cinco módulos principais, coletores solares, reservatório térmico, perfil, tubulações hidráulicas e geometria. A figura 2 apresenta o formulário onde o usuário insere as características de geometria do sistema a ser simulado.

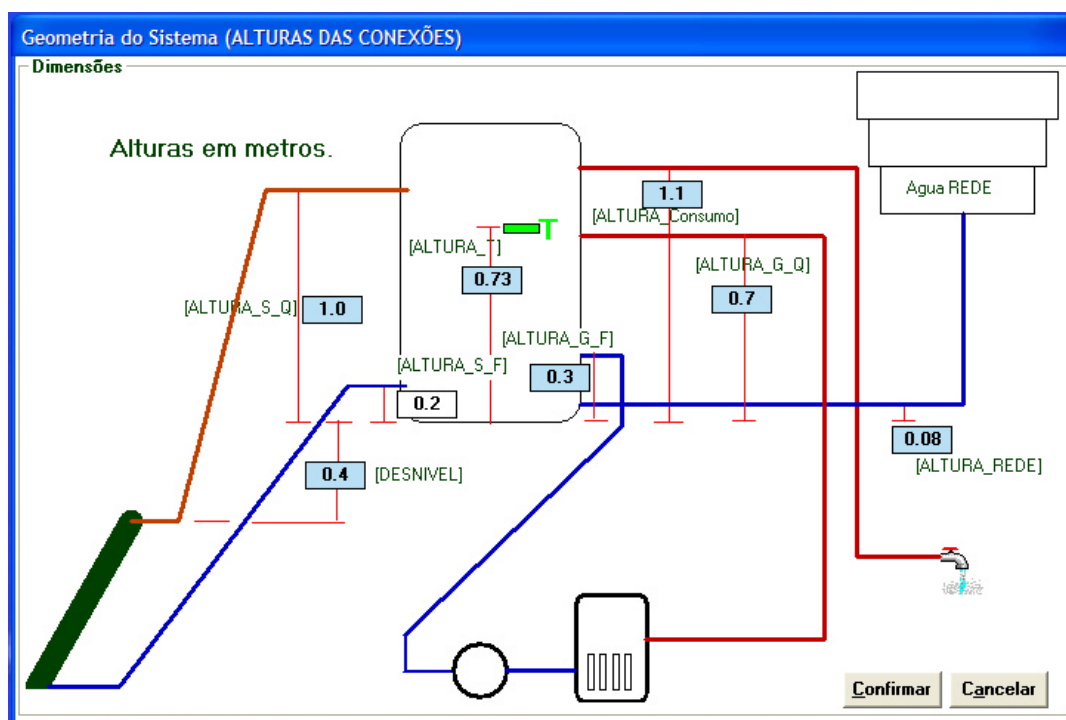


Figura 2 – Formulário de entrada de valores da geometria do sistema a ser simulado.

A modelagem matemática utilizada para cada componente tem origens em diferentes autores. Para os coletores solares foi utilizada a clássica aproximação de Hottel-Bliss-Whillier, apresentada por Duffie and Beckman (1991). Os processos de transferência de calor no reservatório térmico podem ser simulados utilizando modelos bidimensionais, Olivesky et al (2003), porém o cálculo multi-nodal unidimensional é suficiente. Para o cálculo da distribuição de temperaturas no reservatório foi utilizado o modelo de Hussein (2002) modificado para permitir um número maior de conexões ao reservatório e adaptado para utilizar um aquecedor a gás de passagem externo.

O aquecedor a gás opera com vazão de gás e água constantes e através de sua eficiência é possível calcular o consumo de gás durante a operação. A temperatura em cada parte do circuito é calculada resultando na temperatura da água na entrada do reservatório. O programa permite várias possibilidades de alturas de conexão do aquecedor a gás tanto quanto do coletor em relação ao reservatório, conforme indicado na Fig. 2.

Os dados de dimensão e a curva de eficiência do coletor solar foram inseridas no formulário do programa de simulação, apresentado na Fig. 3. O programa foi executado utilizando os mesmos dados meteorológicos do modelo experimental.

Krenzinger et al (2003) apresentam informações mais detalhadas sobre as equações utilizadas assim como da estrutura do programa AQUESOLGAS.

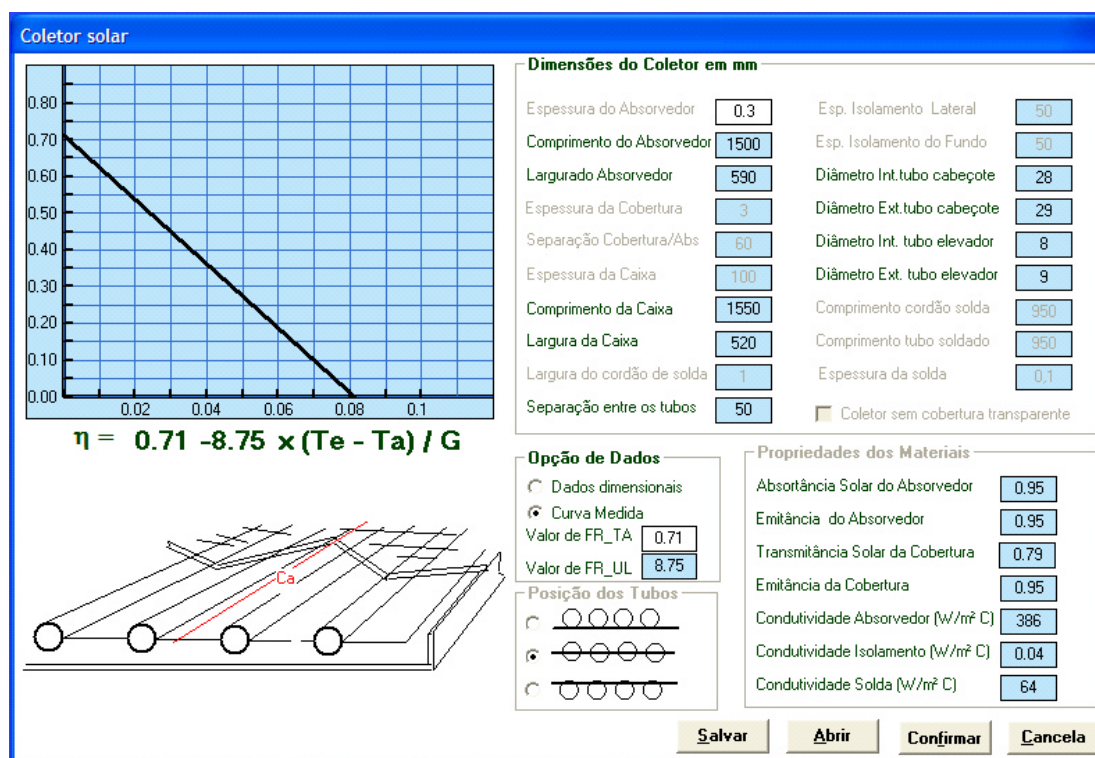


Figura 3 – Formulário de dimensões e eficiência do coletor do programa de simulação (dados do coletor utilizado no trabalho).

4. Metodologia de validação do programa de simulação

Cada componente do sistema é simulado utilizando os mesmos dados meteorológicos utilizados no ensaio experimental. Os parâmetros dos sistemas experimentais assim como as condições iniciais são inseridas no programa de simulação. Dois sistemas experimentais utilizando os mesmos componentes, porém conectados diferentemente entre si geram dados ao mesmo tempo, fato que garante as mesmas condições meteorológicas para ambos sistemas.

Iniciou-se com a simulação do reservatório térmico, fornecendo ao programa um arquivo de dados de radiação igual a zero por um certo período para simular o resfriamento dos modelos experimentais dos reservatórios desconectados dos coletores solares. Também se tomou o cuidado de zerar o consumo de água quente e desligar o acionamento do aquecedor a gás visto que o ensaio experimental dos reservatórios é influenciado apenas pelo coeficiente global de perdas térmicas.

Uma vez validado o módulo do reservatório térmico, onde todos os componentes estão ligados, efetuou-se a simulação do aquecedor a gás de passagem. Forneceram-se as alturas de conexão indicadas na Tab. 2, eficiência, vazão de gás e de água, poder calorífico do gás utilizado e a temperatura de acionamento do termostato para ambos sistemas (43°C).

No formulário do coletor, apresentado na Fig. 3, pode se fornecer as dimensões e as propriedades físicas dos materiais que constituem o coletor solar mas também pode ser fornecida a curva de eficiência instantânea do coletor. Neste trabalho optou-se por fornecer a curva de eficiência instantânea pois esta havia sido determinada experimentalmente. Uma vez tendo atualizado este formulário informam-se as temperaturas iniciais da água das camadas do modelo experimental a ser simulado, assim como os dados meteorológicos correspondentes ao período ensaiado. Embora o programa simule o comportamento de diversas variáveis, optou-se por efetuar as comparações com a temperatura da água das camadas no interior do reservatório correspondente às mesmas camadas do modelo experimental.

5. Resultados

O perfil de temperaturas das camadas de água no interior do reservatório é influenciado pela forma em que ocorre a transferência de calor entre a água, a parede do reservatório, o isolamento, o revestimento externo e a temperatura ambiente. Ocorre também convecção no interior do próprio reservatório e difusividade do calor na água para contribuir na distribuição do perfil de temperaturas. Calcula-se o coeficiente global de perdas com dados experimentais de temperatura do sistema. A influência do vento não foi considerada no cálculo do coeficiente, pois não há anemômetro monitorando a velocidade do vento sobre o modelo experimental, porém o efeito do vento pode ser percebido na pequena variação que o coeficiente global de perdas apresenta. Esta variação é dependente do período (Δt) considerado para o cálculo da Eq. (1).

$$U = \frac{\Delta E_i}{(T_a - T_m) \cdot \Delta t} \tag{1}$$

onde ΔE_i é a variação de energia interna do reservatório no período considerado (kJ), T_a é a temperatura ambiente (°C), T_m é a temperatura média da água no interior do reservatório (°C) e Δt é o período de tempo considerado (t).

Foram ensaiadas e simuladas situações de resfriamento dos reservatórios com diferentes condições iniciais de temperatura nos dias 01, 05 e 08 de abril e os resultados simulados concordaram com o modelo experimental. As figuras 4 e 5 apresentam os perfis de temperaturas da água no interior do reservatório do sistema paralelo num período de 22 horas, experimental e simulado respectivamente. Neste período o coeficiente global de perdas térmicas, calculado pela Eq. (1), foi de 5,11 W/°C enquanto que o coeficiente médio é 4,2 W/°C. Como era de se esperar a simulação utilizando o coeficiente global de perdas calculado apresentou resultados mais próximos dos resultados experimentais. Como o programa visa uma interface amigável com seu usuário utilizaram-se apenas os parâmetros apresentados na Tab. 1 (valores médios) nas simulações efetuadas neste artigo, pois parâmetros mais precisos (calculados) são difíceis de serem obtidos pela maioria dos usuários.

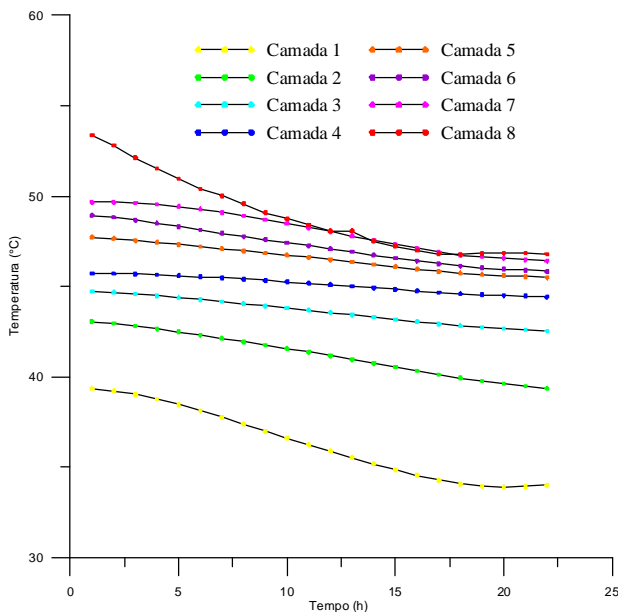


Figura 4 – Resultado experimental do perfil de temperaturas das camadas de água no interior do reservatório do sistema paralelo no dia 01/04/2004.

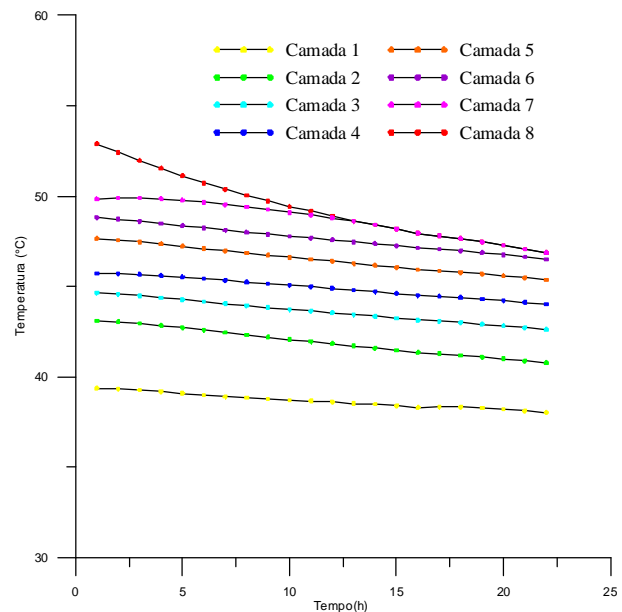


Figura 5 - Resultado simulado do perfil de temperaturas das camadas de água no interior do reservatório do sistema paralelo no dia 01/04/2004.

Com exceção da curva da camada 1 da Fig. 4 as temperaturas das demais camadas são semelhantes, entre o experimental e o simulado. A diferença de comportamento desta camada pode ser explicada considerando que o programa efetua um desdobramento do coeficiente global de perdas térmicas em coeficientes de perdas térmicas dependentes da área lateral, topo e fundo do reservatório. O programa considera que o isolamento é igual em todas as áreas consideradas, porém os resultados experimentais sugerem que isto não ocorre para o reservatório utilizado.

As Figuras 6 e 7 apresentam o resfriamento das camadas da água no interior do reservatório, partindo com condições iniciais diferentes das ensaiadas nas Fig. 4 e 5. As quatro camadas superiores, do sistema experimental, apresentam uma diferença de temperatura inferior a 2,5 °C e ao longo de 20 horas de ensaio a diferença estabiliza em 0,5 °C, com o simulado as quatro camadas superiores também convergem para uma mesma temperatura em 10 horas. Cabe salientar que estas pequenas diferenças entre o simulado e o experimental encontram-se dentro da incerteza do ensaio experimental, inerente ao posicionamento dos sensores e a incerteza dos resultados fornecidos pelos mesmos. As camadas 2 e 3 da simulação apresentam um comportamento bastante próximo do experimental, embora nas primeiras quatro horas as temperaturas aumentem, fato que não ocorre no experimental. Esta diferença pode ser atribuída à incerteza da temperatura nas alturas em que se encontram os sensores, visto que os sensores estão posicionados a cada 15 cm no interior do reservatório e que existe um gradiente de temperaturas expressivo nesta região.

As figuras 8 e 9 apresentam o resfriamento das camadas da água no interior do reservatório, partindo com condições iniciais também diferentes das ensaiadas nas Fig. 4 e 5 e Fig. 6 e 7. É possível verificar que o comportamento geral das diversas camadas do experimental é representado pelo simulado. As camadas 5 e 8 resfriam rapidamente enquanto que a camada 7 sofre um ligeiro incremento nas primeiras horas do experimental e uma atenuação do resfriamento no simulado. As camadas 3 e 4 apresentam um incremento de temperatura acentuado no experimental e um mais tênue no simulado. As temperaturas da água nas camadas do reservatório simulado representam de forma bastante satisfatória o comportamento das temperaturas das camadas do experimental ao longo do período ensaiado.

O comportamento das temperaturas da água nas camadas do reservatório do sistema paralelo experimental e do modelo simulado apresentou boa concordância ao longo dos cinco dias de ensaio, conforme apresentado nas Fig. 10 e 11. O primeiro acionamento de gás ocorre aproximadamente ao mesmo tempo em ambos modelos (próximo a hora 40). A temperatura da água na camada 8 do sistema experimental apresenta uma quantidade de picos inferior ao apresentado na Fig.11, simulado. Embora ocorram menos picos eles ocorrem em uma intensidade maior, isto ocasiona uma temperatura média equivalente entre o experimental e o simulado.

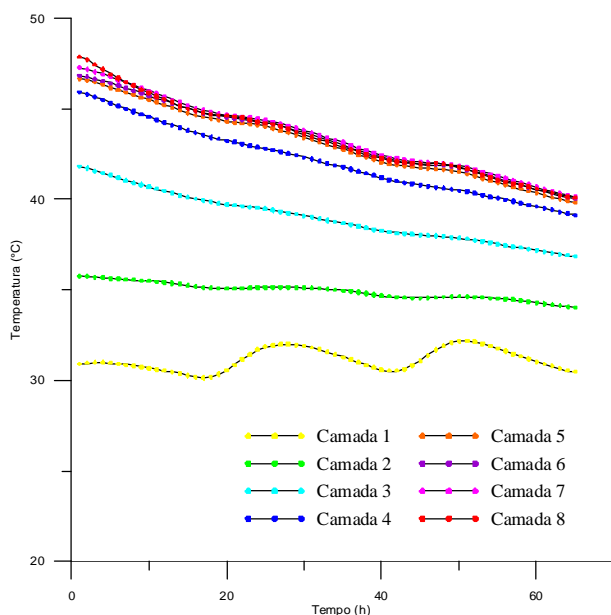


Figura 6 - Resultado experimental do perfil de temperaturas das camadas de água no interior do reservatório no dia 05/04/2004.

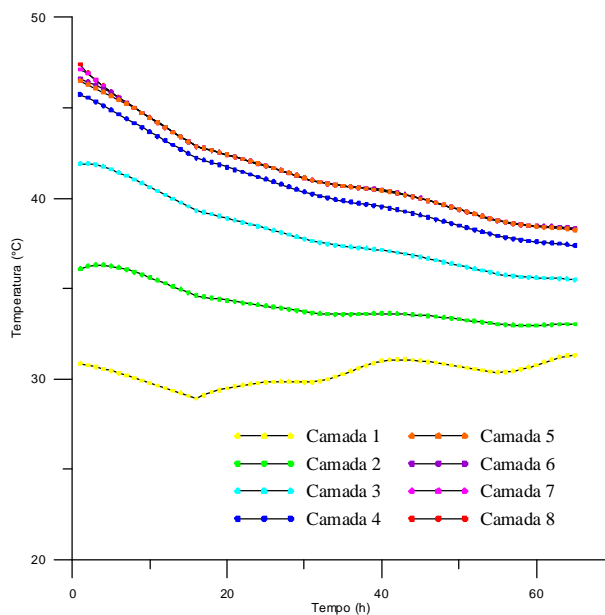


Figura 7 - Resultado simulado do perfil de temperaturas das camadas de água no interior do reservatório no dia 05/04/2004.

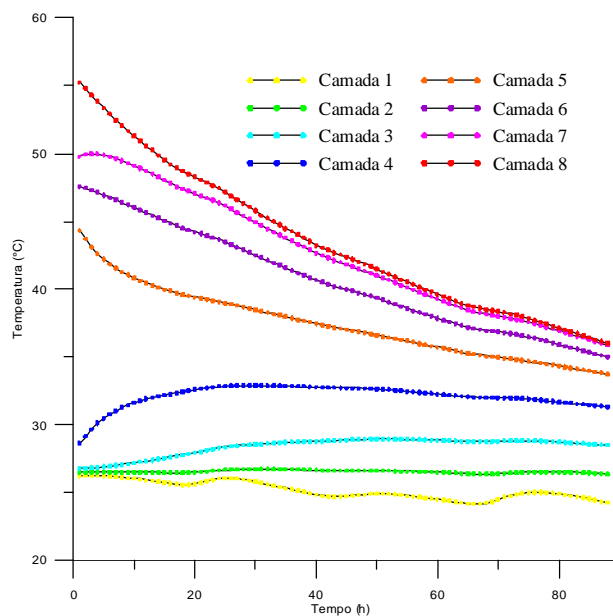


Figura 8 - Resultado experimental do perfil de temperaturas das camadas de água no interior do reservatório no dia 08/04/2004.

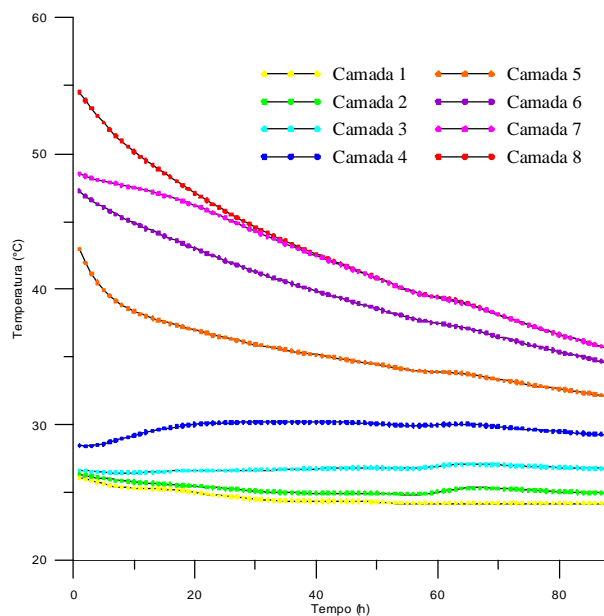


Figura 9 - Resultado simulado do perfil de temperaturas das camadas de água no interior do reservatório no dia 08/04/2004.

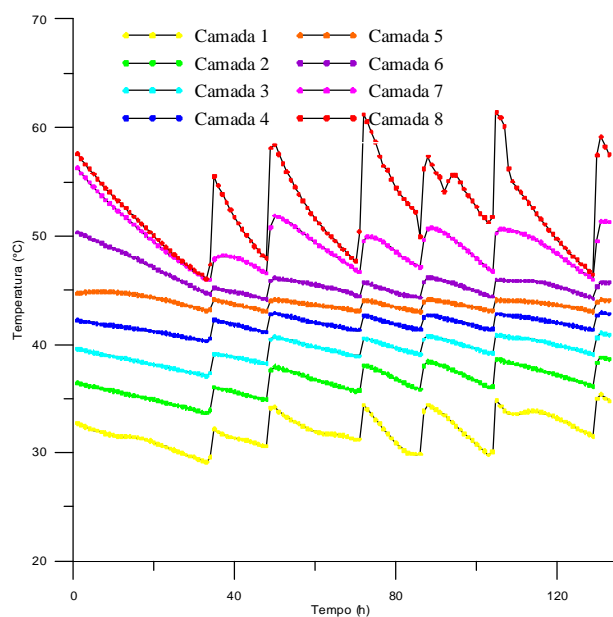


Figura 10 - Resultado experimental do perfil de temperaturas das camadas de água no interior do reservatório do sistema paralelo com acionamento automático do aquecedor a gás, no dia 17/04/2004.

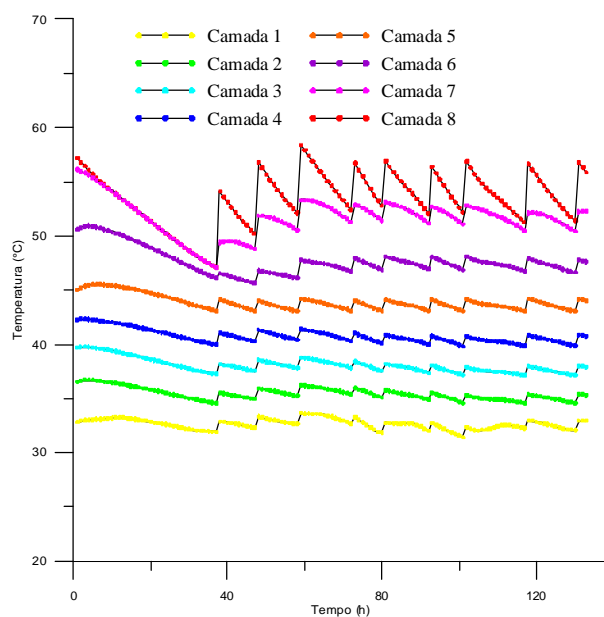


Figura 11 - Resultado simulado do perfil de temperaturas das camadas de água no interior do reservatório do sistema paralelo com acionamento automático do aquecedor a gás, no dia 17/04/2004.

A simulação apresentada para o sistema série, na Fig. 13, também aponta uma boa concordância com o valor da temperatura, número de vezes que o aquecedor foi acionado e a intensidade das elevações de temperatura apresentadas pelo modelo experimental da Fig. 12. Percebe-se que tanto no modelo experimental quanto no modelo simulado as camadas 1, 2 e 3 praticamente não sofrem alterações de temperatura quando o aquecedor a gás é acionado, pois se

localizam abaixo dos pontos de conexão do aquecedor ao reservatório, nesta configuração. Isto não ocorre no sistema paralelo.

As Figuras 14 a 17 apresentam os resultados experimentais e simulados dos sistemas de aquecimento de água com energia solar. O ensaio dos dois sistemas experimentais foi realizado no mesmo dia, portanto sofreram as mesmas influências externas. Os sistemas experimentais foram ensaiados com condições iniciais semelhantes, o sistema paralelo apresentou uma estratificação inicial de temperaturas levemente maior e manteve esta diferença até o final do ensaio.

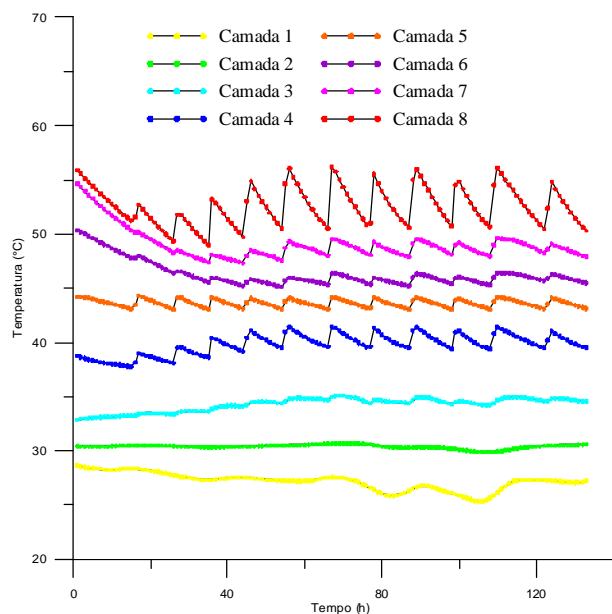


Figura 12 - Resultado experimental do perfil de temperaturas das camadas de água no interior do reservatório do sistema série com acionamento de gás automático, no dia 17/04/2004.

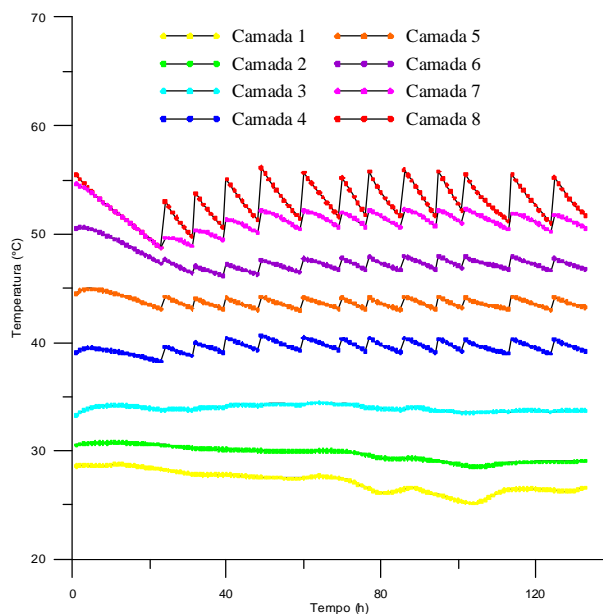


Figura 13 - Resultado simulado do perfil de temperaturas das camadas de água no interior do reservatório do sistema série com acionamento automático de gás, no dia 17/04/2004.

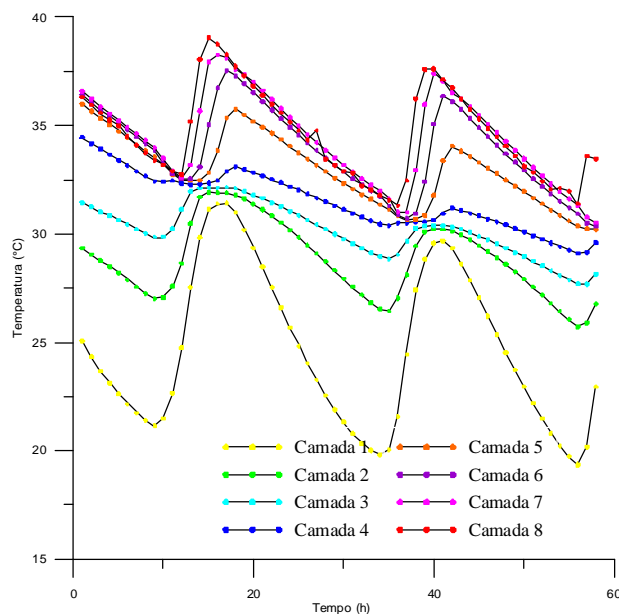


Figura 14 - Resultado experimental do perfil de temperaturas das camadas de água no interior do reservatório do sistema paralelo no dia 13/09/2003.

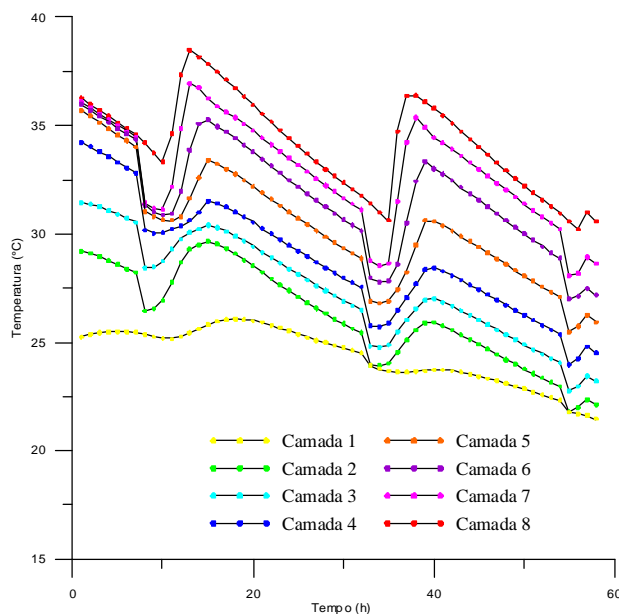


Figura 15 - Resultado simulado do perfil de temperaturas das camadas de água no interior do reservatório do sistema paralelo no dia 13/09/2003.

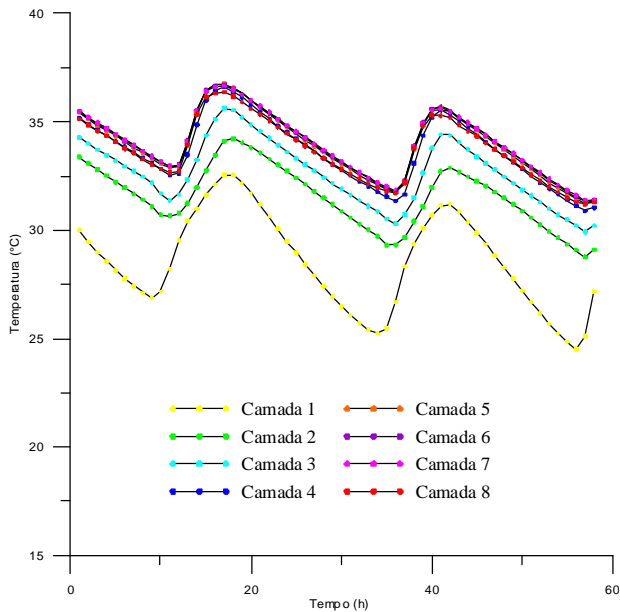


Figura 16 - Resultado experimental do perfil de temperaturas das camadas de água no interior do reservatório do sistema série no dia 13/09/2003.

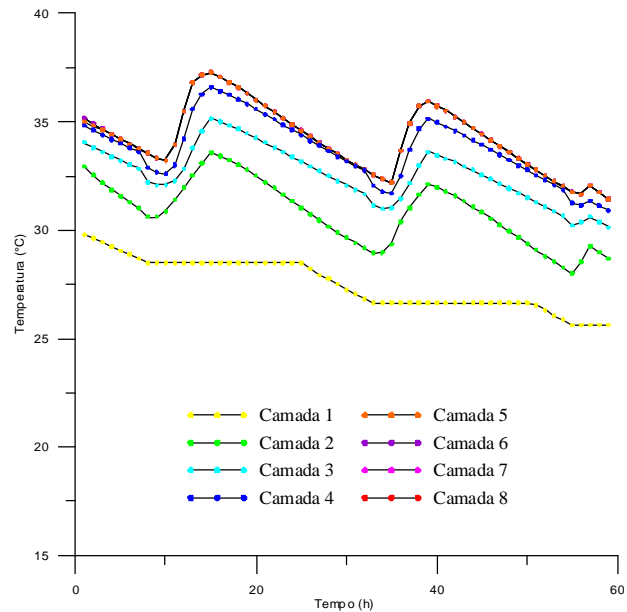


Figura 17 - Resultado simulado do perfil de temperaturas das camadas de água no interior do reservatório do sistema série no dia 13/09/2003.

Os modelos simulados responderam da mesma forma. Novamente todas as temperaturas das camadas de ambos modelos simulados corresponderam ao comportamento dos modelos experimentais, porém a camada 8 não se comporta tão bem quanto às demais camadas. No sistema paralelo experimental, Fig. 14, ocorre uma aproximação da temperatura de todas as camadas um pouco antes de ocorrer o pico de temperatura. A água que circula pelo coletor provém do fundo do reservatório, onde se encontra o maior grau de estratificação e a menor temperatura. Nas primeiras horas do dia a água aquece pouco e acaba por esfriar as camadas superiores, devido à altura de conexão do coletor no reservatório. No modelo simulado todas as camadas esfriam rapidamente nas horas que antecedem o pico de temperatura, mantendo a estratificação entre as camadas. O modelo de Hussein (2002) adotado no programa já foi modificado por Krenzinger (2003) e estes resultados apontam que alguns pequenos ajustes ainda devem ser realizados na distribuição de temperaturas para representar ainda melhor os dados experimentais com a simulação.

5. Conclusões

Os modelos experimentais, paralelo e série, geraram dados confiáveis sobre o comportamento dos perfis de temperatura no interior dos reservatórios. Análises destes dados assim como a caracterização dos componentes do sistema permitiram determinar os parâmetros inerentes aos sistemas experimentais.

O programa de simulação apresenta uma interface amigável facilitando o processo de inserção de valores de variáveis. Os valores dos parâmetros, das condições iniciais e dos dados meteorológicos utilizados pelos modelos experimentais foram inseridos no programa e o mesmo foi executado gerando resultados simulados.

As simulações realizadas verificaram o comportamento do reservatório isolado termicamente, dos aquecedores a gás e dos coletores solares. Todas as simulações apresentaram resultados muito próximos dos resultados dos modelos experimentais correspondentes. Ajustes no modelo do reservatório poderão melhorar ainda mais a simulação.

6. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, da PETROBRÁS e da FINEP, Brasil.

5. Referências bibliográficas

- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1988. “Coletores Solares Planos para Líquidos - Determinação do Rendimento Térmico (NBR10184)”, Rio de Janeiro, Brazil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998. “Aquecedor de Água a Gás Tipo Instantâneo – Requisitos e Métodos de Ensaio (NBR8130)”, Rio de Janeiro, Brazil.
- Duffie, J.A., Beckman, W.A., 1991. “Solar Engineering of Thermal Processes”, Wiley Interscience Publication.

- Gutierrez, G., Hincapie, F., Duffie, A., Beckman, W.A., 1974. "Simulation of forced circulation water heaters; effects of auxiliary energy supply, load type and storage capacity", *Solar Energy* Vol. 15, pp 287-298.
- Hussein, H.M.S., "Transient Investigation of a two phase closed thermosyphon flat plate solar water heater", *Energy Conversion and Management* 43, (2002), 2479-2492.
- Krenzinger, A., Siqueira, A.M.O., Oliveski, R.C., 2003. "Aquesolgas", 17 th International Congress of Mechanical Engineering, São Paulo, Brasil
- Lafay, J.M., Krenzinger, A., Prieb, C., 2003. "Experimental Results For Hybrid Solar & Gas Water Heating Systems", 17 th International Congress of Mechanical Engineering, São Paulo, Brasil.
- Lafay, J.M., Krenzinger, A., Prieb, C., 2004. "Influência do horário de consumo de água quente no rendimento de sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás", III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém, Brasil.
- Oliveski, R.C., Krenzinger, A., Vielmo, H.A., 2003. "Cooling of Cylindrical Vertical Tanks Submitted to Natural Internal Convection", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Elsevier Science Ltd., v. 46, pp2015-2026, 2003.
- Shariah, A.M., Löf, G.O.G., 1997. "Effects of auxiliary heater on annual performance of thermosyphon solar water heater simulated under variable operating conditions", *Solar Energy* Vol. 60, N°2, pp119-126.
- Zaneco, I., 1991. "Análise e Construção de um Piranômetro Fotovoltaico", Dissertação de Mestrado, PROMEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil.

EXPERIMENTAL VALIDATION OF A SOLAR AND GAS WATER HEATING SYSTEM SIMULATION SOFTWARE.

Jean-Marc Stephane Lafay

Centro Federal de Educação Tecnológica – Via do Conhecimento, km 01 - CEP 85501-970 Pato branco - PR
jean@mecanica.ufrgs.br

Arno Krenzinger

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Sarmiento Leite, 425 - CEP 90050-170 Porto Alegre - RS
arno@mecanica.ufrgs.br

Resumo. *The purpose of this work is to present the methodology and the results of the validation of a solar and gas water heating system simulation software. Two solar and gas water heating systems were mounted in two different configurations called series and parallel. These configurations used the same components, which are connected together in different ways. The components of the system were characterized, being determined their parameters. Simulations of the thermal behavior of the reservoir, gas heater and solar collector were performed and the results were compared with experimental data. The presented results demonstrate that the simulation software AQUESOLGAS is able to accurately predict the thermal behavior of solar and gas water heating systems.*

Keywords: *Solar energy, Water heating, Software simulation, Gas heating.*