

ANÁLISE ECONÔMICA DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

Jean-Marc Stephane Lafay – jeanmarc@utfpr.edu.br

Arno Krenzinger – arno@mecanica.ufrgs.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Coordenação de Eletromecânica
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica

2.2 Equipamento e Sistema de Aquecimento de Água

Resumo. Neste trabalho será realizada uma análise econômica simplificada de diversos sistemas de aquecimento, atendendo um perfil de consumo pré-determinado considerando os dados climáticos da cidade de Porto Alegre. Um sistema de aquecimento de água com energia solar e gás é proposto neste trabalho. Este sistema foi ensaiado experimentalmente sob diversas configurações obtendo-se maior eficiência com uma certa configuração, que será apresentada. A configuração dita como mais eficiente foi simulada, com o programa “AQUESOLGÁS”, e seus resultados foram comparados com os resultados das simulações de diferentes sistemas de aquecimento de água que atendiam o mesmo perfil de consumo. A partir dos resultados das simulações foram determinados os custos de implantação e de operação de cada sistema de aquecimento. Por haver diferenças de custos de implantação e operação entre os sistemas simulados, utilizou-se um método que permitiu uniformizar os valores para uma mesma data a fim de compará-los. O estudo foi realizado considerando três cenários que utilizaram diferentes taxas de juros e taxas de reajuste dos energéticos. O período do empréstimo foi de 36 meses e o de análise foi de 360 meses.

Palavras-chave: *Aquecimento de água e Análise Econômica*

1. INTRODUÇÃO

Sistemas de aquecimento de água diferem entre si sob diferentes aspectos. Dentre os principais pode-se citar o custo de implantação, custo de operação e atendimento ao perfil de consumo. O chuveiro elétrico é o que apresenta o menor custo de implantação, seguido dos aquecedores a gás de passagem, aquecedores elétricos de acumulação, aquecedores a gás de acumulação e, por último, o aquecimento com energia solar.

O custo de operação é função do preço do energético utilizado, eficiência do sistema de aquecimento e do perfil de consumo. Os sistemas de aquecimento com energia solar diferem dos demais, pois necessitam de uma fonte auxiliar de energia para suprir a demanda de água quente em dias de baixa radiação solar. Este fato faz com que o custo de operação não se mantenha constante, ficando dependente das condições climáticas, eficiência e conseqüentemente da fração em que a fonte auxiliar será utilizada, como demonstrado por Schröder e Reddemann (1982).

A capacidade “instantânea” de suprir a demanda é um fator limitante dos sistemas de aquecimento de passagem. Nos casos em que é necessário fornecer grandes quantidades de energia em curtos períodos de tempo, são favorecidos os sistemas que utilizam acumulação. Nesta categoria encontram-se os aquecedores de acumulação que utilizam energia elétrica, gás e energia solar.

Sistemas de aquecimento de água com energia solar tradicionalmente utilizam eletricidade como fonte auxiliar de energia. Como tais sistemas são projetados para suprir a demanda mesmo nos meses de inverno, o alto custo da energia elétrica faz com que o dimensionamento se dê de forma que a fração da fonte auxiliar de energia seja pequena, empregando uma grande área de coletores solares. Esta prática aumenta o custo de implantação e fornece um excedente de calor no verão.

No Brasil o custo equivalente do gás (GLP ou GN) é mais baixo que o da energia elétrica (tarifa residencial). Este fato faz com que, no dimensionamento de sistemas de aquecimento de água

com energia solar que utilizam gás como fonte auxiliar possa ser proposta uma fração da fonte auxiliar maior, com consequente área menor de coletores. Nestes sistemas pode-se utilizar um reservatório térmico com maior capacidade volumétrica e temperatura de operação mais baixa, resultando em menores perdas térmicas, como demonstrado por Krenzinger et al (2002). Assim, além do menor custo de implantação, é obtida uma maior eficiência do sistema de aquecimento solar ao longo do ano todo.

Neste trabalho será realizada uma análise econômica dos sistemas de aquecimento, atendendo um perfil de consumo pré-determinado considerando os dados climáticos da cidade de Porto Alegre. Um estudo da eficiência destes sistemas em função do perfil de consumo foi realizado experimentalmente. A utilização do Programa de simulação “Aquesolgás” permitiu determinar as alturas de conexões, tanto dos coletores como do aquecedor a gás que apresentaram a melhor eficiência para um dado perfil de consumo. A configuração dita como mais eficiente foi simulada e seus resultados foram comparados com os resultados das simulações de diferentes sistemas de aquecimento de água que atendiam o mesmo perfil de consumo. A partir dos resultados das simulações foram determinados os custos de implantação e de operação de cada sistema de aquecimento.

2. DETERMINAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO MAIS EFICIENTE

Sistemas de aquecimento de água que utilizam energia solar apresentam maior eficiência quanto menor for a temperatura de entrada da água no coletor. Portanto a tomada d'água do reservatório para os coletores deve ser a mais baixa possível. Conectando um aquecedor a gás de passagem, ao reservatório que já está conectado aos coletores solares, na mesma altura da tomada d'água dos coletores solares, pode provocar uma concorrência pela água mais fria do reservatório o que acarretaria uma diminuição da eficiência da parcela de energia solar do sistema de aquecimento, haja vista que os coletores solares passariam a receber água em uma temperatura mais elevada em função do gradiente de temperatura da água no interior do reservatório. A figura 1 representa a variação da altura de conexão tanto dos coletores solares e aquecedor a gás ao reservatório.

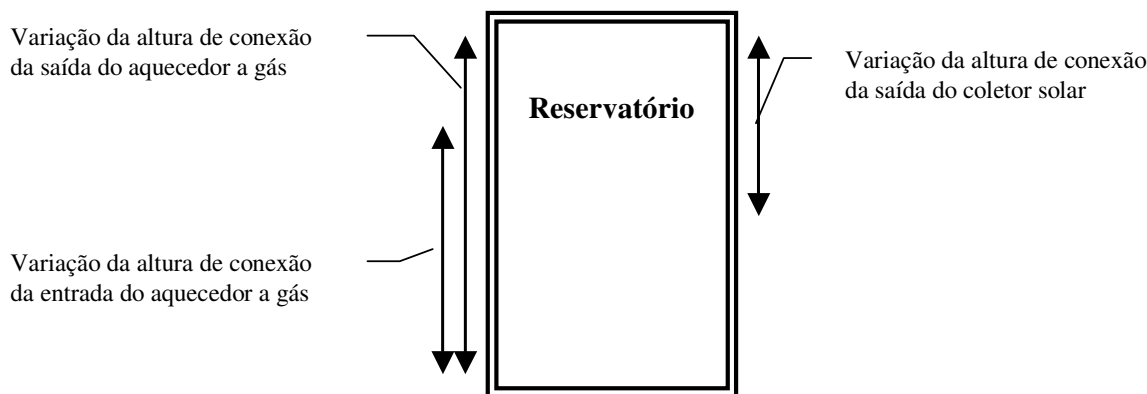


Figura 1 – Representação da variação da altura de conexão dos equipamentos ao reservatório

A metodologia de determinação do sistema de aquecimento mais eficiente adotou como critério o atendimento de um perfil de consumo. O perfil de consumo foi de 200 litros de água a 43 °C, ocorrendo às 7 horas da manhã (30%) e entre 18 e 21 horas (70%). A altura da tomada de água de consumo (950mm), altura do termostato (680mm) e altura de reposição de água da rede (80mm) mantiveram-se iguais para todas as configurações simuladas.

Foram criadas vinte configurações que combinaram duas possibilidades de alturas de conexão dos coletores solares e quatro possibilidades de conexão do aquecedor a gás de passagem. A tabela 1 apresenta as alturas de conexão utilizadas nas vinte configurações simuladas.

Realizaram-se as simulações destas vinte configurações com o intuito de verificar a configuração mais eficiente. Todas as configurações atenderam ao mesmo perfil de consumo, utilizando os

mesmos componentes nas mesmas regulagens. A configuração que consumiu menos gás foi considerada a mais eficiente.

Tabela 1 – Alturas de conexões dos sistemas simulados em relação ao reservatório.

Configuração	Altura de entrada do coletor solar (m)	Altura de saída do coletor solar (m)	Altura de entrada do aquecedor a gás (m)	Altura de saída do aquecedor a gás (m)
1	0,08	1,1	0,08	0,2
2	0,08	1,1	0,08	0,5
3	0,08	1,1	0,08	0,8
4	0,08	1,1	0,08	1,1
5	0,08	1,1	0,2	0,5
6	0,08	1,1	0,2	0,8
7	0,08	1,1	0,2	1,1
8	0,08	1,1	0,5	0,8
9	0,08	1,1	0,5	1,1
10	0,08	1,1	0,8	1,1
11	0,08	0,5	0,08	0,2
12	0,08	0,5	0,08	0,5
13	0,08	0,5	0,08	0,8
14	0,08	0,5	0,08	1,1
15	0,08	0,5	0,2	0,5
16	0,08	0,5	0,2	0,8
17	0,08	0,5	0,2	1,1
18	0,08	0,5	0,5	0,8
19	0,08	0,5	0,5	1,1
20	0,08	0,5	0,8	1,1

2.1 Resultados das simulações

Inicialmente foram obtidos os resultados da eficiência do sistema solar de aquecimento, fração solar, energia agregada ao reservatório e consumo anual de gás, dos sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás utilizando dois e três coletores solares, com as mesmas características dos utilizados experimentalmente. Em seguida foram selecionadas as configurações mais eficientes, com dois e três coletores solares, para efetuar a simulação com 4 e 5 coletores. Todas as simulações adotaram reservatórios verticais em virtude de apresentarem melhores resultados que os reservatórios horizontais.

No intuito de verificar se todas as configurações foram capazes de atender ao perfil de demanda verificou-se a temperatura de consumo e a vazão de água fria dos arquivos gerados pela simulação. A temperatura de consumo não assumiu valores inferiores a 43° C. A vazão de água fria foi sempre maior que zero indicando que junto com a água retirada do reservatório sempre foi acrescentada água fria da rede para atender o consumo.

Os resultados da eficiência média do sistema solar das 20 configurações, com dois e três coletores solares apontaram que as configurações 8, 9, 18 e 19 apresentaram as maiores eficiências médias do sistema solar. Os resultados da fração solar das 20 configurações simuladas, também com dois e três coletores solares destacaram as configurações de número 5, 6, 7, 8, 9, 18 e 19 por apresentarem frações solares superiores a 45%, para dois coletores solares, e superiores a 60%, para três coletores solares. Esta elevada fração solar concorda com a elevada eficiência média do sistema solar destas configurações. Percebeu-se também que ao aumentar a quantidade de coletores de dois para três o incremento da fração solar das configurações 8 e 9 (16,3%) foi superior ao da configuração 19 (15%).

Adotando o critério de configuração mais eficiente como sendo aquela que apresenta o menor consumo anual de gás para um número fixo de coletores solares, a escolha recai sobre a configuração 9, com um consumo anual de gás de 61,3 m³, com dois coletores e 42,8 m³, com três coletores.

Posteriormente foi realizada a simulação com 4 coletores das configurações mais eficientes (5, 6, 7, 8, 9 e 19) verificando-se novamente os resultados da eficiência do sistema solar de aquecimento, fração solar, energia agregada ao reservatório e consumo anual de gás. Os resultados são apresentados na Tabela 2 e indicam a configuração 8 como sendo a mais eficiente, embora a diferença com a configuração 9 seja inferior a 1%. A configuração 19 apresenta a melhor eficiência média dos coletores solares, porém possui a maior energia térmica agregada ao reservatório e por consequência as maiores perdas.

Tabela 2 – Resultados das simulações das configurações mais eficientes utilizando 4 coletores solares.(média anual)

Configuração	Eficiência média do sistema solar (%)	Fração solar (%)	Energia térmica agregada ao tanque (MJ)	Consumo Gás (m ³)
5	35,8	71,6	11382	34,1
6	35,8	72	11258,3	33,1
7	35,5	71,8	11219,1	33,3
8	37,4	74,6	11340,3	30,3
9	36,9	74,1	11278,5	30,8
19	39,1	72	12291,4	36,3

Realizaram-se novas simulações aumentando o número de coletores e alterando a posição do termostato de 0,68 m para 0,88 m até atingir uma fração solar próxima a 100% nos meses de verão. Com 5 coletores solares as configurações 8, 9, 18 e 19 atingiram esta fração solar. A configuração 8 apresenta o menor consumo anual de gás para a simulação com 5 coletores, apresentada na Figura 2. Cabe ressaltar que esta configuração esteve entre as configurações que apresentaram os melhores resultados com 2, 3, 4 e 5 coletores solares.

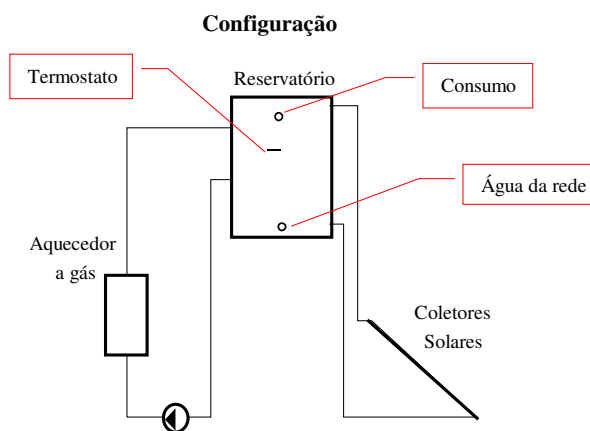


Figura 2 – Representação esquemática da configuração oito.

Os resultados das simulações são apresentados na Tabela 3. Nesta Tabela inseriram-se os resultados da melhor configuração que utiliza reservatório horizontal para demonstrar a superioridade de desempenho de sistemas que utilizam reservatórios verticais.

Tabela 3 - Resultados das simulações das configurações mais eficientes utilizando 5 coletores solares.(média anual)

Configuração	Eficiência média do Sistema solar (%)	Fração solar (%)	Energia térmica agregada ao tanque (MJ)	Consumo Gás (m³)
Horizontal	33,3	76,6	12365,8	30,5
8	34,6	85,9	11331,4	16,8
9	34,1	84,5	11346,9	18,5
18	37,2	83,6	12516,4	21,6
19	36,8	83,5	12406,4	21,6

3. COMPARAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

Efetuaram-se comparações entre outros tipos de sistemas de aquecimento água por acumulação que utilizassem quando possível os mesmos componentes. A Tabela 4 apresenta os valores dos componentes de uso comum dos sistemas utilizados em todos os sistemas de aquecimento de água. Foram considerados os mesmos valores de instalação do sistema solar, tubulação e isolamento independente do número de coletores.

Tabela 4 – Custo do sistema de aquecimento de água com energia solar (com 1 coletor solar).

Componentes	Valor (R\$)
Instalação sistema solar	600,00
Coletor Solar	550,00
Tubulação e isolamento (7m)	150,00
Reservatório 600 litros	1800,00
Total	3100,00

Foram simulados sistemas de aquecimento solar e gás, solar e eletricidade, somente gás e somente eletricidade. A Tabela 5 apresenta os valores dos componentes e da instalação do aquecedor a gás nos sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás. Sistemas de aquecimento com energia solar e eletricidade não necessitam de componentes complementares além dos apresentados nos sistemas de aquecimento com energia solar, pois a maioria dos fornecedores inclui a resistência elétrica no interior dos reservatórios.

Tabela 5 – Custo do sistema de aquecimento a gás.

Componentes	Valor (R\$)
Instalação aquecedor a gás	90,00
Bomba	60,00
Aquecedor a gás	400,00
Controlador do gás	150,00
Total	700,00

A Tabela 6 apresenta os custos de implantação, manutenção, operação e fração solar dos sistemas a serem comparados. O custo de manutenção complementar mencionado na Tabela 6 refere-se

apenas a diferença do custo de manutenção dos sistemas a gás em relação aos sistemas com eletricidade.

Tabela 6 – Custos dos sistemas de aquecimento de água por acumulação.

Sistemas	Custo de implantação (R\$)	Custo de manutenção complementar (R\$/ciclo de vida)	Período da manutenção	Custo de operação (R\$/mês)	Fração solar (% Média anual)
5 coletores e gás	6000	500	7,5 e 10 anos	6,92	85,9
4 coletores e gás	5450	500	7,5 e 10 anos	12,47	74,6
3 coletores e gás	4900	500	7,5 e 10 anos	19,45	60,4
2 coletores e gás	4350	500	7,5 e 10 anos	25,58	47,3
5 coletores e eletricidade	5300	0	0	16,04	85,9
4 coletores e eletricidade	4750	0	0	28,96	74,6
3 coletores e eletricidade	4200	0	0	45,16	60,4
2 coletores e eletricidade	3650	0	0	60,10	47,3
Gás	2500	500	7,5 e 10 anos	49,11	0
Eletricidade	1800	0	0	114,05	0

As manutenções anuais, inerentes a ambos os sistemas, foram desconsideradas na análise. Além da manutenção anual necessária em todos os sistemas, nos sistemas de aquecimento de água com gás se considerou uma revisão do aquecedor a gás a cada sete anos e meio no valor de R\$ 100,00 e uma substituição de bombas a cada dez anos.

4 MÉTODO ECONÔMICO

Existem vários métodos, que utilizam diferentes critérios, para avaliar economicamente sistemas de aquecimento. Segundo Duffie e Beckman (1991) a abordagem mais completa para efetuar análises econômicas de sistemas que operam com energia solar é utilizar o método LCC (Life Cycle Cost), Custo do Ciclo de Vida. O método LCC permite comparar custos futuros com custos atuais. Isto é realizado descontando todos os custos antecipados para uma base comum do valor presente, isto é, quanto deveria ser investido hoje, na melhor taxa de investimento, para ter os fundos avaliados no futuro para pagar todas as despesas.

As despesas a serem consideradas neste trabalho serão pagamento das parcelas do empréstimo do custo de implantação, custo de operação (combustível) e custo de manutenção. Por se tratar de instalação residencial não serão realizados cálculos de dedução de imposto de renda. Serão considerados 30 anos para o ciclo de vida do sistema. O valor residual dos materiais foi analisado, mas o efeito do mesmo foi tão pequeno no resultado que se decidiu não incluí-lo.

Foram considerados três cenários com taxas de juros mensais de empréstimo de 5%, 2% e 1%. A taxa de juros de mercado para investimento foi de 1% ao mês e a inflação mensal foi de 0,48%, respectivamente cenários 1, 2 e 3. O período do empréstimo foi de 36 meses e o de análise foi o mesmo período do ciclo de vida do equipamento (360 meses). O valor da parcela do empréstimo é calculado segundo o sistema francês de amortização PRICE, onde o valor das parcelas é constante, a parcela de juros decresce com o tempo, ao passo que a parcela de amortização aumenta com o tempo. O valor do energético foi calculado aplicando uma inflação de 0,48% ao mês, tanto para o gás (GLP) como para a eletricidade, e aplicado o método do valor presente sobre os valores inflacionados ao longo dos 30 anos da análise. Esta mesma abordagem foi realizada para o cálculo do valor presente da manutenção.

O valor da energia elétrica, acrescido do ICMS de 30%, assim como o valor do botijão de gás GLP, foram transformados na mesma base, ou seja, R\$/MJ e são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Custo dos combustíveis em R\$/MJ.

Combustíveis	R\$
kWh da eletricidade residencial	0,30436
kWh da eletricidade com 30% de ICMS	0,43480
MJ da eletricidade	0,120777
Botijão de gás de 13 kg de GLP	32,00
m³ do gás do Botijão de 13 kg	4,307692
MJ do Gás GLP de 13 kg	0,036745
Botijão de gás de 45 kg de GLP	127,00
m³ do gás do Botijão de 45 kg	4,938888
MJ do Gás GLP de 45 kg	0,042199
MJ do Gás Natural	0,031250

O método do valor presente, utilizado para trazer os gastos futuros para uma única data, utiliza a equação 1.

$$VP = \frac{A}{(1+d)^N} \quad (1)$$

onde A é o valor no período N, d é a taxa de juros do mercado, N é o número de pagamentos.

O somatório dos N termos dos valores presentes representa o valor presente de cada custo. O sistema economicamente mais vantajoso é o que apresenta o menor valor presente total. Para o cenário 1, que utiliza taxa de juros de financiamento de 5%, o sistema de aquecimento de água que apresenta o menor valor presente total é o sistema que utiliza gás (GLP), botijão de 45kg. O sistema que opera com dois coletores solares e gás apresenta o segundo menor custo com uma diferença de R\$ 800,00 para o primeiro. O sistema que opera apenas com gás utiliza o mesmo reservatório das demais configurações e adota a posição da configuração 8 para as alturas de conexão do aquecedor a gás. Utilizando-se gás natural ou gás GLP do botijão de 13 kg os resultados seriam ainda mais favoráveis para o sistema que utiliza apenas gás, visto o mais baixo custo destes combustíveis.

No cenário 2, taxa de juros de financiamento de 2% ao mês, o sistema que utiliza 5 coletores e eletricidade e o sistema que utiliza 4 coletores e gás são os mais vantajosos economicamente. O sistema com 5 coletores e eletricidade apresenta uma pequena vantagem sobre o sistema com 4 coletores e gás. O sistema que utiliza apenas energia elétrica para aquecimento é o que apresenta o custo mais elevado.

No terceiro cenário, taxa de juros de financiamento de 1% ao mês, a opção mais vantajosa é o sistema com cinco coletores solares e apoio elétrico. Percebe-se que existe pouca variação entre os valores presentes totais dos sistemas de aquecimento que operam com gás, seja com nenhum, 2, 3, 4 ou 5 coletores solares. Este cenário apresenta a configuração com cinco coletores e eletricidade como fonte de energia auxiliar como a configuração mais vantajosa, porém a diferença entre o valor da configuração que utiliza cinco coletores solares e gás como energia auxiliar é inferior a R\$ 33,00. Esta diferença é muito pequena podendo ser invertida facilmente em função de variações nas cotações de qualquer um dos componentes dos sistemas de aquecimento de água.

O custo de operação do sistema de aquecimento com cinco coletores solares e apoio a gás foi o mais baixo de todos os sistemas e o sistema sem coletor e com energia elétrica apresenta o maior custo de operação. Os resultados demonstram que um sistema de aquecimento pode ser economicamente mais interessante que outro em função da taxa de juros de financiamento em que a análise fora realizada. Nos três cenários apresentados utilizou-se uma abordagem simplificada ao adotar-se a taxa de inflação geral, projetada pelo governo para o ano de 2005, no cálculo do custo de operação dos sistemas de aquecimento ao longo de sua vida útil (30 anos).

A Tabela 8 apresenta os valores dos energéticos (gás GLP de botijão de 13 kg e eletricidade) praticados no estado do Rio Grande do Sul entre os anos de 2001 e 2004, assim como a taxa de inflação anual e mensal calculada para cada energético. Observa-se que as taxas de inflação dos combustíveis nestes últimos três anos foram superiores à taxa de inflação geral projetada utilizada nos cenários 1, 2 e 3.

Com os dados da Tabela 8 é possível calcular o valor médio da taxa de inflação mensal dos últimos três anos para a energia elétrica e para o gás, sendo 1,14% e 1,35%, respectivamente. Esta diferença de taxas de inflação entre os combustíveis cria um cenário pessimista para o GLP.

Tabela 8 – Valores da energia elétrica, botijão de gás e suas taxas de inflação.
(ANEEL, 2005 e ANP, 2005)

Ano	Valor da Energia Elétrica (R\$/MWh)	Taxa de inflação anual (%)	Taxa de inflação mensal (%)	Valor do botijão de 13 kg de gás GLP	Taxa de inflação anual (%)	Taxa de inflação mensal (%)
2004	274,16	15,86	1,23	31,40	4,06	0,33
2003	236,61	12,27	0,97	30,17	18,04	1,39
2002	210,75	15,62	1,22	25,56	32,06	2,34
2001	182,27	-	-	19,35	-	-

Elaboraram-se mais três cenários mantendo-se o valor presente do custo de manutenção. Os custos de operação foram recalculados com as taxas médias mensais de inflação calculadas a partir da Tabela 8. O custo de instalação foi calculado em função das taxas de financiamento utilizadas sendo 5% para o cenário 4, 2% para o cenário 5 e 1% para o cenário 6.

No cenário 4 o sistema que utiliza apenas gás aparece como sendo o mais vantajoso economicamente seguido do sistema com cinco coletores e eletricidade e do sistema com dois coletores solares e gás. No cenário 5 o sistema com cinco coletores e eletricidade e o sistema com cinco coletores e gás aparecem como sendo as melhores opções. O cenário 6 utiliza a mesma taxa de juros de financiamento e de investimento e os valores das taxas médias mensais dos combustíveis. Nesta situação os sistemas de menor custo são os que utilizam cinco coletores com energia elétrica e gás, apresentando o mesmo valor presente total.

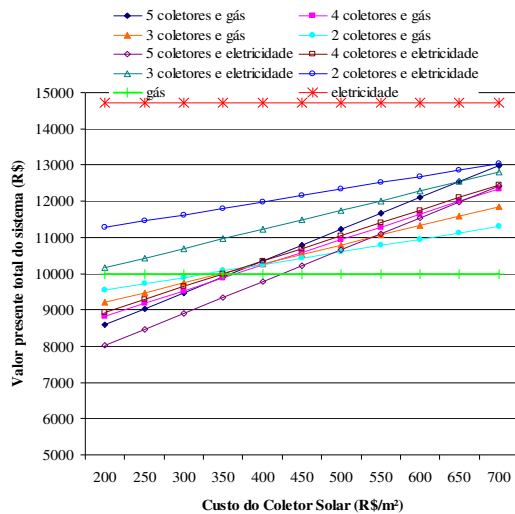
Os valores presentes calculados utilizaram o valor fixo de R\$ 550,00 para o m² dos coletores solares. As Figuras 3a e 3b apresentam os resultados dos valores presentes totais dos sistemas variando em função do valor do m² do coletor solar de R\$ 200,00 até R\$ 700,00. A curva de eficiência instantânea dos coletores solares foi mantida constante.

A Figura 3a utiliza os dados do cenário 1 e indica que até o valor de R\$ 400,00 por m² de coletor solar o sistema com 5 coletores e eletricidade torna-se mais vantajoso que o sistema apenas a gás. Reduzindo o valor do coletor solar para R\$ 350,00 os sistemas com 5, 4, 3 e 2 coletores solares e gás assim como o sistema com 4 coletores e eletricidade tornam-se alternativas mais atraentes que o sistema que utiliza somente gás.

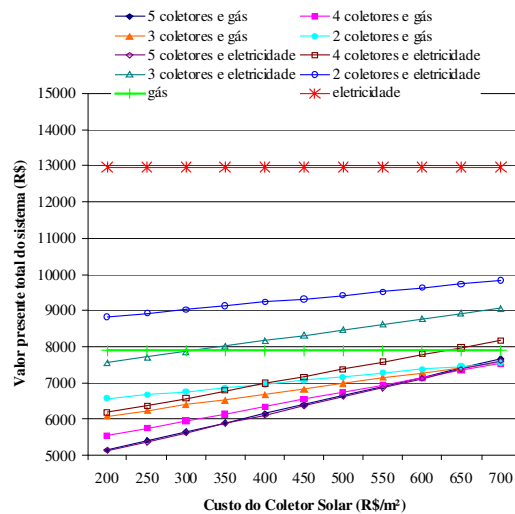
Embora não sejam apresentados na forma gráfica os resultados dos valores presentes totais dos sistemas utilizando os dados do cenário 2 indicam que os sistemas que utilizam coletor solar e gás são mais vantajosos que os sistemas que utilizam apenas gás para qualquer valor de coletor solar.

A Figura 3b apresenta os resultados dos valores presentes totais dos sistemas utilizando os dados do cenário 3 indicando a mesma tendência dos resultados do cenário 2. Verifica-se que todos os valores presentes totais dos sistemas que utilizam coletores solares e gás mantém-se muito próximos para o mesmo valor de coletor solar. O mesmo já não ocorre com os sistemas que utilizam coletores solares e eletricidade. Este fato indica que um erro no dimensionamento de um sistema de aquecimento de água com energia solar e apoio a gás não acarreta grandes ônus, porém com sistemas que utilizam apoio elétrico o prejuízo pode ser bem maior.

As Figuras 4a e b apresentam os resultados dos valores presentes totais dos sistemas de aquecimento de água em função dos valores dos coletores solares para os cenários 4 e 6, onde a taxa de inflação é maior que a projetada pelo governo e a inflação do gás é maior que da eletricidade.

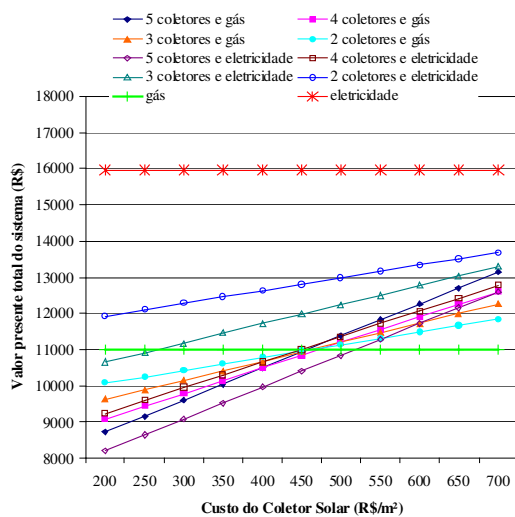


(a)

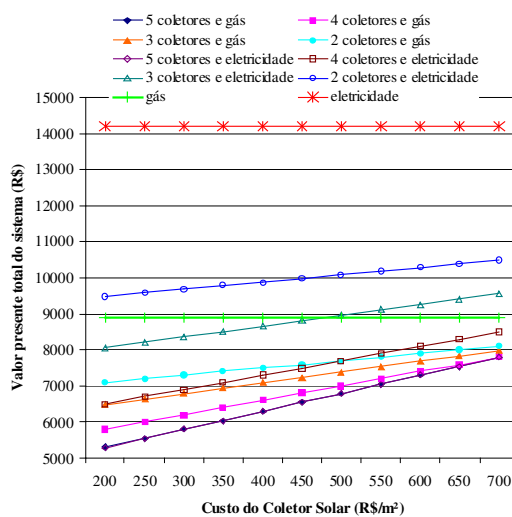


(b)

Figura 3 a e b– Relação entre o VP total dos sistemas e o custo do coletor solar (cenários 1 e 3)



(a)



(b)

Figura 4 a e b– Relação entre o VP total dos sistemas e o custo do coletor solar (cenários 4 e 6)

A Figura 4a indica o sistema que utiliza apenas gás como sendo o mais vantajoso a partir de R\$ 500,00 o m² do coletor solar. Abaixo deste valor os sistemas com cinco coletores e eletricidade assim como o sistema com cinco coletores e gás demonstram ser a melhor opção. Acima de R\$ 500,00 os sistemas com dois e três coletores e gás tornam-se mais interessantes que os demais sistemas, perdendo apenas para o sistema que utiliza apenas gás.

No cenário 5, não representado graficamente, os sistemas com cinco coletores solares que utilizam tanto eletricidade como gás são os sistemas mais interessantes para qualquer valor de coletor solar. Para o valor de R\$ 700,00 o m² de coletor solar os sistemas com 2, 3, 4 e 5 coletores solares e gás assim como o sistema com 5 coletores solares e eletricidade assumem o mesmo valor presente total. Neste caso pode-se optar em qualquer um destes sistemas.

Na Figura 4 b os sistemas com cinco coletores e gás e os sistemas com cinco coletores e eletricidade são a melhor opção para qualquer valor de coletor solar, além de apresentarem exatamente os mesmos valores presentes entre si. A partir de R\$ 550,00 o m² do coletor solar os sistemas com 2, 3 e 4 coletores solares e gás convergem para o mesmo valor dos sistemas mais vantajosos.

5 CONCLUSÃO

Vinte configurações foram ensaiadas com 2, 3, 4 e 5 coletores, todas atendendo um mesmo perfil de demanda. As configurações que apresentaram menores consumos de energia auxiliar caracterizaram-se por apresentar o termostato em uma posição próxima à entrada e à saída de água do aquecedor a gás, ou logo acima do retorno da água do aquecedor a gás. Desta forma o aquecedor a gás exerce uma influência direta sobre o termostato. A localização do termostato esteve sempre abaixo da posição da tomada de água para consumo, garantindo o fornecimento de água na temperatura ajustada para o consumo.

Foram realizadas análises econômicas com sistemas de aquecimento por acumulação que utilizam diferentes tipos de energia. A análise econômica foi realizada para um período de 30 anos segundo seis cenários econômicos. Os valores dos componentes utilizados na montagem experimental serviram de base para a análise econômica. O melhor sistema sob o ponto de vista econômico oscilou entre o sistema que utilizou somente aquecedor a gás, sistema com dois coletores solares e gás, sistema com 4 coletores e gás, sistemas com cinco coletores e gás e sistemas com cinco coletores e eletricidade. A oscilação em torno destes sistemas foi função dos cenários econômicos elaborados. Os sistemas de aquecimento de água utilizando energia solar assim como os que utilizam gás demonstraram serem atrativos economicamente em diversos cenários apesar de apresentarem um alto custo inicial.

REFERÊNCIAS

- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica 2005. <http://www.aneel.gov.br>.
ANP – Agência Nacional do Petróleo. 2005 <http://www.anp.gov.br>.
Duffie, J. A. and Beckman, W. A., 1991, “Solar Engineering of Thermal Processes”, Wiley, New York, U.S.A.
Krenzing, A., Lafay, J.M., 2002. “Análise Experimental de um Sistema de Aquecimento de Água com Energia Solar e Gás”, IX Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas, Caxambu, MG, Brasil.
Schroder, M., Reddemann, B., 1982. “Three Different Criteria To Evaluate The Economics Of Solar Water Heating Systems”, Solar Energy, Vol. 29, No 6, pp. 549-555. Duffie, J. A. and Beckman, W. A., 1991, Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons.

ECONOMICAL ANALYSIS OF WATER HEATING SYSTEMS

Abstract. *In this work a simplified economic analysis of diverse systems of water heating will be taken, attending a determined consumption profile considering the climatic data of Porto Alegre. An Water heating system with solar energy and gas is proposed in this work. This system was assayed experimentally under diverse configurations getting bigger efficiency with a certain configuration, which will be presented. The most efficient configuration was simulated, with the program “AQUESOLGÁS”, and its results were compared with the results of simulations with different systems of water heating that attended the same consumption profile. The implantation and operation costs of each heating system were determined from the results of the simulations. For having differences of implantation and operation costs among the simulated systems, a method was used that allowed to standardize the values for one same date in order to compare them. The study it was taken considering three scenes that used different interests taxes and energetic ones readjustment taxes. The loan period was 36 months and the analysis period was 360 months.*

Key words: Water heating and Economic Analysis.