

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ÁREA COLETORA NA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR

Othon Lucas Procópio – othon.procopio@gmail.com

André G. Ferreira – agferreira@deii.cefetmg.br

Ivan M. Corgozinho – ivanmage-la@yahoo.com.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Lucas P. P. Farias – lppf@ig.com.br

Elizabeth Marques Duarte Pereira – bethduarte00@gmail.com

Centro Universitário UNA

Luís Guilherme Monteiro Oliveira – luis.monteiro@pucminas.br

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Energia

Resumo. *Sistemas de aquecimento solar de água (SAS) com circulação natural tem se difundido em larga escala na região metropolitana de Belo Horizonte, sendo instalados, principalmente, em residências unifamiliares. Até mesmo os programas sociais habitacionais em todo o Brasil já contam com políticas próprias para inclusão do uso de energia solar para aquecimento de água. Através deste trabalho apresenta-se uma metodologia aplicada aos SAS de até 1.000 litros de água armazenada, para avaliar a influência da área coletora no tempo de retorno e na taxa interna de retorno desses sistemas de aquecimento solar. Demonstrando que, os SAS avaliados com o melhor custo-benefício tem uma relação de 57 a 75 litros/m², distanciando-se da relação amplamente empregada pela maioria dos fabricantes de SAS no Brasil que é de 100 litros/m².*

Palavras-chave: *Aquecimento Solar, Fração Solar, Investimento.*

1. INTRODUÇÃO

O uso da energia solar no Brasil teve seu início em 1970 com a crise mundial do Petróleo e em 1990 surgiram os primeiros projetos sociais de uso de aquecimento solar no país (Mesquita et al., 2014). Em 2012 o Brasil era o quinto maior mercado de energia solar do mundo e ampliou seu parque em 806 MW térmicos, o equivalente a 1.151,428 m² de coletores solares instalados em território nacional (Dasol, 2015). Em 2013 o Brasil teve um acréscimo aproximado de 1,3 milhões de m², com área coletora total acumulada chegando a 9,73 milhões de metros quadrados (Dasol, 2015).

A penetração do uso de energia solar para aquecimento de água nas residências brasileiras no ano de 2007 ainda era de apenas 0,4%, enquanto o aquecimento de água através da eletricidade representava 73,5 %, sendo o chuveiro elétrico o principal equipamento utilizado (Vasconcellos e Limberger, 2012). Apesar da energia solar ainda ser pouco utilizada como fonte de aquecimento de água no Brasil, de 1982 a 2010 o mercado brasileiro apresentou crescimento médio de 20% ao ano (Vasconcellos e Limberger, 2012). Entretanto, de 2011 a 2013 o mercado de aquecimento solar apresentou crescimento médio de apenas 12,7 % (Dasol, 2015). No ano de 2013, a energia solar térmica no Brasil foi responsável por 1,03% de toda energia gerada (Mesquita et al., 2014).

A grande movimentação do mercado brasileiro de aquecimento solar se encontra na região Sudeste que foi responsável por 73,84% das vendas em 2012 e 56,60% em 2013, sendo que 60% das vendas ocorreram no setor residencial em 2013 (Dasol, 2015). A tecnologia dos coletores solares planos faz uso de uma fonte de energia renovável e inesgotável na escala de tempo humana, e a partir de sua instalação não produção de gases do efeito estufa como dióxido de carbono (CO₂). É geradora de benefícios sociais e somente em 2013 gerou 42.000 empregos diretos no Brasil, além de possuir 98% de todo o seu insumo produzido em território nacional (Mesquita et al., 2014).

Os sistemas de aquecimento solar (SAS) com circulação natural (termossifão), nos quais o volume de água armazenada em seus reservatórios térmicos (“boilers”) é de até 1.000 litros (Rosa Bernardes, 2010), utilizam o gradiente de densidade da água, gerado pela exposição dos coletores solares planos à radiação solar, o que promove a circulação da água por todo o sistema. Em 2013, em todo o mundo 75% dos SAS instalados eram de circulação natural (termossifão) e 25% foram de circulação forçada por bombeamento (Mauthner e Weiss). Os SAS que utilizam o termossifão são excelentes para aplicação residencial, pois, possuem baixo custo de implantação inicial em relação ao sistema bombeado, o que promove o fornecimento de água quente mesmo quando falta eletricidade, além de terem um custo de manutenção menor. Entretanto, sua instalação deve ser bem criteriosa, pois é muito sensível a perdas de carga na instalação e a formação de pontos propícios ao acúmulo de ar (sifões) que podem prejudicar ou interromper a circulação natural da água pelo sistema, não devendo possuir mais do que 14 metros totais equivalentes de tubulação entre o reservatório e os coletores (Abrava, 2008). Alguns estudos como o de Siqueira e Krenziger (1997) propuseram uma modelagem consistente para estimar a eficiência térmica de sistemas solares operando em termossifão, encontrando alternativa rápida e simples para extrair a eficiência térmica desses sistemas, sem o uso de softwares de

simulação. Já Duffie e Beckman (2006) e Shariyah e Lof (1997) avaliaram como proporção ótima a relação de 50 a 75 litros/m² para instalações de sistemas de aquecimento solar, principalmente os bombeados.

Geralmente, os SAS são instalados com resistências elétricas embutidas no reservatório térmico, que servem para complementar a energia e para manter a água aquecida, quando há excesso de consumo de água quente ou em dias com baixa disponibilidade de radiação solar. Em outros casos, o usuário, pode fazer o uso do próprio chuveiro elétrico para realizar o aquecimento auxiliar quando a água que vem do sistema de aquecimento solar estiver abaixo da temperatura de banho desejada, que é em torno dos 40° C (Vasconcellos e Limberger, 2012).

Dessa forma, o presente trabalho, procura fornecer uma metodologia para que projetistas e empresas fabricantes de SAS, possam levar ao usuário final um produto com o melhor custo benefício possível diante das características únicas de cada instalação.

2. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ÁREA COLETORA NO CUSTO-BENEFÍCIO DOS SAS

Atualmente no mercado brasileiro, os sistemas de aquecimento solar em termossifão, são comercializados geralmente de 200 em 200 litros, até o volume de 1.000 litros. Com uma relação de 1m² de área coletora para cada 100 litros de água armazenados, independente das condições climáticas da região.

O que se propõem através desse trabalho, é uma metodologia para melhorar a atual relação de dimensionamento dos Sistemas de Aquecimento Solar (SAS), aplicada à SAS de pequeno porte. Através da avaliação da relação entre os parâmetros financeiros de Valor Presente Líquido – VPL, Taxa Interna de Retorno – TIR e Tempo de Retorno Descontado, com a Fração Solar dos SAS.

O VPL pode ser entendido como todos os fluxos de caixa do investimento ao longo de sua vida útil, descontados no tempo presente à taxa do custo de oportunidade (Lapponi, 2007) e é expresso em uma unidade monetária (Reais). A TIR representa o quanto o investimento remunerou o usuário final (investidor) durante toda a sua vida útil e é geralmente expressa em porcentagem mensal (% a.m) ou anual (% a.a). Já o Tempo de Retorno representa o tempo necessário para recuperar o capital investindo considerando o valor do dinheiro no tempo (Lapponi, 2007).

A Fração Solar, expressa a parcela da quantidade total de energia térmica necessária para aquecer e manter aquecido à temperatura de armazenamento escolhida, toda a água contida no reservatório térmico, que os coletores solares serão capazes de fornecer nas condições de instalação em que se encontrarem (Duffie e Backman, 2006). A parcela de energia que não é fornecida pelos coletores solares é fornecida pelo auxiliar do SAS, seja ele elétrico, a gás, etc.

A Fração Solar, e os parâmetros financeiros, foram gerados pelo software de dimensionamento de sistemas de aquecimento solar de água, DIMENSOL, desenvolvido pela Centrais Elétricas Brasileiras S.A (Eletrobrás) e a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC –Minas), no âmbito do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). O DIMENSOL utiliza-se do método da Carta-F (Abrava, 2008), que considera os dados climáticos das regiões, as características de instalação SAS, a temperatura de consumo, volume armazenado de água, além dos dados de desempenho térmico dos coletores solares para estimar a fração solar média anual da instalação. É preciso realizar o cadastro dos coletores solares no DIMENSOL, informando os dados de desempenho térmico dos coletores, que são o $F_r(\tau\alpha)_n$ e F_{rU_L} (Duffie e Beckman, 2006), tais dados foram obtidos através de documento de classificação de coletores solares do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro, 2015), de onde se retirou a média aritmética para todos os coletores classificados como A.

Para gerar os parâmetros financeiros de VPL, TIR e Tempo de Retorno, além dos dados de instalação, é necessário informar o custo de cada configuração do SAS, para isso, foi realizada uma pesquisa do custo do SAS de pequeno porte, com volume de armazenamento térmico entre 400 e 1000 litros, com alguns fabricantes e revendedores desses sistemas na região metropolitana de Belo Horizonte e no Brasil. Para cada volume armazenado, diferentes áreas coletoras foram utilizadas para obter distintas frações solares e diferentes parâmetros financeiros, para então encontrar a relação entre esses e a fração solar.

Cuidado especial deve ser tomado ao informar no DIMENSOL, quais equipamentos na residência utilizam o sistema de aquecimento solar. Neste trabalho, os chuveiros elétricos é que são substituídos pelo SAS com o auxiliar elétrico. Dessa forma, é preciso considerar o tempo de uso diário desses chuveiros na residência em função do número de banhos que deixam de ser atendidos pelo chuveiro elétrico e passam a ser supridos pelo aquecimento solar com auxiliar elétrico. Portanto, o volume do SAS, tem que ser condizente com o volume de água quente gasto em cada banho com o chuveiro elétrico, para não gerar uma comparação equivocada, ou seja, o SAS deve ser dimensionado para suprir a quantidade real de banhos tomados (volume de água gasto). Como os volumes dos SAS são conhecidos e determinados, um cálculo reverso foi realizado a fim de se determinar uma potência média do chuveiro elétrico e o número de banhos possíveis de se atender com cada volume armazenado.

$$\dot{m}_f + \dot{m}_q = \dot{m}_c \quad (1)$$

$$\dot{m}_f c_p (T_c - T_f) + \dot{m}_q c_p (T_c - T_q) = 0 \quad (2)$$

$$P_E = \dot{m}_c c_p (T_c - T_f) \quad (3)$$

- \dot{m}_f – Vazão mássica de água fria para mistura [kg/s]
 \dot{m}_q – Vazão mássica de água quente para mistura [kg/s]
 \dot{m}_c – Vazão mássica de água de consumo [kg/s]
 T_c – Temperatura da água de consumo, igual a 40 °C [°C]
 T_f – Temperatura de água fria para mistura, igual a 20 °C [°C]
 T_q – Temperatura de água quente para mistura, igual a 43 °C [°C]
 c_p – Calor específico médio da água a pressão constante, igual $4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$.
 P_E – Potência elétrica do chuveiro (kW).

Admitiu-se na resolução das equações acima uma queda de temperatura na água no reservatório até o ponto de misturada no chuveiro de até 2 °C.

A resolução das Eq. (1), Eq. (2) e Eq. (3) para temperatura de armazenamento de 45 °C, resulta em $\dot{m}_q = 0,0724 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ (4,34 l/min), que deverá ser utilizada para determinar a quantidade de banhos máxima que cada volume de água armazenada nos reservatórios térmicos poderia fornecer. E em $P_E = 7 \text{ kW}$, que é a potência elétrica do chuveiro a ser utilizada para determinar a quantidade de energia elétrica que está sendo substituída por energia solar com auxiliar elétrico, na vazão de 5 l/min com tempo de banho de 10 minutos, de forma que a água possa entrar fria no chuveiro e ser aquecida até 40 °C.

Os dados referentes aos coletores solares planos e as condições de instalação dos SAS simulados bem como os parâmetros financeiros necessários a simulação estão apresentados na Tab. 1, Tab. 2 e Tab. 3. É importante salientar que os dados climáticos utilizados foram os da cidade e de Belo Horizonte, Minas Gerais, já inclusos na biblioteca do DIMENSOL e que a inflação não foi considerada nos cálculos, já que os mesmos foram realizados utilizando o que o DIMENSOL disponibiliza.

Tabela 1 – Parâmetros para simulação no Dimensol

$F_r(\tau\alpha)_n$	0,755
$F_r U_L$	6,137
Refletância	0,14
γ	180°
β	30°
Vida útil	20 anos
Manutenção do Sistema (% Investimento)	2 % do investimento total
Aumento da Energia Elétrica	6,0 % a.a
Custo de Oportunidade	0,75 % a.m
Desembolso Inicial	1/6 Custo do SAS
Número de Parcelas	5

γ – Ângulo azimutal, refere-se à orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico, igual 180° quando coletores alinhados com este.

β – Ângulo de inclinação dos coletores solares em relação ao plano horizontal.

$F_r(\tau\alpha)_n$ – Produto do fator de remoção de calor do coletor pela transmissividade do vidro e absorvidade da tinta do absorvedor para um ângulo de incidência normal ao plano dos coletores;

$F_r U_L$ – Produto do fator de remoção e do coeficiente global de perdas térmicas do coletor.

Tabela 2 – Parâmetros para simulação no Dimensol com temperatura de armazenamento de 45 °C

Volume armazenado	T_f	T_c	T_q	T_{armz}	\dot{m}_q	P_E	Tempo de banho	Nº banhos possíveis	Horas de chuveiro ligado	Energia consumida no chuveiro diariamente
400 litros	20 °C	40 °C	43 °C	45 °C	4,34 l/min	7 kW	10 min	9,2	1,5 h	10,73 kWh
600 litros								13,8	2,3 h	16,10 kWh
800 litros								18,4	3,1 h	21,47 kWh
1000 litros								23	3,83 h	26,83 kWh

3. RESULTADOS

Os resultados das relações entre os parâmetros financeiros VPL, TIR e Tempo de retorno e a Fração solar, simulados, de acordo com os parâmetros apresentados nas Tab. 1 e Tab. 2, são apresentados nas Tab. 3, Tab. 4, Tab. 5 e Tab. 6.

Tabela 3 – Relação Tempo de Retorno e TIR versus Fração Solar para SAS 400 litros com a variação do custo da energia elétrica.

Volume	400 litros						
Nº Coletores	1un	2un	3un	4un	5un	6un	7un
Custo	R\$						
Fração solar	2.988,00	3.396,00	3.804,00	4.212,00	4.620,00	5.028,00	5.436,00
	45,26%	71,74%	85,79%	92,03%	94,67%	97,76%	100,00%
Tarifa de energia elétrica de 1,0 R\$/kWh							
VPL	R\$ 19.180,91	R\$ 33.625,23	R\$ 41.068,06	R\$ 44.106,23	R\$ 45.118,26	R\$ 46.380,64	R\$ 47.168,67
TIR	5,34% a.m	8,11% a.m	8,88% a.m	8,60% a.m	8,00% a.m	7,54% a.m	7,10% a.m
Tempo de Retorno	24 meses	16 meses	15 meses	16 meses	17 meses	17 meses	18 meses
Tarifa de energia elétrica de 0,92 R\$/kWh							
VPL	R\$ 17.367,52	R\$ 30.618,21	R\$ 37.427,53	R\$ 40.184,56	R\$ 41.077,55	R\$ 42.200,85	R\$ 42.887,75
TIR	4,89% a.m	7,37% a.m	8,06% a.m	7,81% a.m	7,27% a.m	6,87% a.m	6,47% a.m
Tempo de Retorno	27 meses	18 meses	16 meses	17 meses	18 meses	19 meses	20 meses
Tarifa de energia elétrica de 0,83 R\$/kWh							
VPL	R\$ 15.327,46	R\$ 27.235,31	R\$ 33.331,93	R\$ 35.772,68	R\$ 36.531,74	R\$ 37.498,58	R\$ 38.071,72
TIR	4,40% a.m	6,57% a.m	7,17% a.m	6,95% a.m	6,48% a.m	6,13% a.m	5,78% a.m
Tempo de Retorno	30 meses	20 meses	18 meses	19 meses	20 meses	21 meses	22 meses

Tabela 4 – Relação Tempo de Retorno e TIR versus Fração Solar para SAS 600 litros com variação do custo da energia elétrica.

Volume	600 litros						
Nº Coletores	2un	3un	4un	5un	6un	7un	8un
Custo	R\$						
Fração Solar	R\$ 3.768,00	R\$ 4.176,00	R\$ 4.584,00	R\$ 4.992,00	R\$ 5.400,00	R\$ 5.808,00	R\$ 6.216,00
	55,78%	71,74%	82,19%	88,53%	92,03%	93,94%	95,45%
Tarifa de energia elétrica de 1,0 R\$/kWh							
VPL	R\$ 38.673,43	R\$ 51.683,85	R\$ 60.043,55	R\$ 64.920,86	R\$ 67.405,35	R\$ 8.542,04	R\$ 9.347,20
TIR	8,42% a.m	10,31% a.m	10,99% a.m	10,90% a.m	10,41% a.m	9,78% a.m	9,20% a.m
Tempo de Retorno	16 meses	13 meses	13 meses	13 meses	13 meses	14 meses	15 meses
Tarifa de energia elétrica de 0,92 R\$/kWh							
VPL	R\$ 35.227,83	R\$ 47.159,33	R\$ 54.812,17	R\$ 59.261,21	R\$ 61.508,86	R\$ 62.516,53	R\$ 63.219,19
TIR	7,65% a.m	9,32% a.m	9,92% a.m	9,84% a.m	9,41% a.m	8,85% a.m	8,34% a.m
Tempo de Retorno	17 meses	15 meses	14 meses	14 meses	14 meses	15 meses	16 meses
Tarifa de energia elétrica de 0,83 R\$/kWh							
VPL	R\$ 31.351,53	R\$ 42.069,25	R\$ 48.926,87	R\$ 52.894,10	R\$ 54.875,31	R\$ 55.737,83	R\$ 56.325,18
TIR	6,81% a.m	8,26% a.m	8,77% a.m	8,71% a.m	8,33% a.m	7,87% a.m	7,41% a.m
Tempo de Retorno	19 meses	16 meses	15 meses	15 meses	16 meses	17 meses	18 meses

Tabela 5 – Relação Tempo de Retorno e TIR versus Fração Solar para SAS 800 litros com variação do custo da energia elétrica.

Volume	800 litros						
Nº Coletores	3un	4un	5un	6un	7un	8un	9un
Custo	R\$ 4.549,00	R\$ 4.957,00	R\$ 5.365,00	R\$ 5.773,00	R\$ 6.181,00	R\$ 6.589,00	R\$ 6.997,00
Fração Solar	60,37%	71,74%	80,02%	85,79%	89,62%	92,03%	93,54%
Tarifa de Energia Elétrica de 1,0 R\$/kWh							
VPL	R\$ 56.354,67	R\$ 68.692,06	R\$ 77.545,60	R\$ 83.577,72	R\$ 87.889,50	R\$ 89.654,06	R\$ 90.884,60
TIR	10,32% a.m	11,73% a.m	12,32% a.m	12,34% a.m	13,10% a.m	11,48% a.m	10,88% a.m
Tempo de Retorno	13 meses	12 meses	12 meses	12 meses	11 meses	12 meses	13 meses
Tarifa de Energia Elétrica de 0,92 R\$/kWh							
VPL	R\$ 51.421,66	R\$ 62.733,99	R\$ 70.841,15	R\$ 76.352,62	R\$ 79.843,40	R\$ 81.866,69	R\$ 82.960,70
TIR	9,33% a.m	10,57% a.m	11,09% a.m	11,11% a.m	10,82% a.m	10,35% a.m	9,83% a.m
Tempo de Retorno	15 meses	13 meses	14 meses				
Tarifa de Energia Elétrica de 0,83 R\$/kWh							
VPL	R\$ 45.872,04	R\$ 56.031,15	R\$ 63.298,65	R\$ 68.224,38	R\$ 71.327,10	R\$ 73.105,89	R\$ 74.046,31
TIR	8,26% a.m	9,33% a.m	9,78% a.m	9,79% a.m	9,54% a.m	9,14% a.m	8,70% a.m
Tempo de Retorno	16 meses	15 meses	14 meses	14 meses	14 meses	15 meses	15 meses

Tabela 6 – Relação Tempo de Retorno e TIR versus Fração Solar para SAS 1000 litros com variação do custo da energia elétrica.

Volume	1000 litros							
Nº Coletores	4un	5un	6un	7un	8un	9un	10 un	11 un
Custo	R\$ 5.167,00	R\$ 5.575,00	R\$ 5.983,00	R\$ 6.391,00	R\$ 6.799,00	R\$ 7.207,00	R\$ 7.615,00	R\$ 8.023,00
Fração Solar	62,92%	71,74%	78,58%	83,75%	87,53%	90,22%	92,03%	93,29%
Tarifa de energia elétrica de 1,0 R\$/kWh								
VPL	R\$ 74.643,04	R\$ 86.589,96	R\$ 95.751,31	R\$ 102.553,39	R\$ 107.401,72	R\$ 110.687,70	R\$ 112.792,46	R\$ 114.089,44
TIR	12,31% a.m	13,43% a.m	13,93% a.m	13,97% a.m	13,71% a.m	13,25% a.m	12,68% a.m	12,08% a.m
Tempo de Retorno	12 meses	11 meses	11 meses	11 meses	11 meses	11 meses	11 meses	12 meses
Tarifa de energia elétrica de 0,92 R\$/kWh								
VPL	R\$ 68.189,28	R\$ 79.142,37	R\$ 87.532,72	R\$ 93.752,55	R\$ 98.174,93	R\$ 101.159,94	R\$ 103.058,24	R\$ 104.213,38
TIR	11,08% a.m	12,06% a.m	12,49% a.m	12,54% a.m	12,31% a.m	11,90% a.m	11,41% a.m	10,88% a.m
Tempo de Retorno	13 meses	12 meses	12 meses	11 meses	12 meses	12 meses	12 meses	13 meses
Tarifa de energia elétrica de 0,83 R\$/kWh								
VPL	R\$ 60.928,80	R\$ 70.763,82	R\$ 78.286,81	R\$ 83.851,60	R\$ 87.794,79	R\$ 90.441,22	R\$ 92.107,25	R\$ 93.102,81
TIR	9,77% a.m	10,60% a.m	10,97% a.m	11,01% a.m	10,81% a.m	10,47% a.m	10,50% a.m	9,60% a.m
Tempo de Retorno	14 meses	13 meses	13 meses	13 meses	13 meses	13 meses	14 meses	14 meses

As Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3 e Fig. 4, abaixo, demonstram graficamente a relação existente entre os parâmetros financeiros e a Fração Solar retirados das Tab. 4, Tab. 5, Tab. 6 e Tab. 7, respectivamente - para as condições de temperatura de armazenamento de 45 °C, com a variação do valor da tarifa de eletricidade no custo-benefício dos SAS.

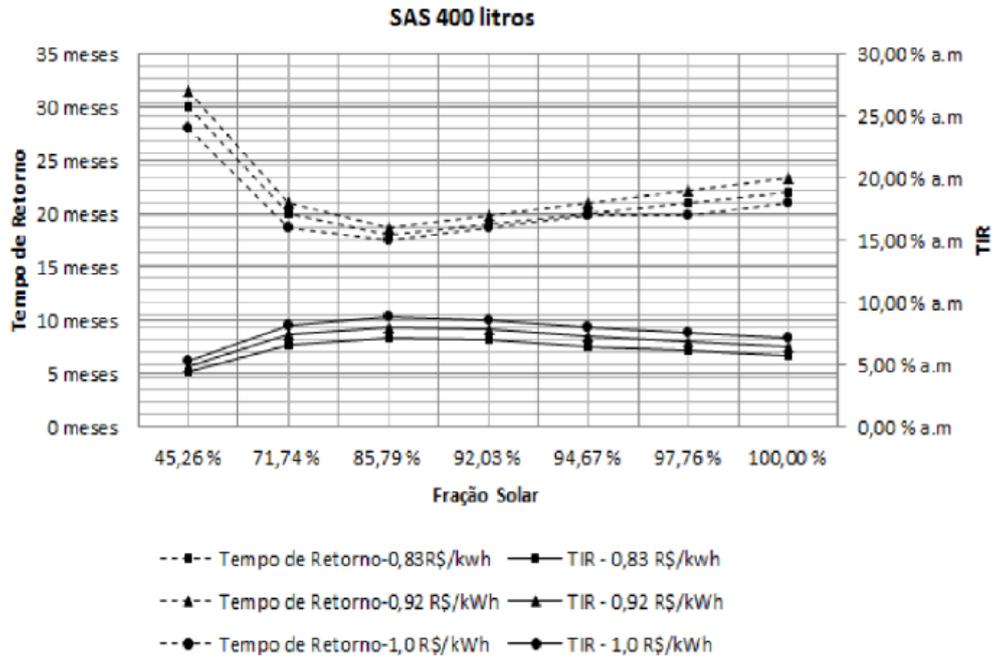


Figura 1 – Relação Tempo de Retorno e TIR versus Fração Solar para SAS 400 litros com temperatura de armazenamento de 45 °C e com variação do custo da energia elétrica.

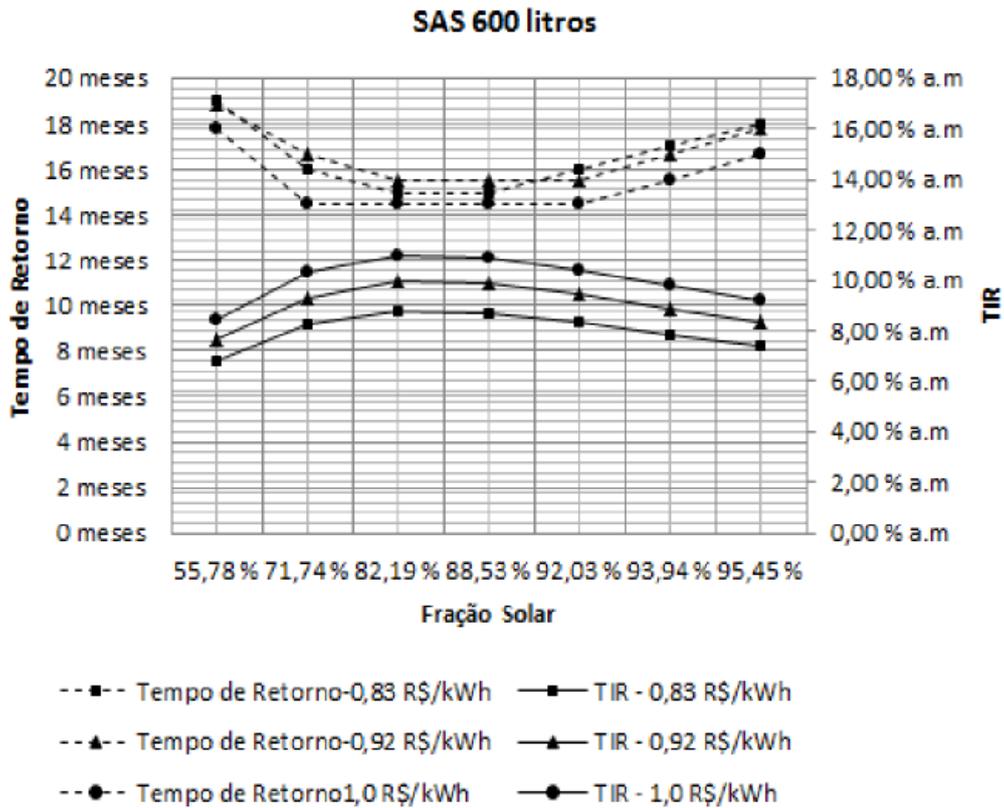


Figura 2 – Relação Tempo de Retorno e TIR versus Fração Solar para SAS 600 litros com temperatura de armazenamento de 45 °C e com variação do custo da energia elétrica.

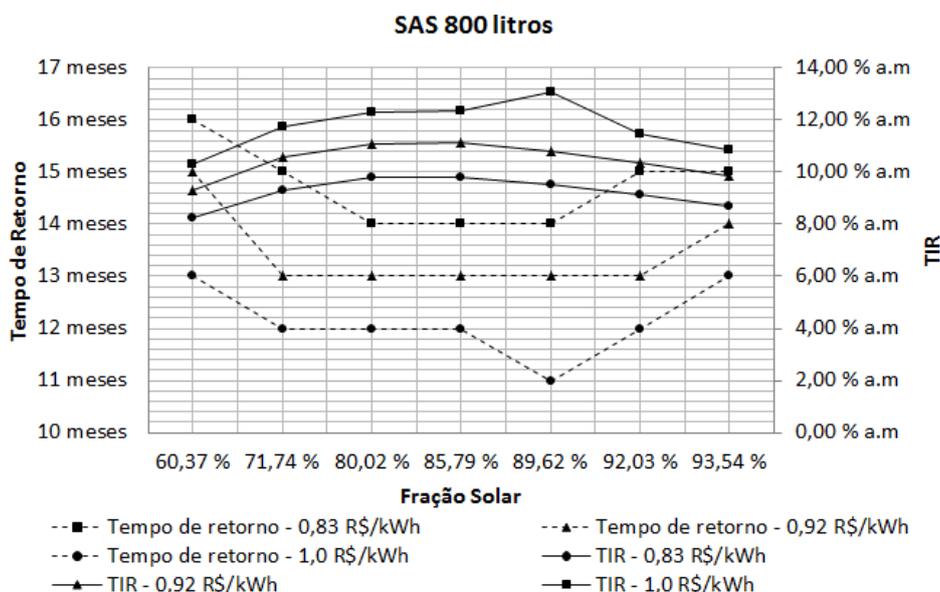


Figura 3 – Relação Tempo de Retorno e TIR versus Fração Solar para SAS 800 litros com temperatura de armazenamento de 45 °C e com variação do custo da energia elétrica.

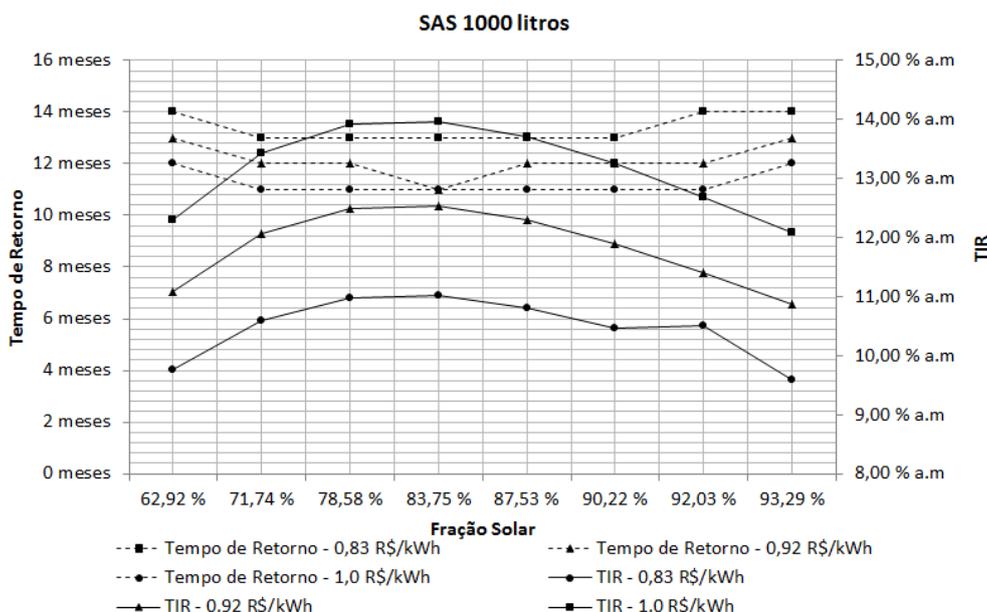


Figura 4 – Relação Tempo de Retorno e TIR versus Fração Solar em SAS 1000 litros com temperatura de armazenamento de 45 °C e com variação do custo da Energia Elétrica.

3.1 Discussão dos resultados

Como pode ser observado nas Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3 e Fig. 4, existe um compromisso entre TIR em base mensal (% a.m) e o Tempo de retorno, onde se observa que para cada volume dos SAS analisados, qual é a fração solar (quantidade de coletores) desejada para se obter o melhor custo-benefício. Essa área coletora é representada pela fração solar e acontece no ponto em que o Tempo de Retorno tem o menor valor e a TIR o seu maior valor. Observa-se nas Tab. 3, Tab. 4, Tab. 5 e Tab. 6, com mais detalhes, as quantidades de coletores solares que devem compor cada uma das instalações para se extrair o melhor custo-benefício na aquisição dos SAS diante das condições simuladas.

Quanto à relação do Valor Presente Líquido – VPL e a Fração Solar, devido à característica do VPL de representar todos os fluxos de caixa futuros do projeto (investimento) descontados à taxa de custo de oportunidade no valor presente, o mesmo não apresenta mínimos e máximos como no caso da TIR e do Tempo de Retorno Descontado. Na verdade, independente das condições simuladas ou dos valores da tarifa de energia elétrica ou custo de aquisição do sistema de aquecimento solar, o VPL tende sempre a aumentar de forma não linear com a variação da fração solar (aumento da área coletora). A avaliação que pode ser feita é que projetos mais rentáveis, ou seja, com menor Tempo de Retorno e maior TIR apresentam VPL maior e vice-versa. Portanto, aparentemente não existe um ponto máximo ou mínimo para o VPL

como há para TIR e Tempo de Retorno, quando correlacionados com a Fração Solar, como pode ser verificado nas Tab. 3, Tab. 4, Tab. 5 e Tab. 6.

Estudos futuros, nos quais sejam avaliadas outras variáveis da instalação, como inclinação, ângulo azimutal e variações mais extensas dos custos de eletricidade, do custo de oportunidade, são sugeridos como forma de avaliar as variações do custo-benefício de instalações de SAS como as apresentadas.

4. CONCLUSÃO

Conclui-se que, uma relação ótima de área coletora para um SAS termossifão provavelmente não exista, pois, a área coletora (fração solar) que apresenta melhor custo-benefício está atrelada as condições de instalação do SAS, como a orientação, inclinação e desempenho térmico dos coletores, as características meteorológicas da região em que será instalado, os custos da energia elétrica e custos de aquisição do SAS. Entretanto, existe uma faixa mais rentável que está em torno dos 57 a 75 litros/m² e que está de acordo com o proposto por Duffie e Beckman (2006) e Shariah e Lof (1997), que apontam uma relação ideal de 50 a 75 litros/m².

Temperaturas de armazenamento mais próximas da temperatura de consumo geram melhor custo-benefício para os SAS e que com os atuais custos de aquisição desses sistemas, a fração solar ótima está em torno de 82% a 89 % com temperatura de armazenamento de 45 °C na cidade Belo Horizonte, Minas Gerais. A metodologia apresentada, pode ser facilmente aplicada a instalações de grande porte, principalmente porque nessas os investimentos são maiores, e é desejável extrair do sistema o máximo desempenho possível, tanto do ponto de vista da eficiência térmica quanto da rentabilidade do investimento.

Portanto, recomenda-se ao usuário final que ao decidir-se pela instalação de um SAS, solicite a empresa fornecedora ou ao projetista, que observe as condições de instalação possíveis, e que uma metodologia de avaliação similar à apresentada nesse trabalho seja utilizada a fim fornecer o melhor custo-benefício com base no menor Tempo de Retorno e maior TIR.

REFERÊNCIAS

- Abrava, 2008. Manual de Capacitação em Projetos de Sistemas de Aquecimento Solar. Disponível em: <<http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/manual2008.pdf>>. Acesso em: 24 Jun. 2015.
- Dasol, 2015. Dados de Mercado. Disponível em: <<http://www.dasolabrava.org.br/informacoes/dados-de-mercado/>>. Acesso em: 24/05/2015.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., 2006. Solar Engineering of Thermal Process, 2nd ed, John Wiley & Sons. Inc. Hoboken, New Jersey, 2006.
- Inmetro, 2015. Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água – Coletores Solares – Edição 03/15. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColetoresSolares-banho.pdf>>. Data de Acesso: 15 Maio. 2015.
- Lapponi, Juan Carlos., 2007. Método de Avaliação com Valor Presente Líquido. In: Lapponi, Juan Carlos. Projetos de Investimento na Empresa. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2007. P 1-488.
- Siqueira, A.M.O; Krenzinger, Arno., 1998. Cálculo da Eficiência Diária em Média Mensal um Sistema de Aquecimento Solar Operando em Regime Termossifão. Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul (MERCOSUL 98). Porgo Alegre.
- Mauthner, Franz; Weiss, Werner., 2014. Solar Heat WorldWide - Markets and Contribution to the Energy Supply 2012. Disponível em: <<http://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2014.pdf>>. Acesso em: 01 Maio. 2015.
- Mesquita, L.C.S. et al., 2014. Energia Solar Térmica – Participação na Matriz Energética Brasileira e Contribuições Sócio Econômicas para o Brasil. Disponível em: <<http://www.dasolabrava.org.br/publicacoes/aquecimento-solar/>> . Acesso em: 24 Maio. 2015.
- Rosa Bernardes, A., 2010. Sistemas de Aquecimento Solar de Água. 1 ed.. Santa Cruz do Rio Prado/SP: Viena Gráfica e Editora LTDA.
- Shariah, A.M.O; Lof, G.O.G., 1997. Effects of Auxiliary Heater on Annual Performance of Thermosyphon Solar Water Heater Simulated under Variable Operation Conditions. Solar Energy, Vol. 60, pp. 119-126.
- Vasconcellos, L.E.M.; Limberger, L.A.C. (org.), 2012. Energia Solar para Aquecimento de Água no Brasil: Contribuições da Eletrobras Procel e parceiros. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012.

EVALUATION OF COLLECTOR AREA IMPACT IN COST BENEFIT OF SOLAR HEATING SYSTEMS

Abstract. Over the last years, the use of solar water heating systems with thermosyphon has increased in Belo Horizonte, a city on the state of Minas Gerais (Brazil), where there are mainly single-family houses. There are even some housing social programs that already include solar energy programs to heat water. This paper shows a methodology applied to solar heating systems up to 1.000 liters of stored water to evaluate the influence of solar collector area in the payback and Internal Rate Return of these systems. This analysis clearly shows that solar hot water systems with a better financial return has relation between 57 – 75 liters/m², far from the common relation offered by most manufactures of solar water heating systems, which provide solar fraction 100 liters/m².

Key word: Investment, Solar Fraction, Solar heating.