

AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA PARA A SUBSTITUIÇÃO DE CHUVEIRO ELÉTRICO NUMA RESIDENCIA NO MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ, MINAS GERAIS, BRASIL

Lays Camila de Sousa – layscs@hotmail.com

Zudivan Peterli – zpeterli@gmail.com

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Núcleo de Excelência em Geração Termoelétrica e Distribuída (NEST)

Caroeny R. Almeida – caroenyraiany@hotmail.com

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Centro de Excelência em Eficiência Energética (EXCEN)

Arnaldo Martins Martínez Reys – ammr451111@yahoo.es

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Núcleo de Excelência em Geração Termoelétrica e Distribuída (NEST)

2. Conversão Térmica com coletores solares planos – 2.2 Sistemas Solares Térmicos: aquecimento de água, espaço e refrigeração.

Resumo. *A demanda por energia tem se tornado cada vez maior, assim, as pesquisas e buscas por fontes de energias renováveis são primordiais para garantir a sustentabilidade do setor energético. Entre tantas opções, a energia solar tem se destacado como uma fonte de energia com grande disponibilidade. A energia solar térmica vem sobressaindo como um sistema de aquecimento de água sanitário em residências, empregado principalmente para a substituição do chuveiro elétrico, gerando vantagens econômicas e ambientais. Diante do exposto, o objetivo do presente artigo foi dimensionar um sistema de energia solar térmica, baseado na NBR 15569, para o aquecimento de água sanitária numa residência com 5 habitantes no município de Itajubá, Minas Gerais, além de analisar a sua viabilidade econômica em comparação ao uso do chuveiro elétrico. Os resultados indicaram que será necessário um sistema com 4m² de área útil dos coletores solares e reservatório de 495 litros de água quente para atender a residência ao longo do ano, exceto nos meses de fevereiro, março, junho, novembro e dezembro que será necessário o fornecimento complementar de energia elétrica para atingir o completo aquecimento da água de banho. A avaliação econômica resultou num VPL de R\$ 16.890,99 e TIR de 42%, demonstrando que o projeto, nos moldes propostos, é viável economicamente e apresenta o retorno do investimento a partir do 3º ano.*

Palavras chave: *Aquecimento Solar, Energia térmica, Água Quente.*

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais fatores que contribui para o desenvolvimento econômico mundial e para a industrialização é a energia. E dentre as várias formas as quais a energia pode ser obtida, a solar térmica tem grande importância para garantir a sustentabilidade dos processos produtivos. A energia gerada pelo sol é um recurso infinito e não poluente (BISHT *et. al.*, 2018).

Parte da radiação solar pode ser absorvida e transformada em energia térmica a partir de superfícies projetadas para essa finalidade, permitindo o seu uso como fonte de aquecimento para fluidos como a água. O aproveitamento solar térmico para aquecimento de água, a qual tem aplicações principalmente residenciais e comerciais, normalmente é feito com o uso de coletores solares planos. O coletor solar é um dispositivo que absorve a radiação solar, converte a mesma em energia térmica e, posteriormente, a transfere para um fluido com o objetivo de aquecimento (BHOWMIK, AMIN; 2017).

Existem dois tipos principais de coletores: os coletores de concentração e os coletores planos. As vantagens do coletor plano, em relação aos demais tipos, são: a simplicidade de construção, nenhuma parte móvel, baixo custo de operação e possibilidade de operar em dias nublados, além da facilidade de reparo e durabilidade (LIMA, 2003).

O coletor plano é composto por placa absorvedora, canalizações por onde escoam o fluido a ser aquecido, cobertura transparente e isolamento térmico. Há necessidade de um reservatório de armazenamento devido ao fato de que a demanda por fluido aquecido não coincide, na maioria das aplicações, com o período de oferta da radiação solar. Por exemplo, em aplicações residenciais, o consumo de água quente ocorre principalmente das 18 às 20 horas, mas a geração de água quente ocorre fora deste período (LIMA, 2003).

Diante da importância e possibilidade do uso da energia solar térmica para realizar o aquecimento da água para um sistema hidrossanitário residencial, o presente trabalho apresenta o dimensionamento deste tipo de sistema, empregada unicamente no chuveiro, numa residência familiar no município de Itajubá, Minas Gerais. Além da análise técnica, foi realizado uma análise da viabilidade econômica da instalação deste sistema em substituição ao chuveiro elétrico.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de trabalho

O sistema de aquecimento solar térmico foi dimensionado para o chuveiro de uma residência com 5 moradores no município de Itajubá, Minas Gerais (MG). A cidade fica localizada no Sul de Minas, latitude $-22^{\circ} 25' 33''$ e longitude $-45^{\circ} 27' 10''$. A topografia é predominantemente montanhosa, a qual se encontra nas encostas da Serra da Mantiqueira.

2.2 Dimensionamento do sistema

O dimensionamento foi calculado seguindo a metodologia de cálculo do Anexo B presente na Norma da ABNT NBR 15569. A Norma estabelece:

“os requisitos para o sistema de aquecimento solar (SAS), considerando aspectos de concepção, dimensionamento, arranjo hidráulico, instalação e manutenção, onde o fluido de transporte é a água.”

Inicialmente, calculou-se o volume de consumo pela Eq. (1), considerando a vazão do chuveiro da residência, o tempo médio e a frequência diária de cada banho.

$$V_{consumo} = \sum(Q_{pu} * T_u * f) \quad (1)$$

Sendo:

$V_{consumo}$: Vazão média diária de água quente consumida ($m^3.d^{-1}$);

Q_{pu} : Vazão volumétrica do chuveiro ($m^3.s^{-1}$);

T_u : Tempo médio de banho por morador ($s.banho^{-1}$);

f : Frequência de banhos por morador ao dia ($banho.d^{-1}$).

O volume de armazenamento foi estimado a partir da Eq. (2).

$$V_{armazenamento} = \frac{V_{consumo} * (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})} \quad (2)$$

Sendo:

$V_{armazenamento}$: Volume armazenado diariamente ($m^3.d^{-1}$);

$T_{consumo}$: Temperatura de consumo da água quente pelos moradores ($^{\circ}C$);

$T_{ambiente}$: Temperatura média ambiente do município estudado ($^{\circ}C$);

T_{armaz} : Temperatura média de armazenamento da água quente ($^{\circ}C$).

A temperatura média ambiente para Itajubá é de aproximadamente $19,5^{\circ}C$ (CLIMA-DATA, 2016). O dimensionamento do volume de armazenamento é proporcional à quantidade de moradores da residência e das temperaturas de trabalho do sistema. Para este estudo foi assumido que todos os moradores tomam banho durante o período noturno e a temperatura de consumo utilizada é igual a temperatura de armazenamento, ambas de $40^{\circ}C$.

Posteriormente, calculou-se a demanda de energia útil pela Eq. (3). A massa específica da água considerada foi de $1000 kg.m^{-3}$ e o calor específico a pressão constante da água de $4,18 kJ.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$ (considerado líquido incompressível).

$$E_{\text{útil}} = \frac{V_{armaz} * \rho * Cp * (T_{armaz} - T_{ambiente})}{3600} \quad (3)$$

Sendo

$E_{\text{útil}}$: Energia útil ($kWh.d^{-1}$);

ρ : Massa específica da água líquida nas condições ambientes ($kg.m^{-3}$);

Cp : Calor específico da água líquida nas condições ambientes ($kJ.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$).

A área coletora foi estimada através da Eq. (4)

$$A_{coletora} = \frac{(E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}) * FC_{\text{instal}} * 4,901}{PMDEE * I_G} \quad (4)$$

Sendo:

$A_{coletora}$: Área coletora demandada para aquecimento (m^2);

E_{perdas} : Energia decorrente de perdas do sistema ($kWh.d^{-1}$);

FC_{instal} : Fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar (adimensional);

$PMDEE$: produção média diária de energia específica do coletor solar (adimensional);

I_G : Irradiação solar no plano inclinado ($kWh.m^{-2}.d^{-1}$).

Para determinar a I_G os dados de irradiação solar no plano horizontal foram corrigidos, em função do desvio azimutal e ângulo de inclinação da placa solar, com o auxílio do *Software* livre *RADIASOL2*. A obtenção dos dados de irradiação solar no plano horizontal foram obtidos do *National Renewable Energy Laboratory* (NREL).

Para determinar as demais variáveis presentes na Eq. (4) foram empregadas as Eq. (5), (6) e (7).

$$E_{perdas} = 0,15 * E_{\acute{u}til} \quad (5)$$

$$PMDEE = 4,901 * (Fr\tau\alpha - 0,0249 * Fr_{UL}) \quad (6)$$

$$FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} * (\beta - \beta_{\acute{o}timo})^2 + 3,5 \times 10^{-5} * \gamma^2]} \quad (7)$$

Sendo:

$Fr\tau\alpha$: Coeficiente de eficiência do coletor solar (adimensional);

Fr_{UL} : Coeficiente de perdas do coletor solar (adimensional);

β : Ângulo de inclinação do coletor solar em relação ao plano horizontal (graus);

$\beta_{\acute{o}timo}$: Ângulo de inclinação do coletor solar considerado ótimo (graus);

γ : Desvio do norte magnético em relação ao norte geográfico na localidade estudada (graus).

A energia proveniente das perdas foi definida como 15% da energia útil necessária para realizar o aquecimento da água, conforme recomenda a NBR 15569.

O cálculo da produção média diária de energia específica do coletor solar (PMDEE) tem como base os coeficientes descritos pelo fabricante do coletor, sendo definidos juntamente com o tipo e modelo de equipamento. Para o presente trabalho os dados utilizados são do catálogo do fabricante HELIOTEK, coletor modelo MC 20 Evolution Pro com 2m².

Para definir o FC_{instal} é necessário conhecer o ângulo de inclinação do coletor solar em relação ao plano horizontal e o desvio azimutal que é representado pela variação angular entre o norte magnético e norte geográfico. Para determinar o ângulo azimutal foi utilizado o *software Sun Surveyor®* na sua versão livre, enquanto para o ângulo de inclinação da placa solar o mesmo foi determinado pela maior irradiação solar média entre os ângulos de 10° e 90°.

2.3 Análise Econômica

Para realizar a análise de viabilidade econômica da instalação do sistema de aquecedor solar na residência, onde o tomador de decisão é o consumidor de energia elétrica, foram escolhidos três indicadores financeiros, o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *payback*.

Para auxiliar no cálculo destes três indicadores foi formulado o fluxo de caixa apresentado na Fig. 1, representando os investimentos (passivos) e retornos (ativos) previstos no projeto. No modelo analisado, o fluxo de caixa tem como passivo o custo de operação e manutenção do sistema, bem como o seu custo de investimento. Já o ativo do fluxo é representado pela economia de renda gerada pelo sistema de aquecimento solar, sendo calculada pelo produto da tarifa de energia pela energia gerada pelo referido sistema (CRUZ, 2016).

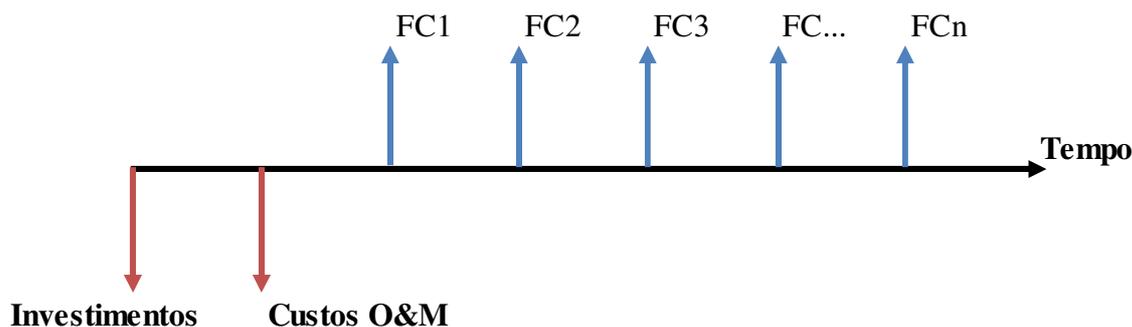


Figura 1- Representação gráfica de um Fluxo de Caixa

Na Fig. 1, a linha horizontal representa a vida útil do projeto em anos, as setas para baixo são as saídas dos valores investidos e os custos de operação e manutenção, enquanto as setas para cima são as entradas que representam os retornos do investimento pela economia de energia elétrica.

O fluxo de caixa descontado pode ser definido como sendo a apuração do valor do fluxo de caixa previsto para o futuro com o desconto de uma taxa que represente o risco assumido (taxa de juros do projeto), expressando-o em valores presentes. E o fluxo de caixa acumulado é a soma do fluxo de caixa pontual de cada ano com o resultado do fluxo acumulativo dos anos anteriores (BERTOLO, 2007).

A economia de energia elétrica foi determinada a partir da estimativa da economia mensal e anual que poderia ser obtida pelo uso do sistema de aquecimento solar, em substituição a energia elétrica. A energia elétrica economizada por

mês pode ser obtida multiplicando-se o total de eletricidade que seria utilizada para a produção de água quente, pelo preço desta energia elétrica, obtendo-se assim o total anual de economia de energia (SOARES, *et al.*, 2015).

2.3.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL, apresentando na Eq. (8), representa o valor presente dos fluxos de caixa futuros descontados a uma taxa de juros – que representa o custo de oportunidade – menos o custo do investimento inicial. O projeto será viável se apresentar um VPL positivo (BREALEY, MYERS, 2003).

$$VPL = C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (8)$$

Sendo:

C_0 : Fluxo de caixa líquido no instante inicial;

t : Período no tempo;

C_t : Fluxo de caixa líquido no período;

r : Taxa de juros ou taxa de desconto que representa o custo de oportunidade do capital.

A taxa de juros foi definida como a taxa do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia do Brasil (SELIC), apresentando o valor de 10,15% ao ano com base no acumulado de 12 meses para julho de 2017 (BRASIL, 2017).

Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é determinada como a taxa de juros que torna nulo o valor presente. Ou seja, é a taxa de juros que em certo momento, iguala os valores atualizados das entradas e das saídas de caixa. A TIR foi calculada de acordo com a Eq. (9).

$$VPL = 0 = C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+TIR)^t} \quad (9)$$

Sendo:

C_0 : Fluxo de caixa líquido no instante inicial;

t : Período no tempo;

C_t : Fluxo de caixa líquido no período;

TIR : Taxa de juros ou taxa de desconto que representa o custo de oportunidade do capital.

Deve-se investir em projetos onde a TIR, associada a um VPL positivo, é maior que a taxa de juros definida para o estudo (PUCCINI, 2011).

2.3.2 Payback

Segundo Soares *et al.* (2015), o Payback determina sem considerações de taxas o tempo que o projeto irá se pagar pela utilização da fonte alternativa de energia, ou seja, quando os custos evitados forem maiores que o investimento, conforme representa a Eq. (10).

$$PB = \frac{E_t}{In} \quad (10)$$

Sendo:

PB : Payback;

E_t : Economia Total, custos evitados com energia elétrica

In : Fluxo de caixa líquido no período.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização do local de estudo

A residência escolhida para o estudo fica localizada na Rua Comendador Marcos Grilo, nº 100, trata-se de uma habitação residencial com 5 habitantes. Diante o levantamento realizado diretamente na residência, foi observado que os telhados são voltados para leste ou oeste, desta forma, foi considerado que as placas do sistema de aquecimento seriam instaladas numa plataforma metálica com orientação para o norte verdadeiro (geográfico). Também foi levantado durante a visita na residência que o período médio de banho de cada habitante foi de 600 segundos (10 minutos) e a frequência de banho foi de 1,5 vezes ao dia. Para a vazão do chuveiro empregado na residência foi utilizado o valor média de 6,6 L.s⁻¹ que é apresentado na NBR 15569. A residência apresenta todos

3.2 Dados de entrada no modelo

Resumidamente, os dados de entrada no dimensionamento do sistema de aquecimento hidrossanitário estão expostos na Tab. 1.

Tabela 1- Resumo dos Dados Coletados

Dados	Valor	Referências/Observações
Estimativa de Consumo		
Vazão do chuveiro	0,00011 m ³ /s	Definido com base na NBR15569
Tempo médio de uso (T _u)	600 s	Definido com base nos hábitos dos usuários
Frequência média	1,5 hab./dia	Definido com base nos hábitos dos usuários
Número médio de usuários	5 hab.	Definido em função da moradia
Estimativa de Armazenamento		
Temperatura de consumo	40°C	Definido pelo usuário
Temperatura de armazenamento	40 °C	Definido com base nos hábitos dos usuários
Temperatura do ambiente	19,5 °C	
Estimativa de Energia Útil		
Massa Específica da Água	1000 kg/m ³	Definido com base na NBR15569
Calor específico da água como líquido incompressível (constante)	4,18 kJ/kg.°C	Definido com base na NBR15569
Estimativa do Fator de Correção (FC)		
Inclinação real do coletor (β)	32°	Definido pelo projetista
Inclinação ótima do coletor ($\beta_{\text{ótimo}}$)	32°	Recomendado pela NBR15569
Desvio do coletor em relação a direção norte-sul (γ)	-21,99°	Encontrado pelo <i>Software</i> livre <i>Sun Surveyor</i>
Estimativa da PMDEE		
Coefficiente de eficiência do coletor solar ($F_{r\alpha}$)	0,739	Definido pelo fabricante do coletor solar
Coefficiente de perdas do coletor solar ($F_{r_{UL}}$)	5,051	Definido pelo fabricante do coletor solar
Estimativa da Área do Coletor Solar		
Perdas	1,76735625 kWh/dia	Considerado 15% da energia útil, conforme consta na NBR-15569:2008
Radiação solar em função do ângulo da placa	5,746667 kWh/m ² .dia	Estimado pelo <i>Software</i> RADIASOL2

Para o dimensionamento do reservatório de água quente foi considerado que todos da residência usam o chuveiro durante o período noturno ou início da manhã, portanto, foi considerado que a temperatura de armazenamento é igual ao uso. Sendo a temperatura de uso definida como a maior temperatura recomendada pela NBR 15569 (40°C).

A placa solar definida para este projeto foi a MC20 Evolution Pro, da fabricante HELIOTEK, com 2 m² de área superficial por unidade.

3.3 Dimensões do sistema de aquecimento solar

O dimensionamento do sistema de aquecimento solar resultou numa demanda diária de energia na ordem de 11,78 kWh.d⁻¹, volume do reservatório de 495 litros e 2 placas planas para realizar o aquecimento, totalizando, aproximadamente, 4 m² de superfície aquecedora, conforme expressa a Tab. 2.

Tabela 2 – Resultados da modelagem do sistema de aquecimento solar deste trabalho.

Dados	Valor	Referências/Observações
Estimativa do volume consumido	0,495 m ³ /dia	Considerado que todo o consumo ocorrerá no período noturno
Estimativa do volume armazenado	0,495 m ³ /dia	Considerado que todo o consumo ocorrerá no período noturno
Estimativa da energia útil (vol. armazenado)	11,782375 kWh/dia	Resultado obtido pelo modelo
Estimativa da energia útil (vol. consumido)	11,782375 kWh/dia	Resultado obtido pelo modelo
Estimativa do FC	1,0000	Resultado obtido pelo modelo
Estimativa do PMDEE	3,00544072	Resultado obtido pelo modelo
Estimativa da área do coletor	3,84495433 m ²	Resultado obtido pelo modelo
Área unitária de cada placa	2 m ²	Em função da placa aquecedora escolhida
Número de placas a serem instaladas	2 unidades	Considerado o número inteiro maior e mais próximo ao resultado

Diante dos dados gerados, foi possível estimar a quantidade de energia produzida diariamente em cada mês do ano e comparar com a demanda de energia necessária para realizar o aquecimento da água no sistema hidrossanitário modelado, conforme ilustra a Fig. 1.

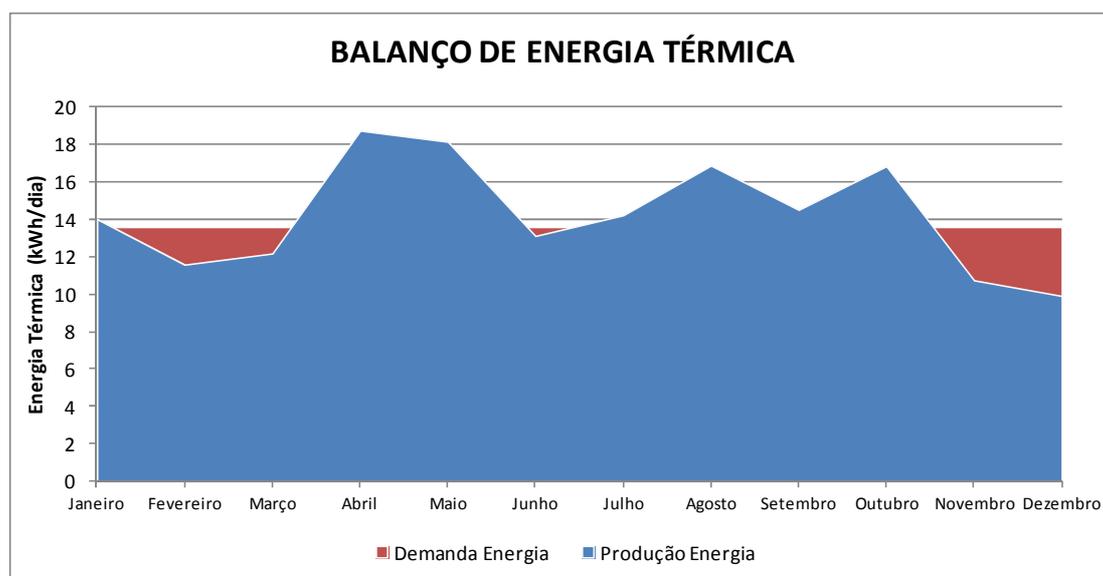


Figura 1 – Demanda e produção de energia para aquecimento de água.

Nota-se que nos meses de fevereiro, março, junho, novembro e dezembro o sistema dimensionado não apresenta capacidade para aquecer a totalidade da água de banho, portanto, se faz necessário o aquecimento complementar com energia elétrica.

Durante os meses mencionados o sistema apresenta um déficit energético acumulado a cada ano na ordem de 315,73 kWh, sendo essa energia suprida por uma resistência elétrica.

3.4 Resultado da viabilidade econômica

Economia de Energia Elétrica

Numa base mensal, a Tab. 3 mostra o resultado do balanço energético e econômico no uso do sistema de aquecimento solar térmico em substituição do chuveiro elétrico, considerado neste balanço a radiação solar em cada mês.

Tabela 3 – Custos com Energia Elétrica

CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA								
Mês	Balanço de Energia Térmica			Tarifas e impostos R\$/kWh	Custo com Aquecimento elétrico		Custo evitado	
	Energia Térmica	Energia Útil +Perdas	Excedente		R\$/dia	R\$/mês	R\$/dia	R\$/mês
Janeiro	14,02	13,55	0,47	R\$ 0,84	-	-	11,33	351,18
Fevereiro	11,59	13,55	-1,96		1,64	45,95	9,69	271,24
Março	12,18	13,55	-1,37		1,15	35,61	10,18	315,57
Abril	18,73	13,55	5,18		-	-	11,33	339,85
Mai	18,14	13,55	4,59		-	-	11,33	351,18
Junho	13,11	13,55	-0,44		0,37	11,06	10,96	328,79
Julho	14,21	13,55	0,66		-	-	11,33	351,18
Agosto	16,86	13,55	3,31		-	-	11,33	351,18
Setembro	14,51	13,55	0,96		-	-	11,33	339,85
Outubro	16,84	13,55	3,29		-	-	11,33	351,18
Novembro	10,75	13,55	-2,80		2,34	70,17	8,99	269,68
Dezembro	9,92	13,55	-3,63		3,04	94,14	8,29	257,04
TOTAL	-	-	-	-	-	256,94	-	3.877,95

Observa-se que nos meses de fevereiro, março, junho, novembro e dezembro o sistema necessita do aquecimento complementar com energia elétrica, totalizando um custo anual de R\$ 256,94. O custo evitado com energia elétrica no ano é de R\$3.877,95, ou seja, economiza-se esse valor anualmente.

Avaliação econômica

Os custos do investimento e ligados a operação e manutenção que foram levantados com base no mercado do município de Itajubá estão apresentados nas Tab. 4, enquanto os dados de entrada do fluxo de caixa estão na Tab. 5.

Tabela 4 – Dados para cálculo

INVESTIMENTO TOTAL		
ITEM	VALOR	ORÇAMENTO
2 Coletores Solar MC Evolution Pro 20 Heliotek - 2m²	R\$ 2.011,44	Energy Shop
Boiler Baixa Pressão Heliotek 500 L	R\$ 2.628,06	Energy Shop
Tubulações e conexões	R\$ 2.000,00	Aquece Minas - Itajubá
Instalação para Itajubá	R\$ 500,00	Aquece Minas - Itajubá
Investimento Total	-R\$ 7.139,50	-
CUSTO COM OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO		
ITEM	VALOR	ORÇAMENTO
Manutenção	R\$ 600/ano	Aquece Minas- Itajubá
Custo com Energia Elétrica	R\$ 256,94/ ano	Tarifa CEMIG

Tabela 5 – Dados de entrada para o Fluxo de Caixa

DADOS DE ENTRADA PARA O FLUXO DE CAIXA		
ITEM	VALOR	UNIDADE
Taxa de desconto (taxa selic)	10,15%	%
Economia Total	R\$ 3.021,01	R\$/ano
Investimento Total	-R\$ 7.139,50	R\$

A economia total por ano se dá pelo custo evitado com energia elétrica menos o custo com energia elétrica, menos o custo com manutenção. Com isso, o fluxo de caixa foi montado e apresentado na Tab. 6.

Tabela 6 – Fluxo de Caixa

FLUXO DE CAIXA ANUALIZADO					
Ano		Fluxo de Caixa	Fluxo Caixa Acumulado	Fluxo Caixa Descontado	Fluxo Caixa Desc. Acumulado
2016	0	-R\$ 7.139,50	-R\$ 7.139,50	-R\$ 7.139,50	-R\$ 7.139,50
2017	1	R\$ 3.021,01	-R\$ 4.118,49	R\$ 2.742,64	-R\$ 4.396,86
2018	2	R\$ 3.021,01	-R\$ 1.097,47	R\$ 2.489,91	-R\$ 1.906,96
2019	3	R\$ 3.021,01	R\$ 1.923,54	R\$ 2.260,47	R\$ 353,52
2020	4	R\$ 3.021,01	R\$ 4.944,55	R\$ 2.052,18	R\$ 2.405,69
2021	5	R\$ 3.021,01	R\$ 7.965,56	R\$ 1.863,07	R\$ 4.268,77
2022	6	R\$ 3.021,01	R\$ 10.986,58	R\$ 1.691,40	R\$ 5.960,16
2023	7	R\$ 3.021,01	R\$ 14.007,59	R\$ 1.535,54	R\$ 7.495,70
2024	8	R\$ 3.021,01	R\$ 17.028,60	R\$ 1.394,04	R\$ 8.889,75
2025	9	R\$ 3.021,01	R\$ 20.049,62	R\$ 1.265,59	R\$ 10.155,33
2026	10	R\$ 3.021,01	R\$ 23.070,63	R\$ 1.148,97	R\$ 11.304,30
2027	11	R\$ 3.021,01	R\$ 26.091,64	R\$ 1.043,09	R\$ 12.347,39
2028	12	R\$ 3.021,01	R\$ 29.112,65	R\$ 946,98	R\$ 13.294,37
2029	13	R\$ 3.021,01	R\$ 32.133,67	R\$ 859,71	R\$ 14.154,08
2030	14	R\$ 3.021,01	R\$ 35.154,68	R\$ 780,49	R\$ 14.934,58
2031	15	R\$ 3.021,01	R\$ 38.175,69	R\$ 708,57	R\$ 15.643,15

2032	16	R\$	3.021,01	R\$	41.196,71	R\$ 643,28	R\$ 16.286,43
2033	17	R\$	3.021,01	R\$	44.217,72	R\$ 584,00	R\$ 16.870,44
2034	18	R\$	3.021,01	R\$	47.238,73	R\$ 530,19	R\$ 17.400,63
2035	19	R\$	3.021,01	R\$	50.259,74	R\$ 481,33	R\$ 17.881,96
2036	20	R\$	3.021,01	R\$	53.280,76	R\$ 436,98	R\$ 18.318,94

Foi alcançado um resultado econômico positivo, considerando 20 anos como o período de vida útil dos equipamentos do sistema de aquecedor solar. Onde o VPL foi de R\$16.630,91, mostrando que o projeto é economicamente viável, pois o VPL é positivo.

O fluxo de caixa descontado mostra que no ano 3 já se teve o retorno do investido. Ainda, de acordo com o cálculo do *payback*, conclui-se que o retorno do investimento acontece dentro do terceiro mês do segundo ano. Estimando que a partir de 2 anos e 3 meses até o fim de sua vida útil, o sistema de aquecimento solar traz ganhos financeiros ao usuário.

O Resultado da TIR – Taxa Interna de Retorno – foi de 42%. Onde sempre que a TIR for maior que a taxa de juros utilizada, neste caso 10,15%, o projeto é viável. Confirmando a viabilidade do projeto entre o segundo e terceiro ano.

4 CONCLUSÕES

Conclui-se que o projeto, nos moldes propostos, é viável economicamente, pois o VPL é positivo e a TIR é superior à taxa de desconto praticada. Também foi possível concluir que o método de dimensionamento descrito na NBR15569 não garante o completo atendimento do aquecimento de água hidrossanitário ao longo do ano, necessitando de ajustes dos parâmetros de dimensionamento ou uso complementar de energia elétrica para garantir a totalidade do aquecimento.

Agradecimentos

Os autores agradecem a UNIFEI pelo espaço concedido para o desenvolvimento deste trabalho, além da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15569 - Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação: Esta norma estabelece os requisitos para o Sistema de Aquecimento Solar (SAS). Agosto, 2013.

AQUECE MINAS. Empresa de aquecedores solares de Itajubá. Contato pessoal.

BRASIL - BANCO CENTRAL DO BRASIL. Histórico das taxas de juros. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdiarios.asp>>. Acesso em jun. de 2017.

BERTOLO, L. A. **Payback**. Disponível em: <<http://www.bertolo.pro.br/AdminFin/AnalInvest/PAY%20BACK.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2017.

BHOWMIK, H.; AMIN, R. Efficiency improvement of flat plate solar collector using reflector. Energy Reports. Volume 3, November 2017, Pages 119-123.

BISHT, V.S; PATIL, A.K.; GUPTA, A. **Review and performance evaluation of roughened solar air heaters**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 81, Part 1, January 2018, Pages 954-977.

BREALEY, R. A.; MYERS, S. C. Principles of Corporate Finance. McGraw Hill Higher Education; 7th edition, 2003.

CLIMA-DATA. Itajubá. Disponível em: <<http://archive.is/3c5kj>>. Acessado em jun. de 2017.

CRUZ, T. B. Análise do potencial de inserção de energia solar térmica para aquecimento de água em residências unifamiliares no Brasil – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016.

Energy Shop - Energia Solar. **Empresa de comércio eletrônico no segmento da Energia Solar**. Disponível em: <<https://www.energyshop.com.br/quem-somos>>. Acesso em jun. de 2017.

HELIOTEK. **Catalogo completo de aquecedores para banho**. Disponível em: <www.heliotek.com.br>.

LIMA, J. B. A. Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS. Dissertação Mestrado Escola Politécnica Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

NREL - *National Renewable Energy Laboratory*. Banco de dados. Acessado em 21 de junho de 2017. Disponível em: < <https://maps.nrel.gov/swera/>>.

PUCCINI, ERNESTO COUTINHO. **Matemática financeira e análise de investimentos**. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração / UFSC; [Brasília]: CAPES: UAB, 2011. 204p.

RADIASOL2. Software Livre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Acessado em: 21 de junho de 2017. Disponível em: < <http://www.solar.ufrgs.br/> >.

SOARES, Janaína Schultz; ANATER, Mônica Joelma do Nascimento; SILVA, Ramon Eduardo Pereira. Dimensionamento de um sistema de Energia Solar Térmica para o aquecimento de água para utilização em hotel de médio porte localizado na Cidade de Dourados-MS. 8º ENEPE UFGD- 5º EPEX UEMS. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/267868450_Dimensionamento_de_um_Sistema_de_Energia_Solar_Termica_para_o_Aquecimento_de_Agua_em_um_Hotel_de_Medio_Porte_na_Cidade_de_Dourados_-_MS>. Acesso em jul. de 2017.

Sun Surveyor. Software livre. Acessado em 21 de junho de 2017. Disponível em: < <http://www.sunsurveyor.com/>>.

EVALUATION OF A THERMAL SOLAR ENERGY SYSTEM FOR THE REPLACEMENT OF ELECTRIC SHOWER IN A RESIDENCE IN THE MUNICIPALITY OF ITAJUBÁ, MINAS GERAIS, BRAZIL

Abstract: *The demand for energy has become ever greater, so research and search for renewable energy sources are paramount to ensure the sustainability of the energy sector. Among so many options, solar energy has stood out as a source of energy with great availability. Solar thermal power comes as a residential water heating system, mainly used for the replacement of electric shower, generating economic and environmental advantages. Considering the above, the objective of this article was to size a solar thermal system, based on NBR 15569, for the heating of sanitary water in a residence with 5 inhabitants in the municipality of Itajubá, Minas Gerais, besides analyzing its economic viability in compared to using the electric shower. The results indicate that a system with 4 m² of solar collectors' area and 495 liters of hot water will be necessary to attend the residence during the year, except in the months of February, March, June, November and December, which will be necessary. complementary supply of electric energy to achieve the complete heating of the bath water. The economic evaluation resulted in an NPV of R \$ 16,890.99 and an IRR of 42%, demonstrating that the project, as proposed, is economically viable and presents the return on investment from the 3^o year.*

Keywords: Solar Heating, Thermal Energy, Hot Water.