

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS-MG**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**AILTON DE FARIA ROSA**

**MELHORIAS APLICADAS EM UM AQUECEDOR SOLAR DE BAIXO CUSTO  
(ASBC) COM BAIXO RENDIMENTO.**

**Varginha-MG**  
**2011**

**FEPESMIG**

**AILTON DE FARIA ROSA**

**MELHORIAS APLICADAS EM UM AQUECEDOR SOLAR DE BAIXO CUSTO  
(ASBC) COM BAIXO RENDIMENTO.**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel, sob orientação do prof. Alexandre Lopes.

**Varginha - MG  
2011**

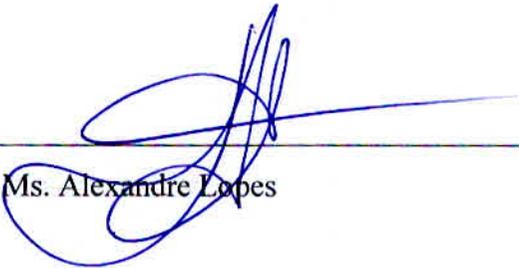
**FEPESMIG**

**AILTON DE FARIA ROSA**

**MELHORIAS APLICADAS EM UM AQUECEDOR SOLAR DE BAIXO CUSTO  
(ASBC) COM BAIXO RENDIMENTO.**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel, pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em     /     /

  
\_\_\_\_\_  
Prof.º Ms. Alexandre Lopes

  
\_\_\_\_\_  
Prof.º Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes

Dedico este trabalho a toda minha família,  
meus amigos e a Deus por me dar a  
oportunidade de estudar.

## AGRADECIMENTO

Agradeço a todos que me ajudaram e me apoiaram nesta difícil empreitada, o apoio dos familiares e amigos foi fundamental para que eu conseguisse vencer.

“O sábio nunca diz tudo o que pensa, mas  
pensa sempre tudo o que diz.”

Aristóteles

## RESUMO

Este trabalho consiste em fazer um estudo para identificar as causas do baixo desempenho de um Aquecedor solar de Baixo custo (ASBC), instalado no ano de 2008, em uma residência na cidade de Pouso Alegre, MG, o problema se agrava no inverno, onde sua eficiência chegava a ser quase nula, com base em dados coletados nos dias 12 e 13 de julho foram identificados as principais causas e definidos as alterações que deveriam ser feitas, durante os dois dias foram coletados as temperaturas do interior do reservatório térmico em três alturas, fundo, meio e superfície, foram medidos também a temperatura de entrada da água aquecida dos coletores no reservatório e a temperatura ambiente, as medições ocorreram em um período de uma em uma hora, tendo início as 6:00 e término as 18:00, durante os intervalos entre as medições também foram observados vários aspectos de funcionamento do sistema, após identificadas as causas dos problemas, nos dias 20,21,22 e 23 de agosto, foram feitas as melhorias, e após a modificação ter sido concluída foram feitas nos dias 27 e 28 de agosto novas medições para avaliar os resultados das melhorias, com as mesmas condições das medições feitas anteriormente, foram utilizados gráficos e tabelas para facilitar a interpretação, foi feito um levantamento do consumo de energia elétrica em 2010, o consumo de energia após as modificações foi analisado e comparado com os demais, antes das melhorias foi constatado que o sistema estava aquecendo somente um terço da água do reservatório, a parte superior, e as 18:00 a temperatura do reservatório já havia caído para 20°C, isso demonstra a ineficiência do sistema e da isolamento térmica, após as modificações ocorridas no sistema praticamente toda a água do reservatório é aquecida atingindo uma temperatura de 48°C as 15:00, no dia seguinte as 6:00 a média de temperatura no reservatório é de 27,5°C, o que comprova a eficiência do novo isolamento térmico, os reflexos na conta de energia são imediatos, no mês de 2011, observando principalmente os meses de inverno onde os valores aumentaram consideravelmente de outubro já houve uma redução consumo.

**Palavras-Chave:** Aquecedor Solar de Custo (ASBC). Problemas. Melhorias.

## **ABSTRACT**

*This work consists of doing a study to identify the causes of low performance of a solar heater Low cost (ASBC), installed in 2008 at a residence in the city Pouso Alegre, MG, the problem gets worse in winter, where efficiency came to be almost zero, based on data collected on days 12 and 13 July the main causes were identified and defined the changes should be made during the two days the temperatures were collected from within the thermal reservoir in three heights background medium and the surface were also measured inlet temperature of the heated water in the reservoir and the collector temperature, measurements occurred in a period of one at a time, starting at 6:00 and end at 18:00, during the intervals between measurements were also observed various aspects of system operation, after the causes of the problems identified, 20,21,22 and 23 days in August, the improvements were made, and after the modification has been completed have been made in 27 and August 28 new measurements to evaluate the results of the improvements, with the same conditions of measurements made earlier, graphs and tables were used to facilitate interpretation, was a survey of electricity consumption in 2010, energy consumption after the modifications was analyzed and compared to the other, before the improvements was found that the heating system was only a third of the water reservoir, the upper, and 18:00 the tank temperature had dropped to 20 ° C, this demonstrates the inefficiency of the system and thermal insulation, after the changes in the system practically all the water tank is heated reaching a temperature of 48 ° C at 15:00 the next day at 6, 00 the average temperature in is 27.5 ° C, which proves the efficiency of the new thermal insulation, the reflections in the energy bill are immediate, month, and 2011, noting particularly the winter months where values have risen considerably since October there was a reduction in electricity .*

**Keywords:** *Solar Heating Cost (ASBC). Problems. Improvements.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Esquema do Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC) .....	16
Figura 02 - Gráfico de consumo de energia mensal de 2010 .....	19
Figura 03 - Gráfico de consumo de energia diário de 2010 .....	19
Figura 04 - Gráfico de consumo de energia mensal de 2011 .....	21
Figura 05 - Gráfico de consumo de energia diário de 2011 .....	21
Figura 06 - Aquecedor solar de baixo custo .....	22
Figura 07 - medição da temperatura da água.....	23
Figura 08 -Multímetro utilizado para medições de temperatura .....	24
Figura 09 - Gráfico das Temperaturas medidas no reservatório no dia 12/07/2011 .....	26
Figura 10 - Gráfico das Temperaturas medidas no reservatório no dia 13/07/2011 .....	27
Figura 11 - Placas Coletoras de Forro de PVC.....	33
Figura 12 - Sistema Pescador e de entrada de água.....	34
Figura 13 - Isolação do ASBC.....	35
Figura 14 - Placas coletoras do ASBC).....	37
Figura 15 - Sistema novo montado e em funcionamento .....	38
Figura 16 - Nova isolamento do ASBC .....	39
Figura 17 - Isolação da tampa do ASBC .....	39
Figura 18 - Sistema de entrada de água para o reservatório .....	40
Figura 19 - Detalhes do novo pescador .....	40
Figura 20 - Medição da temperatura no interior do reservatório.....	43
Figura 21 - Gráfico das temperatura no interior do reservatório no dia 28/08/2011 .....	44
Figura 22: Gráfico das temperaturas no interior do reservatório no dia 28/08/2011 .....	44
Figura 23: Isolação do ASBC .....	50
Figura 24: Placas coletoras do ASBC .....	50
Figura 25: Sistema Pescador.....	51
Figura 26: Chuveiro elétrico comum.....	51
Figura 27: Novo sistema em funcionamento .....	52
Figura 28: Sistema com 5 Placas Coletoras .....	52
Figura 29: Novo Sistema Pescador.....	53
Figura 30: Chuveiro com regulagem eletrônica .....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Consumo de energia em 2010.....	18
Tabela 02 - Consumo de energia em 2011.....	20
Tabela 03 - Temperaturas medidas no reservatório no dia 12/07/2011.....	26
Tabela 04 - Temperaturas medidas no reservatório no dia 13/07/2011.....	26
Tabela 05 - Temperaturas medidas no reservatório no dia 27/08/2011.....	41
Tabela 06 - Temperaturas medidas no reservatório no dia 27/08/2011.....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ar –	Área do boiler (m <sup>2</sup> )
ASBC –	Aquecedor Solar de Baixo Custo
Cp –	Calor específico (kJ/kg °C)
Kg -	Massa
Qs –	Energia Armazenada no reservatório (Kj)
Ta –	Temperatura ambiente (°C)
TF –	Temperatura no fundo do reservatório (°C)
TM –	Temperatura no meio do reservatório (°C)
Trm-	Temperatura média no reservatório (°C)
TS –	Temperatura na superfície do reservatório (°C)
TSP –	Temperatura de retorno da água das placas coletoras para o reservatório (°C)
Δ Ts –	Varição da temperatura dentro do reservatório (°C)

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 JUSTIFICATIVA .....	13
3 O SISTEMA ASBC.....	15
4 COMPARAÇÃO ENTRE O ASBC E O AQUECEDOR CONVENCIONAL.....	17
5 O PROBLEMA .....	18
6 MÉTODOS UTILIZADOS .....	23
6.1 Ferramentas utilizadas para estudo de eficiência do ASBC.....	24
7 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS ANTES DAS MELHORIA .....	25
7.1 Análise energética.....	27
7.1.1 Cálculo de volume do reservatório.....	27
7.1.2 Porcentagem correspondente.....	28
7.1.3 Cálculo da diferença de temperaturas “ $\Delta t$ ” do dia 12 de julho.....	29
7.1.4 Cálculo da diferença de temperaturas $\Delta t$ do dia 13 de julho .....	39
7.1.5 Cálculo da energia armazenada $Q_s$ .....	30
8 PROBLEMAS ENCONTRADOS NO ASBC. ....	32
9 PLANO DE MELHORIA .....	35
10 REALIZAÇÃO DAS MELHORIAS .....	36
10.1 Produtos utilizados para realização das melhorias .....	40
10.2 Levantamento de custo das melhorias.....	40
11 ANÁLISE DE DADOS APÓS AS MELHORIAS REALIZADAS .....	41
11.1 Análise energética.....	43
11.1.1 Cálculo da diferença de temperaturas “ $\Delta t$ ” do dia 27 de agosto .....	43
11.1.2 Cálculo da diferença de temperaturas $\Delta t$ do dia 28 de agosto.....	44
11.1.3 Cálculo da energia armazenada $Q_s$ .....	45
12 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ANTES E DEPOIS DAS MELHORIAS. ....	46
12.1 Fotos de antes e depois melhoria.....	47
13 CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS .....	52
ANEXO I.....	53
ANEXO II .....	54

## 1 INTRODUÇÃO

O tema abordado neste trabalho é o aquecedor solar de baixo custo (ASBC), que como o próprio nome diz é todo construído com materiais simples, de fácil acesso e com preços acessíveis, que foi desenvolvido pela Ong Sociedade do Sol, o aquecedor possui um desempenho inferior ao convencional, mas devido o Brasil ser um país tropical onde a média de temperatura é alta seu funcionamento é bastante eficaz, a escolha do tema foi influenciado pela necessidade da busca de alternativas de energia que não agredem o meio ambiente, e que proporcionem a população mais qualidade de vida, buscando um desenvolvimento sustentável, o (ASBC) é sem dúvida uma ótima alternativa, pois por ser de fácil construção e ter um custo em média 8 vezes menor que um aquecedor convencional, se torna acessível a grande parte da população, o grande desafio da Ong Sociedade do Sol é a divulgação desta tecnologia, sendo que a maioria da população ainda não conhece o sistema, a Ong possui um site onde disponibiliza todo o manual de construção do (ASBC) para que quiser construir seu próprio aquecedor.

No ano de 2008 foi construído um (ASBC), na residência do autor deste trabalho, mas devido a diversos problemas que estavam ocorrendo foi tomado à decisão de fazer uma melhoria geral no sistema, para a execução da parte prática não foi necessário a ajuda de terceiros, ou seja, o tempo de trabalho que foi mencionado foi somente do autor.

Durante dois dias foi feito um estudo para levantar todos os problemas que estavam ocorrendo, mais precisamente nos dias 12 e 13 de julho de 2011, foram feitas medições de temperatura da água do reservatório de uma em uma hora tendo início as 6:00 e término as 18:00, estes dados foram lançados em uma planilha do Excel, onde foi gerado um gráfico para facilitar a interpretação, após os problemas terem sido registrados foi montado um plano de ação, para solucioná-los, nos dias 21,22,23 e 24 de agosto foram realizadas as melhorias, e nos dias 27 e 28 de agosto foram feitas medições nas mesmas condições das realizadas nos dias 12 e 13 de julho, após concluídos os estudos e com a primeira conta de energia elétrica com o novo sistema foi possível chegar as conclusões do trabalho.

## 2 JUSTIFICATIVA

Essencial para toda a vida na terra, a energia solar é uma fonte renovável, não polui o meio ambiente, e não deixa nenhum tipo de resíduos, no Brasil todas as regiões recebem mais de 2200 horas de insolação por ano com potencial de captação de 15 trilhões de MWh correspondente a 50 mil vezes o consumo de energia no país, segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006, publicado pelo INPE- Instituto Nacional de Pesquisa Espacial.

Em 2004, o consumo de energia no setor residencial foi de 78,50 TWh, atendendo cerca de 48 milhões de consumidores, o consumo residencial corresponde a 24% do consumo total de energia elétrica, sendo 26% do consumo residencial é destinado ao aquecimento de água (PROCEL, 2005).

No Brasil, os aquecedores solares foram desenvolvidos na década de 70, mas somente os anos 90, eles tiveram um grande aumento na sua comercialização, um fator que prejudica o aumento do uso de aquecedores solares no país é o alto custo do produto, que está em média R\$ 3.000,00, o que fica inviável para a grande maioria da população, vários países com níveis de insolação inferior ao Brasil tem um maior uso desta tecnologia.

Em 2002, a média de placas coletoras per capita no Brasil era de 1,2 m<sup>2</sup>/100 habitantes, bem menor que Israel com média de 67,1 m<sup>2</sup>/100 habitantes, Áustria 17,5 m<sup>2</sup>/100 habitantes, Grécia com 20,0 m<sup>2</sup>/100 habitantes, a média de coletores por habitantes é de 0,04 m<sup>2</sup> por habitante para países filiados a Agencia Internacional de Energia, (IEA), para alcançar esta média a área de coletores no Brasil teria que passar de 2 milhões de m<sup>2</sup>, ( dados obtidos em 2005) para 7 milhões de m<sup>2</sup> ( RODRIGUES; MATAJS, 2005).

No Brasil, em 2003 a área de coletores solares instalados era de 2,5 milhões de m<sup>2</sup> o que equivale a geração anual de energia de 1700 GWh ( ABRAVA- Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento).

As concessionárias devem aplicar 1% de seu faturamento líquido em projetos de eficiência energética e em pesquisa e desenvolvimento sendo dividido 50% entre eles, seguindo a lei federal nº 9.991, de 24/07/00, um exemplo prático da aplicação desta lei são a montagem de aquecedores para população de baixa renda no Rio de Janeiro pela Ligth Rio e em Minas Gerais pela Cemig sem custo nenhum para os beneficiados, com base nos bons resultados a Caixa Econômica Federal lançou uma nova linha de financiamentos para a casa própria popular.

A tecnologia termossolar reduz o dano ambiental associado as fontes de energia convencionais: não produz a emissão de gases tóxicos a atmosfera, e não deixa resíduo como o lixo radioativo. A tecnologia apresenta benefícios sociais como a redução da conta de energia elétrica, a geração de empregos por unidade de energia transformada, a descentralização da sua produção, e a comercialização de certificados de redução de emissões de carbono (SIQUEIRA, 2006, p.20).

### 3 O SISTEMA ASBC

Em 1992 a Organização não governamental (ONG), Sociedade do Sol, que tem o objetivo da disseminação da tecnologia termossolar, a convite do SEBRAE, apresentou o primeiro protótipo, no stand paulista da feira industrial da ECO 92, onde estavam sendo discutidos dois grandes desafios ambientais: a redução da emissão de gases poluentes na atmosfera, e o uso de tecnologias baseada em energia limpa, de 1992 a 1998 a ONG se dedicou a transformar o protótipo em um modelo de aplicação nacional, em janeiro de 1999 a equipe agregou-se ao (CIETEC), Centro Incubador de Empresas Tecnológicas da USP, onde ocorreu um grande avanço, o primeiro modelo definitivo do ASBC foi apresentado no final de 2001, em plena época de apagão.

São considerados aquecedores de baixo custo aqueles que utilizam materiais baratos e fáceis de encontrar no comércio, possuem um sistema simples de montagem e manutenção, o clima no Brasil favorece aos ASBC (sigla utilizada para se referir ao aquecedor solar de baixo custo), altas temperaturas médias diárias e farta iluminação solar bem distribuída durante o ano, o ASBC também pode ser utilizado para aquecimento de maiores volumes de água, sendo somente necessário projetar um n° de coletores maior.

Em relação aos sistemas solares de baixo custo, podem ser considerados coletores solares populares aqueles que apresentam baixo custo em função dos materiais utilizados em sua produção e da simplificação do processo de produção (SIQUEIRA, 2006, p. 21).

O princípio de funcionamento do ASBC é idêntico ao do aquecedor convencional, funcionando com o sistema de termossifão ou também bombeado, nos casos de grandes volumes de água ou onde a caixa fica a um nível inferior ao das placas coletoras,

A estratificação é muito importante no processo pois o próprio calor da água faz com que ela se movimente sendo que a água quente é mais leve que a água fria, de acordo que ela vai aquecendo nas placas, por ficar mais leve a água quente vai circulando para cima e indo em direção ao reservatório, com isso cria-se um ciclo constante, que só para quando não há calor nas placas, quanto maior o calor absorvido pelas placas maior é a vazão do sistema, dentro do reservatório a água quente também não se mistura com a água fria, a menos que haja turbulência, portanto a temperatura será maior na parte superior do reservatório, mas ao longo do tempo o calor vai se espalhando para as partes mais baixas por difusão até que a temperatura se iguale.

O pescador é um dispositivo que capta a água próximo da superfície, conseguindo assim maiores temperaturas, o sistema é simples, na parte interna do reservatório é colocado uma mangueira com uma boia na ponta, e acoplada na saída para o chuveiro.

Para evitar a turbulência é adaptado um tubo que capta a água na entrada da caixa levando-a diretamente para o fundo onde as temperaturas são inferiores.

A placa coletora (2), não possui a proteção de vidro do sistema convencional, alcançando assim uma temperatura um pouco inferior, ela é constituída por um perfil de forro alveolar de PVC, com tubos de PVC acoplados em suas extremidades, possui uma camada de tinta preto fosco em sua superfície para aumentar a absorção de calor, e também um isolamento embaixo.

Com relação aos tubos (4), eles também são de PVC, sem necessidade de ser para água quente, como os que existem a venda no mercado para aquecedores convencionais e são bem mais caros, porque a temperatura de trabalho do ASBC, é um pouco inferior, e os materiais utilizados para água fria suportam sem problemas.

O reservatório (1) é o mais simples possível podendo ser caixas d'água de amianto, plástico rígido ou fibras de vidro, preferencialmente com baixa condutividade térmica, para evitar perdas de calor o ideal é fazer um bom isolamento térmico na caixa, não existe regras sobre quais produtos deverão ser utilizados, o importante é que eles consigam um bom isolamento.

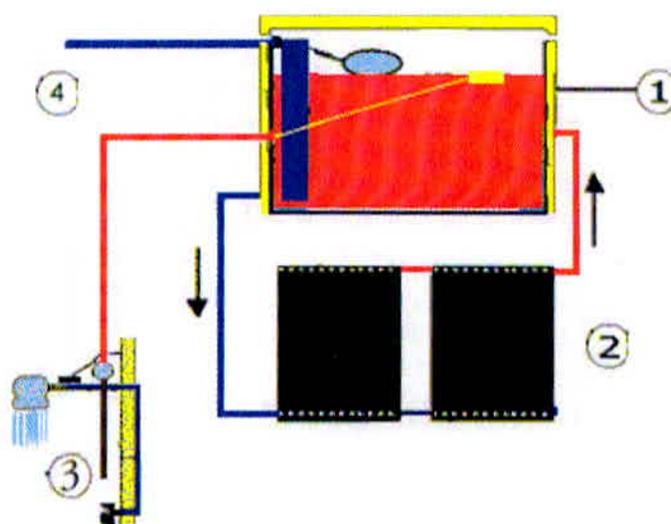


Figura 01 – Esquema do Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC)

Fonte: Sociedade do Sol

#### 4 COMPARAÇÃO ENTRE O ASBC E O AQUECEDOR CONVENCIONAL

O ASBC tem o mesmo princípio de funcionamento de um aquecedor convencional, a grande diferença é que sua estrutura é inteiramente composta de materiais baratos e de fácil acesso, seu custo chega a ser 8 vezes menor que o convencional e a montagem e manutenção são simples e não requerem mão de obra especializada, o ASBC tem uma eficiência menor em relação ao convencional, mas apresenta um ótimo resultado devido ao tipo de materiais empregados, os resultados apresentados mostram que o ASBC é uma ótima solução tanto na área econômica, quanto na área social e ambiental, pois a economia gerada na conta de energia elétrica pode chegar a 30% e seu custo de instalação tem um prazo de amortização de em média doze meses, não polui o meio ambiente e não deixa resíduos tóxicos, proporcionando ao seu usuário uma melhor qualidade de vida.

## 5 O PROBLEMA

O ASBC construído no ano de 2008 na residência do autor deste trabalho não estava apresentando resultados satisfatórios, o problema se agravava principalmente no inverno onde o dia é menor e as temperaturas mais frias, nesta época o rendimento do sistema era quase nulo, um fato que evidencia o problema é a própria conta de luz que nos meses de inverno tem uma boa elevação, logicamente existem outros fatores que elevam o consumo no inverno, como o fato do dia ser menor, mas com certeza o que mais pesa neste fato é o chuveiro elétrico que é ligado na sua potência máxima, a residência em questão possui sete moradores, sendo dividida em duas partes, na parte superior moram quatro pessoas, e na parte inferior moram três pessoas, no total são cinco adultos e duas crianças uma de dois e outra de quatro anos, veja o gráfico de consumo de energia:

Tabela 01: Consumo de energia em 2010

Mês	Consumo	média Kwh/dia	dias faturamento	de média Kwh/dia
dez/10	185	5,97	31	5,97
nov/10	162	5,59	29	5,59
out/10	171	5,7	30	5,7
set/10	189	5,73	33	5,73
ago/10	185	6,17	30	6,17
jul/10	185	6,38	29	6,38
jun/10	202	6,31	32	6,31
mai/10	156	5,2	30	5,2
abr/10	167	5,76	29	5,76
mar/10	170	5,31	32	5,31
fev/10	139	4,79	29	4,79
jan/10	162	4,91	33	4,91
dez/09	150	5,36	28	5,36

Fonte :Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG

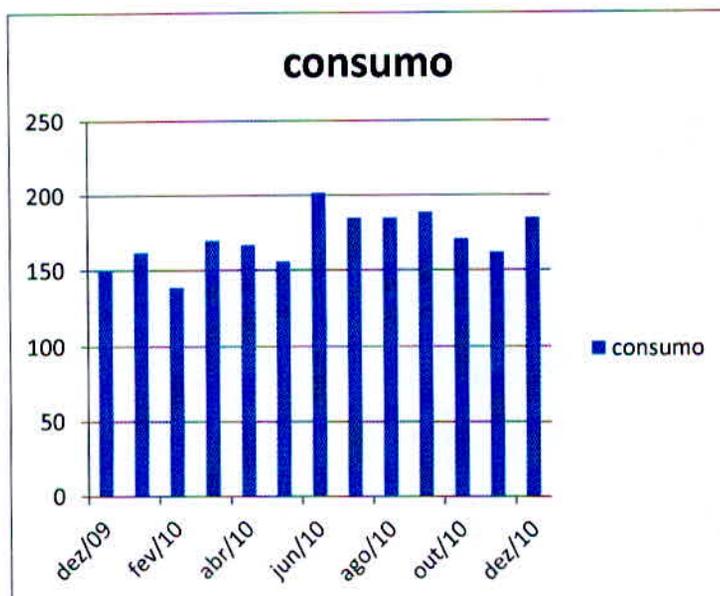


Figura 02: Gráfico de consumo de energia mensal de 2010

Fonte :Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG

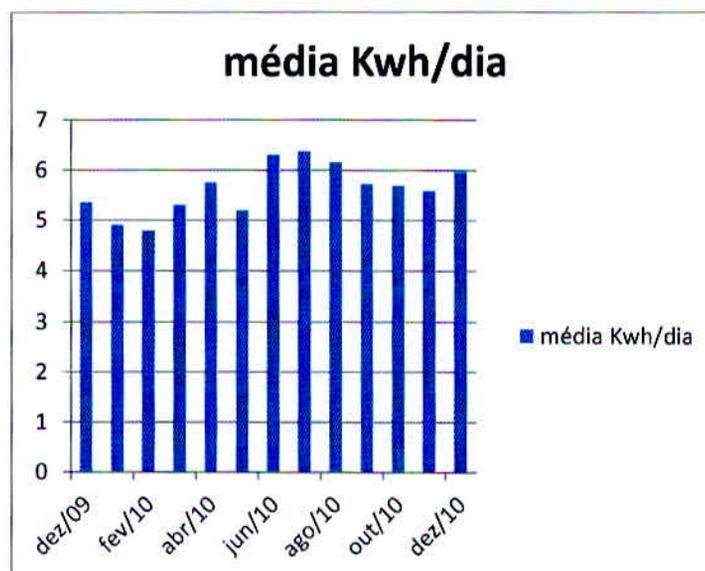


Figura 03: Gráfico de consumo de energia diário de 2010

Fonte :Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG

A média de consumo nos meses de junho, julho e agosto foi de 6,28 Kwh/dia, contra uma média de 5,43 Kwh/dia do restante do ano, ou seja ocorreu uma aumento de 15,8% no consumo, se dividirmos a média anual que é de 5,63 Kwh/dia pelo n° de pessoas que moram na casa resulta em um consumo de 0,8 Kwh/dia por pessoa.

Tabela 02: Consumo de energia em 2011

Mês	consumo	média		consumo
		Kwh/dia	dias de faturamento	
set/11	216	6,55	33	6,55
ago/11	202	6,73	30	6,73
jul/11	239	7,97	30	7,97
jun/11	220	7,1	31	7,1
mai/11	179	5,97	30	5,97
abr/11	169	5,83	29	5,83
mar/11	201	6,28	32	6,28
fev/11	142	4,9	29	4,9
jan/11	174	5,61	31	5,61
dez/10	185	5,97	31	5,97
nov/10	162	5,59	29	5,59
out/10	171	5,7	30	5,7

Fonte : Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG

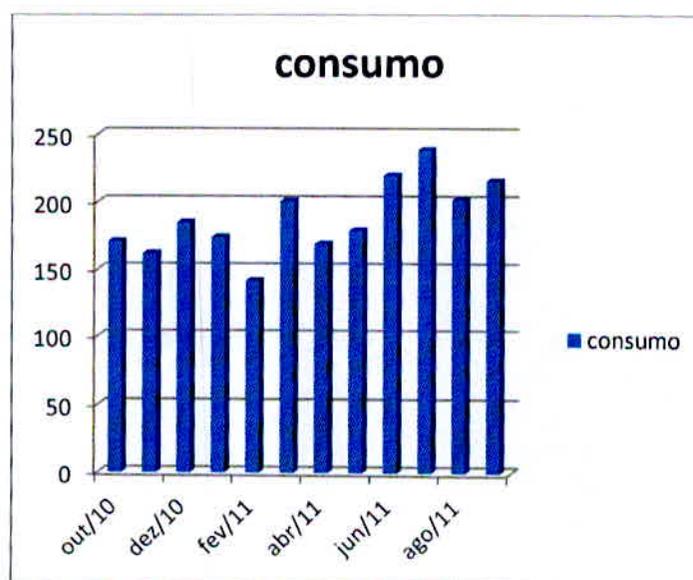


Figura 04: Gráfico de consumo de energia mensal de 2011

Fonte :Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG

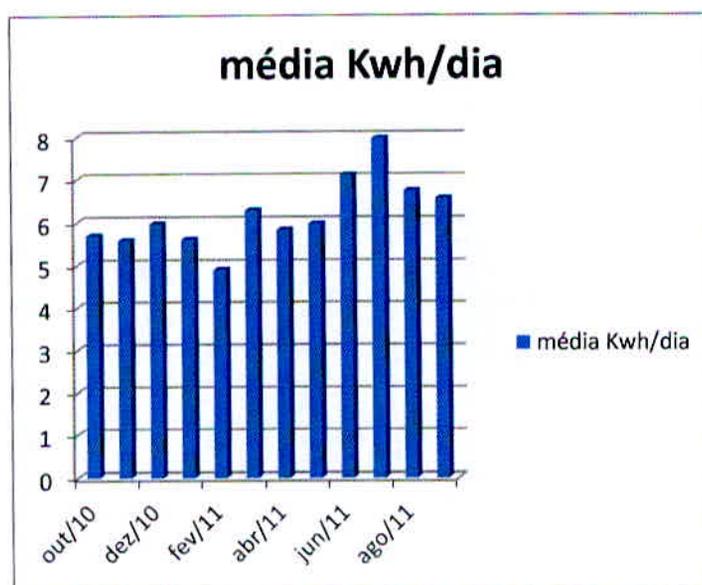


Figura 05: Gráfico de consumo de energia diário de 2011

Fonte :Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG

Estes dados foram obtidos antes da execução das melhorias, a conta do mês de setembro, foi referente ao dia 14 de agosto ao dia 14 de setembro, o sistema novo começou a funcionar no dia 24 de agosto, por isso foi considerado a conta do mês de setembro como antes das melhorias, a média do ano de 2011 foi de 6,23 Kwh/dia, ou seja 10,7% maior em relação ao ano anterior, um dos motivos para este aumento é o acréscimo de alguns aparelhos eletrodomésticos na residência, mas se observarmos os meses de junho, julho e agosto a média sobe para 7,08Kwh/dia, um aumento de 23,8% em relação aos outros meses do ano que tiveram uma média de 5,71 Kwh/dia.

Os dados obtidos pelo gráfico tanto de 2010 como de 2011 reforçam o problema da baixa eficiência do ASBC, nos meses de inverno, em 2010 o aumento nesta época foi de 15,7%, e em 2011 o aumento foi de 23,8%, com certeza estes números seriam bem menores se o sistema estivesse operando corretamente.



Figura 06: Aquecedor solar de baixo custo

Fonte: Próprio Autor

## 6 MÉTODOS UTILIZADOS

Para realização das medições foram necessários vários procedimentos que serão descritos a seguir:

Para medição das temperaturas no interior do reservatório, primeiramente foi aberto a tampa, logo em seguida foi medido a temperatura na superfície, meio e fundo, foi feito uma marca exatamente no centro do nível para que não ocorressem variações de alturas de temperaturas coletadas, após coletados estas temperaturas foi coletado a temperatura no flange de retorno da água quente das placas coletoras, após coletadas todas temperaturas do interior do reservatório foi fechada a tampa, todo o processo durou 5 min, este procedimento se repetiu em todas as medições, ou seja de uma em uma hora, logicamente isso afeta no isolamento térmico do reservatório, quando o mesmo é aberto para as medições ele perde calor, mas o procedimento foi igual ao realizado após as melhorias o que para efeito de comparação não prejudica o trabalho.

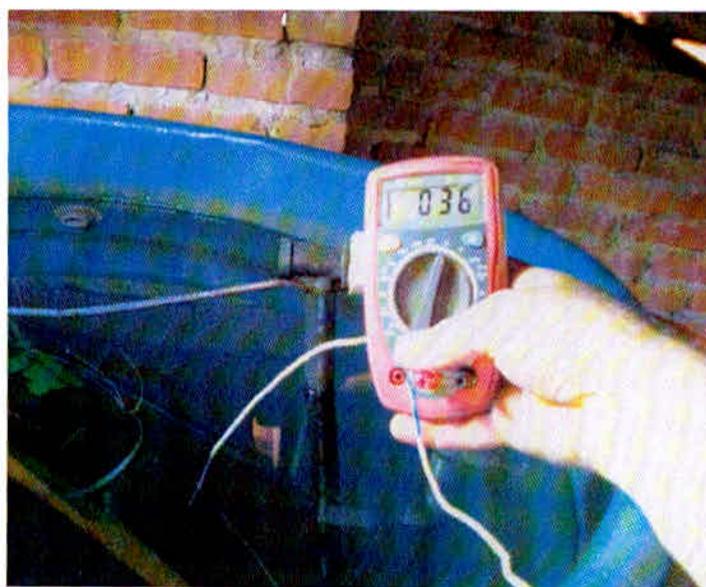


Figura 07: medição da temperatura da água

Fonte: Próprio Autor

Para medição das temperaturas na parte externa do reservatório foi simplesmente posicionado o termômetro próximo ao reservatório, os valores das medições foram todos anotados em um caderno para posteriormente serem lançados em uma planilha do Excel.

Para a realização das inspeções e verificações dos componentes no interior foram aproveitados os momentos em que o reservatório estava sem a tampa, foram verificados o funcionamento do sistema pescador, do sistema que leva a água fria ao fundo do reservatório.

As inspeções na tubulação e nas placas coletoras foram feitas visualmente, foi verificado se não havia vazamentos, conservação e pintura das placas coletoras.

### 6.1 Ferramentas utilizadas para estudo de eficiência do ASBC.

Para realização do estudo foram utilizadas as seguintes ferramentas:

Um multímetro digital que possui uma função para medir temperatura.

Uma escala métrica para medição de distâncias entre as placas coletoras e o reservatório, e nivelamento entre elas.

Ferramentas de informática para armazenamento dos dados e construção de gráficos, para auxiliar nos estudos.

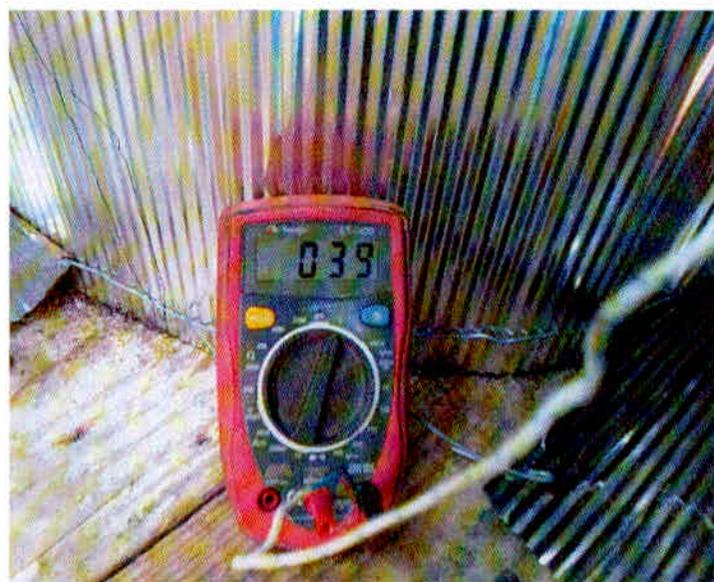


Figura 08: Multímetro utilizado para medições de temperatura

Fonte: Próprio Autor

## 7 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS ANTES DAS MELHORIAS:

Nos dias 12, 13 e 14 de julho foram realizados os testes no sistema ASBC em questão, durante estes três dias foram coletados dados de temperatura, em um intervalo de tempo de uma em uma hora, tendo início as 6:00 e término as 18:00, nos testes também foram verificados o funcionamento de cada componente do sistema, nos dias em que ocorreram os testes o tempo estava bom, com algumas nuvens, e a temperatura estava típica de inverno, não ultrapassando os 22°.

As temperaturas foram coletadas em diversos locais, dentro e fora do reservatório, dentro do reservatório, foram coletadas as temperaturas do fundo, do meio, e superfície da água, a medida entre a superfície e o fundo é 55 cm, portanto a medição do meio foi feita a 27 cm do fundo, outro local que foi medido a temperatura foi no flange de retorno da água aquecida, onde medimos a temperatura da água vinda diretamente das placas coletoras, e para completar foi medido também a temperatura ambiente ao redor do reservatório, ou seja sob o telhado da casa que geralmente costuma ser mais quente pela falta de ventilação e aquecimento provocado pelas telhas.

Durante os testes realizados foi constatado que o volume de água quente produzido pelos coletores é insuficiente para aquecer toda a água do reservatório, a temperatura máxima atingida pela água foi 40°C, as 14:00, o problema é que esta temperatura somente ocorreu em uma estreita faixa do nível superior, apenas 5 cm, após esta altura, na medida em que se abaixa o termômetro a temperatura cai consideravelmente, quando se está a 20 cm da superfície a água se encontra a 30°C, outro problema encontrado é a brusca caída de temperatura quando se começa a consumir a água, as 18:00 a temperatura não ultrapassa os 25°, esta queda acentuada é facilmente visualizada no gráfico.

A temperatura no fundo do reservatório nunca ultrapassa os 18°, a temperatura do meio do reservatório que fica mais precisamente a 27,5 cm do fundo também quase não sofreu alteração, estas temperaturas mostram claramente a baixa eficiência do sistema.

Um fator que pode ter diminuído um pouco a temperatura da água do reservatório foi o constante abre e fecha da tampa nos períodos de medição, cada vez que era aberto a tampa ocorria uma perda de calor, o ideal seria se pudesse fazer as medições sem abrir a tampa, mas este fato não vai alterar a pesquisa porque quando forem medidas as temperaturas do sistema modificado após as melhorias, as condições serão as mesmas.

Tabela 03 - Temperaturas medidas no reservatório no dia 12/07/2011

hora	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
<b>TF</b>	14	15	15	15	15	16	17	17	18	18	18	17	16
<b>TM</b>	16	17	17	18	18	19	20	20	21	21	20	20	19
<b>TS</b>	18	18	19	20	22	25	30	35	38	40	35	30	25
<b>TSP</b>	15	15	20	20	23	27	33	42	43	45	35	31	25
<b>TA</b>	10	14	16	18	19	20	22	23	24	24	23	22	21

Fonte: Próprio Autor

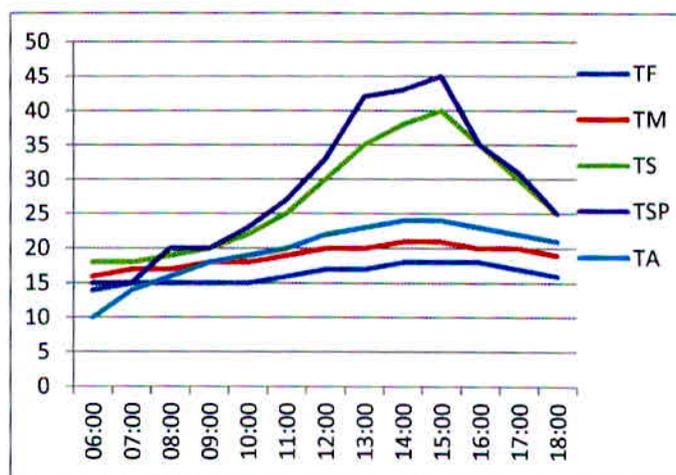


Figura 09: Gráfico das Temperaturas medidas no reservatório no dia 12/07/2011

Fonte: Próprio Autor

Tabela 04 - Temperaturas medidas no reservatório no dia 13/07/2011

hora	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
<b>TF</b>	14	15	15	15	15	16	17	17	18	18	18	17	16
<b>TM</b>	16	16	17	17	18	19	20	20	21	21	20	20	19
<b>TS</b>	16	17	17	18	20	25	30	35	38	39	35	30	25
<b>TSP</b>	14	15	17	20	23	27	33	42	44	44	35	31	25
<b>TA</b>	11	13	15	16	18	20	22	23	24	24	23	22	21

Fonte : Próprio autor

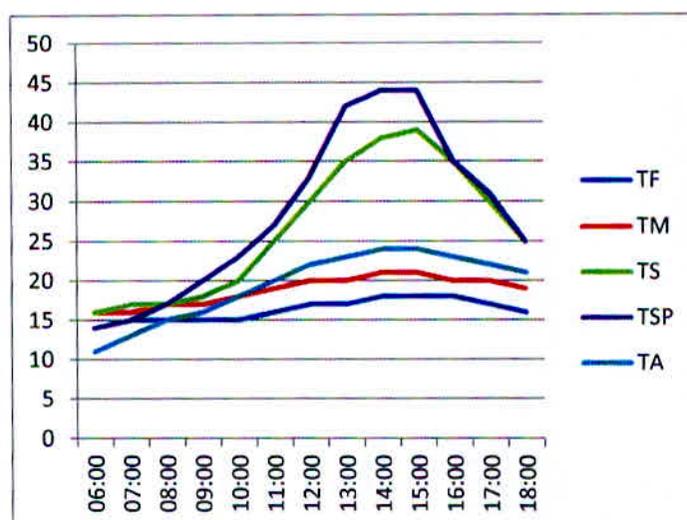


Figura 10: Gráfico das Temperaturas medidas no reservatório no dia 13/07/2011

Fonte: Próprio Autor

## Nomenclatura

TF – Temperatura no fundo do reservatório

TM – Temperatura no meio do reservatório

TS – Temperatura na superfície do reservatório

TSP – Temperatura de retorno da água das placas coletoras para o reservatório

Ta – Temperatura ambiente

## 7.1 Análise energética

As medições foram realizadas em três alturas diferentes no reservatório, fundo, meio e superfície, portanto para facilitar os cálculos, foram divididos os volumes de água em três partes de alturas iguais, o volume da parte superior é maior devido ao formato da caixa, veja os cálculos:

### 7.1.1 Cálculo de volume do reservatório

$$V = a \times h$$

$$V = \left( \frac{\pi \times d^2}{4} \right) \times h$$

Volume da aba superior da caixa:

$$V = \left( \frac{\pi \times d^2}{4} \right) \times h$$

$$V = \left( \frac{\pi \times 90^2}{4} \right) \times 12$$

$$V = 76.340,7 \text{ cm}^3 \text{ ou } 76,34 \text{ litros}$$

A altura total com água é de 55,2 cm, dividindo em três partes iguais ficou cada parte com 18,4 cm, sendo assim:

$$V = \left( \frac{\pi \times d^2}{4} \right) \times h$$

$$V = \left( \frac{\pi \times 77^2}{4} \right) \times 6,4$$

$$V = 29.802,40 \text{ cm}^3 \text{ ou } 29,8 \text{ litros}$$

Somando-se as duas partes temos 106,14 litros de água na parte superior.

Volumes do meio e fundo do reservatório:

$$V = \left( \frac{\pi \times d^2}{4} \right) \times h$$

$$V = \left( \frac{\pi \times 77^2}{4} \right) \times 18,4$$

$$V = 85.680,12 \text{ cm}^3 \text{ ou } 85,68 \text{ litros}$$

Ou seja o volume total do reservatório é de  $85,68+85,68+106,14=277,50$  litros

### 7.1.2 Porcentagem correspondente.

Em porcentagem os volumes correspondem a:

Parte superior;

$$\frac{106,14}{277,50} = 0,382\%$$

Parte do meio e fundo;

$$\frac{85,68}{277,50} = 0,308\%$$

### 7.1.3 Cálculo da diferença de temperaturas “ $\Delta t$ ” do dia 12 de julho.

Com base nas temperaturas coletadas no dia 12 de julho, foi possível calcular a temperatura média mínima e máxima, chegando-se assim no  $\Delta t$ .

As temperaturas médias mínimas que foram registradas as 6:00 da manhã são:

Fundo = 14°C

Meio = 16°C

Superfície = 18°C

Multiplicadas pelas porcentagens correspondentes obteve-se os seguintes resultados:

$$(14 \times 0,308) + (16 \times 0,308) + (18 \times 0,382) = 16,12^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatura média} = 16,12^\circ\text{C}$$

As temperaturas médias máximas que foram registradas as 15:00 são:

Fundo = 18°C

Meio = 21°C

Superfície = 40°C

$$(18 \times 0,308) + (21 \times 0,308) + (40 \times 0,382) = 27,29^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatura média} = 27,29^\circ\text{C}$$

Com estes dados foi possível calcular o  $\Delta t$  do dia 12 de julho

$$\Delta t = t - t^\circ$$

$$\Delta t = 27,29^\circ\text{C} - 16,12^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 11,17^\circ\text{C}$$

### 7.1.4 Cálculo da diferença de temperaturas $\Delta t$ do dia 13 de julho.

As temperaturas médias mínimas que foram registradas as 6:00 são:

Fundo = 14°C

Meio= 16°C

Superfície = 16°C

Multiplacadas pelas porcentagens correspondentes obteve-se os seguintes resultados:

$$(14 \times 0,308) + (16 \times 0,308) + (16 \times 0,382) = 15,35^\circ\text{C}$$

Temperatura média = 15,35°C

As temperaturas médias máximas que foram registradas as 15:00 são:

Fundo = 18°C

Meio= 21°C

Superfície = 39°C

$$(18 \times 0,308) + (21 \times 0,308) + (39 \times 0,382) = 26,91^\circ\text{C}$$

Temperatura média = 26,91°C

Com estes dados foi possível calcular o  $\Delta t$ .

$$\Delta t = t - t^\circ$$

$$\Delta t = 26,91^\circ\text{C} - 15,35^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 11,56^\circ\text{C}$$

#### 7.1.5 Cálculo da energia armazenada $Q_s$ .

A energia armazenada ao longo do dia foi calculada pela fórmula:

$$Q_s = mc_p \Delta T_s$$

Considerando que a massa da água é proporcional a :

1 litro = 1 Kg

Temos:

$$277,50 \text{ litros} = 277,50 \text{ KG}$$

Calor específico da água

O calor específico é a quantidade de energia que tem que ser adicionada na água para que ela altere 1°C a sua temperatura, o Cp da água é:

$$C_p \text{ da água} = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

$$1 \text{ cal/g}^\circ\text{C} = 4184 \text{ j/g}^\circ\text{C} = 4,184 \text{ Kj/KG }^\circ\text{C}$$

Aplicando na formula:

$$Q_s = mc_p \Delta T_s$$

$$Q_s = 277,50 \text{ Kg} \times 4,184 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times 11,17^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 12.969,04 \text{ Kj}$$

A quantidade de energia armazenada no reservatório no dia 12/07/2011 foi de 12.969,04 Kj

No dia 13/07/2011 A quantidade de energia armazenada no reservatório foi de:

$$Q_s = mc_p \Delta T_s$$

$$Q_s = 277,50 \text{ Kg} \times 4,184 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times 11,56^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 13.421,85 \text{ Kj}$$

### Nomenclatura

Ar – área do boiler (m<sup>2</sup>)

Cp – calor específico (kJ/kg °C)

m – massa (kg)

Qs – energia armazenada no reservatório (kJ)

Ta- temperatura ambiente (°C)

Trm-- temperatura média no reservatório (°C)

Δ Ts – variação da temperatura dentro do reservatório (°C)

## 8 PROBLEMAS ENCONTRADOS NO ASBC

Com a realização destas medições e observações durante dois dias, foi possível detectar os problemas pelos quais o sistema não está eficiente, os problemas encontrados são:

1 - As placas foram instaladas a uma altura de apenas 20 cm abaixo do nível do reservatório, isso ocorreu porque foi optado por colocar o reservatório sob o telhado, para não afetar a estética da casa e manter o mesmo protegido, o retorno da água quente para o reservatório ocorre a apenas 10 cm do nível da água, o que não é recomendado pelo manual de construção do ASBC, além de ocasionar possíveis danos para as placas coletoras em caso de falta de água no reservatório, pois quando se abaixa o nível, falta água dentro das placas, o que eleva muito sua temperatura, no manual consta que a altura ideal das placas coletoras é a parte mais alta das placas não deve ultrapassar o nível do fundo do reservatório.

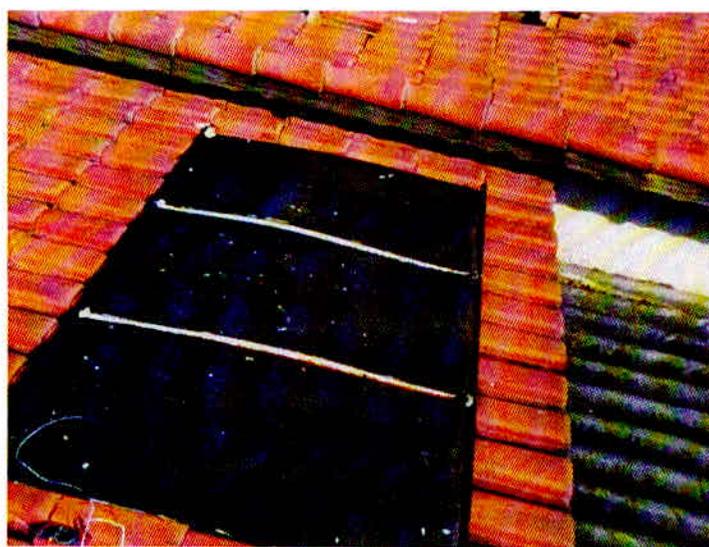


Figura 11: placas Coletoras de Forro de PVC

Fonte: Próprio Autor

2 – O sistema que capta a água fria rede e manda diretamente para o fundo do reservatório não estava funcionando, fato que prejudica muito, porque na parte superior se encontra as maiores temperaturas, quando a água fria entra e se mistura a água quente ela reduz consideravelmente a temperatura da mesma, e para piorar a situação ocorre a turbulência, fator que reduz ainda mais esta temperatura.

3 – O pescador não estava funcionando, o pescador é um dispositivo que capta a água para consumo na parte superior do reservatório, onde estão as temperaturas mais elevadas, o pescador estava captando a água 18 cm abaixo do nível, fato este que reduz em muito a temperatura da água coletada.



Figura 12: Sistema Pescador e de entrada de água

Fonte: Próprio Autor

4 – O consumo da água aquecida na cozinha prejudica o sistema, notou-se que estava havendo um grande desperdício de água aquecida, a mesma estava sendo utilizada para limpeza de louças.

5 - Outro problema encontrado é o vazamento de água pela tampa da caixa, quando a água esquenta ocorre a condensação na tampa, que devido seu formato expulsa a água para fora do reservatório.

6 – A isolamento do reservatório não está boa, foi medido uma temperatura de 29°C na parte externa superior do reservatório enquanto que na parte inferior marcou-se 24°C, isso demonstra que está ocorrendo uma perda de temperatura na caixa.

7 – O chuveiro não tem um sistema de controle de temperatura, havendo somente três opções, frio, morno e quente, fato também que leva ao desperdício, devido a dificuldade de estar regulando a temperatura durante o banho.



Figura 13: Isolação do ASBC

Fonte: Próprio Autor

## 9 PLANO DE MELHORIA

Com base nos dados obtidos nos três dias de testes, e com o levantamento dos problemas relacionados acima foi elaborado um plano de melhorias no sistema:

- 1 – Modificar a posição das placas em relação ao reservatório para que elas fiquem na altura recomendada pela manual do ASBC.
- 2 – Incluir mais 2 placas coletoras no sistema.
- 3 – Fazer uma melhoria no sistema de entrada de água da rede para que a água fria seja enviada diretamente ao fundo do reservatório.
- 4 – Fazer um sistema pescador que seja eficiente e não enrosque.
- 5 – Retirar o abastecimento de água aquecida para a cozinha.
- 6 – Fazer uma melhoria na tampa para que não ocorra o vazamento pela condensação da água.
- 7 – Trocar toda a isolamento térmica do reservatório e da tubulação.
- 8 – Trocar o chuveiro por um outro que possui um fino sistema de regulagem de temperatura.

## 10 REALIZAÇÃO DAS MELHORIAS

Nos dias 20, 21, 22 e 23 de agosto de 2011 foram realizadas as melhorias programadas no sistema, no dia 20, foi desmontado todo o sistema, primeiramente foi esvaziado o reservatório, em seguida foram retiradas as placas e colocadas em um local protegido do sol, para que elas não empenassem, foi desmontado toda a tubulação e retirado o reservatório do suporte, foi aproveitado a oportunidade para fazer uma limpeza interna no mesmo, foi retirado a tubulação que mandava água aquecida para a pia da cozinha.

No dia 21 foi dado inicio na montagem do novo sistema, foi reforçado a base de apoio do reservatório, montado as cinco placas coletoras no novo local, e em seguida foi coberto as mesmas para que o sol não as danificassem, após montado as placas foram montadas as tubulações para interligação do sistema, foram instalados o sistema de entrada de água, e o sistema pescador que foram construídos dias antes, após concluída a montagem foi feito o primeiro teste hidrostático, houve três vazamentos nas placas.



Figura 14: Placas coletoras do ASBC

Fonte: Próprio Autor

No dia 22 foram esvaziadas as placas coletoras e colados os locais de vazamentos com a mesma cola utilizada para montagem das placas, o método para esvaziar as placas foi simplesmente colocar um cotovelo de 90° nas duas saídas do reservatório para as placas com um cano na ponta, assim não foi necessário esvaziar o reservatório para fazer o reparo,

enquanto a cola secava foi dado início na isolação térmica das tubulações, no final da tarde foi feito outro teste hidrostático, foi detectado um outro pequeno vazamento em uma das placas coletoras, foi detectado também um vazamento na tubulação na saída do reservatório para o chuveiro, novamente foi esvaziado o sistema e feito o reparo.

No dia 23 de manhã foi feito outro teste hidrostático, desta vez não apareceram mais vazamentos, após terminados os testes hidrostáticos foi feita a pintura das placas coletoras novas, e também das usadas com a tinta preto fosco, após concluído a pintura já era possível perceber o sistema funcionando, em seguida foi feito o isolamento térmico do reservatório utilizando isopor de 15 mm de espessura, foi feito também o isolamento na tampa do reservatório por dentro, por ultimo foi trocado o chuveiro por um outro com regulagem eletrônica de temperatura, que regula a temperatura através de um manípulo, proporcionando assim uma regulagem fina da temperatura, pode-se considerar que o sistema começou a funcionar no dia 24 de agosto.



Figura 15: Sistema novo montado e em funcionamento

Fonte: Próprio Autor

Foi isolado todo o sistema com isopor, no reservatório foram utilizadas duas camadas de isopor de 15 mm de espessura, utilizando fita crep para a fixação, nas tubulações também foram utilizadas duas camadas, mas a espessura do isopor utilizado foi de 10mm, veja a foto do sistema:



Figura 16: Nova isolamento do ASBC

Fonte: Próprio Autor

A isolamento da tampa foi feita na parte interna da mesma para melhorar a eficiência, foi colocado a placa de isopor e lacrado utilizando plástico e cola, para resolver o problema que ocorria de condensação e vazamento pela lateral da tampa, foi deixado uma aba nas laterais do plástico que ficou fixo no interior do reservatório, não permitindo que a água escorresse para fora do reservatório.



Figura 17: Isolação da tampa do ASBC

Fonte: Próprio Autor

O problema na entrada de água da rede para o reservatório foi resolvido, trocando o cano anterior que era de 25 mm para um de 40 mm, fazendo um encaixe com precisão, evitando que a água fria fosse para a superfície, e também a turbulência.

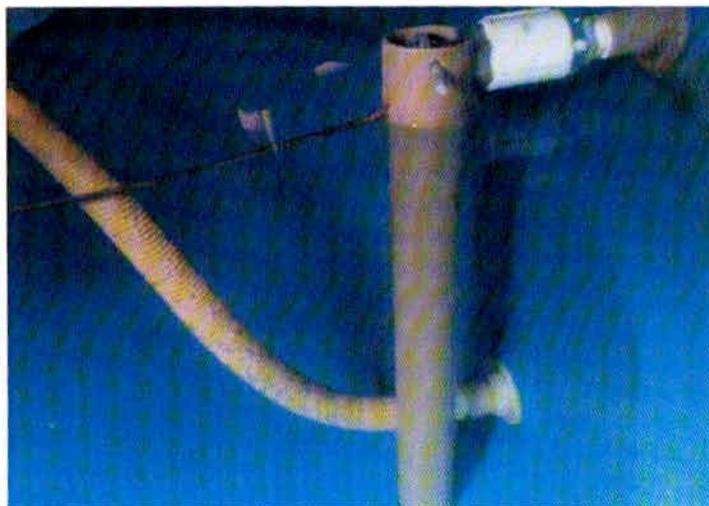


Figura 18: Sistema de entrada de água para o reservatório  
Fonte: Próprio Autor

O sistema pescador que também apresentava problemas foi melhorado, foi utilizado uma bóia, uma haste de alumínio e um contrapeso de latão para que a boca do tubo corrugado não ficasse fora da água.



Figura 19: Detalhes do novo pescador  
Fonte: Próprio Autor

### 10.1 Produtos utilizados para realização das melhorias

- 2 placas de forro de PVC, 1,00 por 0,60m.
- 1 barra de tubo marrom de 25mm.
- 1 lata com 400 ml de cola automotiva KPO.
- 1 lata com 900 ml de tinta preto fosco.
- 1 folha de lixa para paredes nº 100.
- 1 chuveiro com uma fina regulagem de temperatura, tipo potenciômetro.
- 8 placas de isopor de 15 mm de espessura
- 8 placas de isopor com 10 mm de espessura
- 2 rolos de fita crep de 50 mm de largura
- 1 tubo de cola para canos
- 6 cotovelos de 90°, de 25 mm
- 4 cotovelos de 45°, de 25 mm
- 4 luvas de 25 mm, 1 chuveiro com regulagem eletrônica

### 10.2 Levantamento de custo das melhorias

R\$ 54,00	2 placas de forro de PVC, 1,00 por 0,60m.
R\$ 18,00	1 barra de tubo marrom de 25mm.
R\$ 9,50	1 lata com 400 ml de cola automotiva KPO.
R\$ 11,50	1 lata com 900 ml de tinta preto fosco.
R\$ 1,00	1 folha de lixa para paredes nº 100.
R\$ 128,00	1 chuveiro com uma fina regulagem de temperatura, tipo potenciômetro.
R\$ 24,00	8 placas de isopor de 15 mm de espessura
R\$ 16,00	8 placas de isopor com 10 mm de espessura
R\$ 12,00	2 rolos de fita crep de 50 mm de largura
R\$ 3,00	1 tubo de cola para canos
R\$ 4,20	6 cotovelos de 90°, de 25 mm
R\$ 2,80	4 cotovelos de 45°, de 25 mm
R\$ 2,80	4 luvas de 25 mm
<b>R\$ 286,00</b>	<b>TOTAL</b>

## 11 ANÁLISE DE DADOS APÓS AS MELHORIAS REALIZADAS

Após a realização das melhorias foram coletados os dados de temperaturas durante dois dias, o procedimento foi idêntico ao realizado nos dias 12 e 13 de julho, foram coletados dados de temperaturas durante todo o dia no período das 6:00 as 18:00, um detalhe importante é o fato das temperaturas serem coletadas com o sistema em funcionamento, ou seja a água aquecida do reservatório estava sendo utilizada normalmente enquanto se faziam as medições.

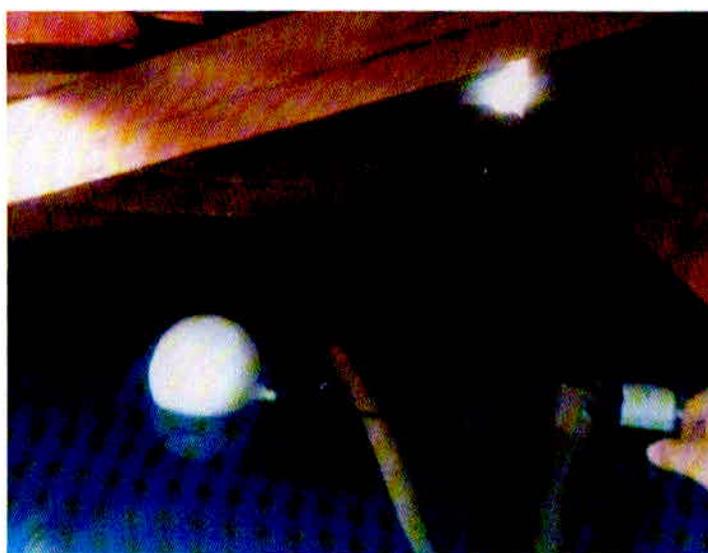


Figura 20: Medição da temperatura no interior do reservatório

Fonte: Próprio Autor

Tabela 05 - Temperaturas medidas no reservatório no dia 27/08/2011

hora	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
<b>TF</b>	22	22	23	25	27	28	28	28	30	33	32	28	28
<b>TM</b>	30	30	30	31	34	36	40	42	44	47	46	44	42
<b>TS</b>	30	30	30	32	35	37	41	44	45	47	46	45	42
<b>TSP</b>	22	22	33	36	40	44	50	54	57	58	50	40	28
<b>TA</b>	15	16	18	20	22	23	24	25	26	28	25	22	21

Fonte: Próprio Autor

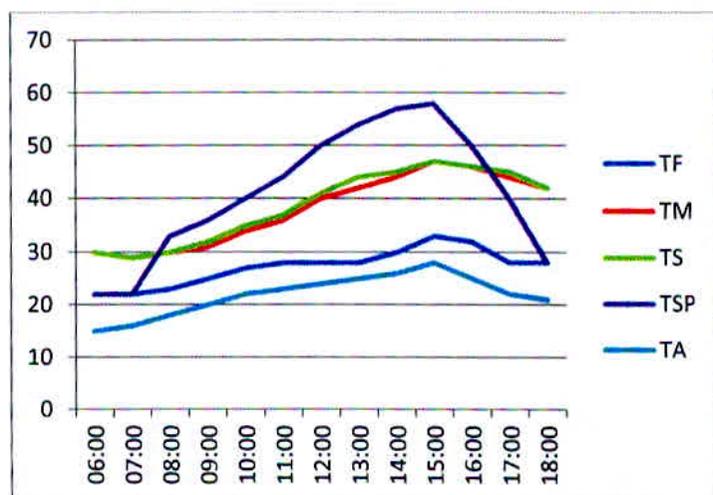


Figura 21: Gráfico das medições das temperaturas do dia 27/08/2011

Fonte: Próprio Autor

Tabela 06: Temperaturas no interior do reservatório no dia 28/08/2011

hora	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
<b>TF</b>	22	22	23	25	27	28	28	28	32	34	33	30	29
<b>TM</b>	30	30	30	31	34	36	40	42	46	48	46	44	42
<b>TS</b>	30	30	30	32	35	37	41	44	47	48	47	45	42
<b>TSP</b>	22	22	33	36	40	44	52	57	60	59	50	40	29
<b>TA</b>	15	16	18	20	22	23	24	26	28	30	28	25	24

Fonte: Próprio Autor

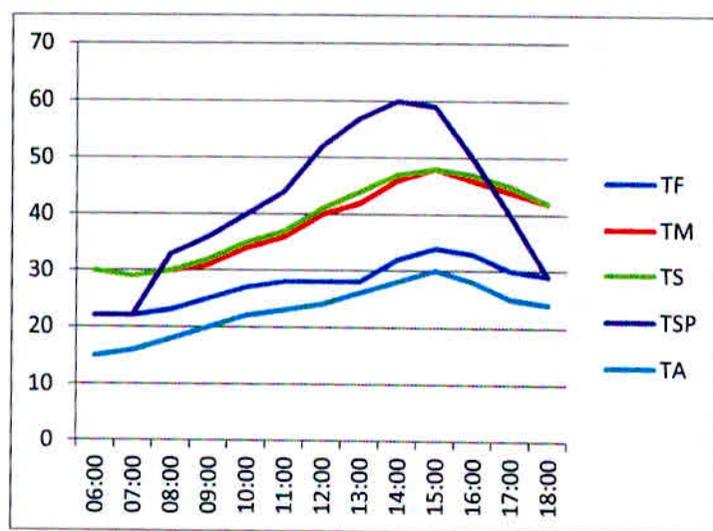


Figura 22: Gráfico das temperaturas no interior do reservatório no dia 28/08/2011

Fonte: Próprio Autor

## 11.1 Análise energética.

As medições foram realizadas em condições idênticas as feitas antes das melhorias, para que os resultados ficassem o mais próximo possível da realidade.

### 11.1.1 Cálculo da diferença de temperaturas “ $\Delta t$ ” do dia 27 de agosto.

Com base nas temperaturas coletadas no dia 27 de agosto, foi possível calcular a temperatura média mínima e máxima, chegando-se assim no  $\Delta t$ .

As temperaturas médias mínimas que foram coletadas as 6:00 são:

Fundo = 22°C

Meio= 30°C

Superfície =30°C

Multiplicadas pelas porcentagens correspondentes obteve-se os seguintes resultados:

$$(22 \times 0,308) + (30 \times 0,308) + (30 \times 0,382) = 27,47^\circ\text{C}$$

Temperatura média mínima = 27,47°C

As temperaturas médias máximas que foram coletadas as 15:00 são :

Fundo = 33°C

Meio= 47°C

Superfície = 47°C

Multiplicadas pelas porcentagens correspondentes obteve-se os seguintes resultados:

$$(33 \times 0,308) + (47 \times 0,308) + (47 \times 0,382) = 42,59^\circ\text{C}$$

Temperatura média máxima= 42,59°C

Com estes dados foi possível calcular o  $\Delta t$  do dia 27 de agosto

$$\Delta t = t - t^\circ$$

$$\Delta t = 42,59^{\circ}\text{C} - 27,47^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 15,12^{\circ}\text{C}$$

### 11.1.2 Cálculo da diferença de temperaturas $\Delta t$ do dia 28 de agosto.

Com base nas temperaturas coletadas no dia 28 de agosto, foi possível calcular a temperatura média mínima e máxima, chegando-se assim no  $\Delta t$ .

As temperaturas médias mínimas que foram coletadas as 6:00 são:

Fundo =  $22^{\circ}\text{C}$

Meio =  $30^{\circ}\text{C}$

Superfície =  $30^{\circ}\text{C}$

Multiplicadas pelas porcentagens correspondentes obteve-se os seguintes resultados:

$$(22 \times 0,308) + (30 \times 0,308) + (30 \times 0,382) = 27,47^{\circ}\text{C}$$

Temperatura média =  $27,47^{\circ}\text{C}$

As temperaturas médias máximas que foram coletadas as 15:00 são :

Fundo =  $34^{\circ}\text{C}$

Meio =  $48^{\circ}\text{C}$

Superfície =  $48^{\circ}\text{C}$

Multiplicadas pelas porcentagens correspondentes obteve-se os seguintes resultados:

$$(34 \times 0,308) + (48 \times 0,308) + (48 \times 0,382) = 43,59^{\circ}\text{C}$$

Temperatura média =  $43,59^{\circ}\text{C}$

Com estes dados foi possível calcular o  $\Delta t$  do dia 28 de agosto

$$\Delta t = t - t^{\circ}$$

$$\Delta t = 43,59^{\circ}\text{C} - 27,47^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 16,12^{\circ}\text{C}$$

### 11.1.3 Cálculo da energia armazenada $Q_s$ .

A energia armazenada ao longo do dia foi calculada pela fórmula:

$$Q_s = mc_p \Delta T_s$$

Considerando que a massa da água é proporcional a:

$$1 \text{ litro} = 1 \text{ Kg}$$

Temos:

$$277,50 \text{ litros} = 277,50 \text{ KG}$$

Calor específico da água

O calor específico é a quantidade de energia que tem que ser adicionada na água para que ela altere  $1^{\circ}\text{C}$  a sua temperatura, o  $C_p$  da água é:

$$C_p \text{ da água} = 1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$$

$$1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C} = 4184 \text{ j/g}^{\circ}\text{C} = 4,184 \text{ Kj/KG }^{\circ}\text{C}$$

Aplicando na fórmula obtivemos a energia armazenada no dia 27 de agosto

$$Q_s = mc_p \Delta T_s$$

$$Q_s = 277,50 \text{ Kg} \times 4,184 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \times 15,12^{\circ}\text{C}$$

$$Q_s = 17.555,22 \text{ Kj}$$

No dia 28 de agosto a quantidade de energia armazenada no reservatório foi de:

$$Q_s = mc_p \Delta T_s$$

$$Q_s = 277,50 \text{ Kg} \times 4,184 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \times 16,12^{\circ}\text{C}$$

$$Q_s = 18.716,28 \text{ K}$$

## 12 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O ANTES E DEPOIS DAS MELHORIAS

Analisando os gráficos fica claro a grande melhoria que houve em termos de armazenamento de energia, a capacidade de isolamento térmica do reservatório proporciona uma grande economia nos horários como madrugada e manhã do dia seguinte, antes das melhorias a temperatura média no reservatório as 6:00 ficava em torno de 16°C, agora ela fica em média 27,5°C, na comparação entre a quantidade de energia acumulada não houve grandes diferenças pelo fato das diferenças de temperatura não serem tão acentuadas, ou seja, as medições já começam com a água aquecida.

Os resultados alcançados superaram a expectativa, um fator que pode ter interferido a favor dos resultados é o fato de que as temperaturas dos dias das medições com o sistema modificado estavam em média 4 graus acima das temperaturas dos dias das primeiras medições, além do dia ter aumentado em alguns minutos, mas mesmo que se diminua a temperatura da água estes 4 graus os resultados ainda continuariam excelentes.

A medida que teve a maior diferença entre o antes e depois foi a faixa de água aquecida, antes das modificações ela ficava em média apenas 20 cm na faixa superior de água do reservatório, lembrando a faixa de água aquecida é a faixa em que a água se encontra a mais de 30°, agora praticamente todo o reservatório alcança mais que 30°, somente uma estreita faixa no fundo fica ligeiramente abaixo dos 30°, por isso nem foi apresentado na tabela e gráfico.

Outra boa surpresa foi a capacidade de isolamento térmica do reservatório, na manhã do dia seguinte há um dia ensolarado mais precisamente as 7:00, a temperatura da água estava 30° em praticamente todo o reservatório, foi coletado a temperatura após um dia nublado e chuvoso as 7:00 e a água estava 26°, este fator irá proporcionar uma grande economia de energia pois na residência há duas pessoas que tomam banho entre 7:00 e 8:00 da manhã.

O fato das placas coletoras estarem a uma distância de 4 metros do reservatório não prejudicou seu funcionamento o sistema.

Analisando a conta de energia elétrica do mês de outubro, referente ao dia 14 de setembro ao dia 14 de outubro, foi constatado uma queda considerável no consumo que ficou em 168 Kw/h, com média diária de 5,60 Kw/h, valor 2% menor em relação a média dos meses de “verão” do ano de 2011, que ficou em 5,71 Kw/h, se comparado com o mês de outubro de 2010, ficou também os mesmos 2% menor já que a média diária deste mês ficou em 5,70 kw/h, vale lembrar que o consumo de energia em 2011 cresceu 10% em relação a

2010, ainda é cedo para avaliar o reflexo das melhorias no consumo de energia pois para se ter uma conclusão definitiva será necessário reunir as contas do próximo ano.

### 12.1 Fotos do antes e depois das melhorias

#### Antes



Figura 23: Isolação do ASBC

Fonte: Próprio Autor

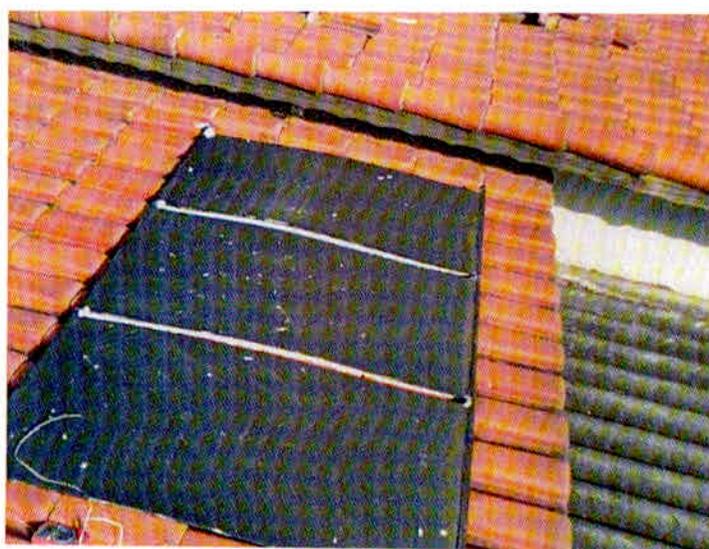


Figura 24: Placas coletoras do ASBC

Fonte: Próprio Autor



Figura 25: Sistema Pescador

Fonte: Próprio Autor



Figura 26: Chuveiro elétrico comum

Fonte: Próprio Autor

**Depois**



Figura 27: Novo sistema em funcionamento

Fonte: Próprio Autor

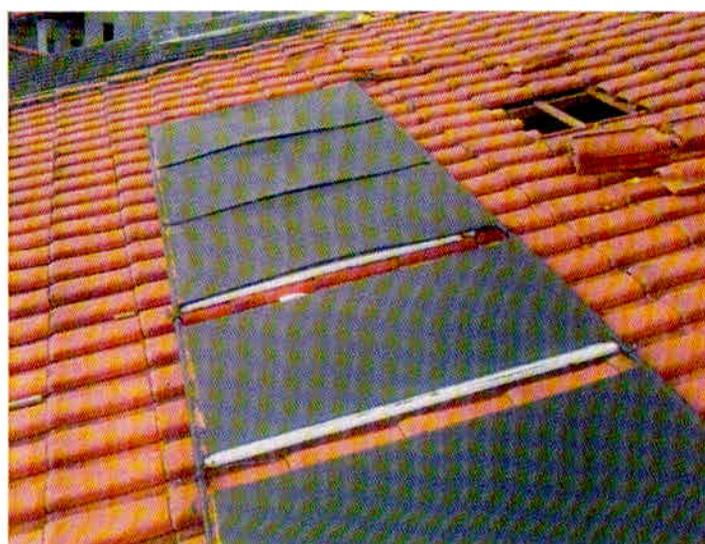


Figura 28: Sistema com 5 Placas Coletoras

Fonte: Próprio Autor



Figura 29: Novo Sistema Pescador

Fonte: Próprio Autor



Figura 30: Chuveiro com regulagem eletrônica

Fonte: Próprio Autor

### 13 CONCLUSÃO

O aquecedor solar de baixo custo (ASBC), que estava em funcionamento, não estava conseguindo suprir a demanda de água aquecida da residência, problema se agravava no inverno, com base na tabela com as medições da temperatura da água no interior do reservatório, foi possível visualizar o que estava ocorrendo, a água as 6:00 da manhã estava em média a uma temperatura de 16°C, a temperatura máxima atingida foi 40°C, as 15:00 do dia 13 de julho, um detalhe muito importante é a diferença de temperatura entre as três faixas de água no qual foram feitas as medições, fundo, meio e superfície, enquanto a superfície estava com os 40°, as medições do meio apresentavam 21°C, e do fundo 18°C, o que evidencia que havia água aquecida em apenas 106 dos 277 litros do reservatório, as 18:00 a temperatura na superfície já havia caído para 25°C.

Com estes dados e com as inspeções feitas em todo o sistema foi possível fazer um levantamento dos problemas que estavam acontecendo, e estudar soluções concretas e definitivas, foi montado um plano de melhorias e executadas nos dias 20, 21, 22 e 23 de agosto, após as melhorias foram feitas medições seguindo o mesmo método das do dia 12 e 13 de julho, as medições foram realizadas nos dias 27 e 28 de agosto, os resultados foram excelentes, as 6:00 da manhã a temperatura estava em média 27,5°C, lembrando que a água foi utilizada durante a noite do dia anterior, a temperatura máxima atingida foi 48°C as 15:00, e a vantagem foi que no meio a temperatura se manteve em 48°C, e no fundo ficou em 34°C, ou seja todos os 277 litros de água foram aquecidos, o reflexo no consumo de energia elétrica foi imediato, no mês de outubro o consumo ficou em 168 Kw/h mês, ou 5,6 Kw/h dia, valor 2% menor comparando a média dos meses de outono, primavera e verão que ficaram em 5,71 Kw/h dia, e também 2% menor que outubro de 2010 que teve um consumo diário de 5,7 Kw/h, para se ter uma conclusão mais concreta sobre o reflexo das melhorias no consumo será necessário um ano.

O aquecedor solar de baixo custo é sem dúvida, uma ótima alternativa para quem deseja economizar energia elétrica, contribuindo para o meio ambiente e para a melhoria da qualidade de vida.

## REFERÊNCIAS

- ABRAVA** - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento. [www.portalabrava.com.br](http://www.portalabrava.com.br)
- INCROPERA, F.P; DEWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e massa**, 4<sup>o</sup> Ed. LTC Editora, Rio de Janeiro, 1998.
- LESSA, Carlos, **O Brasil à Luz do Apagão**, 1<sup>o</sup> Ed, Rio de Janeiro: Editora Palavra & Imagem, 2001.
- LOPES, Ricardo Albadó, **Energia Solar**, 1<sup>o</sup> ed, São Paulo: Artliber Editora, 2002.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA ELETROBRÁS. **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)**, Brasília, 1985. Disponível em: [www.eletrobras.gov.br/procel](http://www.eletrobras.gov.br/procel).
- RODRIGUES, D.; MATAJS, R. R. **Um banho de sol para o Brasil: O que os Aquecedores Solares podem fazer pelo Meio Ambiente e a Sociedade**. Vitae Civilis. Instituto para o Desenvolvimento, Meio Ambiente e paz, ISBN 85-99722-01-8. São Lourenço da Serra, SP, 2005.
- SIQUEIRA, D.A. **Estudo de desempenho do aquecedor solar de baixo custo**. Dissertação de Mestrado, Uberlândia, FEQUI-UFU, 2009, 143p.
- SOUZA, Antônio Washington Albino, **Fundamentos da Teoria da Energia Solar e de seu uso**, 1<sup>o</sup> Ed, Belo Horizonte: Editora da fundação de Direito Econômico, 1994.
- Sociedade do Sol - [www.sociedadedosol.org.br](http://www.sociedadedosol.org.br)

**ANEXO I – Conta de Energia Elétrica referente a Dezembro de 2010.**



**AILTON DE FARIA ROSA**  
 RUA CELSO GARCIA DE FARIA 160 CS  
 COLINA SANTA BARBARA  
 37550-000 POUSO ALEGRE, MG  
 CPF 039.941.036-81

Referente a  
**DEZ/2010**  
 Código de Débito Automático:  
**000072065576**

Nº DO CLIENTE  
**7001815543**

**NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE U Nº 003418474 - PTA Nº 16.000114527.70**

<b>Classificação</b> Res Tânc 1A1 Bifásico	<b>Medição</b> AESR2002900	<b>Dados de Leitura</b> ANTERIOR: 12/11 ATUAL: 13/12 FICHADEI: 13/01	<b>Dados da Nota Fiscal</b> EMISSÃO: 16/12 APRESENTAÇÃO: 22/12	<b>Nº DA INSTALAÇÃO</b> <b>3007206557</b>
--	-------------------------------	---	--	--

<b>Tipos de Medição</b> Energia	<b>Leitura Anterior</b> 35.760	<b>Leitura Atual</b> 35.995	<b>Constante de Multiplicação</b> 1	<b>Consumo kWh</b> 185
------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	--	---------------------------

**Informações Gerais**  
 Tarifa vigente conforme Res. Aneel nº 960 de 06/04/10  
 Nota fiscal de 11/2010 quitada em 06/12/2010  
 VOCÊ TERÁ DIREITO AO BENEFÍCIO DA TSEE - TARIFA  
 BAIXA RENDA DESDE QUE ATENDA AO DISPOSTO NA  
 LEI 12.212/10  
 Considerar nota fiscal quitada após débito em sua CC.  
 O pagamento desta conta não quita débitos anteriores.  
 Para estes, estão sujeitas penalidades legais vigentes  
 (multas) e/ou atualização financeira (juros) baseadas no  
 vencimento das mesmas.

<b>Valores Faturados</b>	<b>Encargos / Cobrança</b>										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descrição</th> <th>Quantidade</th> <th>Preço</th> <th>Valor (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energia Elétrica kWh</td> <td>185</td> <td>0,56833977</td> <td>105,32</td> </tr> </tbody> </table>	Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)	Energia Elétrica kWh	185	0,56833977	105,32	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Contrib. Custeio Eua. Pública</td> <td>11,08</td> </tr> </tbody> </table>	Contrib. Custeio Eua. Pública	11,08
Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)								
Energia Elétrica kWh	185	0,56833977	105,32								
Contrib. Custeio Eua. Pública	11,08										

**Indicadores de Qualidade de Fornecimento**  
 POUSO ALEGRE/REG. DISTR. POUSO ALEGRE

Mês	10/2010	Avarias Mensal	Índice Mensal	Índice Trimestral	Índice Anual
D/C	0,00	5,51	11,82	23,64	23,64
F/C	0,00	3,80	7,60	15,20	15,20
S/MC	0,00	3,46	6,92	13,84	13,84

Índice de Tensão: 120/127 V e 110/120/116 V. Máx: +23/133 V  
 Valor Encargo Uso Sist. Distribuição: R\$44,00

**Informações de Faturamento**

Parcela	Valor R\$	%	Parcela	Valor R\$	%
Energia	22,04	20,93	Enc. Sistema	6,13	5,87
Cobrança	36,50	34,05	Taxas	37,05	35,78
Totalizado	7,97	7,52	Total	105,32	100,00

**Histórico do Consumo**

Mês/Ano	Consumo kWh	Médo Mensal	Consumo
02/10	186	5,97	31
03/10	167	5,59	29
04/10	171	5,70	30
05/10	189	5,73	33
06/10	185	6,17	30
07/10	125	6,38	25
08/10	202	6,31	32
09/10	156	5,70	30
10/10	187	5,76	29
11/10	170	5,91	32
12/10	130	4,73	29
01/11	162	4,91	33
02/09	150	5,38	28

**VENCIMENTO**  
**05/01/2011**

**VALOR A PAGAR**  
**R\$ 116,90**

Reservado ao Fisco  
**A079.1C5C.FC3C.4292.5D6D.26E5.7334.778D**

<b>Base de Cálculo (R\$)</b> 105,32	<b>ICMS Alíquota(%)</b> 30	<b>Valor (R\$)</b> 31,60	<b>PASEP (R\$)</b> 1,08	<b>COFINS (R\$)</b> 5,00
--	-------------------------------	-----------------------------	----------------------------	-----------------------------

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - 167 - Ligação gratuita de telefones fixos e tarifada na origem para telefones celulares. Devidor(a) CEMIG, (31) 3506-3538

**CEMIG** Distribuição S.A. **Unidade de Leitura** 09650121 **Conta Contrato** 000072065576 **Vencimento** 05/01/2011 **Total a Pagar** R\$ 116,90

**DÉBITO AUTOMÁTICO**



## ANEXO II – Conta de Energia Elétrica referente a Outubro de 2011



Cemig Distribuição S.A. CNPJ: 06.981.180/0001-16 / Insc. Estadual: 082.302136/0007  
Av. Bartolomeu, 1.200 - 17º andar - Ala A1 - CEP: 30150-111 - Belo Horizonte - MG

Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE fixa onada para  
Lei nº 10.430, de 26 de abril de 2002

**AILTON DE FARIA ROSA**  
RUA CELSO GARCIA DE FARIA 160 CS  
COLINA SANTA BARBARA  
37550-000 POUSO ALEGRE, MG  
CPF 039.941.036-81

Referente a  
**OUT/2011**  
Código de Débito Automático:  
**000072065576**

Nº DA INSTALAÇÃO  
**7001815543**

## NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE U Nº 003301818 - PTA Nº 16.000114527.70

Classificação	Medição	Datas de Leituras			Datas da Nota Fiscal		Nº DA INSTALAÇÃO
Residência I Bifásico	AE5852002600	ANTERIOR	ATUAL	PROXIMA	EMISSÃO	APRESENTAÇÃO	<b>3007206557</b>
		14/09	14/10	14/11	17/10	24/10	

Informações Técnicas				
Tipo de Medição	Letura Anterior	Letura Atual	Constante de Multiplicação	Consumo kWh
Energia	37.637	37.855	1	168

**Informações Gerais**  
Tarifa vigente conforme Res. Anel nº 1127, de 05/04/11  
Conforme Resolução ANEEL nº 396, de 23/02/2010,  
encontram-se disponíveis no nosso site  
**WWW.CEMIG.COM.BR** as demonstrações contábeis  
relativas ao ano anterior.  
Nota fiscal de 09/2011 quitada em 05/10/2011.  
Considerar nota fiscal quitada após débito em sua c/c.  
O pagamento desta conta não quita débitos anteriores.  
Para estes, estão sujeitas penalidades legais vigentes.  
(multas) e/ou atualização financeira (juros) baseadas no  
vencimento das mesmas.

Valores Faturados			
Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)
Energia Elétrica kWh	168	0,61324733	103,00

Encargos / Cobrança	
Contrib. Custeio Ilum. Pública	17,34

Tarifas aplicadas (sem impostos)	
Energia Elétrica kWh	0,38976000

**Indicadores de Qualidade de Fornecimento**  
Pouso Alegre 1  
Mês: 09/2011

Apurado Mensal		Valores Permitidos	
Mensal	Trimestral	Mensal	Anual
DEC: 0,15	5,87	11,34	27,68
FIC: 1,00	3,42	6,80	13,70
DMIC: 0,15	3,79	-	-

Tensão Nominal: 220/127 V Min: 201/116 V Máx: 231/133 V  
Valor Encargo Usa Sól. Distribuição: R\$51,50

**Informações de Faturamento**

Parcelas	Valor R\$	% Parcelas	Valor R\$	%
Energia	21,34	20,72	5,93	5,76
Tributação	30,33	34,79	37,57	36,43
Impostos	7,88	7,80	103,00	100,00

**Histórico do Consumo**

Mês/Ano	Consumo kWh	Letura kWh/Dia	Dia de Faturamento
OUT/11	168	5,00	30
SET/11	216	6,56	33
AGO/11	202	6,73	30
JUL/11	239	7,97	20
JUN/11	220	7,10	31
MAY/11	179	5,97	30
ABR/11	169	5,52	29
MAR/11	201	6,28	32
FEB/11	142	4,90	29
JAN/11	174	5,01	31
DEZ/10	180	5,97	31
NOV/10	162	5,09	29
OUT/10	171	5,70	30

VENCIMENTO	VALOR A PAGAR
<b>05/11/2011</b>	<b>R\$ 115,34</b>

Reservado ao Fisco  
**07BB.0DE9.C7B5.71A7.CF81.BA48.8ABD.75BB**

Base de cálculo (R\$)	ICMS Alíquota (%)	Valor (R\$)	PASEP (R\$)	COFINS (R\$)
103,00	30	30,90	1,18	5,44

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - 167 - Ligação gratuita de telefones fixos e tarifada na origem para telefones celulares. Ouvidoria CEMIG: (31) 3506-3838

**CEMIG**  
Distribuição S.A.

Unidade de Leitura  
**09650121**

Conta Contrato  
**000072065576**

Vencimento  
**05/11/2011**

Total a Pagar  
**R\$ 115,34**

**DÉBITO AUTOMÁTICO**

