



TARSUS MAGNUS GUERREIRO DE ARAUJO

**ESTUDO PARA MELHORIAS EM SISTEMA DE
AQUECIMENTO CENTRAL DE ÁGUA EM UM
EDIFÍCIO RESIDENCIAL NA LOCALIDADE DE
BRASÍLIA – DF**

LAVRAS - MG

2011

TARSUS MAGNUS GUERREIRO DE ARAUJO

**ESTUDO PARA MELHORIAS EM SISTEMA DE
AQUECIMENTO CENTRAL DE ÁGUA EM UM
EDIFÍCIO RESIDENCIAL NA LOCALIDADE DE
BRASÍLIA – DF**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia da Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do curso
de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas
Alternativas de Energia, para a obtenção do
título de especialista em Formas
Alternativas de Energia.

Orientador

Prof. Carlos Alberto Alvarenga

LAVRAS - MG

2011

TARSUS MAGNUS GUERREIRO DE ARAUJO
ESTUDO PARA MELHORIAS EM SISTEMA DE AQUECIMENTO
CENTRAL DE ÁGUA EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL NA
LOCALIDADE DE BRASÍLIA – DF

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia da Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do curso
de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas
Alternativas de Energia, para a obtenção do
título de especialista em Formas
Alternativas de Energia.

Aprovada em _____ de _____ de _____

Prof. _____

Prof. _____

Orientador
Prof. Carlos Alberto Alvarenga

LAVRAS – MG
2011

A Luís Filipe e Charllete. Razão de tudo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Engenharia, pela disponibilização do curso.

Ao meu orientador, Prof. Carlos Alberto Alvarenga, por suas valiosas orientações, experiência profissional e incentivo.

Ao Prof. Doutor Gilmar Mendes, Coordenador do curso, pelo seu entusiasmo contagiante.

A nossa querida tutora, Iara de Cássia S. Santos, por sua dedicação e paciência.

Ao corpo administrativo da FAEPE, pelo profissionalismo e atenção dispensada.

Ao Arquiteto e amigo Marcus F. P Falcão, pelas dicas valiosas e grande incentivo.

Aos meus caros colegas de curso, Thadeu, Helton, Lúcio e Ubiratan, pelo companheirismo e amizade.

Ao Arquiteto e amigo Alessandro Vicente de Sousa e Silva pela disponibilização de material para pesquisa e subsídio ao trabalho.

Aos meus queridos colegas de trabalho pelo incentivo.

A minha amada esposa Charlete, por sua cumplicidade e apoio incondicional e por acreditar junto comigo.

Ao meu amado filho Luís Filipe, pela compreensão por tantos finais de semana e noites de ausência.

Aos meus pais e meus irmãos. Pela certeza do significado de família.

A Deus, pela oportunidade da vida e crescimento espiritual.

RESUMO

O presente trabalho visa propor soluções para melhorias em um sistema preexistente de aquecimento central de água equipado com uma unidade geradora de água quente, alimentada por Gás Natural Liquefeito (GNL) em uma edificação de uso habitacional coletivo de alto padrão, na localidade de Brasília, Distrito Federal.

A proposta de reformulação do atual sistema tem fulcro na necessidade de se tentar mitigar ao máximo os efeitos provocados pelo uso de fontes de energia não renováveis.

Embora a proposta inicial para aquecimento de água tenha se norteado pelo viés da não utilização de energia elétrica para tal fim, o que por si só já aponta no sentido da sustentabilidade ambiental, a escolha do sistema vem esbarrar em preceitos atuais que preconizam a se evitar o consumo de combustíveis fósseis buscando alternativas viáveis como a energia solar para o atendimento das demandas que se apresentarem, propondo inclusive a total substituição da solução adotada e nos casos onde não for possível, a adaptação a sistemas híbridos, ou seja, onde são utilizados mais de um sistema de geração de energia.

No presente estudo nos ateremos apenas à proposta de utilização de um sistema de energia solar, devidamente dimensionado, utilizando além das normas brasileiras o apoio do aplicativo RETScren, de propriedade do Governo Canadense e o SunData, disponibilizado pelo CRESESB. O sistema proposto passará a trabalhar em conjunto com o atualmente implantado sem provocar grandes alterações estruturais ou operacionais.

Espera-se que a alternativa proposta venha trazer benefícios para a edificação, não só sob o contexto de economicidade, mas também no que concerne a melhor eficácia e consequente conforto térmico, dado as respostas mais rápidas que podem ser exigidas com as novas implementações.

O presente trabalho tenta mostrar a compromisso social da engenharia na busca de soluções que não só venham a diminuir os custos diretos da construção, mas que também proporcionem o devido conforto ao usuário de uma edificação sem contudo esquecer do possível impacto causado ao meio ambiente pela tomada de decisão por um dado sistema.

Palavras-chave: Aquecimento. Solar. Gás natural. Híbrido.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Imagem de satélite da edificação.	3
Figura 2	Geradora de água quente modelo ETD-2500 MORGANTI.	4
Figura 3	Países que participaram do estudo da SHC_EIA	11
Figura 4	Coletor solar plano explodido	12
Figura 5	Corte em coletor mostrando a conversão da radiação Solar em calor	13
Figura 6	Curva característica de um coletor do tipo fechado	15
Figura 7	Montagem de coletores em série	17
Figura 8	Montagem de coletores em paralelo	18
Figura 9	Montagem de coletores em série-paralelo	19
Figura 10	Classificação de coletores solares planos	20
Figura 11	Esquema de circuito de termossifão	23
Figura 12	Esquema de circuito com circulação forçada	24
Figura 13	Reservatório de água quente – Perspectiva isométrica	28
Figura 14	Reservatório de água quente – Perspectiva isométrica com corte diagonal	29
Figura 15	Perspectiva geral do sistema central de aquecimento	32
Tabela 1	Características operacionais Geradora de água quente modelo ETD-2500	5
Tabela 2	Consumo médio mensal de gás natural para aquecimento de água	6
Tabela 3	Dados do coletor solar	20
Tabela 4	Demanda diária para consumo de água quente	34
Tabela 5	Cálculo do volume do reservatório de água quente	35
Tabela 6	Dados para o cálculo do financiamento	43

Tabela 7	Fluxo de caixa para desembolso do financiamento	43
Tabela 8	Fluxo de caixa para absorção do investimento	44
Planilha 1	Estimativa de orçamento para o sistema de aquecimento Solar	41
Gráfico 1	Radiação solar em Brasília – Plano inclinado	39

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
SHX-EIA	International Energy Agency's Solar Heating And Cooling Programme
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e biocombustíveis
SAS	Sistema de Aquecimento solar
RETSCren	Denominação de software mantido pelo Governo do Canadá.
Peak shaving	Cortes de pico de demanda
AF	Água fria
AQ	Água quente
RG	Registro de Gaveta
RP	Registro de Pressão
VPL	Valor Presente Líquido
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	CARACTERÍSTICAS GERAIS	3
2.1	Descrição do sistema projetado para a edificação	3
2.2	Dados da central de aquecimento de água	4
3	PANORAMA SOBRE A PRODUÇÃO E CONSUMO DE GÁS NO BRASIL	5
3.1	Consumo de Gás Natural	5
3.2	Gás natural – Aspectos gerais da produção e consumo no país	7
4	UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA	10
4.1	A energia solar como opção viável	10
4.2	Coletores planos – Características construtivas	11
4.3	Eficiência térmica de um coletor solar	14
4.4	Montagem de coletores – Tipos de configurações	16
4.4.1	Configuração de montagem em série	16
4.4.2	Configuração de montagem em paralelo	17
4.4.3	Configuração de montagem em série-paralelo	18
4.5	Classificação de coletores solares segundo o INMETRO	20
4.6	Dados do coletor utilizado para o estudo de caso	20
4.7	Princípio do termossifão	21
4.8	Reservatório de água quente	25
5	ESTUDO DE CASO	30
5.1	Composição e funcionamento do sistema híbrido	30
5.2	Cálculo para o dimensionamento da demanda	

	de água quente para o sistema de aquecimento por energia solar	33
5.3	Cálculo para o dimensionamento do reservatório térmico	35
5.4	Cálculo da quantidade de energia diária necessária para o aquecimento de água	36
5.5	Cálculo para o dimensionamento da área de captação	37
6	ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA	40
6.1	Parâmetros gerais	40
6.2	Cálculo do custo de implantação do sistema	41
6.3	Financiamento e fluxo de caixa	42
7	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

O aumento na queima de combustíveis fósseis no nosso planeta tem gerado preocupação por parte dos governos de diversos países. É de domínio público que os combustíveis fósseis são formados por meio de processos físico-químicos que podem durar milhares de anos até que seja possível a sua conclusão para utilização para geração de energia, motivo pelo qual, consomem-se muito mais do que é produzido pela natureza, o que os torna finitos para nós, ou seja, sob o aspecto de tempo geológico, não renováveis.

Somem-se ainda as consequências ambientais geradas pela queima desses recursos energéticos, como a emissão de gases de efeito estufa, que elevam a patamares preocupantes a temperatura média do planeta, e outros materiais particulados ou pesados como o mercúrio.

Porém, no sentido de tentar mitigar ao máximo os efeitos danosos da queima de combustíveis fósseis, ações vêm sendo tomadas por vários seguimentos da sociedade. Dentre estas, a substituição parcial e paulatinamente crescente, dos recursos energéticos de origem fóssil por outras formas alternativas de geração de energia não poluentes e não geradores de gases de efeito estufa.

Esse é o principal objetivo do presente trabalho. Propor uma opção que se apresente como viável não apenas sob o contexto técnico e econômico, mas totalmente sustentável e ecologicamente correto.

A organização do presente estudo foi pautada em sete capítulos, sendo o primeiro esta introdução.

No Capítulo II é feita uma descrição geral das instalações projetadas e executadas para o aquecimento de água para banho da edificação, onde estão descritas todas as suas principais características, componentes e acessórios.

O Capítulo III demonstra o consumo de gás natural pelo sistema proposto e instalado no edifício e um paralelo com a produção nacional e consumo de gás natural no Brasil. O principal objetivo da inserção do segundo tópico é alertar sobre a dependência cada vez maior desse insumo na área industrial e que poderá, em função da baixa oferta disponível, uma tendência que é observada, ter seu custo elevado, o que refletirá diretamente no custo de produção industrial e nos casos como o do estudo, elevar sobremaneira o custo arcado com o condomínio para aquecimento de água.

No Capítulo IV, é feita uma explanação geral sobre a importância da utilização da energia solar quanto a sua disponibilidade e vantagens sob o aspecto ambiental.

Ainda no mesmo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os coletores solares planos e reservatório térmico, no tocante às suas características construtivas, princípio de funcionamento, tipos de arranjos para montagem que podem ser feitos para interligação dos mesmos, classificação segundo o INMETRO e o fenômeno da termossifonagem.

O Capítulo V concentra o embasamento da proposta do presente estudo.

É abordada a configuração do novo sistema para aquecimento de água e efetuados os devidos dimensionamentos para demanda como o volume nominal de consumo, área de captação e o volume para reservação de água quente.

No Capítulo VI, é feita a avaliação do investimento sob o aspecto financeiro para apresentação de sua viabilidade.

E finalmente no Capítulo VII, é apresentada a conclusão baseada nos resultados dos parâmetros envolvidos.

2 CARACTERÍSTICAS GERAIS

2.1 Descrição do sistema projetado para a edificação

2.1.1 Dados da edificação

Edifício residencial, de conformação horizontal característica da área tombada de Brasília, composto por 6 (seis) pavimentos tipo com 12 (doze) apartamentos de 3 (três) quartos, perfazendo um total de 72 (setenta e duas) unidades habitacionais, 1 (um) pavimento térreo (pilotis) e subsolo, onde ficam situados os equipamentos de aquecimento central e garagem.

A Figura 1 apresenta uma imagem de satélite da edificação. Note-se a orientação do norte e a não interferência de sombras por parte de outras edificações, devido ao afastamento mínimo determinado pelo Código de Obras do Distrito Federal para o setor onde está localizado o edifício.



Figura 1 – Imagem de satélite da edificação.
Fonte: Google Earth.

2.2 Dados da central de aquecimento de água

O sistema projetado para aquecimento central de água na edificação tomada para o presente estudo é composto por:

- 01 (uma) geradora de água quente modelo ETD-2500 com 2 (dois) queimadores de 35.000 kcal/h; com capacidade de acumulação de 2.500 litros; de fabricação MORGANTI (Figura 2). Características do equipamento na Tabela 1.



Figura 2 – Geradora de água quente modelo ETD-2500 MORGANTI.
Fonte: www.morganti.com.br.

Tipo ETD	Potência Efetiva (Kcal/h)	Potência Nominal (Kcal/h)	Potência Elétrica (KW)	Capacidade Depósito (litros)	Vazão (L/h) $\Delta T=50^{\circ}C$	Consumo de Combustível					
						Gás GLP (kg/h)	Gás Natural (m3/h)	Gás de Nafta (m3/h)	Lenha Aprox. (m3/h)	Carvão Vegetal Aprox. (kg/h)	Óleo Diesel (l/h)
1000	1x30.000	35.294	21,0	1.000	600	3,21	3,72	8,40	0,024	5,33	4,13
1500	2x20.000	47.058	30,0	1.500	800	4,28	4,95	11,20	0,033	7,11	5,50
2000	2x30.000	70.588	42,0	2.000	1.200	6,42	7,43	16,81	0,049	10,66	8,25
2500	2x35.000	82.353	48,0	2.500	1.400	7,48	8,66	19,60	0,058	12,44	9,62
3000	2x40.000	94.117	60,0	3.000	1.600	8,56	9,91	22,41	0,066	14,22	11,00
4000	2x60.000	141.176	90,0	4.000	2.400	12,83	14,86	33,61	0,098	21,33	16,51
5000	2x80.000	188.235	90,0	5.000	3.200	17,11	19,81	44,81	0,132	28,44	22,00

Tabela 1 – Características operacionais Geradora de água quente modelo ETD-2500. MORGANTI.

Com adaptações do sítio www.morgantinet.com.br/tabelas/tabela_etd.htm.

- O sistema conta ainda com dispositivo de recirculação de água quente modelo MYL; velocidade de 2.800 rpm; potência de 127 W; vazão de 10 L/min; pressão de 4,7 m.c.a.; de fabricação GALTHERM – Sistema de Aquecimento Ltda.

- Tubulação executada com tubos de cobre e conexões de cobre e bronze de fabricação ELUMA, toda, com exceção da linha de retorno ou recirculação, devidamente isolada com tubos extrudados de espuma de polietileno expandido, devidamente fixados à tubulação por meio de braçadeiras de nylon ou de aço galvanizado por imersão a quente.

3 PANORAMA SOBRE A PRODUÇÃO E CONSUMO DE GÁS NO BRASIL

3.1 Consumo de Gás Natural

A tabela 2 mostra o consumo anual de gás natural na edificação com o custo médio mensal. As variações mensais do consumo nos períodos em que a demanda aumenta ou diminui são em função de eventos locais como férias

escolares, quando a população do Distrito Federal se desloca para outros estados ou mesmo países, bem como da variação climática que se acentua baixa nos meses de maio a setembro e períodos chuvosos de final e início de ano.

Considerando que a edificação é atendida por sistema central e que as instalações de gás foram contempladas com medição individualizada e portanto existe um medidor para serviço. A Tabela 2 contempla este último.

CONSUMO DE GÁS NATURAL - AQUECIMENTO			
Mês	Consumo (m³)	R\$/m³ *	Total (R\$)
Jan	1036,0	5,95	6.164,20
Fev	1110,0	5,95	6.604,50
Mar	1480,0	5,95	8.806,00
Abr	1628,0	5,95	9.686,60
Mai	1850,0	5,95	11.007,50
Jun	1598,4	5,95	9.510,48
Jul	1776,0	5,95	10.567,20
Ago	1835,2	5,95	10.919,44
Set	1642,8	5,95	9.774,66
Out	1465,2	5,95	8.717,94
Nov	1198,8	5,95	7.132,86
Dez	1420,8	5,95	8.453,76
Total	18041,2	5,95	107.345,14
Custo médio mensal (R\$)			8.945,43

* Valor médio anual, Fonte CEB Gás

Tabela 2 – Consumo médio mensal de gás natural para aquecimento de água.
Fonte: o autor.

3.2 Gás natural – Aspectos gerais da produção e consumo no país

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo (ANP), o desequilíbrio nas condições de oferta e demanda de gás natural no Brasil nos últimos anos, aliado às incertezas quanto ao fornecimento do gás boliviano, impôs ao País a necessidade de adoção de alternativas de suprimento, a fim de flexibilizar a oferta de gás e assegurar o fornecimento continuado deste energético aos diferentes segmentos de consumo.

A diversificação das fontes de suprimento tornou-se de suma relevância para mitigar os riscos de desabastecimento. Deste modo, o Gás Natural Liquefeito (GNL) tornou-se uma importante alternativa ao transporte por dutos, principalmente nos casos em que:

- (a) existe incerteza quanto à entrega de gás no volume negociado com o país exportador;
- (b) a malha de transporte ainda é incipiente ou inexistente;
- (c) os dutos já estão operando no máximo de sua capacidade; e/ou;

(d) a demanda total de gás natural de um país é atendida por mais de uma fonte exportadora, por vezes com a utilização de diferentes modais de transporte.

Em que pese os custos da comercialização de GNL, historicamente elevados, verifica-se que aos poucos esta alternativa começa a se viabilizar em países como o Brasil, por exemplo, trazendo mudanças em contratos e preços.

Além do Plano de Antecipação da Produção de Gás Natural (Plangás), em implementação pela Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) na Região Sudeste, a companhia brasileira levou adiante dois projetos de GNL, localizados em Pecém (CE) e na Baía de Guanabara (RJ), com capacidade para regaseificar, respectivamente, 7 milhões de m³/dia e 14 milhões de m³/dia.

Face ao ineditismo dos projetos de GNL no Brasil e de suas atividades associadas, tornou-se necessária a capacitação da ANP para as operações técnicas e econômicas que envolvem a comercialização de GNL, a fim de realizar de forma adequada a análise dos documentos para a outorga das autorizações de construção e de operação.

Tendo em vista a relevância do tema, o trabalho referenciado, objetiva apresentar a experiência da ANP na implantação de projetos de GNL no País. O texto, baseado na Nota Técnica ANP nº 12, de 2009, descreve a cadeia do GNL e as instalações de *peakshaving*, desenha um panorama das condições de mercado que motivaram a construção dos projetos de GNL no País e a importação do insumo, com destaque para o marco regulatório e o histórico das primeiras importações realizadas.

O trabalho apresenta também as principais características do mercado de GNL nos três países visitados pela ANP (Estados Unidos, Espanha e Reino Unido), com um breve panorama do comércio mundial de GNL na atualidade. Descreve também os riscos associados à atividade e os principais incidentes já ocorridos no mundo. Trata, ainda, das características técnicas dos projetos implantados na Baía de Guanabara e em Pecém, do processo de outorga das autorizações de construção e operação das instalações de GNL e traz as reflexões sobre o aprendizado do órgão regulador.

Condensado da NT CCL 12/2009, com adaptações.

Pode ser depreendido do fragmento acima que a situação da exploração e comercialização do gás natural no Brasil passar por um momento delicado e de interdependência de outros países produtores, haja vista o aumento da demanda do produto no mercado interno em face dos grandes investimentos utilizando essa commodity como matriz energética.

Embora o gás natural venha sendo utilizado como alternativa à eletricidade na área industrial, instabilidades no tocante ao fornecimento, que depende diretamente da produção e importação de países como a Bolívia e com consequente influência no preço, veem sugerir, somado ao fato de ser esta uma fonte não renovável, que se busquem outras opções para a geração de energia. É neste panorama que o presente trabalho insere uma fonte praticamente não poluente, disponível em todo o planeta e inesgotável, a energia solar.

4 UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA

4.1 A energia solar como opção viável

De acordo com a International Energy Agency's Solar (SHC-IEA), 2010 apud COELHO, 2010, a capacidade instalada de sistemas de aquecimento solar em operação nos 53 países assinalados no mapa da Figura 3, é de 151,9 GWth, correspondendo a 217 milhões de metros quadrados de coletores em 2008. Os 53 países correspondem a 61% da população mundial e aproximadamente 90% do mercado de aquecimento solar no mundo.

formando uma chapa absorvedora, onde estão fixadas as tubulações por onde circula a água a ser aquecida. A parte superior da caixa é fechada por um ou dois vitrais de vidros planos transparentes, dependendo do nível de temperatura desejado para a água. A Figura 4 mostra a estrutura de um coletor plano e seus componentes.

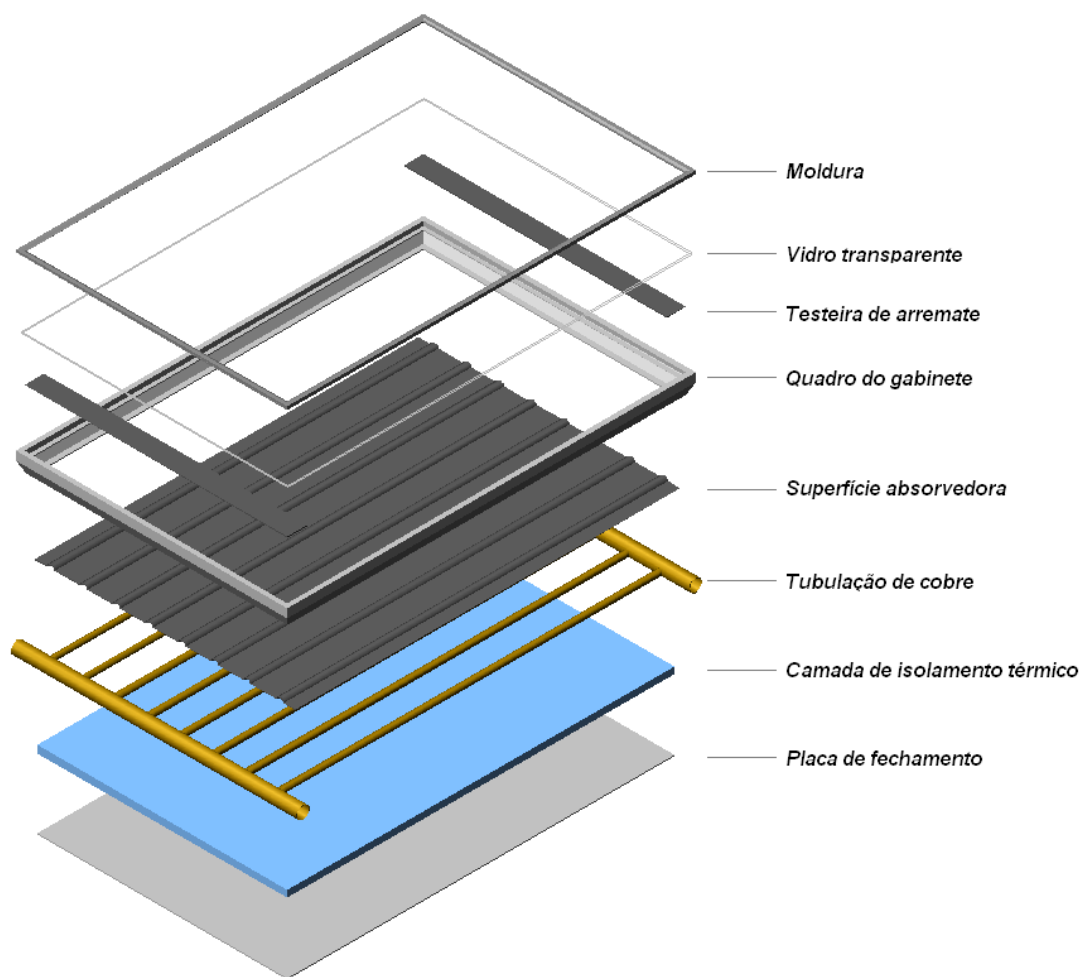


Figura 4 – Coletor solar plano explodido.
Fonte: o autor.

Ainda segundo ALVARENGA (2006), O funcionamento do coletor solar plano baseia-se na absorção da radiação solar de ondas curtas pela chapa preta absorvedora, energia essa transformada em calor que, pelo efeito estufa, é aprisionada no interior do coletor e transferida ao fluido. Os vitrais colocados sobre as aletas absorvedoras servem tanto para evitar o efeito convectivo do ar ambiente quanto para impedir a saída da radiação infravermelha de ondas curtas, produzindo o efeito estufa e proporcionando um aumento da eficiência da conversão.

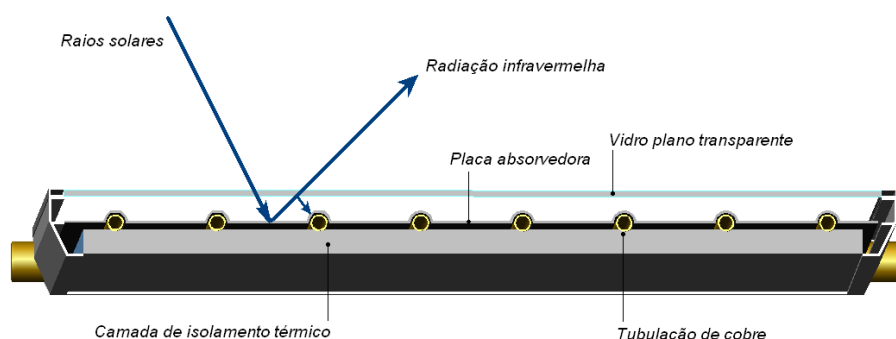


Figura 5 – Corte em coletor mostrando a conversão da radiação solar em calor.
Fonte: o autor.

Na construção de um coletor solar, utiliza-se comumente para a confecção do gabinete, perfis extrudados de alumínio que formarão um quadro que será a estrutura de suporte de todo o conjunto. Na camada absorvedora de calor geralmente são utilizadas chapas aletadas e calandradas de alumínio, pintadas na cor preto fosco. Camada esta que se sobrepõe diretamente sobre a

grade de tubos de cobre e estando solidariamente ligada a mesma por meio de soldagem do tipo “branca”.

Para a tubulação de circulação são utilizados de forma mais corrente tubos de cobre pelas características inerentes aos mesmos no tocante à durabilidade, boa absorção de calor, baixo coeficiente de rugosidade, alta condutibilidade térmica e manutenção quase inexistente. ALVARENGA (2006) cita que existem coletores experimentais que não utilizam tubos e sim duas placas justapostas paralelamente que formam um fina camada entre elas, por onde escoar o fluido.

Com a finalidade de se evitar perdas de calor para o ambiente é necessário um isolamento térmico que garanta uma boa eficiência ao coletor.

Como materiais isolantes e dentro de um contexto mais industrial, são utilizados em mais larga escala espuma de poliuretano expandido de baixa densidade e lã de vidro. O isolamento é acondicionado no fundo, que poderá ser em placa de alumínio ou mesmo de aço galvanizado e nas laterais do coletor.

Para o fechamento de todo o conjunto é confeccionado um quadro em perfis de alumínio que emoldura uma placa de vidro transparente fixado a estrutura do coletor por meio de rebites tipo pop, com impermeabilização feita com silicone, conferindo ao coletor total estanqueidade à água e garantindo-lhe o perfeito funcionamento.

O coletor proposto é do tipo plano com quatro entradas, o que proporciona condição de configurações diversas na instalação da bateria de coletores.

4.3 Eficiência térmica de um coletor solar

A eficiência de um coletor solar está diretamente ligada a fatores como a intensidade local de radiação solar (inclinação conforme a latitude), superfície

refratária, tipo de superfície de absorção, camada de isolamento térmico, temperaturas de trabalho determinadas, dentre outras.

Segundo PEREIRA et al (2006) para coletores solares com placas e tubos de cobre, com cobertura de vidro (efeito estufa), os parâmetros típicos encontrados pelo grupo de pesquisa da UFRGS são $7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ para coeficiente angular (resposta “rápida”) e $0,74$ para o linear (eficiência de 74%, elevada).

De maneira geral a eficiência térmica de um coletor solar costuma ser determinada em função de parâmetros preestabelecidos e fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos, sendo a curva rendimento x temperatura plotada com os dados coletados e inseridos no gráfico que tem a comportamento da Figura 6.

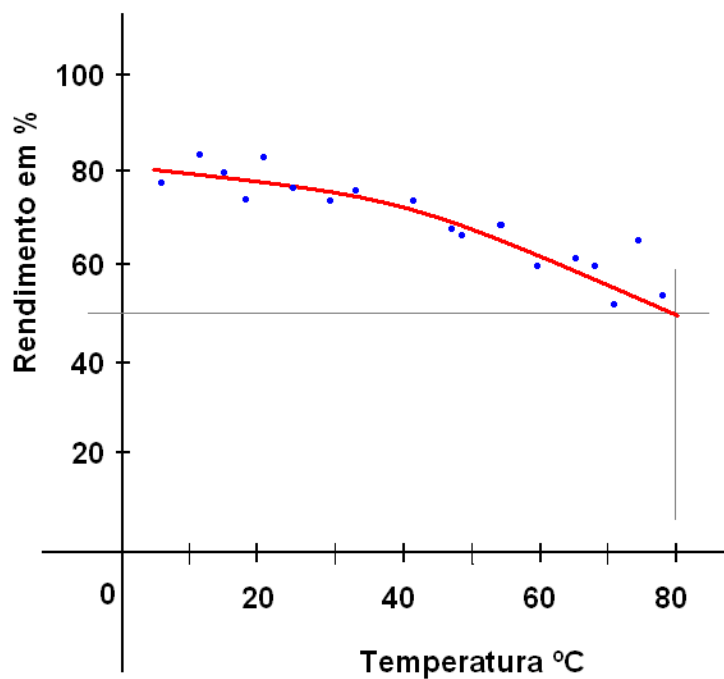


Figura 6 – Curva característica de um coletor do tipo fechado.
Fonte: o autor, adaptado de ALVARENGA, 2006.

4.4 Montagem de coletores – Tipos de configurações

Os coletores poderão ser montados dentro de pelo menos três tipos de configurações: em série; em paralelo; em série-paralelo. Cada uma destas apresenta vantagens e desvantagens no tocante a características como: facilidade e custo para instalação, tipo de coletor (quanto ao número de entradas), quantidade por arranjo, rendimento e perda de carga.

De acordo com o recomendado pelo GICS (Guia para Instaladores de Colectores Solares), 2004, *com adaptações nossas*, em instalações de grandes dimensões pode-se optar, sempre que possível, por ligações do tipo em paralelo de canais e/ou em série entre coletores pertencentes a um mesmo grupo (bateria), sem prejudicar o bom funcionamento do sistema.

O equilíbrio hidráulico é atingido por meio de ligações do tipo invertida entre as baterias de coletores.

4.4.1 Configuração de montagem em série

Características gerais:

- Baixo custo para instalação de componentes;
- Simplicidade para ligação entre placas coletoras;
- Pode ser utilizado qualquer tipo de coletor;
- Número razoável de coletores em uma linha;
- Baixo rendimento;
- Grande perda de carga.

A Figura 7 representa uma configuração de montagem em série.

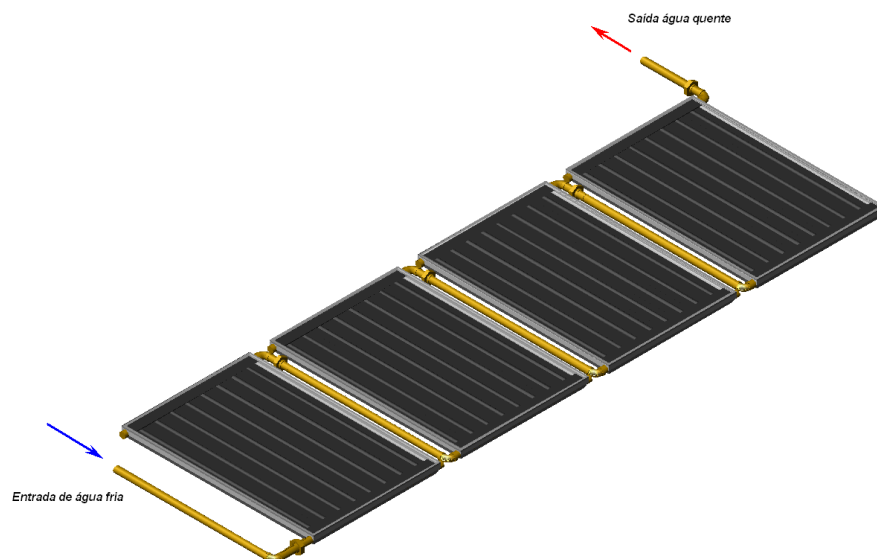


Figura 7 – Montagem de coletores em série.
Fonte: o autor.

4.4.2 Configuração de montagem em paralelo

Características gerais:

- Custo mais elevado para instalação de componentes;
- Instalação de placas coletoras com certa complexidade;
- Pode ser utilizado qualquer tipo de coletor;
- Número maior de coletores em uma linha;
- Bom rendimento;
- Baixa perda de carga.

A Figura 8 representa uma configuração de montagem em paralelo.

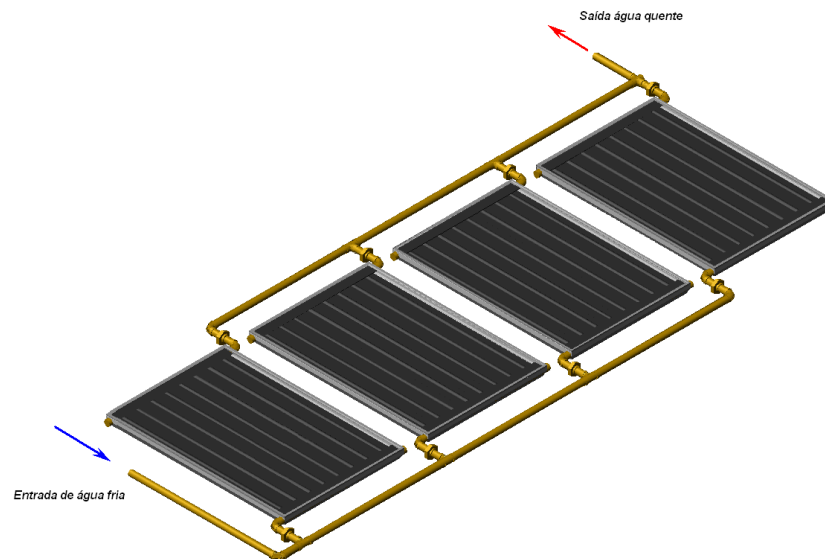


Figura 8 – Montagem de coletores em paralelo.
Fonte: o autor.

4.4.3 Configuração de montagem em série-paralelo

Características gerais:

- Custo mais elevado para instalação de componentes;
- Instalação de placas coletoras com certa complexidade;

- Pode ser utilizado qualquer tipo de coletor;
- Número maior de coletores em linhas e colunas;
- Bom rendimento;
- Baixa perda de carga.

A Figura 9 representa uma configuração de montagem em série-paralelo.

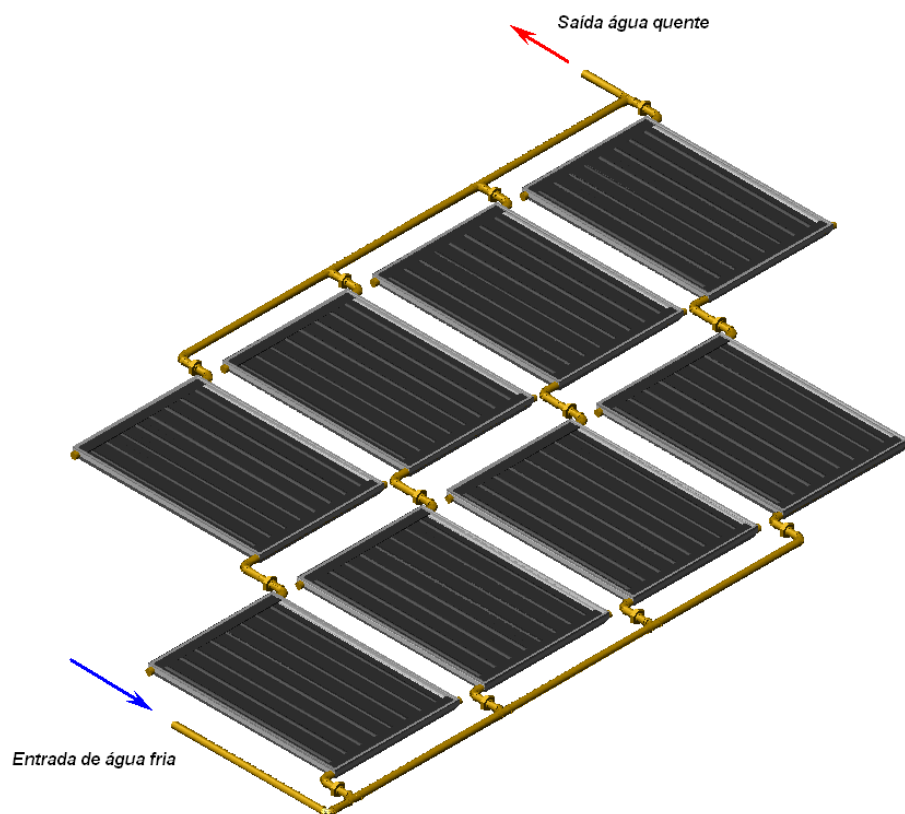


Figura 9 – Montagem de coletores em série-paralelo.
Fonte: o autor.

4.5 Classificação de coletores solares segundo o INMETRO

O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), classifica os coletores solares quanto a sua eficiência na produção de energia mensal conforme a Figura 10.

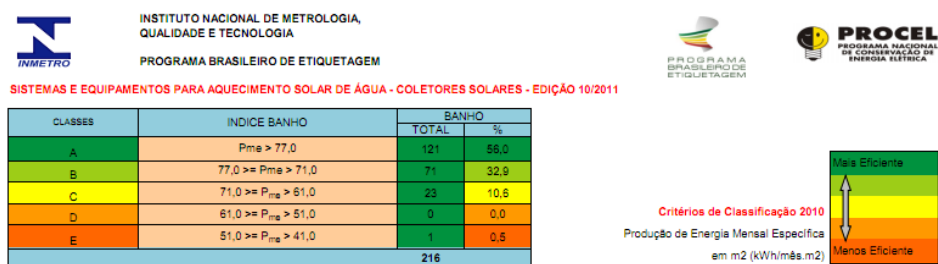


Figura 10 – Classificação de coletores solares planos.

Fonte: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColetoresSolares-banho.pdf>

4.6 Dados do coletor utilizado para o estudo de caso

Para o estudo de caso, Capítulo 6, foi adotado o coletor especificado na Tabela 3.

DADOS DO COLETOR SOLAR ADOTADO	
Aplicação	Banho
Fabricante	SOLETROL
Marca	SOLARMAX
Modelo	SOLARMAX 1,60 m ²
Pressão de funcionamento	400 kPa
	40,8 mca

Área externa do coletor	1,59 m ²
Produção mensal de energia	128,2 kwh/mês, por coletor
	80,6 kwh/mês, por m ² (específica)
Eficiência energética média	59,70%
Classificação	A
Material superfície absorvedora	Alumínio
Fr(τ _a) _n	0,749
FrUL	6,074
Selo PROCEL	Sim
Data	18/10/2011

Tabela 3 – Dados do coletor solar.

Fonte: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColetoresSolares-banho.pdf>

4.7 Princípio do termossifão

Definição de acordo com a NBR 12269: Forma de movimentação de um fluido (no caso desta Norma, água em um sistema de energia solar) devido unicamente à diferença de sua densidade em regiões diferentes do circuito hidráulico, provocada por temperaturas diferentes naquelas regiões.

Ainda de acordo com a NBR 12269, devem ser considerados na instalação do Sistema de Aquecimento Solar (SAS) os seguintes parâmetros, conforme especificação, manual do fabricante ou projeto:

h = altura entre parte superior do coletor e parte inferior do reservatório:

β = ângulo de inclinação do coletor em relação ao plano horizontal: verificar a inclinação adequada do coletor para maximizar o funcionamento do SAS; α = ângulo de inclinação da tubulação de retorno em relação ao plano horizontal.

(a) Perdas de carga:

Considerando pequena a força que causa a circulação de água em um sistema termossifão, devem ser observadas as seguintes prescrições com o intuito de minimizar o atrito no escoamento do circuito primário:

- i) verificar a adequação do diâmetro da tubulação do circuito primário (tubulação de ida e volta), particularmente com relação à distância entre coletor e reservatório, área coletora e ângulo de inclinação da tubulação;
- ii) utilizar uso de registros tipo gaveta ou esfera como registros de serviço, de forma a garantir que estejam sempre totalmente abertos durante operação do SAS;
- iii) usar o mínimo de curvas possível e dar preferência para curvas de 45° no lugar de curvas de 90°;
- iv) procurar posicionar os coletores solares o mais próximo do reservatório térmico, respeitando a altura mínima (h).

(b) Altura mínima e fluxo reverso:

Recomenda-se verificar se a altura (h) entre o ponto mais alto dos coletores solares e a base do reservatório térmico para evitar fluxo reverso, garantindo o bom funcionamento do SAS.

A Figura 11 apresenta o esquema de um circuito de aquecimento solar com termossifão.

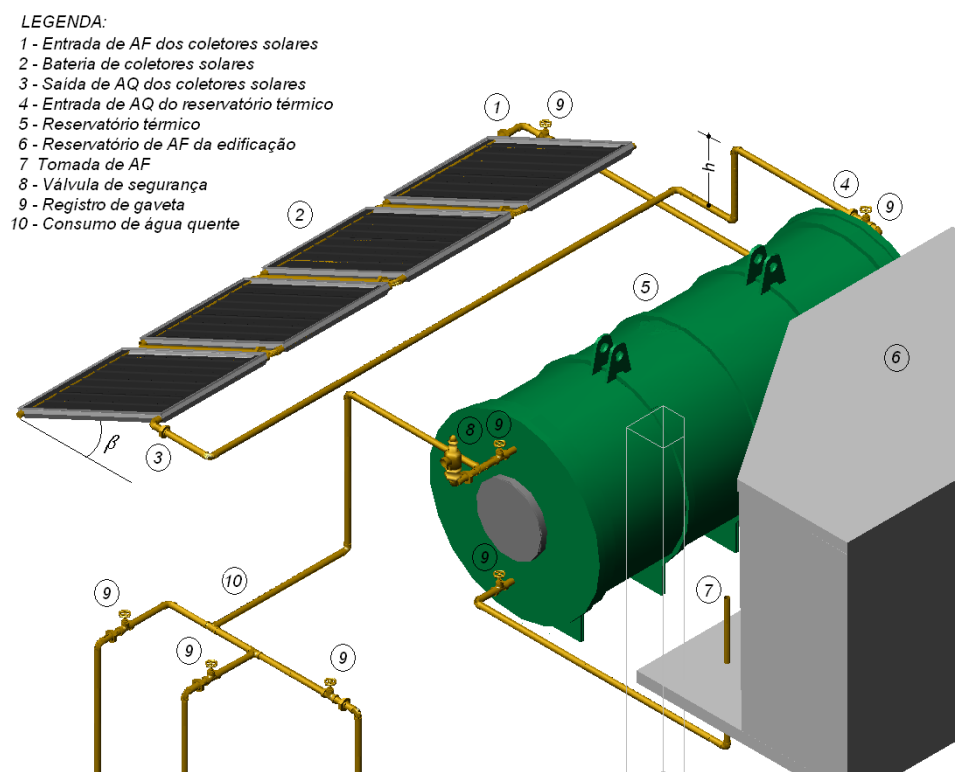


Figura 11 - Esquema de circuito com termossifão.
Fonte: ABNT NBR 15569.

A Figura 12 apresenta um circuito com sistema forçado por eletrobomba. Configuração que será utilizada para o estudo de caso.

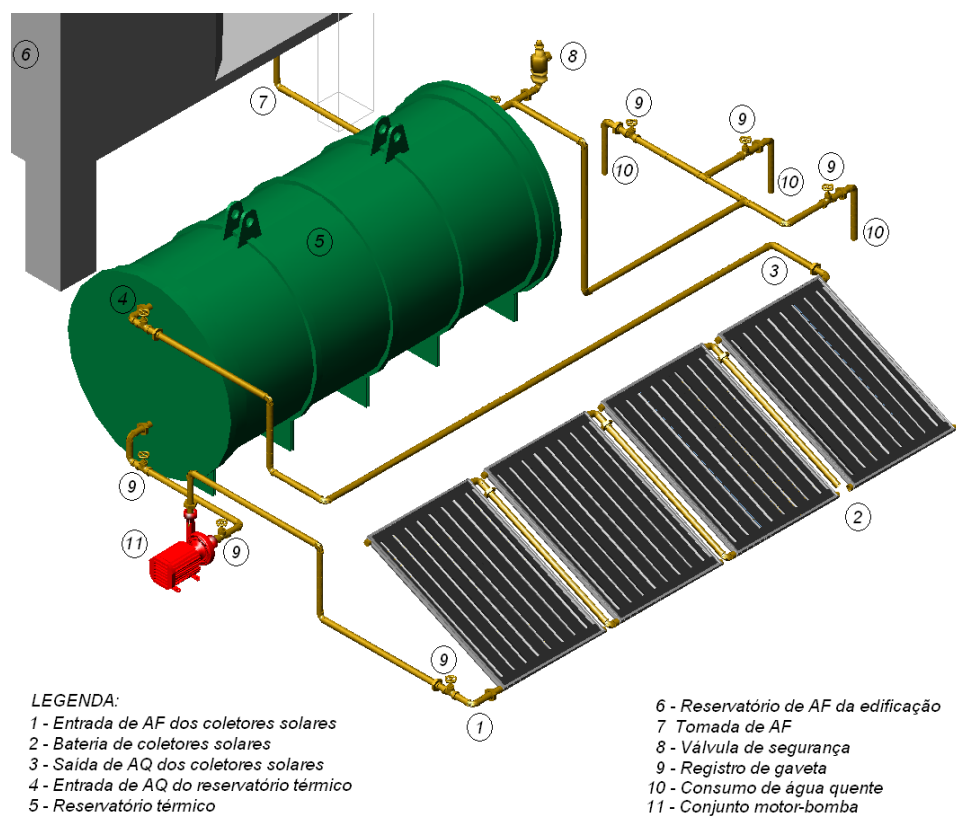


Figura 12 - Esquema de circuito com circulação forçada.
Fonte: o autor.

4.8 Reservatório de água quente

O reservatório de água quente, também denominado “storage”, do inglês “*armazenamento*”, é um equipamento de suma importância no contexto de uma instalação de aquecimento de água por energia solar. Geralmente vem equipado com resistor elétrico que tem como principal função a de dar continuidade na oferta de água quente para consumo em situações em que o sistema solar ficar impedido por motivo de baixa ou nenhuma insolação ou mesmo nos casos de manutenção nas placas coletoras que podem ser desde uma lavagem na superfície de vidro ou até mesmo a substituição de algum componente do sistema.

Conforme dispõe ALVARENGA (2006), considerando as condições de variabilidade da energia solar, o armazenamento da energia térmica produzida pelos coletores é uma necessidade que merece uma atenção especial, principalmente quando a curva de demanda de água quente não se ajusta bem com a curva de suprimento de radiação do Sol.

Sempre que for possível, visando à máxima eficiência, deve-se procurar evitar o uso de reservatório, consumindo toda a água quente à medida que for produzida. Quando necessário, o reservatório deve ser grande o suficiente para garantir o suprimento de água quente nos períodos nublados, de baixa insolação ou durante a noite.

As formas mais difundidas de estocar a energia térmica em sistemas de coletores de energia solar utilizam o armazenamento do calor sensível. Nesse caso, é utilizada a

possibilidade de armazenar energia com o aumento de temperatura. Uma alternativa pouco utilizada é a que usa o calor associado com a mudança de estado físico da substância (calor latente), ocorrendo à temperatura constante. Ambos podem ser utilizados como fontes de estocagem de energia para um determinado sistema.

Os reservatórios de água quente são os dispositivos mais comuns para armazenamento de energia sob a forma de calor sensível. São, muitas vezes, indispensáveis, tendo em vista as características de inconstância da radiação solar. Entretanto, constituem pontos de perda de calor e devem ser adequadamente dimensionados para maior eficiência e autonomia do sistema.

Normalmente é necessária a existência de um suprimento de energia adicional como complementação ou retaguarda. A integração mais comum é com sistemas a lenha, óleo, gás e energia elétrica. A existência desses sistemas complementares aumenta a confiabilidade de suprimento de água quente e pode reduzir significativamente as dimensões e os custos dos coletores e do reservatório térmico. O ideal seria que o sistema complementar fosse rápido o suficiente para reduzir ou mesmo eliminar o reservatório.

O dimensionamento da área de coletores e do volume do reservatório está vinculado ao nível de participação que se deseja para a produção de calor pelo sistema complementar. A definição dos níveis ótimos de contribuição da fonte solar e da fonte

complementar é obtido, basicamente, por meio de uma análise econômica. Ao se projetar uma área de coletores suficiente para suprir quase toda a demanda, será gasto pouco combustível ou eletricidade complementar, mas o custo inicial de instalação será muito elevado. **Normalmente, a situação de maior economicidade acontece quando o sistema solar funciona como pré-aquecedor da água**, o que reduz o investimento inicial, permite a utilização de todo o calor produzido pelos coletores e a redução da capacidade do reservatório e aumenta a eficiência do sistema ao se trabalhar com temperaturas mais baixas. O projetista tem que procurar o ponto ótimo de acordo com as características específicas da instalação.

Os reservatórios térmicos são estruturas de conformação geral cilíndrica, confeccionados em chapas de aço carbono, aço inoxidável ou em cobre. Como camada isolante térmica do reservatório, podem ser utilizados espuma de poliuretano de média densidade ou lã de vidro.

Para a capa de proteção e acabamento do reservatório, podem ser utilizadas chapas de aço carbono, aço inox ou mesmo fibra de vidro, sendo que a primeira é a mais usualmente empregada, bastando para um bom acabamento e apresentação, uma pintura a base de esmalte sintético sobre primer anticorrosivo. Quando há complementação elétrica, contam também com um sistema de aquecimento elétrico auxiliar composto por resistores elétricos e termostatos de imersão.

A Figura 13 ilustra um reservatório térmico com suas tubulações de entrada e saída.

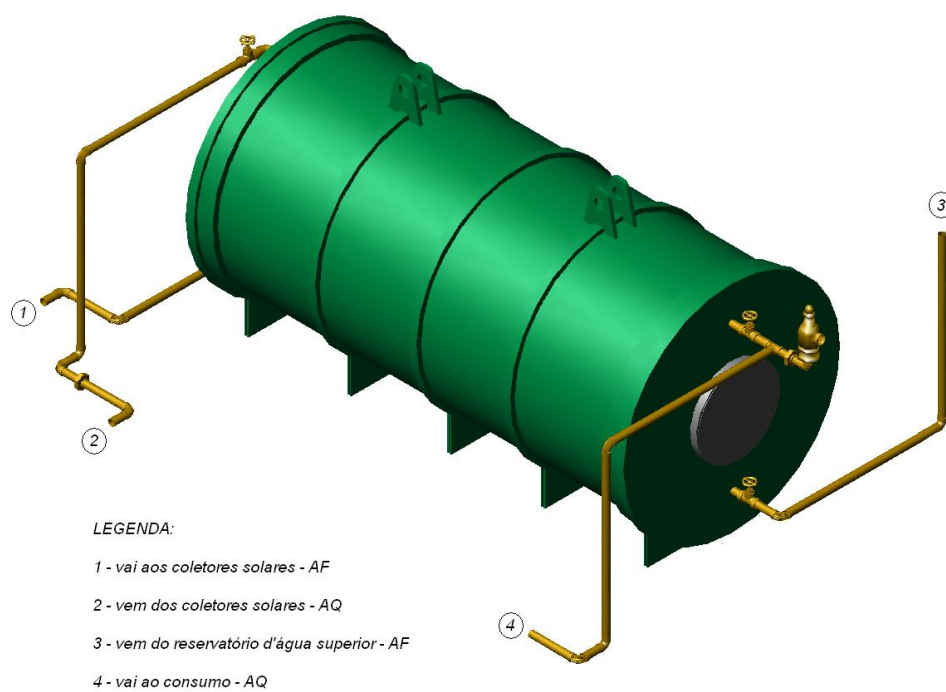


Figura 13 – Reservatório de água quente – Perspectiva isométrica.
Fonte: o autor

A Figura 14 ilustra um reservatório térmico seccionado longitudinalmente com seus componentes internos e externo.

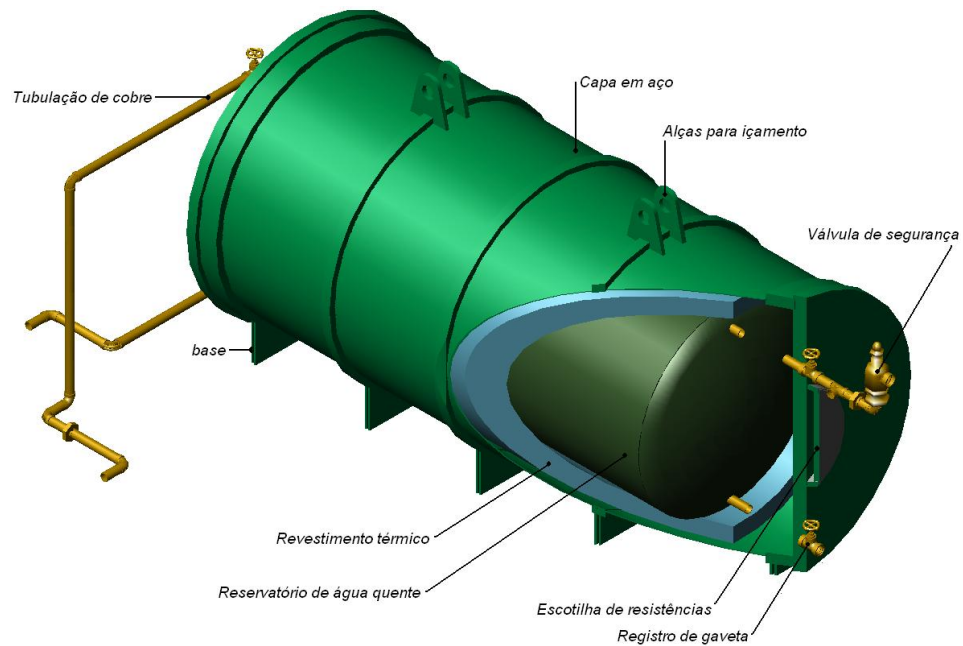


Figura 14 – Reservatório de água quente – Perspectiva isométrica com corte diagonal.
Fonte: o autor

5 ESTUDO DE CASO

5.1 Composição e funcionamento do sistema híbrido

O sistema híbrido será composto de dois subsistemas sendo um deles o já previamente projetado e instalado, com pequenos ajustes para operação concomitante com o segundo subsistema.

O segundo subsistema será composto por duas baterias de coletores solares do tipo plano conectados entre si dentro de uma configuração em série e em paralelo, que alimentarão dois reservatório térmicos independentes, fabricados em chapa de aço inoxidável, isolados termicamente com espuma de poliuretano expandido e protegidos por capa de chapa de aço carbono devidamente tratada contra corrosão e com pintura a base de epóxi-pó.

Seguindo recomendação da NBR 12269 os coletores deverão ser voltados para o norte, com desvio máximo de 30°, e terão inclinação em relação ao plano horizontal de 23°, instalados sobre estrutura de perfis metálicos de aço, com tratamento anticorrosivo e pintura a base de esmalte sintético.

A bateria de coletores será apoiada diretamente sobre a laje de cobertura da edificação e vale ressaltar que não sofrerá a influência de sombreamento de outras estruturas adjacentes ou vegetação, o que vem atender ao prescrito na NBR 12269, a saber:

“Os coletores devem ser instalados em locais não sujeitos à sombra durante 4 horas, antes e após o meio-dia. Uma vez que a trajetória aparente do sol se modifica no decorrer das estações, cuidados devem ser tomados quanto ao aumento das sombras no inverno”.

Quanto ao funcionamento, o sistema será operado da seguinte maneira:

O sistema principal atualmente instalado continuaria a funcionar exatamente dentro dos padrões projetados, porém com pequenos ajustes para interconexão com o sistema proposto de aquecimento por energia solar.

Na prática ocorrerá o seguinte: nos dias ensolarados, que são a maioria da localidade em estudo, o sistema de aquecimento por energia solar será suficiente para a demanda de água quente da edificação e portanto, não haverá a necessidade de utilização de um sistema de apoio como o elétrico para atendimento à referida demanda. Para casos extremos em que a oferta de água quente não for suficiente para atendimento, situações como consumo elevado de água quente durante o dia e temperatura inadequada no início da manhã, entrará em funcionamento o sistema a gás, já devidamente calibrado para essas ocorrências por meio de dispositivos eletromecânicos de controle.

O sistema de aquecimento central por energia solar além de alimentar o sistema central instalado, foi projetado inclusive para atender à demanda total da edificação de forma totalmente independente, alimentando diretamente o barrilete depois de efetuadas as devidas manobras em registros e colocação em “*stand by*” o sistema de recalque, evitando a desnecessária sobrealimentação e sobrepressão no ramal principal e sub-ramais de água quente.

Tal procedimento é de operação simples e pode ser feito por meio de dispositivos eletromecânicos, o mais recomendável, ou mesmo manualmente por um operador devidamente qualificado.

A Figura 15 mostra de forma esquemática o funcionamento do sistema proposto já com os ajustes necessários.

Note-se a distribuição do sistema de aquecimento solar ao longo da cobertura da edificação, com suas baterias de coletores e respectivos reservatórios de água quente.

Tal configuração, além da vantagem de não sobrecarregar a estrutura da edificação, possibilita facilidade nos casos de manutenção que se fizerem

necessárias como trocas de registros, vidros quebrados ou mesmo a substituição de placas coletoras, sem que tais procedimentos afetem o funcionamento do sistema, uma vez que cada reservatório pode operar de forma independente.

A Figura 15 mostra ainda a localização do Sistema a gás, que está implantado no subsolo da edificação, assim como seus complementos.

Após a passagem de água pré-aquecida pela geradora de água quente, esta é bombeada até o barrilete que se encontra na cobertura para posterior distribuição aos pontos de consumo.

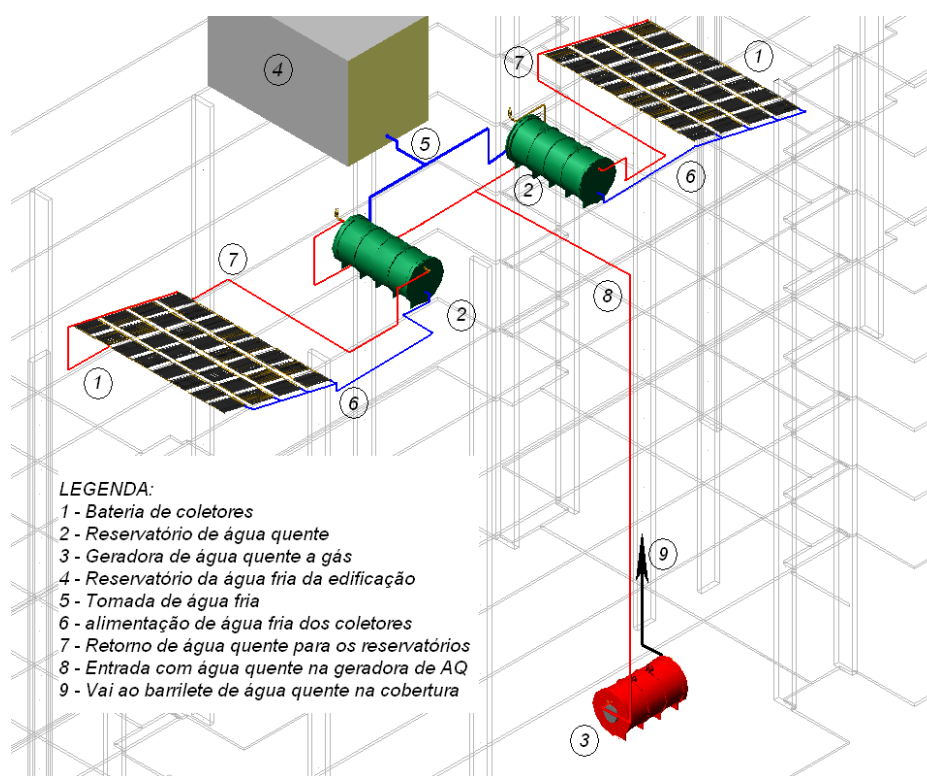


Figura 15 – Perspectiva geral do sistema central de aquecimento.
Fonte: o autor

5.2 Cálculo para o dimensionamento da demanda de água quente para o sistema de aquecimento por energia solar

A metodologia adotada para o cálculo do dimensionamento do sistema de aquecimento de água utilizando energia solar consiste na coleta de dados experimentais publicados em bibliografia confiável e de ampla aceitação no meio técnico, dado ao empirismo que envolve a questão. Portanto, os valores calculados são estimados baseados nas tabelas e recomendações técnicas pertinentes.

Na determinação do consumo de água quente em uma edificação, fatores como a localidade, o tipo de utilização, padrão construtivo da edificação (ABNT, NBR 12721/2006), perfil social dos moradores, padrões culturais e outros, devem ser levados em consideração no dimensionamento.

É válido salientar que a utilização de normas técnicas pertinentes será sempre um bom parâmetro para um bom dimensionamento.

Como parâmetros para o presente estudo foi utilizado o que prescreve a NBR 7198, onde, para o consumo diário de água quente em banho de chuveiro, foi considerado o consumo médio de 60 litros *per capita*, e para o consumo diário de água quente em lavatório, foi considerado o consumo médio de 6 litros *per capita*.

Para efeito de cálculos e estimativa, respeitados os parâmetros estabelecidos pela NBR 7198, foi adotado o consumo médio diário *per capita* de água quente de 66 litros.

De posse do consumo *per capita*, é necessário estimar o número de moradores da edificação. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o número de pessoas nos arranjos familiares residentes em domicílios particulares, por classes de rendimento mensal familiar *per capita*, segundo as Grandes Regiões, as Unidades da Federação e as Regiões

Metropolitanas, no ano base de 2009, temos para a localidade do estudo de caso o valor de 2,8 pessoas por domicílio com renda *per capita* de até 5 (cinco) salários mínimos.

Considerando o padrão financeiro dos moradores da localidade foi considerado para os cálculos o incremento de mais um elemento na composição familiar. A empregada doméstica ou diarista. O número adotado para efeito de cálculo passou de 2,8 para 3,8 pessoas por unidade habitacional

Segundo a ABRASIP/ABRAVA, 2010 apud COELHO, 2010, o dimensionamento da demanda de água quente em edificações residenciais coletivas deve levar em consideração o fator de ocupação em função do número de unidades habitacionais e dentro das recomendações dos órgãos, edificações com mais de 40 unidades habitacionais deverão adotar um fator de ocupação de 70%.

A Tabela 4 explana os dados e apresenta os resultados para a demanda de água quente.

DEMANDA DIÁRIA DE ÁGUA QUENTE	
Número de moradores por unidade	3,8
Número de unidades	72
Consumo diário <i>per capita</i> (L)	66
Consumo diário por unidade (L)	250,8
Consumo total diário de água quente (L)	18.057,6
Fator de ocupação	0,70
Demanda diária total de água quente (L)	12.640,32

Tabela 4 – Demanda diária para consumo de água quente.
Fonte: o autor.

5.3 Cálculo para o dimensionamento do reservatório térmico

Com base em dados coletados no RETScren e outros determinados para projetos pela NBR 15569, foi montada a Tabela 5. A temperatura de utilização (T_u), que também pode ser entendida com de consumo, foi adotada em 40 °C. A temperatura de estocagem (T_s) ou de armazenamento foi adotada em 45 °C. A temperatura média para a localidade de Brasília se situa em um patamar próximo aos 22 °C, motivo pelo qual foi adotado este valor.

VOLUME DO RESERVATÓRIO DE AQ - V_t	
Temperatura de utilização - T_u (°C)	40
Temperatura de estocagem - T_s (°C)	45
Temperatura de entrada - T_i (°C)	22
Demanda diária total de AQ - D_d (m³)	12,64
Volume do reservatório térmico - V_t (m³)	9,89

Tabela 5 – Cálculo do volume do reservatório de água quente.
Fonte: o autor.

O valor para o volume do reservatório de água quente foi obtido por meio da aplicação da fórmula abaixo:

$$V_t = \frac{D_d \cdot (T_u - T_i)}{T_s - T_i}$$

O valor calculado para o volume do reservatório térmico (V_t) é de 78,24% da demanda diária total de água quente exigida para a edificação e portanto se encontra dentro do prescrito pela NBR 15569 que estabelece o valor mínimo de 75% da relação V_t/D_d .

Considerando a possibilidade do sistema de energia solar passar a atender a edificação sem o auxílio do sistema a gás, foi alijado do cálculo o volume de reservação do sistema a gás, constituindo-se assim uma reserva técnica em casos de manutenção ou mesmo falhas.

Vale ressaltar que o sistema de aquecimento solar terá capacidade para suprir a demanda de água fria e com a vantagem de poder trabalhar sem a necessidade de recalque de água quente, uma vez que o sistema se encontrará instalado na cobertura da edificação e devidamente equilibrado hidrostaticamente para suprir os pontos de consumo.

Embora DUFFIE e BACKMAN, 1991, apud MANEA, 2009 recomendem a utilização de um reservatório de água quente de volume maior, no lugar de outros dois de volume menor, devido à melhor estratificação das camadas no interior do reservatório, o que gera um maior gradiente de temperaturas e conseqüente maior eficiência do sistema, por questões estruturais do edifício no tocante à melhor distribuição de cargas, adotou-se para a configuração do presente estudo, dois reservatório de água quente.

5.4 Cálculo da quantidade de energia diária necessária para o aquecimento de água

A quantidade de energia necessária para aquecer um determinado volume de água até uma temperatura preestabelecida é dada pela fórmula:

$$E = m \cdot C_w \cdot \Delta T \Leftrightarrow E = \rho \cdot V \cdot C_w \cdot (T_f - T_i)$$

Onde:

E , é a energia total para o aquecimento, em kcal/dia;

ρ , a densidade da água; 1 kg/L;

V , o volume total a ser aquecido, em litros;

C_w , o calor específico da água; 1 kcal/kg . °C;

T_f , a temperatura final; e

T_i , a temperatura inicial.

O volume total a ser aquecido é de 9890 litros.

Logo,

$$E = 1 \text{ kg/L} \cdot 9890 \text{ L} \cdot 1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (45^\circ - 23^\circ)$$

$$E = 217.580 \text{ kcal/dia}$$

$$E = 253 \text{ kWh/dia}$$

5.5 Cálculo para o dimensionamento da área de captação

De posse dos valores calculados para o volume de água quente a ser demandado e da energia total necessária para o seu aquecimento, foi procedido o dimensionamento da área de captação de radiação solar, que é a área total de coletores.

Vale salientar que em função da variação ao longo do ano da radiação solar incidente sobre a localidade, foi adotado o valor médio de 4,26 kWh/m².dia, expresso no Quadro 1.

A área total de captação é calculada pela fórmula:

$$A = E / I \cdot \eta$$

Onde,

A , é a área total de captação, em m²;

E, a energia total para aquecimento, em kWh/dia;

I, a radiação solar incidente adotada, em kWh/m².dia; e

η, a eficiência média energética do coletor especificado na Tabela 3.

$$A = 253 \text{ kWh/dia} / 4,26 \text{ kWh/m}^2.\text{dia} \cdot 0,597$$

$$A = 99,48 \text{ m}^2$$

O número de coletores será dado por:

$$N_{\text{col}} = 99,48 \text{ m}^2 / 1,59 \text{ m}^2$$

$N_{\text{col}} = 62,57$ coletores, que foi arredondado para 64 coletores dispostos em duas baterias de 4 x 8 coletores.

O Quadro 1 representa a radiação solar diária média incidente nas coordenadas consideradas para o estudo de caso.

Município: Brasília - DF
Latitude: 15,779722° Sul
Longitude: 47,929722° Oeste
Distância: 7,8 km

			Radiação diária média mensal [kwh/m ² .dia]													
#	Ângulo	Inclinação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Plano Horizontal	0° N	4,67	5,58	4,53	5,00	4,72	4,75	4,97	5,50	5,25	4,69	4,75	4,72	4,93	1,05
✓	Ângulo igual a latitude	16° N	4,35	5,35	4,56	5,39	5,42	5,68	5,86	6,14	5,43	4,57	4,45	4,35	5,13	1,79
✓	Maior média anual	19° N	4,26	5,27	4,54	5,43	5,52	5,81	5,99	6,22	5,43	4,53	4,37	4,26	5,14	1,96
✓	Maior mínimo mensal	6° N	4,57	5,53	4,57	5,18	5,02	5,14	5,34	5,78	5,36	4,68	4,66	4,61	5,04	1,21

Quadro 1 – Radiação solar em Brasília – Plano inclinado.

Fonte: CRESESB, 2011.

O Gráfico 1 representa a distribuição anual de radiação solar no plano inclinado para as coordenadas consideradas para o estudo de caso.

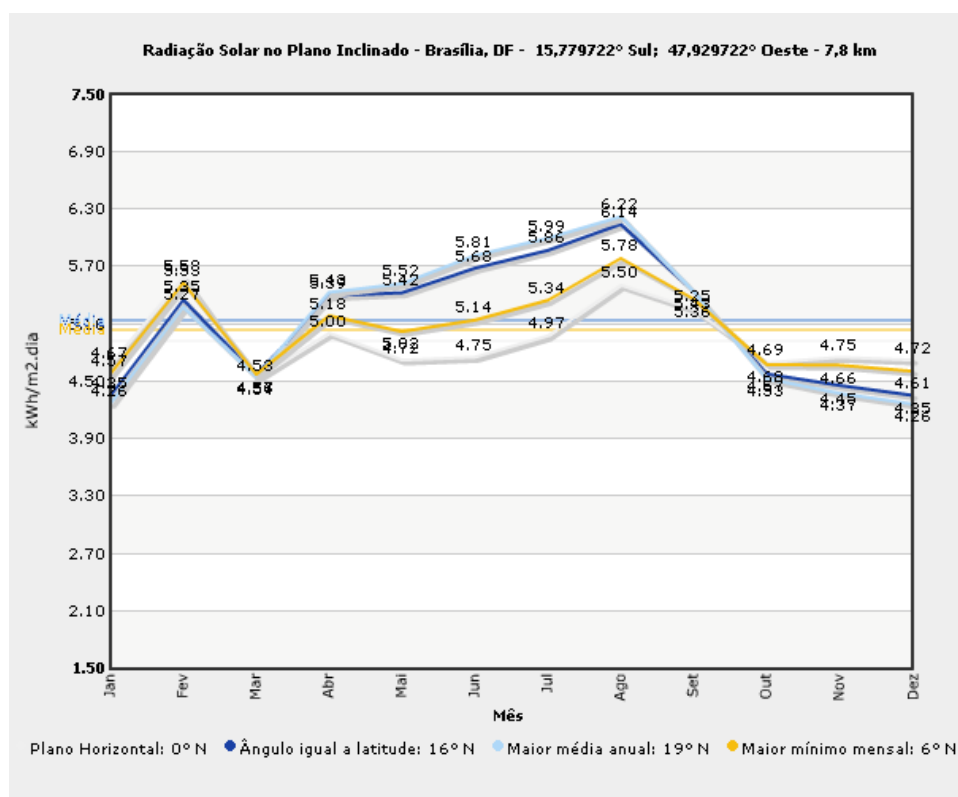


Gráfico 1 – Radiação solar em Brasília – Plano inclinado.
Fonte: CRESESB, 2011.

6 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

6.1 Parâmetros gerais

Para o estudo de viabilidade econômica foram elencados os parâmetros que se seguem:

Localização da edificação: Brasília – DF;

Coordenadas: Lat. 16° S; Long. 48° O;

Irradiação solar local média: 4,26 kWh/m².dia;

Temperatura local média: 23,0 °C;

Dias de operação semanal: 7;

Custo unitário do gás natural: 5,95 R\$/m³;

Sistema auxiliar de aquecimento: gás natural;

Eficiência do gerador de calor a gás: 80% (adotado);

Volume do reservatório térmico: 9.890 litros = Nominal de 2 x 5.000 litros;

Demanda de água quente: 12.640,32 litros;

Temperatura da água quente: 45 °C;

Orientação do coletor solar: Norte, com variação de ± 30°;

Inclinação do coletor solar: 23°;

Área total de coletores: 99,48 m²

Valor total do investimento: R\$ 107.334,80

Tempo de vida estimada do projeto: 25 anos

A Planilha 1 demonstra a composição do custo para implantação do sistema de aquecimento solar com os parâmetros estabelecidos no estudo e os dados calculados e fornecidos.

6.2 Cálculo do custo de implantação do sistema

CUSTO ESTIMADO PARA INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR					
Item	Descrição	Unidade	Quant.	Preço (R\$)	
				Unitário	Parcial
1	Reservatório térmico com volume nominal de 5.000 litros	un	2,00	12.890,63	25.781,26
2	Coletor solar plano SOLARMAX 1,60 m²	un	64,00	414,84	26.549,76
3	Tubulação em cobre inclusive conexões e registros e válvulas	vb	1,00	10.812,50	10.812,50
4	Isolamento térmico da tubulação	vb	1,00	1.343,75	1.343,75
5	Estrutura de suporte de coletores	m²	100,00	32,81	3.281,00
6	Bomba de alta vazão	un	1,00	660,16	660,16
7	Quadro de comando e demais acessórios elétricos	cj	1,00	796,88	796,88
8	Ajustes para interligação ao sistema de aquecimento a gás	vb	1,00	1.200,00	1.200,00
9	Mão de obra para montagem dos equipamentos	vb	1,00	7.680,00	7.680,00
10	Testes e ajustes	un	1,00	400,00	400,00
11	Frete	un	1,00	350,00	350,00
12	Transporte vertical com guindaste	un	1,00	1.400,00	1.400,00
13	Visita técnica mensal	un	12,00	300,00	3.600,00
	Subtotal (R\$)				83.855,31
	BDI (28%)				23.479,49
	Total Global (R\$)				107.334,80

Planilha 1 – Estimativa de orçamento para o sistema de aquecimento solar
Fonte: o autor.

Para o estudo de viabilidade econômica da nova configuração para aquecimento central de água, que consistirá do sistema proposto de aquecimento por energia solar, que agora se tornará o sistema principal, e o sistema de aquecimento a gás que nesse novo arranjo, funcionará como sistema de apoio ou secundário.

De acordo com DUFFIE; BECKMAN, 1991, apud COELHO, 2011, a fração solar corresponde à parcela de energia solar utilizada para o aquecimento de um determinado volume de água. É definida como a razão entre a energia térmica fornecida ao sistema pelos coletores (Q_{solar}) e a demanda de energia total para aquecer o volume de água (Q_{total}).

Considerando que o sistema de energia solar se comportará de maneira superdimensionada em dias em que a insolação superar a média adotada, haverá perdas até a entrada no sistema auxiliar a gás. Portanto, para o presente estudo, foi considerada a fração solar recomendada por RODRIGUES, 2010, apud COELHO, 2011, que ficará entre 60% e 80%.

Para o presente caso, o RETSCren calculou em 65% a parcela solar, ou seja, o sistema principal atenderá em 65% da demanda de energia, enquanto que o secundário, a gás, ficará responsável pelos 35% restante.

O custo médio mensal com gás natural no atual sistema é de R\$ 8.945,43. A economia média gerada será de R\$ 5.814,53 por mês.

O custo estimado para implantação do sistema de aquecimento solar é de R\$ 107.334,80 (Planilha 1).

A questão principal é saber se é vantajoso e até que ponto vale a pena um investimento desse montante e em quanto tempo haveria o devido retorno.

6.3 Financiamento e fluxo de caixa

A Tabela 6 apresenta os dados necessários para o cálculo do financiamento. Ao final é demonstrado o valor da parcela mensal para o período considerado e a taxa de juros a.m.

DADOS PARA O CÁLCULO DO FINANCIAMENTO	
Custo total do novo sistema (R\$)	107.334,80
Despesa mensal com GN (R\$)	8.945,43
Economia mensal gerada com o novo sistema (R\$)	5.814,53
Custo efetivo mensal com GN (R\$)	3.130,90
Taxa de juros efetiva para financiamento (%)	1,20
Prazo para o financiamento (mês)	22,00
Valor da parcela mensal calculada (R\$)	5.580,21

Tabela 6 – Dados para o cálculo do financiamento.
Fonte: o autor.

A Tabela 7 reproduz o fluxo de caixa do financiamento para o período considerado na Tabela 6 e respectiva parcela mensal calculada.

FLUXO DE CAIXA DEVEDOR (R\$)						
Mês	Parcela	Saldo devedor		Mês	Parcela	Saldo devedor
	0,00	122.764,70				
1	5.580,21	117.184,49		12	5.580,21	55.802,14
2	5.580,21	111.604,27		13	5.580,21	50.221,92
3	5.580,21	106.024,06		14	5.580,21	44.641,71
4	5.580,21	100.443,85		15	5.580,21	39.061,50
5	5.580,21	94.863,63		16	5.580,21	33.481,28
6	5.580,21	89.283,42		17	5.580,21	27.901,07
7	5.580,21	83.703,21		18	5.580,21	22.320,85
8	5.580,21	78.122,99		19	5.580,21	16.740,64
9	5.580,21	72.542,78		20	5.580,21	11.160,43
10	5.580,21	66.962,56		21	5.580,21	5.580,21
11	5.580,21	61.382,35		22	5.580,21	0,00

Tabela 7 – Fluxo de caixa para desembolso do financiamento.
Fonte: o autor.

A Tabela 8 projeta a absorção do investimento após quitado o financiamento. O valor da parcela mensal tem por base a economia que continuará a ser gerada em função da instalação do novo sistema central de aquecimento de água.

FLUXO DE CAIXA CREDOR (R\$)						
Mês	Parcela	Saldo devedor		Mês	Parcela	Saldo devedor
1	5.814,53	5.814,53		12	5.814,53	71.725,50
2	5.814,53	11.658,13		13	5.814,53	77.898,65
3	5.814,53	17.530,95		14	5.814,53	84.102,68
4	5.814,53	23.433,14		15	5.814,53	90.337,72
5	5.814,53	29.364,83		16	5.814,53	96.603,94
6	5.814,53	35.326,19		17	5.814,53	102.901,49
7	5.814,53	41.317,35		18	5.814,53	109.230,53
8	5.814,53	47.338,47		19	5.814,53	115.591,21
9	5.814,53	53.389,69		20	5.814,53	121.983,70
10	5.814,53	59.471,17		21	5.814,53	128.408,14
11	5.814,53	65.583,05		22	5.814,53	134.864,72

Tabela 8 – Fluxo de caixa para absorção do investimento
Fonte: o autor.

7 CONCLUSÕES

A utilização da energia solar no Brasil para aquecimento de água ainda se encontra em um patamar muito aquém do seu potencial total de aproveitamento. Isto se deve a fatores culturais e também à falta de interesse por parte do Estado, grande fomentador para esse tipo de ação.

Os custos para instalação de equipamentos destinados a aquecimento de água por energia solar ainda são elevados quando comparados a por exemplo, a simplicidade que é a instalação de um chuveiro elétrico.

Mas essas dificuldades vêm sendo vencidas ao longo dos anos e principalmente nos grandes centros urbanos, o número de empresas do ramo de energia solar tem crescido de forma satisfatória. Para se ter uma idéia, o Distrito Federal em meados da década de 1990, contava apenas com uma empresa que produzia e instalava os equipamentos de energia solar na região e circunvizinhança.

Acredita-se que essa pouca predominância no mercado é que acabou por deixar um campo livre para outras formas de aquecimento de água como as centrais aquecedoras a gás, que embora contribuam para a redução do consumo de energia elétrica que via de regra, no Brasil, é por hidrogeração, trazem consigo a desvantagem da geração de gases de efeito estufa.

O estudo mostrou ser possível e viável a substituição desses sistemas centrais de aquecimento, senão de uma forma total, pelo menos parcial, o que já seria de grande valia.

Com a proposta do sistema híbrido, estima-se que o custo estimado para implantação seria de R\$ 107.334,80. A parcela solar geraria uma economia mensal direta da ordem de R\$ 5.814,53. A economia gerada em um ano, seria algo em torno de R\$ 69.774,36.

Estima-se que o investimento deverá ser pago em 22 meses, considerando-se uma taxa de juros a.m. de 1,2%. O tempo para absorção do investimento considerando o financiamento quitado se processará entre 16 e 17 meses.

O cálculo da economia gerada pelo sistema não considerou o aumento que eventualmente venha a ocorrer no preço do gás natural, sendo este mais um fator de relevância positiva.

Deverá ser levado ainda em consideração o benefício da valorização imediata do imóvel.

O estudo poderá apresentar limitações ou mesmo inviabilidade para edificações com índice de esbeltez elevada, considerando a área insuficiente na cobertura para instalação dos equipamentos ou outras situações em que predomine o sombreamento da área de captação superior a 4 horas diárias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GAS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). **O Gás Natural Liquefeito no Brasil - Experiência da ANP na implantação dos projetos de importação de GNL** Rio de Janeiro – 2010.3

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GAS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). **Nota Técnica ANP nº 12**, 2009.

ALVARENGA, C. A. **Curso de Pós-Graduação: “Lato Sensu” (Especialização) a Distância - Formas Alternativas de Energia**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 118p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (ABNT NBR 12269). **Execução de instalações de sistemas de energia solar que utilizam coletores solares planos para aquecimento de água**, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE SISTEMAS PREDIAIS (ABRASIP). Disponível em: <[HTTP://www.abrasip.com.br](http://www.abrasip.com.br)>. Acesso em outubro de 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (ABNT NBR 12721). **Avaliação de custos unitários e preparo de orçamento de construção para incorporação de edifícios em condomínio – Procedimento**, 2006

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (ABNT NBR 15569). **Sistema de Aquecimento Solar de Água em Circuito Direto – Projeto e Instalação**, 2008.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>> Acesso em julho a outubro de 2011.

COELHO, D. M. **Identificação de Variáveis Críticas e Simulação do Uso de Coletores Solares em Prédios Residenciais** – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011. 113p.

DADALTO, E. A. **Utilização da energia solar para aquecimento de água pela população de baixa renda domiciliar em habitações populares.** Vitória – ES, 2008. 106p.

Guia para Instaladores de Colectores Solares. DGGE / IP-AQSpP. ISBN 972-8268-32-7. Lisboa, Abril 2004. Disponível no sítio eletrônico da ANP: www.anp.com.br/gasnotas

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/indicadoresminimos/sinteseindicisociais2010/SIS_2010 - **Uma análise das condições de vida da população brasileira**, 2010, p. 111.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água.** Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColetoresSolares.pdf>>. Acesso em outubro de 2011.

MANEA, T. F. **Avaliação de Sistemas de Aquecimento de Água Solar-Gás.** Porto Alegre, 2009. 20p.

PEREIRA, R. C.; SHIOTA, R. T.; MELLO; S. F.; JÚNIOR, V. A.; BARTOLI, J. R. **Eficiência Térmica de Coletores solaresd e Baixo – CSBC.** Depto. De Tecnologia de Polímeros - Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP – Campinas – SP. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

PROCEL. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil – Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Ano Base 2005 – Classe Residencial Relatório Brasil.** Ed. 2007.

RETSCREEN INTERNATIONAL. Disponível em: <[HTTP://www.retscreen.net](http://www.retscreen.net)>. Acesso em outubro de 2011.

WIKIPÉDIA. **A Enciclopédia Livre.** Disponível em < <http://pt.wikipedia.org>>. Acessado em ago-nov 2011.

ANEXO I

DECLARAÇÃO

Eu, **TARSUS MAGNUS GUERREIRO DE ARAUJO**, estudante de pós-graduação *Lato Sensu* da UFLA, com número de matrícula **FAE210003** no curso de **Formas Alternativas de Energia - FAE**, declaro, para os devidos fins e efeitos, e para fazer prova junto à Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade Federal de Lavras, que, **sob as penalidades previstas no art. 299 do Código Penal Brasileiro**, que é de minha criação o trabalho de conclusão de curso – TCC que ora apresento, conforme exigência expressa no parágrafo único do art. 11 da Resolução nº 1, de 3 de abril de 2001, da Câmara de Educação Superior do Conselho Nacional de Educação.

Art. 299 do Código Penal Brasileiro, que dispõe sobre o crime de *Falsidade Ideológica*:

"Omitir, em documento público ou particular, declaração que dele devia constar, ou nele inserir ou fazer inserir declaração falsa ou diversa da que devia estar escrita, com o fim de prejudicar direito, criar obrigação ou alterar verdade sobre fato juridicamente relevante:

Pena - reclusão, de 1 (um) a 5 (cinco) anos, e multa, se o documento é público, e reclusão de 1 (um) a 3 (três) anos, e multa, se o documento é particular.

Parágrafo único. Se o agente é funcionário público, e comete o crime prevalecendo-se do cargo, ou se a falsificação ou alteração é de assentamento de registro civil, aumenta-se a pena de sexta parte”.

Este crime engloba plágio e compra fraudulenta de documentos científicos.

Por ser verdade, e por ter ciência do referido artigo, firmo a presente declaração.

Brasília – DF, 15 de dezembro de 2011.

.....

ANEXO II

REVISÃO DO TEXTO DECLARAÇÃO

Eu, **HELONITA BORGES DE OLIVEIRA**, professora de Língua Portuguesa no Centro de Ensino Fundamental N° 16 de Ceilândia – DF, portadora do registro de magistério no MEC sob o N° **LP 28.343-A**, do Distrito Federal, declaro, para os devidos fins e efeitos, e para fazer prova junto à Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade Federal de Lavras, que fiz a revisão de texto do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado:

ESTUDO PARA MELHORIAS EM SISTEMA DE AQUECIMENTO CENTRAL DE ÁGUA EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL NA LOCALIDADE DE BRASÍLIA – DF, de autoria de **Tarsus Magnus Guerreiro de Araujo**.

Por ser verdade, firmo a presente declaração:

Brasília – DF, 26 de dezembro de 2011

.....
Helonita Borges de Oliveira
Reg. MEC LP 28.343-A