



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
SECRETARIA ESPECIAL DE EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO HÍDRICA E AMBIENTAL

RONE MÁRIO OLIVEIRA DE FREITAS

AVALIAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO DA ENERGIA SOLAR DE AQUECIMENTO DE
ÁGUA PARA FINS RESIDENCIAL E COMERCIAL
Estudos de casos em Belém/PA.

Profº Vicente Ferrer Pureza Aleixo, Orientador

BELÉM

2010



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
SECRETARIA ESPECIAL DE EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO HÍDRICA E AMBIENTAL

RONE MÁRIO OLIVEIRA DE FREITAS

AVALIAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO DA ENERGIA SOLAR DE AQUECIMENTO DE
ÁGUA PARA FINS RESIDENCIAL E COMERCIAL

Estudos de casos em Belém/PA.

Monografia apresentada para obtenção do grau de Especialista em Planejamento e Gestão Ambiental pela Universidade Federal do Pará. Submetido à banca examinadora constituída pelos professores:

Prof^o. M. Sc. Vicente Ferrer Pureza Aleixo, Orientador-UFPA

Prof^a. M. Sc. Ângela Costa Santa Brígida-UFPA

Prof^o. M. Sc. José Fernando Pina Assis-UFPA

Aprovado em: 19/ 05/ 2010

Conceito: EXCELENTE

BELÉM

2010

Dedico primeiramente toda honra e glória ao meu Senhor Jesus, a quem devo tudo o que tenho e sou. Dedico também a minha esposa e filha que são a maior dádiva que Deus me deu e a todos que direta ou indiretamente me ajudaram nesta grande conquista.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Jesus Cristo pela vida e a oportunidade de fazer um curso de pós-graduação e a minha esposa e filha que são minha alegria e motivação em todos os momentos, meu muito obrigado. Agradeço a minha mãe que apesar de estar longe sei que ora muito por mim. Também agradeço ao professor Vicente Ferrer Pureza Aleixo por ter-se disponibilizado para orientar este trabalho, ao centro de geociências da Universidade Federal do Pará pela proposta contemporânea na transmissão de conhecimentos e ao engenheiro Marcelo Silva Cordeiro pela prestatividade em fornecer dados importantes para a elaboração desta monografia.

“Quando Deus quer, o homem sonha, a obra nasce.”

Fernando Pessoa

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE SIGLAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS	xi
1 INTRODUÇÃO	14
2 ENERGIA SOLAR	16
2.1 O AQUECIMENTO SOLAR NO CONTEXTO INTERNACIONAL	18
2.2 O AQUECIMENTO SOLAR NO BRASIL	20
3 SISTEMA SOLAR DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	30
3.1 COLETORES SOLARES	30
3.2 RESERVATÓRIOS TÉRMICOS	34
3.3 SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR	36
3.4. INSTALAÇÃO DE AQUECIMENTO SOLAR	36
3.4.1 Instalação Solar em Circulação Natural ou Termossifão	38
3.4.2 Sistemas Acoplados ou Compactos	38
3.4.3 Instalação Solar em Circulação Forçada ou Bombeada	39
4 ENERGIA SOLAR DE AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA FINS RESIDENCIAL E COMERCIAL EM BELÉM-PARÁ.	40
4.1 ESTUDOS DE CASOS EM BELÉM	41
4.1.1 Edifício residencial multifamiliar	41
4.1.1.1 Dados básicos para dimensionar um sistema	43
4.1.1.2 Dados para Dimensionamento	43
4.1.1.3 Retorno dos investimentos do edifício residencial	44
4.1.1.4 Análise de investimento do aquecimento de água com energia solar	45
4.1.1.5 Análise de investimento do aquecimento a gás em relação ao aquecimento com energia solar	46

4.1.1.6 Análise de investimento do aquecimento com energia elétrica em relação ao sistema com energia solar	46
4.1.2 Pousada “A”	47
4.1.2.1 Retorno dos investimentos da pousada “A”	47
4.1.2.2 Análise de investimento do aquecimento de água a energia solar	48
4.1.2.3 Análise de investimento do aquecimento a gás em relação ao aquecimento com energia solar	49
4.1.2.4 Análise de investimento do aquecimento com energia elétrica em relação ao sistema com energia solar	49
4.1.3 Pousada “B”	50
4.1.3.1 Retorno dos investimentos da pousada “B”	50
4.1.3.2 Análise de investimento do aquecimento de água com energia solar	51
4.1.3.3 Análise de investimento do aquecimento a gás em relação ao aquecimento com energia solar	52
4.1.3.4 Análise de investimento do aquecimento com energia elétrica em relação ao sistema com energia solar	52
5 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	54

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Principais países utilizadores do aquecimento solar	18
FIGURA 02 - Gráfico da área coletora instalada	19
FIGURA 03 - Gráfico da potência instalada per capita para cada 100 mil habitantes	20
FIGURA 04 - Evolução do mercado brasileiro de aquecedores solares	21
FIGURA 05 - Estrutura da empresa brasileira de aquecimento solar	22
FIGURA 06 - Balança comercial do mercado de aquecimento solar no Brasil 2001-2005	23
FIGURA 07 - Participação do aquecimento solar por setor da economia	24
FIGURA 08 - Curva de carga residencial no sistema CEMIG	26
FIGURA 09 - Usina Solar de Barstow – Califórnia	30
FIGURA 10 - Exemplos de Coletores Solares Abertos. Aletas descontínuas (a) e aletas contínuas(b).	31
FIGURA 11 - Exemplos de Coletores Solares Fechados (a) e (b)	31
FIGURA 12 - Exemplos de Coletores Solares de Tubos Evacuados	32
FIGURA 13 - Componentes dos Coletores Solares de Tubos Evacuados de Tubos de Calor. Componentes básicos do tubo evacuado (a), aleta (c), condensador (d) e detalhes dos elementos e fixação de cada tubo (b).	33
FIGURA 14 - Ilustração do reservatório térmico em corte	35
FIGURA 15 - Desenho esquemático de um sistema de aquecimento solar residencial	36
FIGURA 16 - Funcionamento do sistema de aquecimento de água a energia solar	37
FIGURA 17 - Sistemas Acoplados na Bancada de Ensaios do GREEN SOLAR. Modelo com uma placa (a) e modelo com duas placas(b).	39
FIGURA 18 - Instalação em Circulação Forçada	39
FIGURA 19 - Radiação e Pluviosidade	40
FIGURA 20 - Monitoramento da temperatura da água	42
FIGURA 21 - Disposição das placas na cobertura	42
FIGURA 22 - Bombas de recirculação	43
FIGURA 23 - Retorno do investimento em sistema de aquecimento de água por energia solar-edifício residencial	45

FIGURA 24 - Comparação do aquecimento solar com o sistema a gás-edifício residencial	46
FIGURA 25 - Comparação do aquecimento solar com o sistema elétrico-edifício residencial	46
FIGURA 26 - Retorno do investimento em sistema de aquecimento de água por energia solar-pousada “A”	48
FIGURA 27 - Comparação do aquecimento solar com o sistema a gás -pousada “A”	49
FIGURA 28 - Comparação do aquecimento solar com o sistema elétrico-pousada “A”	49
FIGURA 29 - Retorno do investimento em sistema de aquecimento de água por energia solar-pousada “B”	51
FIGURA 30 - Comparação do aquecimento solar com o sistema a gás-pousada “B”	52
FIGURA 31 - Comparação do aquecimento solar com o sistema elétrico-pousada “B”	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Postos de trabalho gerados por diferentes fontes de energia	22
TABELA 02 - Participação do chuveiro elétrico na demanda de pico do setor elétrico	26
TABELA 03 - Aquecimento solar e o déficit habitacional do Estado de São Paulo (2000)	28
TABELA 04 - Aquecimento solar e o déficit habitacional no Brasil (2000)	28
TABELA 05 - Classificação de uma instalação de aquecimento solar conforme seu volume	37
TABELA 06 - Tabela para dimensionamento	43
TABELA 07 - Tabela para dimensionamento	44

LISTA DE SIGLAS

ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (Sociedade de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado Engenheiros-Americana)

CELPA - Central Elétrica do Pará

CEMIG - Central Elétrica de Minas Gerais

ESCOS - Empresas de Serviço de Conservação de Energia

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEA - International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia

MCHS - Mini e Micros Centrais Hidrelétricas

PCHS - Pequenas Centrais Hidrelétricas

PROCEL - Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica

PNAD - Programa Nacional por Amostragem de Domicílios

LISTA DE SÍMBOLOS

CO₂ - Dióxido de Carbono ou Gás Carbônico

CH₄ - Gás Metano

GWth -Giga Watt

c – calor específico (cal/g.°C)

° C - Grau Centígrado

Kcal - Kilo caloria

KWth - Kilo Watt

m – massa de uma substância (kg)

MWth - Mega Watt

MW. H - Mega Watt . hora

W - Oeste

Km² - Quilometro Quadrado

S - Sul

t_f – Temperatura Final

t_o – Temperatura Inicial

TJ - Tera Joule

RESUMO

Esta monografia teve como escopo principal dispor informações pertinentes a energia solar e sua importância no cenário mundial e nacional. Assim como apresentar informações do aproveitamento da energia solar para aquecimento de água e os impactos deste tipo de uso no sistema energético brasileiro. Seguindo a tendência dessa alternativa energética para o Brasil e também para verificar seu comportamento sob condições climáticas amazônicas, sua avaliação foi construída em cima de três estudos de casos aqui apresentados. Para estes estudos foi feito um levantamento de informações através de entrevista direta em locais de Belém do Pará, tanto no setor terciário como no setor comercial, nos quais há uso deste tipo de sistema de energia solar. Os dados levantados se referem a volume de água quente, tipo de utilidade, despesas com energia elétrica e a gás. A partir deste momento os dados calculados foram analisados para verificação da diminuição de despesas, retorno do investimento e vantagens do sistema. Os resultados mostram que é possível usar e economizar com a energia solar para aquecimento de água com fins residencial e comercial. O mercado paraense ainda pouco aquecido mostra-se bastante promissor principalmente para estes ambos os setores. As condições climáticas amazônicas não apresentaram nenhum impedimento para o bom funcionamento do sistema de aquecimento de água com energia solar.

Palavras-chave: energia solar, coletor solar, aquecimento de água

1 INTRODUÇÃO

Os recursos energéticos são utilizados pelo homem para satisfazer algumas de suas necessidades básicas na forma de calor e trabalho. A disponibilidade destes recursos é um dos principais fatores para o desenvolvimento das nações e não menos importantes devem ser suas formas de conversão e utilização. O extraordinário crescimento da população mundial determina a maciça utilização de energia elétrica e de combustíveis fósseis, entre eles, o carvão, petróleo e o gás natural. Muitas alternativas energéticas estão disponíveis e vem sendo desenvolvidas e aplicadas em diversos países: energia eólica, biomassa, mini e micro centrais hidrelétricas (MCHS) e pequenas centrais hidrelétricas (PCHS), energia solar térmica e energia solar fotovoltaica. Dentre estas, a energia solar térmica para o aquecimento de água tem despertado interesse mundial principalmente devido à sua importância social, econômica, ambiental, e tecnológica e à abundância do recurso solar em todo o planeta.

O atual estágio de crescimento e desenvolvimento das nações, exigindo uma crescente e muitas vezes insustentável exploração dos recursos naturais, permite criar e antever cenários nos quais o aquecimento solar venha a ser aproveitado em grande escala, principalmente no Brasil, que tem condições de se tornar uma referência mundial no aproveitamento do recurso solar (REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2009).

O Brasil tem um enorme potencial de aproveitamento da energia solar: praticamente todas suas regiões recebem mais de 2200 horas de insolação com um potencial equivalente a 15 trilhões de MWh, correspondente a 50 mil vezes o consumo nacional de eletricidade. Um país como o nosso, que possui uma grande extensão territorial, sendo grande parte situada na zona tropical, dispondo, dessa forma, de alta incidência de radiação solar, torna-se possível desenvolver tecnologias capazes de transformar a energia solar em energia térmica, elétrica, química, etc. Mas sua utilização é ainda muito reduzida. O aquecimento de água para fins pessoais, por exemplo, é um dos grandes problemas atuais de energia que o Brasil enfrenta (MEZZOMO, 2010).

Diante desse cenário propício para o setor de energias renováveis, o estudo da viabilidade econômica, social, tecnológica e ambiental do uso deste tipo de alternativa se torna um instrumento importante para a sua adoção. Exatamente com este objetivo, o de fazer uma análise de custo-benefício do uso de energia solar de aquecimento de água, esta monografia se propôs a fazer alguns estudos de casos sob condições climáticas amazônicas, mais especificamente em Belém do Pará. São apresentados dados dos projetos em questão assim como os cuidados referentes à instalação e manutenção do sistema.

No capítulo 2 são expostas informações sobre a energia solar, suas características e seu promissor uso para o futuro já próximo. Já que com a crescente demanda da sociedade por mais energia gera-se muitas incertezas de até quando as reservas de combustíveis fósseis irão durar. Dados importantes da utilização da energia solar no mundo e no Brasil também são apresentados no mesmo.

O capítulo 3 esclarece e detalha o funcionamento do sistema de captação e transformação da energia solar para energia térmica.

No capítulo 4 são apresentados os estudos de casos assim como a interpretação de seus dados levantados.

O capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho.

2 ENERGIA SOLAR

Uma das principais características da sociedade, ao menos sob um ponto de vista prático e material, é o aumento cada vez maior da demanda por abastecimento energético. Esta é a condição para a existência da indústria, dos meios de transporte e até mesmo a agricultura e a vida urbana. Enfim, é a condição para a existência da sociedade como é conhecida.

Por milhares de anos a humanidade sobreviveu com base no trabalho braçal e animal. As primeiras fontes de energia inanimadas, como rodas hidráulicas e moinhos de vento, significaram um importante incremento quantitativo do regime de trabalho – ou potência – mas o salto qualitativo só se produziu a partir dos séculos XVII e XVIII.

O desenvolvimento do motor de combustão interna e de diversas turbinas incrementou tanto a potência das diversas unidades de produção como o número total de unidades existentes e, portanto, aumentaram a capacidade de produção do homem e seu consumo de combustível. O crescimento exponencial desse consumo se iniciou com a Revolução Industrial do século XVIII (FERNANDES E GUARONGHI, 2009).

Hoje em dia mais de 98% da energia procede de combustíveis fósseis: carvão, petróleo e gás natural. Por mais importantes que sejam as reservas de combustíveis fósseis são limitadas e, como a interrupção do consumo é praticamente impossível, o ritmo atual de exploração de tais combustíveis é insustentável. O petróleo e o carbono, além disso, são importantíssimas matérias primas para a indústria química e seu desperdício como combustível é, no mínimo, uma falta de visão.

Até muito pouco tempo se dava por descartada a esgotabilidade da energia. Um homem comum simplesmente desconhecia a intrincada rede formada pela produção de combustível e a indústria que serve à sua comodidade. A divisão do trabalho, levada ao limite, foi a responsável por essa posição de puro descaso – do pensamento: "não importa de onde venha, se eu o obtenho" – que prevalecia em nossa sociedade de consumo. Não se fazia conta do valor inerente ao que se possuía. Esta é uma das causas da alienação, da divisão entre a vida particular e a sociedade como um todo e os processos naturais dos quais dependemos (FERNANDES E GUARONGHI, 2009).

Nos últimos anos, no entanto, este quadro tem se alterado significativamente. Pessoas comuns são melhores informadas, devido à crescente eficiência dos meios de comunicação, o que gera um fortalecimento da consciência comum, quanto à necessidade da manutenção de

nossas reservas esgotáveis de energia e do desenvolvimento tecnológico no setor de aproveitamento de fontes de energia alternativas.

O Sol, além de fonte de vida, é a origem de todas as formas de energia que o homem vem utilizando durante sua história e pode ser a resposta para a questão do abastecimento energético no futuro, uma vez que aprendamos a aproveitar de maneira racional a luz que esta estrela constantemente derrama sobre nosso planeta. Brilhando a mais de 5 bilhões de anos, calcula-se que o Sol ainda nos privilegiará por outros 6 bilhões de anos, ou seja, ele está apenas na metade de sua existência e lançará sobre a Terra, só neste ano, 4000 vezes mais energia que se consome (FERNANDES E GUARONGHI, 2009).

Frente a esta realidade, seria irracional não buscar, por todos os meios tecnicamente possíveis, aproveitar esta fonte de energia limpa, inesgotável e gratuita. Será discutido, a partir deste ponto, a disponibilidade da energia proveniente do Sol, os métodos de captação desta energia e possíveis usos e aplicações.

Aproximadamente 30% da radiação entrante se refletem sem mudança na amplitude de onda. Cerca de 47% é absorvida pela atmosfera e pela superfície terrestre, provoca um aumento de temperatura e, em seguida, irradia-se novamente para o espaço. Apenas os 23% restantes penetram no sistema terrestre e passam a ser a força motriz de ventos, correntes, ondas, modela nosso clima e proporciona o ciclo da água. Em última instância, também será re-irradiado ao espaço (FERNANDES E GUARONGHI, 2009).

Somente 0,02% do total, ou seja, 40×10^{12} W penetra no sistema biológico, por fotossíntese, nas plantas e em outros organismos "produtores". Uma pequena proporção da energia armazenada como energia química em plantas e tecidos de corpos animais se acumulou com durante milhões de anos, sob condições geológicas favoráveis, na forma de carvão e óleos minerais, convertendo-se em reservas de combustíveis fósseis. Isto é um fato: o ritmo de formação de combustíveis fósseis (se existe) é mínimo em comparação com o ritmo de consumo. Para se evitar um esgotamento de reservas de combustíveis fósseis, deve-se desviar o fluxo destas importantes quantidades de energia provenientes do Sol e redirigí-las para que trabalhem para nós, antes que se dissipem e sejam re-irradiadas ao espaço.

Podem-se distinguir, basicamente, três formas de transformação de energia solar: transformação química, transformação elétrica e térmica. Para não se fugir dos objetivos deste trabalho a ênfase será dada a transformação térmica e suas peculiaridades. O calor recolhido

nos coletores pode destinar-se a satisfazer numerosas necessidades, desde a obtenção de água quente para o consumo doméstico ou industrial, o aquecimento de casas, escolas, fábricas, até a climatização de piscinas (FERNANDES E GUARONGHI, 2009).

2.1 O AQUECIMENTO SOLAR NO CONTEXTO INTERNACIONAL

O mercado mundial de aquecedores solares começou a crescer a partir da década de 70, mas expandiu significativamente durante a década 90 e como resultado deste crescimento houve um aumento substancial de aplicações da tecnologia, da qualidade e confiabilidade e modelos de produtos disponíveis. Segundo relatório publicado anualmente pela Agência Internacional de Energia (IEA), os principais países utilizadores da tecnologia de aquecimento solar são destacados no mapa da figura 1. São 41 países ao todo que representam aproximadamente 57% da população global e cerca de 90 % do mercado de aquecimento solar mundial.

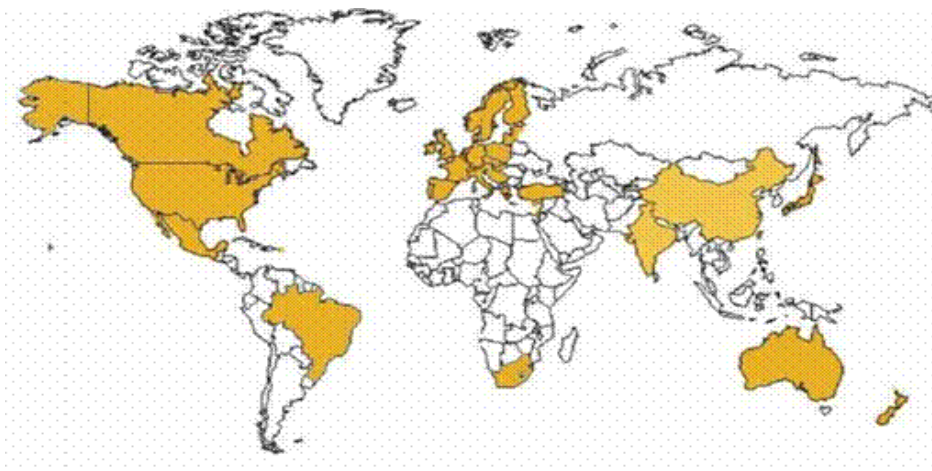


Figura 1 - Principais países utilizadores do aquecimento solar
Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

O mercado de aquecimento solar é geralmente avaliado sob a ótica de quatro indicadores comparativos utilizados globalmente e reportados anualmente pela IEA. São eles:

- 1 - Área coletora instalada acumulada dada em metros quadrados – m^2 ;
- 2 - Área coletora instalada acumulada per capita dada em metros quadrados por mil habitantes – $m^2/ 1.000$ habitantes
- 3 - Potência instalada acumulada de coletores solares dada em MWth
- 4 - Potência instalada acumulada per capita dada em MWth por cem mil habitantes.

Os dois primeiros indicadores foram muito utilizados até o ano de 2004, mas diante da necessidade crescente de comparar o aquecimento solar com outras fontes de energia em termos

de potência, especialistas da IEA definiram uma fator de conversão entre metros quadrados de coletores solares e potência nominal em MWth (potência térmica).

1 m² de coletor solar ↔ 0,7 kWth

Dados do aquecimento solar no mercado mundial:

- 141 milhões de metros quadrados de coletores solares instalados;
- 98,4 GWth de potência nominal térmica instalada;
- 58.177 GWh (209.220 TJ) de produção anual de energia;
- 25,4 milhões de toneladas de CO₂ evitadas (9,3 bilhões de litros de óleo equivalente)

As figuras 2 e 3 mostram a participação de alguns dos principais atores da tecnologia solar em todo o mundo (REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2009).

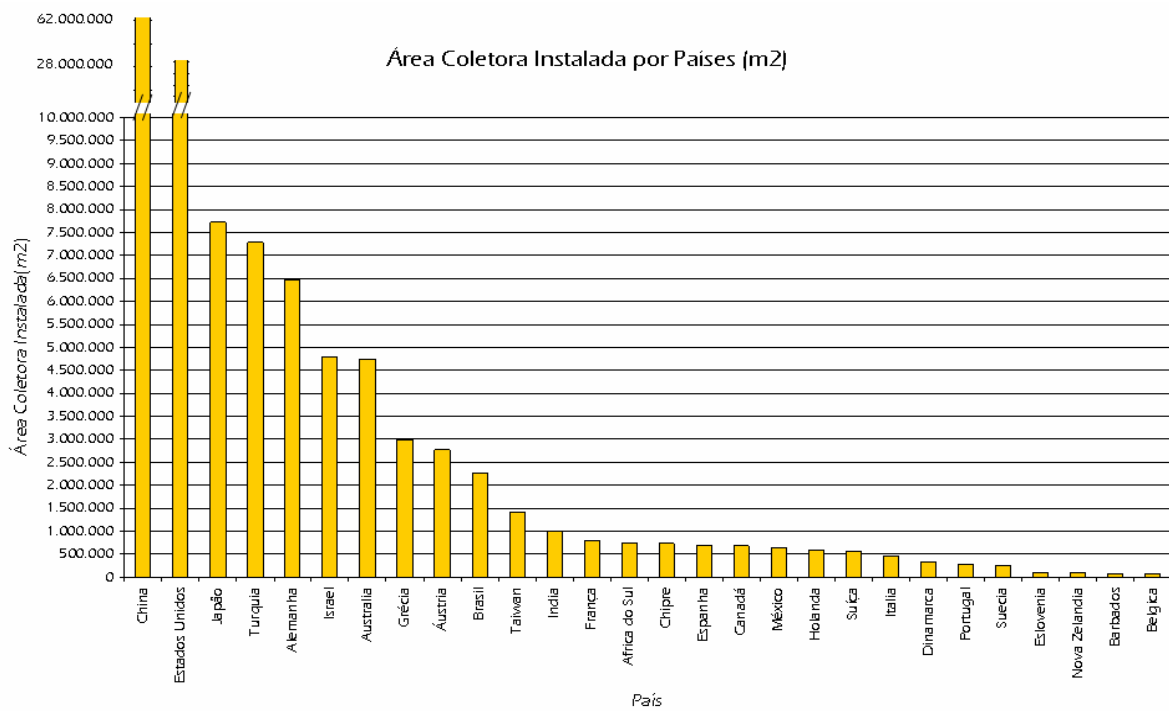


Figura 2 – Gráfico da área coletora instalada

Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

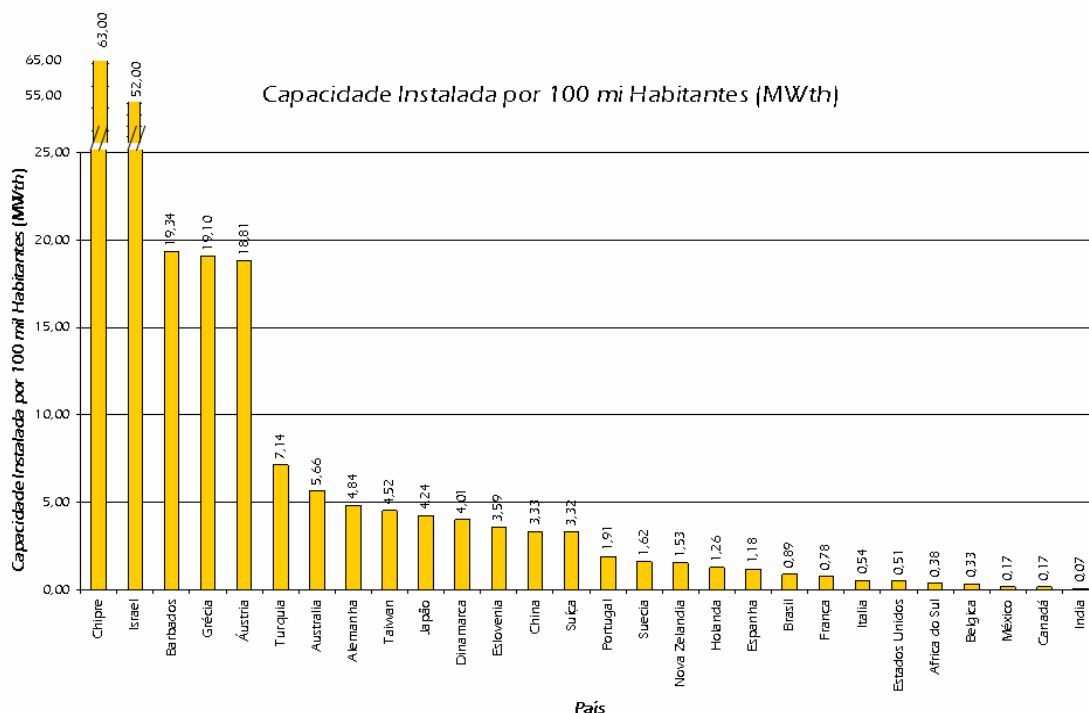


Figura 3 – Gráfico da potência instalada per capita para cada 100 mil habitantes
 Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

2.2 O AQUECIMENTO SOLAR NO BRASIL

No cenário energético brasileiro, torna-se cada vez mais evidente a necessidade de incentivo ao uso de energias renováveis complementares à atual geração hidrelétrica. Busca-se, dessa forma, garantir níveis de fornecimento de energia elétrica necessários ao crescimento populacional e universalização dos serviços de energia, ao crescimento econômico e a geração de novos postos de trabalho, com menor impacto ambiental possível. A energia solar térmica para aquecimento de água tem-se mostrado como solução técnica e economicamente viável para os problemas de redução do consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro e de modulação da curva de carga de nossas concessionárias de energia. No caso do aquecimento solar de água em substituição aos chuveiros elétricos, deve-se ressaltar, ainda, que embora não ocorra geração de energia, em seu sentido mais restrito. A retirada dos aquecedores elétricos instantâneos (chuveiros elétricos) e a correspondente redução de sua participação no horário de pico de demanda das concessionárias de energia elétrica do país podem ser interpretadas como uma intensa e constante geração virtual de energia elétrica (REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2009).

Finalmente vale lembrar que o Brasil se encontra em uma região entre os trópicos e próximo a linha do equador privilegiando-se dos elevados índices solarimétricos que são determinantes para o crescente aproveitamento do aquecimento solar. Através de estudos e levantamentos estatísticos realizados pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), através de seus Departamentos de Economia e de Aquecimento Solar é obtido à caracterização de sua evolução histórica do mercado de aquecimento solar entre os anos de 1985 e 2005. O gráfico da figura 4 mostra a evolução do mercado brasileiro de aquecedores solares.

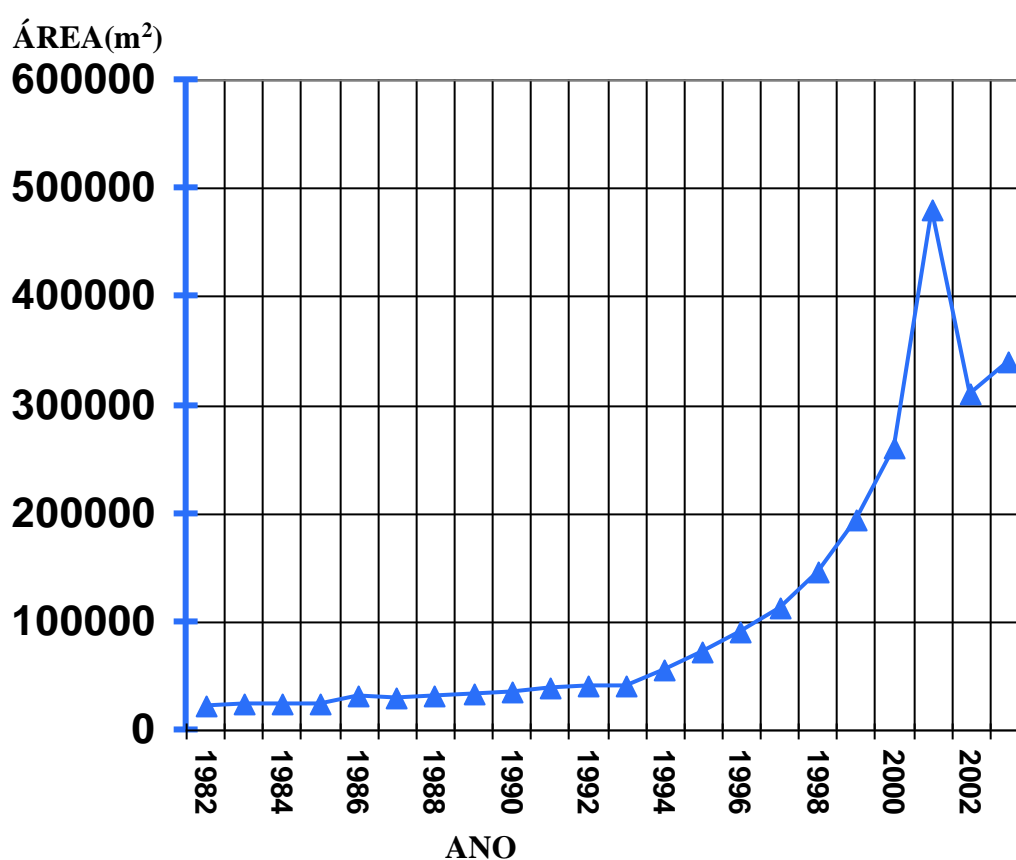


Figura 4 – Evolução do mercado brasileiro de aquecedores solares
Fonte: ABRAVA, 2004

Notadamente o aquecimento solar vem sendo implantado no Brasil desde meados da década de 70 e desta forma muitos coletores solares implantados já não estão mais em operação devido ao envelhecimento.

Quando se comparam os indicadores apresentados pelo Brasil com os apresentados por outros países líderes e pioneiros na implantação sustentável da tecnologia do aquecimento solar evidenciam-se o estágio de nosso mercado e o grande potencial a ser explorado. A indústria de aquecimento solar no Brasil é composta basicamente de micro, e pequenas empresas e possui

uma estrutura bastante simples, como mostra o fluxograma da figura 5. Os fabricantes fornecem equipamentos para empresas de serviço, instaladores, revendedores, empresas projetistas, que mantém relação com empresas de serviço de conservação de energia (ESCOS), e consumidores finais (setor residencial, terciário e industrial). No caso de revendedores e instaladores estes repassam os produtos para os consumidores finais.

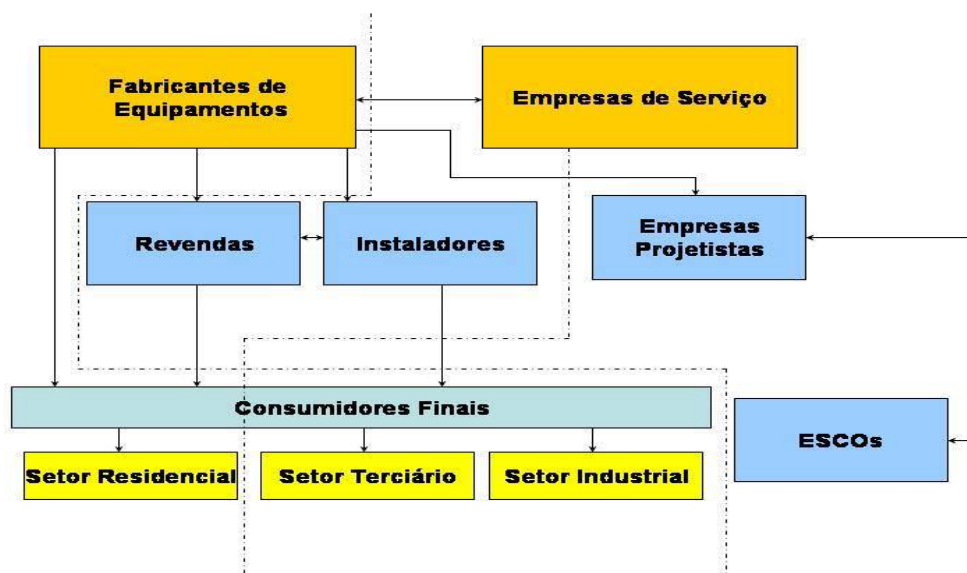


Figura 5 – Estrutura da empresa brasileira de aquecimento solar
Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

Esta estruturação da indústria brasileira evidencia um dos aspectos sociais positivos da tecnologia solar advindos da modularidade de suas aplicações, da descentralização de sua produção gerando mais empregos por unidade de energia. A tabela 01 mostra o número de postos de trabalho estimados na instalação, operação e na manutenção de equipamentos de geração de fontes de energia distintas.

Tabela 01 – Postos de trabalho gerados por diferentes fontes de energia

Fonte	Postos de Trabalho anuais por Terawatt-hora
Nuclear	75
PCHs	120
Gás Natural	250
Hidroeletricidade	250
Petróleo	260
Petroleo Offshore	265
Carvão	370
Lenha	733-1067
Eólica	918 -2.400
Álcool	3.711 – 5392
Solar (Fotovoltaica)	29.580 - 107.000

Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

A tecnologia termossolar segue a mesma lógica da geração de empregos da indústria solar fotovoltaica e segundo estudo realizado pela ABRAVA, através de seus Departamentos de Economia e de Aquecimento Solar, o setor gera aproximadamente 55 empregos por MWth implantado. No ano de 2005, foram implantados 276 MWth (395.000 metros quadrados de coletores solares) gerando pouco mais de 15 mil empregos diretos.

O Programa Brasileiro de Etiquetagem para aquecedores solares implantado no Brasil em meados dos anos 90 permitiu a criação de critérios personalizados para comparar os diferentes produtos disponíveis no mercado nacional e possibilitou a evolução da qualidade e confiabilidade da indústria brasileira nos últimos anos. Até o final do ano de 2005, mais de 160 produtos em todo o Brasil já haviam sido etiquetados pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO), sendo que destes, 62 produtos foram classificados com a categoria A obtendo o selo Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica (PROCEL) de produto mais eficiente. Fica evidente que a indústria nacional vem buscando constante aprimoramento tecnológico entendendo que a qualidade e confiabilidade da tecnologia são itens fundamentais para o crescimento e ampliação da utilização de aquecedores solares em todo o Brasil.

Com o desenvolvimento tecnológico e amadurecimento da indústria nacional nos últimos 10 anos, o Brasil começa a se tornar um pólo exportador da tecnologia solar de aquecimento de água como evidencia o gráfico da figura 6. As exportações de 2001 a 2005 apresentaram um crescimento acumulado de 4256% com uma média anual de 157%. Observa-se que as transações internacionais representaram no ano de 2005 uma movimentação de quase 800 mil dólares e que o saldo comercial positivo evidencia o crescente desenvolvimento e maturidade de tecnologia no Brasil (REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2009).

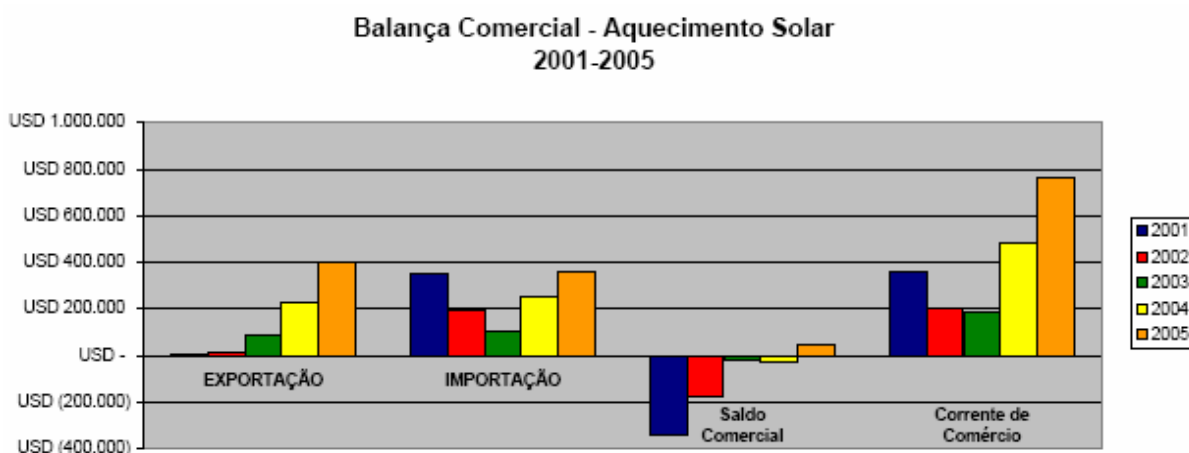


Figura 6 – Balança comercial do mercado de aquecimento solar no Brasil 2001-2005
Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

O uso de aquecedores solares pode contribuir para a redução da emissão de CO₂ por parte do setor elétrico brasileiro. Uma análise do ciclo de vida de quatro diferentes alternativas para o aquecimento de água para residências no país - chuveiros elétricos, aquecedores de passagem a gás natural, aquecedores de passagem a GLP e aquecedores solares mostrou que os aquecedores solares emitem menos de 60% do CO₂ e de CH₄ emitidos pelos chuveiros. Neste contexto, recursos adicionais obtidos por meio de pagamentos de serviços ambientais da tecnologia seria uma importante ferramenta na promoção de aquecedores solares no país. A área coletora instalada em 2005 no Brasil garante a redução da emissão de mais de 850.000 toneladas de CO₂ na atmosfera.

Segundo estudos realizados pela ABRAVA, através de seu Departamento de Aquecimento Solar, a área coletora instalada no Brasil em 2005 atinge em sua grande maioria o setor residencial brasileiro. Cerca de 85% da área total instalada é destinada para o setor residencial como mostra o gráfico da figura 7. Neste setor quase 95% destinam-se a instalações em habitações unifamiliares e 5 % para habitações multifamiliares, edifícios (REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2009).



Figura 7 - Participação do aquecimento solar por setor da economia
Fonte: Elaboração própria

No setor terciário o aquecimento solar vem sendo utilizado principalmente para aquecimento de água no setor hoteleiro, hospitalar e para o aquecimento de piscinas. No setor industrial seu uso ainda é restrito para o aquecimento de água para uso em vestiários e cozinhas industriais. Estudos apontam para uma ampla gama de utilização da tecnologia na geração de calor de processos industriais e diante de um contexto indefinido quanto ao uso e produção do gás natural o aquecimento solar torna-se ainda mais competitivo neste setor. Desde o racionamento de energia elétrica de junho de 2001, estão sendo feitas várias previsões, algumas

otimistas e outras bastante sombrias, sobre o cenário energético brasileiro: prazos e custos relativos à construção de novas hidrelétricas e termelétricas a gás natural e aumento de tarifas para compensação dos novos custos operacionais ou de perda de receita das concessionárias de energia elétrica (REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2009).

O aquecimento de água em chuveiros elétricos no setor está presente em cerca de 51% das residências brasileiras de acordo com a Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios (PNAD). Nas regiões Sul e Sudeste seu uso atinge, praticamente, a totalidade das residências. Os dados de posse dos equipamentos elétricos indicam que o chuveiro elétrico nos domicílios das Regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul tinha presença acima dos 85%, nas Regiões Norte e Nordeste só cerca de 8 e 15% dos domicílios possuíam o equipamento, respectivamente. Neste ponto, deve-se ressaltar que o aquecimento solar de água em substituição ao chuveiro elétrico não tem sido entendido por técnicos e legisladores brasileiros como uma forma de geração de energia, mas apenas como uma medida eficiente de conservação e uso racional de energia.

A análise do problema enfrentado nos últimos anos pelo sistema elétrico interligado das Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país, para atender à demanda de potência elétrica no horário de ponta, evidenciou a contribuição do chuveiro elétrico para a formação da ponta na curva de carga, como mostra a figura 8. Apesar de apresentarem um consumo relativamente baixo no período de 24 horas, os chuveiros elétricos contribuem muito para o consumo no horário de ponta e conseqüentemente o aumento da demanda máxima instantânea de potencia. Estudos realizados em várias concessionárias de energia elétrica do país têm atribuído ao chuveiro elétrico e ao nosso hábito de banho diário, normalmente em horário concentrado ao final do dia, a participação de 20 a 50% no aumento acentuado de potência elétrica requerida entre 17 e 21 horas (REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2009).

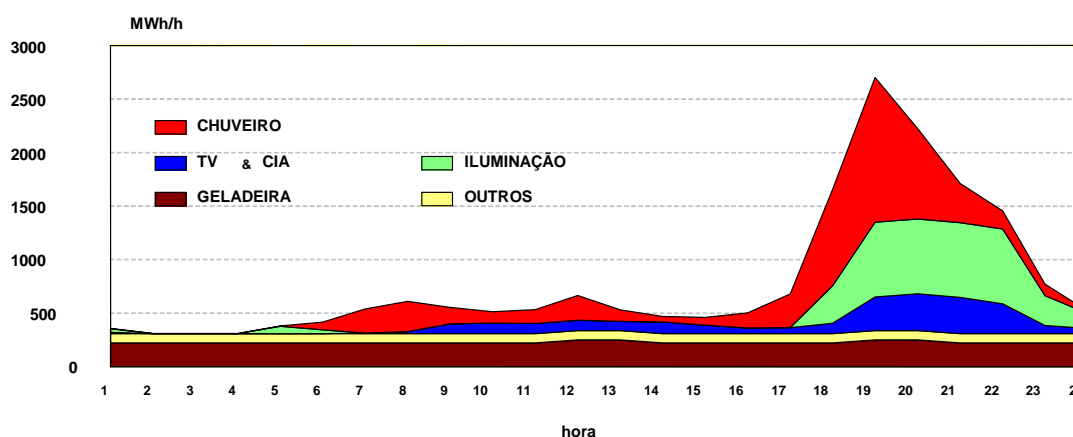


Figura 8 – Curva de carga residencial no sistema da Central Elétrica de Minas Gerais (CEMIG)
Fonte: Ferreira, 2010.

Analisando dados do setor elétrico observa-se que o setor residencial é responsável por 25,2 % do consumo total de energia elétrica no Brasil e que o aquecimento de água representa 26,8% deste consumo. O sistema Interligado Nacional registrou em 7 de Abril de 2005 um recorde para a demanda máxima instantânea de energia elétrica no valor de 60.918 MW o que significa que o aquecimento de água através do chuveiro elétrico pode representar pouco mais de 12% ($10.382\text{MW} / 60.918\text{MW}$) da demanda máxima instantânea de energia elétrica no Brasil.

A instalação de sistemas de aquecimento solar permite a intensa redução da demanda máxima instantânea de energia elétrica no Brasil reduzindo as pressões de investimentos do setor elétrico em capacidade de geração adicional somente para o atendimento ao hábito de banho atrelado ao uso do chuveiro elétrico no Brasil. A tabela 02 evidencia a participação do aquecimento solar no setor residencial.

**Tabela 02 – Participação do chuveiro elétrico na demanda de pico do setor elétrico
AQUECIMENTO SOLAR NO SETOR RESIDENCIAL-2005**

Área coletora acumulada no setor residencial (m ²)	2.295.390
Participação do setor residencial na área total instalada (%)	85%
Área coletora instalada por domicílio	4,0
Número de domicílios atendidos com aquecimento solar no Brasil	573.847
Economia de energia prevista por ano por domicílio com F-Chart 70% (kWh/ano)	581
Potência média do chuveiro elétrico (W)	3.900
Fator de coincidência do chuveiro no horário de ponta (%)	10%
Demanda de potência retirada da ponta (MW)	224
Economia anual de energia com uso do solar (GWh)	333,2

Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

Como pode ser observado o aquecimento solar já atende mais de 570 mil residências em todo o Brasil e contribui para a redução de 224 MW de potência no horário de ponta do setor elétrico nacional. Observa-se também que sua utilização permitiu uma economia de energia elétrica de mais de 330 GWh no ano de 2005. O aquecimento solar possui uma pequena penetração nas habitações brasileiras de apenas 1,1%, número inexpressivo quando comparamos, por exemplo, a Israel, onde mais de 80% das residências possuem aquecedores solares (REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2009).

Pode-se analisar o impacto de um programa de incentivo ao uso de aquecedores solares com base, por exemplo, no déficit habitacional brasileiro. O imenso débito com os brasileiros carentes de moradia – um dos principais itens da dívida social brasileira - vem se acumulando principalmente entre as famílias mais pobres, residentes em áreas urbanas e se apresenta com maior gravidade na região Nordeste, seguida das regiões Sudeste, Sul, Centro-Oeste e Norte. Famílias que ganham até três salários mínimos são as mais atingidas, correspondendo a 83,2% do déficit habitacional urbano. O déficit habitacional no Estado de São Paulo estimado era de 1.161.757 moradias no ano 2000 de acordo com a Fundação João Pinheiro: 80% desse déficit estão concentrados nas famílias com renda mensal de até cinco salários.

Somente a cidade de São Paulo registrou um déficit de cerca de 358 mil moradias, segundo dados do censo 2000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), relacionados na pesquisa sobre o desenvolvimento habitacional da cidade nas últimas três décadas. Estes e outros dados reveladores de um dos mais graves problemas do Brasil estão definidos no estudo “Déficit Habitacional no Brasil 2000”, realizado pela Fundação João Pinheiro. A pesquisa – encomendada pela Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República – revela que a deficiência do estoque de moradias no Brasil cresceu de 5,4 milhões de unidades em 1991 para 6,6 milhões em 2000. Se pensarmos na resolução do problema do déficit habitacional deve-se pensar na definição de uma política consistente definitiva para o aquecimento solar para o setor de habitações de interesse social. O sucesso e a importância de programas de implantação de aquecimento solar em habitações de interesse social no Brasil já estão comprovados por diversos projetos implantados e outros em fase de implantação. As tabelas 3 e 4 evidenciam a importância da tecnologia solar térmica.

Considerando-se que em todas as habitações populares a penetração do chuveiro elétrico seria de 100% teríamos os seguintes dados para o Estado de São Paulo e para o Brasil, por exemplo, (REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2009).

Tabela 03 – Aquecimento solar e o déficit habitacional do Estado de São Paulo (2000)

Aquecimento Solar e Déficit Habitacional no Estado de São Paulo	2005
Área coletora acumulada no setor residencial (m ²)	2.323.514
Déficit de Domicílios no Estado de São Paulo	1.161.757
Área coletora instalada por domicílio	2,0
Número de domicílios atendidos com aquecimento solar	1.161.757
Economia de energia prevista por ano por domicílio com F-Chart 70% (kWh/ano)	632
Aumento de renda mensal por domicílio	R\$ 21,06
Potência média do chuveiro elétrico (W)	3.900
Fator de coincidência do chuveiro no horário de ponta (%)	10%
Demanda de potência retirada da ponta (MW)	453
Economia anual de energia com uso do solar (GWh)	734,0

Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

Tabela 04 – Aquecimento solar e o déficit habitacional no Brasil (2000)

Aquecimento Solar e Déficit Habitacional no Brasil	2005
Área coletora acumulada no setor residencial (m ²)	13.200.000
Déficit de domicílios no Brasil	6.600.000
Área coletora instalada por domicílio	2,0
Número de domicílios atendidos com aquecimento solar	6.600.000
Economia de energia prevista por ano por domicílio com F-Chart 70% (kWh/ano)	632
Aumento de renda mensal por domicílio	R\$ 21,06
Potência média do chuveiro elétrico (W)	3.900
Fator de coincidência do chuveiro no horário de ponta (%)	10%
Demanda de potência retirada da ponta (MW)	2.574
Economia anual de energia com uso do solar (GWh)	4.169,9

Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

Observa-se analisando as tabelas 03 e 04, que a utilização do aquecimento solar em habitações de interesse social, nas quais a penetração do chuveiro elétrico é de 100%, teria um grande impacto do ponto de vista social gerando uma grande economia de energia e de dinheiro (variável de acordo com os valores praticados por cada concessionária) bem como traria um

grande benefício para o setor elétrico, pois representaria o deslocamento de no mínimo 2600 MW de demanda de potência no horário de ponta do setor e geraria uma economia de 4,2 TWh por ano (REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2009).

Os principais resultados dos projetos de aquecimento solares já implementados em habitações de interesse social são evidenciados da seguinte forma:

a - para os moradores

- Economia real de energia e dinheiro;
- Conscientização sobre o uso racional de energia e água;
- Aumento evidenciado do poder aquisitivo propiciando maior segurança alimentar e maior conforto (compra de alimentos, eletrodomésticos, material escolar, melhorias habitacionais, etc.).

b - para o setor elétrico

- Redução da carga nos horários de ponta, ocasionando postergação de investimentos em geração, transmissão e distribuição;
- Redução de inadimplência;
- Criação e divulgação de um novo pacote de serviços ao consumidor de baixa renda;
- Em estudo feito pela CEMIG, concluiu-se que com a implantação do aquecimento solar, 1 transformador que atendia a 25 casas passou a atender a 55 casas com a substituição do chuveiro elétrico pelo aquecimento solar;

c - para o governo

- Criação de uma política habitacional coerente com o desenvolvimento sustentável da matriz energética nacional e com o desenvolvimento econômico das populações atingidas pela tecnologia solar;
- Redução de investimentos na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, podendo-se deslocar recursos para outras áreas prioritárias como a própria política habitacional brasileira.
- Redução de emissão de poluentes condizente com uma política ambiental correta.

3 SISTEMA SOLAR DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

Na primeira parte desse capítulo são apresentados diferentes modelos de coletores solares e suas aplicações práticas típicas. Em seguida, são apresentados os componentes básicos de um sistema de aquecimento solar de água e os tipos de instalação solar com objetivo de contextualizar esta monografia.

3.1 COLETORES SOLARES

Os coletores são dispositivos utilizados para captar a energia disponível pelo sol e convertê-la em energia térmica, podendo ser do tipo plano ou de concentração. A escolha de um tipo de coletor solar depende basicamente da temperatura de operação requerida em determinada aplicação prática. Por exemplo, para temperaturas elevadas ou produção de vapor é necessário o emprego de coletores concentradores. A figura 9 mostra a usina solar de Barstow-Califórnia composta por espelhos planos, orientados de modo a concentrar os raios solares no alto da torre (foco), onde é produzido vapor a alta pressão e temperatura superior a 550°C. Para o correto posicionamento dos espelhos, este tipo de montagem exige um acompanhamento automático e continuado da trajetória do Sol no céu, cuja posição varia ao longo do dia e do ano (REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2009).



Figura 9 – Usina Solar de Barstow – Califórnia
Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

Os coletores planos, em relação aos de concentração, apresentam uma construção simples com baixo custo de fabricação e manutenção, operando em dias nublados com certa eficiência, sendo este tipo o mais adequado para a produção de água quente para fins

residenciais. O aquecimento de piscinas a temperaturas entre 26 e 30°C é normalmente promovido por coletores solares abertos, mostrados na Figura 10. Essa designação é utilizada, pois tais coletores não possuem cobertura transparente nem isolamento térmico. Apresentam ótimo desempenho para baixas temperaturas o qual decresce significativamente para temperaturas mais elevadas. São fabricados predominantemente em material polimérico como polipropileno e epdm, resistentes ao cloro e outros produtos químicos.

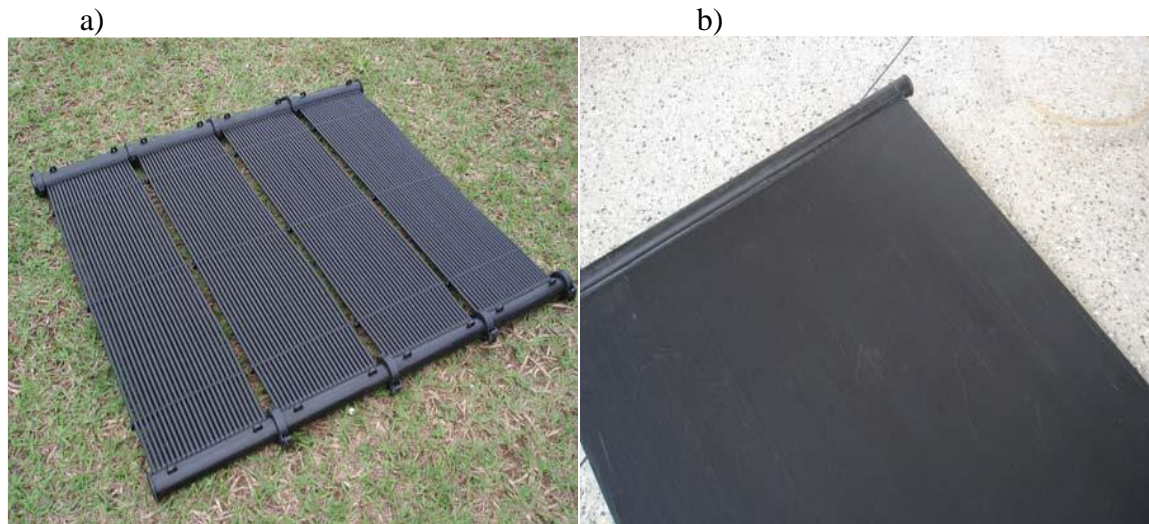


Figura 10 – Exemplos de Coletores Solares Abertos. Aletas descontínuas(a) e aletas contínuas(b).
Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

Os coletores solares fechados são utilizados para fins sanitários, atingindo temperaturas da ordem de 70 a 80°C. Na Figura 11, são mostrados exemplos de coletores fechados, cujos componentes serão discutidos em detalhes mais a frente.

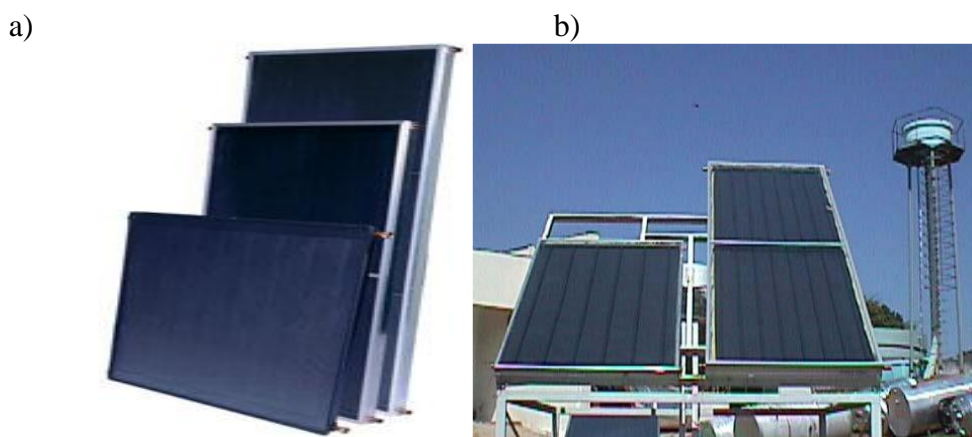


Figura 11 – Exemplos de Coletores Solares Fechados(a) e (b)
Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

Basicamente, um coletor solar plano fechado é constituído por:

- Caixa externa: geralmente fabricada em perfil de alumínio, chapa dobrada ou material plástico e que suporta todo o conjunto.

- Isolamento térmico: minimiza as perdas de calor para o meio. Fica em contato direto com a caixa externa, revestindo-a. Os materiais isolantes mais utilizados na indústria nacional são: lã de vidro ou de rocha e espuma de poliuretano.
- Tubos (flauta / calhas superior e inferior): tubos interconectados através dos quais o fluido escoar no interior do coletor. Normalmente, a tubulação é feita de cobre devido à sua alta condutividade térmica e resistência à corrosão.
- Placa absorvedora (aletas): responsável pela absorção e transferência da energia solar para o fluido de trabalho. As aletas metálicas, em alumínio ou cobre, são pintadas de preto foscas ou recebem tratamento especial para melhorar a absorção da energia solar.
- Cobertura transparente: geralmente de vidro, policarbonato ou acrílico que permite a passagem da radiação solar e minimiza as perdas de calor por convecção e radiação para o meio ambiente.
- Vedação: importante para manter o sistema isento da umidade externa.

Para temperaturas mais elevadas, recomendam-se os coletores solares do tipo tubo evacuado, mostrado na Figura 12. Este produto é predominantemente fabricado por empresas chinesas ou joint ventures sino-internacionais.



Figura 12 – Exemplos de Coletores Solares de Tubos Evacuados
Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

Os modelos mais eficientes utilizam tubos de calor (heat pipe) com zonas de evaporação e condensação, exemplificadas na Figura 13. A parte (a) da figura mostra esquematicamente os componentes básicos do coletor de tubo evacuado, sendo a aleta, tubo de vidro e condensador evidenciados nas partes (c) e (d). A parte (b) apresenta os detalhes desses elementos e fixação de cada tubo à calha coletora.

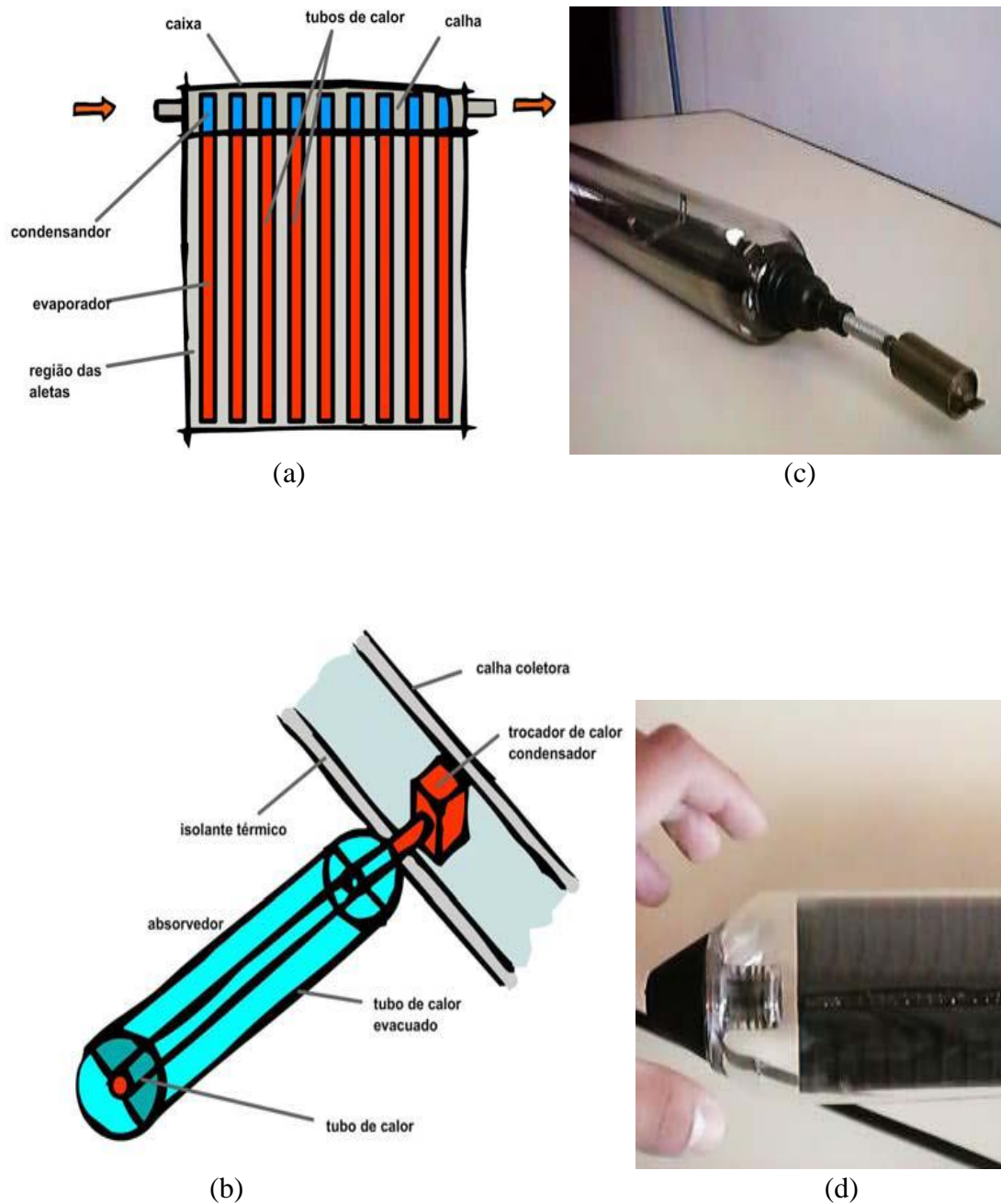


Figura 13 – Componentes dos Coletores Solares de Tubos Evacuados de Tubos de Calor. Componentes básicos do tubo evacuado(a), aleta (c), condensador (d) e detalhes dos elementos e fixação de cada tubo (b).
Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

A partir desse ponto, o texto estará restrito às aplicações do aquecimento solar para fins sanitários ou aquecimento de piscina. No primeiro caso, é necessário incluir na instalação um reservatório térmico para armazenar a água quente e garantir seu uso a qualquer momento. No caso da piscina aquecida, ela própria é o reservatório térmico da instalação solar. Em ambos os casos, são previstos aquecedores complementares, elétrico ou a gás, que são acionados em dias chuvosos ou com baixa incidência de radiação solar ou quando ocorrer aumentos eventuais de

consumo de água quente (REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2009).

3.2 RESERVATÓRIOS TÉRMICOS

Nas aplicações práticas do aquecimento solar ocorrem defasagens significativas entre o período de geração de água quente nos coletores solares e seu efetivo consumo. No setor industrial, por exemplo, o período de consumo de água quente depende, basicamente, do processo industrial e dos pontos de utilização adotados. Para o vestiário industrial deve-se considerar o horário de troca de turno de trabalho e para o refeitório, o número diário de refeições e seus respectivos horários. Entretanto, na grande maioria dos casos, constata-se a ocorrência da mesma defasagem observada no setor residencial. Além disso, deve-se destacar também o caráter intrinsecamente intermitente da radiação solar, que alterna dias e noites, dias ensolarados, nublados e chuvosos.

Os sistemas de aquecimento por energia solar devem ter um reservatório térmico que acumule o fluido aquecido sem degradação ou corrosão, bem como suportar as pressões envolvidas. “A ASHRAE considera que o projeto e a seleção do reservatório térmico são os itens mais desprezados dos sistemas de aquecimento por energia solar, apesar de o reservatório exercer uma grande influência no desempenho do sistema como um todo, principalmente do ponto de vista econômico e de confiabilidade” (LIMA *apud* AITA, 2006). O material mais utilizado na confecção dos reservatórios térmicos é o aço inox, pois apresenta uma ótima resistência à corrosão, possui menor condutividade térmica em relação ao cobre. “A ASHRAE recomenda o uso de reservatórios verticais, devido a sua maior facilidade de estratificação da água, melhorando com isso a eficiência térmica” (LAFAY *apud* AITA, 2006).

Assim, constata-se a necessidade de armazenamento de água quente em reservatórios térmicos para adequação entre a geração e o consumo efetivo, além da definição de certa autonomia para o sistema de aquecimento solar. As partes constituintes do reservatório térmico são mostradas na Figura 14 e podem ser assim resumidas:

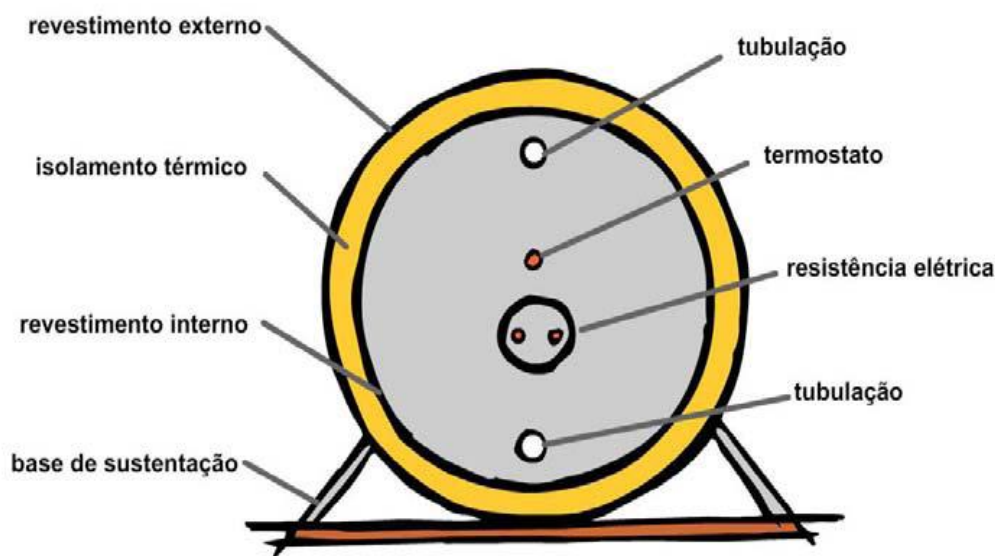


Figura 14 – Ilustração do reservatório térmico em corte
 Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

- Corpo interno: fica em contato direto com a água aquecida e, por isso, deve ser fabricado com materiais resistentes à corrosão, tais como cobre e aço inoxidável nos reservatórios fechados. Nos reservatórios abertos, utiliza-se, também, o polipropileno.
- Isolante térmico: minimiza as perdas de calor para o meio. É colocado sobre a superfície externa do corpo interno, sendo a lã de vidro e a espuma de poliuretano os materiais mais utilizados.
- Proteção externa: tem a função de proteger o isolante de intempéries, tais como: umidade, danos no transporte ou instalação, etc. Essa proteção é normalmente de alumínio, aço galvanizado ou aço carbono pintado. Não se recomenda o uso de lona plástica.
- Sistema auxiliar de aquecimento: como o próprio nome indica, é um sistema de aquecimento que tem como objetivo complementar o aquecimento solar de modo a garantir o fornecimento de água quente, seja em períodos de baixa insolação ou mesmo quando ocorrer consumo excessivo. Usualmente, o sistema de aquecimento auxiliar elétrico é constituído por uma ou mais resistências elétricas blindadas, colocadas no reservatório térmico em contato com a água armazenada. O acionamento dessas resistências pode ser controlado automaticamente por meio de um termostato, ou manualmente, pelo próprio usuário.
- Tubulações de alimentação, descarga e alívio (suspiro)
- Apoio para fixação e instalação.

3.3 SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

Um sistema de aquecimento solar, mostrado esquematicamente na Figura 15, pode ser dividido basicamente em três subsistemas básicos, discutidos a seguir.

- **Captação:** composto basicamente pelos coletores solares onde circula o fluido de trabalho a ser aquecido, as tubulações de ligação entre coletores e entre a bateria de coletores e o reservatório térmico e, no caso de instalações maiores, a bomba hidráulica. No Brasil, o fluido de trabalho normalmente utilizado é a água.
- **Acumulação:** seu componente principal o reservatório térmico, além de uma fonte de complementar energia, como eletricidade e gás, que garantirá o aquecimento auxiliar em períodos chuvosos, de baixa insolação ou quando ocorrer um aumento eventual do consumo de água quente.
- **Consumo:** compreende toda a distribuição hidráulica entre o reservatório térmico e os pontos de consumo, inclusive o anel de recirculação, quando necessário. É também conhecido como o circuito secundário da instalação.

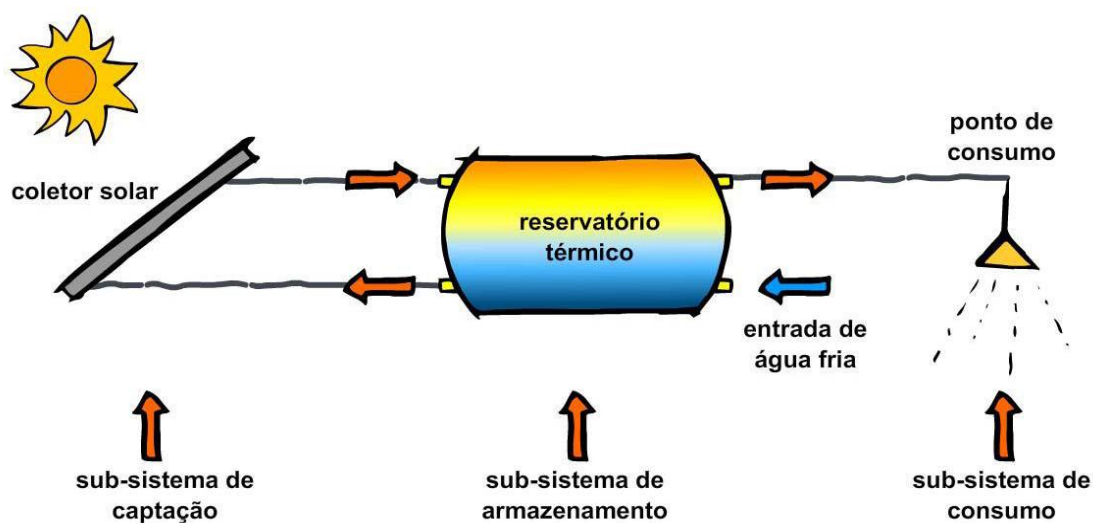


Figura 15 - Desenho esquemático de um sistema de aquecimento solar residencial
Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

3.4. INSTALAÇÃO DE AQUECIMENTO SOLAR

As instalações de aquecimento solar são classificadas como circulação natural ou termossifão e circulação forçada em que sua escolha está intrinsecamente associada ao volume diário de água a ser aquecida. De maneira geral, pode-se classificar:

Tabela 05 – Classificação de uma instalação de aquecimento solar conforme seu volume

Instalação	Volume Diário	Tipo
Pequeno porte	$V < 1500$ litros	Termossifão
Médio porte	$1500 < V < 5000$ litros	Circulação Forçada
Grande porte	$V > 5000$ litros	Circulação Forçada

Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

Um esboço da instalação termossolar básica para aquecimento de água em uma residência unifamiliar poderá ser visto na figura 16.

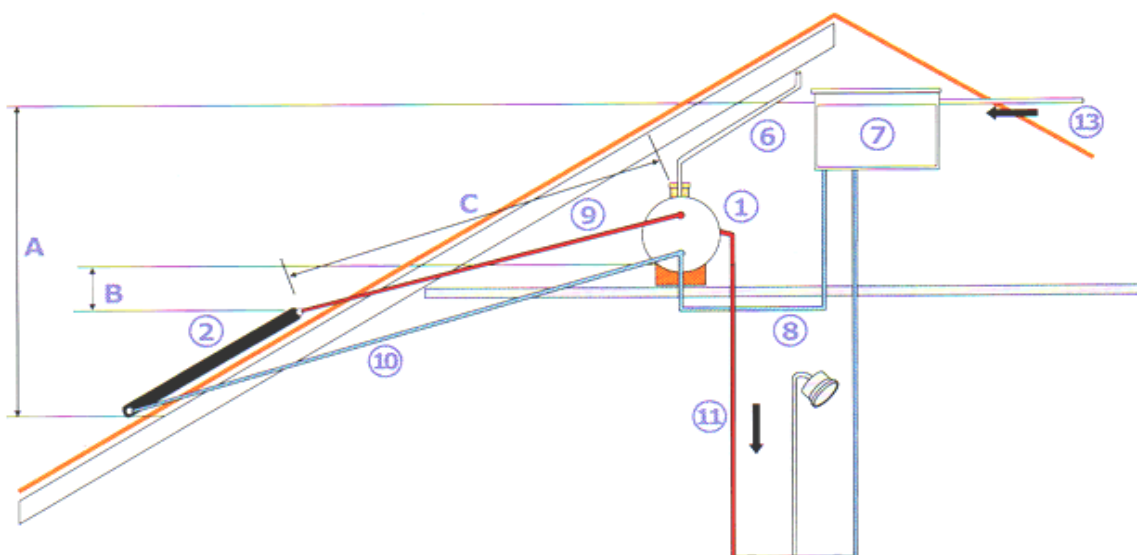


Figura 16 – Funcionamento do sistema de aquecimento de água a energia solar

Fonte: Como funciona o aquecedor solar, 2010

A = Altura máxima permitida; 3m para coletores fechados (entre base das placas e nível de água na caixa d'água).

B = Altura recomendada: 30 cm (entre o topo das placas e a base do reservatório)

C = Comprimento máximo recomendado: 6m (entre placas e reservatório térmico)

1 - Reservatório térmico

2 - Placas coletoras

6 – Respiro

7- Caixa de água fria

8 - Tubulação de saída de água fria da caixa d'água

9 - Tubulação de entrada de água quente dos coletores (não ultrapassar 6 metros)

10 - Tubulação de saída de água fria para os coletores

11 - Tubulação de consumo de água quente

13 - Tubulação de alimentação de água da rua ou de outro reservatório

Para a alocação dos coletores solares no telhado deve-se observar a disposição dos reservatórios de água quente e fria. Nesse caso, a circulação da água nos tubos de distribuição dos coletores é promovida apenas pela diminuição de sua densidade devido ao aquecimento da água nos coletores solares, efeito conhecido como termossifão (COMO FUNCIONA O AQUECEDOR SOLAR, 2010)

3.4.1 Instalação Solar em Circulação Natural ou Termossifão

Atualmente, no Brasil, grande parte dos sistemas de aquecimento solar em funcionamento é residencial, de pequeno porte e operam por circulação natural (termossifão).

3.4.2 Sistemas Acoplados ou Compactos

A concepção básica do sistema acoplado é quando o coletor solar e o reservatório térmico se fundem em uma única unidade, mostrada na Figura 17. O sistema acoplado opera em circulação natural e sua grande vantagem é de reduzir eventuais erros e minimizar custos de instalação. Além disso, sua grande massa térmica reduz riscos de congelamento que podem ocorrer em algumas regiões do país.

Entretanto, deve-se destacar que, devido à grande área de exposição de seus componentes e do pequeno desnível entre o ponto de saída da água quente do coletor solar (retorno ao reservatório) e a base do reservatório térmico constata-se uma redução da eficiência térmica diária da instalação solar. Faiman citado por Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar afirma em seus estudos que “a perda térmica nos períodos noturnos pode atingir 30% de toda a energia armazenada ao longo do dia, recomendando alguns dispositivos para minimizá-la”.

Cabe ressaltar que esta solução tem-se mostrado muito atraente para conjuntos habitacionais onde o volume de água quente a ser armazenado não excede 200 litros por dia e, também, para consumidores individuais em sistemas de auto-instalação.

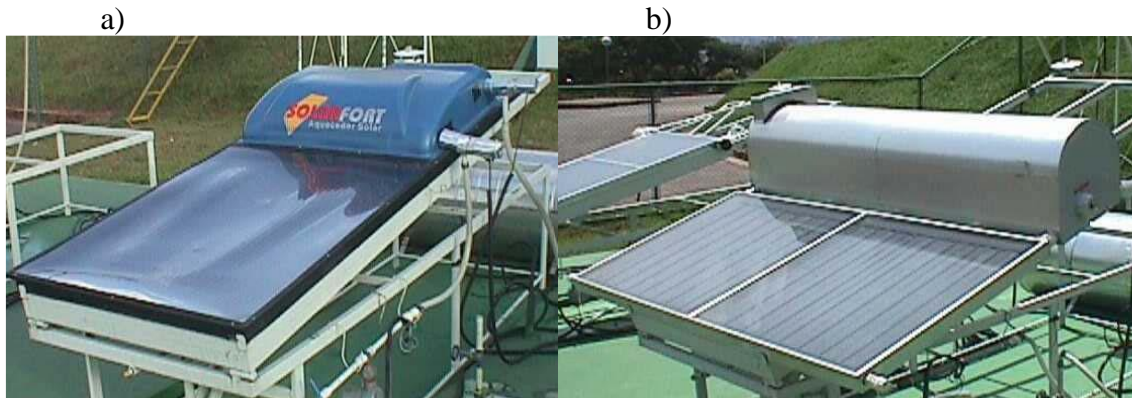


Figura 17 – Sistemas Acoplados na Bancada de Ensaio do GREEN SOLAR. Modelo com uma placa(a) e modelo com duas placas(b).

Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

3.4.3 Instalação Solar em Circulação Forçada ou Bombeada

Neste caso, a circulação do fluido de trabalho através do circuito primário da instalação é promovida pela ação de uma bomba hidráulica, sendo sua utilização recomendada para instalações de médio e grande porte ou quando os parâmetros exigidos para a instalação em termosifão não podem ser atendidos. A Figura 18 ilustra os componentes básicos de uma instalação bombeada. Neste tipo de instalação a água sai da caixa d'água e depois passa pelo reservatório térmico. A partir daí sofre bombeamento mecânico para sua circulação no sistema de tubos presente nas placas. Então retorna para o reservatório térmico.

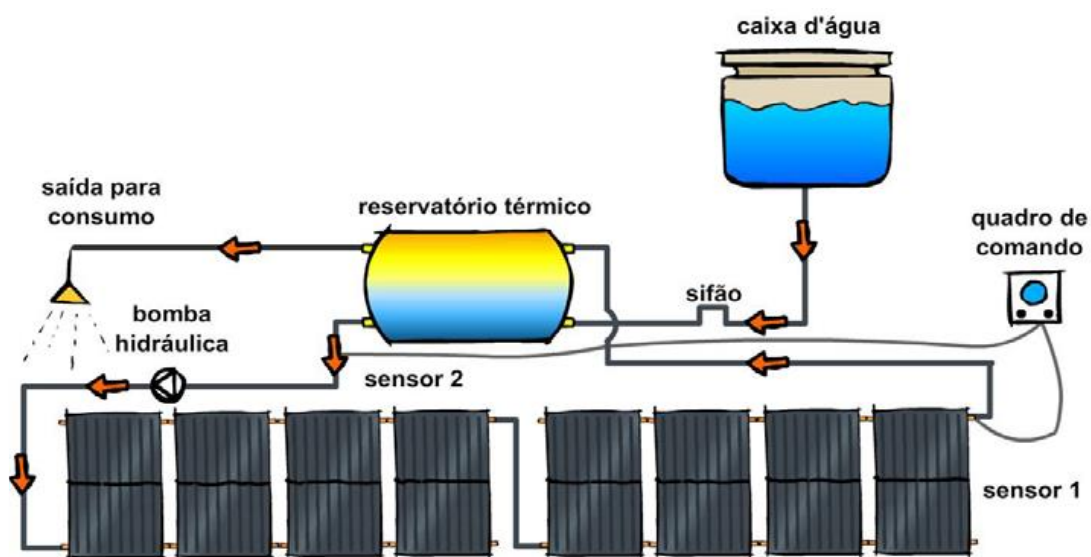


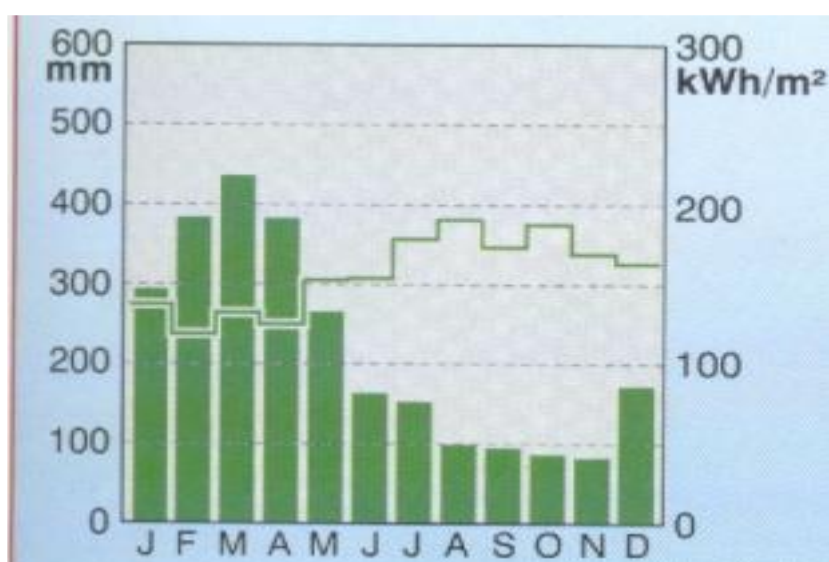
Figura 18 – Instalação em Circulação Forçada

Fonte: Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar, 2009

4 ENERGIA SOLAR DE AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA FINS RESIDENCIAL E COMERCIAL EM BELÉM-PARÁ.

A cidade de Belém está localizada no Estado do Pará, com coordenadas geográficas de 01° 23'S e 048° 29'W e altitude média de 11 metros em relação ao nível do mar, possui uma área de 1.065 km², e uma população de mais de 1.500.000 de habitantes (estimativa do IBGE-2006). Por sua proximidade ao equador, Belém tem clima caracteristicamente quente e úmido. A alta pluviosidade e a alta umidade associam-se à alta temperatura durante todo o ano e existe pouca variação entre as temperaturas diurna e noturna. O clima é demasiado quente e úmido para que haja condições confortáveis durante o dia e a maior parte da noite. Por isto, é indispensável o movimento de ar para amenizar as condições climáticas durante o ano.

Os níveis de radiação solar que atingem as edificações são muito altos e combinados com temperaturas externas que superam 30 °C. Como pode ser visto na figura 19, a radiação solar alcança níveis elevados nos meses de julho a novembro e as chuvas são mais intensas nos meses de janeiro a abril (Liébard *apud* Aguilar, Pinho e Galhardo, 2007). A umidade relativa alcança valores médios de 86% durante o ano.



■ Pluviosidade — Radiação global horizontal
 Figura 19- Características climáticas de Belém

4.1 ESTUDOS DE CASOS EM BELÉM

A partir daqui serão apresentados os estudos de casos na capital do estado do Pará, Belém. Foram coletados dados *in loco* para avaliação dos sistemas em cada estudo de caso. Os dados como: tipo de estabelecimento, tipo de peças que serão abastecidas e quantidade de pessoas são dados mais fáceis de se obter e, portanto mais precisos. No que se refere à quantidade de material houve mais dificuldades porque a partir daí tem-se a necessidade de fazer a quantificação de tubos e conexões. O que em um projeto já executado é inviável. As informações mais preponderantes para avaliação não foram prejudicadas, portanto, dando condições para que se façam comparações do consumo de energia no sistema elétrico, no sistema com uso de energia solar e sistema com gás.

Basicamente o dado nos locais de estudo que mais recebeu atenção foi o tipo de utilização da água quente nos mesmos. Porque a partir daí se faz o cálculo do volume necessário para atender esta demanda.

4.1.1 Edifício residencial multifamiliar

O Edifício Residencial é considerado de alto padrão e está localizado, à Trav. Rui Barbosa com a Rua Mundurucus em Belém do Pará, e cujas características principais são descritas a seguir.

- a) Pavimento térreo destinado para: hall social, gerador, medidores, lixo, gás, guarita, garagem, etc.
- b) Pavimento tipo (28x), composto de quatro (04) suítes, cozinha, estar/jantar, área de serviço, etc., sendo um (01) apartamento por pavimento tipo.
- c) Pavimento mecânico destinado para barrilete, casa de máquina e sistema de água quente.

O uso da água quente se restringe a abastecer quatro chuveiros localizados em cada apartamento. Eles são distribuídos desta forma: um em cada uma das quatro suítes que existem em cada apartamento. O prédio dispõe de um reservatório de concreto armado revestido internamente por material que ajuda a manter a temperatura por mais tempo em níveis apropriados para o seu uso, sua capacidade é de 10.000 litros. A temperatura da água no sistema é sempre monitorada por um termômetro conforme figura 20.

Nos dias em que o período de insolação não contribuir para o devido aquecimento da água será acionado um sistema complementar elétrico composto de 6 resistências de 5000 watts.



Figura 20 – Monitoramento da temperatura da água
Fonte: Pesquisa direta, 2010

O sistema de captação é composto de 53 placas solares de 1900x900mm localizadas na cobertura do edifício totalizando assim uma área total de 90,63m². A disposição das placas pode ser observada na figura 21. A circulação do fluido de trabalho através do circuito primário da instalação é promovida pela ação de um conjunto de bombas hidráulicas, sendo sua utilização recomendada para instalações de médio e grande porte que é o caso deste edifício (10000 litros), ou quando os parâmetros exigidos para a instalação em termosifão não possam ser atendidos.



Figura 21 – Disposição das placas na cobertura
Fonte: Pesquisa direta, 2010



Figura 22 – Bombas de recirculação
 Fonte: Pesquisa direta, 2010

4.1.1.1 Dados básicos para dimensionar um sistema

- Orientação geográfica dos coletores
- Ângulo de Inclinação dos coletores
- Volume de água quente consumida
- Área necessária para coletores
- Características climáticas do local
- Rendimento do equipamento

4.1.1.2 Dados para Dimensionamento

Tabela 06 – Tabela para dimensionamento

PEÇAS	CONSUMO MÉDIO DIÁRIO
Ducha	40 a 80 litros/pessoa
Lavatório	5 a 7 litros/pessoa
Cozinha	20 a 30 litros/pessoa
Lavanderia	20 a 30 litros/pessoa
Banheira	100 a 200 litros/uso

Fonte: ABRAVA, 2004

Tabela 07– Tabela para dimensionamento

EDIFICAÇÕES	CONSUMO DIÁRIO
Ed. Residencial	110 litros/pessoa
Hotel	105 litros/leito
Motel	800 litros/apartamento
Hospital	120 litros/leito
Vestiário	50 litros/pessoa
Lavanderia Ind.	30 litros/kg de roupa seca
Cozinha Ind.	12 litros/refeição
Residência pop.	40 litros/pessoa

Fonte: ABRAVA, 2004

4.1.1.3 Retorno dos investimentos do edifício residencial

Dados:

- Residência de 4 dormitórios
- 6 pessoas por apartamento
- Aquecimento de 4 chuveiros
- 6 x 60 litros = 360 litros/dia
- $Q = m.c.(t_f - t_o)$, [m=massa, c=calor específico da substância, $(t_f - t_o)$ =variação da temperatura]
- $Q = 360 \text{ Kg} \times 1 \times 17^\circ\text{C}$ (temperatura média ambiente da água em Belém é 25°C e a temperatura para qual desejamos elevar é 42°C , ou seja, diferença de 17°C)
- $Q = 6120 \text{ Kcal/dia} \times 28 \text{ apartamentos}$
 $Q_{\text{total}} = 171.360 \text{ Kcal/dia}$
- Custo total do investimento na instalação do equipamento de aquecimento de água com energia solar (material, equipamento e mão-de-obra) = R\$ 58700,00 (dado fornecido por empresa especializada no ramo para este estudo de caso)
- Vida útil do sistema = 20 anos (fornecido por fabricante)

a) Sistema elétrico

Usando a relação $[(Q_{\text{total}}/860 \text{ Kcal}) \times \text{tarifa da concessionária}]$ então temos:

$171360 \text{ Kcal} / 860 * (\text{Kcal/KWh}) \times 0,33^{**}$ * 1Kwh = 860 Kcal (Macintyre, 1996)

Custo diário = R\$ 65,75 **Valor da Central Elétrica do Pará (CELPA)

Custo mensal = R\$ 1972,50 adotado sem ICMS

Custo anual = R\$ 23670,00

Custo total com instalação de chuveiros elétricos = R\$ 28000,00

b) Sistema solar (90%) e sistema elétrico (10%)

$$171360 \text{ Kcal} / 860 \text{ (Kcal/KWh)} \times 0,33 \times 10\%$$

$$\text{Custo diário} = \text{R\$ } 6,575$$

$$\text{Custo mensal} = \text{R\$ } 197,250$$

$$\text{Custo anual} = \text{R\$ } 2367,00$$

c) Sistema gás (GLP)

$$171360 \text{ Kcal} / 10800 \text{ (Kcal/ Kg GLP)} / 75\% \times 2,90^* \quad * \text{ Valor de 1Kg do gás}$$

$$\text{Custo diário} = \text{R\$ } 61,35$$

$$\text{Custo mensal} = \text{R\$ } 1840,50$$

$$\text{Custo anual} = \text{R\$ } 22086,00$$

$$\text{Custo total com instalação de sistema a gás} = \text{R\$ } 37800,00$$

4.1.1.4 Análise de investimento do aquecimento de água com energia solar

Para um sistema com aquecimento solar auxiliado por sistema elétrico (resistências).

- Tempo de retorno do investimento = Investimento inicial / Economia anual
- Tempo de retorno do investimento = $58700,00 / 21303,00 = 2,755$ anos

Conclui-se que, se mantido o equilíbrio das condições descritas nesta proposta, o investimento é viável, uma vez que o tempo de retorno é curto em função da significativa economia gerada pelo sistema de aquecimento solar. Ver no gráfico da figura 23 o ponto de encontro das retas no qual há o retorno do investimento.

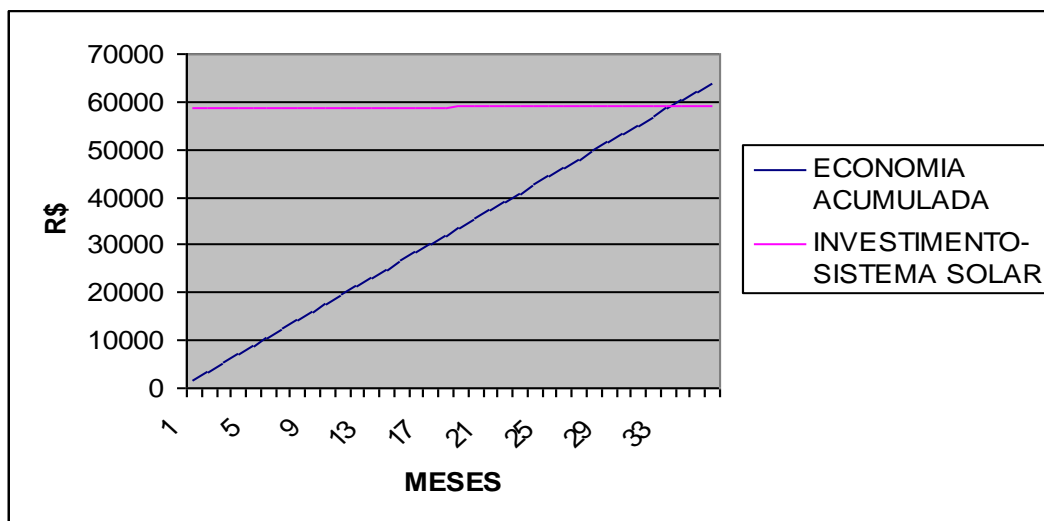


Figura 23 – Retorno do investimento em sistema de aquecimento de água por energia solar-edifício residencial
Fonte: Própria

4.1.1.5 Análise de investimento do aquecimento a gás em relação ao aquecimento com energia solar

Com base nos dados fornecidos anteriormente verifica-se uma igualdade de valores destes dois sistemas em aproximadamente treze meses. A partir daí o sistema a gás se torna incomparavelmente mais dispendioso como pode ser verificado no gráfico da figura 24.

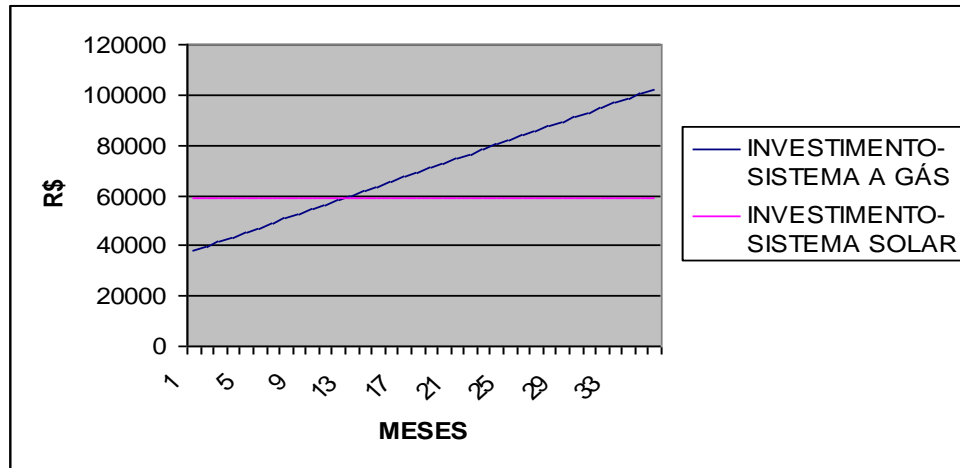


Figura 24 – Comparação do aquecimento solar com o sistema a gás-edifício residencial
Fonte: Própria

4.1.1.6 Análise de investimento do aquecimento com energia elétrica em relação ao sistema com energia solar

Com base nos dados fornecidos anteriormente verifica-se uma igualdade de valores destes dois sistemas em aproximadamente dezesseis meses. A partir daí o sistema elétrico se torna mais dispendioso como aconteceu com a análise anterior. Esta interseção de retas pode ser verificada no gráfico da figura 25.

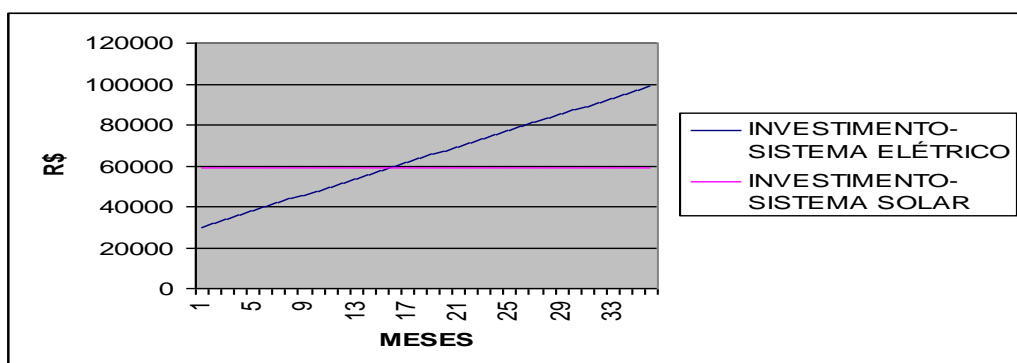


Figura 25 – Comparação do aquecimento solar com o sistema elétrico-edifício residencial
Fonte: Própria

4.1.2 Pousada “A”

Pousada alto padrão localizada na Rodovia do Coqueiro na entrada da Cidade Nova. Suas características são descritas a seguir:

- a) 51 apartamentos, sendo 8 suítes e duas com banheiras de hidromassagem
- b) 1 cozinha
- c) 1 lavanderia

Nesta pousada ainda estão sendo usadas duas caldeiras antigas que atuam para aquecimento de água. A administração por segurança colocou em todos os apartamentos chuveiros elétricos, porém está pensando em tirar porque raramente se usou este tipo de recurso. E quando se usa encontram problemas na ligação dos chuveiros elétricos. Deixando o sistema operando unicamente com energia solar. Quando acontece da incidência solar diminuir entra então as resistências localizadas nos boilers.

4.1.2.1 Retorno dos investimentos da pousada “A”

Dados:

- Apartamentos = 51 unidades
 - Suítes = 8 unidades (duas com banheiras de hidromassagem)
 - Consumo = 120 litros/por apartamento
 - $51 \times 120 \text{ litros} = 6120 \text{ litros/dia}$
 - $Q = m \cdot c \cdot (t_f - t_o)$
 $Q = 6120 \text{ Kg} \times 1 \times 20^\circ\text{C}$ (temperatura média ambiente da água em Belém é 25°C e a temperatura para qual desejamos elevar é 45°C)
 $Q = 122400 \text{ Kcal/dia}$
 - Custo total do investimento na instalação do equipamento de aquecimento de água com energia solar (material, equipamento e mão-de-obra) = R\$ 46200,00 (dado fornecido por empresa especializada no ramo para este estudo de caso)
 - Vida útil do sistema = 20 anos (fornecido por fabricante)
- a) Sistema elétrico (Conforme a mesma seqüência de cálculos anterior)
- $122400 \text{ Kcal} / 860 \text{ (Kcal/KWh)} \times 0,33^*$ *Valor adotado sem ICMS
- Custo diário = R\$ 46,96
- Custo mensal = R\$ 1408,80

Custo anual = R\$ 16905,60

Custo total de instalação de chuveiros elétricos = R\$ 12750,00

b) Sistema solar (90%) e sistema elétrico (10%)

122400 Kcal/ 860 (Kcal/KWh) x 0,33 x 10%

Custo diário = R\$ 4,696

Custo mensal = R\$ 140,88

Custo anual = R\$ 1690,56

c) Sistema gás (GLP)

122400 Kcal/ 10800 (Kcal/ Kg GLP)/75% x 2,90

Custo diário = R\$ 43,82

Custo mensal = R\$ 1314,60

Custo anual = R\$ 15775,20

Custo total com instalação de sistema a gás = R\$ 26200,00

4.1.2.2 Análise de investimento do aquecimento de água a energia solar

Para um sistema com aquecimento solar auxiliado por sistema elétrico (resistências).

- Tempo de retorno do investimento = Investimento inicial / Economia anual
- Tempo de retorno do investimento = $46200/15215,04 = 3,036$ anos

Mostrou-se viável como os anteriores se mantido o equilíbrio das condições descritas nesta proposta. O tempo de retorno é curto em função da significativa economia gerada pelo sistema de aquecimento solar. Ver no gráfico da figura 26 o ponto de encontro das retas no qual há o retorno do investimento.

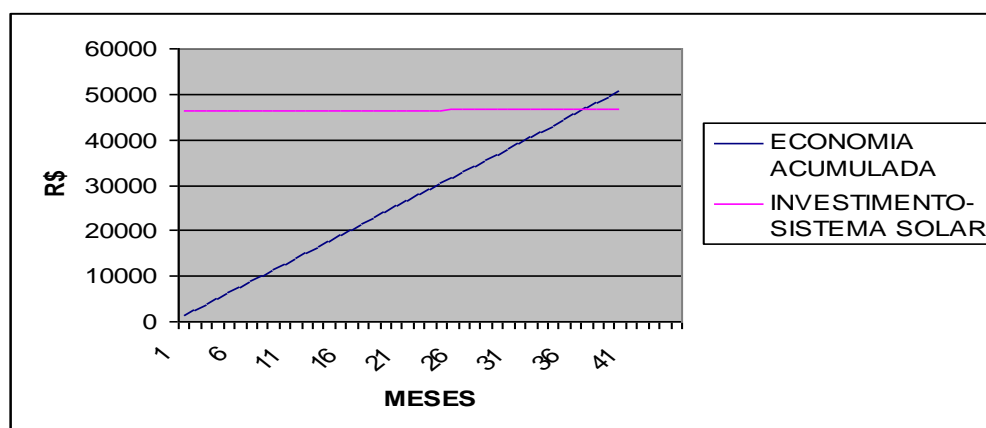


Figura 26 – Retorno do investimento em sistema de aquecimento de água por energia solar-pousada “A”
Fonte: Própria

4.1.2.3 Análise de investimento do aquecimento a gás em relação ao aquecimento com energia solar

Com base nos dados fornecidos anteriormente verifica-se uma igualdade de valores destes dois sistemas em aproximadamente dezesseis meses. A partir daí o sistema a gás se torna mais dispendioso como pode ser verificado no gráfico da figura 27.

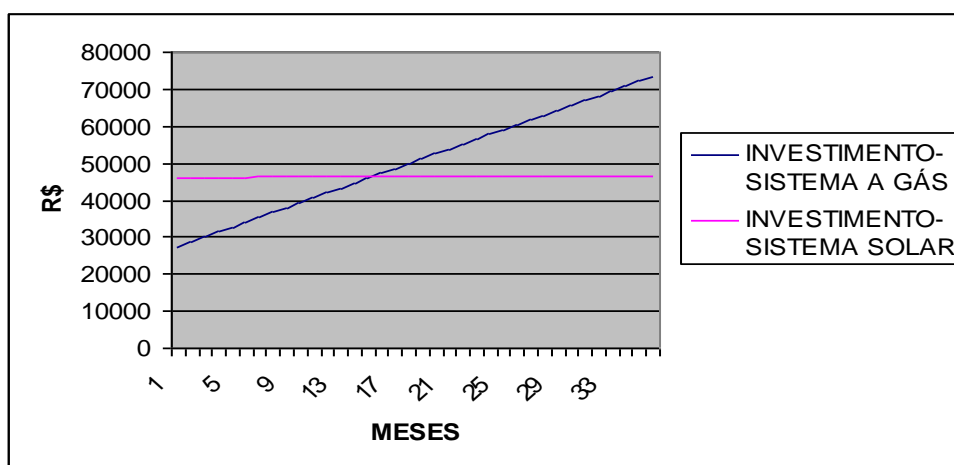


Figura 27 – Comparação do aquecimento solar com o sistema a gás-pousada “A”
Fonte: Própria

4.1.2.4 Análise de investimento do aquecimento com energia elétrica em relação ao sistema com energia solar

Com base nos dados fornecidos anteriormente verifica-se uma igualdade de valores destes dois sistemas em aproximadamente 24 meses. A partir daí o sistema elétrico se torna mais dispendioso como pode ser verificado no gráfico da figura 28.

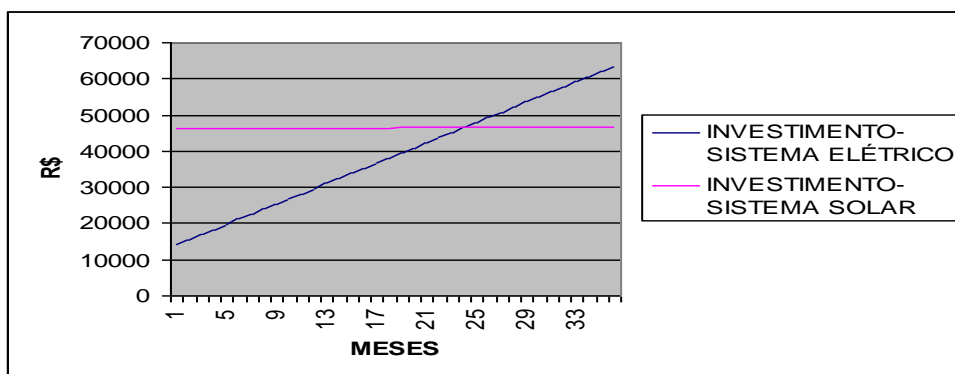


Figura 28 – Comparação do aquecimento solar com o sistema elétrico-pousada “A”
Fonte: Própria

4.1.3 Pousada “B”

Pousada médio padrão localizada na Travessa Lomas Valentinas, bairro do Marco. Suas características são descritas a seguir:

- a) 29 apartamentos
- b) 1 cozinha

Neste caso a pousada desde que começou usar água quente em seus apartamentos utilizou sistema de aquecimento com energia solar. O proprietário comentou que se tivesse que recomençar seu empreendimento utilizaria novamente o sistema com energia solar.

4.1.3.1 Retorno dos investimentos da pousada “B”

- Dados:
- Apartamentos = 29 unidades
- Consumo = 160 litros/por apartamento
- 29×160 litros = 4640 litros/dia
- $Q = m \cdot c \cdot (t_f - t_o)$
 $Q = 4640 \text{ Kg} \times 1 \times 20^\circ\text{C}$ (temperatura média ambiente da água em Belém é 25°C e a temperatura para qual desejamos elevar é 45°C)
 $Q = 92800 \text{ Kcal/dia}$
- Custo total do investimento na instalação do equipamento de aquecimento de água com energia solar (material, equipamento e mão-de-obra) = R\$ 49000,00 (dado fornecido por empresa especializada no ramo para este estudo de caso)
- Vida útil do sistema = 20 anos (fornecido por fabricante)
- a) Sistema elétrico (Conforme a mesma seqüência de cálculos anterior)
 $92800 \text{ Kcal} / 860 \text{ (Kcal/KWh)} \times 0,33^*$ *Valor adotado sem ICMS
Custo diário = R\$ 35,60
Custo mensal = R\$ 1068,00
Custo anual = R\$ 12816,00
Custo total de instalação de chuveiros elétricos = R\$ 7250,00
- b) Sistema solar (90%) e sistema elétrico (10%)
 $92800 \text{ Kcal} / 860 \text{ (Kcal/KWh)} \times 0,33 \times 10\%$
Custo diário = R\$ 3,56

Custo mensal = R\$ 106,80

Custo anual = R\$ 1281,60

c) Sistema gás (GLP)

92800 Kcal/ 10800 (Kcal/ Kg GLP)/75% x 2,90

Custo diário = R\$ 33,22

Custo mensal = R\$ 996,60

Custo anual = R\$ 11959,20

Custo total com instalação de sistema a gás = R\$ 21400,00

4.1.3.2 Análise de investimento do aquecimento de água com energia solar

Para um sistema com aquecimento solar auxiliado por sistema elétrico (resistências).

- Tempo de retorno do investimento = Investimento inicial / Economia anual
- Tempo de retorno do investimento = 4900/11534, 4 = 4,248 anos

Mantido o equilíbrio das condições descritas nesta proposta, o investimento é viável, uma vez que o tempo de retorno é curto em função da significativa economia gerada pelo sistema de aquecimento solar. Ver no gráfico da figura 29 o ponto de encontro das retas no qual há o retorno do investimento.

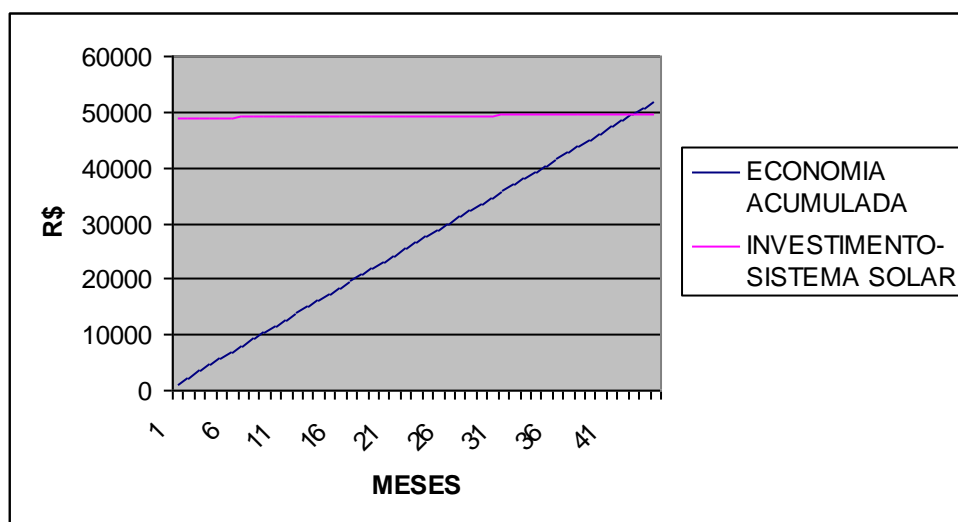


Figura 29 – Retorno do investimento em sistema de aquecimento de água por energia solar-pousada “B”
Fonte: Própria

4.1.3.3 Análise de investimento do aquecimento a gás em relação ao aquecimento com energia solar

Com base nos dados fornecidos anteriormente verifica-se uma igualdade de valores destes dois sistemas em aproximadamente vinte e nove meses. A partir daí o sistema a gás se torna incomparavelmente mais dispendioso como pode ser verificado no gráfico da figura 30.

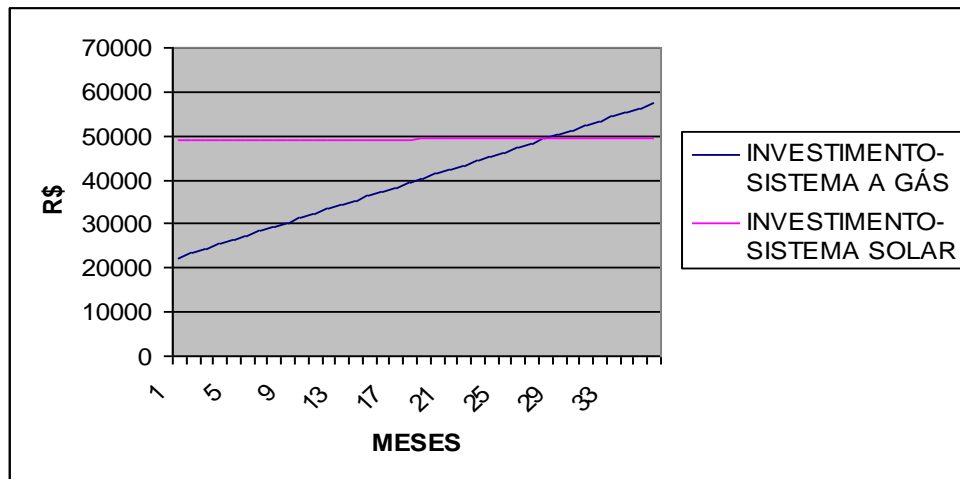


Figura 30 – Comparação do aquecimento solar com o sistema a gás-pousada “B”
Fonte: Própria

4.1.3.4 Análise de investimento do aquecimento com energia elétrica em relação ao sistema com energia solar

Com base nos dados fornecidos anteriormente verifica-se uma igualdade de valores destes dois sistemas em aproximadamente quarenta meses. A partir daí o sistema elétrico se torna mais dispendioso como pode ser verificado no gráfico da figura 31.

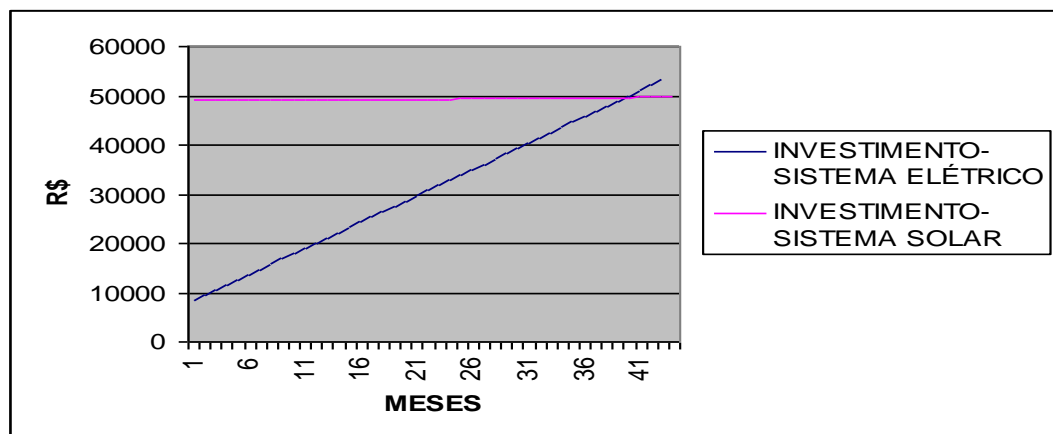


Figura 31 – Comparação do aquecimento solar com o sistema elétrico-pousada “B”
Fonte: Própria

5 CONCLUSÃO

Como podem ser observados neste trabalho os resultados de retorno de investimento, neste tipo de alternativa de energia limpa, se mostraram bastante sólidos. Nos três estudos de caso o tempo de retorno foi menor ou igual há aproximadamente 3 anos e no caso do edifício residencial, na situação do uso de sistema a gás, o retorno foi pouco maior que 1 ano. O sistema de aquecimento de água com energia solar em condições climáticas amazônicas mostrou-se bastante eficiente. Por enquanto em Belém o uso mais comum da água quente aquecida com energia solar é para fins sanitários no setor residencial e setor terciário (hotéis e pousadas). Os objetivos foram alcançados nesta monografia, pois foram apresentadas as características mais relevantes desta forma de aproveitamento de energia solar.

O grande impacto positivo no setor energético deixa de ser uma possibilidade e passa a ser uma realidade para o Brasil. Os desafios energéticos que o Brasil possui são perfeitas oportunidades para novas tecnologias e aperfeiçoamento das que já existem. No caso de Belém são poucas as literaturas que tratam deste assunto em nossa região. Faltam dados mais precisos inclusive para o próprio dimensionamento destes sistemas.

A resposta dos usuários foi muito positiva e os que não conheciam o sistema começaram a usá-lo sem tantas resistências de opiniões. Mesmo com um investimento alto de começo isto não foi empecilho para que as pessoas percebessem logo as vantagens do seu uso.

REFERÊNCIAS

Aguilar, H. M. C.; Pinho, J. T.; Galhardo, M. A. B.. Projeção de uma edificação eficiente em clima quente e úmido. Artigo-Universidade Federal do Pará, 2007.

Aita, Fernando. Estudo de desempenho de um sistema de aquecimento de água por energia solar. Dissertação de mestrado-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006..

Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Workshop: Aquecimento Solar de água. São Paulo, 2004.

Como funciona o aquecedor solar ou aquecimento de água por energia solar, 2010. Disponível em: < <http://www.h2ot.com.br/como.htm>>

Fernandes, C. A. O. ; Guaronghi, V. M. Energia Solar. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/esolar/esolar.html>>

Ferreira, Omar Campos. Promoção do uso da energia solar para aquecimento de água no setor residencial. Secretaria de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, 2010. Disponível em: <http://ecen.com/eee47/eee47p/energia_solar_domestico.htm>

Macintyre, Archibald Joseph. Instalações Hidráulicas: Prediais e Industriais. 3ª Ed. Rio de Janeiro, 1996.

Mezzomo, Diunisio. Energia solar: Algumas aplicações. Apostila da Universidade Federal de Pelotas, 2010

Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar. Mercado Brasileiro de energia solar. São Paulo, 2009.

Rede Brasil de capacitação em aquecimento solar. Noções iniciais sobre aquecimento solar. São Paulo, 2009.

