

GIORDANI LOPES TAVARES

**PROGRAMA HABITACIONAL *MINHA CASA, MINHA VIDA*:
OPORTUNIDADE DE APLICAÇÃO DO AQUECIMENTO SOLAR**

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

Orientador

Prof. Carlos Alberto Alvarenga

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL**

2009

GIORDANI LOPES TAVARES

**PROGRAMA HABITACIONAL *MINHA CASA, MINHA VIDA*:
OPORTUNIDADE DE APLICAÇÃO DO AQUECIMENTO SOLAR**

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

APROVADA em ____ de _____ de ____.

Prof. _____

Prof. _____

Orientador

Prof. Carlos Alberto Alvarenga

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2009**

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
RESUMO.....	iii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 A energia solar.....	4
2.2 Níveis solarimétricos.....	4
2.3 Aquecimento solar.....	6
3 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO.....	15
3.1 Introdução.....	15
3.2 Dimensionamento do sistema de aquecimento.....	17
3.3 Aquecimento auxiliar.....	24
3.4 Análise dos benefícios da tecnologia.....	25
3.4.1 Benefícios econômicos.....	25
3.4.2 Benefícios sociais e para o meio ambiente.....	31
3.4.3 Outros motivadores.....	31
4 CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
ANEXOS.....	37

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Consumo mundial de energia por combustível.....	1
FIGURA 2	Média anual de insolação diária no Brasil.....	5
FIGURA 3	Radiação solar global diária.....	6
FIGURA 4	Coletor solar plano.....	7
FIGURA 5	Reservatório térmico.....	9
FIGURA 6	Aquecedor com circulação natural.....	10
FIGURA 7	Arranjo típico de um aquecedor com circulação natural...	11
FIGURA 8	Aquecedor com circulação forçada.....	11
FIGURA 9	Consumo do sistema elétrico em 23 de novembro de 2006.....	17
FIGURA 10	Temperatura média das cidades de Macapá e Manaus.....	19
FIGURA 11	Temperatura média das cidades de Salvador e Recife.....	19
FIGURA 12	Temperatura média das cidades de Campo Grande e Goiânia.....	20
FIGURA 13	Temperatura média das cidades de Belo Horizonte e São Paulo.....	20
FIGURA 14	Temperatura média das cidades de Florianópolis e Porto Alegre.....	21
FIGURA 15	Etiqueta do INMETRO para coletores solares planos.....	22

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Distribuição de moradias por região.....	15
TABELA 2	Número médio de pessoas por domicílio.....	17
TABELA 3	Demanda de água quente por domicílio.....	18
TABELA 4	Temperatura inicial estimada.....	21
TABELA 5	Energia mensal necessária para aquecer o volume de água...	22
TABELA 6	Área do coletor necessária para aquecer o volume de água...	23
TABELA 7	Resumo do dimensionamento do aquecedor solar.....	24
TABELA 8	Área total de placas coletoras.....	26
TABELA 9	Orçamento de um aquecedor solar típico.....	27
TABELA 10	Consumo médio mensal com aquecimento solar.....	28
TABELA 11	Redução no consumo e na conta de energia elétrica.....	30

RESUMO

TAVARES, Giordani Lopes. **Programa habitacional *Minha casa, minha vida*: oportunidade de aplicação do aquecimento solar**. 2009. 45p. Monografia (Especialização em Fontes Alternativas de Energia). Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais*.

O objetivo central desta monografia é avaliar a oportunidade de se aplicar a tecnologia de aquecimento de água para o banho em moradias construídas pelo programa habitacional do governo conhecido como *Minha casa, minha vida*. A relevância deste trabalho se encontra no atual cenário de degradação do meio ambiente e escassez iminente de combustíveis fósseis que tem motivado a busca por tecnologias limpas de geração de energia. Partindo de uma caracterização geral da tecnologia de aquecimento solar - dimensionamento, vantagens e cuidados na instalação, o texto evolui para uma avaliação dos aspectos econômicos e sociais desta oportunidade, concluindo sobre a importância do incentivo e popularização da tecnologia, tanto para o usuário final quanto para o governo, as concessionárias de energia e a sociedade como um todo.

Palavras-chave: energia solar, aquecimento solar, programa habitacional.

* Orientador: Prof. Carlos Alberto Alvarenga

1 INTRODUÇÃO

A energia, em suas diversas formas, é fundamental para a manutenção da vida humana na Terra. Desde o surgimento das máquinas a vapor, a constante evolução dos processos de produção e dos meios de transporte e a melhoria da qualidade de vida das pessoas têm consumido mais e mais energia.

A Figura 1 abaixo mostra o consumo mundial de algumas fontes de energia no período de 1965 a 2008, em milhões de toneladas equivalentes de petróleo.

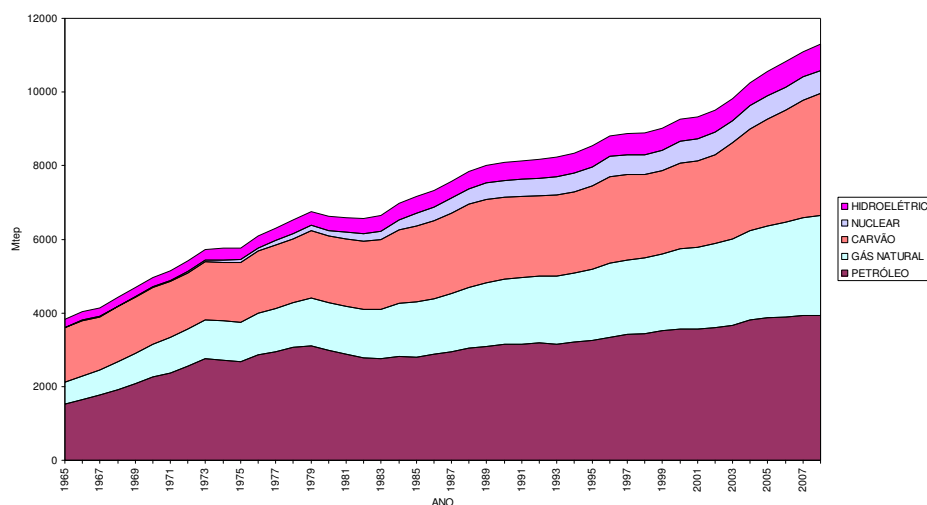


FIGURA 1 – Consumo mundial de energia por combustível (BP Statistical Review of World Energy, 2009)

Observa-se o crescimento acentuado no consumo de energia de fontes não renováveis: petróleo, gás natural e carvão. Para o futuro, projeções feitas pela Agência Internacional de Energia dão conta de um crescimento de 45% no consumo de energia mundial até 2030.

Existe, atualmente, uma grande preocupação com a escassez dos combustíveis fósseis e com os impactos ambientais advindos do seu uso intensivo. Pode-se afirmar que a questão energética é um dos temas que mais tem chamado a atenção da sociedade e dos governos.

A concentração das reservas de petróleo, carvão e gás em poucas regiões do planeta faz com que poucos países controlem suas produções e, conseqüentemente, os seus preços. Isso, inclusive, tem sido motivo de conflitos armados entre nações e turbulências na economia mundial.

Os problemas ambientais de ordem global, principalmente as mudanças climáticas, estão diretamente relacionados à queima de combustíveis fósseis que contribui fortemente para a emissão de gases que intensificam o efeito estufa.

Diante deste cenário, as fontes renováveis de energia se apresentam como uma opção contra a crescente dependência dos combustíveis fósseis e o desenvolvimento de tecnologias e o incentivo ao uso de energia limpa é uma questão atual e de forte apelo mundial.

Dentre as fontes de energia consideradas limpas a energia solar é uma das mais promissoras devido a sua abundância e relativa distribuição uniforme por todo o planeta. O seu impacto ambiental é mínimo, se limitando aos impactos visuais causados pela instalação dos equipamentos e resíduos industriais decorrentes da produção de seus componentes.

A eletricidade é a principal forma de uso final de energia nas residências brasileiras e o seu emprego se dá intensivamente no funcionamento do chuveiro elétrico. Além de ser um aparelho comumente encontrado em todo território nacional, o uso do chuveiro se dá em momentos coincidentes nas residências, o que contribui para o agravamento do problema de demanda de energia no horário de pico.

Este trabalho pretende avaliar emprego da energia solar como alternativa ao chuveiro elétrico. Como estudo de caso, busca-se verificar a oportunidade de

aplicação desta tecnologia nas moradias que estão sendo construídas no programa habitacional *Minha casa, minha vida* do governo brasileiro. Neste programa estão previstas um milhão de novas moradias e se configura como um grande potencial para a aplicação da energia solar no aquecimento de água para o banho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A energia solar

Uma imensa quantidade de energia é liberada em reações de fusão nuclear que acontecem no núcleo do Sol. Esta energia, em forma de radiação solar, percorre 150 milhões de quilômetros e chega à atmosfera terrestre com uma potência de 1.353 W/m^2 , mas, ao atravessar a atmosfera, parte desta energia é refletida ou absorvida e cerca de 1.000 W/m^2 chega ao solo.

Os movimentos de rotação e translação da Terra e o ângulo de inclinação do eixo de rotação em relação ao plano de translação (23,45 graus) definem variações na incidência solar conforme a região do planeta, hora do dia e época do ano. Além disso, as condições meteorológicas de determinado local também determinam o nível de insolação.

Ainda assim, a energia solar aproveitável que atinge a superfície terrestre é enorme e, sendo inesgotável e democrática - disponível sem custo para maior parte do planeta, é uma importante fonte renovável, motivo de grandes pesquisas e desenvolvimentos.

2.2 Níveis solarimétricos

A medição da radiação solar é de suma importância no entendimento das influências geográficas e do potencial de aproveitamento da energia solar em determinada região.

Por meio de metodologias e instrumentos apropriados, é determinada a quantidade média de energia que chega a uma superfície horizontal de um metro quadrado a cada dia ou a cada ano.

A Figura 2 mostra a média anual de insolação diária no Brasil, em horas.

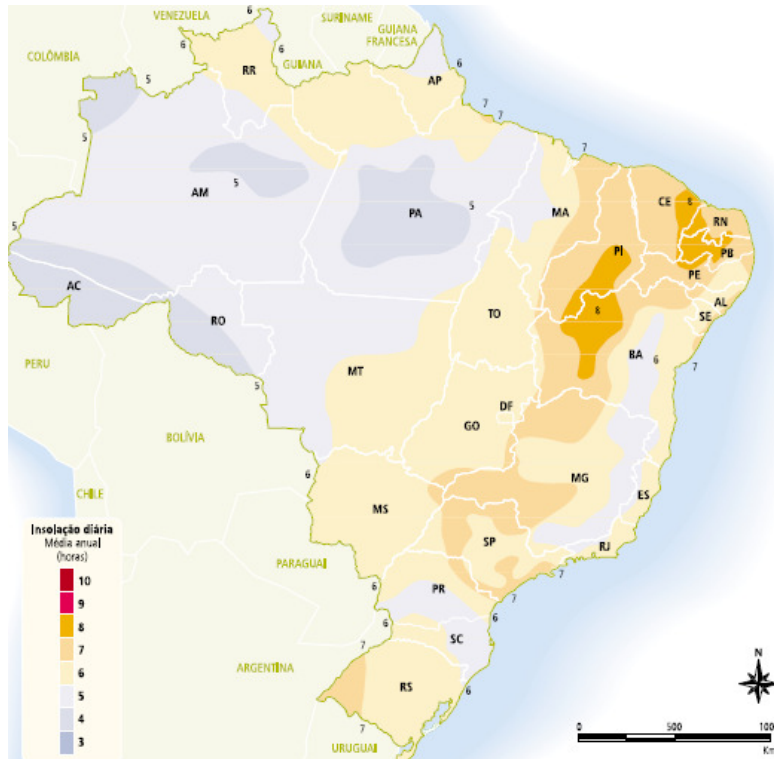


FIGURA 2 – Média anual de insolação diária no Brasil (Atlas Solarimétrico do Brasil, 2000).

A Figura 3 apresenta a radiação solar global diária, média anual típica, em MJ/m².dia (3,6 MJ/m².dia = 1 KWh/m².dia).

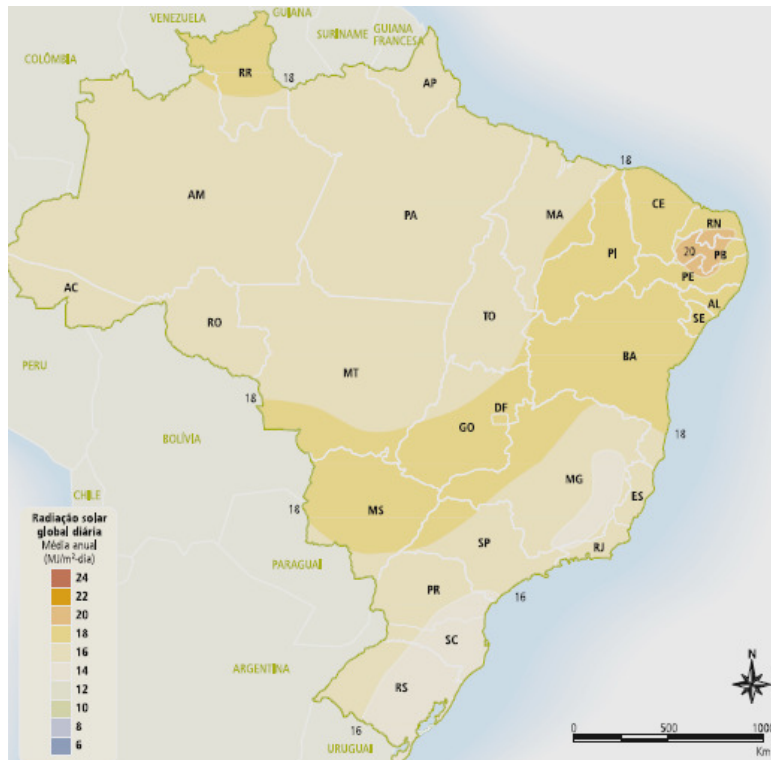


FIGURA 3 – Radiação solar global diária (Atlas Solarimétrico do Brasil, 2000).

No site do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica do CEPEL (www.cresesb.cepel.br) é possível obter os dados de radiação solar de determinada localidade através das coordenadas geográficas do ponto de interesse.

2.3 Aquecimento solar

Neste trabalho, nos interessa abordar o uso mais simples e antigo da energia solar: o aquecimento.

A produção de calor para aquecimento de água é feita principalmente por dois tipos de equipamentos: os coletores solares planos para baixas temperaturas e os concentradores para temperaturas mais elevadas.

O coletor solar plano é constituído basicamente de uma superfície absorvedora que capta a radiação solar e a transfere para o fluido que se quer aquecer.

A Figura 4 representa as partes componentes de um coletor solar plano.

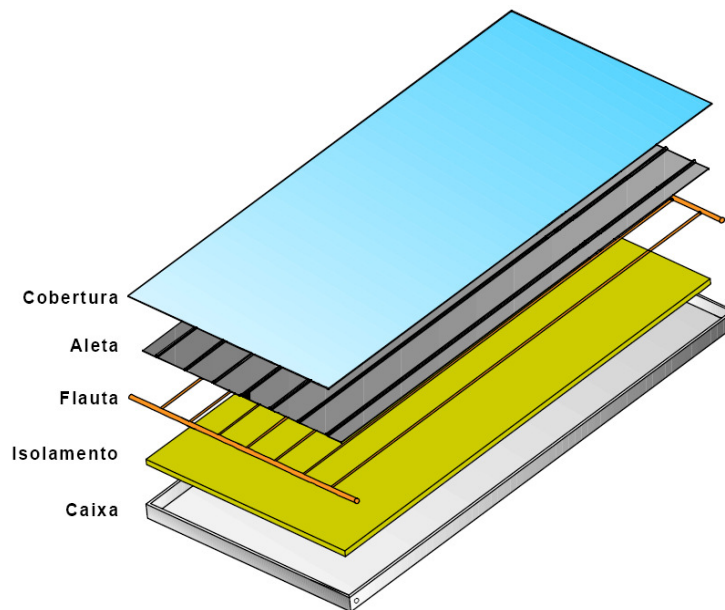


FIGURA 4 – Coletor solar plano (www.cidadessolares.org.br).

Basicamente, o coletor plano é constituído por:

- cobertura transparente, normalmente de vidro;
- placa absorvedora composta da aleta e da flauta indicadas na Figura 4. A aleta é feita de alumínio ou cobre, tem sua superfície pintada de preto e é diretamente acoplada aos tubos de cobre que formam a flauta;

- isolamento térmico, normalmente feito de lã de vidro;
- caixa feita de alumínio, aço ou madeira. Dá a sustentação para o conjunto.

Os raios solares atravessam o vidro da cobertura e a parte da radiação composta pelas ondas curtas é absorvida pela placa absorvedora, que por sua vez transfere o calor para a água que circula nos tubos. No espaço formado entre a placa absorvedora e o vidro é criado um bolsão de ar quente que aumenta a eficiência do sistema. O isolamento térmico minimiza a perda de calor para o ambiente externo.

A água aquecida no coletor é armazenada no reservatório de água quente. Este é um componente de muita importância, pois permite conservar a água aquecida para ser usada nos momentos em que não há insolação. Por exemplo, a água que é aquecida durante o dia, fica armazenada e é usada durante a noite. Os reservatórios são usualmente metálicos, com uma chapa interna em aço inoxidável revestido por um isolante térmico e uma chapa externa em aço galvanizado ou pintado, conforme mostrado na Figura 5.

Em períodos longos de baixa insolação ou quando o consumo de água quente supera o volume armazenado no reservatório, um sistema de aquecimento auxiliar deve ser utilizado. Este sistema pode empregar uma resistência elétrica interna ao reservatório de água quente, um sistema de aquecimento a gás GLP ou um chuveiro elétrico.

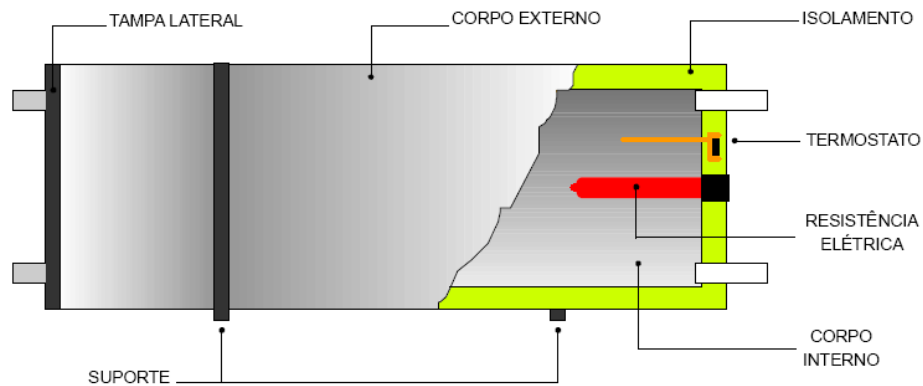


FIGURA 5 – Reservatório térmico (www.cidadessolares.org.br).

A caracterização de um sistema típico de aquecimento solar pode ser feita pela circulação de água.

O sistema de circulação de água mais comum é conhecido como termossifão ou circulação natural. Este sistema, mostrado na Figura 6, funciona pelas diferenças de pressão e densidade da água quente e fria contidas no sistema. A água quente, menos densa e com maior pressão, circula no sentido de C para D e a água fria circula de A para B.

Na Figura 6 é possível identificar os seguintes componentes: 1 – coletor solar, 2 – reservatório térmico, 3 – caixa de água fria, 4 – sifão, 5 – entrada de água fria, 6 – retorno de água dos coletores, 7 – saída de água para os coletores, 8 – saída de água quente para consumo, 9 – registro para limpeza do sistema e 10 – suspiro.

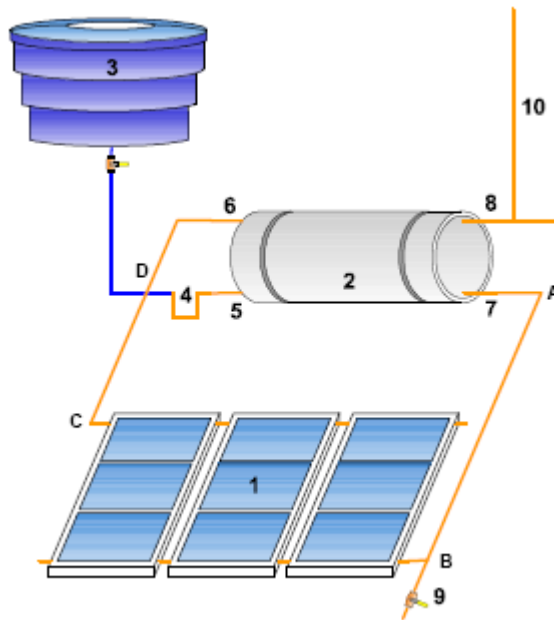


FIGURA 6 – Aquecedor com circulação natural (www.cidadessolares.org.br).

Para o correto funcionamento da circulação natural, é necessário obedecer às diferenças de altura necessárias entre as partes do sistema. A caixa de água fria deve ser instalada em uma posição 15 centímetros superior à do reservatório térmico e este deve estar disposto a vinte centímetros acima dos coletores, no mínimo. A Figura 7 apresenta um arranjo típico.

O outro sistema de circulação de água existente é o forçado ou bombeado mostrado na Figura 8. Este sistema é utilizado em aquecedores de maior porte e um controlador de temperatura aciona a bomba sempre que a diferença de temperaturas entre o coletor e o reservatório térmico superar um valor pré-determinado.

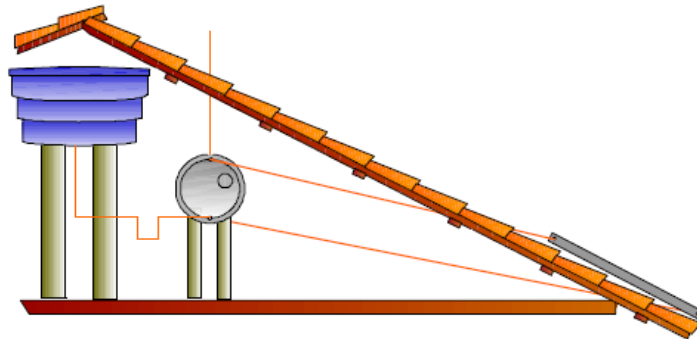


FIGURA 7 – Arranjo típico de um aquecedor com circulação natural (www.cidadessolares.org.br).

Além dos componentes já identificados na Figura 6, podemos observar na Figura 8: 4 – válvula de retenção, 5 – controlador de temperatura e 6 – bomba.

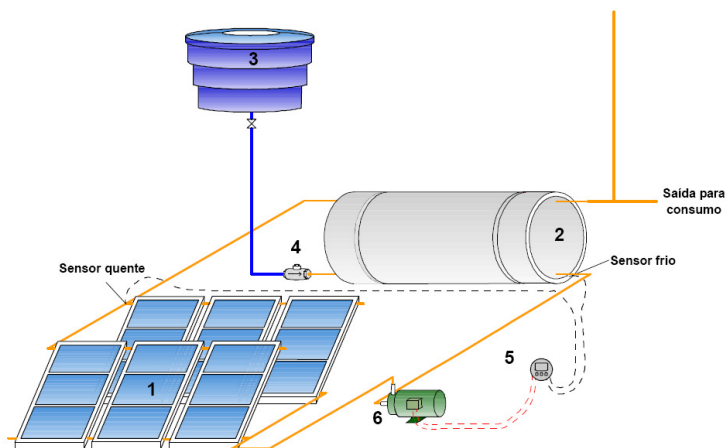


FIGURA 8 – Aquecedor com circulação forçada (www.cidadessolares.org.br).

As tubulações que conduzem água quente devem ser feitas de material adequado para suportar as temperaturas elevadas, cobre ou PVC especial, e devem possuir isolamento térmico para minimizar as perdas de calor.

A locação do sistema deve prezar pela facilidade de acesso para manutenção, deve prever sistema de escoamento e impermeabilização para os casos manutenção ou vazamentos e deve estar próximo aos pontos de consumo de água quente para minimizar as perdas térmicas nas tubulações.

Com relação ao posicionamento do coletor, é necessário observar a posição geográfica da localidade. De forma prática, o coletor deve sempre ser orientado para o norte geográfico ou verdadeiro e sua inclinação em relação ao plano horizontal deve ser igual à latitude da localidade mais dez graus, por exemplo, a latitude de Lavras é de aproximadamente 21 graus, logo a inclinação ideal do coletor será de 31 graus. Uma pequena tolerância no posicionamento da placa coletora é admitida, a fim de se adequar à realidade das condições de instalação e da arquitetura da edificação, sem que haja comprometimento da eficiência do sistema.

O dimensionamento é uma das etapas mais importantes no projeto de um aquecedor solar, pois é a partir dele que se chega ao volume de água quente e à área da placa coletora ideais para atender às necessidades diárias da residência. A seguir será descrito um método prático para dimensionamento do sistema que será utilizado no próximo capítulo.

Para dimensionar um sistema de aquecimento solar é necessário, primeiramente, levantar o perfil de consumo de água quente da residência: determinar os pontos de consumo e as vazões previstas, os tempos de uso e número de moradores.

Para o presente trabalho, interessa saber que, em média, a vazão de um chuveiro é de cinco litros por minuto, que cada pessoa toma um banho por dia

com duração de dez minutos e que a temperatura mais agradável da água é de quarenta graus Celsius.

A partir da demanda de água quente, deve-se dimensionar o volume do reservatório térmico, sempre observando os volumes padronizados disponíveis no mercado.

Em seguida, parte-se para o dimensionamento da placa coletora. Para isso, deve-se calcular a energia necessária para aquecer o volume de água através da fórmula:

$$De = V \times \rho \times Cp \times (tf-ti) \times 0,0083$$

Onde:

De: energia necessária mensal em KWh

V: volume de água quente em m³

ρ : peso específico da água, 1000 kg/m³

Cp: calor específico da água, 4,18 KJ/Kg.°C

tf: temperatura desejada para o banho, 40 °C

ti: temperatura inicial da água fria ou temperatura ambiente

Com o valor da energia necessária calculada acima (De) e conhecendo o valor da produção específica de energia de determinado coletor solar (ver catálogo do fabricante ou etiqueta do INMETRO) encontra-se a área coletora necessária:

$$\text{Área coletora} = De / PME$$

Onde PME é a produção média mensal de energia do coletor solar em kWh/m².mês.

Observa-se que a área da placa coletora depende da temperatura inicial da água fria e esta varia ao longo do ano em função do clima local. Para se otimizar a instalação, o sistema não é dimensionado para ser autossuficiente

durante todo o ano. Em alguns meses do ano, com menor insolação, é prevista a utilização do aquecimento auxiliar.

É importante considerar que a instalação de um sistema de aquecimento solar é mais viável quando a edificação é projetada e construída com esta previsão, contemplando os desníveis e espaços necessários, a inclinação e posicionamento da cobertura mais adequados e a utilização das tubulações nos materiais e especificações apropriadas.

Também, de forma a garantir uma instalação eficiente, devem-se buscar equipamentos certificados com selo do PROCEL e empresas instaladoras qualificadas e atestadas pelo programa Qualisol do INMETRO.

Igualmente, não basta um sistema bem projetado e instalado se não houver uma manutenção constante de acordo com as recomendações do fabricante, principalmente quanto à limpeza da superfície dos coletores.

3 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

3.1 Introdução

O programa habitacional *Minha casa, minha vida*, é uma iniciativa do Governo Federal, em parceria com os Estados, Municípios e a iniciativa privada, e tem por objetivo construir um milhão de moradias para famílias com renda de até dez salários mínimos.

Segundo o site oficial do programa habitacional (www.minhacasaminhavid.gov.br), a construção das moradias, entre casas e apartamentos, será distribuída por região conforme a Tabela 1.

TABELA 1 - Distribuição de moradias por região

Região	Moradias	Percentual (%)
Norte	103.018	10,3
Nordeste	343.197	34,3
Centro-oeste	69.786	7,0
Sudeste	363.894	36,4
Sul	120.016	12,0
Total	1.000.000	100,0

Fonte: www.minhacasaminhavid.gov.br

No referido site é informado ainda que “será induzida a utilização de Sistema de Aquecimento Solar-Térmico na produção habitacional, possibilitando a redução do consumo de energia elétrica e da emissão de CO₂.”

Conforme visto na Figura 2 e na Tabela 1, a região Nordeste do Brasil é a que possui maior média de insolação diária e é uma das que receberá maior número de novas moradias, se configurando como uma região de grande

potencial para a implantação efetiva do aquecimento solar. De forma mais abrangente, no tópico seguinte serão dimensionados sistemas de aquecimento solar para cada região e posteriormente será avaliado o potencial de ganhos econômicos e sociais desta oportunidade.

Outro aspecto motivador está relacionado ao problema do uso do chuveiro elétrico para aquecimento de água. Esta é a forma de aquecimento mais difundida no país. Segundo a ONG *Vitae Civilis*, 67% dos lares brasileiros tem chuveiro elétrico e este percentual sobe para mais de 90% nas regiões Sul e Sudeste. Este cenário se deve pelo baixo custo de instalação do chuveiro elétrico e por não existir cobrança financeira devido ao baixo fator de carga (razão entre a demanda média e a demanda máxima) nas residências. O chuveiro elétrico é responsável por cerca de 30 a 40% da conta de energia.

Os chuveiros elétricos consomem cerca de 6% de toda eletricidade produzida no país e é responsável por 18% do pico de energia no horário de ponta do sistema elétrico brasileiro (Figura 9). Essa concentração de consumo de eletricidade em um curto período de tempo exige altos investimentos nos sistemas de geração, transmissão e distribuição.

Portanto, a aplicação do aquecedor solar como principal fonte de energia para aquecimento de água para banho pode beneficiar o indivíduo (redução da conta de energia), a sociedade (uso de energia limpa sem poluir o meio ambiente) e as concessionárias de energia (redução de investimento para atender ao horário de ponta).

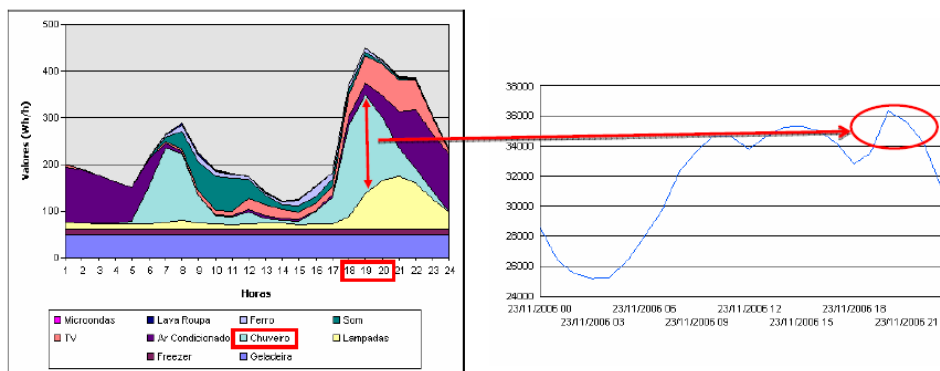


FIGURA 9 – Consumo do sistema elétrico em 23 de novembro de 2006 (Procel/ONS)

3.2 Dimensionamento do sistema de aquecimento

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, em 2007, o número médio de pessoas que viviam em um mesmo domicílio está indicado na Tabela 2.

TABELA 2 - Número médio de pessoas por domicílio

Região	Pessoas por domicílio
Norte	3,9
Nordeste	3,7
Centro-oeste	3,2
Sudeste	3,2
Sul	3,1
Brasil	3,4

Fonte: www.ibge.gov.br

Considerando a vazão de um chuveiro como sendo de cinco litros por minuto e que cada pessoa toma um banho por dia com duração de dez minutos, a demanda de água quente nos domicílios brasileiros está indicada na Tabela 3.

TABELA 3 - Demanda de água quente por domicílio

Região	Demanda de água quente (litros por dia)
Norte	195
Nordeste	185
Centro-oeste	160
Sudeste	160
Sul	155
Brasil	170

Em função dos volumes mais comuns no mercado brasileiro, os reservatórios térmicos deverão ser de duzentos litros.

Para o dimensionamento do coletor, se faz necessário determinar a temperatura ambiente, ou temperatura inicial da água a ser aquecida, a partir da qual o sistema de aquecimento fornecerá energia para aquecê-la.

Espera-se que o aquecimento solar atenda sozinho à demanda de água quente durante a maior parte do ano e que, no restante do período, aqueça parcialmente a água, sendo necessário, então, que o aquecedor auxiliar complemente a elevação da temperatura da água até o nível desejado.

Uma estimativa da temperatura inicial pode ser levantada das Figuras 10 a 14 abaixo, que representam a temperatura média de duas cidades de cada região, em medições feitas de 1961 a 1990.

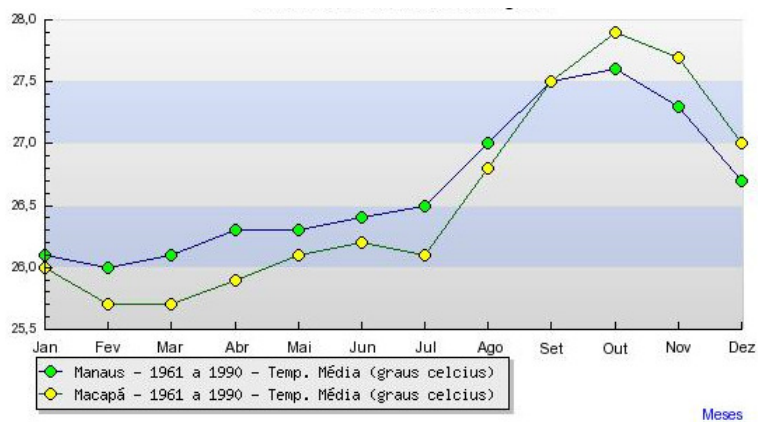


FIGURA 10 – Temperatura média das cidades de Macapá e Manaus (Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, www.inmet.gov.br).

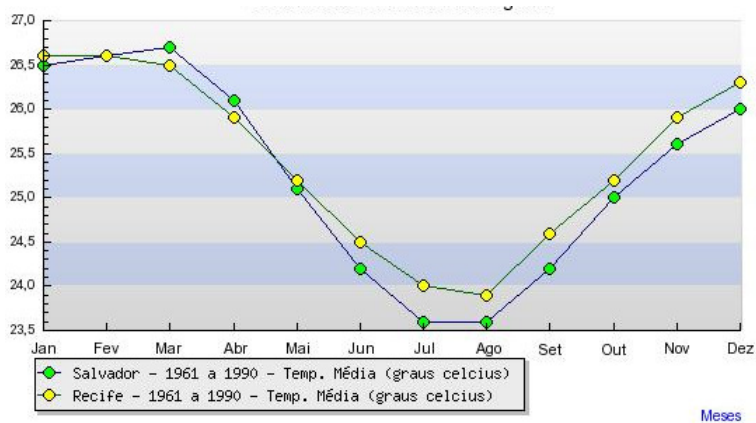


FIGURA 11 – Temperatura média das cidades de Salvador e Recife (Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, www.inmet.gov.br).

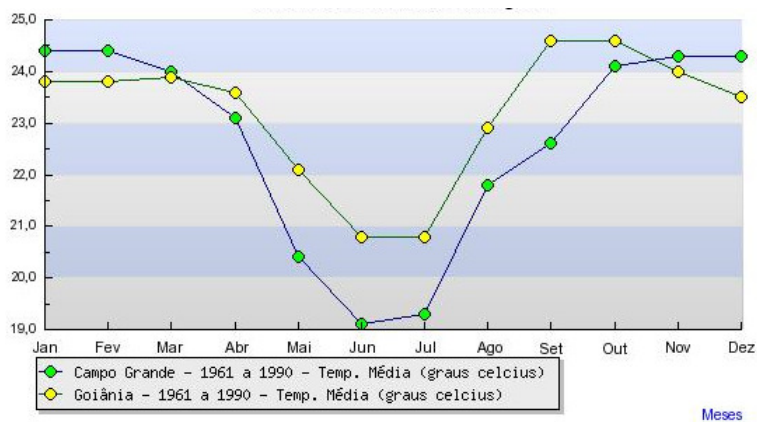


FIGURA 12 – Temperatura média das cidades de Campo Grande e Goiânia (Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, www.inmet.gov.br).

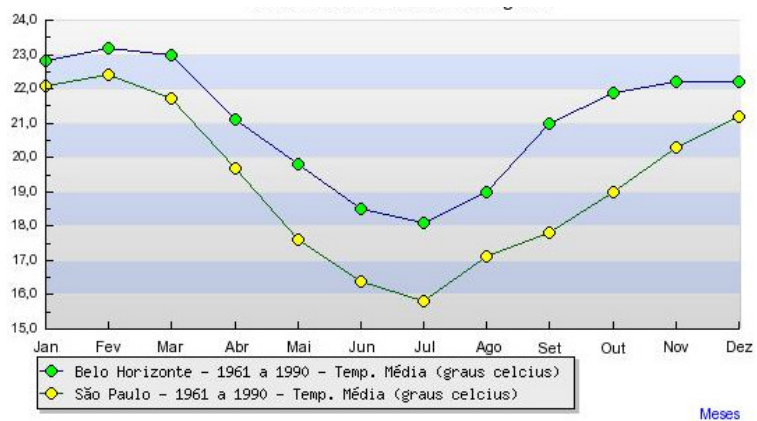


FIGURA 13 – Temperatura média das cidades de Belo Horizonte e São Paulo (Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, www.inmet.gov.br).

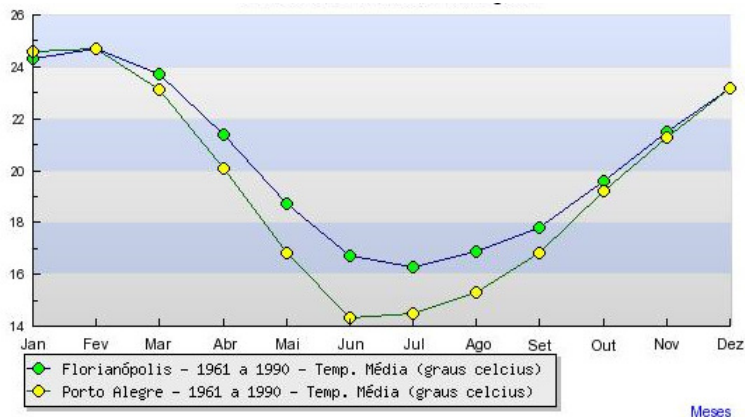


FIGURA 14 – Temperatura média das cidades de Florianópolis e Porto Alegre (Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, www.inmet.gov.br).

A Tabela 4 resume as observações das Figuras 10 a 14.

TABELA 4 - Temperatura inicial estimada

Região	Temperatura inicial estimada (°C)
Norte	26
Nordeste	25
Centro-oeste	23
Sudeste	21
Sul	19
Brasil	23

Aplicando a fórmula já apresentada anteriormente [$De = V \times \rho \times Cp \times (tf-ti) \times 0,0083$], obtém-se a energia necessária por mês para aquecer o volume de água do reservatório. Os resultados estão na Tabela 5.

TABELA 5 - Energia mensal necessária para aquecer o volume de água

Região	Energia necessária (kWh)
Norte	97,1
Nordeste	104,1
Centro-oeste	118,0
Sudeste	131,8
Sul	145,7
Brasil	118,0

O dimensionamento da área do coletor varia em função da eficiência do mesmo. O INMETRO possui programa de etiquetagem onde é avaliada produção de energia média mensal por metro quadrado do coletor - PME. Os coletores com PME acima de 77 kWh/mês.m² são classificados na categoria A, como os mais eficientes. A Figura 15 ilustra um modelo de etiqueta do INMETRO para coletores solares planos.

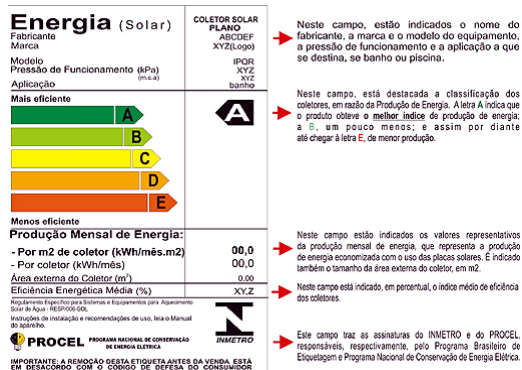


FIGURA 15 – Etiqueta do INMETRO para coletores solares planos (INMETRO, www.inmetro.gov.br).

Considerando um coletor com PME de 77 kWh/mês.m², ou seja, um coletor eficiente, as áreas dos coletores serão as indicadas na Tabela 6.

TABELA 6 - Área do coletor necessária para aquecer o volume de água

Região	Área do coletor (m ²)
Norte	1,26
Nordeste	1,35
Centro-oeste	1,53
Sudeste	1,71
Sul	1,89
Brasil	1,53

Não existe no mercado uma padronização de tamanhos dos coletores. A título de referência, para as regiões Norte, Nordeste, Centro-oeste e para a média do Brasil foi selecionado um coletor com 1,5 m², para a região Sudeste um coletor de 1,7 m² e para a região Sul um coletor com 2,0 m².

Com base no exercício de dimensionamento realizado pode-se concluir que:

- O dimensionamento é fortemente influenciado pelos hábitos e fatores sociais dos habitantes locais, tais como: número e duração de banhos diários por pessoa e tamanho das famílias;
- É fundamental estudar e considerar os fatores geográficos específicos do local de instalação do sistema de aquecimento (temperatura, variações climáticas ao longo do ano e do dia, latitude). O dimensionamento apropriado levará a uma instalação mais econômica e eficiente;
- Existem diversos fabricantes de equipamentos e fornecedores de serviços no mercado. Deve-se dar preferência aos equipamentos avaliados pelo INMETRO com alto grau de eficiência e instaladores qualificados. No site do INMETRO

(www.inmetro.gov.br), especificamente nas áreas do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE e do Programa de Qualificação de Fornecedores de Sistemas de Aquecimento Solar – Qualisol, é possível encontrar a relação de equipamentos e de empresas fornecedoras de equipamentos e serviços.

Em resumo, o sistema ficou dimensionado conforme a Tabela 7.

TABELA 7 - Resumo do dimensionamento do aquecedor solar

Região	Volume do reservatório térmico (litros)	Área do coletor solar (m ²)
Norte	200	1,5
Nordeste	200	1,5
Centro-oeste	200	1,5
Sudeste	200	1,7
Sul	200	2,0
Brasil	200	1,5

3.3 Aquecimento auxiliar

Nos períodos de baixa insolação é necessário um sistema auxiliar para atender a demanda de água quente. Este sistema pode ser elétrico ou a gás.

O aquecedor a gás requer uma infraestrutura adicional de abastecimento, reservatório, rede interna de distribuição, aquecedor e sistema de exaustão dos gases gerados na queima. Em construções habitacionais de baixo custo esta infraestrutura inviabilizaria o investimento no aquecedor solar além de tornar o sistema mais complexo.

O aquecedor auxiliar elétrico pode ser implementado de duas formas: através de uma resistência elétrica que aquece todo o volume de água armazenado no reservatório térmico ou através de um chuveiro elétrico

convencional, de baixa potência, aquecendo somente o volume de água consumido instantaneamente.

Normalmente é necessária uma resistência elétrica de cinco a oito Watts para cada litro de água do reservatório térmico. Logo, no caso em estudo, seria necessário um resistor de 1,0 a 1,6 kW. Porém, após pesquisar vários fabricantes, o menor valor de potência disponibilizado é de 2,0 kW.

Para aquecer duzentos litros de água, partindo de 20 °C até atingir 40 °C, são consumidos 4,6 kWh (aplicando a fórmula da 1ª Lei da Termodinâmica: $De = V \times \rho \times Cp \times (tf-ti) / 3600$). Então, uma resistência de 2 kW teria que funcionar por mais de duas horas para aquecer todos os duzentos litros. Já um chuveiro elétrico de 4,5 kW, que é uma potência que proporciona um banho confortável, funcionando por quarenta minutos (quatro banhos de dez minutos) gastaria 3 kWh.

Então, o aquecimento auxiliar através de um chuveiro elétrico de baixa potência tem as vantagens de consumir menos energia, disponibilizar a água quente imediatamente ao ser acionado e aquecer somente o volume de água que será utilizado.

3.4 Análise dos benefícios da tecnologia

3.4.1 Benefícios econômicos

Uma grande vantagem de implantar o aquecedor solar na fase de construção da edificação é a dispensa de adaptações. Uma edificação que já prevê, desde a fase de projeto, a utilização do aquecedor solar, praticamente não requererá investimentos adicionais além dos próprios equipamentos.

Os cálculos que se seguem serão feitos considerando uma moradia com um aquecedor solar típico baseado na média dos sistemas dimensionados para cada região, levando-se em consideração o número de moradias a serem construídas. A Tabela 8 conclui que para atender às moradias serão necessários 1.632.654 m² de placas coletoras, resultando em uma média de aproximadamente 1,7 m² por moradia.

TABELA 8 - Área total de placas coletoras

Região	Nº de moradias	Área do coletor solar por moradia (m ²)	Área total do coletor solar (m ²)
Norte	103.018	1,5	154.527
Nordeste	343.197	1,5	514.796
Centro-oeste	69.786	1,5	104.679
Sudeste	363.894	1,7	618.620
Sul	120.016	2,0	240.032
Total	1.000.000	-	1.632.654

O custo estimado de instalação de um sistema típico como o mostrado nas Figuras 6 e 7, com uma placa coletora de 1,7 m², um reservatório térmico de 200 litros e demais materiais é de R\$ 2.261,70, conforme demonstrado na Tabela 9.

Com base nas especificações da Caixa Econômica Federal, aplicáveis ao programa habitacional, o orçamento considerou que as moradias serão construídas com reservatórios de água elevados, ou seja, não serão abastecidas diretamente pela rede de distribuição. Isto é importante porque, em função da pressão de trabalho, o reservatório térmico poderia ser especial e mais caro.

TABELA 9 - Orçamento de um aquecedor solar típico

Item	Unidade	Quantidade	Preço unit. (R\$)	Preço total (R\$)
Reservatório térmico de 200 litros	pç	1	1.130,00	1.130,00
Coletor solar de 1,7 m ²	pç	1	560,00	560,00
Tubo de cobre, 28 mm, barra de 2,5 m	pç	4	48,00	192,00
Tubo PVC, 22 mm, barra de 3 m	pç	3	5,00	15,00
Registro de 28 mm	pç	2	11,00	22,00
Joelho 90°, de cobre, 28 mm	pç	2	6,00	12,00
Joelho 90°, de PVC, 22 mm	pç	7	0,60	4,20
Tê de cobre, 28 mm	pç	2	7,00	14,00
Isolante térmico 1", 2 m	pç	5	3,50	17,50
Mão de obra e miscelâneas (15% dos itens anteriores)	vb	1	295,00	295,00
Total				2.261,70

Fonte: Cotações com revendedores e consultas à internet em 24 de outubro de 2009.

Para avaliar a redução no consumo de energia elétrica, inicialmente quantifica-se o mesmo em uma moradia sem o aquecedor solar. O aquecimento de água através do chuveiro elétrico consome 90 kWh, considerando um chuveiro de 4,5 kW e quatro banhos diários de dez minutos por trinta dias. Se for atribuído ao chuveiro elétrico uma contribuição de 36% na conta de energia elétrica – o que é razoável para uma família de baixa renda – chega-se a um consumo mensal de 250 kWh.

A mediana dos valores das tarifas residenciais vigentes praticadas pelas concessionárias de distribuição brasileiras, acrescida de alíquota média de ICMS de 25%, é R\$ 0,41 por kWh, conforme consulta feita no site da Aneel em 12 de outubro de 2009. Desta forma, o valor gasto por mês com o aquecimento de água pelo chuveiro elétrico é de R\$ 36,90 e o valor total da conta de energia é de R\$ 102,50.

Com a instalação do aquecedor solar, será considerado que, por pelo menos seis meses em um ano, o chuveiro elétrico não funcione, pois a insolação será suficiente para aquecer a água completamente. Em outros três meses do ano o sol será responsável por aquecer a água parcialmente e, neste caso, um chuveiro elétrico de baixa potência (2 kW) será necessário. Nos três meses restantes, com menos insolação, um chuveiro de 4,5 kW poderá ser usado para aquecer a água até uma temperatura agradável ao banho. Assim, o consumo médio mensal será de 192,5 kWh, conforme demonstrado na Tabela 10.

TABELA 10 - Consumo médio mensal com aquecimento solar

Período do ano	Consumo mensal		Consumo no período (kWh)
	Chuveiro elétrico (kW/kWh)	Outros aparelhos elétricos (kWh)	
Seis meses com insolação plena	0/0	160	960
Três meses com insolação média	2,0/40	160	600
Três meses com insolação baixa	4,5/90	160	750
Total no ano			2.310
Média mensal			192,5

A redução da conta de energia recebe uma contribuição adicional proporcionada pela aplicação da tarifa social de baixa renda. Trata-se de um benefício estabelecido pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002 - regulamentada pela Aneel pelas Resoluções nº 246/2002, 485/2002 e 253/2002, onde são estabelecidos descontos escalonados, de 10 a 65%, para unidades consumidoras residenciais que consomem até 220 kWh por mês, desde que atendidos todos os critérios de uma das seguintes resoluções:

- Resolução Aneel nº 246, de 30 de abril de 2002:
 - estar ligado em um padrão monofásico;
 - ter Média Mensal Móvel de consumo (MMM), dos 12 últimos meses, inferior a 80 kWh e
 - não possuir dois ou mais registros de consumo mensal acima de 120 kWh no período (MMM).

- Resolução Aneel nº 485, de 29 de agosto de 2002:
 - estar ligado em um padrão monofásico;
 - ter Média Mensal Móvel de consumo (MMM), dos 12 últimos meses, entre 80 e 220 kWh e
 - estar inscrito em um dos programas sociais do Governo Federal.

Os descontos escalonados se dão assim: aos primeiros 30 kWh é aplicada tarifa com 65% de desconto em relação à tarifa normal aplicada a uma unidade consumidora residencial. De 31 kWh consumidos, até o limite de 100 kWh, é aplicada tarifa com 40% de desconto. Finalmente, de 101 kWh até o Limite Regional, é aplicado desconto de 10%. Define-se Limite Regional como sendo o consumo máximo para o qual poderá ser aplicado o desconto na tarifa, sendo que tal limite é estabelecido por concessionária, e os valores que excederem

serão faturados pela tarifa normal (no caso da CEMIG, o Limite Regional que está sendo praticado é de 220 kWh).

Voltando ao caso em questão, as tarifas a serem aplicadas na moradia com o aquecedor solar serão de:

- R\$ 0,14 por kWh para os primeiros 30 kWh, totalizando R\$ 4,20;
- R\$ 0,25 por kWh para os próximos 70 kWh, totalizando R\$ 17,50 e
- R\$ 0,37 por kWh para os 92,5 kWh restantes, totalizando R\$ 34,23.

A conta de energia será de R\$ 55,93. A Tabela 11 resume os resultados obtidos.

TABELA 11 - Redução no consumo e na conta de energia elétrica

	Sem aquecedor solar	Com aquecedor solar	Redução (%)
Consumo mensal médio por ano (kWh)	250	192,5	23
Gasto médio mensal por ano (R\$)	102,50	55,93	45

Para uma análise econômica, pode-se aplicar o método do tempo de recuperação do investimento (*pay-back* simples), que consiste na determinação do número de períodos necessários para recuperar o capital investido. No caso em questão, o investimento é de R\$ 2.261,70 e a economia anual em energia elétrica é de R\$ 558,84. Logo, o *pay-back* será de 4,05 anos, ou seja, o dinheiro investido para instalar o aquecedor solar será recuperado em aproximadamente quatro anos.

O investimento pode se tornar mais atraente se for considerado que o programa *Minha casa, minha vida* possui subsídio do governo e que o beneficiário pode financiar o imóvel em até trinta anos, incluindo no

financiamento os equipamentos de aquecimento solar, ou, ainda, em análises pontuais, em regiões de insolação superior, como na Região Nordeste, ou onde a tarifa de normal de energia for mais cara (em Minas Gerais a tarifa residencial é R\$ 0,58 por kWh).

Enfim, o aquecedor solar propicia uma redução imediata na conta de energia elétrica, permitindo o emprego do dinheiro economizado em outros gastos importantes, como por exemplo, alimentação e saúde.

Pelo lado das concessionárias de energia e do governo, a aplicação do aquecimento solar em um milhão de novas moradias evita o investimento em novas usinas de que deveriam ser capazes de fornecer 57,5 GWh de energia por mês, atenua o consumo de energia no horário de pico e reduz as perdas na transmissão e distribuição.

3.4.2 Benefícios sociais e para o meio ambiente

- Geração de empregos em indústrias de fabricação de equipamentos de aquecimento solar.
- Redução na emissão de gases poluentes e de efeito estufa gerados em outras formas de obtenção de energia elétrica.
- Menor degradação dos recursos naturais, evitando grandes represas e desmatamentos.

3.4.3 Outros motivadores

- Tecnologia testada e difundida em vários países. Por exemplo, em Israel, 90% das residências possuem aquecedores solares.

- O aumento da demanda por equipamentos pode impulsionar a indústria e reduzir os preços da tecnologia.
- Possibilidade de auferir rendimentos com a comercialização de certificados de redução de emissão de carbono.
- Vários países e algumas cidades brasileiras estão criando leis que obrigam ou incentivam a instalação de aquecedores solares, como Portugal, Alemanha, Barcelona, Porto Alegre, Campina Grande e Belo horizonte.
- Por fim, o aquecimento solar deverá obter um impulso importante nos próximos anos devido à aprovação de Projetos de Lei que estão em tramitação no Congresso Nacional. Pode-se citar o Projeto de Lei nº 630/2003, em tramitação avançada, onde está previsto, em seu artigo 18, que os consumidores residenciais de energia elétrica e os consumidores comerciais que utilizam, em suas atividades, água aquecida que instalarem sistema de aquecimento solar de água terão uma redução de, pelo menos, vinte por cento em suas tarifas de energia elétrica. Já o artigo 19 obriga a inclusão de sistema de aquecimento solar de água no projeto e na construção de imóveis residenciais urbanos financiados com recursos públicos e que as instituições financeiras do Sistema Financeiro da Habitação ficam obrigadas a incluir o custo do sistema de aquecimento solar de água nos financiamentos imobiliários.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho mostrou que, em face às questões ambientais e à escassez iminente de combustíveis fósseis, é cada vez mais urgente a necessidade de se desenvolver e difundir tecnologias limpas de geração de energia.

Neste contexto, o uso da energia solar para aquecimento de água para banho é uma tecnologia consolidada mundialmente e que traz inúmeras vantagens para a sociedade, mas que precisa ser incentivada, pois, devido à baixa demanda interna, ainda é cara para famílias de baixa renda.

O programa habitacional *Minha casa, minha vida*, com um forte mote assistencial, através de subsídios e financiamentos apoiados pelo governo, se apresenta como uma oportunidade única para alavancar a indústria brasileira de coletores solares e reservatórios térmicos, pois, ao criar a demanda pelos equipamentos, irá difundir a tecnologia e baratear os custos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: Aneel, 2008. 236p.

Agência Nacional de Energia Elétrica. **Tarifas residenciais vigentes**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493&idPerfil=4>>. Acesso em: 12 out. 2009

ALVARENGA, C. A. **Energia solar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 118p.

British Petroleum. **BP Statistical review of world energy 2009**. Disponível em: <<http://www.bp.com/statisticalreview>>. Acesso em: 12 out. 2009.

Caixa Econômica Federal. **Especificações para empreendimentos até 3SM – apartamentos**. Disponível em: <http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programas_habitacao/pmc_mv/documentos_download.asp>. Acesso em: 21 out. 2009.

Caixa Econômica Federal. **Especificações para empreendimentos até 3SM – casas**. Disponível em: <http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programas_habitacao/pmc_mv/documentos_download.asp>. Acesso em: 21 out. 2009.

CARDOSO, L. C. **Dimensionamento e instalação de aquecedor solar**. Revista Técnica. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/136/artigo95954-1.asp>>. Acesso em: 12 out. 2009.

Cidades solares. **Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar**. Disponível em: <<http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/manual2008.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2009.

FARIA, Carlos Felipe da Cunha. **Curso de projetos de sistemas de aquecimento solar, partes 1 e 2**. Disponível em:

<<http://www.forumclima.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=29>>. Acesso em: 12 out. 2009.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Síntese de indicadores sociais – 2008**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/indicadoreminimos/sinteseindicsoais2008/indic_sociais2008.pdf>. Acesso em: 12 out. 2009.

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. **Gráficos climatológicos**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>>. Acesso em: 12 out. 2009.

International Energy Agency. **Key world energy statistics 2009**. Disponível em: <<http://www.iea.org/statistics/>>. Acesso em: 12 out. 2009.

Programa Brasileiro de Etiquetagem. **Etiquetas**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/etiquetas.asp>>. Acesso em: 12 out. 2009.

Programa Brasileiro de Etiquetagem. **Tabelas de consumo**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>>. Acesso em: 12 out. 2009.

Programa de Qualificação de Fornecedores de Sistemas de Aquecimento Solar – Qualisol. **Manual geral**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentos/Manual_Qualisol.pdf>. Acesso em: 12 out. 2009.

Rede Brasil de Capacitação em Aquecimento Solar. **Noções iniciais sobre o aquecimento solar**. Disponível em: <<http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/manualiniciais.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2009.

RODRIGUES, D. **Um banho de Sol para o Brasil – O que os aquecedores solares podem fazer pelo meio ambiente e a sociedade**. Disponível em: <<http://www.vitaecivilis.org.br/anexos/UmBanhoDeSol.zip>>. Acesso em: 12 out. 2009.

Site do fabricante Heliotek. Disponível em: <<http://www.heliotek.com.br>>. Acesso em: 12 out. 2009.

Site do fabricante Komeco. Disponível em: <<http://www.komeco.com.br>>. Acesso em: 12 out. 2009.

Site do fabricante Soletrol. Disponível em: <<http://www.soletrol.com.br>>. Acesso em: 12 out. 2009.

Site do Programa habitacional *Minha casa, minha vida*. Disponível em: <<http://www.minhacasaminhavid.gov.br/>>. Acesso em: 12 out. 2009.

ONG Vitae Civilis. **Artigos diversos**. Disponível em: <http://www.vitaecivilis.org.br/default.asp?site_Acao=mostraPagina&paginaId=1790>. Acesso em: 12 out. 2009.

ANEXOS