



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

RENATO DEININGER EVANGELISTA



Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA:
VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA RESIDENCIAL



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande, Paraíba
Setembro de 2017

RENATO DEININGER EVANGELISTA

**AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA:
VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA RESIDENCIAL**

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.

Campina Grande, Paraíba
Setembro de 2017

RENATO DEININGER EVANGELISTA

**AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA:
VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA RESIDENCIAL**

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em / /

Professor Avaliador

Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.

Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois sem ele nada disso seria possível, e depois aos meus pais, pelo apoio e suporte que sempre me deram para a realização desse sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por essa oportunidade de estudar em uma faculdade de excelência e assim poder realizar o meu grande sonho de ser engenheiro eletricista. A ele toda a hora de toda a glória.

Aos meus pais, Keyla e Lincoln, por todo o apoio que me deram para que eu saísse de casa e viesse buscar meu sonho, sempre pensando no meu futuro, e garantindo sempre ótimas condições de vida para que eu viesse a chegar ao fim desse curso, e poder seguir uma carreira vitoriosa.

Aos meus amigos, tanto aos que fiz na universidade, que me ajudaram nas horas mais difíceis e estiveram sempre o meu lado nessa caminhada. Quanto aos que tive que me distanciar por vir morar em outra cidade, sempre torcendo por mim e oferecendo ajuda quando precisei.

Em especial a minha avó, Eunice, que me acolheu em sua casa nesses anos de curso, sempre atenciosa e preocupada com meu desempenho, e sempre uma boa companhia durante as semanas longe de casa.

Agradeço aos professores e a coordenação do curso, que fazem tão bem seu trabalho formando engenheiros competentes. Em especial ao professor Leimar, por me orientar durante a execução desse trabalho.

Por fim, agradeço a todos que de algum modo contribuíram durante meu curso.

“Ora, a fé é a certeza daquilo que esperamos e a prova daquilo que não vemos.”

Hebreus: 11.1.

RESUMO

No cenário mundial atual os recursos do meio ambiente mais utilizados como fontes básicas de energia, são: os combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo, gás natural), a energia gerada nas hidrelétricas e em usinas nucleares. O crescente aumento das fontes energéticas poluidoras, o aquecimento global e os impactos ambientais aumentam a preocupação por alternativas que possam gerar energia de forma mais limpa, assim, a energia renovável tem se destacado. O sol é uma fonte de energia renovável, e o aproveitamento desta energia tanto como fonte de calor como fonte de energia é uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentar os desafios do novo milênio. Nesse sentido, o presente trabalho visa comparar os gastos na instalação de um Sistema de Aquecimento Solar (SAS) com a economia do uso do chuveiro elétrico, destacando o período em que o consumidor terá o retorno do seu investimento. Foi desenvolvido um estudo em um sistema real, que funciona em uma residência de João Pessoa, onde moram cinco pessoas. O projeto teve como base o gasto médio de energia que a residência consumia com o uso do chuveiro elétrico, que agora passa a ser a economia gerada pelo sistema. Com o acesso as contas de luz, para saber a média das taxas cobradas pela concessionária por KWh consumido, e o custo total do sistema, incluindo material e instalação, aplicou-se alguns métodos para verificar a viabilidade do sistema. Com a análise do projeto o consumidor terá o retorno em 3,67 anos, o que comprova a viabilidade do sistema tendo em vista que o fabricante garante que o sistema funciona perfeitamente durante um período de 25 anos.

Palavras-chave: Sistema de aquecimento solar, energia solar, fontes renováveis, aquecimento de água, fontes renováveis.

ABSTRACT

In the current world scenario of the energy resources most used as sources of energy, are: fossil fuels (coal, oil, natural gas), power generated in hydroelectric and nuclear power plants. The increasing increase in polluting energy sources, global warming and environmental impacts increase concern about alternatives that generate energy more cleanly, and renewable energies stand out. The sun is a source of renewable energy and harnessing this energy as a source of heat and source of energy is one of the most promising energy alternatives to meet the challenges of the new millennium. In this sense, the present work aims at the minimum expenses in the installation of the solar energy system (SAS) with economy of use of the electric shower, highlighting the period in which the consumer has the return of his investment. A study was developed in a real system, which works in a residence in João Pessoa, where five people live. The project was based on the average energy expenditure that residence consumes with the use of the electric shower, which is now generated by the system. With access as light accounts, know an average of the fees charged for the concession of Kwth consumed and the total cost of the system, including material and installation, applying some methods to verify the feasibility of the system. With an analysis of the project or what gives it for the 3.67 years, which proves the viability of the system, in view of the manufacturer, the system works perfectly over a period of 25 years..

Key Words: Solar heating system, solar energy, renewable sources, water heating, renewable sources.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Balanço energético da terra	18
Figura 2. Mapa mundial de incidência de raios solares.....	20
Figura 3. Mapa brasileiro de raios solares.....	21
Figura 4. Maiores países em capacidade instalada de coletores solares.....	22
Figura 5. Capacidade solar térmica global instalada e o rendimento anual de energia.	23
Figura 6. Evolução do mercado de aquecedores solares no Brasil	24
Figura 7. Coletor solar de placas planas.....	26
Figura 8. Sistema de aquecedor solar de água.....	29
Figura 9. Reservatório térmico	31
Figura 10. Circulação natural ou Termofissão.....	34
Figura 11. Sistema de circulação forçada	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Orçamento do sistema de aquecimento solar de água.	39
Tabela 2. Tempo médio de banho dos moradores.	41
Tabela 3. Gasto médio anual com energia devido ao uso do chuveiro elétrico.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DIF	Irradiação Difusa Horizontal
DNI	Irradiação Normal Direta
GHI	Irradiação Global Horizontal
IAE	Agência Internacional de Energia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
ALTENER	Programa Europeu de Disseminação de Tecnologia Solar
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
Ci	Custo Inicial
Cliq	Fluxo de caixa anual esperado
Cn	Fluxo de caixa para o ano n
cm	Centímetros
DASOL	Departamento Nacional de Aquecimento Solar
d	Taxa de desconto
GWth	Gigawatt térmico
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
KWh	Quilowatt hora
m ²	Metro quadrado
min	Minutos
MWth	Megawatt térmico
NASA	National Aeronautics and Space Administration
P	Tempo de retorno de capital
REN 21	<i>Renawable Energy Policy for the 21st Century</i>
SAS	Sistema de Aquecimento Solar
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
Vpl	Valor presente líquido
W/m ²	Watt por metro quadrado

SUMÁRIO

Introdução.....	13
1.1 Objetivo.....	14
1.2 Motivação.....	15
1.3 Estrutura do Trabalho.....	15
2 Energia Solar	17
2.1 Radiação Solar.....	17
2.1.1 Radiação Solar no Mundo	19
2.1.2 Radiação Solar no Brasil.....	20
2.2 Aquecimento Solar no Mundo.....	21
2.3 Aquecimento Solar no Brasil.....	23
2.4 Coletores Solares.....	25
2.4.1 Coletores de Placas Planas.....	26
3 Processo do Sistema	29
3.1 Componentes do Sistema.....	30
3.1.1 Reservatório Térmico	30
3.1.2 Tubulações	32
3.2 Circulação de Água no Sistema.....	32
3.2.1 Circulação por Termossifão.....	33
3.2.2 Circulação Forçada.....	34
3.3 Manutenção do Sistema.....	35
4 Análise de Viabilidade Econômica do Projeto.....	37
4.1 Payback.....	37
4.2 Valor Presente Líquido (Vpl).....	38
4.3 Investimento Inicial.....	39
4.4 Gasto de Energia devido ao uso do chuveiro.....	40
4.5 Economia Gerada pelo Sistema.....	41
4.6 Aplicação dos Métodos.....	43
4.6.1 Payback.....	43
4.6.2 Valor do Presente Líquido.....	44
4.7 Análise Final Sobre Viabilidade Financeira.....	45
5 Conclusão.....	46

1 INTRODUÇÃO

No cenário mundial atual a demanda por energia elétrica é bem maior que décadas atrás, pois hoje dispõe-se de mais aparelhos que necessitam de energia elétrica para seu funcionamento, bem como a melhoria de equipamentos, sendo fabricados com potências maiores, o que demanda mais energia para seu funcionamento. Então conseguir gerar energia suficiente para essa demanda, e ao mesmo tempo diminuir os impactos gerados ao meio ambiente se tornou um grande desafio.

Uma das saídas que está sendo cada vez mais utilizada para minimizar esse problema é o uso de fontes complementares, como as fontes de energias renováveis, como a solar e eólica, que se sobressaem em relação as formas mais usuais de geração de energia, como o gás natural e carvão mineral, pois não são fontes poluentes e ao mesmo tempo são fontes não esgotáveis. Dentre as renováveis, a que tem maior potencial de crescimento é a energia solar, embora ainda pouco utilizada no mundo sabemos que é uma fonte abundante na terra e ao mesmo tempo inesgotável, tendo como grande desvantagem o fato de ser uma fonte sazonal, só sendo passível de ser explorada durante algumas horas do dia.

Nos dias atuais, o sol como fonte de energia, no Brasil, é mais explorado nos sistemas de aquecimento solar de água para substituir os chuveiros elétricos, em residências, hotéis, comércios e indústrias. “Diferentes setores da sociedade brasileira já utilizam os aquecedores solares de água e seu potencial de uso é ainda maior. Ao final de 2008, somente 1,8% das residências brasileiras possuíam aquecedores solares instalados, enquanto em sociedades de países como Israel e Chipre, mais de 95% das residências já usam a tecnologia.” (ANDRADE, 2009).

O setor residencial responde por 23% do consumo nacional de energia e de acordo com o manual de uma companhia de energia do Brasil o consumo do chuveiro elétrico é o segundo maior em uma residência, correspondendo a 25%, perdendo apenas para o refrigerador/freezer que corresponde a 30%. Sua utilização atinge o horário de pico das 18:00 às 19:00 horas, correspondendo a 8,5% da demanda nacional de energia neste horário (VARELLA, 2004).

Uma boa alternativa, e que está sendo cada vez mais aceita pela população para seu uso em residências, é o sistema de aquecimento de água através da energia solar, poupando energia e diminuindo os gastos de eletricidades a serem pagos ao final do mês à concessionária de energia. Esse sistema, em residências, é comumente utilizado para o aquecimento de água para ser usado no banho, substituindo assim o uso do chuveiro elétrico.

O sistema transforma a energia solar em energia térmica, aquecendo a água e armazenando em reservatórios, podendo-se fazer uso da água quente em qualquer momento do dia. Essa transformação se dá através da captação dos raios solares que incidem sobre os coletores solares durante o dia. Quanto maior a radiação solar no local onde o sistema é instalado, maior será a geração de energia térmica, comparado a locais com menor incidência. Por isso, o Brasil tem um grande potencial de crescimento nessa área, visto que, é um dos países onde se tem mais horas de incidência de raios solares na superfície.

Em uma casa, onde mora uma família com quatro ou cinco pessoas, por exemplo, o gasto de energia devido ao aquecimento de água, principalmente pelo uso do chuveiro elétrico gira em torno de 30% do consumo total, podendo variar de acordo com a utilização desse serviço. Com a implantação desse sistema todo esse consumo seria reduzido, o que gera uma grande economia ao final do mês.

1.1 OBJETIVO

O trabalho tem como objetivo fazer um estudo e avaliar a viabilidade econômica da instalação de um sistema de aquecimento de água através da transformação de energia solar em energia térmica através de coletores solares em uma residência, ao qual foi instalado com o objetivo de economizar a energia gasta pelos chuveiros elétricos, e a partir daí reduzir o preço pago a concessionária de energia devido ao seu consumo.

Serão coletados os dados do consumo de energia da residência antes e depois da instalação do sistema, o preço da conta de luz desses respectivos meses, investimento inicial, mão de obra, manutenção de todo o sistema. E a partir desses dados poderá ser feito o estudo de caso completo, apresentando ao final uma conclusão precisa sobre a viabilidade do sistema.

1.2 MOTIVAÇÃO

O mercado de sistema de aquecimento de água vem em uma crescente muito grande ao longo do tempo, e com o investimento nessa tecnologia, tende a crescer cada vez mais. O sistema se mostra muito promissor, pois utiliza a energia solar para aquecer água, retirando um custo considerável de energia ao final do mês da conta de energia de um estabelecimento ou residência que seria gasto para esse fim. Como um admirador do sistema, pois o sol é uma fonte inesgotável de energia, decidi por fazer o estudo de caso de um sistema real, e assim poder analisar os resultados para saber se o sistema é realmente viável.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho apresenta a seguinte distribuição. O Capítulo 1 é introdutório, contextualiza o trabalho, apresenta a motivação e define os objetivos.

O Capítulo 2 aborda a incidência de raios solares no mundo, e mais especificamente no Brasil, pois é a partir dessa radiação que a transformação de energia pelos coletores se faz. Será apresentado o coletor solar, bem como o processo de conversão de energia por ele realizado.

O Capítulo 3 aborda o sistema de aquecimento de água através dos coletores, detalhando todo o processo do sistema, como a forma que a energia solar é transformada para aquecer a água e assim ficar disponível para o usuário. Todos os componentes do sistema serão apresentados, assim como suas funções.

O Capítulo 4 é o trabalho propriamente dito e faz a avaliação da viabilidade econômica e financeira do projeto, levando em conta os dados coletados junto ao proprietário, no que diz respeito ao investimento inicial com materiais e mão de obra para a instalação do sistema, o possível frete dos equipamentos, gastos frequentes com manutenção, a economia que foi gerada a partir do funcionamento do sistema. Além da economia gerada pelo sistema desde o mês do seu início de funcionamento até os dias atuais.

O Capítulo 5 é conclusivo e destaca as principais conclusões do trabalho tomando por base a análise dos resultados gerados pela aplicação dos métodos escolhidos.

2 ENERGIA SOLAR

Quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustível fóssil e energia dos oceanos – são formas indiretas de energia solar. Embora boa parte das energias renováveis tenha sua origem no sol, e por esse motivo possam ser chamadas de “energia solar”, este termo se refere ao aproveitamento direto da luz do Sol para produção de calor ou eletricidade (JÚNIOR, 2007).

A energia solar é o pilar principal para a existência de vida na terra, é a partir dela que os processos químico e biológicos acontecem. A energia solar vem cada vez mais sendo explorada como uma fonte de energia alternativa para auxiliar as fontes de energia não-renováveis na produção de energia. Isso se deve muito ao fato de o sol ser a maior fonte de energia disponível na terra, e uma fonte inesgotável.

Segundo o Greenpro (2004), no centro do sol ocorre um processo de fusão nuclear, no qual dois núcleos de hidrogénio se fundem em um de hélio, liberando energia em forma de calor. A energia proveniente desta fusão é radiada em forma de ondas eletromagnéticas. Tendo em conta que o sol se encontra a 143 milhões de quilómetros da terra apenas uma pequena fracção da energia irradiada está disponível. No entanto a energia fornecida pelo Sol durante um quarto de hora é superior à energia utilizada, em nível mundial, durante um ano

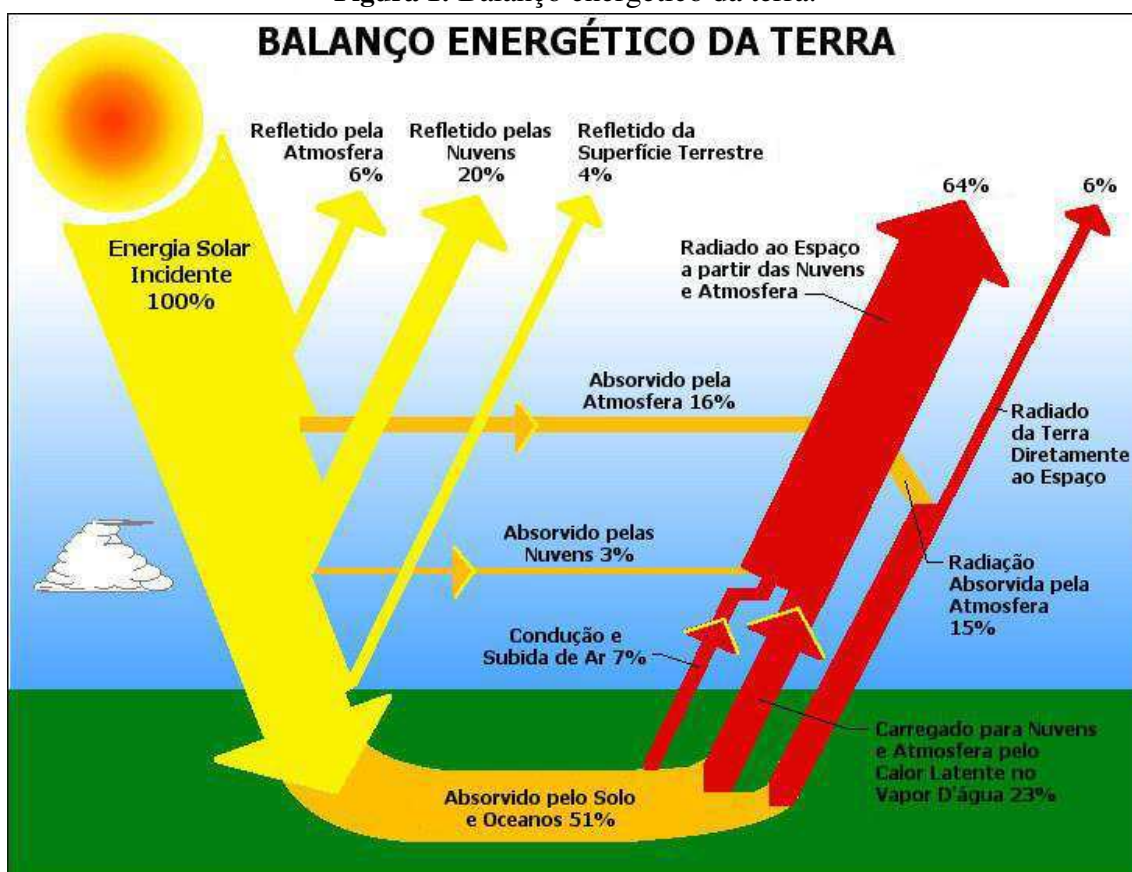
2.1 RADIAÇÃO SOLAR

A energia proveniente do sol se propaga em forma de ondas, chamadas de ondas eletromagnéticas, e a esse processo se dá o nome de radiação. A principal diferença da radiação para as outras formas de transferência de calor, como condução e convecção, é que a radiação se propaga no vácuo, portanto, não há a necessidade de um meio material para que a transferência de energia ocorra.

O sol emite para o espaço uma grande quantidade de energia radiante, proveniente das reações que ocorrem na própria superfície do astro. Esta é a fonte primária de energia para os processos termodinâmicos que ocorrem na superfície da

terra. O sol pode ser considerado uma esfera com raio de 697.000 km, sendo a energia emitida em todas as direções. A energia emitida, que é interceptada pela terra corresponde a uma fração insignificante. Por outro lado, pode-se dizer que 99,97% de toda energia que chega à superfície da terra é proveniente, direta ou indiretamente, do sol, tendo o restante origem em outras estrelas, interior da terra, combustão (carros, indústrias, incêndios, queimadas, etc.) e lâmpadas acesas. Grande parte da energia solar é usada no aquecimento do ar e do solo, no processo fotossintético dos vegetais, na evaporação da água e na circulação geral da atmosfera, mantendo o ciclo hidrológico. (DANTAS, s.d.)

Figura 1: Balanço energético da terra.



Fonte: modificado de NASA.

A radiação solar que incide nas casas, por exemplo, podem se dar de três formas diferentes.

- Radiação Direta: São os raios vindos do sol que incidem diretamente na atmosfera, sem nenhum tipo de desvio. Quando o sol está coberto de nuvens, por exemplo, não se tem radiação direta. É a radiação mais

eficiente no uso de sistemas solares, como os coletores para aquecimento de água.

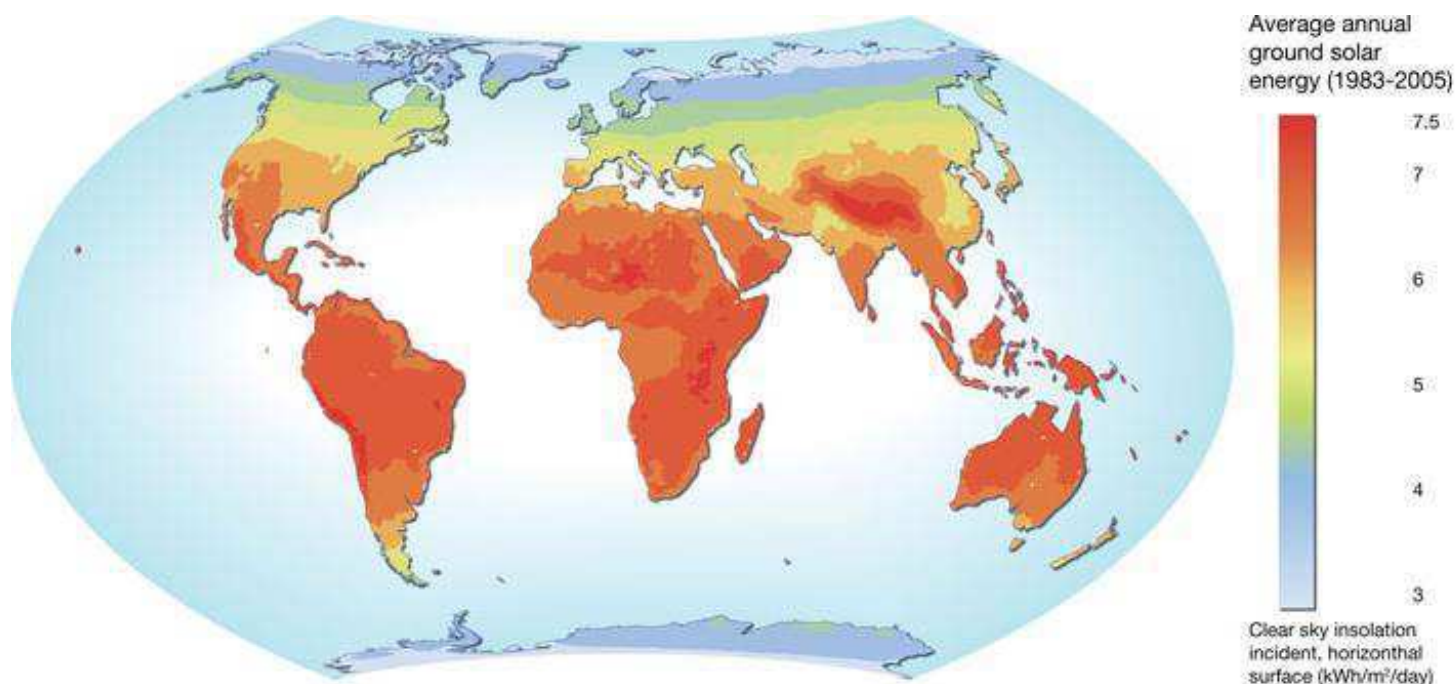
- **Radiação Difusa:** São os raios vindos do sol que sofrem algum desvio no percurso pela atmosfera, podendo ser a passagem através das nuvens, nevoeiro, poeiras em suspensão, e outros obstáculos presentes na atmosfera.
- **Radiação de Albedo:** Parte da radiação recebida pela superfície terrestre é reenviada para o espaço sob a forma de energia refletida. As nuvens, as massas polares e neve atuam como refletores reenviando para o espaço cerca de 30 a 40% da radiação solar que chega ao nosso planeta (TRINDADE, 2016).

A soma total desses três tipos de radiação é a quantidade total de radiação emitida pelo sol que chega a superfície da terra, porém, somente a direta e a difusa podem ser utilizadas pelos coletores solares para transformação de energia.

2.1.1 RADIAÇÃO SOLAR NO MUNDO

Mesmo tendo um índice de baixa incidência de raios solares comparado com outras regiões do mundo, a Europa possui uma grande avanço no uso da energia solar, tanto com o uso do sistema de painéis fotovoltaicos, gerando energia elétrica, como também, utilizando os coletores solares. Isso mostra o grande potencial de crescimento dessa tecnologia, podendo ser mais exploradas nos países com maiores incidências desses raios solares.

Figura 2: Mapa mundial de incidência de raios solares



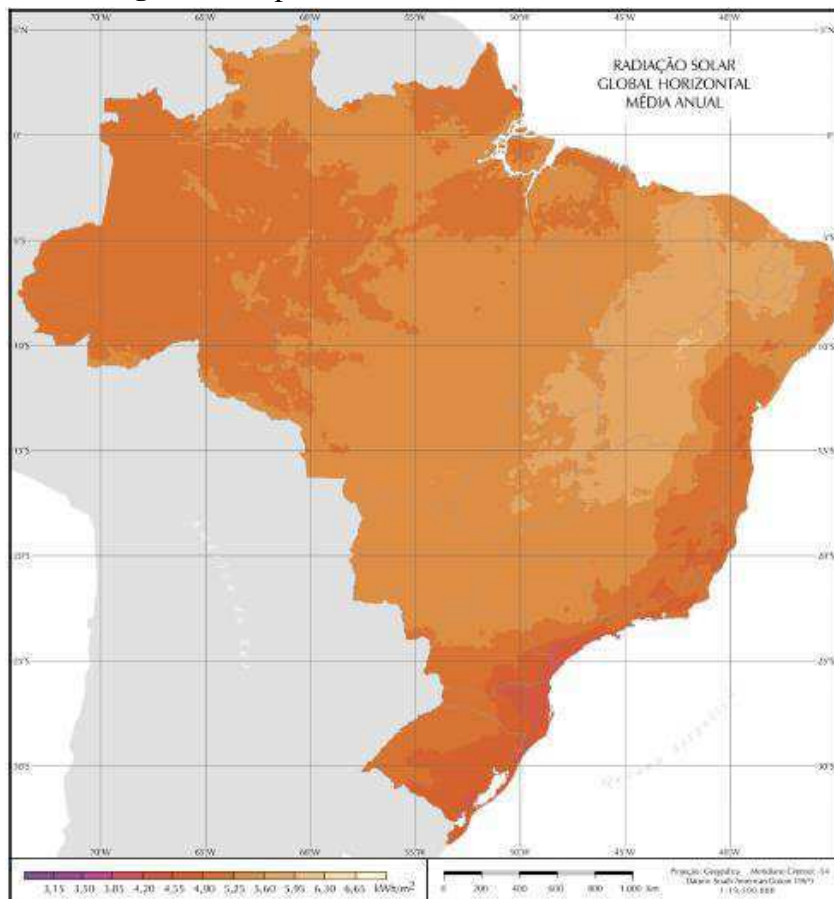
Fonte: NASA, 2008.

2.1.2 RADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL

O Brasil pode ser considerado um país privilegiado no que diz respeito a incidência de raios solares, fato que pode ser facilmente comprovado com a análise da figura 2. Recebe uma gama muito alta de raios em todo seu território, que tem dimensões continentais, principalmente na sua região nordeste. Por isso, o Brasil tem um grande potencial de crescimento no ramo da energia solar, potencial esse que ainda não é muito explorado.

Além disso, as variações sazonais para o nordeste brasileiro são menores, o que poderá resultar em importantes vantagens técnicas e econômicas dos sistemas solares instalados nesta região. (PEREIRA, 2006).

Figura 3: Mapa brasileiro de raios solares.



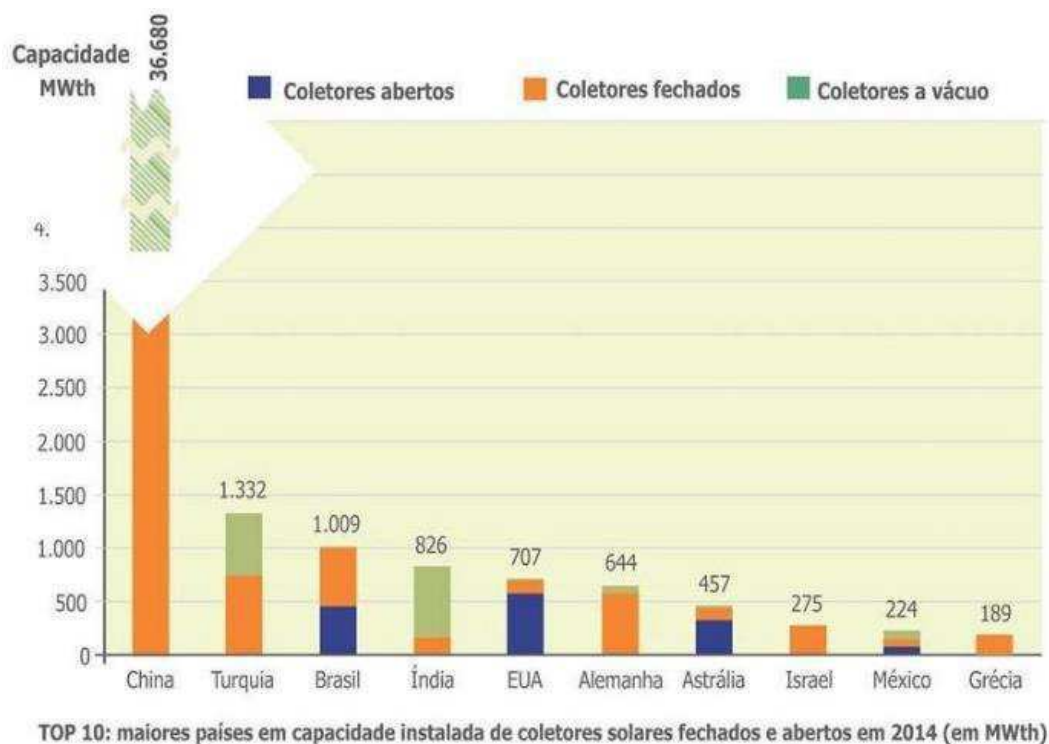
Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006.

2.2 AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA NO MUNDO

Segundo o REN 21 (*Renawable Energy Policy for the 21st Century, 2016*), a capacidade global de coletores térmicos e solares aumentou cerca de 6% em 2015, apesar da desaceleração do mercado, principalmente na China e Europa. A China representou cerca de 77% da energia solar recém-instalada no mundo voltada para o aquecimento de água, seguido pela Turquia, Brasil e Estados Unidos.

A Agência Internacional de Energia (IAE), publicou em 2016 no seu relatório anual (*Solar Heat WorldWide, edição de 2016*), que reúne informações de m² de coletores solares térmicos instalados por tipo, energia produzida e contribuições ao meio ambiente de emissões evitadas, um crescimento no investimento em coletores solares para o aquecimento de água. Grande parte desse crescimento se deu na América Latina, capitaneada pelo Brasil.

Figura 4: Maiores países em capacidade instalada de coletores solares no ano de 2014.



Fonte: IEA, 2016.

A pesquisa revela ainda que nos dez maiores mercados de 2014, o Brasil (+4,5%), a Índia (+7,0%), os Estados Unidos (+0,9%), o México (+18,2%) e a Grécia (+19,1%) apresentaram crescimento. Já a China (-17,6%), a Turquia (-0,8%), a Alemanha (-9,8%), a Austrália (-21,1%) e Israel (-13,4%) sofreram retração.

Nas últimas décadas esses investimentos vem crescendo, juntamente com o desenvolvimento da tecnologia na área. Um reflexo disso é o aumento da capacidade total do sistema de coletores solares para aquecimento de água, envolvendo todos os tipos e usuários, em torno de 700%, chegando a uma geração de 435GWth em 2015.

A maioria absoluta dessa geração é encontrada nas residências, para uso doméstico, como o aquecimento de água para tomar banho, porém, na área hoteleira esse mercado vem numa crescente, onde o gasto com energia para aquecimento de água é muito grande.

Figura 5: Capacidade solar térmica global instalada e o rendimento anual de energia entre 2000 – 2015.



Fonte: IEA, 2016.

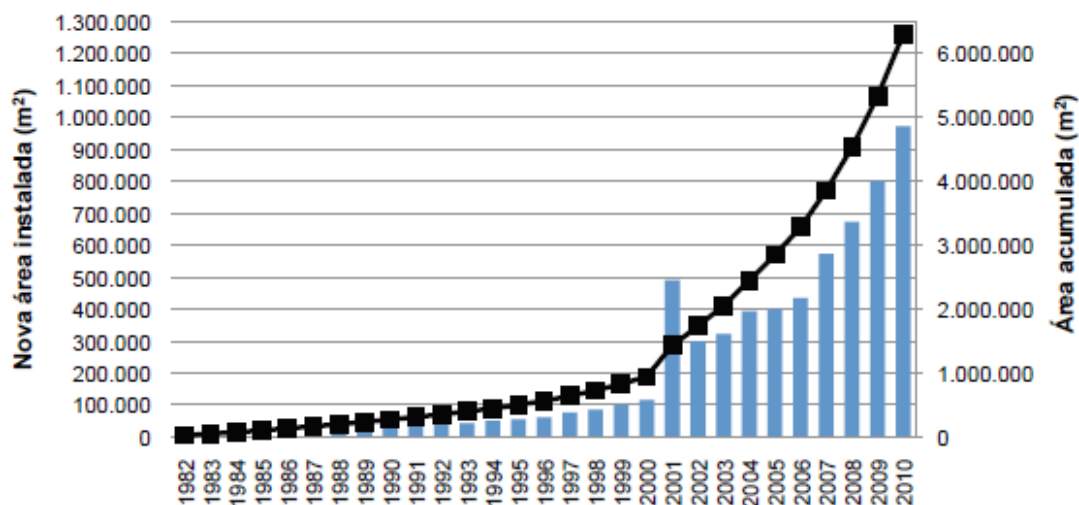
2.3 AQUECIMENTO SOLAR NO BRASIL

Em meados dos anos 70 houve no mundo a crise do petróleo, e em busca de novas soluções no âmbito da produção de energia, se deu no Brasil o início do mercado de aquecimento solar, com a construção de três empresas, que estão ativas até hoje. Duas no Estado de Minas Gerais (Turma Industrial e Pantho) e uma em São Paulo (Colsol).

Na década seguinte o crescimento desse novo produto no Brasil ainda era pequena, o que foi aumentando gradativamente ao longo dos anos, com melhor aceitação da população. Mais empresas foram surgindo nesse mercado, se especializado cada vez mais no setor, exclusivamente destinado ao aquecimento solar de água. Ao passo que a tecnologia ia se desenvolvendo, o mercado ia ganhando espaço no país. Foi então criado o Departamento Nacional de Aquecimento Solar (Dasol) na Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (Abrava).

A partir do final dos anos 90 até o ano de 2010, o mercado de aquecimento de água pela energia solar cresceu de forma significativamente, chegando a um potencial 10 vezes maior nesse intervalo de tempo. Muito também se deve a nova realidade em que vivemos hoje em nosso planeta, todos os dias, e isso já vem se repetindo a vários anos, se vê em noticiários, matérias e internet, a grande preocupação com a preservação do meio ambiente, e busca por soluções sustentáveis.

Figura 6: Evolução do mercado de aquecedores solares no Brasil.



Fonte: ABRAVA, 2011.

Hoje em dia a busca por energia é cada vez maior, pois o desenvolvimento da tecnologia em todas as áreas exige cada vez mais o uso de energia. Então é visto com bons olhos, pelos especialistas, a diversificação da matriz energética a partir de fontes renováveis, como a energia solar. Uma dessas alternativas é que a população possa gerar sua própria energia, ou até mesmo, como no sistema de aquecimento solar de água, instalar um sistema em sua casa que diminua a demanda de energia.

Com esse intuito, programas de incentivo foram sendo criados ao longo dos anos, como por exemplo, Um Solar em Cada Casa promovido pela ABRAVA, que visa a conscientizar a população dos benefícios sociais, ambientais, econômicos e energéticos da energia solar térmica. Juntamente com a essa criação, houve uma aceitação ainda maior da população para com esse sistema de aquecimento, gerando uma alta no mercado, alavancando ainda mais as vendas.

Segundo a pesquisa de mercado de 2014, realizada pelo Departamento Nacional

de Aquecimento Solar – DASOL da ABRAVA, a indústria brasileira acumula em seu histórico produção de 9,8 milhões de metros quadrados de coletores, que equivalem ao potencial de geração de 7,867 mil MWth, praticamente 50% da capacidade instalada de usina de Itaipu que é de 14 mil MW.

2.4 COLETORES SOLAR

Os coletores solares instalados nos telhados convertem a luz, que penetra através dos vidros (radiação de onda-curta), em calor. Estes coletores estabelecem a ligação entre a energia proveniente do sol e os utilizadores de água quente. O calor é gerado pela absorção dos raios solares através de uma placa metálica que se comporta como um corpo negro – a placa absorvedora. Esta é a componente mais importante do coletor. (ALTENER, 2004)

Quando os raios do sol atravessam o vidro da tampa do coletor solar, eles esquentam as aletas que são feitas de cobre ou alumínio e pintadas com uma tinta especial e escura que ajuda na absorção máxima da radiação solar. O calor passa então das aletas para os tubos (serpentina) que geralmente são de cobre. Daí a água que está dentro da serpentina esquenta e vai direto para o reservatório do aquecedor solar (CARVALHO, 2011).

Devido à baixa densidade da energia solar que incide sobre a superfície terrestre, o atendimento de uma única residência pode requerer a instalação de vários metros quadrados de coletores. Para o suprimento de água quente de uma residência típica (três ou quatro moradores), são necessários cerca de 4 m² de coletor (PEREIRA, MARTINS, *et al.*, 2006).

Existem alguns tipos de coletores solares no mercado, que variam de acordo com a necessidade do consumidor. Para o caso de aquecedores a serem usados em residência, o objetivo é apenas elevar a temperatura em poucos graus em relação à temperatura ambiente, então, para esse caso se faz o uso dos coletores de placa plana, que são instalados no telhado das casas.

2.4.1 COLETORES DE PLACAS PLANAS

Os coletores planos são constituídos por uma caixa de forma geométrica retangular, hermeticamente fechada e termicamente isolada por revestimentos de poliuretano expandido ou lã de vidro. Contém no seu interior uma chapa plana ou ondulada pintado de preto fosco, tendo como cobertura, uma lâmina de vidro plano ou plástico transparente. Internamente, a água circula por uma tubulação de cobre que, por ser um ótimo condutor de calor, transmite o calor absorvido do sol para a água (NEVES, 2012).

Esta cobertura, por sua vez, visa realizar o efeito estufa, uma vez que a radiação emitida pela placa absorvedora, que possui elevados comprimentos de onda, pode ser refletida para o interior e, além disso, a colocação de mais placas de cobertura reduz o coeficiente de convecção neste local, reduzindo as perdas de calor para o ambiente (ARRUDA, 2004).

Figura 7: Coletor solar de placas planas.



Fonte: Dantas, s.d.

A radiação solar ao incidir sobre os coletores solares atravessa o vidro. O coletor ao absorver a radiação proveniente do sol, aquece toda a superfície interna do coletor. Este aquecimento é intensificado devido ao efeito estufa causado pela cobertura de vidro que impede transmissão da radiação de ondas longas emitida pela superfície interna do

coletor. A serpentina de tubos de cobre por onde circula a água é aquecida, transferindo para a água, por condução, o calor absorvido fazendo com que a temperatura da água atinja valores bastante elevados. Desta forma, a água ao ser aquecida circula entre os coletores pelo processo natural da convecção. (DANTAS, s.d.)

Para um melhor rendimento do sistema de aquecimento solar de água deve-se posicionar os coletores de modo a receber a maior quantidade de horas de sol durante o ano, quando refere-se a posicionamento, fala-se da orientação e inclinação dos coletores.

A orientação está relacionada ao ângulo formado pela direção dos coletores e o eixo norte-sul. Já o ângulo de inclinação refere-se ao ângulo formado pelo coletor e o plano horizontal. Com esses dois ângulos, a posição de instalação dos coletores é definida.

O ideal seria que os coletores se movimentassem, para assim ter uma melhor localização durante as épocas do ano. Como isso não é viável economicamente, os coletores são instalados de forma fixa. Devido a esse fato, procura-se o posicionamento para um melhor rendimento do sistema levando em consideração todas as épocas do ano. Leva-se em consideração, então, que no período de inverno o consumo de água quente é maior do que nos meses de verão, assim, a posição dos coletores é de tal maneira que favoreça mais a radiação dos meses de inverno do que nos meses de verão. Os coletores no Brasil são orientados para o norte verdadeiro. Já o ângulo de inclinação vai variar de acordo com a região onde o sistema é instalado.

A instalação dos coletores deve seguir as seguintes instruções contidas na NBR 12269 (ABNT), conforme mostrado abaixo:

- **Orientação geográfica:** os coletores solares devem ser instalados voltados para o Norte verdadeiro. Desvios de até 15° desta direção não prejudicam seriamente a eficiência. Instalações executadas nas regiões brasileiras situadas no hemisfério Norte devem ter seus coletores solares voltados para o Sul verdadeiro.
- **Ângulo de inclinação:** os coletores solares são instalados com ângulo de inclinação predeterminado. Em instalações unifamiliares, este ângulo pode ser igual ao da latitude local. Nos sistemas de termossifão, qualquer que seja a latitude, não deve ser utilizada uma inclinação inferior a 10° .

Na maior parte do Brasil, os coletores devem ser orientados com a face voltada para o norte geográfico e a inclinação ser igual ou muito próxima a latitude da cidade. Para favorecer os meses de inverno adota-se o valor da latitude da cidade $+10^\circ$. É prática

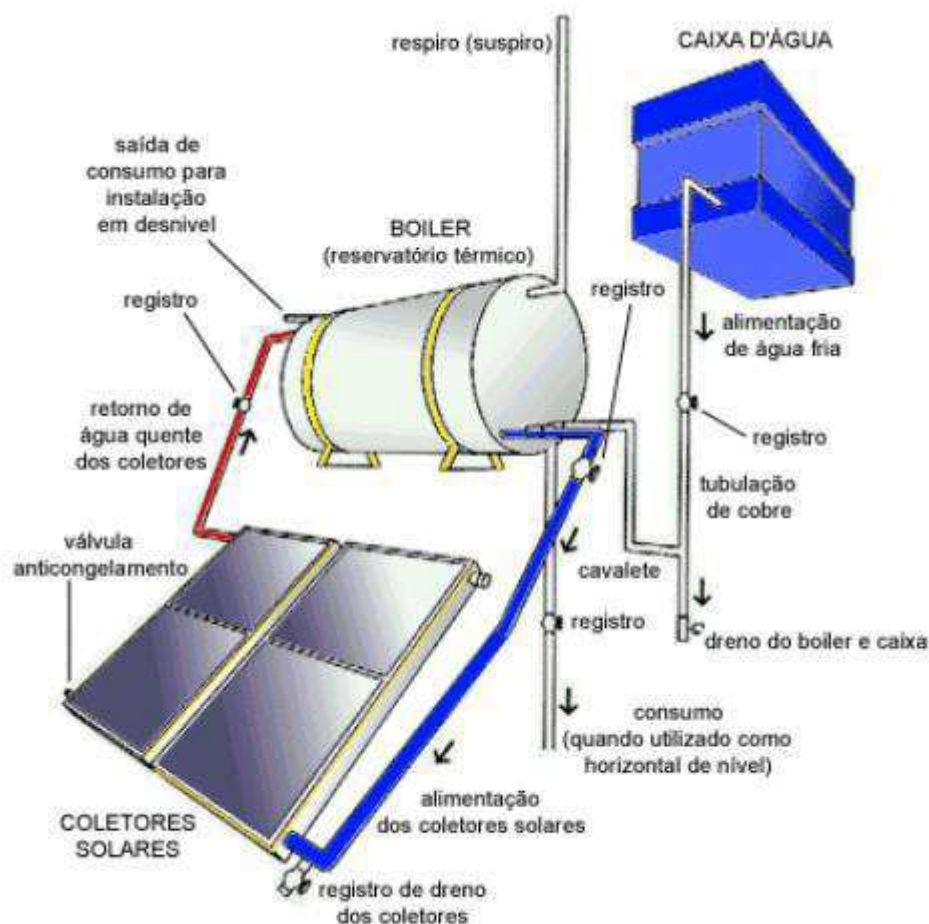
utilizar a própria inclinação do telhado, e no caso de coletores planos fechados, nunca em inclinações inferiores a 10° . (ANDRADE, 2010).

Ainda segundo Andrade, desvios do norte geográfico de até 30° não acarretam quedas significativas de desempenho do sistema de aquecimento solar de água, mas desvios maiores exigem um acréscimo no número de coletores para compensar as perdas de energia. Quanto maiores os desvios do norte geográfico, maiores as perdas nos períodos de inverno, que é justamente o período no qual as casas necessitam de mais água quente.

3 PROCESSO DO SISTEMA

O sistema de aquecimento solar de água é constituído por três partes principais: os coletores solares ou placas coletoras, os reservatórios térmicos ou *boilers* e as tubulações de interligação (Figura 8). Além destas três partes principais, há também alguns componentes que podem ou não ser utilizados, como bombas hidráulicas ou reservatórios sobressalentes, dependendo da necessidade e das condições do local em que os aquecedores forem instalados (MADEIRA, 2013).

Figura 8: Sistema de aquecedor solar de água.



Fonte: DANTAS, s.d..

3.1 COMPONENTES DO SISTEMA

Os principais componentes do sistema são os coletores solar, o reservatório de água quente, e as tubulações. Na seção 2.4.1 os coletores foram abordadas, dando ênfase ao coletor de placas planas. Agora faz-se o estudo do reservatório e das tubulações.

3.1.1 RESERVATÓRIO TÉRMICO

A energia fornecida pelo sol não pode ser controlada e raramente coincide com a variação das necessidades da energia térmica. Desta forma é necessário armazenar o calor solar gerado para ser utilizado quando necessário. (ALTENER, 2004).

O aquecimento de água com energia solar configura-se como um sistema central de acumulação. A água é aquecida gradativamente durante o dia, e armazenada para utilização nos momentos de consumo, inclusive durante a noite. O volume armazenado deve ser determinado em função do perfil de demanda, do volume de consumo diário e da relação entre temperatura de utilização e da temperatura de armazenamento da água. (ARRUDA, 2004).

Os reservatórios térmicos ou *boilers* são a parte do sistema de aquecimento solar onde a água quente fica armazenada. Os reservatórios podem ser instalados tanto em área externa como em local protegido, pois são recipientes que apresentam proteção superficial com materiais não oxidantes (MADEIRA, 2013).

Os reservatórios térmicos para sistemas de aquecimento solar distinguem-se pela temperatura elevada que a água pode alcançar no seu interior, sendo fabricados preferencialmente de aço inoxidável, dotados de isolamento térmico visando a minimizar as perdas de calor para o meio ambiente (PRADO, 2007).

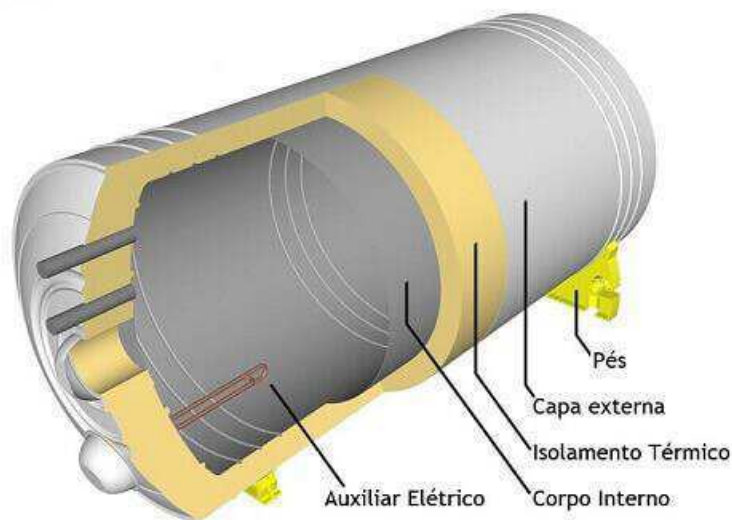
O reservatório térmico é composto por três partes essenciais:

- **Corpo interno (ou cilindro):** é o local onde fica efetivamente armazenada a água. Fica em contato direto com a água, por isso deve ser feito de materiais resistentes à corrosão, como cobre e aço inoxidável. Por causa

do custo-benefício a grande maioria dos fabricantes utiliza o aço inox. (SOLAREM).

- **Isolamento térmico:** tem a função de manter a temperatura da água que está dentro do cilindro interno por certo período. Na grande maioria dos equipamentos do mercado o isolamento térmico é feito em poliuretano expandido. (SOLAREM).
- **Corpo externo (ou acabamento):** a finalidade do acabamento é proteger o isolamento térmico de intempéries. Normalmente é feito de alumínio, aço galvanizado ou aço carbono pintado. (SOLAREM).
- **Resistência interna:** A resistência elétrica serve como um aquecimento de apoio para o aquecedor solar. Geralmente é utilizada quando ocorre uma sequência grande de dias chuvosos, sem incidência solar. Tem a função de reaquecer e manter controlada a temperatura da água no reservatório térmico. A resistência para aquecedor solar é própria para trabalhar em imersão. (UNISOL).

Figura 9: Reservatório térmico.



Fonte: SOLAREM.

O reservatório é dimensionado para o fornecimento normal de energia solar durante os dias, porém, algumas situações adversas podem vir a ocorrer, como por exemplo, muitos dias com muita chuva ou tempo fechado. Para sair dessa situação, e o

reservatório manter sempre uma boa temperatura da água, são passíveis duas soluções, a primeira é o superdimensionamento dos coletores solares, o que não é muito viável. A outra opção é o uso do sistema auxiliar de aquecimento.

Como o próprio nome indica, o sistema auxiliar de aquecimento 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 (SOLAR).

3.1.2 TUBULAÇÕES

Os materiais mais frequentemente utilizados em instalações solares térmicas são o aço inox, o cobre, o aço galvanizado, o aço negro e os materiais plásticos. Para o transporte de calor em condutas entre o coletor e o tanque de armazenamento o cobre é o material mais utilizado, por ser tecnicamente adequado e economicamente competitivo. O cobre resiste à corrosão, tanto dos líquidos que circulam no seu interior como dos agentes exteriores, a sua maleabilidade e ductilidade permitem uma cómoda manipulação e uma grande facilidade para realizar traçados complicados. Muitos tipos de acessórios feitos de cobre, bronze vermelho ou latão estão disponíveis para ligações Cu/Cu e transição para outros sistemas de componentes com conexões roscadas. (ALTENER, 2004).

3.2 CIRCULAÇÃO DA ÁGUA NO SISTEMA

A transferência de calor, que é captada pelos coletores solar, pode circular no sistema de duas formas diferentes. A primeira acontece de forma natural pelos fenômenos físicos e é chamada de termossifão, e é também a mais comum, principalmente para pequenas instalações. A segunda forma é através da instalação de

uma bomba que força a circulação da água pelo sistema, e por isso é chamada de circulação forçada.

A escolha do tipo de sistema depende da carga energética a cobrir e da possibilidade de colocar o reservatório a um nível superior ao dos coletores. Normalmente o sistema de termossifão é aconselhado para pequenas instalações e o sistema de circulação forçada para instalações de médias ou grandes. (ALTENER, 2004).

Os sistemas descritos são chamados diretos, por ser a água o próprio fluido de trabalho. Nos países de clima frio, onde a ocorrência de congelamento nas tubulações é maior, a água nos coletores é substituída por fluidos refrigerantes, como etileno-glicol e propileno-glicol, além de óleos siliconados, óleos hidrocarbonados e outros refrigerantes, que circulam num circuito fechado. Nestes sistemas, chamados indiretos, são utilizados trocadores de calor localizados dentro ou fora dos reservatórios térmicos, onde a água para consumo é aquecida a partir do fluido de trabalho (PRADO, 2007).

3.2.1 CIRCULAÇÃO POR TERMOSSIFÃO

Esse tipo de sistema é preferível usar quando o reservatório de água (boiler) puder ser colocado acima das placas solares, pois, a água que está em contato com as placas será aquecida e com isso sua densidade diminui, e assim permite sua subida até os boilers. Quando essa água aquecida entra no reservatório, que é abastecido por água fria vinda direto da tubulação da casa, ela faz com que a água que já está lá desça, pois essa tem uma densidade maior, se concentrando no fundo do boiler. A água mais fria que está no fundo vai descer para as placas solares para ser aquecida e voltar novamente para o reservatório, e esse processo se repete estabelecendo um processo natural de circulação de água. A medida em que a água quente vai sendo consumida, o sistema é alimentado pela parte de baixo do boiler, onde já se concentra a água mais fria, isso evita a mistura, e conseqüentemente, a diminuição da água que está será consumida.

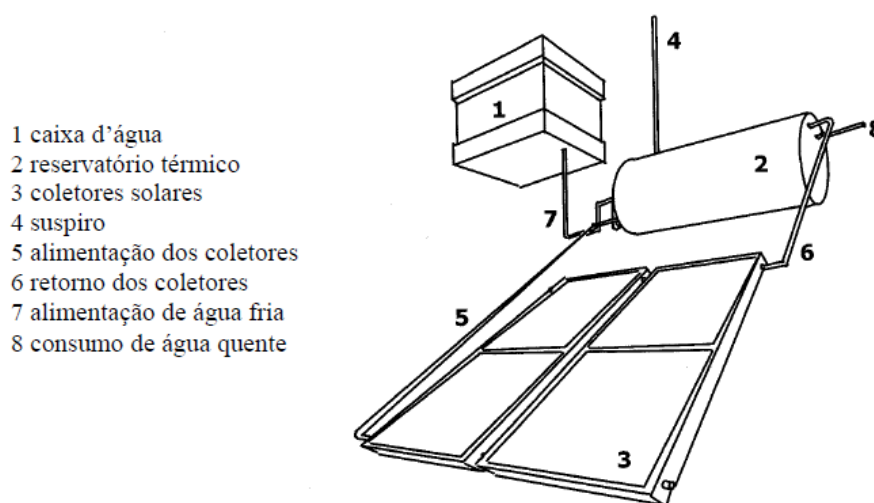
O aquecimento complementar da água pode se dar no próprio reservatório térmico. Nestes casos, o reservatório conta com um termostato instalado em seu interior, que mede a temperatura da água constantemente. Caso ela não esteja na temperatura estabelecida para o consumo, o sistema de aquecimento complementar, elétrico ou a gás, é acionado automaticamente. Este mecanismo possibilita que a água

do reservatório térmico permaneça na temperatura desejada para o consumo durante todo o tempo. (MADEIRA, 2013).

Para evitar que ocorra o fenômeno inverso, ou seja, de passagem de água quente para o interior do coletor durante o período noturno, deverá ser mantida uma distância de cerca de 30 cm entre o topo do coletor e o fundo do depósito de armazenamento ou a instalação de uma válvula anti-retorno que não perturbe a termossifão.

Por ser um sistema que não possui parte mecânicas, controles eletrônicos, não consome energia elétrica adicional para essa circulação de água e tem um tempo de vida útil maior do que o sistema que faz uso de bombas, esse sistema de termossifão é muito aconselhado quando se trata de pequenas instalações.

Figura 10: Circulação natural ou Termofissão.



Fonte: Mesquita, 1999.

3.2.2 CIRCULAÇÃO FORÇADA

O sistema de circulação forçada faz o uso de bombas para o circulação de água entra as placas solares e o reservatório de água. Esse sistema é utilizado quando não é possível usar o sistema de termossifão, por ser inviável colocar os reservatórios de água em um nível acima das placas solares ou caso a diferença de densidade da água não é suficiente para superar a resistência do atrito das tubulações.

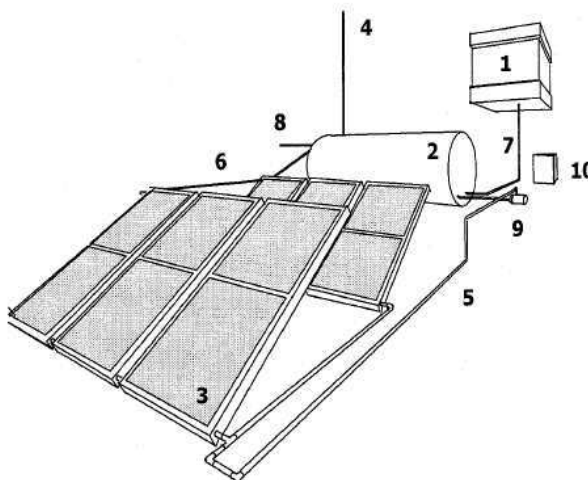
Nesse tipo de sistema, a circulação do fluido térmico entre os coletores e o reservatório de acumulação é feita com o auxílio de uma bomba hidráulica que transmite

energia para o processo. O acionamento da bomba pode ser feito por meio de termostatos controladores das temperaturas do sistema, uma vez que promover a circulação do fluido térmico em condições desfavoráveis pode provocar a perda de calor da água ao invés do seu aquecimento. Podem ser usados também *timers*, para o acionamento da bomba em períodos específicos, nos quais a incidência de radiação solar seja mais favorável, e se possa ter maior aproveitamento da energia (GUARIENTE, 2005).

Em função do uso de bombas para promover a circulação do fluido, os sistemas de circulação forçada tem uma maior flexibilidade em relação aos sistemas termossifão, que permite ter um depósito localizado em outro local que não o telhado, ou ter mecanismos mais eficazes para evitar sobreaquecimento ou congelamento. A implementação de sistemas de grande dimensão é mais fácil em sistemas de circulação forçada, comparativamente aos sistemas solares de termossifão (MEXA, 2011.).

Figura 11: Sistema de circulação forçada.

- 1 caixa d'água
- 2 reservatório térmico
- 3 coletores solares
- 4 respiro
- 5 alimentação dos coletores
- 6 retorno dos coletores
- 7 alimentação de água fria
- 8 consumo de água quente
- 9 motobomba hidráulica
- 10 quadro de comando



Fonte: Mesquita, 1999.

3.3 MANUTENÇÃO DO SISTEMA

Os procedimentos para a manutenção periódica dos sistemas de aquecedores solares são simples e dispensam a contratação de mão de obra especializada. No entanto, o acesso e a localização dos equipamentos nas edificações podem dificultar a realização da manutenção pelos próprios usuários. Portanto, as soluções previstas

em projeto devem contemplar a facilidade de acesso aos equipamentos dos sistemas de aquecimento solar, para possibilitar a execução da manutenção preventiva e assim, garantir o melhor rendimento do sistema além do prolongamento da vida útil dos equipamentos. (MADEIRA, 2013).

Recomenda-se que a manutenção preventiva seja realizada duas vezes ao ano, essa manutenção consiste, primeiramente, na lavagem dos coletores para tirar a sujeira acumulada e obter maior eficiência na captação da energia solar. Deve-se analisar o sistema por completo, procurando algum dano que o sistema possa ter sofrido, algum vazamento ou comportamento anormal. Outra etapa da manutenção preventiva é conferir o funcionamento do termostato. Caso algum problema seja detectado durante a manutenção preventiva, é necessário a manutenção corretiva, fazendo os reparos necessários para que o sistema volte a funcionar normalmente.

Uma vez ao ano, para o caso do sistema instalado em residências, recomenda-se drenar a água do reservatório do sistema, pois com o tempo algumas impurezas contidas na água podem se acumular nas paredes do reservatório, garantindo água limpa no seu interior.

O procedimento é simples e rápido, não necessitando, no caso de sistema para residência que são de pequeno porte, de uma mão de obra especializada.

4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO

O setor residencial responde por 23% do consumo nacional de energia e de acordo com o manual de uma companhia de energia do Brasil o consumo do chuveiro elétrico é o segundo maior em uma residência, correspondendo a 25%, perdendo apenas para o refrigerador/freezer que corresponde a 30%. Sua utilização atinge o horário de pico das 18:00 às 19:00 horas, correspondendo a 8,5% da demanda nacional de energia neste horário (VARELLA, 2004).

Com o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica, e após pesquisarem algumas formas de conseguir um método eficaz para tal, uma família de 5 pessoas (pai, mãe e três irmãs) que reside na cidade de João Pessoa/PB resolveu adquirir o sistema de aquecimento solar de água e assim deixar de consumir energia elétrica devido ao uso do chuveiro elétrico.

A família fez contato com uma empresa que realiza a instalação do sistema, e após algumas reuniões a família decidiu realmente adquiri-lo, pois a empresa fez a propaganda de um sistema que teria retorno econômico em poucos anos.

Nesse capítulo será discutida a real viabilidade dessa instalação, analisando a diminuição do consumo de energia elétrica, investimento inicial, manutenção dos equipamentos. Na análise serão usados alguns métodos da engenharia econômica.

4.1 PAYBACK

O payback (P), é o tempo necessário (no caso estudado, o número de anos) necessários para que o retorno monetário se iguale ao investimento inicial, ou seja, o tempo que demora para o projeto começar a gerar lucros. É calculado da seguinte forma:

$$P = \frac{C_i}{C_{liq}}$$

em que:

P = Tempo de retorno de capital;

C_i = Custo inicial;

C_{liq} = Fluxo de caixa anual esperado.

O tempo de retorno de capital é útil para verificar o nível de risco de um investimento. Porém, é um indicador econômico temporal e não deve ser utilizado como principal indicador para avaliar um projeto, deve ser avaliado em conjunto com outros indicadores, como Vpl por exemplo.

4.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é a diferença entre o valor presente dos fluxos de caixa e do valor presente das saídas de caixa. VPL é usado no orçamento de capital para analisar a rentabilidade de um investimento ou projeto. O VPL é calculado utilizando a seguinte equação:

$$Vpl = \sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+d)^n} - C_i$$

em que:

Vpl = Valor presente líquido.

C_n = Fluxo de caixa para o ano n.

n = O n-ésimo ano.

d = Taxa de desconto.

C_i = Custo inicial.

Na análise de projetos pelo método do Vpl, o lucro acontece se o valor final for positivo, ou seja, é economicamente viável. Caso seja negativo, o projeto não gera lucros e sim prejuízos.

4.3 INVESTIMENTO INICIAL

Após o contato inicial com a empresa, foi feita uma visita na residência para ser feito o projeto de dimensionamento do sistema que seria posteriormente instalado, bem como uma breve conversa com os moradores, para assim ter uma base de quantos litros de água são gastos por dia no banho, que seria o único local abastecido pelo sistema.

A empresa entrou em contato com o proprietário dias depois com o orçamento e detalhamento do material.

O sistema é composto de um tanque de armazenamento de água quente em aço inox ABNT 304 com anodo de magnésio para proteção e coletores solares S-85 de alta performance, de fabricação Solar Tech, e foi projetado para atender perfeitamente toda a demanda de água quente para uma residência com 5 habitantes. O sistema possui aquecedor elétrico, porém, segundo o fabricante, somente deverá funcionar em dias totalmente chuvosos.

O fabricante garante também que seu material tem vida útil comprovada de mais de 25 anos, e que o sistema permite ao usuário uma economia que proporciona retorno do capital investido em menos de dois anos, aos preços da época da instalação, que ocorreu no mês de Abril do ano de 2014.

Tabela 1: Orçamento do sistema de aquecimento solar de água implantado na residência.

Material fornecido	Preço (R\$)
2 coletores S-85 de alta performance	1.690,00
Boiler de 300 litros com termostato e resistência de apoio	2.970,00
Tubulações e conexões de interligação do sistema	530,00
Valor total do material	5.190,00
Mão de obra de instalação	300,00
Valor total do sistema com instalação	5.490,00

Fonte: SolarTech.

Na seção 2.4.1 foi desenvolvido o estudo sobre os coletores de placas planas, e esse tipo de coletor é o que foi utilizado no sistema instalado na residência, nesse caso, foi instalado o coletor S-85. O coletor S-85 possui uma altura de 1,42m, largura de 0,85m e espessura de 90mm. A sua área de cobertura, onde os raios solares incidem e a partir daí se dá a transformação de energia, tem 1,17m². O peso de cada placa é de 20 quilos.

O boiler utilizado no sistema possui uma capacidade de armazenamento de 300 litro, e a tecnologia descrita na seção 3.1.1 onde é feito o estudo à cerca dos reservatórios térmicos utilizados em sistemas de aquecimento solar de água. O boiler de 300 litros da empresa SolarTech possui um comprimento de 1,40m, altura de 0,72m, largura de 0,75m e conexões de $\frac{3}{4}$ e 1 polegada.

4.4 GASTO DE ENERGIA DEVIDO AO USO DO CHUVEIRO

Com o acesso a conta de luz da residência dos anos anteriores e posteriores a instalação do sistema, o mais indicado seria comparar o consumo de energia dos mesmos meses em anos diferentes, e assim tirar a diferença, que seria aproximadamente o equivalente economizado devido ao uso do sistema ao invés do uso de chuveiros elétricos. Porém, em conversa com os moradores da residência, os mesmos notificaram que durante o ano foram sendo adquiridos novos equipamentos elétricos, como por exemplo um freezer e dois ar condicionados. Com isso não seria mais viável a comparação por tal método.

Assim uma outra maneira possível seria analisar alguns meses imediatamente anteriores ao mês da instalação e início do uso do sistema, e meses imediatamente posteriores ao mês da instalação, e assim ter uma base do consumo mensal que era consumido devido ao uso do chuveiro elétrico na casa. Esse método só poderia ser utilizado caso a família mantivesse a mesma média de consumo durante esses meses, o que não acontece na prática, pois sabe-se que cada residência possui uma curva característica com relação ao consumo de cada mês do ano, variando dos meses quentes para os meses frios como também nos meses de férias.

Então o método utilizado foi fazer a média de horas que o chuveiro era ligado por dia na casa e multiplicar pela potência do chuveiro, e assim obter a média de KWh gastos por dia, e conseqüentemente por mês na residência.

Após entrevistar os moradores da casa obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 2: Tempo médio de banho dos moradores

Morador	Quantidade de banhos por dia	Tempo médio no banho (min)
Pai	2	10
Mãe	2	15
Filha 1	3	10
Filha 2	3	15
Filha 3	2	15
Total de uso do chuveiro (min)		155

Fonte: Elaborada pelo autor.

O tempo total médio de uso do chuveiro é de 155 minutos, para efeito de cálculos usaremos 150 minutos, que equivale a 2,5 horas. Para encontrar a média de consumo diária do uso do chuveiro elétrico, é necessário saber qual a potência do chuveiro. Tendo em vista que, como informado pelos proprietários, o chuveiro está sempre na posição média, não será usada a potência máxima para efeito de cálculos.

De acordo com o Instituto Newton C. Braga, um chuveiro Lorenzetti com potência máxima de 6.400W possui uma potência de 2.600W na posição média.

Então, tomando por base a potência de 2,6 KW e o tempo de uso diário do chuveiro de duas horas e meia (2,5h), tem-se que a energia consumida por dia é de:

$$\text{Consumo} = 2,6KW * 2,5h = 6,5 KWh$$

Logo, considerando que o mês tem uma média de 30 dias, então a média mensal de consumo de energia era de 195 KWh.

4.5 ECONOMIA GERADA PELO SISTEMA

Nos dias atuais (Junho/2017), a tarifa cobrada pela concessionária de energia da Paraíba (Energisa) está fixada no valor de 0,43487. Assim o valor pago por mês pelo consumo de energia do chuveiro, seria de:

$$\text{Valor(R\$)} = 195 * 0,43487 = 84,80$$

Esse valor refere-se apenas ao consumo, porém como bem sabemos o governo recebe tributos em cima desse serviço. O imposto cobrado por esse serviço se faz da seguinte forma, o valor bruto cobrado pela empresa equivale a 62,64% (no mês de Junho/2017 e que será utilizado para todos os meses em análise, visto que a variação é pouca). Assim, para saber o valor realmente economizado por mês, é preciso fazer uma regra de três simples:

$$\begin{array}{rcl} \text{R\$ } 84,80 & - & 62,64\% \\ \text{R\$ } X & - & 100\% \end{array}$$

$$X(\text{R\$}) = 135,37$$

o que leva a uma economia de R\$ 1.624,44 por ano.

Ao analisar as contas de luz do primeiro mês de uso do sistema até os meses mais atuais, percebe-se uma variação na tarifa cobrada pela concessionária, então o valor calculado acima será utilizado para o período de Maio de 2016 em diante. Para os dois primeiros anos de análise (Maio/2014 – Abril/2015 e Maio/2015 – Abril/2016), será utilizada uma média levando em consideração a variação da tarifa durante o período.

Tabela 3: Gasto médio anual com energia devido ao uso do chuveiro elétrico.

Período	Média da tarifa	Economia mensal (R\$)	Economia anual (R\$)	Economia anual + impostos (R\$)
Maio/2014 Abril/2015	0,34082	66,4599	797,52	1.273,20
Maio/2015 Abril/2016	0,40413	78,80	945,60	1.509,72

Fonte: Elaborada pelo autor.

Então para o cálculo da viabilidade será definido que a economia no primeiro ano de uso foi de R\$ 1.273,20 , no segundo houve uma economia de R\$ 1.509,72 e que do terceiro ano em diante a economia é de R\$ 1.624,44.

4.6 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE ANÁLISE

Com todos os valores de economia, investimento inicial, tempo de duração médio do sistema (de acordo com o fabricante), serão aplicados os métodos já apresentados para apresentar a real viabilidade do sistema.

4.6.1 PAYBACK

Na utilização do método se faz necessário que o retorno (no nosso caso, a economia) seja a mesma durante os anos, porém, como foi apresentado nos cálculos das sessões anteriores, o primeiro e segundo ano tem uma economia diferente do terceiro ano em seguinte.

Então deve-se subtrair a economia dos dois primeiros anos do valor do investimento inicial, e aplicar o método. E ao encontrar o tempo de payback, serão somados dois anos a esse período.

$$\textit{Investimento inicial (R\$)} = 5.490,00$$

$$\textit{Economia ano 1(R\$)} = 1.273,20$$

$$\textit{Economia ano 2 (R\$)} = 1.509,72$$

Assim, temos que:

$$Ci (R\$) = 5.490,00 - 1.273,20 - 1.509,72 = 2.707,08$$

Aplicando o método, tem-se:

$$P = \frac{2.707,08}{1.624,44} = 1,67 \textit{ anos}$$

Somando agora os dois primeiros anos que já foram decrescidos do investimento inicial,

o resultado final é:

$$P = 1,67 + 2 = 3,67 \text{ anos.}$$

Conclui-se que pela análise utilizando o método do Payback o proprietário terá o retorno do seu investimento em 3,67 anos. Quase o dobro do que foi informado pelos vendedores no ato da compra do sistema, onde foi dada uma média de 2 anos para o retorno do investimento.

4.6.2 VALOR DO PRESENTE LÍQUIDO

Para a avaliação usando o método do Vpl, deve-se fazer algumas definições. O projeto analisado não terá taxa de desconto, visto que o sistema atenderá perfeitamente a demanda de água da família sem precisar de nenhum tipo de ampliação, ou troca de equipamentos.

Na entrevista realizada com os moradores da residência, constatou-se que a manutenção e limpeza do sistema é realizada pelos próprios usuário, que sobe no telhado periodicamente para fazer os ajustes e limpeza necessários.

Outra variável do método que deve ser definida é o tempo que o sistema continuará gerando retorno, nesse caso, o tempo de vida útil do sistema. Segundo o fabricante esse tempo é de 25 anos.

Com todos os dados necessários já definidos, pode-se aplicar o método.

$$Vpl = \sum_{n=0}^N \frac{Cn}{(1+d)^n} - Ci$$

Como o desconto é nulo, a fórmula pode ser reduzida a:

$$Vpl = \sum_{n=0}^N Cn - Ci$$

No primeiro ano a economia é de 1.273,20 reais, no segundo ano é de 1.509,72 reais, e a partir do terceiro ano até o ano vinte e cinco, a economia é de 1.624,44 reais. O investimento inicial é de 5.490,00 reais. Assim:

$$Vpl = (1.273,20 + 1.509,72 + 1.624,44 + 1.624,44 + \dots + 1.624,44) - 5.490,00$$

$$Vpl(R\$) = 34.655,00$$

Reforça-se a viabilidade do sistema com a análise do método do valor do presente líquido, onde a economia gerada ao final de 25 anos (tempo de uso do sistema utilizado na análise) foi positiva, e no valor de R\$ 34.655,00.

4.7 ANÁLISE FINAL SOBRE A VIABILIDADE FINANCEIRA

Com um período de payback de 3,67 anos, o sistema é financeiramente viável já que o mesmo tem uma vida útil de 25 anos. Apesar do alto investimento inicial para utilizar o sistema de aquecimento solar convencional, o uso da energia solar para aquecimento de água é extremamente vantajoso no Brasil. Além de o país receber uma grande quantidade de raios solares, há fabricantes nacionais que dominam toda a tecnologia necessária à captação de energia solar para fins de aquecimento de água.

Outro ponto positivo é que com o uso dessa tecnologia é possível praticamente eliminar a necessidade de se aquecer água utilizando a energia elétrica, o que ocasiona uma diminuição da energia provida da concessionária para suprir seus consumidores, e com isso adiar investimentos em ampliação do sistema de distribuição, e criação de outras subestações e linhas de transmissão

5 CONCLUSÃO

No presente trabalho foi possível analisar a viabilidade técnica e econômica de um sistema de aquecimento de água, que utiliza a energia solar como fonte primária. Esse conjunto é composto por um coletor solar térmico, o S-85 de fabricação da Solar Tech, e um reservatório para armazenamento de água. O qual foi o projeto básico para servir de comparação com os chuveiros elétricos.

Pelos métodos de Engenharia Econômica utilizados é possível concluir que o retorno do investimento é de 3,67 anos (aproximadamente quatro anos), vale ainda ressaltar que é o dobro da estimativa do fabricante para esse equipamento.

Igualmente destaca-se que o sistema é igualmente viável quando se utiliza o método do Valor Presente Líquido, o qual ao final de sua vida útil foi positivo, apresentando um valor de R\$ 34.655,00.

Portanto conclui-se que o projeto é técnico, econômico e financeiramente viável.

Estudos futuros com um grande detalhamento maior de projeto, levando em conta aspectos específicos da localidade, se faz necessário.

BIBLIOGRAFIA

SAMANEZ, Carlos Patricio, **Engenharia econômica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MARTINS, F.R.; PEREIRA, E.B. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos, 2006.

ENERGIA HELIOTÉRMICA – **Radiação Direta**. Disponível em: <<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/glossario/radiacao-direta>> Acesso em: 02 Junho 2017.

RENEWABLES 2014 – GLOBAL STATUS REPORT. Disponível em: <http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_full%20report_low%20res.pdf> Acesso em: 10 Junho 2017.

RENEWABLES 2016 – GLOBAL STATUS REPORT. Disponível em: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR_2016_Full_Report_lowres.pdf > Acesso em: 15 Junho 2017.

ABRAS – **Supermercado sustentável**. Disponível em: <<http://www.abras.com.br/supermercadosustentavel/noticias/agencia-internacional-de-energia-divulga-relatorio-anual-de-aquecimento-solar/>> Acesso em: 30 Maio 2017.

O DASOL – Departamento Nacional de Energia Solar Térmica da ABRAVA. Disponível em: < <http://abrava.com.br/?p=3634>> Acesso em: 05 Junho 2017.

MATUHNER, F; WEISS, W. **Solar Heat WorldWide – Markets and contribution to energy supply 2014**. IAE – Solar Heating & Cooling Programme, 2016. Disponível em: < <https://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2016.pdf>> Acesso em: 20 Junho 2017.

COSTA, E. R. **Limitações no uso de coletores solares sem cobertura para sistemas domésticos de aquecimento de água**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 69. 2002.

CARVALHO, C. H. F. **Projeto de um sistema de aquecimento solar de água para pousadas**. Universidade Federal de Lavras. Lavras, p. 51. 2011.

ARRUDA, L. B. **Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos**. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 230. 2004.

NEVES, J. C. M. D. **Avaliação técnico-econômico de um aquecedor solar de água com coletor de tubos a vácuo na cidade de Cascavel - PR**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, p. 41. 2012.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos campos: [s.n.]. 2006. p. 60.

MADEIRA, G. S. **Análise do uso de sistemas de aquecimento solar de água em habitações de interesse social. Estudo de caso: Conjunto Habitacional Pindamonhangaba "F" - SP**. Universidade Federal do ABC. Santo André, p. 200. 2013.

SOLAREM – **Aquecimento Solar**. Disponível em:
<<http://www.aquecedorsolaragua.com.br/blog/voce-sabe-como-funciona-o-reservatorio-termico-solar/>> Acesso em: 06 Junho 2017.

GUARIENTE, L. J. **Estudo comparativo do desempenho de um sistema de aquecimento de água por energia solar com circulação natural e com circulação forçada**. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, p. 158. 2005.

MEXA, N. F. D. S. **Sistemas solares térmicos - Simulação de perfis de consumo e cálculo do comportamento térmico a longo prazo**. Universidade de Lisboa. Lisboa, p. 77. 2011.

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA – **Instalações residenciais**. Disponível em:
<<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/instalacoes-residenciais/2936-el033>> Acesso em: 22 Agosto 2017.

ALVES, R. B. M. B. **Energia solar como fonte elétrica e de aquecimento no uso residencial**. Universidade do Anhembi Morumbi. São Paulo, p. 75. 2009.

ECODHOME – **Arquitetura e Consultoria**. Disponível em:
<<http://www.ecodhome.com.br/>> Acesso em: 20 Agosto 2017.

MOEMA, M. **Produção de Superfícies Seletivas por Magnetron Sputtering para Aplicação em Coletores Solares.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 75. 2010.

ANDRADE, A.S.; JUNIOR, A.M.; FARIA, C. **Qualidade em instalações de aquecimento solar – Boas práticas.** São Paulo. 2009.

JÚNIOR, Â. S. **Energias renováveis.** FAPEPE. Itajubá, p. 44. 2007.

DANTAS, A.; CARVALHO, L.G.; NETO, P.; **Radiação solar.** Universidade Federal de Lavras. Lavras, p. 20. Sem data.

NASA – **National Aeronautics and Space Administration.** Disponível em:
< <https://www.nasa.gov/> > Acesso em: 05 Agosto 2017.

ALTENER. **Manual sobre tecnologias, projeto e instalações. Energia fotovoltaica.** Programa Europeu ALTENER. 2004.