



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - UFOP
ESCOLA DE MINAS - EM
COLEGIADO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO (CECAU)**



DALTON CÉSAR DE OLIVEIRA GONÇALVES FILHO

SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA: UMA PROPOSTA PARA EDIFICAÇÕES JÁ CONSTRUÍDAS

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Ouro Preto, 2016

DALTON CÉSAR DE OLIVEIRA GONÇALVES FILHO

SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA: UMA PROPOSTA PARA EDIFICAÇÕES JÁ CONSTRUÍDAS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação

Orientador: Sávio Augusto Lopes Da Silva

**Ouro Preto
Escola de Minas - UFOP
Fevereiro/2016**

Monografia defendida e aprovada, em 25 de fevereiro de 2016, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Sávio Augusto Lopes da Silva - Orientador



Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro – Professor Convidado



Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves – Professor Convidado

RESUMO

O aumento do consumo mundial de energia tem gerado a busca de fontes alternativas, inclusive a solar, de fácil utilização, não exigindo equipamentos muito sofisticados nem complexos. Este trabalho tem por objetivo revisar a literatura com o intuito de estudar os equipamentos, e suas diferentes formas de construção, e métodos de instalação de um sistema solar de aquecimento de água para residências já construídas. Como aplicação da literatura, propõe-se um estudo de caso de implantação de um sistema de aquecimento solar em uma edificação unifamiliar brasileira já construída onde se notam situações adversas às sugestões e normas de instalação. Lança-se mão da automação como ferramenta facilitadora à implementação do sistema de aquecimento através de um controlador de temperatura, proporcionando menores interferências e modificações estruturais e comodidade aos usuários.

Palavras chaves: energias renováveis; aquecimento solar de água; automação residencial; controle de temperatura; Arduino.

ABSTRACT

The increase in global energy consumption has led to the search for alternative energy sources, including solar, easy to use, requiring very sophisticated or complex equipment. This study aims to review the literature in order to study the equipment, and its various forms of construction, and methods of installing a solar water heating system for homes. As an application of the literature, we propose a deployment case study of a solar heating system in a Brazilian single-family building ever built where notice adverse situations to suggestions and installation standards. In this case, the use of automation as facilitator tool for the implementation of the heating system through a temperature controller provides less interventions and structural modifications and convenience to users.

Keyword: Renewable Energy; Solar heating Water; Home automation; Temperature control; Arduino.

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
SUMÁRIO	7
1 INTRODUÇÃO	8
1.1 Objetivo Geral	8
1.2 Objetivos Específicos	9
1.3 Justificativa.....	9
1.4 Motivação	9
1.5 Metodologia.....	10
1.6 Estrutura do trabalho	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Aquecimento Solar	11
2.2 Energia Solar Térmica	12
2.2.1 Coletores Solares.....	15
2.2.2 Reservatório Térmico.....	20
2.2.3 Instalação do sistema de aquecimento solar de água	22
3 METODOLOGIA	32
3.1 Estudo de caso de instalação do sistema de aquecimento solar	32
3.2 Proposta de controlador automático para mistura da água	35
3.2.1 Comunicação Bluetooth	35
3.2.2 Controlador.....	35
3.2.3 Controle.....	37
4 RESULTADOS.....	39
5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	42
5.1 Sugestão para trabalhos futuros	43
BIBLIOGRAFIA.....	44

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da demanda energética mundial, formas sustentáveis de geração de energia estão sendo cada vez mais frequentemente abordadas e pesquisadas. Diversos países já caminham para adequar sua matriz energética visando diversificar suas fontes de energia.

No Brasil, no ano de 2014, 84,1% da energia produzida era provida por centrais públicas, sendo a geração hídrica a principal fonte e corresponde a 65,2% da energia produzida no país, numa matriz energética predominantemente renovável, 74,6% do total (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015).

Devido a grande dependência fluvial do setor energético, com a falta de chuva o Brasil passou por crises neste setor, aumentando o uso de combustíveis fósseis na geração e, conseqüentemente, aumentando a tarifação ao consumidor. Estes fatores influenciaram uma maior procura por formas de reduzir o consumo de eletricidade.

Devido as condições climáticas e geográficas favoráveis, e principalmente após a crise energética 2001, os sistemas de aquecimento solar tiveram grande crescimento de mercado e nas residências brasileiras, embora ainda muito pequeno em relação a países como Israel onde mais de 90% das casas usam o Sol como fonte de energia térmica para aquecer água.

Considerando o grande crescimento dos sistemas de aquecimento solar, a necessidade de redução do consumo de energia elétrica e a presença do chuveiro elétrico em 91% dos lares brasileiros, esquentar água para o banho usando eletricidade é uma solução irracional. A utilização do chuveiro elétrico corresponde a maior demanda de energia domiciliar e, em horário de pico, pode chegar a 18% da energia consumida no país (ABRAVA, 2008).

Essa tecnologia já é bastante difundida e pesquisada em todo mundo. Há patentes abertas de métodos de construção e instalação de sistemas de aquecimento solar de baixo custo, inclusive no Brasil, possibilitando o acesso desta solução às residências de baixa renda e se firmando como uma solução sustentável, barata e inteligente.

1.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo de caso de implantação de um sistema de aquecimento solar de água para uma residência já edificada com uso de um misturador automático de água.

1.2 Objetivos Específicos

- Revisar a literatura em busca de conhecer os equipamentos e diferentes metodologias de instalação de um sistema de aquecimento solar de água para uso residencial;
- Propor o uso da automação para misturadores de água quente e fria;
- Estudar a comunicação entre microcontroladores e dispositivos móveis através do Bluetooth;

1.3 Justificativa

No Brasil, os chuveiros, usados para aquecer água para banho, são responsáveis pela maior demanda domiciliar de energia elétrica. Com o intuito de diminuir a demanda energética, uma solução limpa e bastante difundida para o aquecimento de água é o calor do sol. Porém a implantação de sistemas de aquecimento solar em edificações já construídas podem exigir várias modificações estruturais e um alto investimento inicial.

O uso de métodos alternativos de construção dos equipamentos usados em sistemas de aquecimento solar junto aos equipamentos convencionais pode reduzir o custo do investimento. Assim como o uso de misturadores automáticos que, além de proporcionar conforto, proporcionam o uso da tubulação convencional existente de PVC comum soldável, que permite utilizar água quente até 45 graus mantendo-se a pressão dentro do limite até 4 kgf/cm².

1.4 Motivação

A monografia é uma oportunidade de focar e aprofundar os conhecimentos em um tema de maior interesse. Conhecer tecnologias de aproveitamento de energia renovável em uma realidade de crise energética no Brasil é uma oportunidade de estar preparado para o mercado de trabalho e de pesquisar melhorias e inovações que possam contribuir com a melhoria da situação energética do país.

1.5 Metodologia

Este trabalho propõe um sistema de aquecimento solar de água de para edificações já construídas. Será feita uma revisão bibliográfica sobre métodos e matérias de forma a justificar as análises contidas em um estudo de caso de uma residência familiar localizada em Mariana, Minas Gerais, onde habitam três pessoas e tem condições adversas à instalação convencional dos aquecedores.

1.6 Estrutura do trabalho

O trabalho é dividido quatro capítulos, sendo o segundo composto de uma revisão bibliográfica sobre os equipamentos, métodos de instalação e dimensionamento de sistemas de aquecimento solar.

O terceiro capítulo prossegue com um estudo de caso onde se propõe uma metodologia de instalação de um sistema, assim como um controlador de temperatura para misturar a água e os resultados obtidos.

Os resultados obtidos sobre a revisão bibliográfica e sua aplicação no estudo de caso estão detalhados no quarto capítulo.

O quinto capítulo descreve as conclusões obtidas através da realização deste trabalho e sugere futuros trabalhos relacionados ao tema decorrido.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aquecimento Solar

Quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos – são formas indiretas de energia solar (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2005), medidas realizadas com satélites mostram que a radiação solar extraterrestre é muito estável e tem o valor aproximado de 1366 W/m² (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, 2012), porém além das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar etc.), a disponibilidade de radiação solar depende da latitude local e da posição no tempo (hora, dia, ano). A parcela de 70% da radiação que chega a superfície terrestre produz aquecimento causando calor latente, evaporação da água, ou convecção, calor sensível, os outros 30% são refletidos pelas nuvens, partículas e gases atmosféricos (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, 2012), como pode-se notar na figura a seguir.

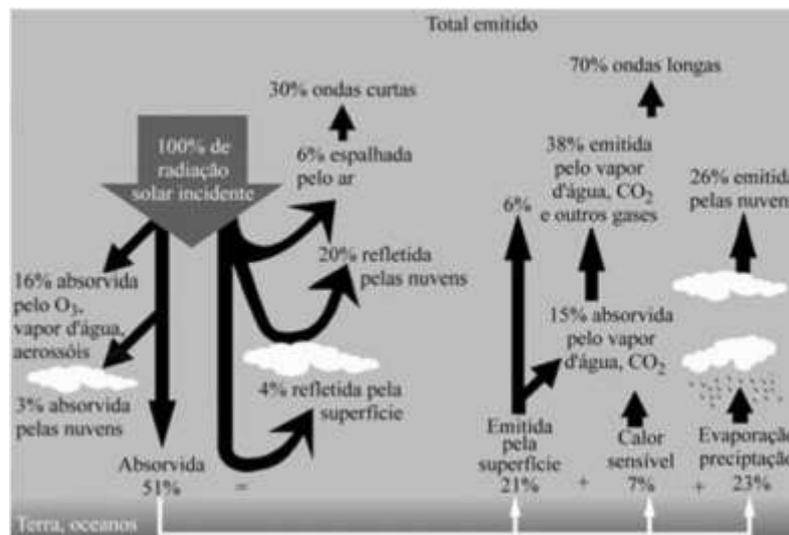


Figura 2.1 - Diagrama simbólico dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre. (FERNANDO RAMOS MARTINS, 2004)

Estima-se que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre, mesmo sendo apenas uma parcela da energia total emitida pelo sol, seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E

EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB), 1999) e o Brasil, por ser um país localizado na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial de energia solar durante o ano todo (C. TIBA ET AL, 2000).

Atualmente, as fontes de exploração de energia hidrelétrica estão praticamente esgotadas, resumindo o aproveitamento de seu potencial à construção de pequenas centrais hidrelétricas. Dentro deste quadro, a energia solar, dentre as demais fontes de energia renováveis, se mostra uma tendência mundial de se tornar mais atraente economicamente e apresenta um baixo impacto socioambiental (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, 2012).

Têm-se duas formas de aproveitamento da energia solar, ativa e passiva, sendo essas subdivididas.



Figura 2.2 - Distribuição do aproveitamento solar. (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, 2012)

2.2 Energia Solar Térmica

O sistema de aquecimento solar é um dos mais simples aproveitamentos da energia do sol e se baseia na conversão de energia solar em energia térmica. Essa energia é utilizada para aquecer um fluido, líquidos ou gases, para diversas aplicações, como, por exemplo, geração de energia elétrica, secagem de alimentos, resfriamento de ambientes e uso do próprio fluido aquecido. Seu grande benefício está na economia energética dos métodos convencionais de aquecimento, como a eletricidade, utilizada principalmente em aquecedores e chuveiros elétricos.

Os benefícios de se aquecer a água através da energia do sol não são apenas energéticos. Ambientalmente os aquecedores solares são totalmente limpos e sustentáveis, em vista que não emitem gases-estufa e material particulado que poluem o ar, não geram resíduos

radioativos, não necessitam de área alagada, além de substituir combustíveis fósseis em aplicações energéticas e térmicas. Socialmente, geram empregos em revenda, produção, projeto e instalação (ABRAVA, 2008). A imagem a seguir mostra os benefícios da utilização da energia solar para cada metro quadrado instalado:



Figura 2.3 - Benefícios do aquecimento solar por metro quadrado (ABRAVA, 2008).

Embora ainda pouco disseminado no Brasil, o maior mercado é o residencial. Isso acontece devido ao uso intensivo de chuveiros elétricos, sendo esse o equipamento de maior impacto para o sistema elétrico de uma residência, conforme pode ser visto na imagem abaixo (COMPLANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, 2012).



Figura 2.4 - Impacto de equipamentos e eletrodomésticos na demanda residencial de energia. (COMPLANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, 2012)

O sistema de aquecimento solar, embora ainda pouco utilizado na indústria, é uma opção adequada para processos que necessitem de baixas temperaturas, abaixo de 100°C (TAIBI e GIELENB, 2012). Estes processos de baixas temperaturas representam 30% das

aplicações de aquecimento, sendo o setor alimentício um dos mais favoráveis, incluindo a produção de vinho e cerveja (VANNONI e BATTISTI, 2008).

A energia térmica provida pela energia solar também tem potencial para aplicações para água quente, vapor, secagem, processos de desidratação, pré-aquecimento, pasteurização, esterilização, lavagem, limpeza, reações químicas, aquecimento ambiente, alimentos, plástico, construção e indústria têxtil (MEKHILIEF e SAIDUR, 2011).

Indústria	Processo	Temperatura (°C)
Laticínio	Pasteurização e Concentrados	60 - 80
	Esterilização	100 - 120
	Secagem	120 - 180
	Água de alimentação de caldeiras	60 - 90
Alimentos em conserva	Esterilização	110 - 120
	Pasteurização	60 - 80
	Cozimento e Branqueamento	60 - 90
Têxtil	Branqueamento, tingimento	60 - 90
	Secagem, desengorduramento	100 - 130
	Tingimento	70 - 90
	Fixação	160 - 180
	Impressão	80 - 100
Papel	Cozimento, secagem	60 - 80
	Água de alimentação de caldeiras	60 - 90
	Branqueamento	130 - 150
Química	Sabonetes	200 - 260
	Borracha sintética	150 - 200
	Aquecimento de processos	120 - 180
	Pré-aquecimento de água	60 - 90
Carne	Lavagem	60 - 90
	Cozimento	90 - 100
Bebidas	Lavagem, esterilização e Pasteurização	60 - 80
Farinhas e subprodutos	Esterilização	60 - 80
Madeira e subprodutos	Termodifusão de vigas e Secagem	80 - 100
	Pré-aquecimento de água	60 - 90
	Preparação de polpa	120 - 170
Tijolos e blocos	Cura	60 - 140
Plásticos	Preparação e Mistura	120 - 140
	Destilação	140 - 150
	Separação	200 - 220
	Extensão	140 - 160
	Secagem	180 - 200

Figura 2.5 - Faixas de temperatura de diversos processos industriais (KALOGIROU, S, 2003).

Tanto no uso doméstico, quanto industrial, o princípio do sistema de aquecimento solar é o mesmo. O sistema se baseia em aquecer fluidos e armazená-los quentes em reservatórios termicamente isolados até seu uso final (COMPLANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, 2012).

A seguir, apresenta-se uma tabela mostrando os componentes do sistema de aquecimento solar e uma breve descrição de sua funcionalidade.

Item	Componente	Função
1.	Coletor solar	Converter energia radiante em energia térmica
2.	Reservatório térmico	Acumular energia térmica na forma de água aquecida
3.	Controlador diferencial de temperatura	Controlar o funcionamento da motobomba hidráulica do sistema de aquecimento solar e eventualmente possui funções de segurança
4.	Sensor de temperatura	Medir a temperatura da água em pontos específicos do SAS
5.	Reservatório de expansão	Proteger o sistema contra variações de pressão e expansão volumétrica durante o funcionamento do SAS
6.	Válvula de alívio de pressão	Aliviar automaticamente a pressão do SAS caso a pressão máxima seja atingida
7.	Válvula de retenção	Não permitir o movimento reverso da água
8.	Válvula eliminadora de ar	Permitir a saída de ar do SAS
9.	Válvula quebra-vácuo	Aliviar pressões negativas formadas durante o funcionamento do SAS, permitindo a entrada de ar
10.	Dreno	Possibilitar o escoamento ou drenagem da água do SAS
11.	Motobomba	Promover a circulação forçada da água pelo SAS
12.	Tubos e conexões	Interconectar os componentes e transportar água aquecida
13.	Isolamento térmico	Minimizar perdas térmicas dos componentes e acessórios do SAS
14.	Equipamento auxiliar de aquecimento	Suprir a demanda térmica complementar do SAS
15.	Respiro	Equalizar pressões positivas e negativas do SAS e permitir a saída de ar e vapor

Figura 2.6 - Tabela de componentes do sistema de aquecimento solar. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

É possível encontrar pesquisas experimentais que especificam todos os passos para projeto, confecção e instalação de sistemas de aquecimento solar de baixo custo. Alguns exemplos que são amplamente citados são a Sociedade do Sol (SOCIEDADE DO SOL, 2009) e Celesc (CELESC, 2009).

2.2.1 Coletores Solares

Os coletores solares, ou painéis solares, é um absorvedor da irradiância solar que é transferida para o fluido em forma de calor, aquecendo-o. Os mecanismos de transferência desta energia são: radiação, convecção e condução. Sendo que estes ocorrem, na maior parte das vezes, de forma simultânea. A radiação tem origem eletromagnética, não necessitando de um meio se propagar. Já a condução e convecção precisam da interação de dois corpos, sendo condução a troca de calor por contato e a convecção o movimento destes corpos (OBSERVATÓRIO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA A AMÉRICA LATINA E CARIBE - ONUDI).

Esse equipamento pode ser classificado conforme sua geometria e principio de funcionamento. Suas diferentes arquiteturas proporcionam diferentes faixas de trabalho, ou seja, a temperatura a qual se deseja alcançar no sistema e sua aplicação.

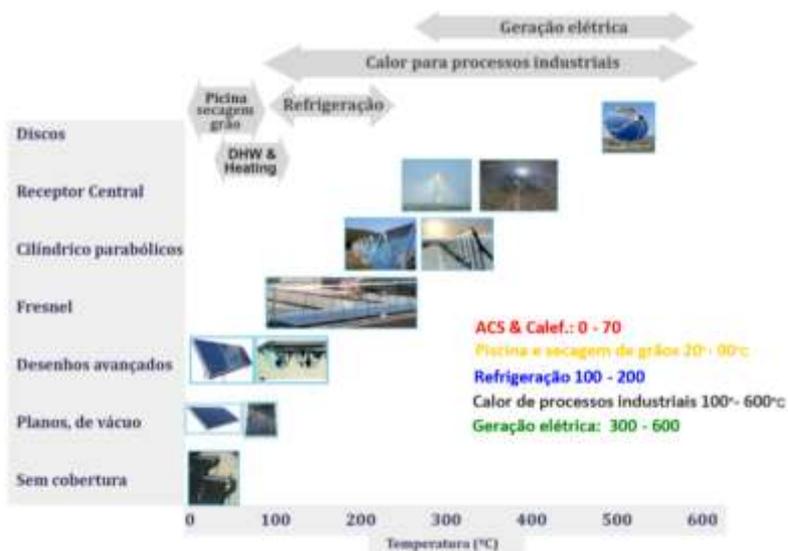


Figura 2.7 - Temperaturas proporcionadas por diferentes sistemas solares térmicos (OBSERVATÓRIO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA A AMÉRICA LATINA E CARIBE - ONUDI).

O uso residencial de aquecimento de água, tema deste trabalho, exige baixas temperaturas. Portanto, serão descritos, a seguir, apenas os coletores para aplicações menores que 125°C.

Dentro deste panorama, temos três principais tipos de painéis que apresentam características distintas e eficiência proporcional a sua complexidade e valor de mercado. Portanto devem ser observados os requisitos do sistema de aquecimento, assim como o ambiente ao qual se encontra. O gráfico a seguir descreve a eficiência destes coletores para distintas faixas de diferença de temperatura e possíveis aplicações.

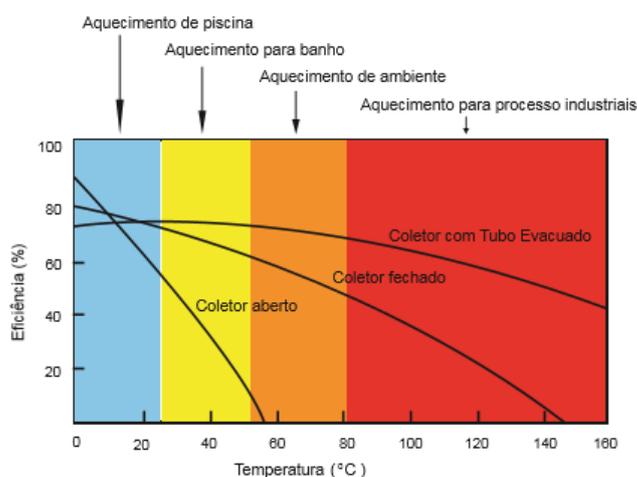


Figura 2.8 – Gráfico: Diferença de Temperatura x Eficiência dos tipos de coletores solares de baixa temperatura (INSTITUTO EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS, 2010).

1. Coletor sem cobertura

Este é o mais simples dos coletores. É constituído apenas de uma grade de tubos feitos em material de boa absorção da radiação solar, na cor preta, e de alta durabilidade. Por essa grade circula o fluido a ser aquecido.



Figura 2.9 - Coletores planos de baixo custo (SOCIEDADE DO SOL, 2009).

Devido sua simplicidade, há varias alternativas de confecção deste coletor a baixo custo usando materiais acessíveis, como PVC e polipropileno (PP). Estes materiais apresentam resultados semelhantes aos coletores convencionais, de tubos de cobre e cobertura de vidro, que serão descritos melhor posteriormente. Em testes comparativos, a eficiência dos equipamentos de baixo custo pode chegar à média de 47,1%, enquanto o sistema convencional chega a 50,9. Porém esses valores podem variar de acordo com a metodologia de construção e área ocupada pelo equipamento (SIQUEIRA, 2009).

2. Coletor com cobertura

Para melhorar o rendimento do coletor sem cobertura, o mesmo foi isolado do ambiente e, conseqüentemente, diminuir as perdas, podendo chegar a até 70°C.

Geralmente, são formados por grades de tubos de cobre dentro de uma caixa metálica. A face da caixa exposta ao sol é constituída de material transparente, em geral vidro, permitindo a irradiação sobre o cobre e provocando efeito estufa, enquanto as demais caras são opacas, de material metálico, alumínio ou aço, e isoladas termicamente do exterior. Para

aumentar a área de captação e a capacidade de absorção da grade de tubos, há uma placa chamada de absorvente, normalmente de cobre ou alumínio que receberam tratamento para melhorar suas características de absorção e emissividade (SPRENGER, 2007).

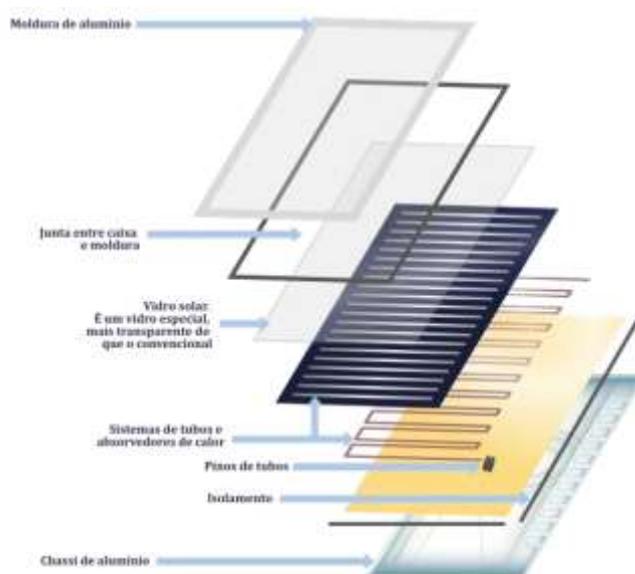


Figura 2.10 - Esquema geral do coletor térmico com cobertura (OBSERVATÓRIO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA A AMÉRICA LATINA E CARIBE - ONUDI).

Assim como os coletores sem cobertura, há métodos alternativos, e de baixo custo, de manufatura de coletores com cobertura. A cobertura, convencionalmente confeccionada em vidro, é substituída por garrafas PET e a caixa metálica por caixas usadas para armazenamento de leite longa vida (CELESC, 2009).



Figura 2.11 - Coletor alternativo com cobertura (CELESC, 2009).

3. Coletor com tubos de vácuo

A maior perda de energia nos coletores anteriores é produzida através de condução e convecção entre a superfície quente, o absorvente, e a superfície fria, o vidro. O ar é meio por onde o calor entre as superfícies é transferido. Ao se retirar esse ar, ou seja, no vácuo este fenômeno não ocorre e o coeficiente de perdas do coletor reduz em até 45% (OBSERVATÓRIO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA A AMÉRICA LATINA E CARIBE - ONUDI).

O método de construção de confecção dos coletores a vácuo mais utilizado, devido sua simplicidade e custo de fabricação, consiste na associação de tubos com parede dupla de vidro com vácuo entre elas. Com a incidência solar no tubo a água que preenche o tubo esquenta e sai do recipiente, fazendo com que a água mais fria desça em um movimento natural, chamado de transferência direta (MANEA, 2012).

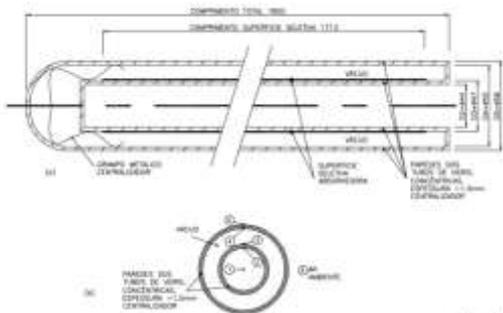


Figura 2.12 - Tubo coletor solar isolado a vácuo (MANEA, 2010).

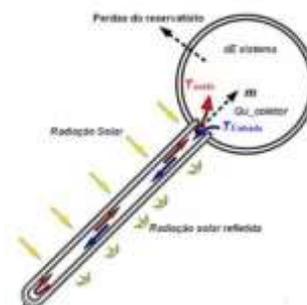


Figura 2.13 - Transferência direta (MANEA, 2012).

4. Coletor Cilíndrico Parabólico Composto

Para aumentar a absorção da energia térmica é necessário o aumento da superfície de captação. A tecnologia de coletores *Cilíndricos Parabólicos Compostos*, CPC, utiliza refletores de geometria adequada de forma que a radiação refletida se adeque, mesmo sendo estacionário, às diferentes inclinações do sol durante o dia, direcionando e concentrando os raios refletidos para o centro dos tubos isolados a vácuo (OBSERVATÓRIO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA A AMÉRICA LATINA E CARIBE - ONUDI).



Figura 2.14 - Esquema de funcionamento e vista ampliada de um coletor CPC (OBSERVATÓRIO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA A A AMÉRICA LATINA E CARIBE - ONUDI).

2.2.2 Reservatório Térmico

Este equipamento tem a função de armazenar o fluido quente para uso e impedir a perda de calor do mesmo. Assim como os coletores encontram-se reservatórios convencionais, comercializados, e os alternativos, produzidos com materiais de baixo custo, por ser o componente de maior custo em um sistema de aquecimento solar.

1. Reservatório térmico convencional

Também chamado de boiler, os reservatórios convencionais são fabricados, geralmente, de plástico térmico ou alumínio na parte exterior e de aço inox ou cobre em seu interior. Entre as duas paredes há um revestimento de lã de vidro ou poliuretano expandido com a finalidade de melhorar o isolamento térmico entre o ambiente e o fluido. Uma resistência acoplada ao reservatório tem a função de esquentar o fluido em casos em que o sistema solar não foi suficiente (SPRENGER, 2007).

Construídos em geometria vertical de nível ou horizontal, comercializado em diferentes capacidades e dimensões, existem dois tipos de boilers: os de alta pressão e baixa pressão. Os reservatórios de baixa pressão tem aplicação para sistemas onde a o reservatório de fluido frio esteja a pouco elevado em relação ao boiler, sendo o máximo de 2m para modelos em cobre e 5m para os modelos em aço inox. Este modelo é mais econômico, porém não podem ser alimentados diretamente com a rede pública e não podem ser pressurizados. Para as demais aplicabilidades, com elevação máxima de 40m, devem ser usados os boilers de alta pressão (COSTA, 2007).

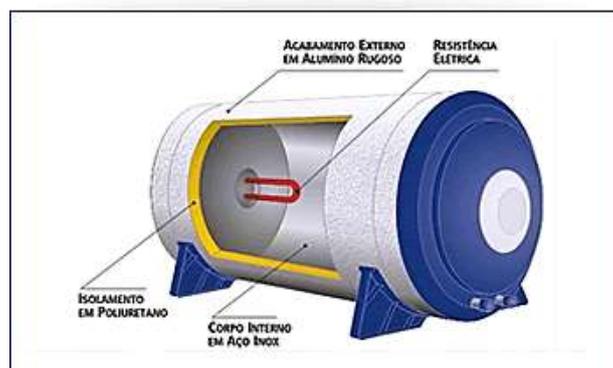


Figura 2.15 - Esquema de construção do reservatório térmico convencional (SOLAREM).

2. Reservatório Térmico Alternativo

Confeccionados manualmente usando materiais de baixa condutividade térmica, característica de um bom isolante térmica, os reservatórios térmicos alternativos ainda são pouco discutidos na literatura.

Uma solução com metade do custo de mercado em comparação aos reservatórios convencionais e com bom desempenho, perda de 5°C para um tempo de 24 horas a uma temperatura de 45°C , consiste em duas folhas de eucatex formando duas paredes cilíndricas e isopor como isolante entre elas. Para a tampa e fundo usou-se maderit de 15mm. Como revestimento das superfícies internas e externas, como também do fundo e tampa, foi utilizado fibra de vidro-E (COSTA, 2007).



Figura 2.16 - Proposta de reservatório alternativo (COSTA, 2007).

2.2.3 Instalação do sistema de aquecimento solar de água

Para a qualidade da instalação do aquecedor solar deve-se, primeiramente, projetar o sistema. As etapas de pré-instalação consistem no dimensionamento dos equipamentos, referenciados no consumo, temperatura desejada e tipo de circulação da água, e a verificação do local a receber o sistema, instalação hidráulica de água quente adequada e o telhado ou cobertura a ser instalado e sua adequação (PROCOBRE, 2009).

Existem normas para projeto e instalação dos elementos de um sistema de aquecimento solar. No Brasil o órgão responsável por definir e documentar estas normas é a Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. Os métodos de instalação dos equipamentos comercializados devem seguir as especificações contidas no manual de instalação e do projeto, no entanto, na ausência desses documentos a NBR 15569 sugere uma série de instruções para uma boa instalação de um sistema de aquecimento solar de água em circuito direto que serão discutidas nesse subcapítulo.

Para se atingir a temperatura pretendida é necessário, na maior parte dos casos, associar coletores. Desta forma pode-se aumentar a área de absorção e, conseqüentemente, atingir uma maior diferença de temperatura entre o ambiente e a água armazenada. Essa associação pode acontecer de três formas: em série, paralela ou mista.

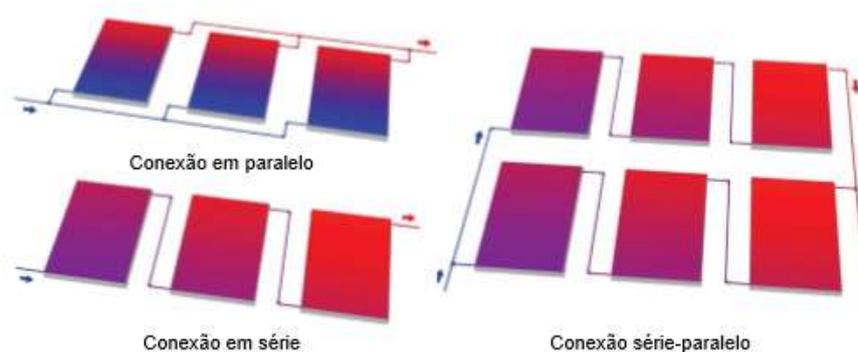


Figura 2.17 - Associação de coletores (COMGAS, 2011).

As ligações em série permitem que um determinado volume de água obtenha uma maior temperatura de água em função do maior tempo de percurso dentro dos coletores. Contudo, temperaturas elevadas tendem a reduzir a eficiência de troca de calor, entre a água e

o coletor. Dessa forma, evitam-se muitos coletores ligados em série mesclando o sistema com fileiras de coletores em paralelo (COMGAS, 2011).

Os coletores solares devem ser posicionados voltados para o Norte geográfico, no caso do Brasil, com desvio máximo de 30° desta direção. O ângulo de inclinação recomendado é igual à latitude local acrescido de 10° , sendo nunca inferior a 15° .

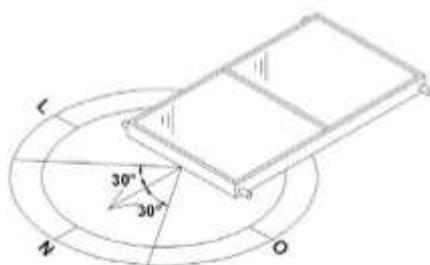


Figura 2.18 - Posicionamento geográfico dos coletores (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

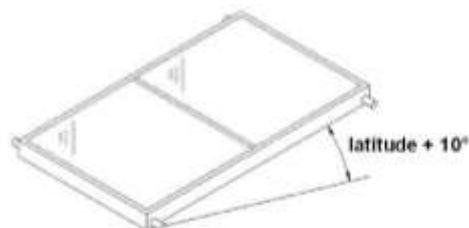


Figura 2.19 - Inclinação dos coletores (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

O reservatório térmico deve ser instalado em um local que suporte o seu peso cheio, tenha fácil acesso para manutenção e dimensões que garantam o bom funcionamento do sistema. A alimentação de água fria deve ser independente, não sendo aconselhável vir da distribuição pública, devido grandes variações de pressão durante o dia. A água fria deve ser provida por uma caixa de água e no tubo de alimentação deve-se instalar um sifão de, no mínimo, 30 cm de altura com a finalidade de evitar o retorno de água quente para o reservatório de água fria (caixa d'água). É recomendável que a tubulação seja de material que suporte a temperatura do sistema e deve ter o tamanho mínimo de 1,5m anterior ao sifão (PROCOBRE, 2009) e deve ter diâmetro igual ou superior à tubulação de consumo de água quente. Em casos de reservatório de água fria não exclusivo para o abastecimento do sistema de aquecimento solar, também é necessária a instalação de uma válvula de retenção junto ao sifão (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

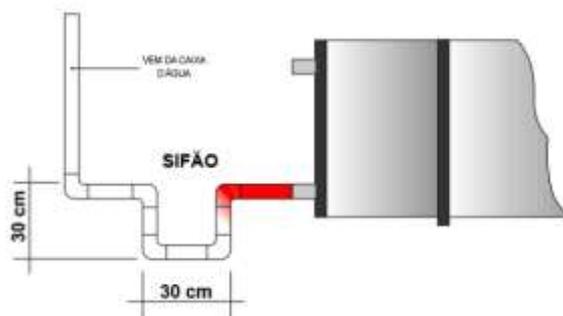


Figura 2.20 – Sifão (ABRAVA, 2008).

Para expelir vapor e bolhas, provenientes do aquecimento da água, deve ser instalado um tubo de respiro, diminuindo a pressão de trabalho ou vácuo. Estes fenômenos podem causar deformação no reservatório e encanamento. O tubo de respiro, com diâmetro mínimo de 15 mm, deve ser instalado em local dedicado ao mesmo no reservatório ou em uma ramificação no tubo de saída para consumo e deve ultrapassar em, no mínimo, 30 cm da altura da caixa d'água e não deve haver obstruções, torneiras ou válvulas. Para sistemas de alta pressão o respiro pode ser substituído por uma válvula de segurança (ABRAVA, 2008).

A tubulação das interligações entre o conjunto de coletores solares e o reservatório de água quente, assim como a tubulação de consumo, é recomendado o uso de tubos de cobre ou latão e possuir isolamento térmico, pois o sistema está sujeito a altas temperaturas podendo causar danificações ou deformações em outros tipos de materiais (ABRAVA, 2008).

Os sistemas de aquecimento solar são classificados conforme o fluxo de água nos coletores (termossifão ou bombeamento), conforme a forma de aquecimento (direto ou indireto) e a disposição física dos equipamentos (convencional, integrado e acoplado) (SOLETROL).

No aquecimento direto a água a ser consumida é aquecida diretamente nos coletores solares, sendo sistemas mais simples e alvo deste trabalho. Já no aquecimento indireto, existe um fluido secundário que é aquecido nos coletores e troca calor com a água que está armazenada no acumulador através de um trocador de calor. Esse sistema é usado em regiões de baixas temperaturas, onde a água que passaria no coletor poderia congelar, ou em casos de fluidos que não podem entrar em contato com a tubulação, como corrosivos.

Sobre a forma em que os equipamentos estão dispostos, os mesmos podem se encontrarem em uma só peça, no caso dos integrados. Os sistemas integrados, embora ocupe o espaço de um coletor, têm grandes perdas de calor durante a noite, pois o acumulador não pode ser isolado devido sua forma de funcionamento. Há sistemas onde os equipamentos do aquecedor já estão conectados de forma que o sistema fique compacto e ocupe pouco espaço

em sua instalação, é o caso dos acoplados. Estes têm circulação natural, rendimento e princípio de funcionamento equivalente aos sistemas convencionais, que serão mais bem descritos a seguir.

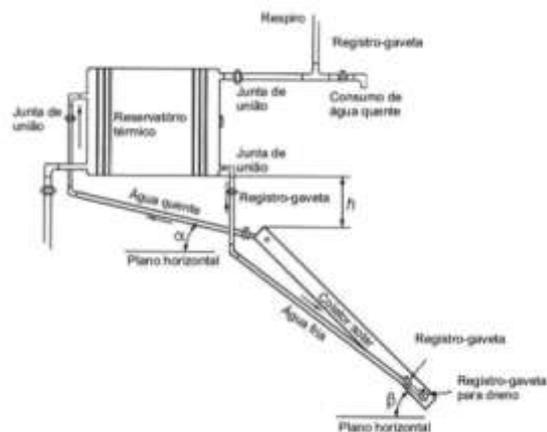


Figura 2.21 - Esquema de circulação natural (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

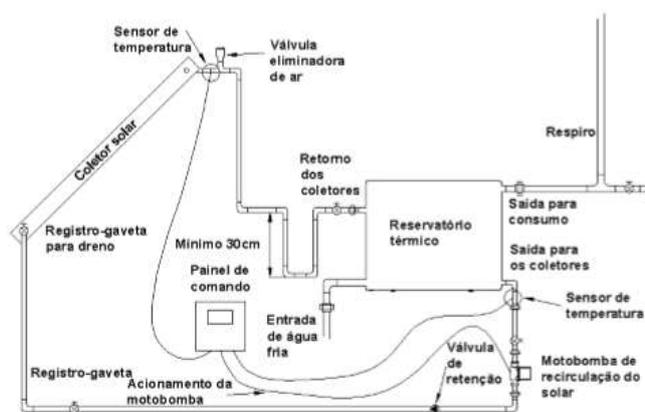


Figura 2.22 - Esquema de circulação forçada (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

1. Termossifão ou circulação natural

Nestes sistemas a circulação do fluido a ser aquecido dentro dos coletores ocorre devido a menor densidade do fluido quente em relação ao frio, não necessitando do uso de bombas. Nesse caso o reservatório deve estar acima da altura dos coletores, permitindo a convecção pela diferença de densidades (OBSERVATÓRIO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA A AMÉRICA LATINA E CARIBE - ONUDI).

Geralmente, são usados tubos com diâmetro de 22 mm para instalações que possuem até 8 m² de área coletora e de 28 mm para instalações entre 8 m² e 12 m², acima disto, torna-se necessário a divisão em baterias menores de coletores. Em casos onde a área é maior que 12 m² e/ou o comprimento total da tubulação ultrapasse 14 m é necessário a utilização de bomba hidráulica para promover a circulação de água entre os coletores e o reservatório. As junções, registros, joelhos e derivações também devem ser considerados no comprimento total, seguindo a tabela a seguir (ABRAVA, 2008).

Diâmetro (mm)	Comprimento equivalente (m)				
	cotovelo 90°	Curva 45°	passagem direta	passagem lateral	registro gaveta aberto
22	1,2	0,5	0,8	2,4	0,2
28	1,5	0,7	0,9	3,1	0,3

Figura 2.23 - Comprimentos equivalentes das junções (ABRAVA, 2008).

As alturas dos componentes do sistema devem seguir os critérios de instalação para um bom aproveitamento. Estes valores podem variar de acordo com a tecnologia usada na fabricação do reservatório escolhido, há reservatórios que permitem a instalação no mesmo nível do tubo de retorno dos coletores, porém é sempre necessária uma altura maior, ou igual, que 1m entre a base do coletor e o reservatório. Em casos onde não é possível se ter a altura final necessária há duas soluções: torre para elevação do acumulador ou o uso de bombas, ou seja, de um sistema de circulação forçada (SOLETROL).

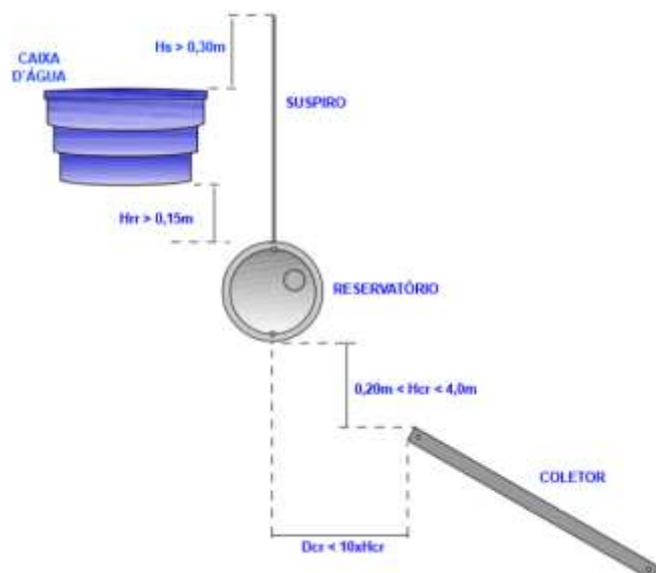


Figura 2.24 - Alturas recomendadas para Termossifão (ABRAVA, 2008).

Legenda

Hs – Altura do Suspiro
Hrr – Altura entre os reservatórios
Hcr – Altura entre os coletores e reservatório
Dcr – Distancia entre o reservatório e coletores

2. Circulação Forçada

Na impossibilidade de se instalar os coletores solares abaixo do reservatório térmico ou em instalações de médio e grande porte, a bomba hidráulica será utilizada. Existem no mercado, para instalações de pequeno porte, bombas silenciosas de consumo reduzido que

atendem as especificações de um sistema de aquecimento solar. As bombas mais utilizadas em sistemas de pequeno porte variam de 1/25 CV a 1/4 CV, sendo acionadas diretamente pelo controlador diferencial de temperatura (ABRAVA, 2008).

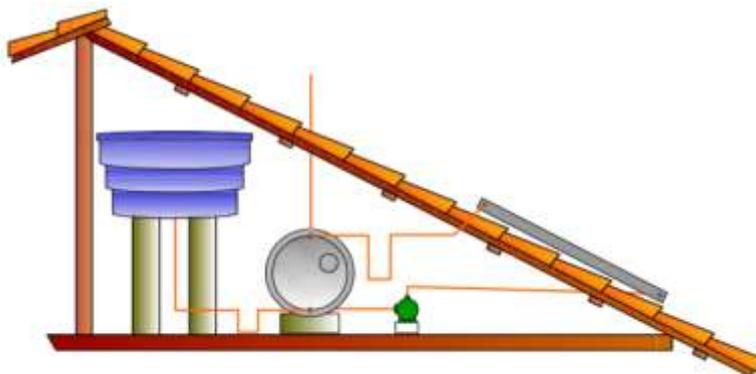


Figura 2.25 - Sistema de aquecimento solar de circulação forçada (ABRAVA, 2008).

A bomba deve ter um registro instalado nas tubulações adjacentes para fins de manutenção e uma válvula de retenção em sua saída de água. Deve trabalhar afogada e em local arejado, evitando superaquecimento, fixada de forma que sua vibração não seja propagada pelo sistema de aquecimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008), mantendo seu eixo na horizontal para evitar danos em seus componentes internos (ABRAVA, 2008).

O sistema de controle da bomba se baseia na diferença de temperatura entre a água nos coletores e no reservatório térmico, por isso recebe o nome de controlador diferencial de temperatura. Quando houver uma diferença igual ou maior que a pré-estabelecida entre a temperatura medida pelos sensores instalados, o controlador aciona a bomba de forma a levar água quente que está nos coletores até o acumulador. A bomba permanece até que essa diferença de temperatura seja nula ou atinja um segundo valor determinado. Alguns modelos dispõem de sistema anticongelamento onde, quando detecta temperatura muito baixa, a bomba é acionada para circular água nos coletores até sair desta condição (ABRAVA, 2008).

Os sensores que medem as temperaturas do reservatório e coletores podem ser fixados nos tubos metálicos ou em local próprio e devem, depois de fixados, ser protegidos e isolados termicamente de forma a medir apenas a temperatura da água e não do ambiente onde se encontram (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

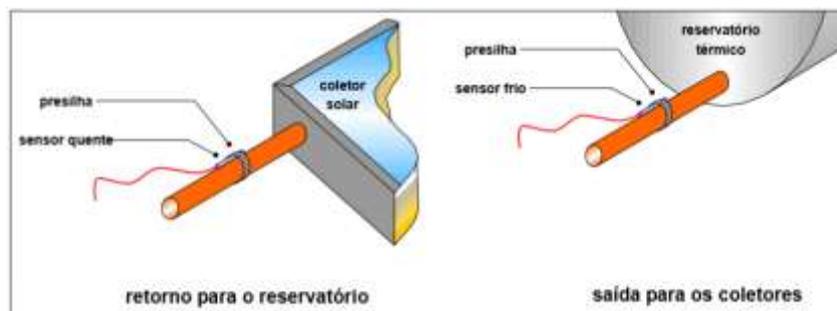


Figura 2.26 - Esquema de fixação dos sensores (ABRAVA, 2008).

3. Misturadores

Esse equipamento possibilita o controle das vazões de água aquecida e de água fria de forma a ajustar a temperatura final da água a ser consumida.

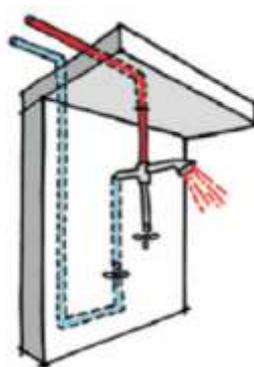


Figura 2.27 - Esquema de funcionamento do registro misturador (SOLETROL).

Os misturadores mais comuns são compostos de duas válvulas manuais, sendo uma para água quente e outra para água fria, porém existem misturadores que controlam a vazão de ambas em um único registro. Esses misturadores devem ser instalados próximos a cada peça que necessite do uso de água aquecida devido à necessidade de controle manual da temperatura e vazão pelo usuário.

Controle manual de temperatura da água é um processo dispendioso, durante o uso da água aquecida pode haver a necessidade de reajustes que além do desconforto podem causar queimaduras. Para evitar essas situações há válvulas misturadoras e controladores automáticos de temperatura da água.



Figura 2.28 - Válvula misturadora de água (RINNAI)

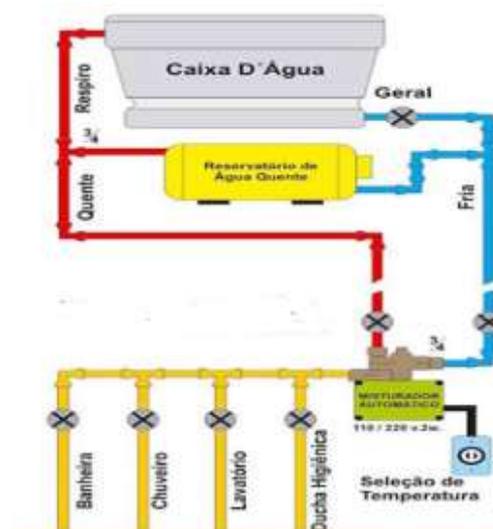


Figura 2.29 - Esquema de instalação do misturador automático (ACQUASOL).

As válvulas misturadoras se diferenciam dos registros misturadores por não necessitarem estar junto às peças de consumo de água quente, este fato permite o uso de tubos e métodos de instalação convencionais, evitando adequações construtivas em edificação já construída e diminuindo custos em novas construções. O ajuste de temperatura também é manual, porém este deve ser feito através de um parafuso de ajuste o que impossibilita o reajuste para diferentes situações, ou seja, a temperatura é ajustada e não controlada.

Os controladores automáticos permitem ajustes da temperatura desejada pelo usuário através de interfaces, como botões e celulares, sem a necessidade do contato com o equipamento. A temperatura final é controlada automaticamente, proporcionando uma água com temperatura igual ou muito próxima da desejada mesmo que as condições de temperatura das águas que alimentam o sistema variem.

4. Dimensionamento

Para dimensionamento da capacidade de armazenamento é necessário saber quantas pessoas residem no local e os pontos onde é necessária água quente. Assim pode-se estimar o consumo total diário, porém os valores dependem das condições específicas da utilização de água quente na residência. Segue uma tabela de valores de referencia de consumo e temperatura para diferentes aplicações domiciliares.

Peças	Consumo mínimo	Consumo máximo	Ciclo diário (minuto/pessoa)	Temperatura de consumo °C
Ducha de banho	3,0 L/min	15,0 L/min	10	39 – 40
Lavatório	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39 – 40
Ducha higiênica	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39 – 40
Banheira	80 L	440 L	banho	39 – 40
Pia de cozinha	2,4 L/min	7,2 L/min	3	39 – 40
Lava-louças (12 pessoas)	20 L	20 L	ciclo de lavagem	39 – 50
Máquina de lavar roupa	90 L	200 L	ciclo de lavagem	39 – 40

Figura 2.30 - Tabela de pontos de utilização de água quente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

Considerando a vazão, o tempo e a frequência de uso das peças que utilizam água aquecida pode ser dimensionado do volume de consumo através da equação a seguir (sugere-se que o volume de água armazenado seja maior ou igual a 75% do volume de consumo) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

$$V = \sum (Q \cdot T \cdot F) \quad (1)$$

Onde V é o volume de consumo total de água quente consumido diariamente expresso em litros [L], Q é a vazão da peça de utilização, expresso em litros por segundo [L/s], T é o tempo médio de uso diário da peça de utilização expressa em segundos e F é a frequência de uso das peças de utilização por dia (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

Uma metodologia de dimensionamento para cálculo da área coletora se baseia em apenas duas equações (MOGAWER, TAMER; SOUZA, TEÓFILO MIGUEL DE, 2004):

$$Q = M.C. (T_{cons} - T_{amb}) \quad (2)$$

$$S = Q / (I.N) \quad (3)$$

Onde Q é a quantidade de calor necessária para aquecer a água a temperatura desejada expressa em quilocaloria [Kcal], M é a massa de água a ser aquecida expressa em quilograma [Kg] (1litro = 1 quilograma), C é o calor específico da água [Kcal/(kg.°C)] ($C = 1$ Kcal/kg °C), T_{cons} é a temperatura de armazenamento da água expressa em graus célsius [°C] (recomenda-se que seja próximo de 60 °C (COMGAS, 2011)), T_{amb} é a temperatura ambiente média expressa em graus célsius [°C], S é a área coletora expressa em metros quadrados [m²], I é o índice de radiação média [Kcal/(m².dia)] e N é o rendimento dos coletores.

3 METODOLOGIA

3.1 Estudo de caso de instalação do sistema de aquecimento solar

Propor um sistema de aquecimento solar residencial requer o estudo de vários fatores que identificam tanto a edificação quanto os moradores a qual receberá este sistema. Condições geográficas, como a latitude, construtivas, como a inclinação do telhado, e das práticas familiares, como o consumo diário de água, são determinantes para a escolha da metodologia mais adequada para a instalação do sistema de aquecimento.

Esse capítulo tem como objetivo propor uma solução para implantação de um sistema de aquecimento solar para uma residência unifamiliar, localizada no ponto de latitude $20^{\circ}21'34''$ sul e de longitude $34^{\circ}24'57''$ oeste, em Mariana, Minas Gerais.

A média de temperatura anual na cidade de Mariana é de 19°C (PREFEITURA MUNICIPAL DE MARIANA, 2014), com índice médio diário de radiação solar de $4302,1 \text{ Kcal/m}^2$ (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, 2012).

Composta por três pessoas, a família toma, em média, quatro banhos diários com duração de quinze minutos, sendo dois pela manhã e dois durante a noite. Esta habitação possui apenas um ponto de consumo de água quente, aquecida por um chuveiro elétrico com vazão de 9 litros por minuto.

A construção apresenta apenas um telhado de 45 metros quadrados, voltado para o sul geográfico que está, em sua totalidade, acima das caixas d'água. Os dois reservatórios de água fria, com capacidade de 500 litros, são alimentados pelo serviço municipal de abastecimento de água e se encontram lado a lado sobre a laje do banheiro.

Após o levantamento dos dados da edificação e da família pode-se dimensionar os equipamentos do sistema de aquecimento solar usando das equações abordadas no capítulo anterior.

Considerando que se recomenda a instalação do conjunto de coletores voltados ao norte geográfico, com variação máxima de 30° , e que o telhado tem orientação sul, a edificação não proporciona condições para um bom rendimento dos coletores. Propõe-se a construção de uma torre de elevação, com altura maior que o telhado, na laje do banheiro para que nela possam ser instalados os coletores orientados para norte e instalados o reservatório térmico usando da circulação natural da água. A torre deve ser dividida de forma a receber o

reservatório térmico, o reservatório de água fria e os coletores, e respeitar as alturas indicadas na figura 25.

Para atender a demanda total de água quente é necessário armazenar todo o consumo de água dos banhos, visto que durante a noite a água não pode ser aquecida, devido à baixa energia solar, para os banhos da manhã.

Portanto, considerando as informações sobre o consumo de água da família, é possível apurar o volume a ser armazenado através da equação 1.

$$V = \sum (Q.T.F) = 9 \frac{L}{min} \times 15 \text{ min} \times 4 = 540 \text{ litros}$$

Como não há no mercado um reservatório com capacidade de 540 litros, deve-se procurar um que armazene volume próximo. Como há duas caixas d'água com capacidade de 500 litros já instalados na casa, pode-se usar uma delas como reservatório de água quente. Para isso é necessário que a caixa d'água passe por adaptações para diminuir as perdas de calor e proporcionar o bom funcionamento do sistema de aquecimento solar. As etapas para montagem do reservatório térmico de água quente são descritas no manual da Sociedade do Sol (SOCIEDADE DO SOL, 2009). As vantagens da utilização deste sistema de armazenamento são a reutilização de componentes que já se encontram no local, baixo custo e aceitabilidade de alimentação de água direta do sistema de distribuição municipal.

Definido o volume de armazenamento é possível estimar a quantidade de energia necessária para o aquecimento da água armazenada. Nesta etapa deve-se ser estipulada a temperatura de armazenamento da água, segundo recomendação da COMGAS será definido a temperatura final desejada de 60°C.

$$Q = 500 \text{ Kg} \times 1 \text{ Kcal/kg/}^{\circ}\text{C} \times (60^{\circ}\text{C} - 19^{\circ}\text{C}) = 20500 \text{ Kcal}$$

A área coletora depende tanto da energia necessária para o aquecimento do volume de água de armazenamento quanto da radiação solar e do rendimento dos coletores escolhidos. A diferença entre a temperatura média anual da cidade de Mariana, 19°C, e a temperatura final desejada, 60°C, é de 41°C. Baseando-se na figura 8 é possível afirmar que os coletores sem

cobertura não tem aplicabilidade para esta faixa de diferença de temperatura. Para os demais coletores e a faixa de temperatura em questão, o coletor fechado é recomendado para aquecimento de água de banho, pois mesmo quando a diferença de temperatura atinge 60 °C, o coletor mantém rendimento entre 60 e 75% (INSTITUTO EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS, 2010).

Referenciando na tabela do Inmetro de eficiência energética dos coletores solares térmicos para aplicação de banho é possível determinar qual modelo e marca escolher, assim como sua área e seu rendimento médio. O modelo escolhido neste estudo de caso foi STC-A518 da SOLTEC, cujo rendimento médio é de 67,5% e área de 1,81 m² (INMETRO, 2014).

$$S = \frac{20500 \text{ Kcal}}{4302,1 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2} \times 0,675} = 7,06 \text{ m}^2$$

Para definir o número de placas a serem instaladas, basta dividir a área coletora calculada pela área de cada placa. Logo, para o caso, serão necessários quatro coletores solares. Os coletores deverão ser instalados em série com orientação ao norte geográfico e com inclinação de 30°, aproximadamente, seguindo a recomendação da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Os tubos e conexões devem ser dimensionados de forma a evitar grande perda de carga na água que passa em seu interior. Caso essa perda seja muito grande a água perderá pressão e não conseguirá retornar naturalmente ao reservatório térmico. As alternativas para esse caso são o uso de bombas hidráulicas ou, se possível, aumentar o diâmetro da tubulação, diminuindo a perda de carga.

Visando evitar a troca da tubulação já existente para alimentação do chuveiro ou adição de novos tubos e registros, evitando mais adequações construtivas na edificação, indica-se o uso de um controlador automático para mistura da água anteriormente a distribuição da água para banho.

3.2 Proposta de controlador automático para mistura da água

Propõe-se um sistema de controle da temperatura e vazão da água de consumo do sistema de aquecimento solar. Através de um aplicativo de celular que se comunica com o controlador através do Bluetooth, pode-se ajustar a temperatura e a vazão desejadas pelo usuário, além de desligar e ligar o chuveiro.

3.2.1 Comunicação Bluetooth

Bluetooth é um meio pelo qual dispositivos podem estabelecer uma conexão sem fio para troca de dados, através de ondas eletromagnéticas de radio frequência, visando substituir o cabeamento necessário para comunicação entre dispositivos eletrônicos, manter níveis elevados de segurança, ter baixo consumo de energia e baixo custo. A comunicação bluetooth pode ser explicada como um diálogo entre cliente e servidor. O servidor abre um soquete e, juntamente a ele, atribui um identificador com a função de definir o tipo de protocolo de comunicação a ser estabelecido, além de garantir que aplicações que façam uso de um mesmo hardware bluetooth não entrem em conflito. Para que os dispositivos possam se conectar um ao outro, é necessário que ambos passem por um processo de autenticação chamado pairing, onde é definido um código de acesso que deve ser digitado pelos mesmos. Este código é essencial apenas na conexão inicial, a partir daí ela passa a ser definitiva (MORIMOTO, 2008).

3.2.2 Controlador

O controlador proposto neste trabalho consiste em um Arduino UNO com um módulo Bluetooth que receberá os comandos por um Smartphone através de um aplicativo Android.

O Arduino é um microcontrolador de placa única, projetado para tornar mais acessível o processo de utilização da eletrônica em projetos multidisciplinares, ou seja, é um computador minúsculo que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos que conectar a ele. O hardware e o software são ambos

open source, o que significa que o código, os esquemas, o projeto etc. são abertos e qualquer pessoa pode usá-los livremente para fazer o que desejar (MCROBERTS, 2015).

A placa Arduino UNO é composta de um microprocessador Atmel ATmega328P, um cristal de quartzo de 16 MHz (que envia pulsos de tempo em uma frequência especificada para permitir sua operação na velocidade correta), saída USB que permita conectá-lo a um PC ou Mac a fim de fazer upload ou recuperar dados, um regulador de voltagem de 5. A placa expõe os 14 pinos de entrada/saída do microcontrolador para que você os conecte a outros circuitos ou a sensores etc. Dentre esses pinos há dois para comunicação serial (RX e TX), dois para interrupções externas, seis entradas analógicas e seis saídas de PWM (pulsos de largura modulada especificada em software) (ARDUINO, 2016).

Para programar o Arduino utiliza-se o Arduino Software (IDE) e o Arduino Bootloader (software programado no chip para permitir que ele seja utilizado com o IDE do Arduino), que é um software livre. A linguagem é baseada em C/C++ e pode até ser estendida por meio de bibliotecas C++.

Uma vantagem considerável do uso é que ao criar-se algo interessante com um Arduino e depois quiser transformá-lo em alguma coisa permanente, em vez de utilizar uma placa Arduino relativamente cara, pode-se simplesmente usar o Arduino para desenvolver o seu dispositivo e programar o microcontrolador, depois poderá retirar o chip da placa e colocá-lo em uma placa de circuito personalizada (MCROBERTS, 2015).

Como o Arduino não é dotado de um dispositivo para comunicação sem fio, é necessário o uso de um módulo bluetooth para a troca de dados com o celular. O módulo possui interface serial, assim como o Arduino, o que permite a interação entre ambos. Além da alimentação do módulo, a conexão deve ser feita através dos pinos RX e TX, responsáveis pela comunicação serial, de forma que o RX do módulo seja ligado fisicamente ao TX do Arduino e o TX do módulo ao RX do Arduino.

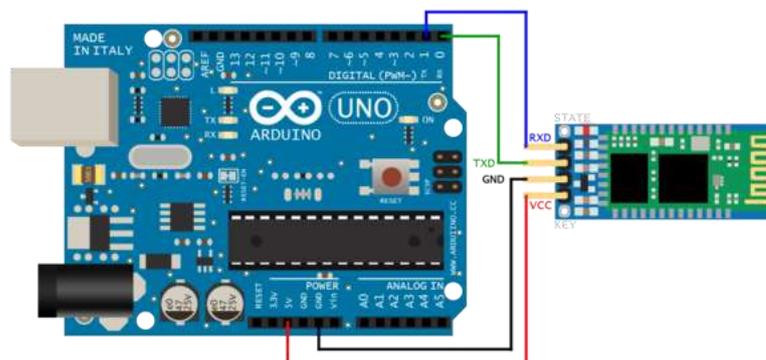


Figura 3.1 - Esquema de ligação entre o Arduino e o módulo bluetooth.

3.2.3 Controle

O projeto de controle se baseia na equação que descreve o comportamento da mistura. Manipulando a equação do balanço energético do sistema, onde a energia final é igual o somatório da energia de entrada, chega-se na equação 3.

$$T_m = \frac{v_q T_q + v_f T_f}{v_q + v_f} \quad (3)$$

Onde T_m é a temperatura da mistura, v_q é a vazão volumétrica da água quente, T_q é a temperatura da água quente, v_f é a vazão volumétrica da água fria, T_f é a temperatura da água fria. As temperaturas são dadas em graus celsius e as vazões volumétricas em litros por minuto.

Medir as temperaturas da água quente e fria e atuar sobre a vazão volumétrica das mesmas permite alcançar e manter a temperatura desejada para água de consumo. Usam-se termômetros como sensores e eletroválvulas proporcionais para atuar sobre as vazões, cujo somatório determina a vazão da mistura.

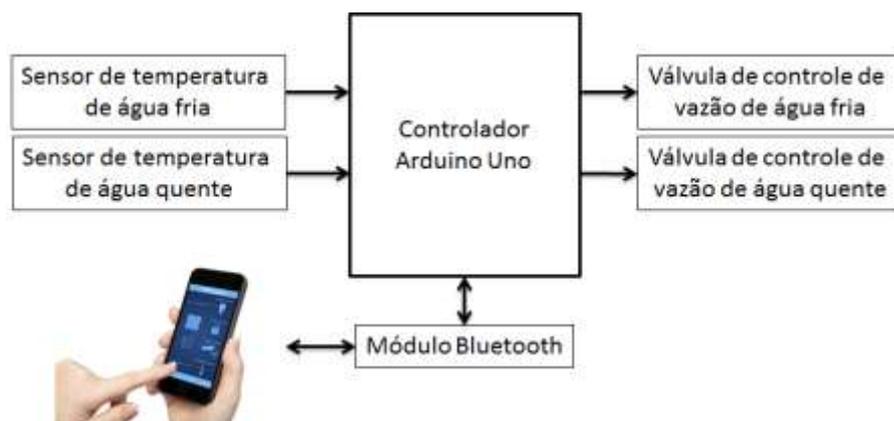


Figura 3.2 - Esquema do controlador.

A partir das medições dos sensores de temperatura e a indicação da temperatura desejada e a vazão para o banho pelo usuário temos duas equações e duas variáveis, o que

define o sistema de equações possível e determinado, proporcionando obter-se o valor das vazões de água quente e fria para que se atinja a temperatura desejada para a mistura.

A temperatura de um corpo tem comportamento analógico, ou seja, possui infinitos valores entre dois pontos quaisquer, portanto, para que o controlador consiga trabalhar com essas variáveis físicas devem-se usar as portas analógicas. Estas portas são dotadas de um conversor Analógico/Digital que digitaliza estes dados de forma a possibilitar a manipulação dos valores pelo processador. Para relacionar o valor lido com o valor de temperatura deve-se consultar o gráfico que relaciona estes valores presente no manual do equipamento.

Como a vazão a ser controlada também é uma variável analógica e o Arduino não possui saídas analógicas deve-se usar a saída de PWM, ou Modulação de Largura de Pulso, que gera pulsos de tensão constante com largura definida e ajustável. A largura do sinal determina o ciclo de trabalho do atuador, ou seja, variando a largura do pulso e também o intervalo de modo a termos ciclos ativos diferentes, podemos controlar a potência média aplicada a uma carga. Assim, quando a largura do pulso varia de zero até o máximo, a potência também varia na mesma proporção.

Para obter as vazões calculadas indica-se o uso de válvulas hidráulicas proporcionais propiciam o controle de sua abertura através de sinal elétrico e não atuam com apenas duas posições, ligado ou desligado. No manual das válvulas encontram-se gráficos que correspondem o ciclo de trabalho do sinal de comando com a vazão, de acordo com diferentes condições de instalação. A curva deve ser representada e armazenada na memória do microcontrolador para usar de referência para as saídas que controlam as válvulas.

Enfim, as informações técnicas e de montagem dos sensores, atuadores e microcontroladores devem ser observadas no manual, pois podem variar entre diferentes modelos e fabricantes. Esta etapa é importante para obter-se um bom desempenho e evitar danos nos equipamentos eletrônicos.

4 RESULTADOS

Como solução de implantação de um sistema de aquecimento solar de água em uma residência unifamiliar já edificada, detalhada durante a metodologia deste trabalho, propõe-se a construção de uma torre para elevar o reservatório térmico e proporcionar a instalação de quatro coletores solares, conectados em série, voltados para o norte geográfico e com inclinação de 30°.

A construção da torre é justificada pela falta de algum telhado ou local que aceite a fixação dos coletores seguindo as recomendações citadas e por permitir a circulação natural da água entre coletores e reservatório térmico, também chamado de termossifão, devido à diferença na altura e pressão destes equipamentos. Esta metodologia de instalação reduz custos em montagem e manutenção do sistema de aquecimento por não necessitar de bomba hidráulica e trabalhar com baixa pressão.

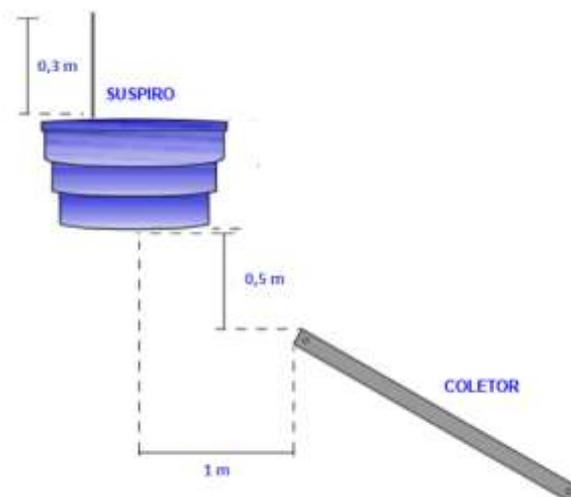


Figura 4.1 - Altura definidas para o sistema de aquecimento solar proposto

Visando o aproveitamento dos materiais já existentes na construção indica-se adaptar a uma das caixas d'água com materiais isolantes térmicos de forma a usa-la como reservatório térmico para o sistema de aquecimento solar. Esta caixa tem capacidade de 500 litros, valor muito próximo ao calculo da demanda familiar diária de água para o banho.

O misturador proposto, além de evitar a troca da tubulação existente, tem o intuito de controlar a temperatura da água para banho segundo a vontade dos diferentes usuários, aceitando reajustes constantes e com facilidade através do celular.

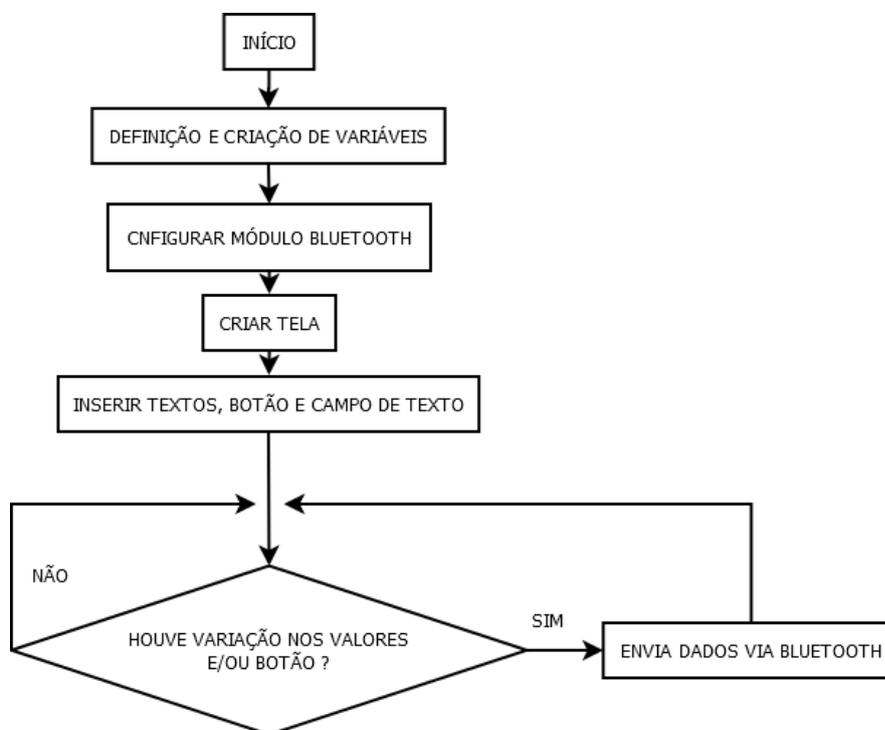


Figura 4.2 - Fluxograma do aplicativo para celular

O aplicativo tem a função de alterar os valores desejados para a temperatura e para a vazão do banho. É composto de uma única tela contendo um botão para ligar e desligar a água para o banho e dois campos para receber texto de alfanuméricos com valor de temperatura e vazão. Qualquer modificação nos valores inseridos ou do estado do botão, todas as informações são reenviadas ao controlador através de Bluetooth para que o mesmo possa atuar.

As informações enviadas ao controlador, que está inicialmente em espera pela ação do botão, acionam uma interrupção que faz a leitura dos valores e os atribuem às variáveis na memória. Assim que o banho é ligado, ou seja, o botão for pressionado pela primeira vez, são feitas leituras das temperaturas da água quente, fria e misturada e essas comparadas ao valor indicado pelo usuário por meio do aplicativo. Caso a temperatura da mistura esteja diferente da temperatura desejada, o controlador age sobre as eletroválvulas ajustando as vazões de água quente e fria conforme os valores encontrados através da equação 3. Estes valores correspondem a um nível de tensão determinado no manual das válvulas e, assim como para a

leitura dos sensores de temperatura, exige a existência e configuração de módulos de conversão de valores analógicos para digitais e digitais para analógicos.

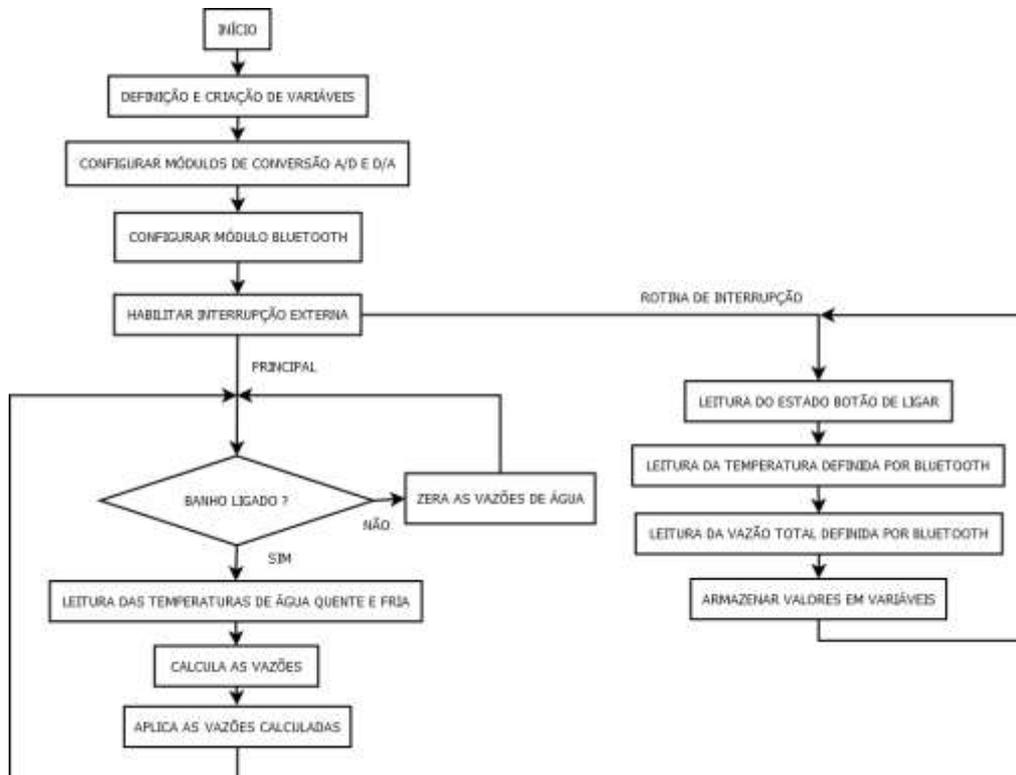


Figura 4.3 - Fluxograma de funcionamento do controlador

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Os sistemas de aquecimento solar usados em residências são um importante aliado tanto na economia familiar quanto na preservação de recursos naturais usados geração de energia elétrica, considerando que o chuveiro elétrico é o equipamento de maior relevância no consumo energético residencial no Brasil.

Realizou-se um estudo sobre a seleção dos equipamentos e do método de instalação dos sistemas solares para residências devem se basear no comportamento familiar, localização geográfica e aspectos construtivos das edificações. Aspectos financeiros também devem ser considerados. Embora as soluções comerciais não sejam de alcance popular, existem metodologias de construção alternativas dos equipamentos básicos necessários para o aquecimento solar de água usando materiais reutilizáveis, recicláveis e de baixo custo.

Na solução de aquecimento solar proposta observa-se o uso de equipamentos convencionais junto a alternativos de forma a aproveitar o máximo dos materiais já existentes na edificação sem grande perda na eficiência do sistema e barateando o gasto inicial da instalação.

Tanto os sistemas convencionais quanto os sistemas alternativos de aquecimento solar são susceptíveis de serem automatizados. Em algumas montagens, como a circulação forçada, o uso da automação é necessária para o controle das bombas hidráulicas, porém para as demais situações as soluções autônomas podem proporcionar comodidade, economia de recursos hídricos, conforto para os banhistas e o uso de tubulações convencionais de PVC, diminuindo o custo de instalação e reduzindo a necessidade de modificações estruturais em edificações já construídas.

Foi proposto um controlador automático de temperatura da mistura que proporciona facilidade de interação com o usuário, por meio do dispositivo móvel e comunicação Bluetooth, porém não garante estabilidade e precisão no controle, sendo que o mesmo não é realimentado e, conseqüentemente, não percebe variações na temperatura e vazão final da água misturada.

O estudo sobre a comunicação entre dispositivos móveis e microcontroladores mostrou que o Bluetooth é uma ferramenta adequada a varias aplicações onde o usuário está em distancias curtas do sistema embarcado. O uso de celulares, além de permitir a troca de dados em tempo real, possibilita uma interface mais barata, porém pouco amigável e atraente ao se comparar com os displays potencialmente fixados na parede da casa de banho para interface com o dispositivo eletrônico de controle.

5.1 Sugestão para trabalhos futuros

- Implantar a sugestão de sistema de aquecimento solar na residência alvo do estudo de caso proposto;
- Fazer o estudo detalhado sobre o rendimento dos equipamentos e do sistema de aquecimento propostos;
- Projetar um controlador de temperatura e vazão do chuveiro em malha fechada;
- Enviar informações para o celular, em tempo real, sobre o banho, como a economia energética e o tempo e volume de água gastos, e fornecer um historiograma com as informações coletadas.

BIBLIOGRAFIA

ABRAVA. MANUAL DE CAPACITAÇÃO EM PROJETOS DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR, Abril 2008. Disponível em: <www.dasolarbrava.org.br>. Acesso em: 2 Janeiro 2016.

ACQUASOL. Misturador. **ACQUASOL**. Disponível em: <<http://www.acquasolrio.com.br/misturador.html>>. Acesso em: 3 Fevereiro 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2005.

ARDUINO. Arduino UNO & Genuino UNO. **ArduinoBoardUno**, 2016. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em: 2 fev 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto - Projeto e instalação**. [S.l.]: [s.n.], 2008.

C. TIBA ET AL. **Atlas Solarimétrico do Brasil**: banco de dados terrestres. Recife: Editora Universitária da UFPe, 2000.

CELESC. AQUECEDOR SOLAR COMPOSTO DE PRODUTOS DESCARTÁVEIS - MANUAL DE CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO, Maio 2009. Disponível em: <<http://novoportal.celesc.com.br/portal/images/arquivos/manuais/manual-aquecedor-solar.pdf>>. Acesso em: 18 Janeiro 2016.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL, 1999.

COMGAS. Sistema de Aquecimento de Água para Edifícios através da associação Energia Solar e Gás Natural – Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Solar & Gás Natural, Março 2011. Disponível em: <www.comgas.com.br>. Acesso em: 4 Dezembro 2015.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Atlas Solarimétrico de Minas Gerais**. Belo Horizonte: [s.n.], 2012.

COMPLANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Alternativas Energéticas**: uma visão da Cemig. Belo Horizonte: [s.n.], 2012.

COSTA, R. N. A. **Viabilidades térmica, econômica e de materiais de um sistema solar de aquecimento de água a baixo custo para fins residenciais**. [S.l.]: [s.n.], 2007.

FERNANDO RAMOS MARTINS, E. B. P. E. M. P. D. S. E. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário – o Projeto Swera. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 26, 2004.

INMETRO. Tabelas de consumo/Eficiência energética: Inmetro. **Site do Inmetro**, 2014. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColetoresSolares-banho.pdf>>. Acesso em: 2 Fevereiro 2016.

INSTITUTO EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS. Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar, 2010. Disponível em: <http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/60551/mod_resource/content/1/Apostila_Aquecimento_Solar.pdf>. Acesso em: 3 Fevereiro 2016.

KALOGIROU, S. The potential of solar industrial process heat applications. **Applied Energy**, v. 76, n. 4, p. 337–361, 2003.

MANEA, T. F. **Desenvolvimento de uma bancada para ensaios de coletores solares de tubos de vidro a vácuo**. [S.l.]: [s.n.], 2012.

MANEA, T. F. E. A. Determinação de parâmetros de desempenho para coletores solares tubulares a vácuo. **Labsol/PROMEC/UFRGS**, p. 1-10, 2010.

MARTINS, N. A. **Sistemas Microcontrolados**. 1ª. ed. [S.l.]: Novatec, v. I, 2005.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. 2ª. ed. São Paulo: Novatec, v. 2, 2015.

MEKHILIEF, S.; SAIDUR, R. E. S. A. A review on solar energy use in industries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 4, p. 1777–1790, 2011.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Enegetico Nacional 2015**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2015.

MOGAWER, TAMER; SOUZA, TEÓFILO MIGUEL DE. **Sistema solar de aquecimento de água para residências populares**. 5º Encontro de Energia no Meio Rural. [S.l.]: [s.n.], 2004.

MORIMOTO, C. E. **Redes, guia prático**. Porto Alegre: Sul Editores, 2008.

OBSERVATÓRIO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA A A AMÉRICA LATINA E CARIBE - ONUDI. **Energia Solar Térmica**. [S.l.]: Programa de Capacitação em Energias Renováveis.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MARIANA. Dados Demográficos: Prefeitura Municipal de Mariana. **Site da Prefeitura Municipal de Mariana**, 2014. Disponível em: <<http://prefeitura2014.pmmariana.com.br/dados-demograficos>>. Acesso em: 1 Fevereiro 2016.

PROCOBRE. Qualidade em Instalações de Aquecimento Solar, São Paulo, Dezembro 2009. Disponível em: <<http://www.dasolabrava.org.br>>. Acesso em: 3 Dezembro 2015.

RINNAI. Acessórios: válvulas misturadoras automáticas. **Site da Rinnai**. Disponível em: <<http://www.rinnai.com.br/produto/valvula-misturadora-automatica-serie-mx-140>>. Acesso em: 3 fev 2016.

SIQUEIRA, D. A. **ESTUDO DE DESEMPENHO DO AQUECEDOR SOLAR DE BAIXO CUSTO**. Tese de mestrado. Uberlândia: [s.n.], 2009.

SOCIEDADE DO SOL. MANUAL DE MANUFATURA E INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL DO - ASBC - AQUECEDOR SOLAR DE BAIXO CUSTO, Julho 2009. Disponível em: <www.sociedadedosol.org.br>. Acesso em: 18 Janeiro 2016.

SOLAREM. Aquecedor Solar TUMA. Disponível em: <<http://www.aquecedorsolartuma.com.br/boiler-solar-tuma.php>>. Acesso em: 14 Janeiro 2016.

SOLETROL. Suporte: Manuais: Guia Rápido para Profissionais. Disponível em: <http://www.soletrol.com.br/extras/manuais/pdfs/guia_rapido_para_profissionais.pdf>. Acesso em: 14 Janeiro 2016.

SPRENGER, R. L. **APLICAÇÃO DO SISTEMA FECHADO NO AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA DE BAIXO CUSTO PARA RESERVATÓRIOS RESIDENCIAIS ISOLADOS TERMICAMENTE: CONCEPÇÃO E COMISSONAMENTO DE UM SISTEMA-PILOTO DE TESTES**. Tese de Mestrado. Curitiba: [s.n.]. 2007.

TAIBI, E.; GIELENB, D. E. B. M. The potential for renewable energy in industrial applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 1, p. 735–744, 2012.
VANNONI, C.; BATTISTI, R. E. D. S. **Task 33 - Potential for Solar Heatin Industrial Processes**. Madrid: CIEMAT, 2008.