

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA
CURSO DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

ALEXANDRE LARA

CASSIANO FACHIN

SISTEMA DE AQUECIMENTO E POSICIONAMENTO DE PAINEL SOLAR

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2013

ALEXANDRE LARA

CASSIANO FACHIN

SISTEMA DE AQUECIMENTO E POSICIONAMENTO DE PAINEL SOLAR

Trabalho de Diplomação de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso de Tecnologia em Automação de Processos Industriais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. César Rafael Claire Torrico.

PATO BRANCO

2013

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de diplomação intitulado **Sistema de Aquecimento e Posicionamento de Painel Solar** foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° **151** de 2013.

Fizeram parte da banca os professores:

Prof.D. Eng. César Rafael ClaureTorrico.

Prof. Fabio Brignol de Moraes

Prof.Me. Marcelo Guepfrih

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus que nos propicia a dádiva da vida. Aos nossos pais e familiares, que foram o alicerce do que somos. A todas as pessoas e amigos que de alguma forma colaboraram para a elaboração deste trabalho. A todo grupo de professores, em especial ao Professor. Doutor, César Rafael Claire Torrico, que não mediu esforços para colaborar para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

LARA, Alexandre;FACHIN, Cassiano.Sistema de Aquecimento e Posicionamento de Painel Solar. 2013. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Automação Industrial) - Programa de Graduação em Tecnologia,Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo para um sistema de posicionamento de painéis solares e aquecimento de água, este fenômeno natural é chamado de termossifão. Um sistema de microcontrolador é responsável pelo controle do sistema, incorporado também RTC relógio de tempo real, que faz o controle de dias meses e anos. O movimento do painel solar tem um servomotor ligado ao painel móvel, para efetuar o posicionamento e movimento, a temperatura da água que flui através do sistema é apresentado através de um visor LCD e monitorizado por meio de sensores de temperatura. Os resultados são apresentados e discutidos no final deste trabalho.

Palavras-chave: Protótipo. Termossifão. Temperatura. Coletor.

ABSTRACT

LARA, Alexandre; FACHIN, Cassiano. Heating System and Solar Panel Placement. 2013. 60f. Graduation Conclusion Work (Graduation in Industrial Automation Technology) – Technology Graduation Program, Federal University of Technology. Paraná.PatoBranco, 2013.

This work presents the development of a prototype for a positioning system of solar panels and water heating, this natural phenomenon is called thermosiphon. A system microcontroller is responsible for the control system, also incorporated RTC real time clock, which controls the days months and years. The movement of the solar panel has a servomotor connected to the movable panel, to perform positioning and movement, temperature of water flowing through the system is displayed via an LCD display and monitored by temperature sensors. The results are presented and discussed at the end of this work.

Keywords:Prototype.Thermosiphon.Temperature.Collector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema básico de aquecimento solar.....	13
Figura 2 - Sistema de aquecimento por termossifão.....	14
Figura 3 - Sistema de aquecimento com circulação forçada.....	15
Figura 4 - Coletor solar placa plana	16
Figura 5 - Reservatório térmico de aço inoxidável	17
Figura 6 - Media anual de insolação diária no Brasil.....	18
Figura 7 - Diagrama de construção do servomotor	22
Figura 8 - Diagrama de blocos	24
Figura 9 - Diagrama de blocos Microcontrolador Atmega328	27
Figura 10 - Especificação dos pinos microcontrolador Atmega328.....	26
Figura 11 - Pinagem RTC DS1307.....	27
Figura 12 - Alimentação e saída sensor LM35.....	29
Figura 13 - Encapsulamento TO92 do sensor de temperatura lm35.....	29
Figura 14 - Servomotor TowerPró MG995.	31
Figura 15 - <i>Display</i> NHD-C0216CZ-FSW-FBW-3V3.	31
Figura 16 - Circuito regulador de tensão com lm350.....	34
Figura 17 - Circuito tensão fixa lm7805.....	36
Figura 18 - Montagem e configuração inicial do microcontrolador atmega328... ..	37
Figura 19 - Diagrama esquemático configuração inicial e acionamento de led.....	36
Figura 20 - Circuito RTC e interface de comunicação com o microcontrolador.....	37
Figura 21 - Esquema de condicionamento e entrada dos sensores lm35.....	38
Figura 22 - Montagem da isolação dos terminais do sensor com o cabo.....	39
Figura 23 - Diagrama de evolução de tempo modo Phase Correct PWM.....	41
Figura 24 - Interface de saída PWM.....	41
Figura 25 - Ajustes do acionamento do servomotor através de PWM.....	41
Figura 26 - Circuito de interface do display com o microcontrolador.....	43
Figura 27 - Placa eletrônica de monitoração e posicionamento.....	43
Figura 28 - Estrutura geral do sistema de aquecimento de água.....	44
Figura 29 - Painéis de PVC montados e isolados sobre canos de PVC.	45
Figura 30 - Pintura painel PVC.....	46
Figura 31 - Painél Alveolar após pintura com tinta resistente a altas temperaturas. .	47

Figura 32 - Montagem reservatório térmico.....	48
Figura 33 - Sistema de controle de nível dos reservatórios.	48
Figura 34 - Mangueira flexível utilizada no coletor móvel.....	48
Figura 35 – Conexões de entrada e saída de água dos coletores	49
Figura 36 - Sistema de aquecimento solar montado completo	50
Figura 37- Representação do movimento do painel pelo servomotor	51
Figura 38 - Relação de ângulos, horário e posição do painel.....	53
Figura 39 - Valores de temperatura mensuradas durante o 1° dia.....	55
Figura 40 - Valores de temperatura mensuradas durante o 2° dia.....	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.2 OBJETIVOS	Erro! Indicador não definido.
1.3 Objetivo Geral	Erro! Indicador não definido.
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR.....	12
2.1.1 Circulação por Termossifão.....	13
2.1.2 Circulação Forçada	14
2.1.3 Coletor Solar	15
2.1.5 Reservatório Térmico	17
2.1.6 Radiação Solar	17
2.2 MICROCONTROLADORES	19
2.2.1 Linha AVR De Microcontroladores Atmel	19
2.2.2 Ferramenta De Desenvolvimento De Firmware	20
2.3 SENSOR DE TEMPERATURA	20
2.4 SERVOMOTOR	21
2.5 RELÓGIO DE TEMPO REAL.....	22
2.6 <i>DISPLAY</i> DE CRISTAL LÍQUIDO	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1 MATERIAIS ELETROELETRÔNICOS UTILIZADOS	25
3.1.1 Microcontrolador Atmega328	25
3.1.2 Relógio De Tempo Real ds1307	27
3.1.2 Sensor De Temperatura lm35	28
3.1.3 Servomotor <i>Tower</i> Pró Mg995	29
3.1.4 <i>Display</i> NHD-C0216CZ-FSW-FBW-3V3.....	30

3.2 MATERIAIS DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR	31
3.3 METODOLOGIA.....	33
3.3.1 Alimentação do Servomotor	34
3.3.2 Alimentação do Circuito Digital.....	34
3.3.3 Desenvolvimento do Circuito do Microcontrolador	35
3.3.4 Desenvolvimento do Circuito do RTC e Interface.....	37
3.3.5 Desenvolvimento do Circuito de Condicionamento de Sinal	38
3.3.6 Desenvolvimento e Ajuste do Circuito de Acionamento do Servomotor.....	40
3.3.7 Circuito do <i>Display</i> e Interfaceamento com o Microcontrolador	42
3.3.8 Montagem Placa Final.....	43
3.4 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR	44
3.4.1 Montagem dos Painéis Coletores.....	45
3.4.2 Montagem dos Reservatórios.....	47
3.4.3 Montagem da Tubulação	48
3.4.4 Protótipo Implementado	49
4 RESULTADOS.....	51
4.1 TESTES DO CIRCUITO ELETRÔNICO.....	51
4.2 TESTES DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR.....	54
4.3 ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS.....	57
5 CONCLUSÕES.....	58
REFERÊNCIAS.....	59

1. INTRODUÇÃO

Energia solar e todo e qualquer tipo de captação da energia luminosa, pode ser transformada posteriormente para utilização do ser humano, seja na forma de aquecimento de fluídos, ou mesmo como energia elétrica.

A energia solar vem sendo utilizada desde os primórdios, como principal fonte de vida, através da geração de calor e energia necessários para a manutenção da espécie humana. Ao longo deste tempo, o homem vem melhorando as formas de extrair ao máximo os benefícios desta valiosa fonte de energia abundante e limpa (SOCIEDADE DO SOL, 2013).

Para um melhor aproveitamento desta forma de energia, pretende-se desenvolver um sistema de posicionamento e aquecimento solar, sendo esse sistema automatizado através de um microcontrolador, com interfaces lógicas, a fim de monitorar e controlar o processo de aquecimento de água. A automação consiste em monitorar a temperatura da água retornada do coletor e posicionar o painel em relação à posição do sol durante o dia.

1.2 OBJETIVO GERAL.

Desenvolver um sistema capaz de movimentar um painel solar utilizando como referência o horário do dia.

Utilizando um painel móvel, a fim de obter um ganho no aquecimento da água pelo sistema de aquecimento solar, através do efeito de circulação por termossifão.

1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

1. Montagem de um painel solar de baixo custo com materiais de fácil acesso a compra;

2. Desenvolvimento de um sistema microcontrolado para receber e visualizar informações dos sensores, e que comande um servomotor para posicionamento do painel;
3. Realizar estudos sobre a energia solar e suas formas de captação para aquecimento de fluidos através do processo termossifão;

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são descritos, a partir de revisões na literatura e pesquisas, os conceitos teóricos sobre os principais assuntos envolvidos neste trabalho de diplomação. Serão apresentados conceitos sobre sistema de aquecimento solar, radiação solar, princípios de funcionamento do termossifão, microcontrolador e suas funções, sensor de temperatura, servomotor, relógio de tempo real e *display* de cristal líquido.

2.1 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR

Com o aumento constante da demanda pelo abastecimento energético, houve a necessidade de pesquisar e desenvolver novas fontes de energias renováveis para manter e aumentar o funcionamento das indústrias, dos meios de transporte, da vida urbana em geral, e até para a manutenção da vida urbana e rural (SOCIEDADE DO SOL, 2013).

O aspecto principal é o fato de a energia solar ser uma energia renovável, inesgotável, e totalmente limpa. Em contrapartida pode-se destacar um ponto negativo, que seria o fato desta energia funcionar apenas durante o período diurno, sendo necessário o seu armazenamento (WOLFGANG, 1981). As primeiras experiências que se tem relato ocorreram por volta de 1967. O suíço Horace de Saussure percebeu a capacidade do sol em aquecer a água, utilizando uma caixa revestida com isolamento térmico. Mas as primeiras patentes com relação à termossifão foram registradas por A. M. Perkins e J. Perkins (LABTUCAL, 2010) por volta de 1980, o equipamento patenteado foi um aquecedor de água, cujo qual utilizava uma ou duas fases de um líquido contido internamente a um tubo, transportando calor de uma fornalha até um tanque de armazenamento de água.

O sistema mais básico de aquecimento solar é composto de coletores solares, chamados de placas ou painéis, e de reservatório térmico, também chamado de boiler. O funcionamento é simples, quando os raios solares atravessam o vidro da tampa do coletor solar, este aquece os dutos internos, que normalmente

são feitos de cobre ou alumínio, e são pintados com uma tinta especial, escura, que normalmente ajudam na absorção máxima da radiação solar. A água aquecida vai diretamente para o reservatório térmico. A figura 1 ilustra a simples montagem de um sistema de aquecimento solar.

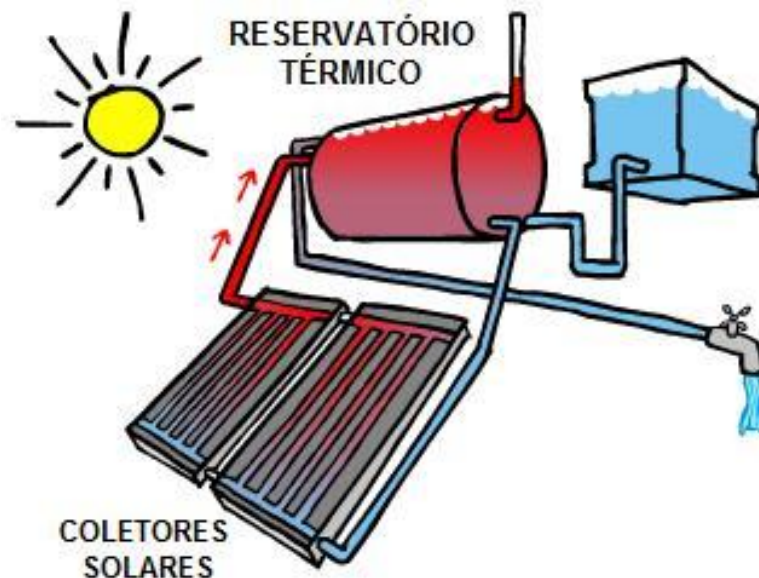


Figura 1 - Sistema básico de aquecimento solar.
Fonte – Sociedade do Sol (2013).

No Brasil, atualmente a aplicação do sistema de aquecimento solar em maior escala se aplica na substituição do chuveiro elétrico. Os dois sistemas de aquecimento solar mais utilizados são:

1. Circulação por termossifão;
2. Circulação forçada.

2.1.1 Circulação por Termossifão

O sistema de circulação por termossifão consiste normalmente de coletores solares ligados a um reservatório termicamente isolado, instalado em um nível mais elevado, em relação aos coletores. Neste sistema não se faz necessário o uso de bomba hidráulica para realizar a circulação da água, pois a circulação se dá

por convecção natural, induzida pela diferença da densidade entre a água quente e a água fria. A tendência é que a água quente suba, forçando a movimentação, fazendo com que a água fria seja empurrada para baixo, subindo novamente quando a mesma estiver aquecida. Este sistema é composto basicamente por coletor solar, reservatório térmico, vaso de expansão e outros acessórios como tubulação e conexões. A figura 2 ilustra os componentes, bem como, o processo do sistema de aquecimento por termossifão.

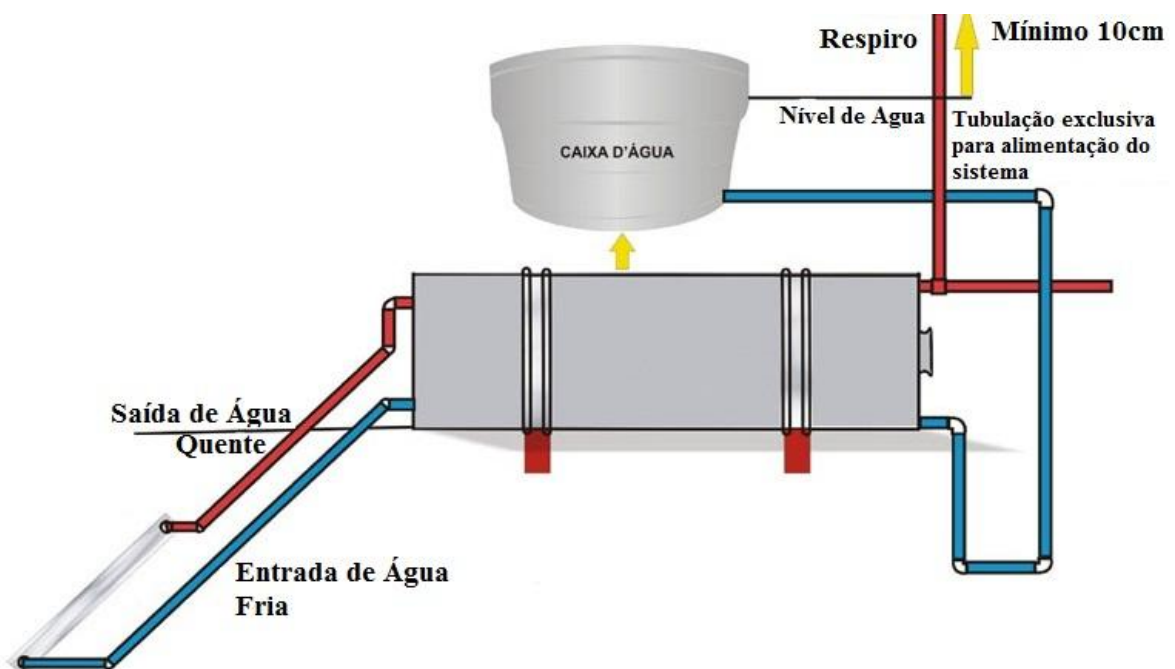


Figura 2 - Sistema de aquecimento por termossifão.
 Fonte: Adaptado de BRSolar (2013).

2.1.2 Circulação Forçada

O sistema de circulação forçada é normalmente utilizado onde não é possível, ou não é viável a implementação do sistema por termossifão. Para realizar a circulação da água, se faz necessário uma bomba eletrocirculadora. Esta bomba pode ser comandada por um sistema de controle automático.

O sistema que controla é ajustado para acionar a bomba hidráulica, assim que a diferença de temperatura entre o reservatório e os coletores seja de 5°C (Portal das Energias Renováveis, 2004).

Esse sistema é composto por coletor solar, reservatório térmico, bomba eletrocirculadora, vaso de expansão e outros acessórios como tubulação e conexões. Neste sistema não se faz necessário a instalação do reservatório acima do coletor, pois quem promove a circulação é a bomba. A figura 3 ilustra os componentes, bem como, o funcionamento do processo de aquecimento solar de modo forçado.

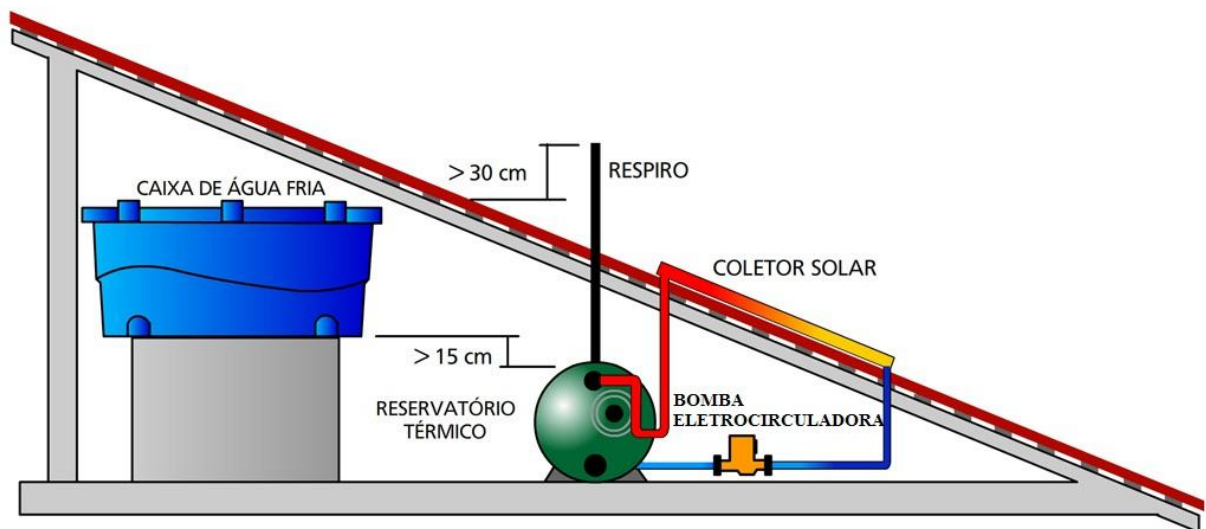


Figura 3 - Sistema de aquecimento com circulação forçada
 Fonte: Adaptado de TEKHOUSE Energia Solar (2013)

2.1.3 Coletor Solar

O coletor solar é o componente mais importante no sistema de aquecimento solar. Este é o responsável pela conversão da energia solar em energia térmica, O coletor capta a radiação solar e transfere esse calor para um fluido, como ar, água ou óleo (KALOGIROU, 2009). Para um bom funcionamento do sistema, a escolha do tipo do painel, bem como a qualidade de construção, é de grande importância.

Os coletores são geralmente fabricados em cobre ou alumínio, e recebem um isolamento térmico, com vedação de borracha e silicone. A quantidade de coletores que devem ser instalados em uma residência depende diretamente do tamanho do reservatório e consumo, e também pode variar devido ao nível de insolação naquela região ou mesmo de acordo com as próprias condições de instalação.

O coletor solar de placa plana é o tipo mais comum e é destinada a geração de água quente a temperaturas inferiores a 100°C. Esta forma é a mais utilizada, principalmente em residências, mas podendo ser utilizada em diversas outras aplicações, como em hospitais, restaurantes e hotéis.

Em geral um coletor de placa plana atua como receptor, onde o mesmo coleta a energia do sol e aquece uma placa. A energia armazenada na placa por sua vez, aquece o fluido, que está circulando em suas aletas internas. Normalmente este tipo de painel é fabricado com uma cobertura transparente de vidro ou plástico, onde se aproveita o efeito estufa. Este é formado por um conjunto de tubos de cobre, que absorvem a radiação solar e transmitem o calor ao fluido que o circula (PROCOBRE, 2012), a figura 4 ilustra um coletor solar de placa plana.



Figura 4 - Coletor solar placa plana
Fonte: SolarFoz (2013).

2.1.5 Reservatório Térmico

Na utilização do sistema de aquecimento solar, nem sempre o consumo da água se dá ao mesmo tempo da sua geração, fazendo-se necessário a utilização de um reservatório térmico para sua armazenagem, mantendo certa autonomia ao sistema.

Para que a água se mantenha aquecida, o reservatório deve ter um baixo coeficiente de trocas térmicas com o ambiente, usar materiais que resistam a corrosão, que tenham uma boa rigidez em sua estrutura e que resistam a uma faixa de temperatura entre 60° e 80°, que são as mais utilizadas por sistemas domésticos (TEKHOUSE, 2013).

O material mais utilizado é o aço inoxidável, pois é o mais recomendado para os locais onde a água é muito corrosiva. Podem ser utilizados também reservatórios de plástico ou polipropileno. A figura 5 mostra um reservatório térmico de aço inoxidável.



Figura 5 - Reservatório térmico de aço inoxidável
Fonte: Bosch (2009).

2.1.6 Radiação Solar

Constituindo de cerca de 99.8% da massa total do sistema solar, o sol é composto por dois elementos muito leves, que são o hidrogênio e o hélio

(INFOPÉDIA, 2013).O sol irradia para o espaço uma quantidade imensa de energia, sendo que apenas uma pequena parcela desta, atinge a superfície terrestre.

Essa quantidade de energia recebida varia de lugar para lugar, havendo assim, uma distribuição desigual ao planeta. Deste modo a duração solar, que significa o período de visibilidade e claridade, varia de acordo com a região e período do ano, desde sol abaixo da linha do horizonte, até períodos em que o sol fica 24 horas acima da linha do horizonte.

A temperatura média na superfície solar fica em torno de 6000°C, temperaturas estas oriundas das reações termonucleares permanentes, resultado da conversão do hidrogênio em hélio. O sol libera para o espaço, grande quantidade de energia eletromagnética, que atinge a superfície terrestre sob três formas, seriam elas, 42% na forma de radiação dentro do aspecto visível, 55% sob a forma de raios infravermelhos, que possui grande poder calorífico, e 3% na forma de raios ultravioleta, com grande capacidade energética (INFOPÉDIA, 2013).

O Brasil possui um dos índices de incidência solar mais alto do mundo, devido a sua localização, relativamente próxima a linha do equador. Desta forma, são pequenas as variações de radiação durante o dia(BRASILSOLAIR, 2013). A figura 6mostra o mapa da média anual de insolação diária no Brasil.

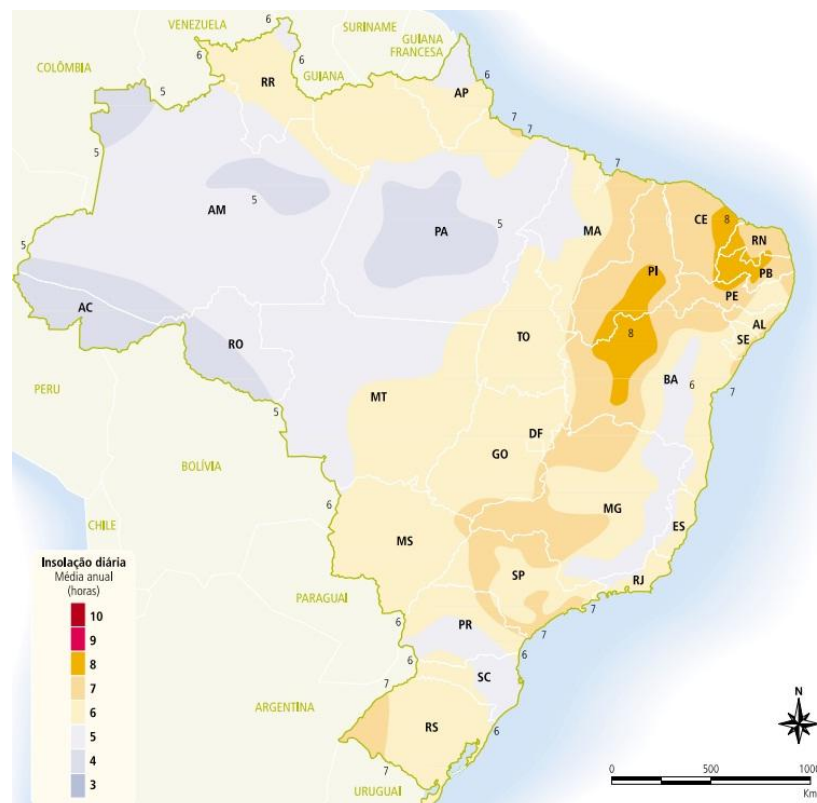


Figura 6 - Média anual de insolação diária no Brasil
Fonte: Adaptado de ANEEL (2000)

A figura 6 mostra a distribuição da radiação solar sobre o território é desigual, para maximizar o aproveitamento pode-se ajustar a posição do coletor ou painel solar de acordo com a latitude e ou o período do ano em que se requer mais energia.

2.2 MICROCONTROLADORES

Os microcontroladores têm surgido, nos últimos anos, como uma poderosa ferramenta de grande utilidade para tarefas como monitoramento e controle de processos. A sua flexibilidade de programação, permite ao projetista desenvolver um sistema personalizado, que atenda as mais variadas necessidades, e com um baixo custo associado.

Os sistemas automatizados microcontrolados, possibilitam que o monitoramento e o controle do sistema sejam realizados sem a interferência humana, e por longos períodos de tempo, ou até mesmo sem interrupção. (NATALE, 2000). Mesmo esses sistemas permitirem uma menor interferência humana, muitas vezes, ela se torna necessária.

Os microcontroladores são microprocessadores que podem ser programados para executar funções específicas. Normalmente usados para controlar circuitos de pequeno porte, a estrutura interna conta com um processador, memória e periféricos que se comunicam com o mundo externo através de pinos de entrada e saída. Com frequências de *clock* menores se comparados com microprocessadores, os microcontroladores são adequados para a maioria das aplicações usuais, como por exemplo, controlar processos como uma esteira no chão de fábrica, ou mesmo uma máquina de lavar roupas (ROBOLIVRE, 2012).

2.2.1 Linha AVR De Microcontroladores Atmel

Os microcontroladores AVR de 8 bits, da fabricante ATMEL, são constituídos sob a tecnologia *Reduced Instruction Set Computer* (RISC), e com a

tecnologia Harvard que separa a memória de programa da memória de dados, proporcionando assim uma maior velocidade de processamento.

Outro fator determinante para a velocidade de processamento dos microcontroladores da linha AVR, é a quantidade de ciclos de máquina necessários para a execução de uma instrução. Na família AVR um ciclo de máquina equivale a um ciclo de *clock*, portanto ao utilizar um oscilador de 12mhz, o mesmo estará trabalhando com a velocidade de 12 mips (milhões de instruções por segundo). Esta característica só foi possível de ser obtida, pois, seus 32 registradores de propósito geral, possuem conexão direta com a unidade lógica programável (ULA).

2.2.2 Ferramenta De Desenvolvimento De Firmware

O *CodeVisionAVR*® é um ambiente de desenvolvimento em linguagem C desenvolvido para facilitar a programação e a configuração dos periféricos dos microcontroladores da linha AVR. É o único *software* no mercado para esta linha que possui o *Automatic Program Generator*, que gera automaticamente o código com as configurações dos periféricos, bem como toda a inicialização do microcontrolador.

Desenvolvido pela empresa *HPinfoTech*®, a ferramenta de desenvolvimento *CodeVisionAVR* possui suporte a todos os microcontroladores da linha AVR, oferecendo uma interface simples e intuitiva. O programa pode ser instalado em ambiente *Windows*®, com suporte a computadores 32 ou 64bits. O mesmo possui duas versões disponíveis, uma de livre uso com limitação de em 4kb de código, e outra sem limitação, onde o usuário deve comprar uma licença.

2.3 SENSOR DE TEMPERATURA

Um sensor pode ser tratado como um dispositivo que trabalha com grandezas físicas, tais como, temperatura, umidade, pressão entre outros. As grandezas medidas pelos sensores são usadas para a interação do meio ambiente com os equipamentos eletrônicos (BORGES & DORES, 2010).

A medida de temperatura não é tão simples de ser obtida. O simples fato de esta medida ser constituída por um simples valor analógico, já demonstra o grau de dificuldade de ser interpretada e condicionada.

Quando uma medida é utilizada por um sistema digital, existe a necessidade do condicionamento deste sinal. Alguns dispositivos digitais, como por exemplo, os microcontroladores, já possuem em sua construção, um conversor A/D, que elimina o uso de um dispositivo externo dedicado.

Com o uso de um sistema microcontrolado, o valor convertido de analógico para digital, pode ser utilizado para atuar através de comparações, na lógica dos processos.

2.4 SERVOMOTOR

Os sistemas de posicionamento sempre foram objetos de estudos em diversas áreas de aplicação, sempre com o objetivo de torná-los precisos e eficientes. Na indústria o posicionamento está presente em diversas aplicações, tanto por meio do uso de servomotores, como utilizando o simples deslocamento de peças que compõem um conjunto ou processo produtivo.

O servomotor é um dispositivo eletromecânico que possui um eixo que pode ser posicionado numa posição angular desejada pelo envio de um sinal. Possui uma parte fixa chamada de estator, e uma parte móvel chamada de rotor, semelhante a muitas máquinas síncronas. Enquanto existir um sinal aplicado na entrada, o servomotor irá manter a posição angular do eixo. Ao alterar o sinal aplicado na entrada, a posição angular do eixo muda também.

Utilizando a tecnologia dos ímãs permanentes, os servomotores fornecem precisão no posicionamento, bem como torque e controle da velocidade. O mesmo pode ter uma grande faixa de rotação com controle de torque de forma constante. (OTTOBONI, 2002).

Servomotores são dispositivos de malha fechada, ou seja, recebem um sinal de controle e verificam a posição atual e atuam no sistema indo para a posição desejada. Na figura 7 pode se verificar o diagrama de construção de um servomotor.

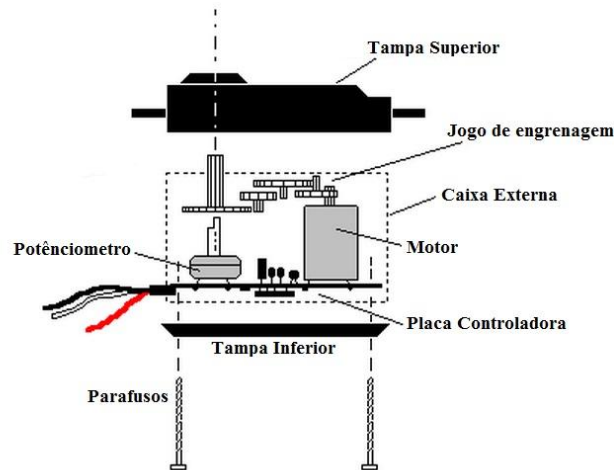


Figura 7 - Diagrama de construção do servomotor
Fonte: Robolivre (2012).

O servomotor possui em sua construção três fios, dois deles para alimentação, e um deles utilizado para o sinal de controle. O controle é feito através do protocolo *Pulse Width Modulation* (PWM), que possui as características de larguras mínimas, máximas e taxa de repetição.

2.5 RELÓGIO DE TEMPO REAL

O Relógio de tempo real (RTC) é um circuito integrado que fornece informações de tempo para um circuito mestre que necessite destes dados como, por exemplo, um microcontrolador. A base de tempo é fornecida por um sinal de oscilador, cuja frequência é determinada por um cristal de *quartzo*. Mesmo após o desligamento da alimentação deste dispositivo, o RTC se mantém em funcionamento através de uma bateria externa. As principais características dos RTC's são (NXP, 2012):

1. Contagem de minutos, segundos, horas, dia do mês, dia da semana, e ano com compensação de ano bissexto;
2. Memória RAM interna não volátil para armazenamento de dados;
3. Detecção de falhas;
4. Interface serial;
5. Calendário;
6. Alarme de tarefas.

2.6 DISPLAY DE CRISTAL LÍQUIDO

O *display* LCD tem uma atuação muito útil em sistemas microprocessados. Esse tipo de *display* pode ser gráfico ou a caractere. Estes podem ser encontrados com resoluções diversas, como por exemplo, de 122x32, 128x64, 240x64 e 240x128 dot *pixel*, e normalmente são disponibilizados com 20 pinos.

Os *displays* de LCD possuem em sua constituição, um controlador próprio que permitem a interligação com outras placas, utilizando seus pinos, onde se deve alimentar o *display* e conectar os pinos do mesmo com a placa que será usada.

Alguns *displays* saem de fabrica com a opção de led *backlight*, que possibilita sua leitura em ambientes com pouca iluminação. Para estes casos, se faz necessário uma alimentação nos pinos anodo e catodo, normalmente encontrados nos 15 e 16 nos módulos a caractere, e nos pinos 16 e 20 para os *displays* gráficos. A corrente consumida por este *led* fica na faixa de 100mA a 200mA, variando entre os modelos (NEWHAVEN INTERNATIONAL, 2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, o projeto de sistema de aquecimento e posicionamento de painel solar será descrito, seu funcionamento e as partes que o compõe serão apresentadas, bem como os materiais utilizados e a metodologia empregada no desenvolvimento.

Na figura 8 têm-se um diagrama de blocos, as partes integrantes do protótipo sistema de aquecimento e posicionamento de painel solar.

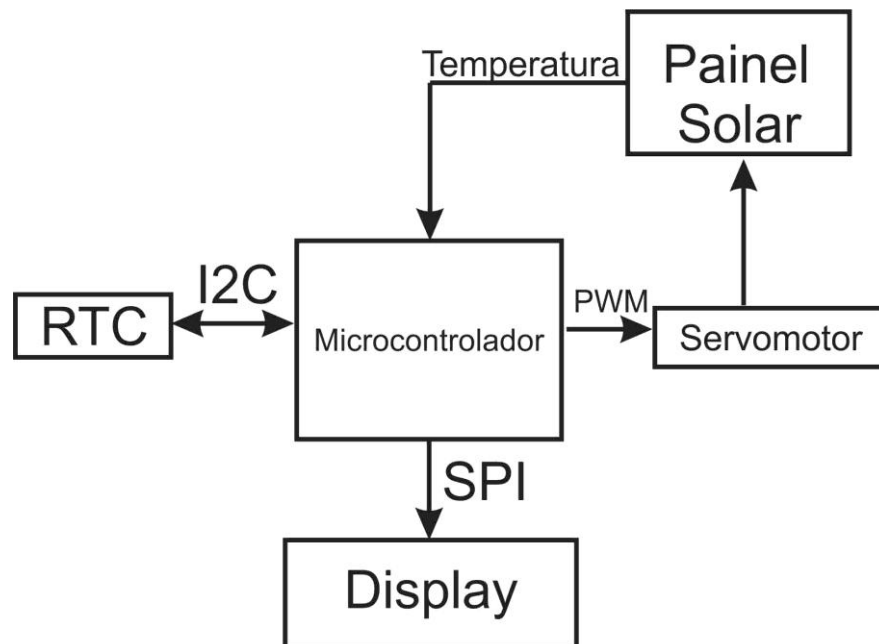


Figura 8 - Diagrama de Blocos do Projeto
Fonte: Autoria Própria.

De acordo com a figura 8, o elemento principal do processo de posicionamento e monitoração é o microcontrolador, que recebe as leituras das temperaturas e armazena na própria memória *flash*, cuja qual não é apagada caso o mesmo seja desligado. O microcontrolador recebe informações de data e hora de um RTC e conforme a hora do dia e através do protocolo PWM, direciona o painel solar, obtendo o máximo de incidência dos raios solares.

Todas as informações de data, hora e temperatura do reservatório é demonstrado em um *display*.

3.1 MATERIAIS ELETROELETRÔNICOS UTILIZADOS

Neste capítulo serão descritos os componentes utilizados no protótipo

3.1.1 Microcontrolador Atmega328

O microcontrolador utilizado para o projeto é o atmega328, fabricado pela empresa *Atmel Corporation*, que foi escolhido devido ao baixo custo, disponibilidade no mercado, pela quantidade de documentação e exemplos disponibilizada na internet, pela facilidade de gravação, e por possuir os periféricos necessários para atender ao funcionamento do projeto. A figura 9 apresenta o diagrama de blocos internos do microcontrolador,

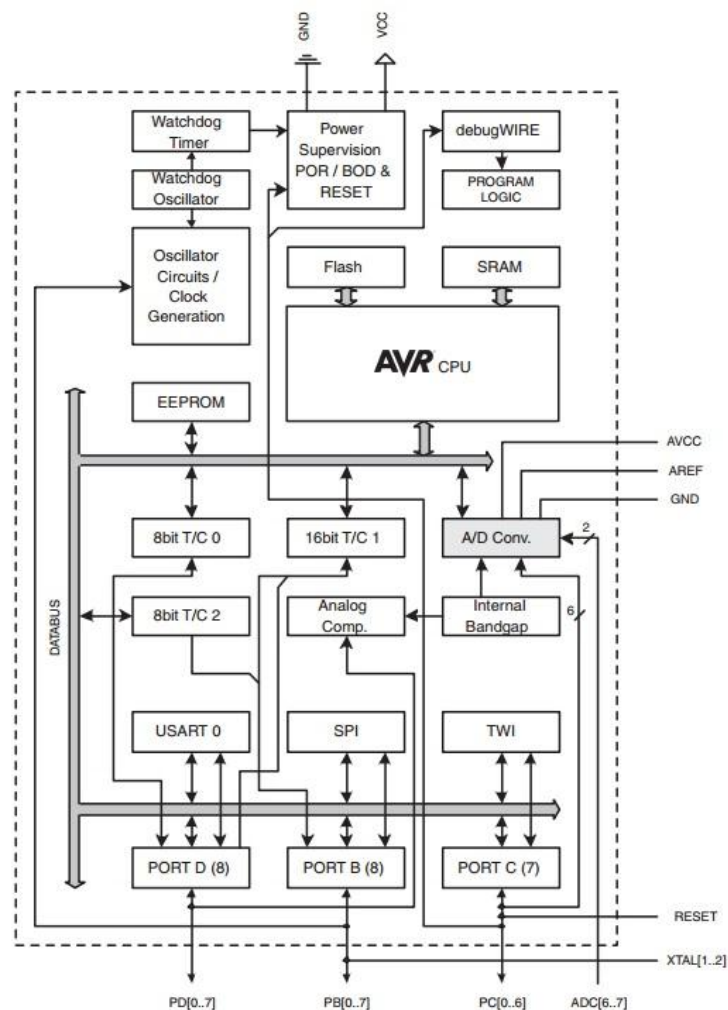


Figura 9– Diagrama de Blocos Microcontrolador ATMEGA328
 Fonte: Atmel (2012).

A figura 10 mostra a função de seus pinos,

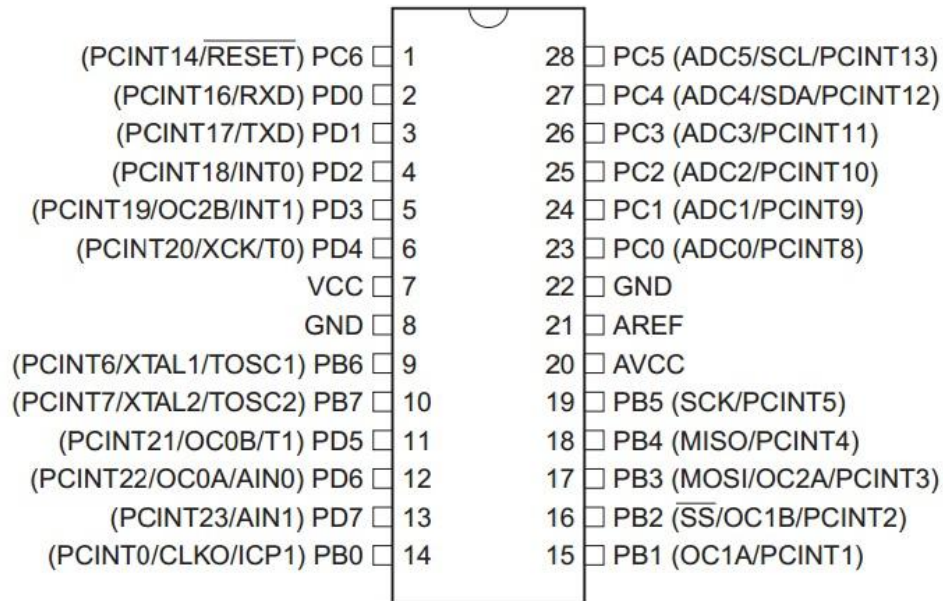


Figura 10 - Especificação dos pinos microcontrolador Atmega328
 Fonte: Datasheet Atmega32

As principais características de um microcontrolador atmega328 são (ATMEL, 2012):

1. Baixo consumo de energia:
 - A. Operam com tensão de 1.8V até 5.5V
 - B. 1 MHz, 1.8V: 240µA em modo ativo
 - C. 32 kHz, 1.8V: 15µA (incluindo o oscilador)
 - D. 0.1µA, 1.8V em modo *Power Down*
2. CPU RISC de 8 bits que permite instruções complexas com código de tamanho reduzido;
 - A. 131 instruções RISC que permite melhor otimização de código
 - B. Uma instrução por ciclo de *clock*
3. Alta disponibilidade de meios de interação com o mundo externo;
 - A. Contadores
 - B. Interrupções
 - C. Timers
 - D. Canais A/D (analógico e digital)

- E. Watchdog
- F. Comunicação SPI
- G. Comunicação I2C
- H. Comunicação serial

3.1.2 Relógio De Tempo Real ds1307

O RTC DS1307 da fabricante *Dallas Semiconductor* é um dispositivo de baixo consumo de energia. Possui uma memória interna *Static Random Access memory*(SRAM) não volátil de 56 bytes. Opera com um cristal oscilador de 32.768kHz. Os dados e endereços são transferidos serialmente via barramento I2C. O RTC fornece segundo, minuto, hora, dia, mês e ano. Os meses são automaticamente ajustados para meses com 31 dias ou menos, incluindo correção para anos bissextos. As horas são informadas nos formatos 12 e 24 horas. A figura 11 apresenta a disposição da pinagem do dispositivo,

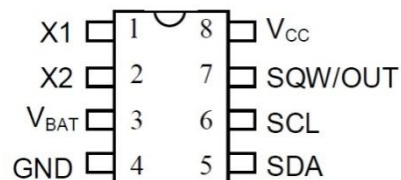


Figura 11 - Pinagem RTC DS1307
Fonte: Datasheet DS1307.

A tabela 1 mostra a descrição dos pinos do mesmo,

Tabela 1 – Descrição dos pinos do dispositivo DS1307

Pino	Função
VCC	Alimentação Principal
X1, X2	Pinos de conexão oscilador 32.768Khz
VBAT	Alimentação bateria auxiliar
GND	Referência de terra
SDA	Entrada e saída de dados serial
SCL	Entrada de <i>clock</i>
SQW/OUT	Saída de onda quadrada para <i>clock</i> de periféricos

Fonte: Adaptado do Datasheet DS1307.

As principais características do RTC DS1307 são (*MAXIM INTEGRATED*, 2013):

1. Fornece informações de segundo, minuto, hora, dia, mês e ano com ajustes automáticos de meses com menos de 31 dias, e ano bissexto;
2. Trabalha com referencia a um oscilador externo de frequência 32.768Khz;
3. Consumo de corrente em torno de 500nA, quando alimentado pela bateria auxiliar;
4. 56 bytes de memória RAM não volátil;
5. Detecção automática de falha de alimentação e chaveamento para bateria auxiliar quando a alimentação cai abaixo de 1.25V.
6. Fornece sinal de onda quadrada programável para dispositivos periféricos;
7. Tensão de operação primária de 4.5V a 5.5V.
8. Comunicação serial I2C.

3.1.2 Sensor De Temperatura lm35

Atualmente existem no mercado diversos tipos de sensores de temperatura que vão desde diodos, NTC's, PTC'S até diversos tipos de termopares. Porém, acredita-se que nenhum se assemelha em facilidade de uso, e que utilize tão pouco circuito complementar quanto o modelo LM35.

O sensor de temperatura LM35, fabricado pela *National Semiconductor* apresenta uma saída linear com relação à temperatura em que se encontra no momento em que for alimentado com tensão que varia de 4 a 20 volts, tendo em sua saída uma tensão de 10mV para cada Graus Celsius de temperatura, não necessitando que seja feita qualquer manipulação de valores para que seja obtido a temperatura em Graus Celsius.

O sensor de temperatura LM35 não necessita de nenhuma calibração externa ou *trimming* para fornecer valores exatos de temperatura com variações de $\frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$ ou até $\frac{3}{4}^{\circ}\text{C}$, dentro de uma faixa de temperatura que varia entre -55° até 150°C .

O LM35 tem baixa impedância de saída, tensão linear e calibração inerente precisa, fazendo com que o interfaceamento de leitura seja especificamente simples, tornando de baixo custo, todo o sistema.

Este sensor pode ser alimentado com fonte simples ou simétrica, e consome apenas 60 μ A. A figura 12 mostra de forma simplificada a alimentação e a saída do sensor LM35 e a figura 13 demonstra o componente fabricado sob o encapsulamento TO92 que é o mais comum no mercado.

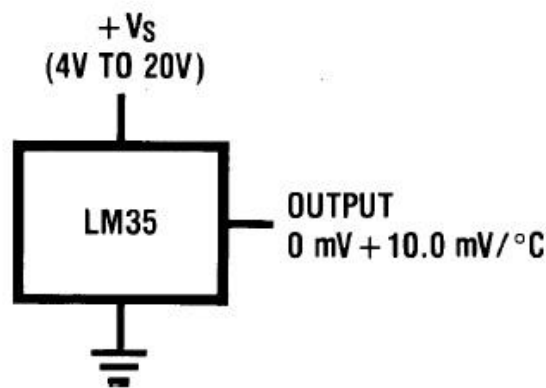


Figura 12 - Alimentação e saída sensor LM35.
Fonte: *Datasheet LM35 (2000)*.

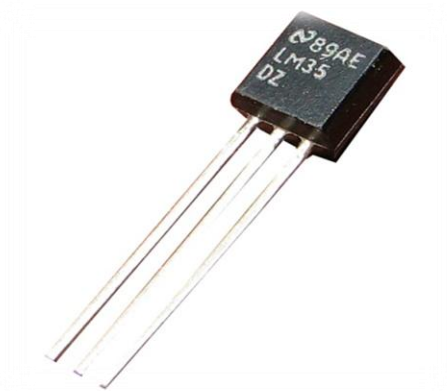


Figura 13 - Encapsulamento TO92 do sensor de temperatura Im35.
Fonte: *Rapidsignalph (2012)*.

3.1.3 Servomotor Tower Pró Mg995

O servomotor Tower Pró MG995 fabricado pela *Hextronic* foi desenvolvido para projetos em que se necessita alto torque e precisão de posicionamento. Estes foram os motivos para a escolha deste dispositivo, incluindo

seu baixo custo. Este servomotor possui duas opções de alimentação com valores de torque diferente. Alimentando com 4.8V, o mesmo fornece 13 kg de torque, e com 6V, fornece 15 kg de torque. Com acionamento através de PWM, este servo dispõe de 3 fios, sendo eles alimentação e controle. O servomotor utilizado é mostrado na figura 14.



Figura 14 – Servomotor Tower Pró MG995
Fonte: *RCModel Reviews* (2013).

3.1.4 Display NHD-C0216CZ-FSW-FBW-3V3

O *Display* NHD-C0216CZ-FSW-FBW-3V3 da fabricante *NEWHAVENINTERNATIONAL* é um *display* a caractere, de 2 linhas por 16 colunas e foi escolhido para o projeto devido a sua facilidade de utilização, tamanho reduzido e por fornecer os códigos de inicialização e de escrita em seu próprio *datasheet*. Possui comunicação SPI, e sua utilização é feita através de 7 pinos, sendo 5 para comunicação e dois para alimentação, a relação dos pinos é demonstrado na tabela 2.

Sua alimentação principal varia de 2.7V a 4.5V, e o consumo de corrente máxima é de 500mA. O mesmo possui led de *backlight* para facilitar a leitura em ambientes com pouca luminosidade

O led *backlight* trabalha com alimentação de 3V, necessitando de um circuito regulador de tensão adicional, montado no próprio corpo do componente. Para este circuito regulador pode-se utilizar um diodo *zener*, onde o mesmo conduzirá para terra, o excedente de tensão que ultrapassar os 3V. O consumo

máximo de corrente para o *backlight* é de 45mA. A figura 15 mostra o *display* NHD-C0216CZ-FSW-FBW-3V3.



Figura15 - *Display* NHD-C0216CZ-FSW-FBW-3V3.
Fonte: *Newhaven Display* (2013).

Tabela 2 – Descrição da pinagem do *Display*

Pino	Função
1	RST
2	RS
3	CSB
4	SCL
5	SI
6	VSS
7	VDD

Fonte: Adaptado do *Datasheet Display* NHD-C0216CZ-FSW-FBW-3V3

3.2 MATERIAIS DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

Para o desenvolvimento e construção do sistema de aquecimento solar composto por coletor, reservatório e tubulações, foram utilizados diversos materiais, bem como ferramentas, os quais são descritos na tabela 3,

Tabela 3 – Componentes e ferramentas utilizadas no projeto.

Quant.	Componentes	Finalidade
01	Placa de forro de PVC alveolar modular 1,25 x 0,62 m	Componente do coletor
02	Tubos de PVC marrom 25 mm (φext.)2000 mm de comprimento.	Componente do coletor e ligação entre reservatórios
06	Luvras soldáveis de PVC marrom 25 mm	Para fazer a união entre os coletores e curvas.
08	Luva PVC Soldável Com Bucha de Latão Azul 25mm X 1/2	Conexão entre engates flexíveis, torneiras, curva rosca e coletores
09	Joelhos 90° de PVC marrom soldável de 25 mm	Unir os coletores aos tubos de PVC
06	Bucha de Redução PVC Soldável Curta 32 X 25mm	Redução entre coletor e tubulação
04	CAPS de PVC marrom de 32 mm	Vedar as pontas do coletor no teste de vazamento
01	Te 25mm X 25mm PVC Soldável Tigre	Distribuição entre reservatório primário e secundário
01	Registro de Esfera Solda Marrom tubosde25mm	Controle de alimentação do reservatório principal para os demais
09	Adaptador PVC C/ Flange Roscável3/4” Tigre	Interconexões entre tubulação reservatórios, torneiras e retornos
02	Torneiras tigre rosca externa 25 mm	Pontos de saída dos reservatórios térmicos
02	Joelho PVC Soldável Azul Com Bucha de Latão 25 mm X 3/4	Conexão entre a bóia e alimentação de água fria
02	Curva 90 C/ “Rosca 3/4”	Sistema de conexão no reservatório e bóia
02	Bóia de PVC Para “Caixa D água 3/4”	Controle do volume de água nos reservatórios
01	Tubo flexível 1m, engate na saída da bóia	Tubo conectado a bóia para direcionar o fluxo de água fria para, mas baixa do reservatório
02	Reservatórios de 50L (50x57cm) “barrica” PVC	Reservatório para retorno dos painéis
01	Reservatório de 100L (40x65) barrica PVC	Reservatório principal para distribuição nos secundários do sistema
02	Engate Flexível em Malha de Inox (AISI 304) Conexões Metálicas p/água Quente/Fria	Engates para articulação e movimento no painel móvel
01	Tinta Dacar preto fosco Exterior/Alta Resistência (900 ml)	Pintar as placas do coletor
01	Manta isolante térmica(4m)	Isolamento térmico e proteção para reservatórios C1-C2
01	Corte de tubo marrom tigre de25mm x500mm	Direcionar a água fornecida pela de bóia para a parte mais baixa do reservatório
01	Fita Silver Tape (PRATEADA) 45MMX5M 800S ADERE	Fixação entre manta e reservatórios
Quant.	Componentes	Finalidade

01	Tinta Spray Chemi Color Preto Fosco 315 ml (Alta Temperatura 600 graus)	Para pintura das conexões
04	Adesivo (bi componente) Plexus 30 Gr	Unir a placa ao tubo de 32 mm
01	Cola 2k PU Branco Misturador Bi componente (Acompanha componente B) SILOC	Massa especial para vedação e acabamento + componente líquido Tipo B
04	Lixas 3M 230U P180	Preparo das conexões e soldagem
01	Adesivo Plástico para PVC Incolor 75gr (Tigre)	Soldagem das tubulações e demais conexões
01	Rolo de espuma condor 976/9cm	Para pintura dos Painéis
02	Pincel cabo Plástico "Filamento Sintético Branco 3/4"	Pintura de laterais ou extremidades de acabamento
01	Dremel 3000 220 V com 26 Acessórios	Cortes nos tubos
01	Serra copo com diâmetro de 36mm para flange de 25 mm	Fazer os furos na caixa de água para a torneira de bóia, pescador e o ladrão
01	Trena ou metro	Fazer as medidas de corte na placa e nos tubos
01	Furadeira com broca 3 mm p/ aço	Fazer os furos-guia no tubo de PVC marrom de 32 mm
01	Espátula flexível com ponta arredondada, tipo misturador de café/açúcar	Aplicar a cola sobre a união tubo PVC e o Pannel
01	Aplicar a cola sobre a união tubo PVC e o Pannel	Riscar o tubo de 32 mm antes de cortá-los
01	Lâmina Serra Sabre- Multi Corte (Aço, madeira, PVC)	Para corte de canos

Fonte: Autoria Própria

3.3 METODOLOGIA

Para o projeto foram desenvolvidos os circuitos de: microcontrolador, aquisição de sinal de temperatura, comunicação com o relógio de tempo real, reguladores de tensão e acionamento de servomotor.

A alimentação principal é feita através de uma fonte chaveada da marca *SEEK FONTES CHAVEADAS* modelo 3007, que fornece 15V/2A. Todos os circuitos foram desenhados utilizando o *software EAGLE* versão 5.6.0, que é um *software* de desenvolvimento do tipo CAD, disponibilizado gratuitamente na versão *light*.

3.3.1 Alimentação do Servomotor

O servomotor utilizado no projeto é acionado através de duas opções de alimentação, 4.8V e 6V. Foi adotado a alimentação de 6V, pois o torque fornecido para esta alimentação é maior. Para este circuito foi escolhido o regulador LM350, devido ao baixo custo, alta disponibilidade no mercado.

Através da alimentação principal, que é de 15V/2A, a tensão de saída regulada do LM350 é feita através de 2 resistores, denominados R1 e R2. Para a tensão ser fixada em 6V, os valores para estes resistores são de 560R e 2K2, respectivamente. A filtragem se dá através de 2 capacitores, sendo um de 100uF/16V na entrada e outro de 100nF/50V na saída. O diagrama esquemático do circuito regulador LM350 é demonstrado na figura 16.

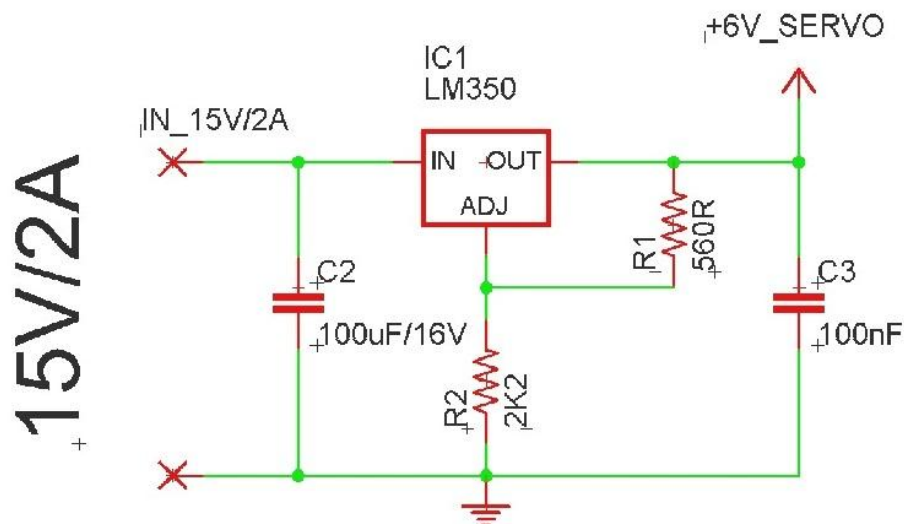


Figura 16 - Circuito regulador de tensão com Im350.
Fonte: Autoria própria.

3.3.2 Alimentação do Circuito Digital

Para fornecer tensão fixa de 5V para o circuito digital, como o consumo de corrente pelo mesmo é baixa, foi escolhido o regulador LM7805 por fornecer corrente suficiente, pela sua simplicidade de uso, disponibilidade no mercado e baixo custo. Para a filtragem do sinal de saída utilizou-se um simples capacitor de 100nF/50V. O diagrama esquemático é demonstrado na figura 17.

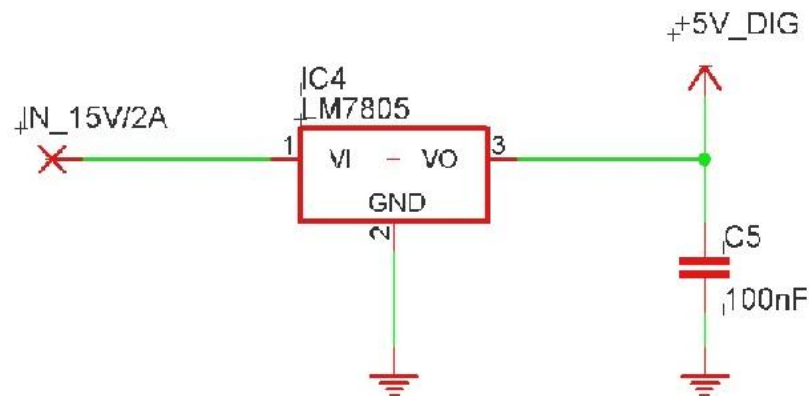


Figura 17 - Circuito tensão fixa lm7805.
Fonte: Autoria própria.

3.3.3 Desenvolvimento do Circuito do Microcontrolador

Para as configurações iniciais de *hardware* do microcontrolador atmega328, foi necessária a adição de um cristal oscilador externo de frequência 11.0592 MHz para o circuito de *clock*, onde neste caso não necessita estar ligado à terra digital. A configuração para a identificação e utilização deste cristal é feita via *firmware*, através da configuração inicial. Foi também necessário adicionar um resistor de *pull-up* de 10Kohms no pino 1 do microcontrolador, pino este responsável pelo reset e um capacitor de filtro no valor de 100nF, na alimentação principal do mesmo.

O circuito foi montado em uma *protoboard* e os testes iniciais foram feitos acionando um simples led em no pino 0 da porta C configurada como entrada, conforme figura 18. O diagrama esquemático de configuração inicial do microcontrolador é demonstrado na figura 19.

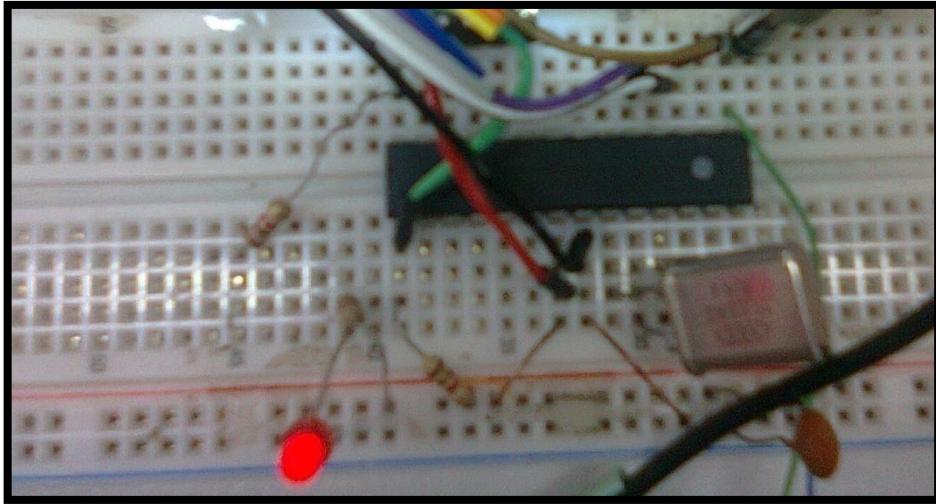


Figura 18 - Montagem e configuração inicial do microcontrolador atmega328.
Fonte: Autoria Própria

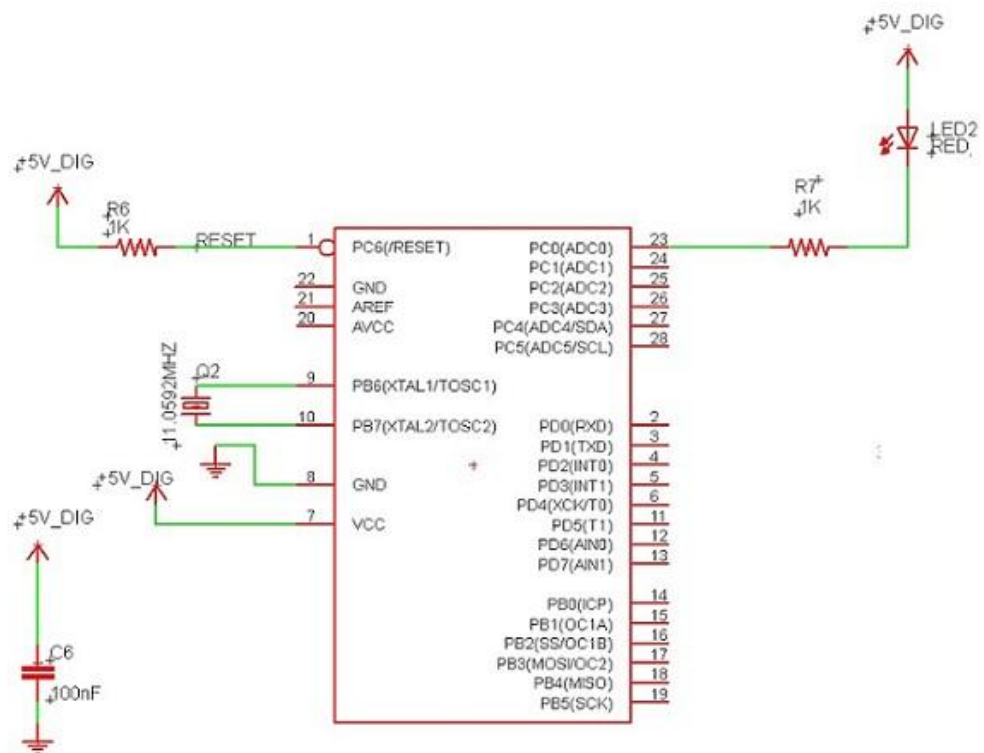


Figura 19 - Diagrama esquemático configuração inicial e acionamento de led.
Fonte: Autoria própria.

3.3.4 Desenvolvimento do Circuito do RTC e Interface

Este circuito tem o propósito de manter a configuração da hora e data em tempo real, fornecendo estas informações toda vez que for solicitado pelo microcontrolador. Foi utilizado uma bateria de lítio de 3V do modelo CR2032, pois o RTC DS1307 utiliza a mesma como forma de alimentação para manter seu funcionamento caso a alimentação principal seja desligada. Como este circuito necessita de uma frequência de funcionamento, foi adicionado um cristal oscilador externo de 32.768 KHz.

Este RTC trabalha através do protocolo de comunicação I²C, que utiliza dois fios para fornecer os dados ao microcontrolador, então foram adicionados dois resistores de *pull-up* no valor de 10 Kohm, um na linha SDA, e um na linha SCL, conforme mostra o diagrama esquemático da figura 20.

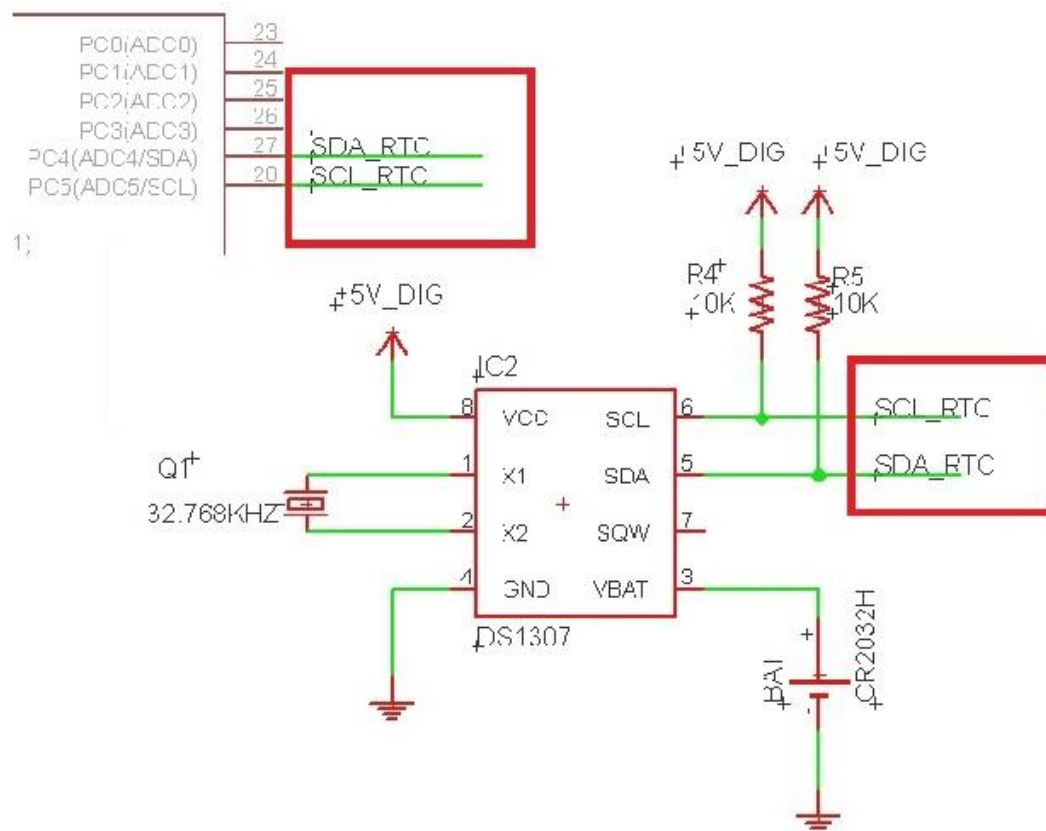


Figura 20 - Circuito RTC e interface de comunicação com o microcontrolador.
Fonte: Autoria própria.

3.3.5 Desenvolvimento do Circuito de Condicionamento de Sinal

O microcontrolador atmega328 no encapsulamento PDIP-28, possui 1 canal de conversão Analógico/Digital de 10 bits com 6 entradas, onde utiliza um multiplexador interno, que é o responsável pelo chaveamento das entradas utilizadas. Este microcontrolador possui 3 opções de tensão de referência. Duas delas são através do chaveamento interno, que utiliza ou a tensão que estiver sendo aplicada ao pino de AVCC, ou uma tensão interna, que é de 1.1V. A terceira opção é desabilitar esse chaveamento e aplicar uma tensão externa no pino de AREF.

Para o projeto foi utilizado a tensão de referência interna de 1.1V, com o pino de AVCC conectado a mesma tensão principal, e a filtragem desta tensão sendo feito através de um filtro passa-baixa composto por um indutor de 10uH em série com um capacitor de 100nF ligado a terra digital, e o pino 22 (GND) deve estar conectado também à terra digital.

Uma vez que o conversor Analógico/Digital utilize a tensão interna de referência, tem se 1024 níveis de tensão possíveis entre 0 e 1.1V, o que resulta em uma resolução de $1.1V / 1024 = 1.07mV$ por degrau. Os pinos dos dois sensores LM35 utilizados no projeto foram ligados diretamente bits0 e 1 do conversor, que são os pinos 23 e 24 respectivamente. O diagrama esquemático é representado na figura 21.

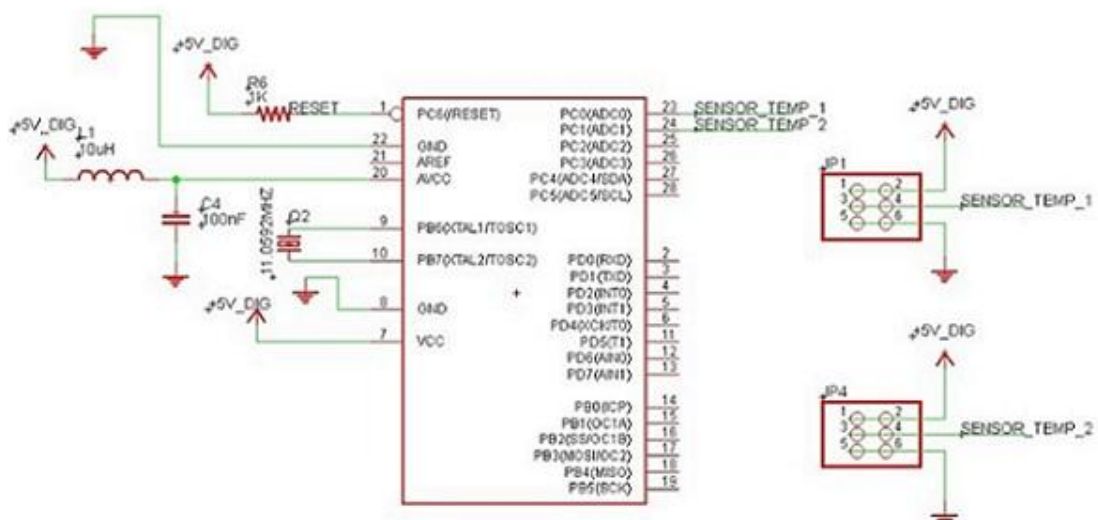


Figura 21 - Esquema de condicionamento e entrada dos sensores lm35
Fonte: Autoria própria

Para possibilitar a leitura das temperaturas dos coletores, foram utilizados 2 cabos de áudio de 4 metros cada, com malha de aterramento, desta forma aumentando a isolação a interferências externas. Como o sinal do sensor é da ordem de milivolts, um cabo sem malha de aterramento com comprimento maior que 10cm já sofre interferência significativa que causam variações nos valores medidos, e conseqüentemente atrapalham no resultado das medições das temperaturas (TEXAS INSTRUMENTS, 2013).

Os cabos utilizados apresentam uma boa isolação a interferências, permitindo que os valores lidos fiquem estáveis, sem flutuação. Os terminais de +Vs e Output do sensor de temperatura são soldados aos fios internos do cabo, que por sua vez são conectados aos seus respectivos locais na placa. O terminal de GND do sensor é soldado diretamente à malha de aterramento, e conectado ao GND da placa eletrônica.

Como o meio em que o sensor será inserido pode conduzir eletricidade, os terminais dos sensores soldados ao cabo precisaram ser isolados eletricamente. O material utilizado para fazer essa isolação foi a cola quente preta, que apresenta isolação contra a umidade e também faz a isolação elétrica. Após a montagem os cabos ficaram com o seguinte aspecto, mostrado na figura 22,



Figura 22 - Montagem da isolação dos terminais do sensor com o cabo.
Fonte: Autoria própria.

3.3.6 Desenvolvimento e Ajuste do Circuito de Acionamento do Servomotor

O microcontrolador atmega328 possui 6 canais de PWM, com duas formas de configuração, *fast PWM mode* e *phase correct PWM mode*. A porta utilizada pelas saídas de PWM é a porta B. Ambas as formas, utilizam como variáveis de contagem como *Bottom* e *Top*, onde os valores de referência são atribuídos a estas variáveis. A forma utilizada na configuração do PWM foi:

Phase Correct PWM mode: nesta forma o contador inicia a contagem de *Bottom* até *Top*, diferenciando da outra forma em sua sequência, pois ao atingir o *overflow* o mesmo inicia de *Top* até terminar a contagem em *Bottom*. Essa forma tem a característica de inclinação dupla, sendo mais indicado para uso em motores. A figura 23 demonstra a evolução da contagem de tempo de PWM para esse tipo de configuração.

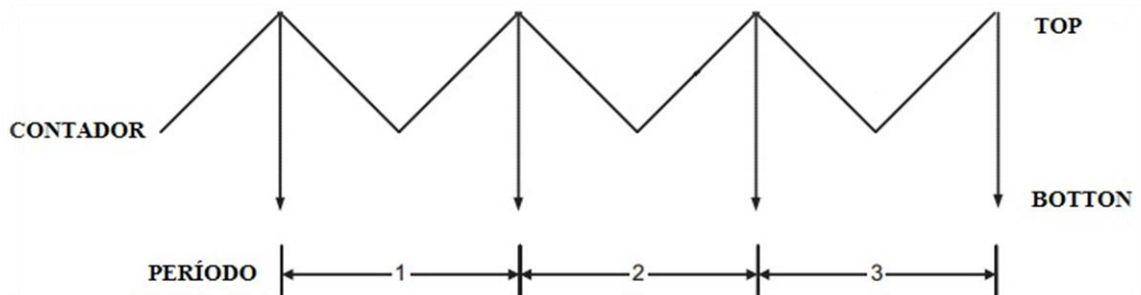


Figura 23 - Diagrama de evolução de tempo modo Phase Correct PWM.
Fonte: Adaptado do datasheet do microcontrolador atmega328.

O fator de divisão utilizado na configuração foi a divisão do *clock* utilizado por 64, ou seja, a frequência de 11.0592 MHz / 64, o que resultou numa frequência de 172,800 KHz.

Para a ligação do servomotor foi utilizada uma simples barra de pinos padrão de 1 x 3, fornecendo nelas a alimentação de 6V, proveniente da fonte que utiliza o regulador LM350, GND e acionamento. O bit utilizado foi o *bit1* da porta B. A figura 24 mostra o diagrama esquemático interface de saída do PWM para o acionamento do servomotor.

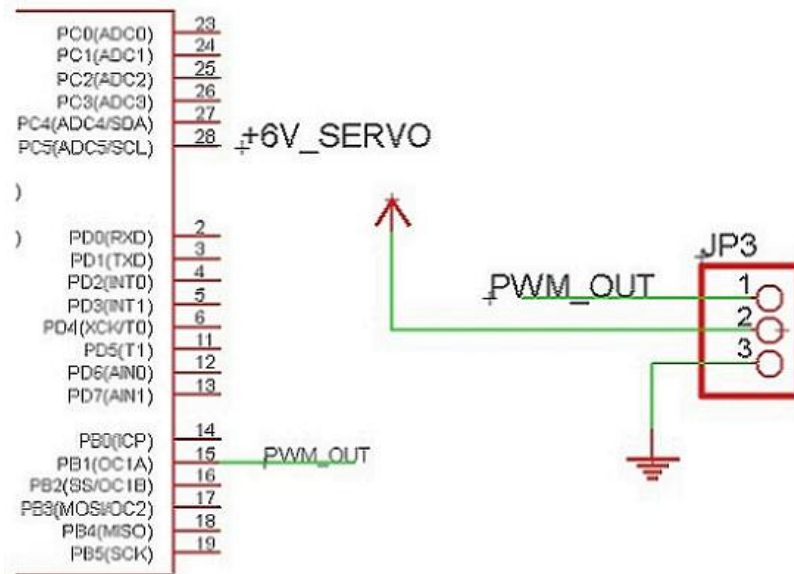


Figura 24 - Interface de saída PWM.

Fonte: Autoria própria.

Os primeiros testes e ajustes foram realizados através da montagem do circuito em *protoboard*, utilizando uma fonte externa industrial e analisada a forma de onda em osciloscópio, conforme mostra a figura 25. Os testes foram satisfatórios, obtendo com a frequência configurada, uma velocidade compatível com a necessária para a movimentação do painel solar.



Figura 25 - Ajustes do acionamento do servomotor através de PWM.

Fonte: Autoria própria.

3.3.7 Circuito do *Display* e Interfaceamento com o Microcontrolador

O *display* possui um microcontrolador interno que tem a função de receber os dados através da comunicação SPI e mostrar em sua tela os dados desejados. O mesmo disponibiliza em seu datasheet o código base com funções de inicialização, de posicionamento entre suas duas linhas por 16 colunas, e a escrita propriamente dita. Como ele apenas fornece a função de escrita de caractere, com base na tabela ASCII, foi necessário o desenvolvimento de uma função para o mesmo mostrar valores contidos em variáveis dos tipos inteira e char, onde a função *writedata* é nativa do próprio display. Abaixo é demonstrada a função criada:

```
void printnum(unsigned int num)
{
    writedata((num / 10000) + 48);
    num %= 10000;
    writedata((num / 1000) + 48);
    num %= 1000;
    writedata((num / 100) + 48);
    num %= 100;
    writedata((num / 10) + 48);
    writedata((num % 10) + 48);
}
```

A conexão do *display* com o microcontrolador é feita de forma simples, com ligação direta entre os pinos, apenas definindo no código quais são os pinos do microcontrolador que irão para os pinos de RS, RST, SCL, SI e CSB, responsáveis pela comunicação do *display*.

Para ligar o display a placa foi utilizado um conector fêmea de 1 x 7 ligados aos pinos PC2, PC3, PD0, PD1, PD3, todos configurados como saída. A figura 26 mostra o diagrama esquemático de ligação do *display* ao microcontrolador.

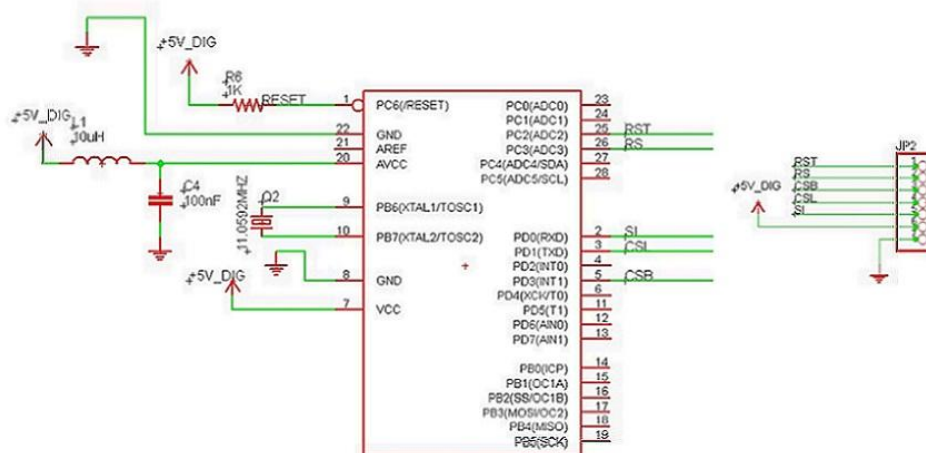


Figura 26 - Circuito de interface do *display* com o microcontrolador.
 Fonte: Autoria própria.

3.3.8 Montagem Placa Final

Para a montagem da placa final utilizou-se uma placa padrão tipo ilha de 15 cm x 7 cm, onde nela foram montados o circuito do microcontrolador e todos os periféricos com os respectivos conectores de interface com o meio externo. A figura 27a mostra a placa montada em sua versão final, e a figura 27b mostra a mesma placa dentro de uma caixa plástica comum, adaptada para o projeto.



Figura (a)



Figura (b)

Figura 27– Placa eletrônica de monitoração e posicionamento. a) Placa versão final. b) Placa montada em caixa.

Fonte: Autoria própria

3.4 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

A estrutura completa do sistema de aquecimento está dimensionada com 3 reservatórios, 2 coletores com placas alveolar (1,25 x 0,62), e tubulação de PVC tradicional de 25mm. O reservatório principal C1 representa a entrada de água fria no sistema, controlado por um registro principal. Os coletores dos reservatórios C2 e C3 estão posicionados a uma distancia de 1,30m abaixo, e é representada na figura 28

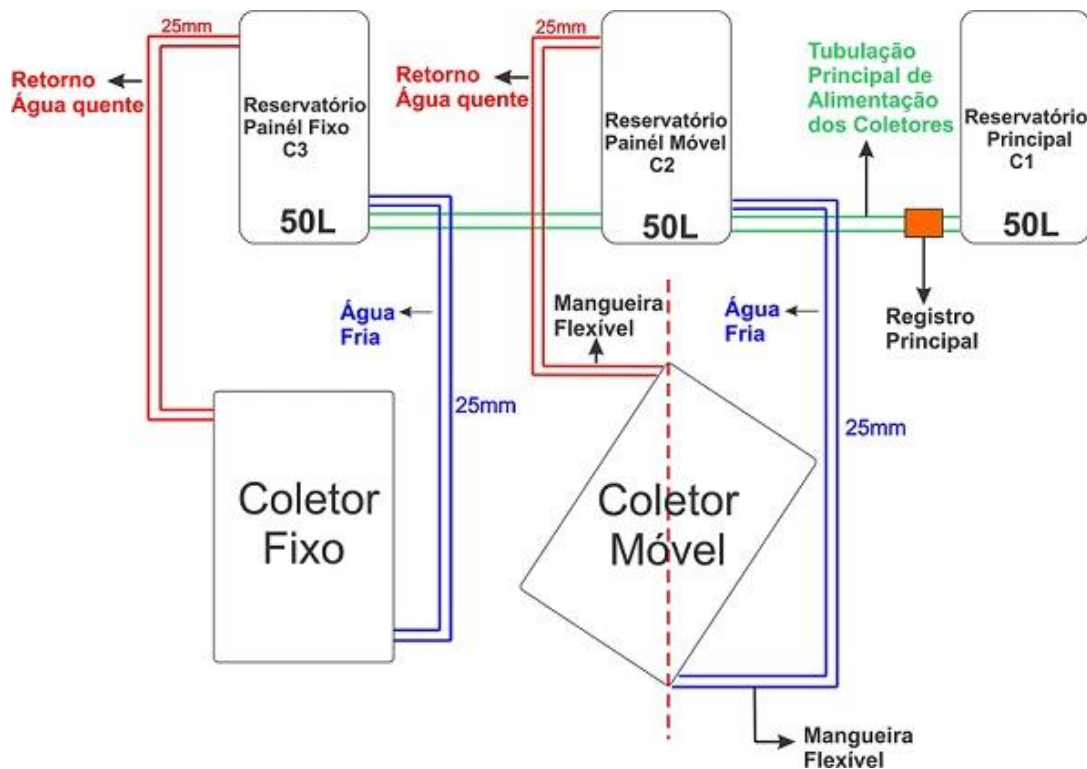


Figura 28 - Estrutura geral do sistema de aquecimento de água
 Fonte: Autoria própria

Na sequência detalha-se a montagem de cada um dos componentes do sistema.

3.4.1 Montagem dos Painéis Coletores

A montagem e teste dos painéis coletores se deram em duas etapas, com o experimento de duas versões de materiais. As duas versões testadas foram:

Versão 1: Nesta versão foi utilizado dois painéis montado com chapas de PVC, onde a montagem se deu através do encaixe de chapas de 10cm de largura x 1,25m de comprimento, uma na outra, com a interligação das saídas e entradas de água, através de canos de PVC de 32mm de diâmetro, em cada extremidade, e colados de forma a isolar todo e qualquer vazamento. A figura 29 mostra os painéis após a conclusão da montagem.

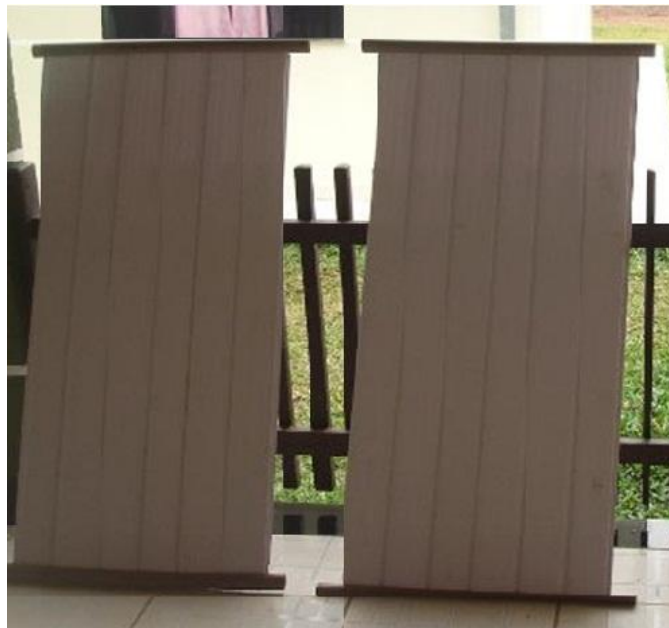


Figura 29 - Painéis de PVC montados e isolados sobre canos de PVC.
Fonte: Autoria própria.

Após a finalização da montagem foi feito a pintura dos mesmos com tinta resistente a altas temperaturas. Nos testes com esta forma de painéis, não se obteve bons resultados, pois, os mesmos acabaram sofrendo deformação devido a exposição à temperatura elevada, causando vazamentos e dificultando a circulação

da água de forma correta. A figura 30a demonstra os painéis após a pintura, e a figura 30b mostra o mesmo painel após sofrer deformação.



Figura 30–Pintura Painel PVC. a) Painel após pintura. b) Painel após deformação.
Fonte: Autoria Própria

Versão 2: Nesta versão foram utilizados painéis de policarbonato Alveolar, utilizando duas chapas de 1,25m de comprimento por 61cm de largura, onde os mesmos também foram montados com as entradas e saídas de água através de canos de PVC de 32mm de diâmetro e totalmente isolado de vazamentos, este tipo de painel tem tamanho padrão, apenas necessitando sua pintura com tinta resistente a altas temperaturas. A figura 31 mostra as chapa após a pintura.



**Figura 31 - Pannel Alveolar após pintura com tinta resistente a altas temperaturas.
Fonte: Autoria própria.**

Os testes com este tipo de pannel foram satisfatórios, uma vez que o mesmo é preparado para sistemas de aquecimento solar. A circulação de água através do processo de termossifão se deu normalmente entre suas canaletas internas.

3.4.2 Montagem dos Reservatórios

Os reservatórios foram montados com a utilização de 3 tambores de 50 litros denominados C1 (reservatório principal), C2 (reservatório do coletor móvel) e C3 (reservatório do coletor fixo), estão exemplificados nas figuras 32a e 32b, onde apenas os reservatórios C2 e C3 foram isolados externamente com manta térmica. As entradas e saídas de água para tubulação foram feitas através da utilização da ferramenta “serra copos” onde a mesma possui diâmetro específico para cada conexão utilizada.

O controle do nível de água em cada reservatório térmico se deu através do uso de bóias de PVC para caixa de água no tamanho “3/4” como demonstra a figura 33.



Figura (a)

Figura (b)

Figura 32 -Montagem reservatório Térmico. a) Tambor sem isolamento b) Tambor após a aplicação da manta de isolamento.

Fonte: Aatoria Própria.



Figura 33 - Sistema de controle de nível dos reservatórios.

Fonte: Aatoria própria.

3.4.3 Montagem da Tubulação

A montagem da tubulação do sistema dos dois coletores, se dá através de canos de PVC de 25mm de diâmetro, e conexões como luvas, joelhos, tampas, diferenciando entre, eles por um conjunto de mangueiras flexíveis utilizadas no coletor móvel, que possibilita a movimentação do painel através de seu eixo vertical, demonstrada na figura 34. A figura 35a mostra a tubulação com a mangueira flexível

que possibilita a movimentação do coletor móvel e a figura 35b demonstra a tubulação do coletor fixo com sistema de tubulação também fixa.



Figura 34 - Mangueira flexível utilizada no coletor móvel.
Fonte: Aatoria Própria

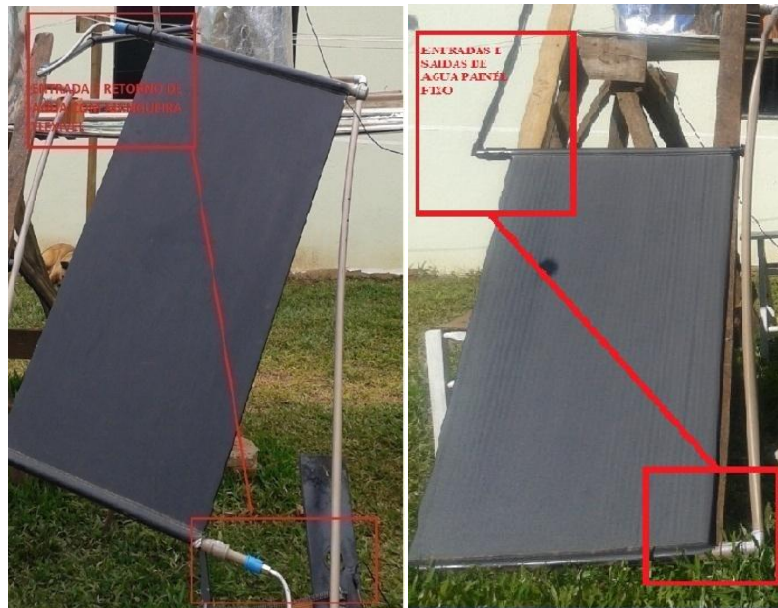


Figura 35– Conexões de entrada e saída de água dos coletores a) flexíveis painel móvel b) fixas para o painel fixo.
Fonte: Aatoria própria.

3.4.4 Protótipo Implementado

Após a preparação de todos os componentes, a montagem completa do sistema foi feita utilizando suportes e cavaletes de madeira. A figura 36 mostra o sistema montado por completo.

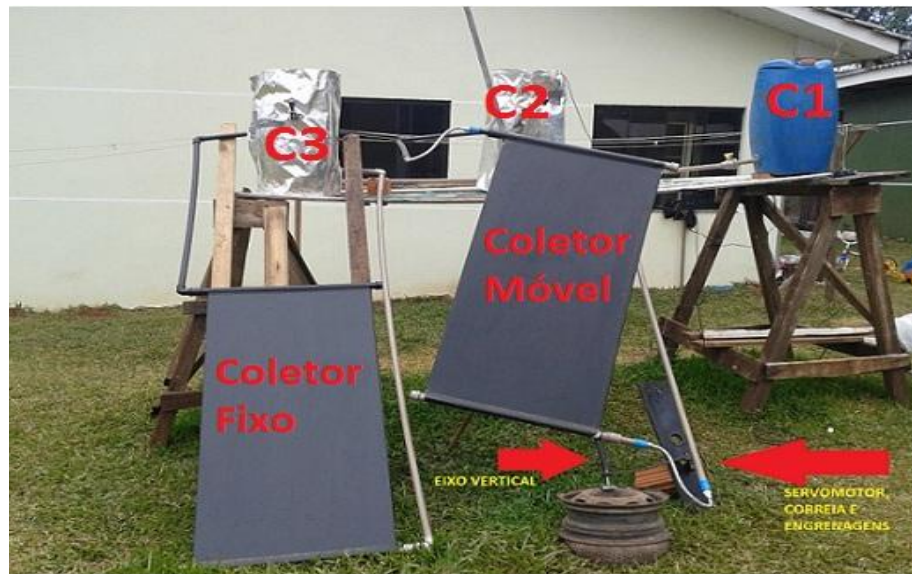


Figura 36 - Sistema de aquecimento solar montado completo
Fonte: Autoria própria

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os testes do circuito eletrônico e os testes com o painel real através do sistema de aquecimento solar.

4.1 TESTES DO CIRCUITO ELETRÔNICO

Os resultados apresentados neste item são provenientes de ensaios práticos realizados com o protótipo, onde o servomotor movimentou uma folha de papelão simulando a movimentação do painel. O servomotor foi posicionado na parte inferior da folha, e fixado com cola quente.

A figura 37 representa o posicionamento do servomotor com relação à folha de papelão utilizada nos testes.

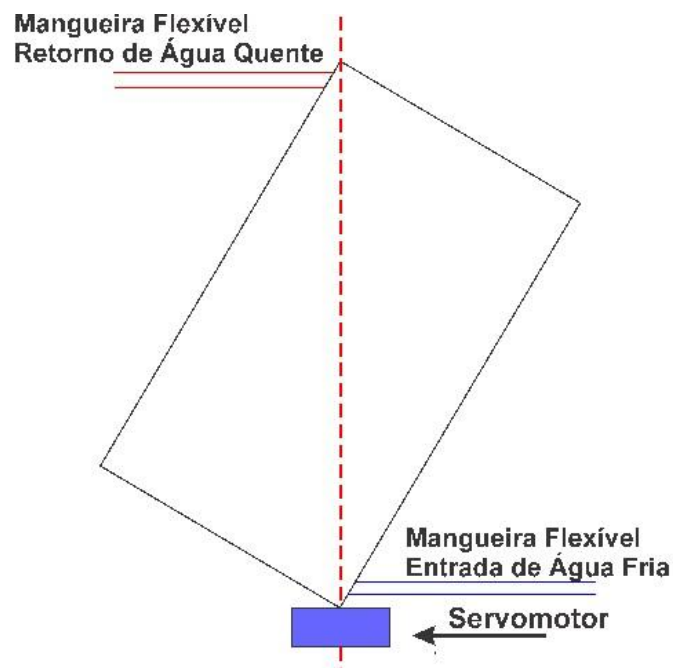


Figura 37- Representação do movimento do painel pelo servomotor
Fonte: Autoria própria.

A graduação do posicionamento da face da folha foi obtida através da medida de direção horizontal azimute. Onde se determinou uma escala própria de

gradação através do eixo vertical do painel, com relação ao ponto fixado no local onde o mesmo foi instalado. Como o valor de PWM enviado ao servomotor deve ser em hexadecimal, para posicionar o motor em 0° determinou-se o valor 0x29h, e o valor para a direção totalmente oposta, ou seja, 180° foi determinada como sendo 0x9Fh.

Através da gradação própria do painel, determinou-se a equação para encontrar o valor em hexadecimal para cada posição do painel com relação à posição do sol no horário determinado, iniciado as 07:30 AM e finalizado as 16:30 PM, com variação de posicionamento de 1 em 1 hora, onde o painel deslocou-se aproximadamente 13.5° cada hora. A equação determinada para o ajuste da angulação do painel foi:

$$\frac{(0x9F - 0x29) * \text{angulo}}{180} + 0x29h$$

onde:

A diferença obtida pela subtração de 0x9Fh – 0x29h é o valor em hexadecimal total percorrido pelo motor em 180°, obtêm-se 0x76h. Para o calculo, por exemplo, da primeira posição do motor, ou seja, as 07:30 AM, onde o ângulo é aproximadamente 22°, obteve-se da seguinte maneira:

- Converte o valor subtraído de 0x9Fh - 0x29h para decimal

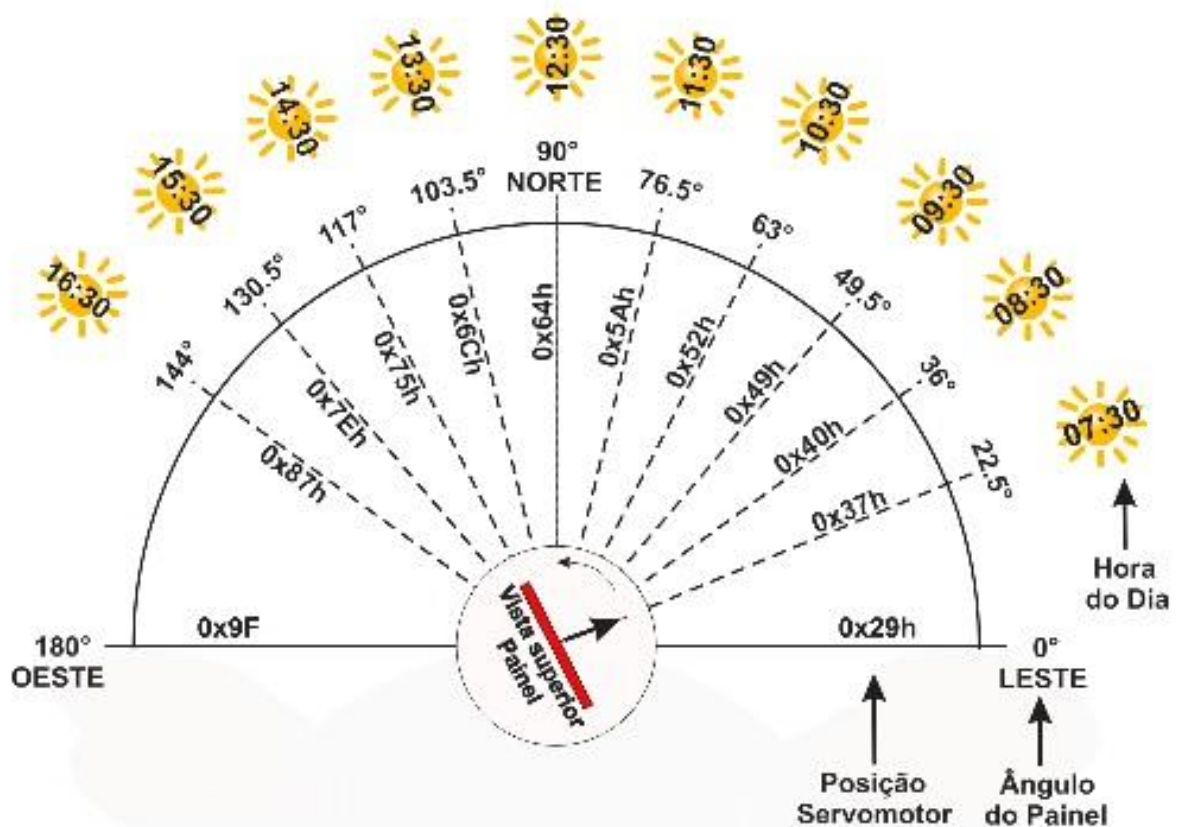
$$\text{Resultado} = 118$$

Utilizando este valor na fórmula têm-se:

$$\frac{118 * 22}{180} = 14$$

Converte-se o valor em 14 que está em decimal para hexadecimal e soma com 0x29h. Utilizando na formula obtêm-se:

$$0x0Eh + 0x29h = 0x37h$$



Ou seja, para que o painel seja posicionado no ângulo aproximado de 22.5°, o valor de PWM é 0x37h.

Todas as posições, horários e ângulos determinados para o posicionamento do painel são representados na figura 38.

Figura 38 - Relação de ângulos, horário e posição do painel
 Fonte: Autoria própria

Os demais periféricos do circuito eletrônico funcionaram conforme o esperado. Onde o RTC foi ajustado com precisão e lido posteriormente. O mesmo forneceu a hora e a data corretamente mesmo após vários dias sem a alimentação principal, apenas se mantendo através da bateria auxiliar.

O *display* também funcionou conforme o esperado, mostrando em sua tela as informações necessárias, determinadas para o projeto, como hora, data e as temperaturas dos sensores 1 e 2.

4.2 TESTES DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

Os testes da movimentação do painel real com água, através do servomotor não foram satisfatórios, pois o peso do conjunto excedeu a capacidade do mesmo e a movimentação precisou ser feita de forma manual, seguindo a mesma lógica de posicionamento desenvolvida para o servomotor.

Foram feitos 2 dias de testes do sistema de aquecimento solar, onde coletou-se as temperaturas dos dois coletores, o fixo (C3) e o móvel (C2) e a temperatura ambiente, obtidos através de um terceiro sensor, que foi alternado entre os sensores já instalados no sistema. Os testes foram feitos até as 16:30 devido a localização onde foi fixado o painel, pois, a partir deste horário não havia mais incidência dos raios solares sobre o painel devido a presença de arvores a oeste. A tabela 4 mostra as medições de temperatura obtidas no 1º dia, durante o intervalo de tempo estipulado.

Tabela 4 – Tabela de medições de temperatura do 1º dia de testes.

Hora 1º dia	Temperatura Ambiente	Temperatura Móvel (C2)	Temperatura Fixo (C3)
07:30	9.3°	16°	16 °
08:30	12.5°	17.8°	17.3°
09:30	13,3°	28.3°	22.4°
10:30	16.2°	31.8°	26.4°
11:30	18.2°	35.6°	28.7°
12:30	20.3°	39.9°	35.3°
13:30	21.1°	43.7°	37.2°
14:30	21.5°	48.9°	41.2°
15:30	20.7°	46.6°	38.9°
16:30	19.5°	44.5°	36.5°

Fonte: Autoria própria

A Figura39 apresenta as variações de temperatura com relação aos horários do 1º dia em que foram coletados os dados.

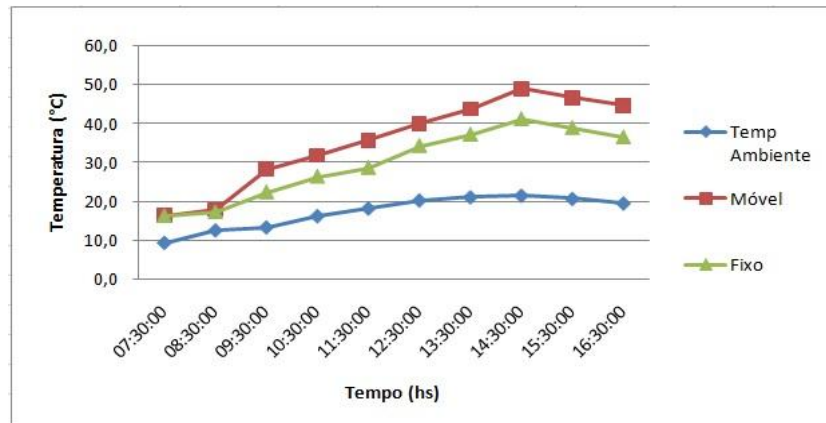


Figura 39 - Valores de temperaturas mensuradas durante o 1º dia
Fonte: Autoria Própria

Pode-se perceber um aumento significativo de temperatura medida no retorno do coletor móvel, com relação ao retorno do painel fixo. Porém percebeu-se que a temperatura diminuiu bastante nos reservatórios no primeiro horário do dia, e também nas horas em que a incidência solar diminuía.

Observou-se que a havia partes dos reservatórios que não estavam isoladas adequadamente, como a parte de cima e alguns pontos laterais. Para resolver este problema resolveu-se adotar mais uma camada de manta térmica, bem como isolar a parte superior. Os valores de temperaturas medidos no 2º dia, após o aumento da isolamento térmica estão demonstrados na tabela 5, onde as temperaturas se mantiveram elevadas mesmo durante a noite.

Tabela 5 – Tabela de medições de temperatura do 2º dia de testes.

Hora 2º dia	Temperatura Ambiente	Temperatura Móvel(C2)	Temperatura Fixo(C3)
07:30	14.3°	30.5°	29.3°
08:30	14.8°	32.9°	29.8°
09:30	16.1°	34.3°	31.5°
10:30	19.2°	35.1°	32.4°
11:30	20.5°	38.5°	33.7°
12:30	22.3°	47.9°	37.3°
13:30	22.5°	51.2°	42.3°
14:30	22.1°	53.9°	44.2°
15:30	19.7°	55.9°	43.4°
16:30	18.9°	55.1°	42.1°

Fonte: Autoria própria

Com o aumento da isolamento térmica, obteve-se uma melhora na conservação da temperatura nos reservatórios, a figura 40 mostra as variações de temperatura com relação aos horários do 2º dias de testes.

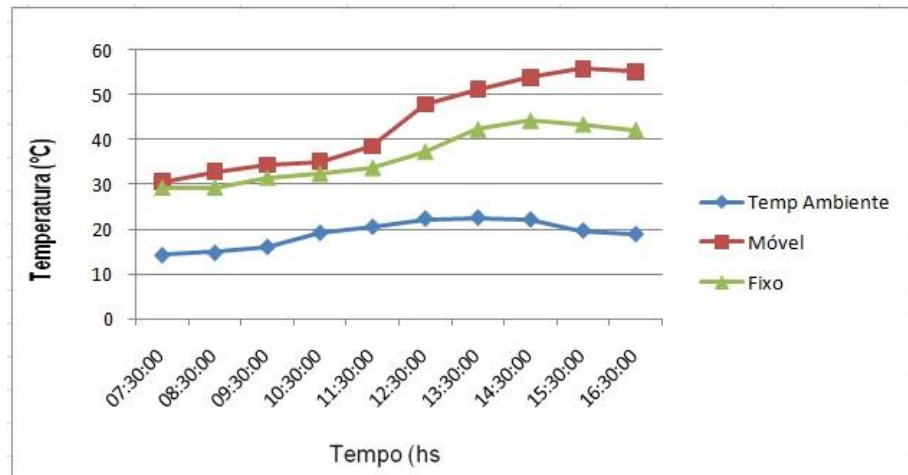


Figura 40 - Valores de temperaturas mensuradas durante o 2° dia
Fonte: Autoria Própria

4.3 ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Verificando os testes com os dados obtidos, observa-se um aumento da temperatura no coletor móvel maior que 10% comparado ao coletor fixo, iniciando uma alteração considerável durante o teste às 13h30min dos dias analisados.

Um coletor alveolar de 1,25 x 0,62 aqueceu 100L de água durante 4 horas de exposição ao sol, sendo que o consumo uma família de cinco pessoas incluindo o banho é de 50L por dia (SOCIEDADE DO SOL 2013), nessa situação é necessário um reservatório de 250 litros.

Dados apontam através de uma comparação entre, o chuveiro elétrico e o custo necessário para montagem e instalação do sistema de painel solar baixo custo, um retorno de investimento após 11 meses de utilização do sistema (SOCIEDADE DO SOL – 2013), O valor desse protótipo chegou R\$790,00, isto é, 10% dos valores comparando com produtos industrializados e comercializados com a mesma função: aquecimento de água através da energia solar, e a mesma dimensão do protótipo utilizado para testes, vendidos no comercio atualmente.

Comparando o sistema de baixo custo com o sistema do protótipo onde um painel é móvel, recebendo atribuições de movimento e posicionamento incorporado com eletrônica, chegamos ao custo no final da implementação de R\$1.020,00. Nessa situação os valores são comparados a uma família de 5 pessoas, mas com capacidade para atender uma família de 7 pessoas ou um

aumento de capacidade do sistemas em 45%, visando que com temperaturas mais altas, o nível de utilização pelo usuário é menor, pois a quantidade utilizada de água fria para misturar ou equilibrar termicamente é maior.

5 CONCLUSÕES

Os resultados dos testes do projeto foram feitos através de ensaios práticos e testes realizados com o protótipo, para a verificação das funcionalidades parciais e totais do sistema.

Após todos os testes serem concluídos, A movimentação do painel real não foi satisfatória, pois o peso do conjunto excedeu a capacidade máxima do servomotor, e necessitou uma movimentação manual do painel, posicionando de forma idêntica a automática, para que os testes de temperatura pudessem ser feitos.

Os resultados obtidos mostram a eficiência no aumento da temperatura, através da movimentação do painel, com a face do mesmo orientado diretamente para o sol, obtendo o máximo de incidência da radiação solar.

As maiores dificuldades encontradas se deram durante a construção do sistema de aquecimento solar, antes de ser encontrada a solução da deformação dos painéis, foram necessários vários dias realizando testes com material indicado, e outros pesquisados durante o processo.

Outra dificuldade encontrada foi o ajuste da posição do painel através dos valores de PWM, a mesma demandou de estudos específicos de graduação da posição do sol com relação ao local onde foi instalado o sistema.

Também, outra atividade que necessitou uma grande disponibilidade de dias de trabalho, foi a configuração e programação do microcontrolador, pois exigiu que fosse feito um trabalho de aprendizado quanto a alguns aspectos do compilador, e das particularidades do microcontrolador ATMEGA328.

Para melhoria do sistema, estão previstos a modificação do servomotor, através dos testes com um de maior capacidade, visando obter sucesso em todas as funções propostas no projeto.

Ajustes de posicionamento necessários para o sistema funcionar em nas 4 estações do ano, pois os testes descritos neste projeto foram todos feitos no

inverno e a troca dos coletores de plástico pelos de polipropileno, com isso, mantendo a água quente por mais tempo.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **ENERGIA SOLAR.** Disponível em: <[www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em: 24Jun. de 2013.

ATMEL. **DatasheetATMEGA328.** Disponível em: <<http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>>. Acesso em: 11 mai. de 2013.

ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Detalhes e Conceitos.** Disponível em: <http://energiasrenovaveis.com/DetalleConceitos.asp?ID_conteudo=42&ID_area=8&ID_sub_area=26>. Acesso em: 22 Mar de 2013.

ELETRONICA DO VALE RS. **Termômetro com LM35.** Disponível em: <<http://eletronicadovalers.blogspot.com.br/2011/11/termometro-com-lm35.html>>. Acesso em: 17 ago. de 2013.

HPINFOTECH. **CodeVisionAVR.** Disponível em: <http://hpinfotech.ro/cvavr_features.html>. Acesso em: 15 jun. de 2013.

OLIVEIRA, André Schneider de; ANDRADE, Fernando Souza de. **Sistemas embarcados: Hardware e firmware na prática.** São Paulo: Érica, 2006.

MAXIM INTEGRATED. **DS1307.** Disponível em: <<http://www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/7688>>. Acesso em: 19 jun. de 2013.

MESASOLAR. **Noções iniciais sobre o aquecimento solar.** Disponível em: <www.mesasolar.org.uy/archivos/Noco.es.pdf>. Acesso em: 19 Fev. de 2013.

ORDOZES, Edward D. M.; PENTEADO, Cesar G.; SILVA, Alexandre C. R. **Microcontroladores e FPGA's Aplicações em Automação.** São Paulo: Novatec, 2005.

OTTOBONI, Augusto. Servo - **Acionamentos.** Mecatrônica Atual, São Paulo, v. 1, n. 6, p. 7- 14, outubro 2002.

PICTRONICS. **Como funciona um Servomotor.** Disponível em: <www.pictronics.com.br/artigos-tecnicos/43-eletronica-e-automacao/89-como-funciona-um-servo-motor.html>. Acesso em: 16 mai. de 2013.

ROBOLIVRE. **Microcontroladores.** Disponível em:<<http://robolivre.org/conteudo/microcontroladores.pd>>. Acesso em: 20 mai. de 2013.

ROBOLIVRE. **Servomotor.** Disponível em:<<http://robolivre.org/conteudo/servomotor.pd>>. Acesso em: 15 mai. de 2013.

SOCIEDADE DO SOL. **Aquecedor solar de baixo custo.** Disponível em: <<http://www.sociedadedosol.org.br/site/>>. Acesso em: 13 jul de 2013.

SOLETROL. **História Educacional.** Disponível em: <<http://www.soletrol.com.br/educacional/historia.php.pd>>. Acesso em: 12 Fev. de 2013.

SUNEARTHTOOLS. **Ferramentas para Designers e consumidores de energia solar.** Disponível em: <[http:// www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php.pd](http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php.pd)>. Acesso em: 15 ago. de 2013.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM35.** Disponível em:<<http://www.ti.com/product/lm35.pd>>. Acesso em: 17 ago. de 2013.

TOCCI, Ronald J.; WIDMER, Neal S.; MOSS, Gregory L. **Sistemas Digitais: princípios e aplicações.** 10. ed. São Paulo: Pearson, 2007.

WOLFGANG, Palz. Servo - **Energia Solar e Fontes Alternativas**, Editora Limitada, 1981.