

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUIZ AUGUSTO SPISILA

**SISTEMA DE AR CONDICIONADO DISTRIBUÍDO ALIMENTADO POR ENERGIA
SOLAR FOTOVOLTAICA**

CURITIBA

2018

LUIZ AUGUSTO SPISILA

**SISTEMA DE AR CONDICIONADO DISTRIBUÍDO ALIMENTADO POR ENERGIA
SOLAR FOTOVOLTAICA**

Monografia apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso B como requisito à conclusão do Curso de Engenharia Elétrica, Setor Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Rogers Demonti

CURITIBA

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

LUIZ AUGUSTO SPISILA

SISTEMA DE AR CONDICIONADO DISTRIBUÍDO ALIMENTADO POR ENERGIA SOLAR

Monografia aprovada como requisito à conclusão do Curso de Engenharia Elétrica, Setor Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Rogers Demonti
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR.

Prof. Dr. Edemir Luiz Kowalski
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR.

Prof. Dr. Carlos Marcelo Pedroso
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR.

Curitiba, 26 de Junho de 2018.

Dedico à minha família, professores e amigos.

Agradeço primeiramente a Deus, pelas oportunidades a cada amanhecer. Agradeço a toda minha família, que de alguma forma contribuíram para minha formação.

Agradeço a cada professor que contribuiu de forma direta ou indireta, para minha graduação, com sua dedicação e paciência, e em especial o professor orientador professor Dr. Rogers Demonti.

*“O sucesso é ir de fracasso em fracasso
sem perder entusiasmo.”*

(Winston Churchill)

RESUMO

Este trabalho se propõe a elaborar um dispositivo capaz de aproveitar a energia solar e transformar esta energia, que não agride o ambiente, em um gradiente de temperatura para refrigerar um ambiente controlado utilizando uma célula Peltier. O consumo de energia elétrica vem aumentando a cada ano, onde em regiões de alta temperatura devido ao uso de ar condicionado, é mais acentuado. Este fator contribui para o aumento da demanda de energia elétrica em determinados horários. O dispositivo quer aproveitar a energia fornecida de pequenas células fotovoltaicas para alimentar uma célula Peltier e refrigerar um ambiente controlado. A refrigeração termoelétrica vem de encontro ao uso de energias alternativas, tanto no que diz respeito ao custo, manutenção e níveis de ruído, quanto à praticidade na montagem de dispositivos compactos e confiáveis. O sistema se propõe a ser totalmente isolado da rede elétrica, utilizando componentes de baixo consumo e sistema micro controlado para controle dos sensores. O dispositivo terá comunicação sem fio com o usuário, para acompanhamento das temperaturas. Para o aproveitamento mais eficiente da célula fotovoltaica é o controle através do ponto de máxima potência e utilizando também de sensores para localização do maior nível de incidência solar. Como resultado, teremos um dispositivo compacto, de fácil manutenção e transporte, podendo ser acoplado em diferentes sistemas em que se deseja refrigerar.

Palavras-chave: Ar condicionado, célula Peltier, consumo energia elétrica, célula fotovoltaica.

ABSTRACT

This work aims to develop a device capable of harness solar energy and transform this sustainable energy in a temperature gradient for cooling a controlled environment using a Peltier cell. In Brazil, the electricity consumption is increasing every year due to the use of air conditioning is more pronounced. This factor contributes to the increase of electricity demand at certain times. The device use the power supplied from small photovoltaic cells to power a Peltier cell and cooling a controlled environment. The thermoelectric cooling and the use of alternative energy devices are good alternatives in respect to cost maintenance and noise levels, as to the practical assembly of compact and reliable devices. The system is intended to be fully isolated from the power grid, using components with low power consumption, like sensors, motors, Peltier cell, and microcontroller and communication system. The device will have wireless communication with the user for monitoring the externa and internal temperatures. For the most efficient use of the photovoltaic cell is the control through the point of maximum power and also using sensors to locate the highest level of solar incidence. As a result, we will have a compact device, easy to maintain and transport, and can be coupled in different systems where it is desired to cool.

Key-words: Air conditioning, Peltier cell, electricity consumption, photovoltaic cell.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Experiências de Seebeck, à esquerda, e de Peltier, à direita.....	16
Figura 2 – Esquema da Célula de Peltier.	19
Figura 3 – Visão interna da célula de Peltier durante o efeito Peltier.	20
Figura 4 – Montagem do módulo de Peltier com o uso de ventiladores e dissipadores.....	20
Figura 5 – Célula fotovoltaica 15 Watts.	24
Figura 6 – Áreas ocupadas por diferentes módulos e tecnologias.	25
Figura 7 – Curva I-V de duas células fotovoltaicas (a) em série e (b) em paralelo...	26
Figura 8 – Sensor de temperatura LM35.	27
Figura 9 – Placa MSP430 <i>LaunchPad</i>	28
Figura 10 – Gráfico típico de um painel solar.	29
Figura 11 – Característica corrente versus tensão para diferente irradiação solar...	30
Figura 12 – Exemplo do sistema distribuído proposto.	30
Figura 13 – Esquema do sistema proposto.	32
Figura 14 – Medidas da caixa utilizada no projeto.	33
Figura 15 – Célula de Peltier TEC1-12706.	35
Figura 16 – Dimensões célula de Peltier TEC1-12706.	36
Figura 17 – Simulação em um ambiente.	36
Figura 18 – Caixa utilizada no experimento.....	38
Figura 19 – Cotas da caixa de isopor.	39
Figura 20 – Montagem da célula de Peltier entre dois dissipadores.....	39
Figura 21 – Detalhe do ventilador acoplado ao conjunto célula de Peltier e dissipadores.....	40
Figura 22 – Montagem do conjunto Peltier + dissipador em ambiente controlado...	40
Figura 23 – Visão geral do projeto.....	40
Figura 24 – Módulo Controlador MPPT 5A <i>Step Down</i>	41
Figura 25 – Relação logarítmica entre iluminância e resistência.	42
Figura 26 – LDR alinhados com anteparo entre eles.....	42
Figura 27 – Sensor de alinhamento à fonte de luz: LDR e anteparos.	43
Figura 28 – Motor de passo NEMA17.....	44
Figura 29 – Driver do motor de passo.....	45
Figura 30 – Placa com driver do motor de passo.	45
Figura 31 – Servo motor SG90.	45
Figura 32 – Estrutura do braço robótico (vista lateral).	46
Figura 33 – Estrutura do braço robótico (vista frontal).	46
Figura 34 – Alavanca e conexões para o servo motor.....	47
Figura 35 – Visão geral do mecanismo robótico de alinhamento à fonte de luz.	47
Figura 36 – Placa de controle da interface de hardware montada sobre a placa MSP430.	47
Figura 37 – Montagem experimental do mecanismo de alinhamento à fonte de luz. 48	
Figura 38 – Montagem final do mecanismo de alinhamento à fonte de luz (vista frontal).....	49
Figura 39 – Montagem final do mecanismo de alinhamento a fonte de luz (vista oposta).....	49

Figura 40 – Orientação da fase do módulo fotovoltaico.....	50
Figura 41 – Placa HC-05.	52
Figura 42 – Placa HC-05 detalhes ligação.....	52
Figura 43 – Ligação RX e TX na placa HC-05.....	53
Figura 44 – Placa <i>Arduino</i> UNO.	54
Figura 45 – Características placa <i>Arduino</i> UNO.	54
Figura 46 – Montagem dos dissipadores e ventoinhas à Peltier.....	56
Figura 47 – Montagem do sistema de medição de temperatura.....	57
Figura 48 – Montagem do conjunto de teste.....	57
Figura 49 – Teste do conjunto sem movimento.	58
Figura 50 – Resultados do conjunto sem movimento - dia com nuvens e sol.	59
Figura 51 – Resultados do conjunto sem movimento - dia com sol e nuvens.	59
Figura 52 – Resultados do conjunto sem movimento – dia com sol.	59
Figura 53 – Teste do conjunto com movimento.	60
Figura 54 – Resultados do conjunto com movimento – dia com nuvens e sol.....	61
Figura 55 – Resultados do conjunto com movimento – dia com sol e nuvens.....	61
Figura 56 – Resultados do conjunto com movimento – dia com sol.	61
Figura 57 – Média das leituras dos sensores.	63
Figura 58 – Diferença das médias das temperaturas.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de condutividade térmica.	23
Tabela 2 – Características da célula fotovoltaica.....	25
Tabela 3 – Especificações de desempenho da célula de Peltier TEC1-1206.....	35
Tabela 4 – Características Motor NEMA17.....	44
Tabela 5 – Comandos de configuração da placa HC-05.	53
Tabela 6 – Resultados das medidas sem movimento mecanismo.	60
Tabela 7 – Resultados das medidas com movimento mecanismo.	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	- <i>Analogic Digital Converter</i>
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
BTU/h	- Unidade Térmica Britânica por hora
CPU	- <i>Central Processing Unit</i>
GND	- <i>Ground</i>
LDR	- <i>Light Dependent Resistors</i>
MPPT	- <i>Maximum Power Poit Tracker</i>
NBR	- Norma Brasileira Regulamentar
NTC	- <i>Negative Temperature Coefficient</i>
PTC	- <i>Positive Temperature Coefficient</i>
RX	- <i>Received Signal</i>
RXD	- <i>Data Reception</i>
TO-92	- Modelo encapsulamento circuito integrado
TX	- <i>Transmitted Signal</i>
TXD	- <i>Data Transmitted</i>
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
USB	- <i>Universal Serial Bus</i>
VCC	- Volts Corrente Continua
WPANS	- <i>Wireless Personal Area Networks</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 EFEITOS TERMOELÉTRICOS E FOTOCÉLULA	15
2.1.1 Fenômenos Termoelétricos	15
2.1.2 Células Fotovoltaicas	17
2.2 COMPONENTES UTILIZADOS	18
2.2.1 A Célula de Peltier	18
2.2.2 Princípio de funcionamento da Célula de Peltier	19
2.2.3 Configurações da Célula de Peltier	20
2.2.4 Dimensionamento da Célula de Peltier por Carga Térmica	21
2.2.4.1 Utilizando carga Ativa	21
2.2.4.2 Utilizando carga Passiva	21
2.3 A CÉLULA FOTOVOLTAICA.....	24
2.4 SENSOR DE TEMPERATURA.....	26
2.5 PLACA DE MICROCONTROLADOR	28
2.6 AUMENTO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	29
2.7 SISTEMA DISTRIBUÍDO.....	30
2.8 TRANSMISSÃO DE DADOS VIA BLUETOOTH.....	31
3 METODOLOGIA	32
4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	33
4.1 CÁLCULOS PARA CÉLULA DE PELTIER	33
4.2 UTILIZANDO CARGA PASSIVA.....	33
4.3 ESCOLHA DA CÉLULA DE PELTIER	34
4.4 SIMULAÇÃO DA CAPACIDADE PREVISTA.....	36
4.5 MONTAGEM DO AMBIENTE CONTROLADO	38
4.6 MONTAGEM DA CÉLULA DE PELTIER	39
4.7 PROBLEMA DE CONSUMO DE CORRENTE.....	41
4.8 SENSOR DE ALINHAMENTO COM A FONTE DE LUZ	41
4.9 MONTAGEM DO MECANISMO ROBÓTICO PARA ALINHAMENTO À FONTE DE LUZ.....	43
4.9.1 Construção do Projeto.....	48
4.9.2 Determinação do Tempo de Rastreamento.....	49
4.10 FIRMWARE DE TESTES DE MOTORES.....	51
4.11 SISTEMA DE MONITORAMENTO DA TEMPERATURA COM <i>BLUETOOTH</i>	51
4.11.1 Placa Arduino Uno	54
5 RESULTADOS OBTIDOS COM O SISTEMA	55
5.1 ANÁLISE E LEVANTAMENTO DAS FUNCIONALIDADES.....	55
5.2 MEDIÇÃO DA TEMPERATURA	56
5.3 AMBIENTE DE DIMENSÕES REDUZIDAS.....	57
5.4 MEDIDAS SEM O MECANISMO DE ALINHAMENTO À FONTE DE LUZ	58
5.5 MEDIDAS COM O MECANISMO DE ALINHAMENTO A FONTE DE LUZ.....	60
6 RESULTADOS APRESENTADOS E CONCLUSÕES	63
6.1 TRABALHOS FUTUROS.....	64
REFERÊNCIAS	66
DOCUMENTOS CONSULTADOS	68
APÊNDICE	69

1 INTRODUÇÃO

A evolução da ciência e da tecnologia proporcionou à sociedade contemporânea, em linhas gerais, grande melhoria na qualidade de vida. Merece destaque, entre uma série de outros fatores, o acesso aos produtos das indústrias automotiva e eletroeletrônica.

Especificamente ao tratar de equipamentos de ar condicionado, há que se considerar um contexto que envolve, entre outros fatores, o paradoxo entre o aquecimento global e a constante busca por conforto, além de fatores como a segurança para operação de alguns equipamentos e atividades econômicas. No contexto brasileiro, nota-se que o pico de consumo de energia elétrica devido aos consumidores residenciais que utilizam aparelhos de ar condicionado convencional durante todo o dia, foi capaz de aumentar este pico em determinados horários do dia. Nestes horários o aparelho de ar condicionado é usado, principalmente, para o resfriamento do ambiente.

Observa-se, ainda, uma tendência mundial de busca por novas fontes de energia que possam atender ao acelerado crescimento da demanda, de forma não poluente e sustentável. Neste contexto, a energia solar fotovoltaica aparece como uma opção a ser considerada.

Nos sistemas fotovoltaicos, a radiação solar é convertida em energia elétrica por intermédio dos chamados semicondutores, que são configurados em elementos denominados células fotovoltaicas.

O presente projeto se propõe a desenvolver um equipamento para condicionamento de temperatura ambiente, a partir da energia solar fotovoltaica e que utilize elementos conhecidos como células Peltier para transformar a energia elétrica proveniente do painel solar para criar diferença de temperatura nas faces dessa célula. A face aquecida terá seu calor dissipado para o ambiente externo e a face resfriada terá uma pequena ventoinha para enviar o ar frio em contato com esta face para dentro de um ambiente. A intenção final é que cada ambiente tenha vários desses aparelhos em suas paredes resfriando o ambiente interno, constituindo um grande sistema de ar condicionado distribuído, que agirá coordenadamente com o

sistema de ar condicionado já existente.

Cada aparelho terá comunicação sem fios, como o *Bluetooth*, por exemplo, para enviar e receber dados e com isso dotar o sistema distribuído de inteligência através de um sistema computacional externo. Isso também possibilitará o uso de um sistema convencional em paralelo de forma a se obter economia de energia e máximo conforto térmico.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

A partir do contexto apresentado, o presente projeto se propõe a desenvolver um sistema de condicionamento de temperatura ambiente alimentado por energia solar fotovoltaica, totalmente independente da rede elétrica convencional. Inicialmente será desenvolvido um pequeno aparelho para testes em um ambiente de dimensões reduzidas, como prova de conceito. Este ambiente pode ser uma caixa de isopor, na qual se pode facilmente obter dados de perdas térmicas em paredes e medir a real eficiência do sistema.

1.1.2 Objetivos específicos

Para a consecução do objetivo geral, pretende-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- Levantamento de bibliografia disponível, das características técnicas das fotocélulas e dispositivos de Peltier, componentes que serão utilizados no desenvolvimento do projeto;
- Levantamento da especificação de *hardware* das interfaces e leiaute;

- Desenvolvimento do *software* para ser utilizado na placa MSP430;
- Montagem da parte mecânica do equipamento, com os dispositivos e sensores acoplados;
- Construção e ligação da parte mecânica com a placa MSP430, com fontes e interfaces necessárias;
- Análise e levantamento das funcionalidades do sistema e problemas encontrados;
- Medição das temperaturas para verificação das funcionalidades do sistema;
- Interligar o dispositivo a um ambiente de dimensões reduzidas, como teste de conceito;

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O projeto está construído da seguinte forma: o primeiro capítulo tem a introdução, objetivos e estrutura do trabalho.

O segundo capítulo apresenta os conceitos e teorias para a resolução do problema apresentado referente ao desenvolvimento do equipamento de ar condicionado, apresentando os principais conceitos sobre os sensores, células fotovoltaicas e conceitos teóricos sobre o funcionamento da célula de Peltier.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada para a condução dos trabalhos e desenvolvimento do projeto.

O quarto capítulo detalha as diversas etapas de desenvolvimento do projeto, desde os cálculos envolvidos até a construção dos diversos dispositivos envolvidos.

O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos com o sistema projetado e construído em funcionamento.

O sexto capítulo discute os resultados apresentados, e demais conclusões obtidas com os estudos, além de sugerir possíveis trabalhos futuros.

Finalmente, há uma parte com as referências consultadas durante o desenvolvimento dos trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EFEITOS TERMOELÉTRICOS E FOTOCÉLULA

2.1.1 Fenômenos Termoelétricos

A termoeletricidade estuda os fenômenos que associam o fluxo de calor à corrente elétrica, com o objetivo de gerar energia elétrica ou térmica (ALMEIDA, 2013, p.37). Os efeitos termoelétricos, portanto, estão relacionados com a conversão de energia térmica em elétrica e vice-versa. São conhecidos três tipos de efeitos termoelétricos, identificados por seus descobridores: Seebeck, Peltier e Thomsom.

Os primeiros estudos relevantes no campo da termoeletricidade datam do início do século XIX. Oliveira (2014) relata que o físico alemão Thomas Johann Seebeck, no início dos anos 1820, descobriu que um circuito feito de dois diferentes metais desviava a agulha de uma bússola próxima, quando ocorria o aquecimento das junções. Tal descoberta, associada aos estudos de Alessandro Volta, de 1794, permitiu comprovar que a diferença de temperatura produzia uma diferença de potencial elétrico, criando uma corrente elétrica em circuito fechado.

O francês Jean Charles Peltier, nos anos 1830, verificou que uma corrente elétrica poderia gerar aquecimento ou resfriamento na união de dois metais diferentes (OLIVEIRA, 2014, p.23).

O efeito Peltier é o reverso do efeito Seebeck: neste fenômeno termoelétrico, quando é aplicada uma tensão em um circuito elétrico fechado, formado por uma junção de condutores ou semicondutores distintos, dependendo do sentido de passagem da corrente que atravessa o circuito, uma das junções absorve calor e outra o libera (OLIVEIRA, 2014). Ambos os fenômenos aparecem comparados na Figura 1.

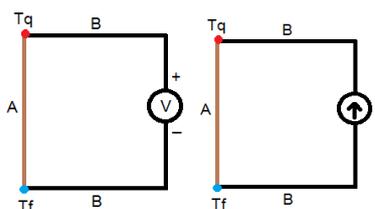


Figura 1 – Experiências de Seebeck, à esquerda, e de Peltier, à direita.
 FONTE: OLIVEIRA (2014).

E William Thomson, em 1851, associando os estudos de Seebeck e de Peltier às leis da Termodinâmica, demonstrou que calor é absorvido ou produzido quando uma corrente elétrica flui em um material com gradiente de temperatura (OLIVEIRA, 2014, p.23). A esse respeito, Almeida (2013) destaca que os estudos de Thomson determinaram que um metal submetido a uma corrente elétrica com gradiente de temperatura, poderia produzir frio ou calor dependendo apenas do sentido em que a corrente elétrica passasse pelo material.

Almeida (2013) informa que os fenômenos termoelétricos possuem baixa eficiência nos metais e alta eficiência nos materiais semicondutores, como o Silício e o Germânio, uma vez que a condutividade térmica aumenta de acordo com a elevação da temperatura. Oliveira (2014) salienta que, para aumentar a versatilidade dos semicondutores ao trabalhar em altas temperaturas, são utilizadas diferentes técnicas de dopagem nos materiais.

A radiação ou irradiação é uma forma de troca de calor que ocorre através da propagação, na velocidade da luz, de ondas eletromagnéticas. Almeida (2013) destaca que, para que este fenômeno ocorra, não é necessária a existência de matéria no meio de propagação, podendo esta ser o único tipo de transmissão de calor que pode ocorrer no vácuo. O autor ainda lembra que todos os corpos emitem e absorvem a radiação eletromagnética: quando um corpo está aquecido, transfere calor na forma de radiação. Um corpo em equilíbrio térmico com suas dimensões emite e absorve a radiação em uma mesma taxa.

Os elementos termoelétricos são utilizados para fornecer energia elétrica e térmica, aquecer e esfriar dispositivos e ambientes, além de mensurar valores de temperatura. Dentre as diversas aplicações deste tipo de dispositivo, Almeida (2013) apresenta como exemplos as fontes alternativas de energia, a conversão de energia,

a refrigeração, a calefação, a climatização, a geração de energia elétrica para satélites, missões espaciais, boias marítimas e estações de telecomunicação.

Camargo et al (2011) informam que dispositivos termoelétricos oferecem várias vantagens sobre outras tecnologias: por não possuírem peças móveis, dispensam manutenção frequente e não contêm clorofluorcarbonos. Segundo os autores, estas vantagens permitem que os dispositivos termoelétricos encontrem aplicações em diversas áreas, tais como militar, aeroespacial, médica, microeletrônica, laboratorial, de sensores e instrumentos, etc.

2.1.2 Células Fotovoltaicas

Tavares et al (2014) definem célula fotovoltaica como o dispositivo elementar desenvolvido para realizar conversão direta da energia solar em energia elétrica. A energia solar fotovoltaica é o resultado da conversão direta da luz solar em energia elétrica corrente contínua.

O efeito fotovoltaico foi descoberto por Edmond Becquerel, em 1839, ao identificar o aparecimento de uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica, causada por absorção de luz. Em 1876 foi concebido o primeiro dispositivo fotovoltaico e, em 1956, começou a produção industrial, nos laboratórios Bell, de células fotovoltaicas baseadas em dispositivos semicondutores (TAVARES ET AL, 2014, p.52). A partir daí, diversas tecnologias de fabricação foram desenvolvidas, até chegar às células fotovoltaicas baseadas em silício cristalino, que dominam o mercado atual.

Tavares et al (2014) apresentam o histórico da evolução da energia solar fotovoltaica, cujo impulso inicial deu-se para prover fontes de energia para sistemas de telecomunicações instalados em localidades remotas, seguido da corrida espacial, em meados do século XX. Os autores destacam que, ainda hoje, a célula fotovoltaica é a solução mais adequada – em termos de custo, peso e segurança – para fornecimento de energia para equipamentos eletroeletrônicos no espaço. O estudo ainda salienta que cerca de 74% da produção mundial de sistemas

fotovoltaicos encontra-se na Europa, com destaque para o franco crescimento nos países emergentes da Ásia – China e Índia, especialmente. No Brasil, apesar do elevado índice de radiação solar, em comparação com os países da Europa, a utilização da tecnologia fotovoltaica ainda é incipiente, merecendo destaque neste cenário a ausência de políticas públicas de financiamento, a baixa competitividade comercial do custo de geração deste tipo de sistema, a pouca difusão desta fonte de energia para os consumidores. Apesar do mercado pouco promissor, mas considerando o potencial da tecnologia, diante do cenário internacional de necessidade de desenvolvimento de tecnologias limpas para a geração de energia, diversas Universidades públicas e privadas desenvolvem pesquisas na área.

2.2 COMPONENTES UTILIZADOS

2.2.1 A Célula de Peltier

O conjunto Peltier, também chamado célula ou módulo, é uma pastilha termoelétrica que têm como base o efeito de Peltier (ALMEIDA, 2013, p.42). São utilizadas em sistemas de resfriamento ou aquecimento em diversos segmentos da indústria eletrônica, na fabricação de *coolers*, para resfriamento de microprocessadores, pequenas geladeiras, aquecedor e resfriador de bancos de automóveis, desumidificadores e adegas climatizadas, dentre outras aplicações.

Almeida (2013) aponta como maiores vantagens do uso de células Peltier a não geração de ruído ou vibração; a grande precisão no controle da temperatura; a grande durabilidade com baixa necessidade de manutenção; o fato deste tipo de dispositivo não possuir partes móveis ou gases; o tamanho reduzido do dispositivo; o fato de ser inofensivo ao meio ambiente; e sua vasta área de utilização.

Para Saket et al (2015) relata a utilização da célula Peltier em sistemas de aquecimento e refrigeração, utilizando sistemas embarcados. Apresenta o aumento de consumo de energia para ar condicionado e a importância de criar

semicondutores que possam diminuir este consumo, onde os módulos Peltier podem contribuir para isso.

2.2.2 Princípio de funcionamento da Célula de Peltier

Os módulos Peltier são formados por semicondutores (telureto de bismuto) do tipo-p e tipo-n, configurados aos pares e conectados em duas placas de cerâmica, ligadas termicamente em paralelo e eletricamente em série (ALMEIDA, 2013, p.42), conforme ilustra a Figura 2.

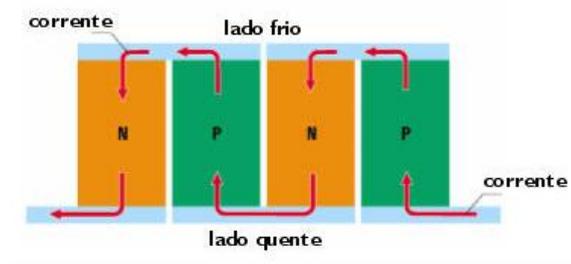


Figura 2 – Esquema da Célula de Peltier.
FONTE: ALMEIDA (2013).

Almeida (2013) observa que as faces da célula de Peltier que formam as superfícies fria e quente são feitas de cerâmica, material considerado bom isolante elétrico com alta condutibilidade térmica. O autor destaca a importância da utilização deste tipo de material para que ocorra a condução de calor entre os elementos conectados.

Tendo como base o efeito de Peltier, o resfriamento e o aquecimento ocorrem ao aplicar uma diferença de potencial na célula de Peltier, que gera uma corrente elétrica responsável, por sua vez, por gerar gradiente de temperatura entre as faces (ALMEIDA, 2013, p.43). Através desse gradiente de temperatura entre as faces da célula, ocorre o fluxo de calor (Figura 3).

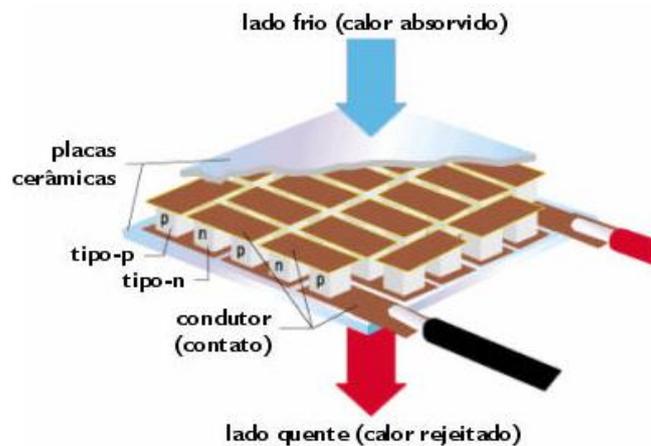


Figura 3 – Visão interna da célula de Peltier durante o efeito Peltier.
 FONTE: ALMEIDA (2013).

2.2.3 Configurações da Célula de Peltier

Almeida (2013) alerta para a importância da utilização de dissipadores de calor e ventiladores como fator determinante para a proteção da célula de Peltier, visando a evitar o superaquecimento dos componentes, conforme ilustra a Figura 4. Considerando que a função das pastilhas é a transferência de calor entre as duas faces do conjunto, esta relação pode ser mais eficiente, também, com o uso de pasta térmica entre a pastilha e o dissipador. O uso de tais dispositivos pode ser necessário, ainda, para capturar calor num sistema de aquecimento, ou para dissipar calor num sistema de resfriamento.

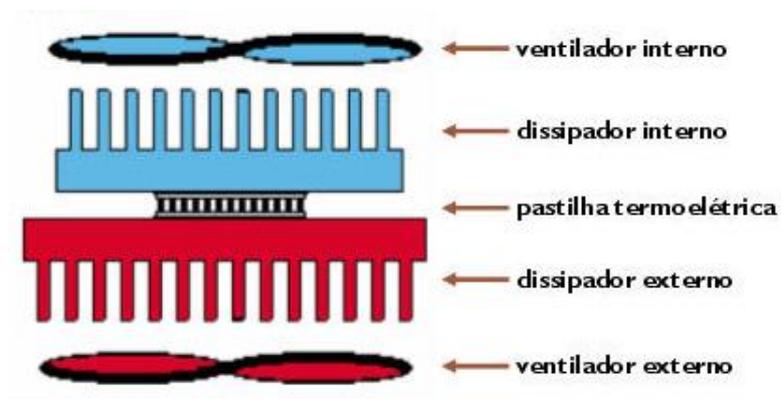


Figura 4 – Montagem do módulo de Peltier com o uso de ventiladores e dissipadores.
 FONTE: ALMEIDA (2013).

Para Almeida (2013), a escolha da célula de Peltier deve considerar o limite de quantidade de calor (Q_{\max}) que a pastilha pode transferir ao aplicar o valor máximo de diferença de potencial (V_{\max}) e o valor máximo corrente produzindo com a máxima diferença de temperatura (ΔT_{\max}) entre as faces da pastilha.

2.2.4 Dimensionamento da Célula de Peltier por Carga Térmica

O correto dimensionamento da célula de Peltier para um projeto deve passar pela definição das necessidades de resfriamento, bem como a carga térmica de todo o sistema e a quantidade de calor a ser absorvida do sistema.

Almeida (2013) apresenta os diferentes tipos de carga: ativa, passiva ou uma combinação das duas. A carga ativa está ligada ao calor dissipado pela aplicação e geralmente equivale à potência de entrada do sistema. Já as cargas térmicas passivas são cargas de radiação, convecção ou condução.

2.2.4.1 Utilizando carga Ativa

A Equação 1 apresenta o cálculo para a dissipação de potência de uma carga ativa:

$$Q_{ativo} = V \cdot i \quad (1)$$

Onde:

- Q_{ativo} é a carga térmica ativa, dada em watts (W);
- V é voltagem aplicada ao sistema resfriado, dado em volts (V);
- i é a corrente da aplicação, dada em amperes (A).

2.2.4.2 Utilizando carga Passiva

A carga passiva de convecção, para os módulos de Peltier, é o resultado da convecção natural ou da convecção forçada através de uma ventoinha. A Equação 2 traz a fórmula fundamental para o cálculo da carga de convecção.

$$Q_{convec} = h \cdot A \cdot (T_{ar} - T_f) \quad (2)$$

Onde:

- Q_{convec} é a carga térmica de convecção em watts;
- h é o coeficiente de transferência de calor convectivo ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$), o valor para uma placa horizontal a uma pressão de 1 atm é de 21,7 $W/m^2 \text{ } ^\circ C$;
- A é a área exposta em m^2 ;
- T_{ar} é a temperatura do ar ambiente em $^\circ C$;
- T_f é a temperatura da superfície fria em $^\circ C$.

Para Almeida (2013) a carga passiva de condução ocorre pelo contato direto de moléculas de uma região com temperatura elevada para uma região de baixa temperatura. A Equação 3 é a equação fundamental para dimensionar a carga de condução.

$$Q_{cond} = \frac{k \cdot A}{L} \cdot \Delta T \quad (3)$$

Onde:

- Q_{cond} é a carga térmica condutiva em W ;
- k é a condutividade térmica do material ($W/m \text{ } ^\circ C$);
- A é a área de seção transversal material em m^2 ;
- L é o comprimento do trajeto de calor em m ;
- ΔT é a diferença de temperatura no trajeto de calor em $^\circ C$.

A Tabela 1 apresenta alguns valores para condutividade térmica, informados pelo fabricante¹.

¹ Equipamentos Danvic Ltda. (<http://www.peltier.com.br/>).

Tabela 1 – Valores de condutividade térmica.

Material	Condutividade térmica (W/m °C)
Alumínio	250
Cobre	386
Ouro	315
Isopor	0,031

FONTE: ALMEIDA (2013).

A carga passiva combinada por convecção e condução pode ser calculada conforme Equação 4, onde temos a área total exposta (A), o gradiente de temperatura (ΔT) e os coeficientes de condutividade (k) e transferência de calor (h). O termo (x) representa a espessura de isolamento do sistema.

$$Q_{passivo} = \frac{A \cdot \Delta T}{\frac{x}{k} + \frac{1}{h}} \quad (4)$$

Onde:

- $Q_{passivo}$ é a carga térmica passiva em W;
- A é a área total exposta (externa) do recipiente em m^2 ;
- x é a espessura da isolamento em m;
- k é a condutividade térmica da isolamento (W/m °C);
- h é o coeficiente de transferência de calor convectivo dado em (W/m² °C);
- ΔT é a diferença de temperatura em °C.

2.2.5 Escolha da Célula de Peltier

A escolha da célula de Peltier pode ser realizada a partir de dois métodos de dimensionamento: o primeiro método considera os princípios de calorimetria, como a transferência de calor entre os corpos, e o segundo consiste em dimensionar a carga térmica total, utilizando a soma da carga térmica ativa e passiva, envolvendo

os fenômenos da irradiação, condução e convecção.

Considerando que, no protótipo em desenvolvimento, o ambiente de funcionamento do sistema não possuirá outros elementos (como seria o caso de móveis e equipamentos num ambiente real), foi desconsiderado o método de cálculo pelos princípios da calorimetria, realizando o dimensionamento da célula de Peltier a partir do cálculo da carga térmica total, conforme cálculos constantes da seção 4 deste projeto.

2.3 A CÉLULA FOTOVOLTAICA

Para a montagem do projeto, será utilizada uma célula fotovoltaica comercial de 15 watts, mostrado na Figura 5. O módulo possui diversos módulos menores já interligados em um único conjunto, protegidos por um vidro.

A célula possui algumas características mostradas na Tabela 2.

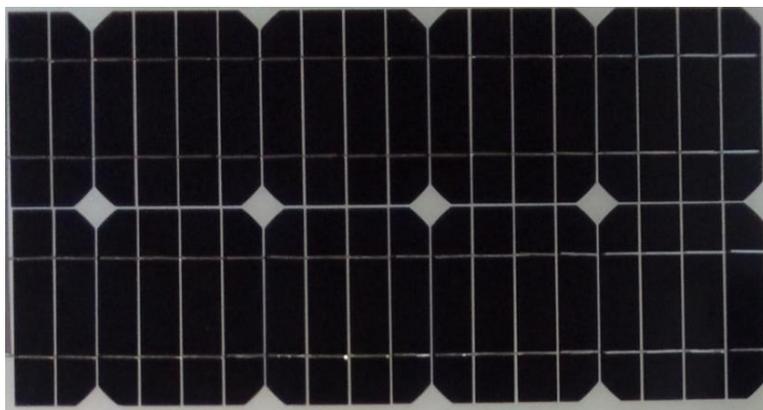


Figura 5 – Célula fotovoltaica 15 Watts.
FONTE: O AUTOR (2018).

Tabela 2 – Características da célula fotovoltaica.

Célula fotovoltaica 15 W	
Potência	15 W
Tensão circuito aberto	21,5 V
Corrente curto circuito	0,97 A
Tensão máxima	17,5 V
Corrente máxima	0,86 A
Dimensões	520x296x25mm

FONTE: O AUTOR (2018).

Para Tavares et al (2014) o desempenho de células fotovoltaicas está relacionada pela temperatura de operação e pela incidência da irradiação incidente. A escolha de uma célula fotovoltaica deve-se basear em diversos fatores como custo, durabilidade e se é confiável. Alguns materiais apresentam potências médias por unidade de área melhores, dependendo da tecnologia empregada. Na Figura 6 vemos um exemplo desta condição.

Tecnologia	Potência/área (W_p/m^2)
Si monocristalino - m-Si	150
Si policristalino - p-Si	135
Si amorfo - a-Si	85
Disseleneto de Cobre-Índio (e Gálio) - CI(G)S	100
Telureto de Cádmio - CdTe-	110

Figura 6 – Áreas ocupadas por diferentes módulos e tecnologias.
FONTE: TAVARES et al (2014).

Para Tavares et al (2014), a obtenção de níveis de corrente e tensão desejados, podemos fazer associação dos dispositivos fotovoltaicos. Podemos ter associação em série ou paralelo para obtermos um arranjo único da saída. A Figura 7 abaixo mostra a configuração de células fotovoltaicas na configuração série e paralelo.

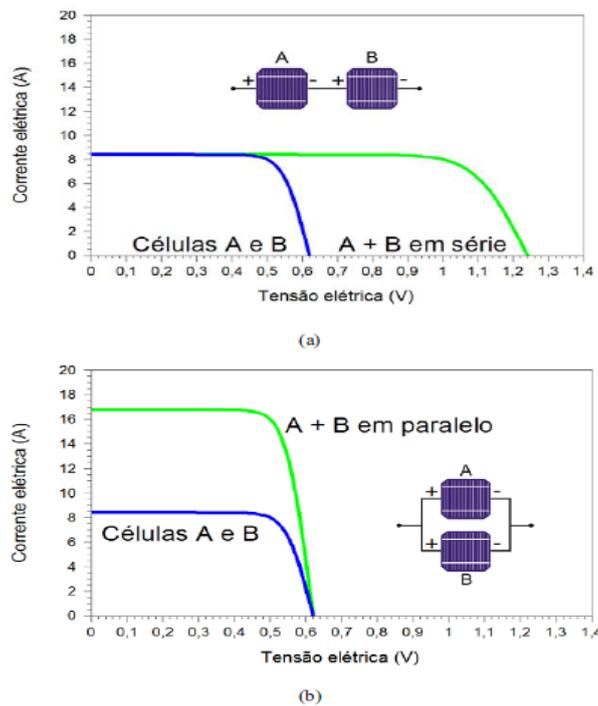


Figura 7 – Curva I-V de duas células fotovoltaicas (a) em série e (b) em paralelo.
 FONTE: TAVARES et al (2014).

Conforme Tavares et al (2014), as células fotovoltaicas de silício cristalino correspondem em 2011 a 87,9% do mercado mundial, que utiliza o silício ultrapuro na sua fabricação. Podemos ter, através de diferentes métodos de fabricação, o silício monocristalino (m-Si) e o policristalino (p-Si). As células fotovoltaicas de silício cristalino geralmente possuem garantia contra defeitos de fabricação de 3 a 5 anos, e garantia de rendimento de 25 anos. A degradação de potência dos módulos instalados em campo é entre 0,5% e 1,0 % por ano.

2.4 SENSOR DE TEMPERATURA

Para sensoriamento de temperatura externa e interna do ambiente, bem como para viabilizar o desenvolvimento de algoritmos para o controle de temperatura de um ambiente como um todo, e ainda, considerando a possibilidade de haver vários sistemas como o proposto para o dispositivo, e talvez até mesmo

operação em conjunto com um sistema de ar condicionado convencional com o intuito de economia de energia, optou-se por componentes de fácil uso. As buscas levaram ao componente da Texas Instruments LM35, mostrados na Figura 8.



Figura 8 – Sensor de temperatura LM35.
FONTE: TEXAS INSTRUMENTS - LM35 *Precision Centigrade Temperature Sensors*.

Segundo especificação técnica do fabricante², o dispositivo LM35 é sensor de temperatura ideal para substituição de termistores NTC e PTC. Os dispositivos oferecem uma precisão típica de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, sem a necessidade de calibração ou componentes de condicionamento de sinal externo. Estes sensores de temperatura são altamente lineares e não necessitam de cálculos complexos ou tabelas de conversão de temperatura

Estes sensores de temperatura são aplicáveis aos dispositivos de comunicação, computadores, dispositivos de consumidor final, aplicações industriais e de instrumentação ambiental.

A faixa de temperatura de funcionamento destes sensores vai de -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$. O encapsulamento do sensor é TO-92 de três pinos.

Características:

- Calibrado diretamente em Celsius (centígrados);
- Precisão $0,5^{\circ}\text{C}$ (quando a temperatura é maior que 25°C);
- Necessita de uma corrente em torno de $60\ \mu\text{A}$;
- Ampla faixa de alimentação: $4\ \text{V}$ a $30\ \text{V}$;
- Baixo custo;

² Texas Instruments, INC. (<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>).

2.5 PLACA DE MICROCONTROLADOR

Pode-se pensar em utilizar um kit de desenvolvimento pronto para os testes iniciais e, posteriormente, desenhar-se uma placa especial para a aplicação. Neste caso, o microcontrolador a ser escolhido provavelmente será o MSP430, pois a equipe tem a disponibilidade de um kit de desenvolvimento adquirido para a disciplina de Microcontroladores e Microprocessadores.

A família MSP430 da Texas Instruments é composta por microcontroladores de 16 bits e ultrabaixo consumo de energia (220 μ A em modo ativo e 0,5 μ A em *standby*). Tais microcontroladores têm ampla utilização na indústria em aplicações de controle e monitoramento que demandam poder de processamento aliado ao baixo consumo de energia e ao baixo preço. A Figura 9 apresenta um modelo de placa MSP430 *LaunchPad*. Para o projeto será utilizada a placa para desenvolvimento *Launchpad* MSP-EXP430G2, juntamente com Manual do usuário do equipamento SLAU499MSPMATHLIB.

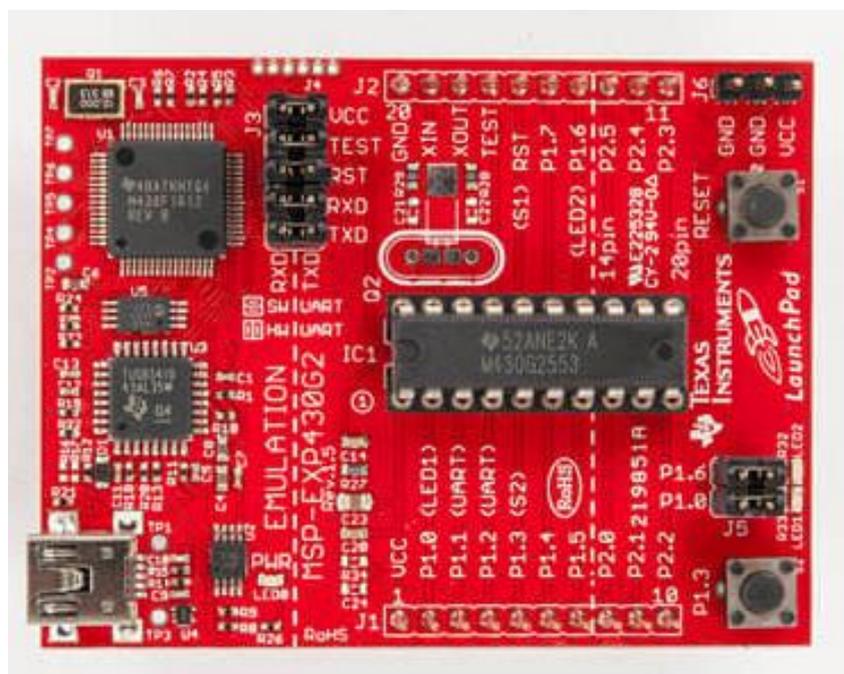


Figura 9 – Placa MSP430 *LaunchPad*.
 FONTE: MSP430 LAUNCHPAD VALUE LINE DEVELOPMENT KIT.

2.6 AUMENTO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Duas estratégias foram previstas para o aumento da eficiência do sistema fotovoltaico: a busca do ponto de máxima potência do painel solar e movimentação do painel orientando-o em direção ao sol, que será mais bem detalhada na seção 4.9 – montagem do mecanismo robótico para alinhamento a fonte de luz.

Algoritmos de busca do ponto de máxima potência (MPPT) são largamente utilizados para se maximizar a potência de sistemas fotovoltaicos. Conforme Fernandes (2016), o ponto de máxima potência está no ponto de encontro da corrente com a tensão, obtendo a maior área da curva.

A Figura 10 mostra um gráfico típico de um painel solar.

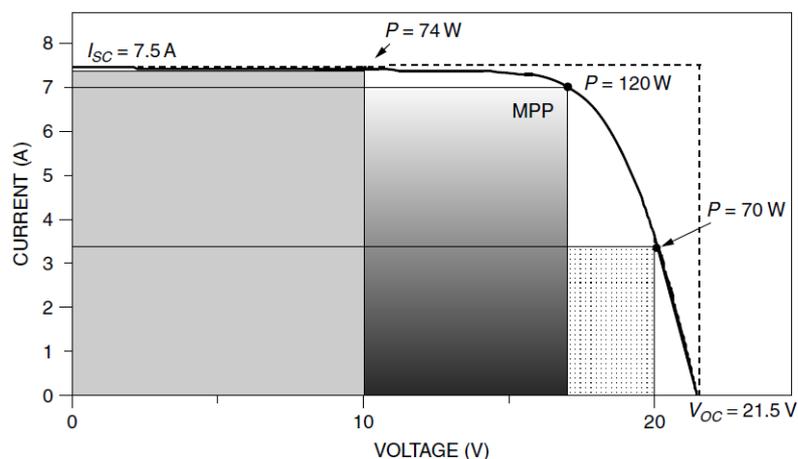


Figura 10 – Gráfico típico de um painel solar.
 FONTE: FERNANDES (2016).

Para Demonti (2003), um painel fotovoltaico possui sua eficiência aumentada quando opera no ponto de máxima transferência de potência, pois apresenta o mínimo de perdas neste ponto. Ainda cita o comportamento de uma célula fotovoltaica para duas diferentes, porém próximas insolações solares, conforme mostra a Figura 11 abaixo.

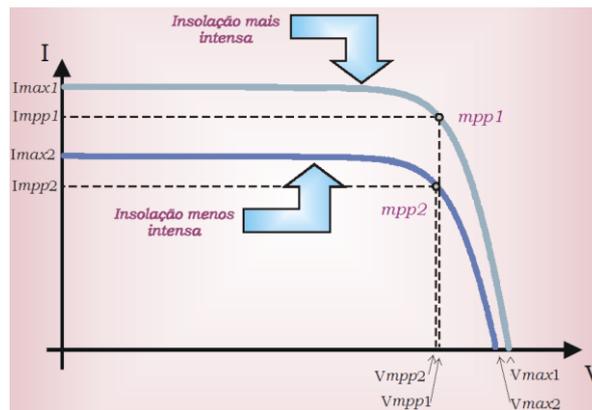


Figura 11 – Característica corrente versus tensão para diferente irradiação solar.
 FONTE: DEMONTI (2003).

2.7 SISTEMA DISTRIBUÍDO

Um sistema é a combinação de componentes que agem em conjunto para atingir um objetivo.

Conforme ANEEL - Micro e Minigeração de Energia (2016), em um sistema de geração de energia distribuída, a geração elétrica é feita próxima ao consumidor, onde não se leva em conta a potência gerada ou tecnologia empregada. Não possui sistema de transmissão, o que diminui os custos e obter assim melhor eficiência energética. A Figura 12 abaixo mostra o modelo do sistema distribuído no estudo, onde teríamos mais de um conjunto trabalhando para a refrigeração.

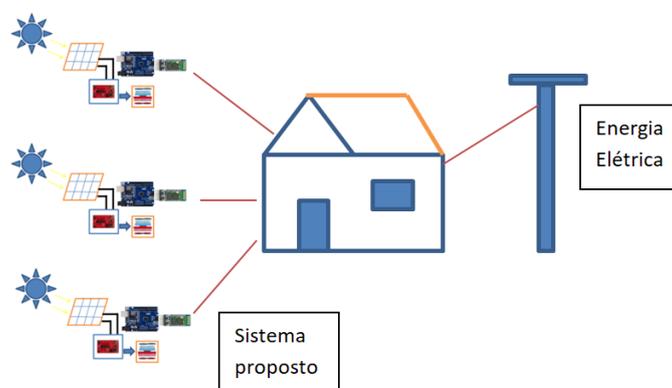


Figura 12 – Exemplo do sistema distribuído proposto.
 FONTE: O AUTOR (2018).

2.8 TRANSMISSÃO DE DADOS VIA BLUETOOTH

O *Bluetooth* é uma tecnologia que utiliza sinais de rádio de alta frequência para a transmissão de dados. Será utilizada para informar um sistema inteligente central de como está a geração de energia solar e como o ar condicionado solar pode funcionar.

Para Silva (2006), a construção de transmissores de baixo custo e de tamanho pequeno que podem ser conectados a maioria de dispositivos, utilizando padrões abertos e livres vêm de encontro ao interesse de vários fabricantes. O uso destes transmissores é direcionado às WPANS (*Wireless Personal Area Networks*), especialmente as formadas por dispositivos como celulares, laptops e outros que utilizam bateria.

O *Bluetooth* é composto por um rádio, um controlador digital, um gerenciador de enlace, uma interface de controle e uma biblioteca de programas e de aplicação. Opera em uma frequência na faixa de rádio de 2,4 GHz com potência em torno da faixa de 1 mW a 10 mW. O envio dos dados é através de pacotes em espalhamento espectral de 79 canais, separados de 1 MHz e início em 2,402 GHz. Possui a capacidade de localizar diferentes dispositivos próximos, criando as *piconets*. Uma vez feita a conexão em rede, utilizam um padrão de transmissão utilizando dos canais possíveis. O resultado é que pacotes de dados são enviados em canais diferentes seguindo uma sequência que somente os dispositivos conseguem reconhecer.

Para Tanenbaun (2011), a parte elementar de um sistema *Bluetooth* é uma *piconet*, que representa um nó mestre e até sete nós escravos ativos, localizados entre uma distância de dez metros, sendo que os nós escravos executam o que o nó mestre determina.

3 METODOLOGIA

A partir das informações coletadas na Revisão Bibliográfica, propõe-se o desenvolvimento de um protótipo de sistema de condicionamento de ar que funcionaria conforme Figura 13.

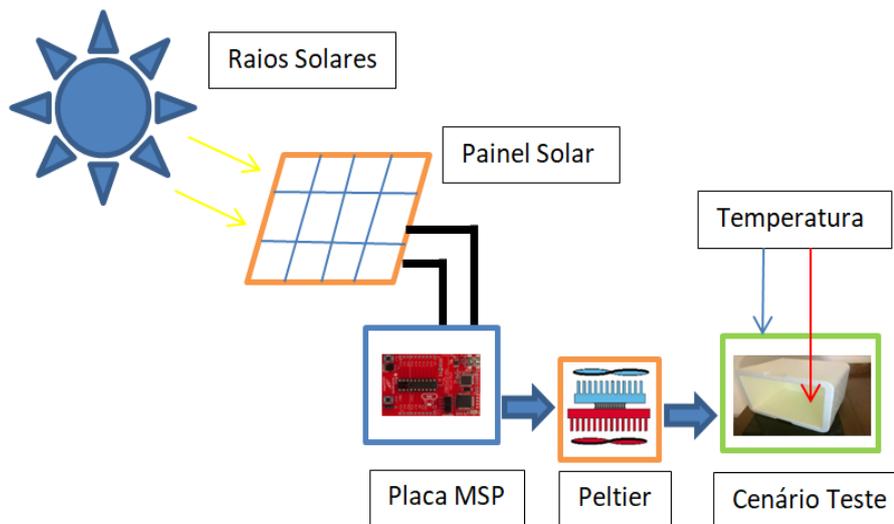


Figura 13 – Esquema do sistema proposto.
 FONTE: O AUTOR (2018).

Visando à consecução dos objetivos enumerados, o projeto será conduzido considerando as seguintes etapas:

- Realização de cálculos para dimensionamento dos materiais a serem adquiridos para construção do protótipo;
- Construção do sistema de condicionamento de ar, utilizando a célula de Peltier;
- Construção do sistema de captação de energia solar;
- Desenvolvimento de firmware para controle dos sistemas;
- Ligação do sistema de geração de energia fotovoltaica ao sistema Peltier;
- Realização de testes de funcionamento dos sistemas;
- Realização de testes de efetividade do mecanismo, através da medição de temperatura com o sistema em funcionamento.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

4.1 CÁLCULOS PARA CÉLULA DE PELTIER

Para os cálculos apresentados a seguir, foram utilizados os itens 2.2.4.1 e 2.2.4.2 do dimensionamento da célula Peltier por carga térmica. Como já temos a energia fornecida pelo sistema, vamos encontrar a diferença de temperatura que o sistema pode fornecer. O cálculo para dissipação de potência de uma carga ativa utilizando ventilação forçada, no caso 2 coolers de 12 V e consumo de 117 mA, na Equação 1 do item 2.2.4.1.

$$Q_{ativo} = V \cdot i$$
$$Q_{ativo} = 2 \cdot (12 \cdot 0,117)$$
$$Q_{ativo} = 2,8 \text{ W}$$

4.2 UTILIZANDO CARGA PASSIVA

Para construção do protótipo, foi utilizada uma caixa de isopor para restringir a área de estudo. O cálculo das áreas da caixa aparece ilustrado na Figura 14. Para o cálculo da área interna da caixa, consideram-se as dimensões x, y e z do desenho da Figura 14. A caixa possui uma espessura de 0,02 m.

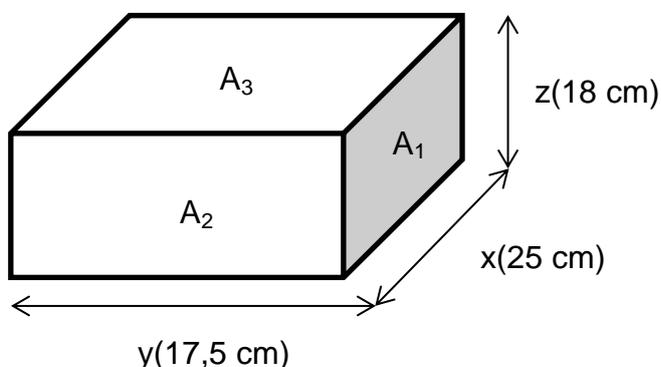


Figura 14 – Medidas da caixa utilizada no projeto.
FONTE: O AUTOR (2018).

$$\begin{aligned}
 A_T &= (2 \cdot A_1) + (2 \cdot A_2) + (2 \cdot A_3) \\
 A_T &= (2 \cdot 0,18 \cdot 0,25) + (2 \cdot 0,18 \cdot 0,175) + (2 \cdot 0,25 \cdot 0,175) \\
 A_T &= 0,09 + 0,063 + 0,0875 \\
 A_T &= 0,24 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

A carga passiva de convecção para os módulos de Peltier normalmente é o resultado de convecção natural da célula, ou da convecção forçada através do acoplamento de uma ventoinha junto à célula. Utilizando a Equação 2 para o cálculo da carga de convecção, obtém-se:

$$\begin{aligned}
 Q_{convec} &= h \cdot A \cdot (T_{ar} - T_f) = 21,7 \cdot 0,24 \cdot \Delta T \\
 Q_{convec} &= 5,2 \cdot \Delta T \text{ (W)}
 \end{aligned}$$

Salientando que o coeficiente de transferência de calor convectivo (h) para uma placa horizontal a uma pressão de 1 atm é de 21,7 W/m² °C. A quantidade de carga convecção ficou em função da variação de temperatura, que queremos calcular. Temos a quantidade total de energia fornecida pela célula fotovoltaica (15W). Foram desconsideradas, para facilitar os cálculos, as outras perdas como carga passiva por radiação, condução e combinada.

Fazendo a soma das quantidades térmicas a variação de temperatura que o sistema pode oferecer é de:

$$\begin{aligned}
 Q_{térmica} &= Q_{ativo} + Q_{convecção} \\
 15 &= 2,8 + 5,2 \cdot \Delta T \\
 \Delta T &= 2,35 \text{ °C}
 \end{aligned}$$

4.3 ESCOLHA DA CÉLULA DE PELTIER

A escolha da célula de Peltier considerou a carga térmica total, utilizando a

soma das cargas térmica ativa e passiva, envolvendo os fenômenos de convecção e o cálculo da variação de temperatura.

Para atendimento da necessidade, identificou-se a Célula³ TEC1-12706, do fabricante Hebei I.T., cujas especificações técnicas são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 – Especificações de desempenho da célula de Peltier TEC1-1206.

Hot Side Temperature(°C)	25°C	50°C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax(°C)	66	75
I _{max} (Amps)	6,4	6,4
V _{max} (Volts)	14,4	16,4
Module Resistance(Ohms)	1,98	2,30

FONTE: CARACTERÍSTICAS DA PELTIER TEC1-12706.

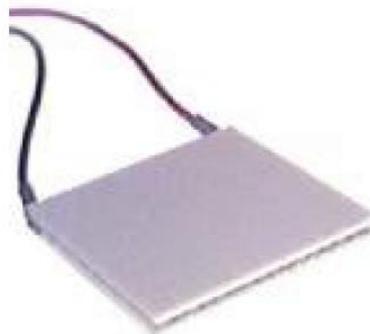


Figura 15 – Célula de Peltier TEC1-12706.

FONTE: CARACTERÍSTICAS DA PELTIER TEC1-12706.

A Figura 15 mostra a célula Peltier utilizada na montagem do projeto a TEC1-12706. Possui temperatura máxima de operação de 138°C, com uma expectativa de vida de 200.000 horas, lembrando-se de não exceder os valores máximos de corrente e tensão. Possui um índice de falhas de 0,2% após exaustivos testes.

A Figura 16 apresenta as características construtivas e dimensionais da

³ Fabricante Hebei Ltd. (<http://www.hebeiltd.com.cn/?p=peltier.module>).

célula de Peltier TEC1-12706, como o material usado na sua construção. As dimensões estão em milímetros. Possui a identificação do lado positivo (fio vermelho) e o lado negativo (fio preto).

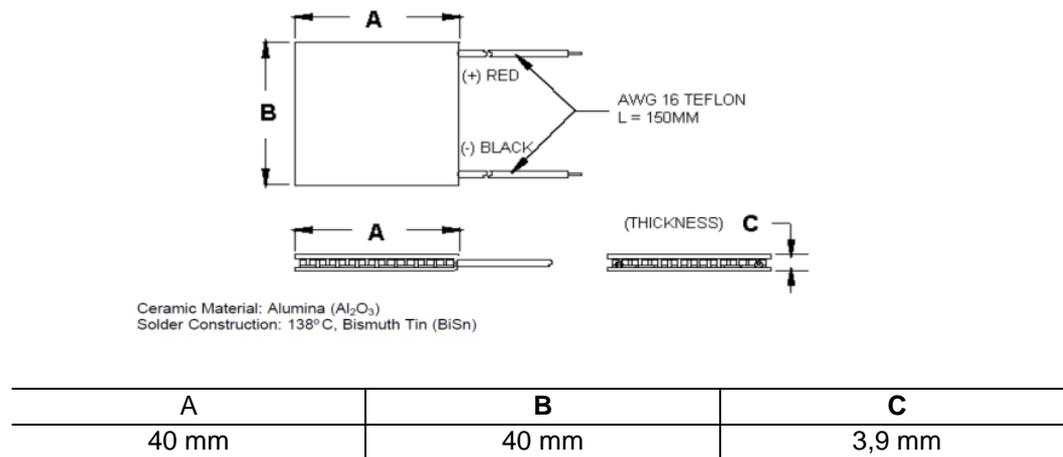


Figura 16 – Dimensões célula de Peltier TEC1-12706.
FONTE: CARACTERÍSTICAS DA PELTIER TEC1-12706.

4.4 SIMULAÇÃO DA CAPACIDADE PREVISTA

Para ter uma expectativa da capacidade do sistema, foi feito um cálculo simulando um ambiente como, por exemplo, um pequeno escritório ou quarto com as medidas conforme a Figura 17 abaixo.

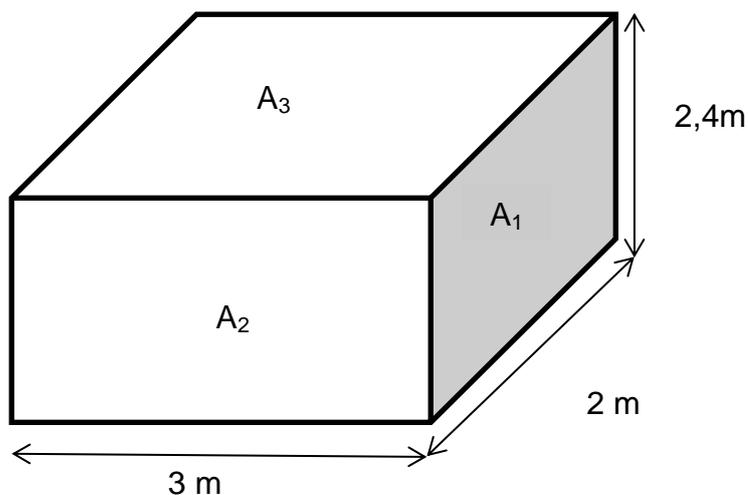


Figura 17 – Simulação em um ambiente.
FONTE: O AUTOR (2018).

Foram realizados os cálculos para determinar o calor a ser extraído por um sistema de condicionamento de temperatura. Considerando que seja uma sala com paredes de tijolo com espessura (L) de 25 cm. Foi desconsiderado janelas e portas e troca de calor com o teto e o piso (A3). Utilizando-se as equações do Capítulo 2 (item 2.2.4.1 e item 2.2.4.2), considerando o valor de 0,46 W/m °C para a condutividade térmica (k) do material tijolo cerâmico, e para a temperatura interna desejada de 20 °C e a temperatura externa de 22 °C, obteve-se:

$$A_T = (2 \cdot A_1) + (2 \cdot A_2)$$

$$A_T = (2 \cdot 4,8) + (2 \cdot 7,2)$$

$$A_T = 24 \text{ m}^2$$

A Taxa da Condução q (INCROPERA et al, 2006, p.38) é calculada através da Equação 5 abaixo:

$$q = \frac{K \cdot A}{L} \cdot \Delta T \quad (5)$$

$$q = \frac{0,46 \cdot 24}{0,25} \cdot (22 - 20)$$

$$q = 88,3 \text{ W}$$

Como 1 kWh equivale a 3.412,0 BTU/h (ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL, 2008, p.144), será necessário fornecer 301 BTU/h para atingir os 20 °C no interior do ambiente.

Considerando as equações e os cálculos do item 4.2 para o sistema proposto, o sistema deve fornecer, utilizando os mesmos dados, para a simulação da carga prevista:

$$Q_{convec} = h \cdot A \cdot (T_{ar} - T_f) = 21,7 \cdot 24 \cdot 2$$

$$Q_{convec} = 1042 \text{ W}$$

Utilizando duas ventoinhas maiores, de uso comercial, de 120 x 120 mm que possui características elétricas de alimentação de 12 V com uma corrente de 0,3 A, teremos então:

$$\begin{aligned}Q_{ativo} &= V \cdot i \\Q_{ativo} &= 2 \cdot (12 \cdot 0,3) \\Q_{ativo} &= 7,2 \text{ W}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{térmica} &= Q_{ativo} + Q_{convecção} \\Q_{térmica} &= 7,2 + 1.042 \\Q_{térmica} &= 1049,2 \text{ W}\end{aligned}$$

Isto faz com que, para supri os 1.049,2 W, levando em conta que cada único sistema fornece 15W, o sistema distribuído completo terá que possuir 70 equipamentos interligados.

4.5 MONTAGEM DO AMBIENTE CONTROLADO

Para testes do protótipo, foi utilizada uma caixa de isopor, conforme Figura 18, para restringir a área de estudo do experimento. As cotas da caixa aparecem ilustradas na Figura 19.



Figura 18 – Caixa utilizada no experimento.
FONTE: O AUTOR (2018).

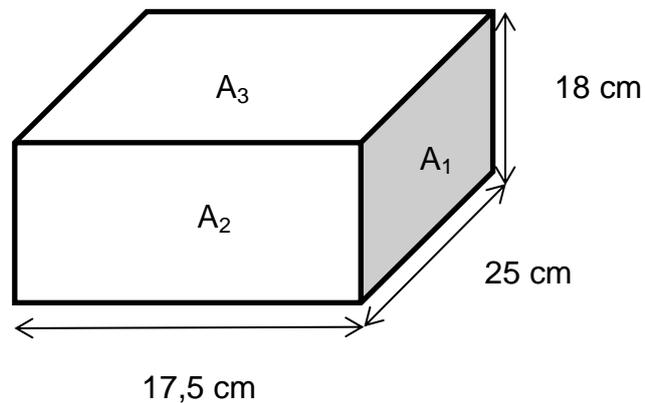


Figura 19 – Cotas da caixa de isopor.
FONTE: O AUTOR (2018).

4.6 MONTAGEM DA CÉLULA DE PELTIER

Para a montagem da célula de Peltier, foi utilizado um dissipador de cada lado da célula (lado frio e lado quente), fixado através de parafusos, para haver a fixação da célula Peltier. Detalhes do acoplamento dos dissipadores à célula e do ventilador são ilustrados, respectivamente, nas Figuras 20 e 21.

A Figura 22, por sua vez, apresenta uma visão geral da separação entre o ambiente controlado e o ambiente externo. Na Figura 23, vê-se o projeto como um todo, já com o conjunto de fotocélulas e o equipamento para medição de temperatura.

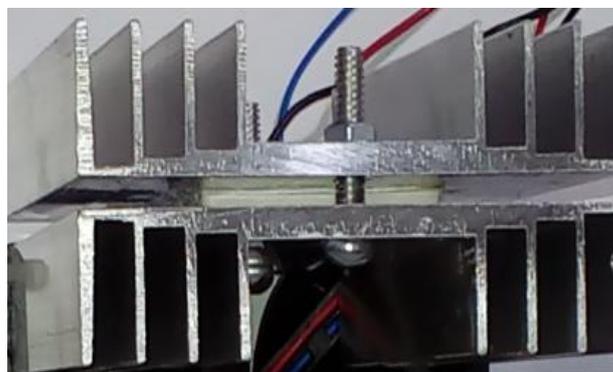


Figura 20 – Montagem da célula de Peltier entre dois dissipadores.
FONTE: O AUTOR (2018).



Figura 21 – Detalhe do ventilador acoplado ao conjunto célula de Peltier e dissipadores.
FONTE: O AUTOR (2018).



Figura 22 – Montagem do conjunto Peltier + dissipador em ambiente controlado.
FONTE: O AUTOR (2018).



Figura 23 – Visão geral do projeto.
FONTE: O AUTOR (2018).

4.7 PROBLEMA DE CONSUMO DE CORRENTE

Foi identificado um problema de consumo de corrente da célula de Peltier, que consumia toda a corrente vinda do painel solar no resfriamento da temperatura, impossibilitando que o circuito lógico e os sensores recebessem corrente suficiente para seu funcionamento. Para a solução do problema, foi utilizada a configuração de um circuito comercial módulo controlador de painel solar 5A MPPT *step down* que utiliza o XL4015⁴, ligado em série com a célula Peltier conforme a Figura 24. A saída da célula fotovoltaica é ligada à entrada do circuito e sua saída vai para a entrada da célula Peltier. Possui tensão de entrada 8 a 36 V e tensão de saída 1,25 a 32 V com rendimento de 96%.



Figura 24 – Módulo Controlador MPPT 5A *Step Down*.
FONTE: O AUTOR (2018).

4.8 SENSOR DE ALINHAMENTO COM A FONTE DE LUZ

Inicialmente, projetou-se o mecanismo de captação da luz solar em posição fixa, mas considerando o movimento do sol durante o dia, bem como a possibilidade de conseguir um melhor rendimento do sistema, foi incluído um sistema robótico móvel que permitisse que as placas fotovoltaicas acompanhassem o movimento do sol.

⁴ Informação do fabricante XLSEMI (<http://www.xlsemi.com/datasheet/xl4015%20datasheet.pdf>).

Para realizar o alinhamento do dispositivo à fonte de luz utilizou-se 4 LDR – fotoresistências, em inglês, *Light Dependent Resistors*. A resistência do LDR cai com o aumento de iluminância. Tais componentes podem ser usados para construir um dispositivo fotométrico simples, de baixo custo, pois funcionam bem com níveis de luz médios e altos (superior a 10 lux). Ao contrário de fotodiodos, os LDR não saturam diante de altos níveis de luz. A resposta espectral é semelhante à do olho humano, com a maior sensibilidade na gama verde (cerca de 500-550 nm). A relação entre a iluminância e resistência é não linear. Porém, tendem à linearidade quando plotados em um gráfico log-log, a exemplo da Figura 25.

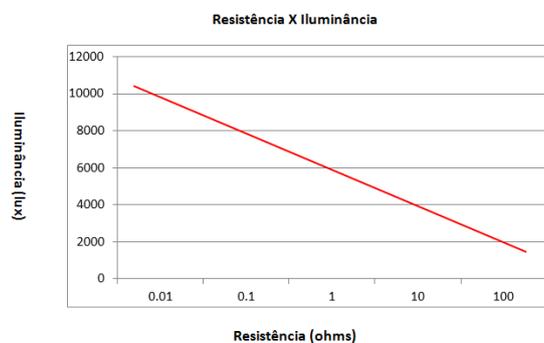


Figura 25 – Relação logarítmica entre iluminância e resistência.
FONTE: O AUTOR (2018).

Observando-se esta característica, utilizaram-se dois LDR alinhados verticalmente e dois alinhados horizontalmente com um anteparo entre os LDR de cada alinhamento, conforme Figura 26. Esta figura representa a montagem da saída um sinal analógico e a limitação de alimentação dos LDR através do resistor de 10 k Ω .

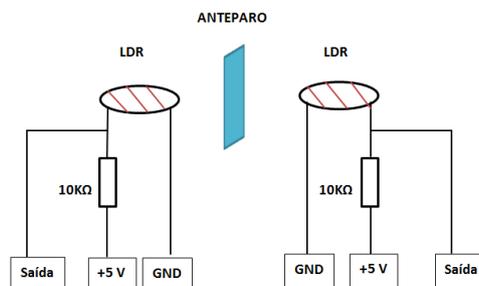


Figura 26 – LDR alinhados com anteparo entre eles.
FONTE: O AUTOR (2018).

A introdução do anteparo entre os LDR faz com que a diferença de iluminância entre os dois aumente com o ângulo de incidência dos raios de luz. Para a atuação do sensor tanto na vertical quanto na horizontal, montou-se o conjunto mostrado na Figura 27.

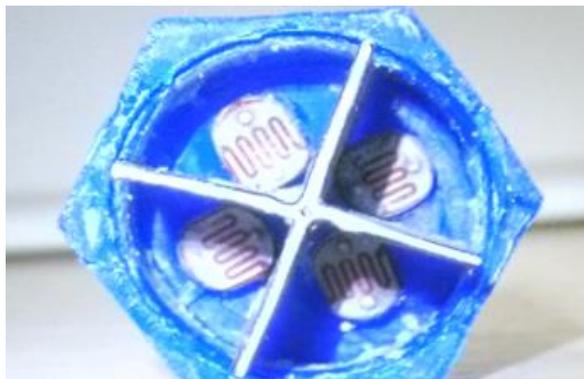


Figura 27 – Sensor de alinhamento à fonte de luz: LDR e anteparos.
FONTE: O AUTOR (2018).

4.9 MONTAGEM DO MECANISMO ROBÓTICO PARA ALINHAMENTO À FONTE DE LUZ

As Figuras 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 e 36 que seguem relacionadas, representam a montagem do mecanismo robótico para alinhamento à fonte de luz. Isto é para tornar o mecanismo autônomo e mais eficiente para captação da luz solar conforme a hora do dia, fazendo a correção da posição do sistema conforme período ajustado do *firmware*.

Para a o movimento que permitirá o alinhamento do painel fotovoltaico à fonte de luz, foram utilizados, além de componentes menores como parafusos, fita, cabos, os seguintes insumos na construção e montagem do mecanismo robótico:

- Motor de passo NEMA17 modelo AK17/1.10F6LN1.8 mostrado na Figura 28;
- *Driver* para o motor de passo, com TIP120;
- Servo motor SG90, mostrado na Figura 32.

A Figura 28 mostra a foto do motor de passo utilizado na montagem do braço mecânico que faz o giro do painel solar.

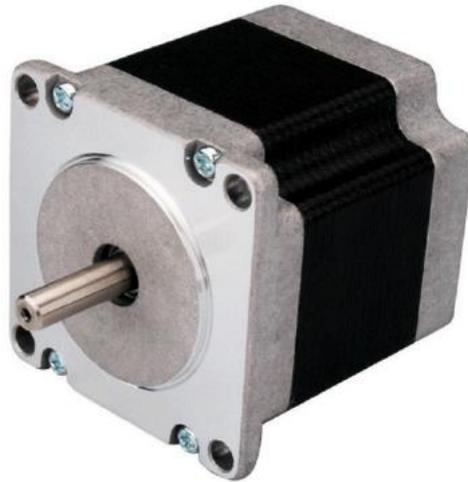


Figura 28 – Motor de passo NEMA17
 FONTE: NEOMOTION – DATASHEET DE PRODUTO MOTORES DE PASSO.

O motor NEMA17 possui características conforme a Tabela 4 abaixo:

Tabela 4 – Características Motor NEMA17.

Especificações Técnicas Motor de Passo Nema17	
Ângulo de passo	1.8°
Número de passos	200
Peso	220 gramas
Temperatura de funcionamento	-10° a 50°C
Temperatura máxima de operação	80°C
Resistência Conexão Unipolar	70 (Ω /fase)
Indutância Conexão Unipolar	37 (mH/fase)
Corrente Conexão Unipolar	100 (mA/fase)
Quantidades de fios	6

FONTE: NEOMOTION – DATASHEET DE PRODUTO MOTORES DE PASSO.

Para o acionamento do motor de passo, já que a saída do MSP430 não consegue alimentar a bobina, foi necessário elaborar um driver. Foi utilizado o TIP 120, que é um transistor Darlington e foi necessário fazer 4 módulos, um para cada bobina do motor de passo. A ligação é mostrada na Figura 29 e Figura 30 abaixo.

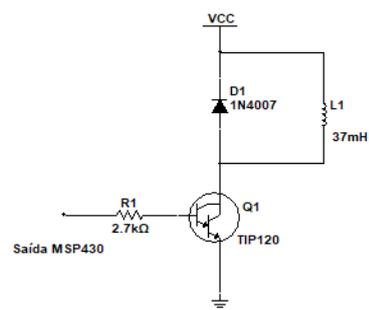


Figura 29 – Driver do motor de passo.
 FONTE: O AUTOR (2018).

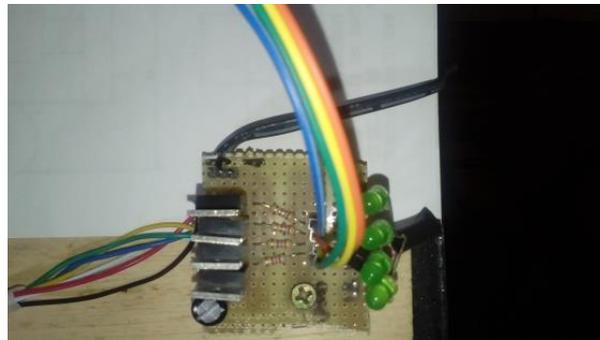


Figura 30 – Placa com driver do motor de passo.
 FONTE: O AUTOR (2018).

A Figura 31 mostra a foto do servo motor utilizado na montagem do conjunto que movimenta o painel solar.



Figura 31 – Servo motor SG90.
 FONTE: DATASHEET SG90 9g Micro Servo.

Ainda, foi utilizada uma chapa de alumínio em forma de cantoneira para a fixação do motor principal. Ela sustentará toda a estrutura do braço mecânico: o painel fotovoltaico, a placa principal e o servo motor. A Figura 32 e a Figura 33 apresentam o motor fixado à estrutura da chapa de alumínio.



Figura 32 – Estrutura do braço robótico (vista lateral).
FONTE: O AUTOR (2018).

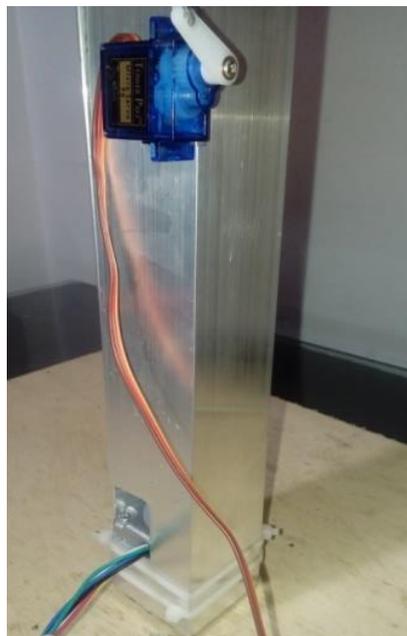


Figura 33 – Estrutura do braço robótico (vista frontal).
FONTE: O AUTOR (2018).

A Figura 34 apresenta o servo motor e a alavanca responsável pelo movimento da célula fotovoltaica e as conexões elétricas, para conexão do servo motor à placa do drive do motor. A Figura 35, por sua vez, apresenta uma visão geral

do mecanismo de alinhamento à fonte de luz.



Figura 34 – Alavanca e conexões para o servo motor.
FONTE: O AUTOR (2018).



Figura 35 – Visão geral do mecanismo robótico de alinhamento à fonte de luz.
FONTE: O AUTOR (2018).

Para comunicação entre a placa MSP430 e os sensores e motores do dispositivo, foi confeccionada uma interface de hardware. A placa finalizada é apresentada pela Figura 36.

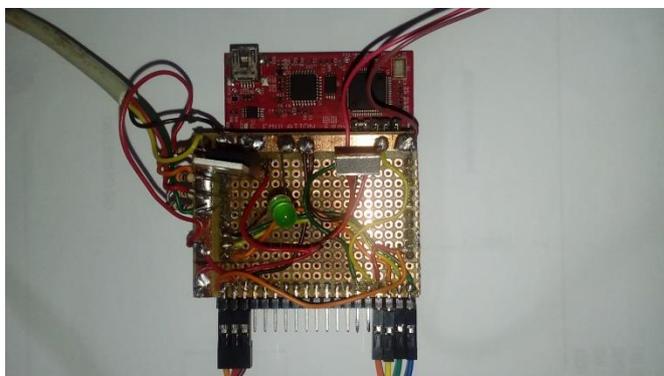


Figura 36 – Placa de controle da interface de hardware montada sobre a placa MSP430.
FONTE: O AUTOR (2018).

4.9.1 Construção do Projeto

A construção mecânica objetivou, principalmente, promover a facilidade de conexão elétrica entre a célula fotovoltaica, o controlador e os motores. Ela aparece ilustrada na Figura 37.

O movimento de giro do mecanismo de alinhamento à fonte de luz foi possibilitado pelo uso de um encaixe de alumínio, nesta primeira versão do dispositivo. O encaixe está preso diretamente ao centro da base de madeira e ao eixo do motor de passo. No entanto, o ideal é que haja algum mecanismo de transmissão de força mecânica do motor de passo para a base que deixe seu eixo sem forças transversais àquelas para as quais ele foi projetado para operar.

O servo motor que será responsável por movimentos de elevação da célula fotovoltaica e fica preso ao corpo do sistema. Haverá um sistema de giro conectando as duas laterais da célula fotovoltaica e ao mecanismo que sustenta a célula. Através dela, o servo motor poderá elevar a célula fotovoltaica, encontrando uma posição ótima para captação de energia.

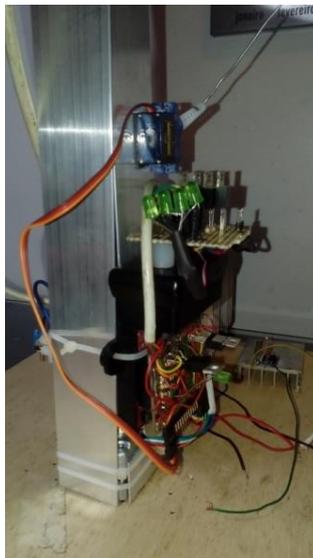


Figura 37 – Montagem experimental do mecanismo de alinhamento à fonte de luz.
FONTE: O AUTOR (2018).

A Figura 38 mostra o painel fotovoltaico utilizado na montagem final deste e protótipo.

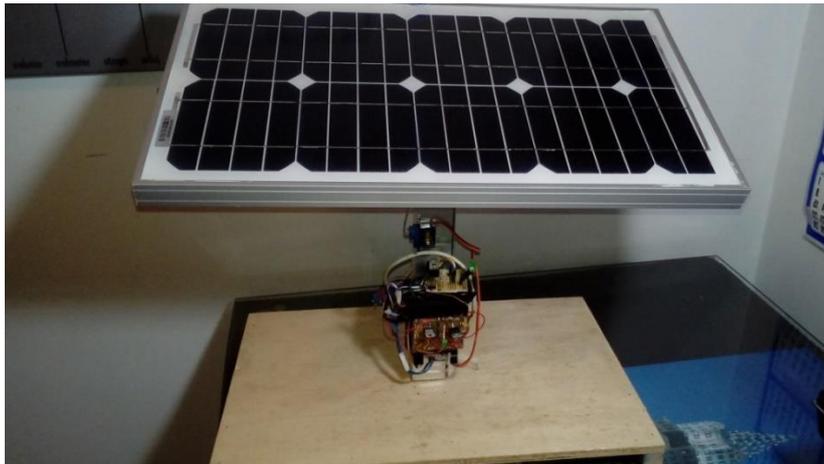


Figura 38 – Montagem final do mecanismo de alinhamento à fonte de luz (vista frontal).
FONTE: O AUTOR (2018).

A Figura 39 mostra os detalhes da parte traseira do protótipo, as conexões elétricas do dispositivo.

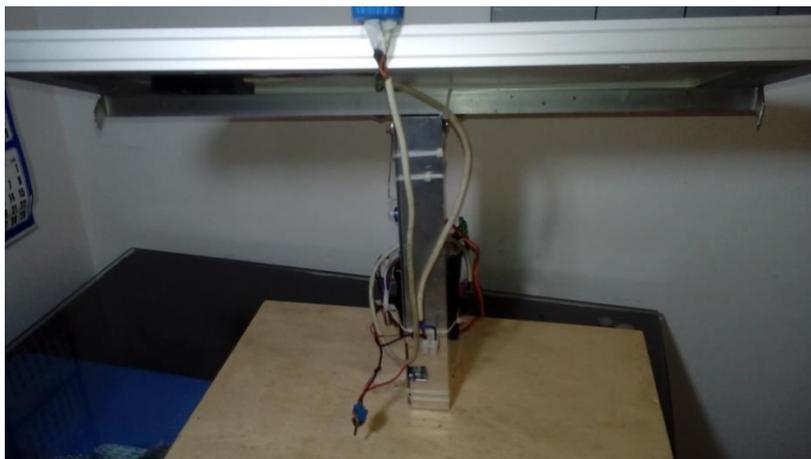


Figura 39 – Montagem final do mecanismo de alinhamento a fonte de luz (vista oposta).
FONTE: O AUTOR (2018).

4.9.2 Determinação do Tempo de Rastreamento

Para determinar o tempo de rastreamento do mecanismo de alinhamento à fonte de luz que vai ser utilizado no software, vamos considerar o ângulo β da Figura 40 abaixo, que representa o ângulo que o sol de movimenta num determinado tempo. Como o conjunto está localizado no hemisfério sul, o módulo fotovoltaico

deve estar voltado para o Norte Verdadeiro.

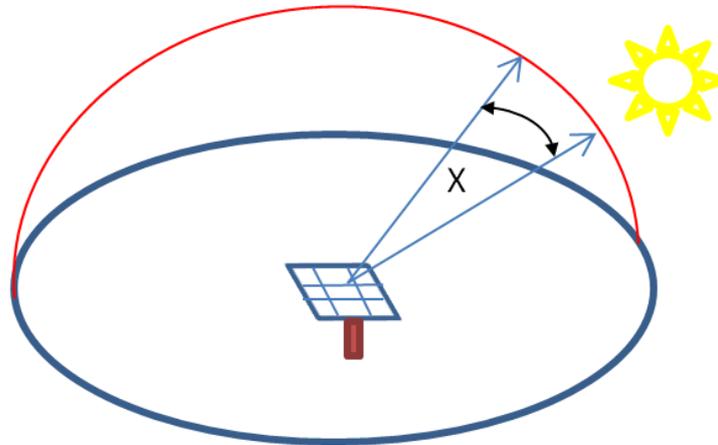


Figura 40 – Orientação da fase do módulo fotovoltaico.
FONTE: O AUTOR (2018).

A cada hora do movimento do sol temos um ângulo X de $(360^\circ / 24 \text{ horas}) = 15^\circ$. O consumo para o alinhamento mecanismo é de 5 W, esta potência foi medida no protótipo usando um multímetro para medir a corrente e tensão que o mecanismo consumia. Para o ajuste o mecanismo utiliza um tempo de 10 segundos. Considerando os dados acima, dados do painel solar temos e 1 W como sendo a energia de 1 Joule por segundo (ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL, 2008, p.143):

- Energia consumida para ajustar o painel = 50 Joules. (5 W x 10 segundos).
- Em uma hora de sol temos 3600 segundos multiplicados por 15 W do painel = 54.000 Joules. Energia fornecida pelo painel considerando um fator de perda de 0,6 (54.000 x 0,6) = 32.400 Joules

Fazendo um ajuste a cada 5 minutos durante uma hora o gasto de energia de 12 ajustes totaliza 600 Joules (1,85% do total).

Fazendo um ajuste a cada 15 minutos durante uma hora o gasto de energia de 4 ajustes totaliza 200 Joules (0,62% do total).

Optou-se então por fazer 4 ajustes do mecanismo no intervalo de uma hora,

pois o consumo utilizado do total seria apenas 0,62%. Este tempo é ajustado no *firmware* do MSP430, o que não impede que, no futuro, possa ser modificado para outro valor.

4.10 FIRMWARE DE TESTES DE MOTORES

O *firmware* foi desenvolvido no ambiente IAR em sua versão 5.51.6 gratuita de avaliação. Nesta versão 5.51.6 são verificados os todos os 4 foto-resistores e, se a tensão obtida por eles for suficientemente alta, há movimentação dos motores. Ainda, o *firmware* liga a Célula de Peltier juntamente com o *cooler*, detectando se há necessidade de movimentar o mecanismo robótico. Caso não necessite o ajuste no mecanismo o *firmware* passa direto para o acionamento do conjunto Peltier. O *firmware* está detalhado, com todas as funções que executa e consta no Apêndice 1 deste trabalho.

4.11 SISTEMA DE MONITORAMENTO DA TEMPERATURA COM *BLUETOOTH*

Para a realização do monitoramento das temperaturas do sistema, além de utilizar os sensores LM35 já citados, foi utilizado uma placa do Arduino UNO juntamente com uma placa para comunicação *Bluetooth*.

Após pesquisa de modelos e fabricantes de placas *Bluetooth*, foi utilizada a placa HC-05 que implementa a pilha *Bluetooth* compatível com a maioria dos *smartphones* existentes, por ser de fácil aquisição e possuir diversos fornecedores no Brasil. Possui um custo baixo (cerca de 35 reais em maio de 2017) e é de simples utilização. A Figura 41 mostra a foto geral da placa com os pinos de saída.

Para fazer a conexão da placa HC-05 com o *laptop*, é necessário um adaptador USB-RS232, ligando a placa à entrada USB. O módulo adaptador RS232 recebe dados conectado ao pino 1 (RX), e transmite dados conectado ao pino 2

(TX). Após ser feita todas as ligações pode-se fazer testes para verificar o correto funcionamento da placa.

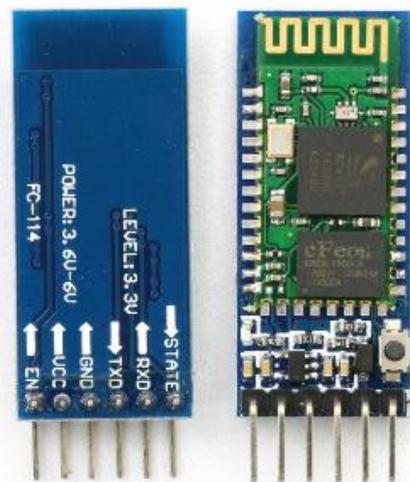


Figura 41 – Placa HC-05.
FONTE: HC05 MANUAL AT MODEL/HC-05.

Como foi utilizado um conversor de USB para serial, a alimentação da placa de 5 volts através do conversor, pode ser conseguida através da própria entrada USB, tanto alimentado por uma bateria externa (como por exemplo, bateria extra para recarga de celular), ou por uma fonte externa ligada a rede. Ainda pode ser utilizada a própria saída do computador para alimentação, programação e testes da placa HC-05. A Figura 42 mostra os pontos de ligações da placa HC-05, onde se observa a ligação de 3,6 a 6 VCC e GND para alimentação e os pontos de TX e RX para a comunicação serial.

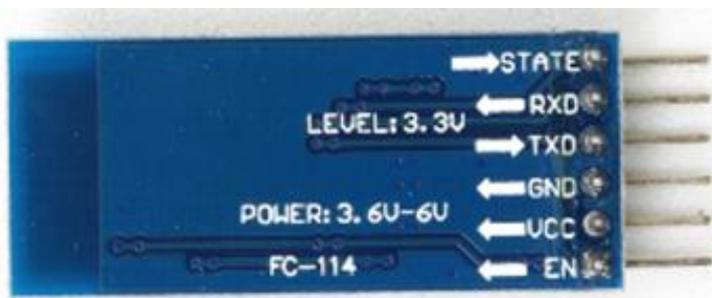


Figura 42 – Placa HC-05 detalhes ligação.
FONTE: HC05 MANUAL AT MODEL/HC-05.

Na Tabela 5 pode-se ver uma possível sequência de passos para fazer um teste e verificar se a placa está funcionando.

Tabela 5 – Comandos de configuração da placa HC-05.

Sequência	Comando	Descrição
1	AT	TESTE
2	AT+RESET	FAZ RESET DA PLACA HC-05
3	AT+VERSION	MOSTRA A VERSÃO DO SOFTWARE
4	AT+ORGL	RESTAURA CONFIGURAÇÃO PADRÃO
5	AT+ADDR	MOSTRA O ENDEREÇO DO MÓDULO BT
6	AT+NAME	MOSTRA/ALTERA NOME DO MÓDULO BT
7	AT+RNAME	MOSTRA O NOME DO MÓDULO BT REMOTO
8	AT+ROLE	SELECIONA MODO MASTER/SLAVE/LOOPBACK
9	AT+PSWD	ALTERA SENHA DO MÓDULO
10	AT+UART	ALTERA A VELOCIDADE (BAUD RATE)
11	AT+RMAAD	REMOVE A LISTA DOS DISPOSITIVOS PAREADOS
12	AT+INQ	INICIA A VARREDURA POR DISPOSITIVO BT
13	AT+PAIR	EFETUA O PARREAMENTO COM BT REMOTO
14	AT+LINK	EFETUA A CONEXÃO COM BT REMOTO

FONTE: O AUTOR (2018).

Como a placa HC-05 utiliza tensão de 5 V e a comunicação TX RX funciona em 3,3 V, é necessário fazer uma adaptação através de divisor de tensão utilizando resistores acoplado a entrada RX da placa HC-05. A Figura 43 abaixo mostra a ligação feita. R1 possui o valor de 1.5 k Ω e R2 possui o valor de 2.2 k Ω . VCC, GND, TXD e RXD vão para a placa de controle.

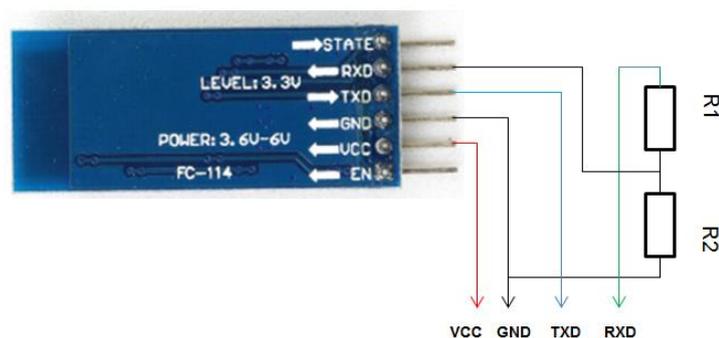


Figura 43 – Ligação RX e TX na placa HC-05.

FONTE: O AUTOR (2018).

4.11.1 Placa Arduino Uno

Arduino representa uma plataforma de código aberto, de fácil utilização devido a sua simplicidade de construção e programação. Possui diversos modelos de placas como UNO, MEGA, DUE e *shilds* para acoplamentos de displays, ethernet, motores, *Wifi* entre outros. Além de possuir varias bibliotecas nativas e dedicadas.

Para a realização do protótipo para testes, foi utilizada uma placa Arduino UNO, mostrada na Figura 44 abaixo e suas características estão na Figura 45.



Figura 44 – Placa *Arduino* UNO.
FONTE: *ARDUINO* UNO REV.3.

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Figura 45 – Características placa *Arduino* UNO.
FONTE: *ARDUINO* UNO REV.3.

5 RESULTADOS OBTIDOS COM O SISTEMA

Após a montagem da parte do mecanismo, juntamente ao conjunto Peltier e do sistema de monitoramento de temperatura, foram verificadas as funcionalidades do sistema.

5.1 ANÁLISE E LEVANTAMENTO DAS FUNCIONALIDADES

Inicialmente foram colocados apenas os dissipadores diretamente na parte quente e fria da Peltier, sem a ventilação forçada. Havia somente uma ventoinha para dissipar o frio gerado e então, foi feito os testes para verificar a diferença nas temperaturas. O teste foi feito no conjunto Peltier com uma fonte externa simulando estar ligado ao painel solar.

Ao fazer as medidas de temperatura, verificou-se não haver mudanças significativas e certa instabilidade nas medidas. Não havia sistema de ventilação na parte quente da Peltier e com isso, ocorria falha no funcionamento da parte fria. Não refrigerava e não ocorria mudança na temperatura, apesar da Peltier estar funcionando.

Para resolver a instabilidade das medidas de temperatura colocou-se um resistor de 10 k Ω para o GND na saída de cada LM35, o que resolveu o problema.

Foi então colocado, na parte fria da Peltier, um modelo diferente de dissipador e ventoinha, normalmente utilizado para refrigerar o processador de CPU. Melhorou um pouco, mas ainda não ocorria mudança significativa na temperatura.

Foi observado que a parte quente da Peltier, sem refrigeração, comprometia a parte fria. Foi então colocado o dissipador com ventoinha utilizada em CPU na parte quente e na parte fria. Teve uma melhora considerável, sendo possível verificar o funcionamento da Peltier tanto para a parte quente como para a parte fria. A Figura 46 mostra o conjunto montado.

Na parte dos sensores LDR também havia o problema de sensibilidade à luz

solar. Optou-se por reposicionar os 4 sensores, colocando-os mais abaixo em relação ao limiar superior do anteparo; e o conjunto dos sensores foi deslocado para a parte de baixo da célula fotovoltaica, melhorando o alinhamento do mecanismo com a fonte de luz.



Figura 46 – Montagem dos dissipadores e ventoinhas à Peltier.

FONTE: O AUTOR (2018).

Outra situação encontrada ao realizar os testes foi a condição climática: dias de sol intenso, chuva e frio devem ser levados em conta na montagem do gabinete que contém a parte eletrônica do mecanismo, já que o mesmo fica exposto ao tempo. Quando da presença de vento, pode ocorrer o movimento não esperado do painel. Também a limpeza do painel é necessária, quando da presença de pó ou outro tipo de substância.

5.2 MEDIÇÃO DA TEMPERATURA

Para medição das temperaturas foi montado um dispositivo utilizando uma placa Arduino UNO juntamente com dois sensores LM35 e uma placa *Bluetooth* HC-05. A Figura 47 abaixo mostra o dispositivo montado. Foi colocado também um conjunto relé para ligar e desligar remotamente o sistema de refrigeração e o dispositivo pode ser alimentado com uma fonte ou bateria, tornando-se portátil.



Figura 47 – Montagem do sistema de medição de temperatura.
FONTE: O AUTOR (2018).

5.3 AMBIENTE DE DIMENSÕES REDUZIDAS

Foi montado o conjunto Peltier e dissipadores na caixa de isopor de teste, juntamente com o sistema de monitoramento da temperatura e o regulador de voltagem. A Figura 48 mostra o conjunto.

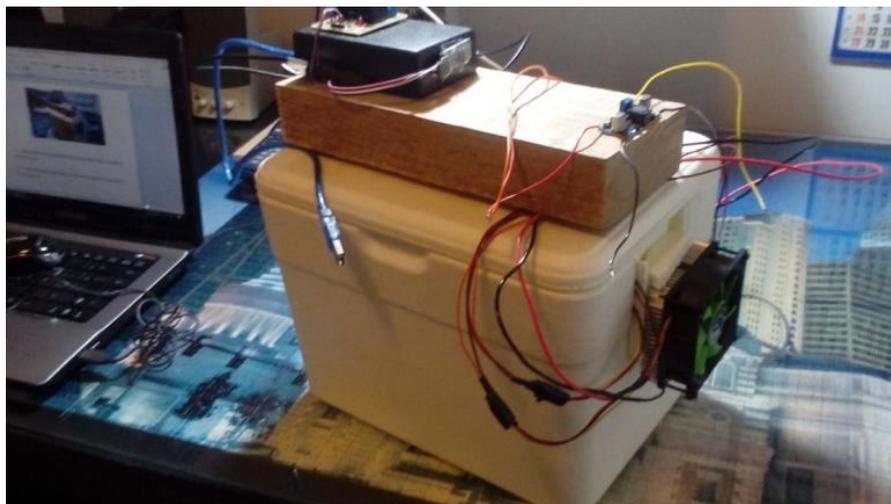


Figura 48 – Montagem do conjunto de teste.
FONTE: O AUTOR (2018).

5.4 MEDIDAS SEM O MECANISMO DE ALINHAMENTO À FONTE DE LUZ

Para a realização dos testes, foi necessária a construção de uma plataforma para que o mecanismo pudesse receber a incidência solar durante o período das 8 horas da manhã às 5 horas da tarde, fazendo a medição da temperatura de hora em hora. A Figura 49 mostra o conjunto, sem o movimento na plataforma, no início do horário de teste. No detalhe pode ser visto o ambiente com dimensões reduzidas (caixa de isopor), onde está o dispositivo para medir as temperaturas. O Sensor 1 está fora da caixa de isopor, e o Sensor 2 está medindo a temperatura interna da caixa de isopor.

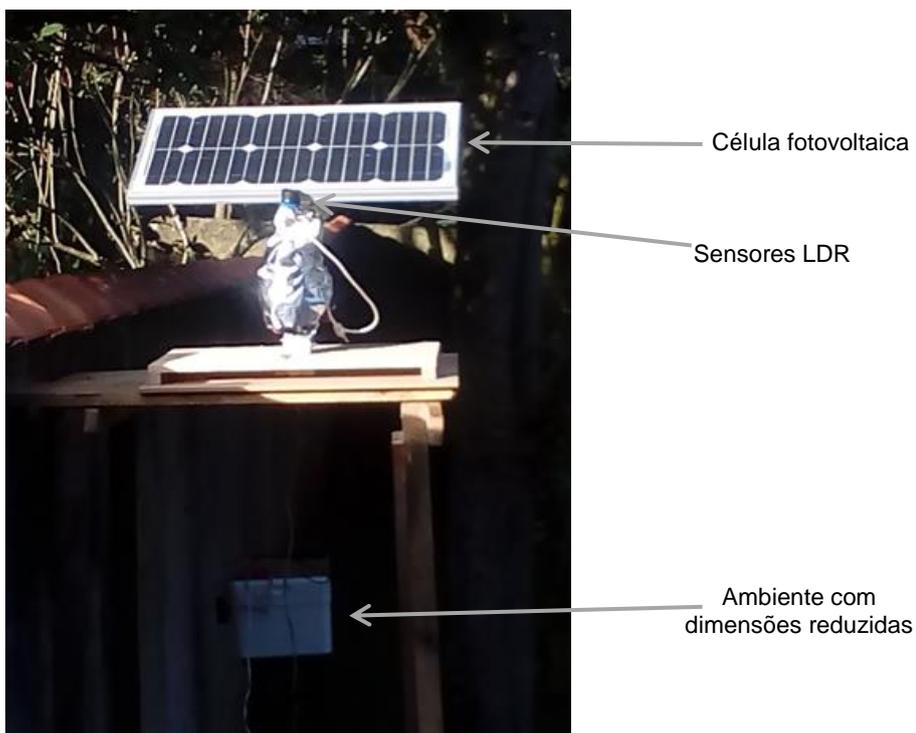


Figura 49 – Teste do conjunto sem movimento.

FONTE: O AUTOR (2018).

Os resultados encontram-se nas Figuras 50, 51 e 52, que apresentam os valores para as três situações diferentes às quais o sistema foi submetido: dia com sol, dia com sol e nuvens (predominantemente ensolarado) e dia com nuvens e sol (predominantemente nublado).

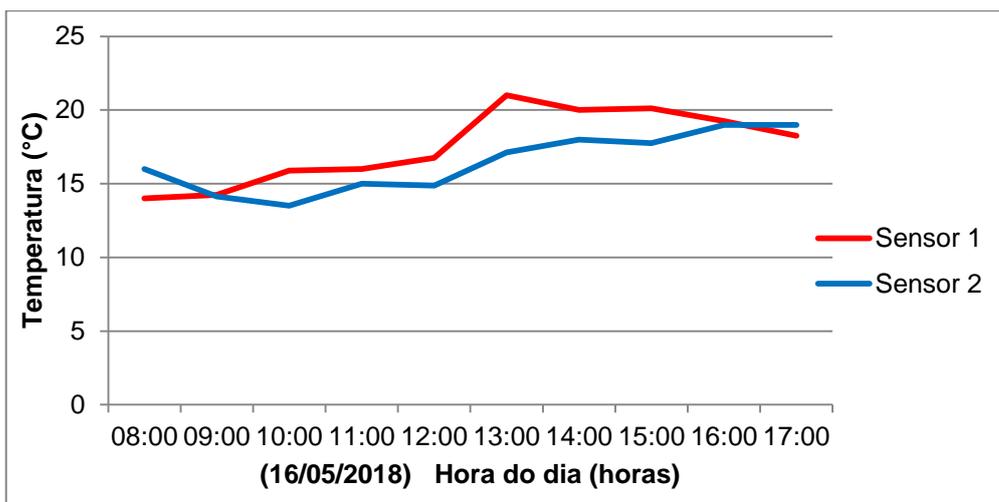


Figura 50 – Resultados do conjunto sem movimento - dia com nuvens e sol.
 FONTE: O AUTOR (2018).

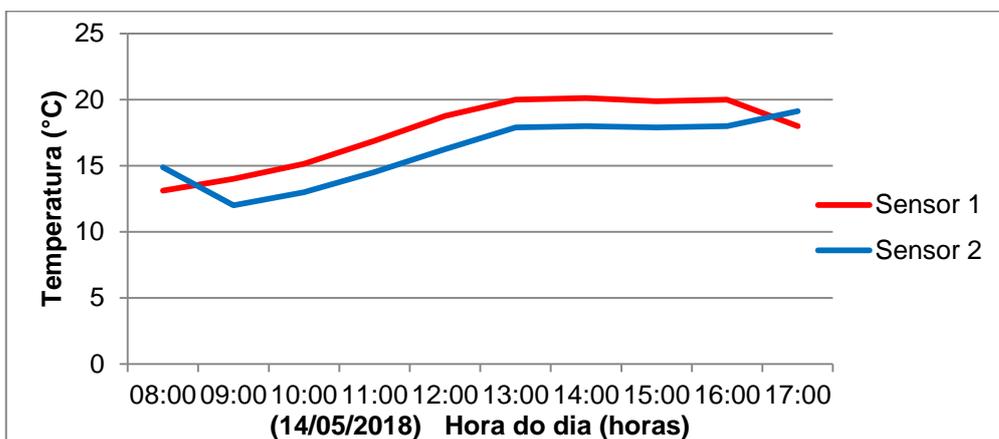


Figura 51 – Resultados do conjunto sem movimento - dia com sol e nuvens.
 FONTE: O AUTOR (2018).

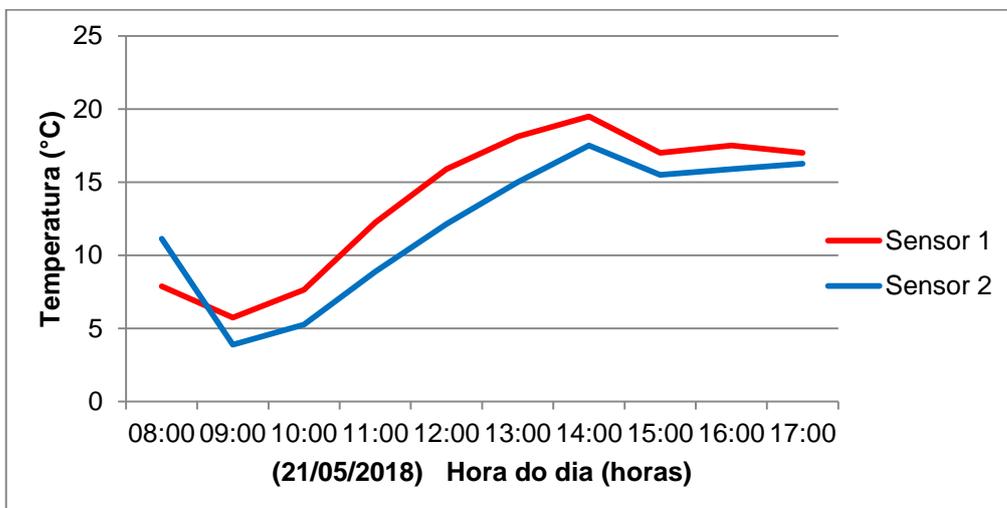


Figura 52 – Resultados do conjunto sem movimento – dia com sol.
 FONTE: O AUTOR (2018).

A Tabela 6 mostra a média diária das temperaturas do sistema, nas três condições ao que o sistema foi submetido e a diferença de temperatura entre os dois sensores.

Tabela 6 – Resultados das medidas sem movimento mecanismo.

Dia do Teste	Média Sensor 1	Média Sensor 2	Diferença
16/05/2018 - Nuvens com sol	17,55 °C	16,44 °C	1,11 °C
14/05/2018 - Sol com nuvens	17,59 °C	16,15 °C	1,44 °C
21/05/2018 - Sol	13,85 °C	12,14 °C	1,71 °C

FONTE: O AUTOR (2018).

5.5 MEDIDAS COM O MECANISMO DE ALINHAMENTO A FONTE DE LUZ

Conforme visto no item 5.4, também foi utilizada a plataforma para testes do conjunto com movimento. A Figura 53 mostra o conjunto no meio da tarde.



Figura 53 – Teste do conjunto com movimento.

FONTE: O AUTOR (2018).

Assim como no sistema sem movimento, temos os resultados nas Figuras 54, 55 e 56, nas três condições às quais o sistema foi submetido.

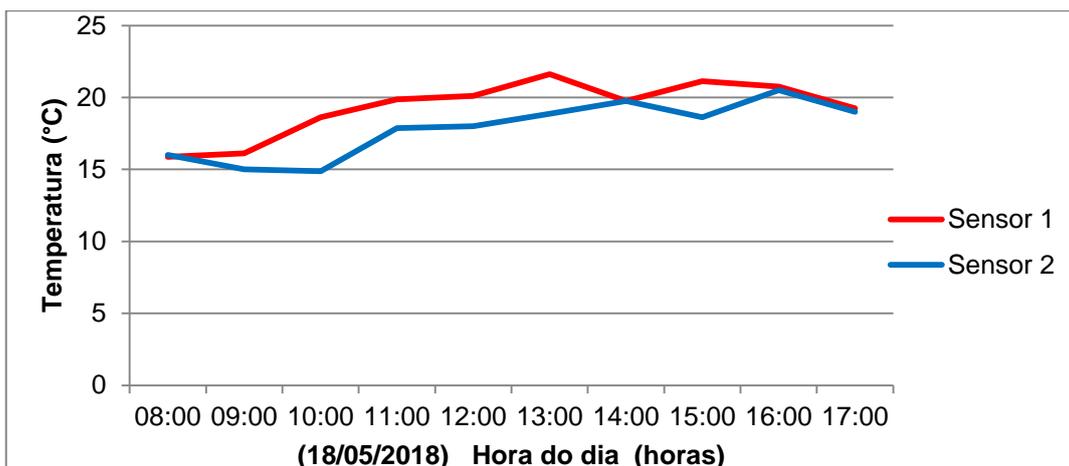


Figura 54 – Resultados do conjunto com movimento – dia com nuvens e sol.

FONTE: O AUTOR (2018).

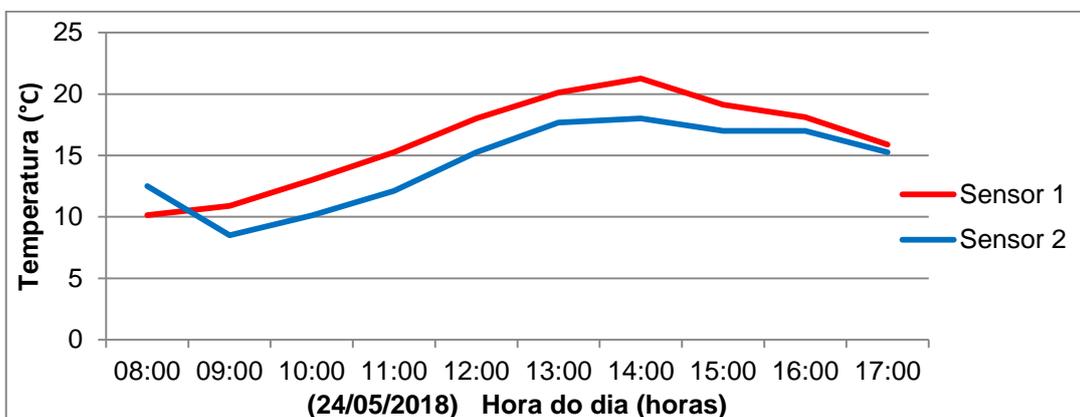


Figura 55 – Resultados do conjunto com movimento – dia com sol e nuvens.

FONTE: O AUTOR (2018).

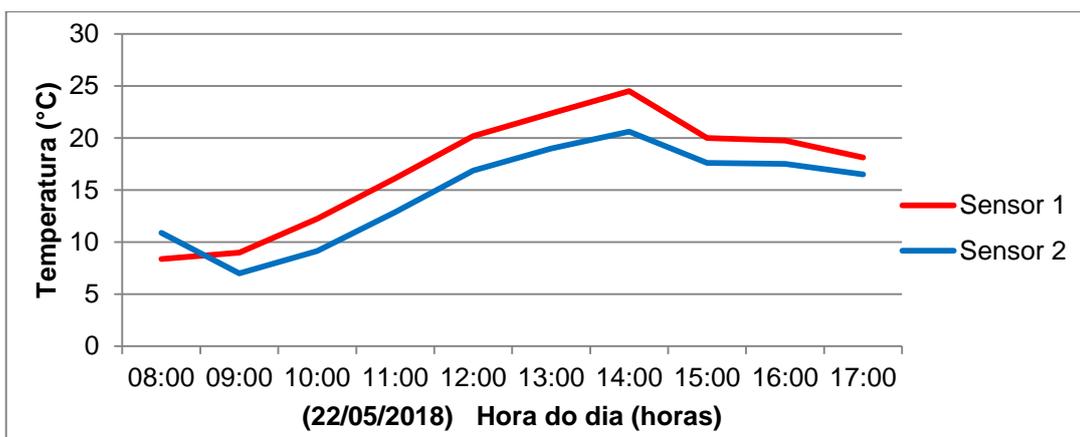


Figura 56 – Resultados do conjunto com movimento – dia com sol.

FONTE: O AUTOR (2018).

A Tabela 7 mostra a média diária das temperaturas do sistema e a diferença de temperatura entre os dois sensores.

Tabela 7 – Resultados das medidas com movimento mecanismo.

Dia do Teste	Média Sensor 1	Média Sensor 2	Diferença
18/05/2018 - Nuvens com sol	19,31 °C	17,85 °C	1,46 °C
24/05/2018 - Sol com nuvens	16,18 °C	14,34 °C	1,84 °C
22/05/2018 - Sol	17,07 °C	14,80 °C	2,27 °C

FONTE: O AUTOR (2018).

6 RESULTADOS APRESENTADOS E CONCLUSÕES

A utilização de energia elétrica para alimentar sistemas de ar condicionado tem sido crescente, tanto nas residências como nos setores comerciais e industriais. Fazer com que possa ocorrer a diminuição desse consumo é essencial. Ter sistemas que possam reduzir este consumo e estar próximos aos consumidores, formando um sistema distribuído, contribui para a diminuição dos custos.

Conforme foi verificado nos resultados das tabelas do item 5.5, o sistema atingiu o objetivo de condicionar a temperatura no sistema de dimensões reduzidas proposto. A Figura 57 mostra o comparativo para os dias das medidas, bem como a média das temperaturas nestes dias. Vemos que o conjunto diminuiu a temperatura no ambiente de dimensões reduzidas nos 3 casos de teste. Um ponto importante a ressaltar é que, apesar das medidas serem realizadas em dias de condições climáticas semelhantes, nestes dias houve uma variação nas temperaturas mínimas e máximas.

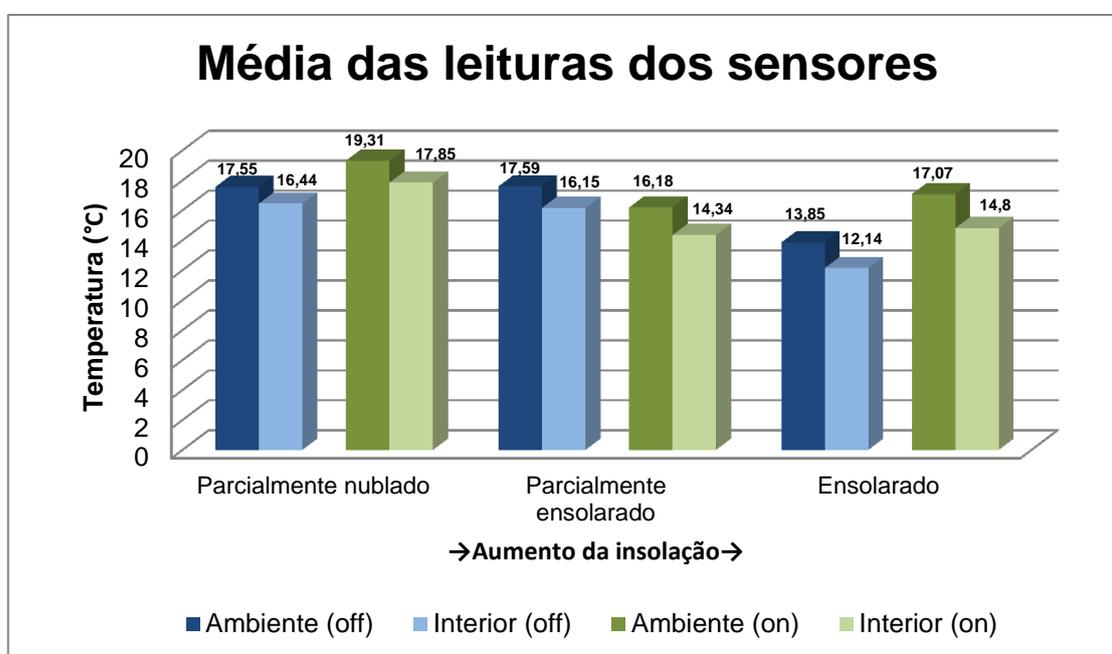


Figura 57 – Média das leituras dos sensores.

FONTE: O AUTOR (2018).

Na Figura 58 vemos o comparativo das diferenças das médias da

temperatura. Vemos o comparativo para o mecanismo de alinhamento que, no caso de estar ligado, melhora a eficiência do sistema nas 3 condições climáticas. O gráfico ainda mostra que o sistema funcionando no dia de sol obteve, na média, 2,27°C na redução de temperatura.

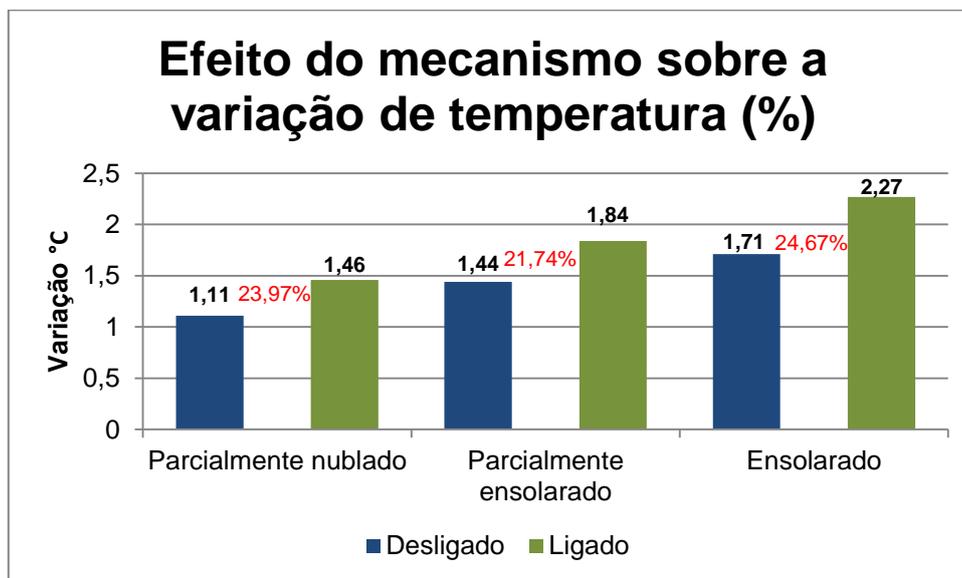


Figura 58 – Diferença das médias das temperaturas.

FONTE: O AUTOR (2018).

Dentre as aplicações do projeto, pode-se citar, por exemplo, pequenos sistemas de refrigeração para o transporte de vacinas ou produtos perecíveis e equipamentos a serem utilizados em localidades onde não há energia elétrica.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, sugerem-se testes em que um único sensor possa comandar vários painéis ligados ao sistema. Outra oportunidade é a construção do sistema de fixação e suporte para deixar o sistema móvel e, assim, utilizar em áreas remotas. Da mesma forma, testes que verifiquem a aplicabilidade do sistema em regiões frias, utilizando o lado quente da célula de Peltier.

Sugere-se, também, estudos que verifiquem a adaptação do sistema para,

em alguma etapa do funcionamento, armazenar energia gerada e utilizá-la em outro momento.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ayrton Gissoni. **Adega Climatizada para Vinhos Utilizando a Célula de Peltier**. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasília: Centro Universitário de Brasília (UnICEUB), 2013. Disponível em http://www.repositorio.uniceub.br/bitstream/235/3855/1/Ayrton%20Gissoni%20Almeida%20%20Monografia%201_2013.pdf, acesso em 24/03/15.

Arduino UNO REV3. Disponível em <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>, acesso em 14/06/2018.

ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL. 3ª Edição ANAEEEL, Brasília 2008. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>, acesso 12/06/2018.

CAMARGO, José Rui; OLIVEIRA, Maria Cláudia Costa de. **Aplicação de Módulos Termelétricos para Condicionamento de Ar**. Taubaté, SP: Revista de Ciências Exatas da Universidade de Taubaté (Unitau), 2011. Disponível em <http://revistas.unitau.br/ojs-2.2/index.php/exatas/article/viewFile/1303/875>, acesso em 24/03/15.

Características da Peltier TEC1-12706. Disponível em <http://www.hebeiltd.com.cn/peltier.datasheet/TEC1-12710.pdf>, acesso em 14/06/2018.

DATASHEET DE PRODUTO **MOTORES DE PASSO**. Disponível em <http://www.neomotion.com.br/wp-content/uploads/2017/07/Cat%C3%A1logo-Datasheet-dos-motores-de-passo-R01.pdf>, acesso 12/03/1028.

DEMONTI, Rogers. **Processamento da Energia Elétrica Proveniente de Módulos Fotovoltaicos**. Tese submetida à Universidade de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica. Florianópolis, Fevereiro de 2003.

FERNANDES, Nicolas Tadeu Domingues. **Projeto de Carregador Pulsado em um Sistema Fotovoltaico Isolado**. Dissertação ao programa Pós-Graduação em Desenvolvimento Tecnologia, área de Concentração Geração e Transferência (GTT). Instituto de Tecnologia para Desenvolvimento, parceria Instituto Engenharia do Paraná, 2016.

INCROPERA, F.P. et al.; Fundamentos de Transferência de Calor e Massa. 6ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

HC05_Manual_AT_Mode/HC-05_AT_Mode.ino. Disponível em https://github.com/mugroma3/HC05_Manual_AT_Mode/blob/master/HC-05_Manual_AT_Mode.ino, acesso em 13/06/2017.

Micro e Minigeração Distribuída. Sistema de Compensação de Energia Elétrica. 2ª Edição, maio/2016. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>, acesso 25/04/2018.

MSP430 LaunchPad Value Line Development Kit. Disponível em <http://www.ti.com/tool/MSP-EXP430G2>, acesso em 14/06/2018.

OLIVEIRA, Klaudio Santos Marcondes de. **Avaliação Numérica do Desempenho Termodinâmico de Células Termoelétricas**. Dissertação de Mestrado. UFPR: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2014. Disponível em http://www.pgmecc.ufpr.br/dissertacoes/dissertacao_149_klaudio_santos_marcondes_de_oliveira.pdf, acesso em 24/03/2015.

Saket Kumar, Ashutosh Gupta, Gaurav Yadav, Hemenser Pal Singh. Module for Refrigeration and Heating using Embedded System, 2015 IEEE International Conference on Recent Developments in Control, Automation and Power Engineering (RDCAPE), pp. 314-319, 2015.

SG90 9g Micro Servo - DATASHEET. Disponível em <http://akizukidenshi.com/download/ds/towerpro/SG90.pdf>, acesso 14/06/1028.

SILVA, Fabrício de Carvalho. **Redes de Comunicação para Aplicações em Automação Residencial: Revisão de Literatura**. Monografia de Graduação ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras, 2006 Disponível em http://www.bcc.ufla.br/wp-content/uploads/2013/2005/Redes_de_comunicacao_para_aplicacoes_em_automacao_residencial_revisao_de_literatura.pdf, acesso em 21/04/14.

TANENBAUM, Andrew S.; Redes de computadores. 5 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

TAVARES, João; GALDINO, Marco Antônio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Grupo de Trabalho de Energia Solar do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Rio de Janeiro: CEPREL-CRESESB, 2014. Disponível em http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf, acesso em 05/11/2014.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors**. Disponível em <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>, acesso em 20/02/2018.

TEXAS INSTRUMENTS. **Manual do usuário do equipamento SLAU499 MSPMATHLIB**. Disponível em <http://www.ti.com/lit/ug/slau499/slau499.pdf>, acesso em 05/11/2014.

DOCUMENTOS CONSULTADOS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ – SISTEMA DE BIBLIOTECAS. **Normas para Apresentação de Documentos Científicos Volume 2 – Teses, Dissertações, Monografias e outros Trabalhos Acadêmicos**. Curitiba: Ed. UFPR, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520: Informação e Documentação – Citações em Documentos**. Rio de Janeiro, 2002.

APÊNDICE

FIRMWARE DE TESTE DO PROTÓTIPO

```
#include <msp430.h>
unsigned int crt_step = 0;
unsigned int step[8] = {(BIT0), (BIT0+BIT1), (BIT1), (BIT1+BIT2), (BIT2)
, (BIT2+BIT3), (BIT3), (BIT3+BIT0)};      // Step sequence

#define MAX_INCLINATION 2500
#define MIN_INCLINATION 1200
unsigned int inclination=1700;
#define MAX_ROTATION 200
#define MIN_ROTATION -200
int rotation=0;

long average_inclination;
long difference_inclination;
long average_rotation;
long difference_rotation;

int aux=0;

#pragma location=0x200
__no_init volatile int adc0;
#pragma location=0x202
__no_init volatile int adc1;
#pragma location=0x204
__no_init volatile int adc2;
#pragma location=0x206
__no_init volatile int adc3;

int ldr0=0;
int ldr1=0;
int ldr2=0;
int ldr3=0;
```

```

int main(void) {

    WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD;           // Stop WDT
    TA1CCR0 = 20000;                     // PWM Period
    TA1CCTL2 = OUTMOD_7;                 // CCR1 reset/set
    TA1CCR2 = 1700;                       // CCR1 PWM duty cycle
    TA1CTL = TASSEL_2 + MC_1;            // SMCLK, up mode
    P2DIR |= 0xFF;                       // PORT1 - step motor

    P2OUT = 0;

    P2DIR |= BIT4;                       // P2.1 output servo motor
    P2SEL |= BIT4;                       // P2.1 TA1/2 options

    P1OUT &= ~BIT5;
    P1DIR |= BIT5;

    ADC10CTL1 = INCH_3 + CONSEQ_1;       // A3/A2/A1/A0, single sequence
    ADC10CTL0 = ADC10SHT_2 + MSC + ADC10ON + ADC10IE;
    ADC10DTC1 = 0x04;                   // 4 conversions
    ADC10AE0 |= 0x0F;                   // P1.3,2,1,0 ADC10 option select

    for (;;)
    {
        //-----
        //LDR
        ADC10CTL0 &= ~ENC;
        while (ADC10CTL1 & BUSY);       // Wait if ADC10 core is active
        ADC10SA = 0x200;                 // Data buffer start
        ADC10CTL0 |= ENC + ADC10SC;     // Sampling and conversion start
        ldr0=(ldr0+adc0)/2;
        ldr1=(ldr1+adc1)/2;
        ldr2=(ldr2+adc2)/2;
        ldr3=(ldr3+adc3)/2;
        //-----
    }
}

```

```

//-----
//INLCINATION

if(aux++<500){
    average_inclination=(ldr1+ldr0)/2;
    difference_inclination=(ldr1-ldr0);
    if(difference_inclination<0)
        difference_inclination=-difference_inclination;

if(((difference_inclination*100)/average_inclination)>30){
    if(ldr1>ldr0){
        if(inclination<MAX_INCLINATION) inclination++;
    }
    else if(ldr1<ldr0){
        if(inclination>MIN_INCLINATION) inclination--;
    }
    TA1CCR2=inclination;
    __delay_cycles(5000);
}
}
//-----

//-----
//NOTHING
else if(aux++<1500){
    __delay_cycles(500);
}

//-----

//-----
//ROTATION
else if(aux++<2000){
    average_rotation=(ldr2+ldr3)/2;
    difference_rotation=(ldr2-ldr3);

```

```

if(difference_rotation<0)
    difference_rotation=-difference_rotation;
if(((difference_rotation*100)/average_rotation)>10){
    P2OUT = step[crt_step];
    __delay_cycles(50000);
    if(ldr2>ldr3){
        if(rotation>MIN_ROTATION){
            rotation--;
            P2OUT = step[crt_step++];
            if(crt_step == 8) crt_step = 0;
            __delay_cycles(50000);
        }
    }
    else if(ldr2<ldr3){
        if(rotation<MAX_ROTATION){
            rotation++;
            P2OUT = step[crt_step--];
            if(crt_step == -1) crt_step = 7;
            __delay_cycles(50000);
        }
    }
}
//-----
//NOTHING
else if(aux++<3000){
    P2OUT = 0;
    __delay_cycles(2000);
}
//-----

//-----
//Peltier
else if(aux++<5000){
    P1OUT |= BIT5;
}

```

```
        __delay_cycles(2500000);
    }
//-----

//-----
//NOTHING
else if(aux++<5100){
    P1OUT &= ~BIT5;
    __delay_cycles(5000);
}
else aux=0;
//-----

}
}
```