



Centro Universitário de Brasília - UniCEUB
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas –
FATECS

CAROLINA ALMEIDA PEREIRA

**OTIMIZAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM FUNÇÃO
DAS VARIAÇÕES DA INTENSIDADE LUMINOSA EM UM PAINEL
FOTOVOLTAICO**

Brasília
Dezembro, 2018

CAROLINA ALMEIDA PEREIRA

**OTIMIZAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM FUNÇÃO
DAS VARIAÇÕES DA INTENSIDADE LUMINOSA EM UM PAINEL
FOTOVOLTAICO**

Trabalho apresentado ao Centro
Universitário de Brasília (UniCEUB) como
pré-requisito para a obtenção de
Certificado de Conclusão de Curso de
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. MSc. Luciano Henrique
Duque

Brasília

Dezembro, 2018

CAROLINA ALMEIDA PEREIRA

**OTIMIZAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM FUNÇÃO
DAS VARIAÇÕES DA INTENSIDADE LUMINOSA EM UM PAINEL
FOTOVOLTAICO**

Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro de Computação (Eletricista), e aprovado em sua forma final pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS.

Prof. Dr. Abiezer Amarilia Fernandes
Coordenador do Curso

Banca Examinadora

Prof. Me. Luciano Henrique Duque
Orientador

Prof. Me. William Roberto Malvezzi
Membro da banca

Profª. Me. Vera Lucia Favini Alves Duarte
Membro da banca

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha família. Especialmente, meu pai e minha mãe, pela amor incondicional e pelo exemplo de vida. Também sou grata aos meus avós e a minha tia Rosa, que me ensinaram valores importantes e contribuíram com a minha educação. Não posso deixar de agradecer meu irmão Rafael, meu namorado Gabriel, minha madrinha Juliana, meus amigos de turma e de monitoria que estiveram ao meu lado durante todos os meses de elaboração desse trabalho.

Agradeço à toda minha família, avós, tios, primos, amigos e professores que sempre estiveram torcendo por mim. E por último e não menos importante todos meus professores, que fizeram parte dessa trajetória, em especial ao meu orientador Msc. Luciano Duque, que desde o início da faculdade me acompanhou e incentivou.

Muito obrigada à Deus, que alimentou minha alma com força e tornou tudo possível.

Obrigada a todos!
Carolina Almeida Pereira

CITAÇÃO

“O sucesso é a soma de pequenos esforços repetidos dia após dia.” (Robert Collier)

RESUMO

Este trabalho propõe um sistema de otimização na geração de energia solar em função da intensidade luminosa, com o objetivo de aumentar a capacidade de geração de eletricidade por um painel fotovoltaico. O trabalho apresenta o desenvolvimento de um seguidor solar o qual possui dois graus de liberdade, permitindo o rastreamento solar com maior precisão. O sistema objeto de estudo é composto por dois microcontroladores, o Arduino e um PIC, componentes eletrônicos discretos, como sensores de luminosidade, corrente, motores, um painel fotovoltaico. Realizou-se a impressão da parte física em impressora 3D. Os foto-sensores convertem luz incidente em tensão e transmitem os valores para o PIC e, logo depois, ao Arduino que processa os dados e aciona uma base móvel, composta por dois servomotores acoplados à parte física, na qual irá movimentar a base onde se encontra o painel solar. Os ângulos do conjunto são ajustados de forma a encontrar a posição em que ocorra a maior incidência de luminosidade no painel e nos sensores, que, por consequência, aumentará a geração de energia do painel fotovoltaico.

Palavras-chave: Intensidade Luminosa. Painel fotovoltaico. Microcontrolador.

ABSTRACT

This project shows an optimization system of the solar energy due to the luminous intensity to increase the capacity of an electricity generation by a photovoltaic panel. The work presents of a solar tracker development qualified into two degrees of freedom, allowing a solar tracking with higher accuracy. The system, which in the object of study, is composed of an Arduino microcontroller and a PIC. These are discrete electronic components such as light sensors, current, motors, photovoltaic panel and the physical part that was printed on the 3D printer. The photosensors are converted into incident light, and transmitted the values to the PIC, and, them to the Arduino. This one process the data transmission and activate a portable basis. It is composed are composed of two servomotors attached to a physical part that is going to move the basis of the solar panel. The set azimuth is found for a higher incidence of brightness in the panel and sensors, which will increase the power of the photovoltaic panel.

Keywords: Luminous Intensity. Photovoltaic panel. Micro controller.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - (a) Matriz energética e (b) Matriz de energia elétrica	15
FIGURA 2 - Balanço de energia NOS	16
FIGURA 3 - Esquemático do projeto	19
FIGURA 4 - Variação da radiação solar no Brasil	23
FIGURA 5 - Ângulo em relação ao solo e o ângulo de incidência.....	24
FIGURA 6 - Componentes da irradiância solar	28
FIGURA 7 - Célula de silício monocristalino.	31
FIGURA 8 - Célula de silício policristalino.....	32
FIGURA 9 - Exemplo de sistema híbrido	35
FIGURA 10 - Sistema interligado à rede elétrica.	35
FIGURA 11 - Seguidor com eixo horizontal móvel leste-oeste.....	37
FIGURA 12 - Seguidor com eixo móvel horizontal norte-sul.....	38
FIGURA 13 - Seguidor com eixo vertical	39
FIGURA 14 - Seguidor de dois eixos	40
FIGURA 15 - Servomotor	41
FIGURA 16 - Variação do ângulo de acordo com o milissegundo	41
FIGURA 17 - LDR	42
FIGURA 18 - Placa de circuito impresso.....	43
FIGURA 19 - Arduino	46
FIGURA 20 - Interface do ambiente de programação	47
FIGURA 21 - Microcontrolador ATMEGA328 com suas respectivas portas e funções	48
FIGURA 22 - PIC16f88 com seus respectivos pinos.....	50
FIGURA 23 - Programador de PIC.....	51
FIGURA 24 - LCD 16X2.....	52
FIGURA 25 - Módulo i2c	52
FIGURA 26 - Diagrama em blocos do sistema seguidor solar	53
FIGURA 27 - Diagrama elétrico do projeto com destaque na parte de detecção do circuito	54
FIGURA 28 - Parte do diagrama com o cristal, filtro de entrada e LED da placa principal.....	55
FIGURA 29 - Parte do diagrama com o PIC16f88 da placa principal.....	56
FIGURA 30 - Diagrama elétrico da placa principal.....	58
FIGURA 31 - Visão da placa em forma 3D	59
FIGURA 32 - Diagrama elétrico do projeto com destaque na parte de ação do circuito.....	60
FIGURA 33 - Diagrama elétrico do projeto com destaque do sensor de corrente e de tensão do circuito	61
FIGURA 34 - Diagrama elétrico do projeto com os sensores, LCD e os servo motores	61
FIGURA 35 - Protótipo físico do seguidor de luminosidade	62

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Fatores de conversão para unidades de radiação solar	23
TABELA 2 - Dados técnicos que constam na etiqueta do módulo	30
TABELA 3 - Classes de eficiência de módulos fotovoltaicos no Brasil	31
TABELA 4 - Tipos de células e suas eficiências de filmes finos.....	32
TABELA 5 - Características do Arduino UNO.....	44
TABELA 6 - Parâmetros do sistema desligado.....	64
TABELA 7 - Parâmetros do sistema ligado	66

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Absorptância, difusividade térmica
α_s	Ângulo de altitude solar
α_o	Ângulo de altitude do objeto
α_p	Ângulo do perfil (1.9)
β	Inclinação
γ	Ângulo de azimute de superfície, espessura de adesão, fatores de interceptação
γ_s	Ângulo de azimute solar (8.5)
γ_o	Ângulo do azimute do objeto (1.9)
δ	Declinação, espessura (definida localmente), dispersão
δ_{ij}	Função delta: $\delta_{ij} = 1$ quando $i = j$ e $\delta_{ij} = 0$ quando $i \neq j$
ϵ	Emitância, eficácia (3.17)
η	Eficiência (definida localmente)
θ	Ângulo (definido localmente), ângulo entre a radiação normal e a radiação incidente
θ_c	Semi-ângulo de aceitação do concentrador parabólico composto (7.6)
θ_z	Ângulo Zenith
λ	Comprimento de onda
λ_c	Comprimento de onda de corte da superfície seletiva
μ	Viscosidade absoluta, cosseno do ângulo polar
ν	Viscosidade cinemática, frequência
ρ	Refletância, densidade
σ	Stefan-Boltzmann constante, desvio padrão
τ	Transmitância
φ	Latitude, ângulo (definido localmente), usabilidade (2.22)
φ_r	Ângulo da jante (7.9)
Ψ	Ângulo (definido localmente), cobertura de solo da matriz de coletores
ω	Ângulo horário, ângulo sólido
ω_s	Ângulo horário do pôr-do-sol (ou nascer do sol)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivo Geral	17
1.2 Objetivos Específicos	17
1.3 Metodologia	18
1.4 Motivação	19
1.5 Resultados Esperados	20
1.6 Trabalhos Correlatos	20
1.7 Estrutura do Trabalho	21
2 REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1 Energia Solar	22
2.2 Radiação Solar	22
2.3 Painéis Fotovoltaicos	25
2.3.1 Irradiância Solar	28
2.3.2 Identificação de Características Elétricas dos Painéis Fotovoltaicos 29	
2.3.3 Células de Silício Monocristalino	31
2.3.4 Células de Silício Policristalino	31
2.3.5 Células de Silício Amorfo	32
2.3.6 Células de Filme Fino	32
2.3.7 Associação em Série	33
2.3.8 Associação em Paralelo	33
2.4 Sistemas que Utilizam Energia Solar Fotovoltaica	34
2.4.1 Sistemas Isolados	34
2.4.2 Sistemas Híbridos	34

2.4.3 Sistema Interligado à Rede Elétrica	35
2.5 Tipos de Coletores Solar	36
2.5.1 Seguidor solar de um eixo	36
2.5.2 Seguidor solar de dois eixos	39
2.6 Montagem de Hardware	40
2.6.1 Servo motor	40
2.6.2 LDR	42
2.6.3 Placa de fenolite	42
2.7 Arduino	43
2.8 Linguagem de Programação	48
2.8.1 Protheus	49
2.8.2 Compilador MikroC	49
2.9 PIC16f88	50
2.10 Display LCD com Módulo i2c	51
3 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	53
3.1 Descrição do Sistema Proposto	53
3.2 Circuito de Detecção	54
3.3 Circuito de Ação	57
3.5 Circuito da Geração	60
4 TESTES E RESULTADOS	63
4.1 Teste com o Sistema de Otimização Desligado	63
4.2 Teste com o Sistema de Otimização Ligado	65
4.3 Resultados	68
5 CONCLUSÃO	73
5.1 Proposta para Trabalhos Futuros	74
APÊNDICE A - Programação do PIC no software MikroC	79
APÊNDICE B - Programação do Arduino no software Arduino	84

ANEXO A – Esquema elétrico do Arduino	89
--	-----------

1 INTRODUÇÃO

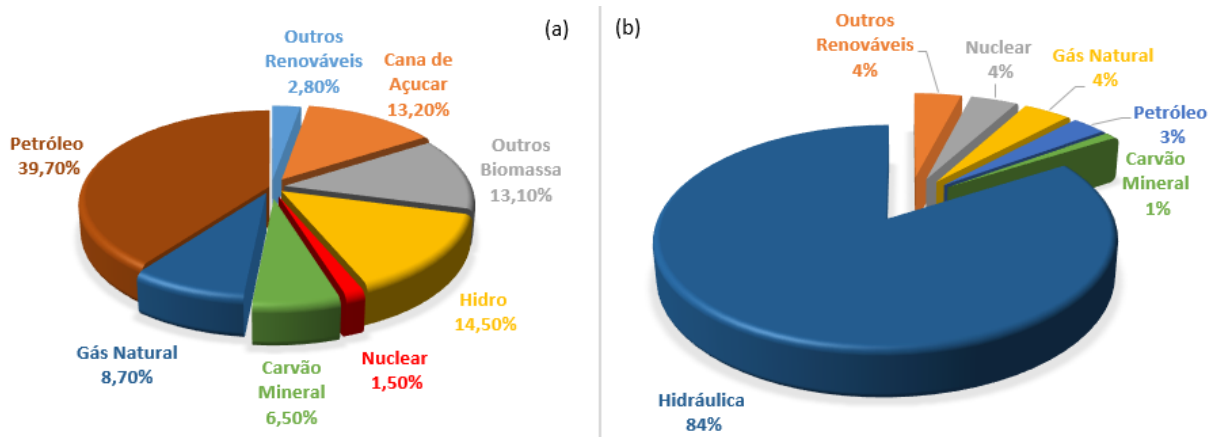
A energia elétrica é um imprescindível integrante da sociedade moderna, sendo esta essencial para criar bens com base em recursos naturais. O desenvolvimento econômico e os altos padrões de vida necessitam de um abastecimento adequado e confiável de energia. (HINRICHS; KLEINBACH; BELICO, 2012).

Após eventos políticos que colocaram em cheque fontes de energia largamente usadas, como por exemplo, o Embargo do Petróleo em 1973, a Revolução Iraniana, em 1979, e a Invasão do Iraque, em 2003, houve a percepção do quanto a energia é um elemento crucial para o andamento e o desenvolvimento de uma sociedade. (HINRICHS; KLEINBACH; BELICO, 2012).

Por consequência, houve uma crescente necessidade de energia elétrica, visto que os países em desenvolvimento necessitariam de mais energia e os desenvolvidos também, uma vez que essa fonte possibilita o avanço tecnológico e no desenvolvimento humano desenhado por fatores socioeconômicos. Com isso, houve uma crescente preocupação com o meio ambiente, em especial, em relação a quesitos como o aquecimento global, a chuva ácida e os resíduos radioativos, provocados por fontes de energia não-renováveis. (HINRICHS; KLEINBACH; BELICO, 2012).

Nesse rumo, a preocupação com a preservação do meio ambiente incentivou a comunidade científica a aprimorar pesquisas e a elaborar fontes alternativas de energia, com o objetivo da geração de energia renovável, com menos poluentes e com menor impacto ambiental. (PEREIRA, et al., 2006).

Para melhor ilustrar o desenvolvimento de tais fontes alternativas de energia, colaciona-se a Figura 1 em que se pode aferir a matriz energética brasileira, apresentando as fontes alternativas de energia. A imagem dá ênfase à energias renováveis, mostra algumas energias não renováveis e sua parcela de participação na matriz elétrica brasileira.

FIGURA 1 - (a) Matriz energética e (b) Matriz de energia elétrica

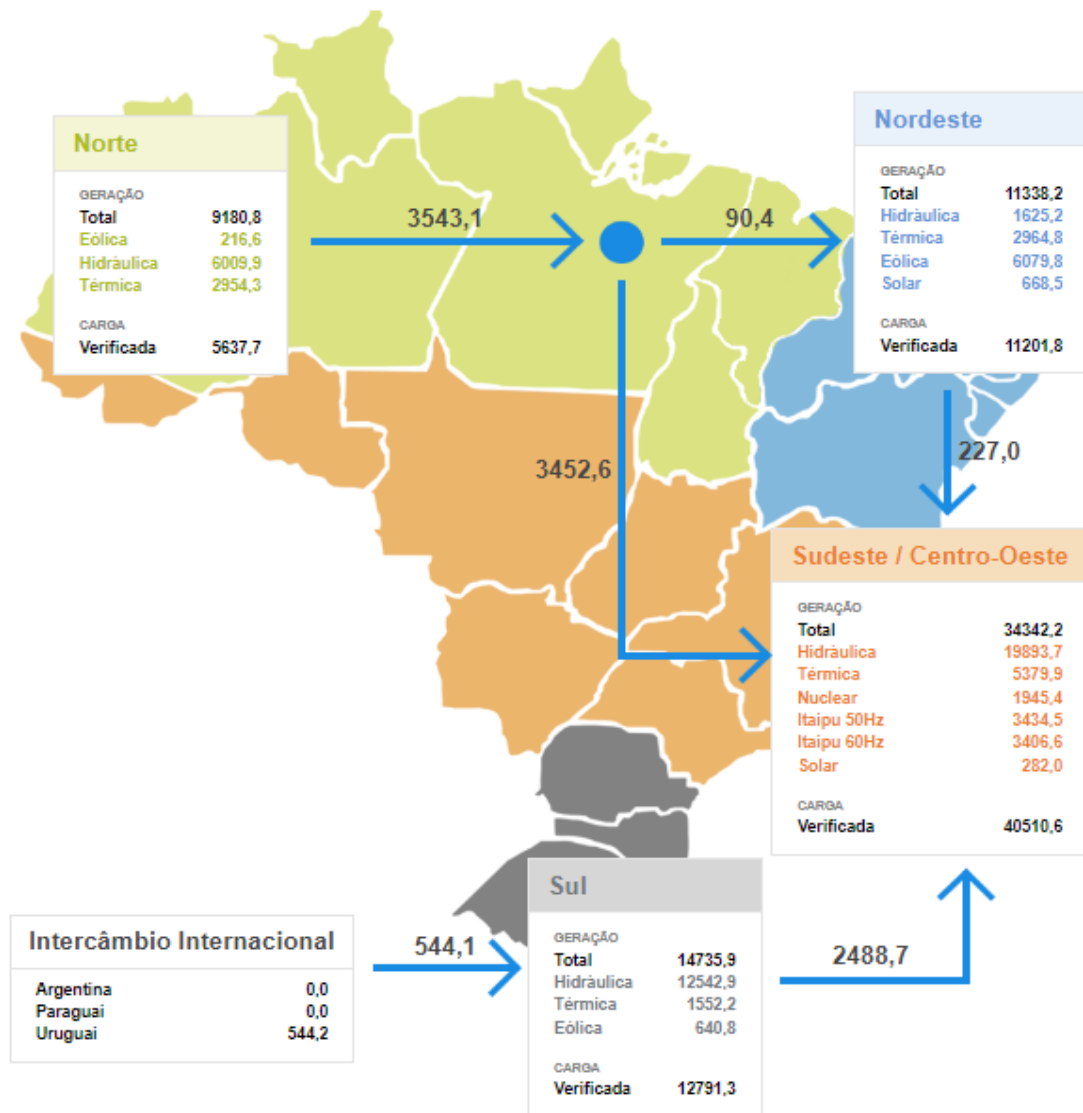
Fonte: Pereira (2006)

O Brasil possui como principal fonte de geração de energia, a energia hidráulica. Embora essa fonte de energia seja considerada uma fonte de energia limpa e renovável, as grandes usinas hidroelétricas causam impactos ambientais. Porém, as bacias hidrográficas brasileiras encontram-se em defasagem uma vez que o país está em uma crise hídrica em razão de um extenso período de estiagem que ocorreu no território brasileiro no período de 2011 a 2015. (PEREIRA, et al., 2017).

Em contrapartida, pelo fato do Brasil estar localizado em sua maior parte na região intertropical, é possível um maior aproveitamento da energia solar durante todo ano. (PEREIRA; MARTINS; ABREU; RÜTHER, 2006 apud TIBA, 2000). O estudo da radiação solar pode ser feito pelo software Sundata, por meio dele é possível calcular a irradiação solar diária média mensal em qualquer parte do território nacional, ajudando a dimensionar sistemas fotovoltaicos. (CRESESB, 2008).

Para ilustrar o uso de cada fonte de energia no país, a Figura 2 apresenta as regiões do Brasil e a quantidade de energia em MW (Mega Watts), gerada por cada tipo de fonte, possibilitando ter uma noção real da potência de geração de energia e qual a melhor fonte de geração de energia para cada região.

FIGURA 2 - Balanço de energia NOS



Todos os valores em MW

Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (2018).

Os módulos fotovoltaicos são compostos por materiais semicondutores que, quando inseridas certas impurezas, comumente conhecidas como dopantes, podem ser o fósforo que produz um semicondutor negativo (tipo N) ou o alumínio, boro, índio e o gálio, resultam em um semicondutor positivo (tipo P), podendo, então, controlar os elétrons livres. (ALBADÓ, 2002)

Existem variados materiais e tipos de estrutura para a confecção de uma célula fotovoltaica, sendo o semicondutor de silício o mais utilizado. Este pode possuir estrutura monocristalino, amorfo e policristalino. Dentre as tecnologias existentes, a

mais utilizada é a de filmes finos policristalinos ou amorfos, mas existe também a tecnologia que utiliza o silício com menor nível de pureza. (ALBADÓ, 2002).

Segundo Albadó (2002, p.27), "O painel solar é um conjunto de células fotovoltaicas interligadas e dispostas em uma estrutura de sustentação que utiliza materiais comuns, devendo possibilitar o agrupamento e interligação dos elementos de forma simples". Com esse tipo de configuração do painel solar, tem-se maior aproveitamento da captação dos raios solares, gerando mais energia.

Dessa maneira, o trabalho aqui proposto tem como objetivo responder ao questionamento: seria possível melhorar a eficiência na geração de energia por uma célula fotovoltaica? O Arduino¹ atuará de forma a posicionar o painel solar diretamente para o Sol, aumentando a potência gerada em relação a um sistema com painel fixo. Nesse cenário, o projeto proposto tem por objetivo agregar valores na área de geração de energia solar residencial, agindo em prol de um desenvolvimento sustentável que não comprometa as gerações atuais e futuras.

1.1 Objetivo Geral

Projetar um software e um hardware para otimização da geração de energia elétrica solar por um painel fotovoltaico. Será construído um protótipo em que, este deve ser capaz de posicionar o painel solar de forma a captar a maior intensidade luminosa e, assim, analisar se há algum benefício de eficiência na utilização da célula fotovoltaica.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar o levantamento dos requisitos do software e hardware;
- Projetar um sistema capaz de realizar o controle do posicionamento do painel, no eixo azimutal, conforme a variação solar incidente em sua superfície;
- Armazenar e processar as informações de tensão e corrente para serem utilizadas como tomada de decisão no movimento do painel fotovoltaico;
- Desenvolver um hardware baseado na arquitetura Arduino com suas interfaces e periféricos para controle do painel fotovoltaico;

¹ Arduino é uma plataforma open-source de prototipagem eletrônica com hardware e software flexíveis e fáceis de usar.

- Efetuar testes de desempenho no protótipo e realizar ajustes conforme a necessidade do usuário.

1.3 Metodologia

Os métodos utilizados neste projeto são do tipo demonstrativo, ou seja, buscam demonstrar os resultados em tempo real, por meio de um protótipo que mude seu azimute de acordo com a mudança de intensidade luminosa. Ademais, realizar-se-á um estudo bibliográfico e um procedimento experimental e que, nesse contexto, a técnica empregada visa atingir os objetivos específicos e, para tal, o projeto é dividido nas seguintes etapas:

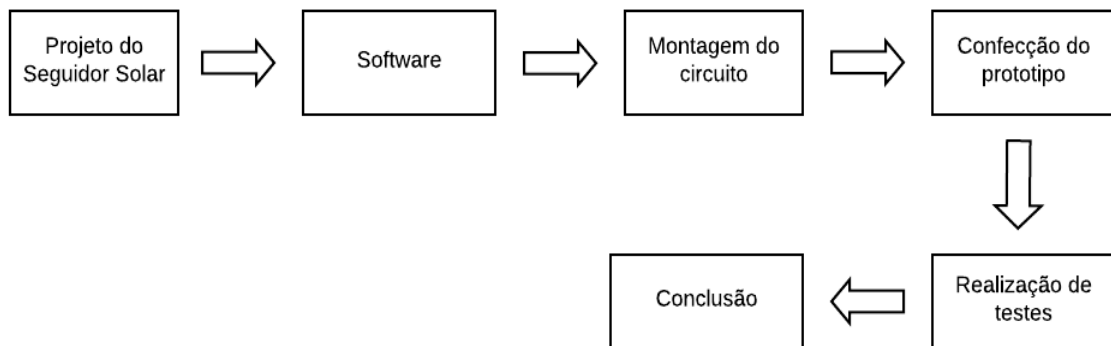
- 1ª Etapa: Na revisão bibliográfica estuda-se e aprofunda-se os conhecimentos sobre os componentes eletrônicos necessários e suas funções, tais como: sensores de luminosidade (LDR), controlador de corrente, microcontrolador Arduino, motores de passo e painel fotovoltaico;
- 2ª Etapa: Estudar a linguagem de programação necessária, a técnica de montagem dos componentes integrantes para o funcionamento de um sistema de geração de energia solar off-grid e a confecção do circuito para controle do motor responsável pelo posicionamento do painel;
- 3ª Etapa: Consiste em projetar uma programação compatível com o microcontrolador Arduino, em que a luminosidade irradiada no LDR irá mandar um sinal para o Arduino e este acionará o motor para o lado em que houver maior luminosidade incidente;
- 4ª Etapa: Estudar o software Proteus² e construir um sistema utilizando o simulador de circuito eletrônico Protheus em que seja possível montar o mesmo circuito real, e na mesma plataforma digital, realizar testes de funcionalidade;
- 5ª Etapa: Desenvolver um protótipo depois de realizar os testes nos sistemas virtuais, produzindo uma placa de circuito impresso, com isso, será possível reduzir o espaço que o circuito físico irá ocupar, para posteriormente se construir uma estrutura para acoplamento do circuito com a placa solar;
- 6ª Etapa: Desenvolvimento de um descritivo do projeto desde o início até a

² O Proteus é um software para simulação de microprocessadores, captura esquemática, e placa de circuito impresso (PCB design).

fase de testes, passando por todas as dificuldades encontradas, apresentando detalhadamente o que foi feito e como foi feito, quais matérias foram usados, como foi desenvolvido o software para que fosse possível o rastreamento solar.

A Figura 3 apresenta, de forma simplificada, a metodologia que é utilizada para elaborar este projeto.

FIGURA 3 - Esquemático do projeto



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a construção de um seguidor solar é necessário utilizar um microcontrolador que, por sua vez, necessitará de uma linguagem de programação, para que possam ser feitos os comandos necessários. Na parte da construção do hardware, serão utilizados componentes eletrônicos, como por exemplo: servo motores, LDR, uma placa de circuito impresso, um mini painel solar que irá alimentar o sistema. Para a construção de um suporte, será necessário a utilização da impressora 3D. Após a montagem do protótipo do seguidor solar, serão realizados testes para verificar seu funcionamento de acordo com o proposta do trabalho.

1.4 Motivação

No cenário de crise hídrica em que o Brasil se encontra, a fonte primária de energia elétrica vem sendo comprometida. Neste rumo, as contas de luz estão ficando cada vez mais caras. Por isso, pensa-se em utilizar uma fonte de energia renovável que não agrida tanto o meio ambiente. Há alguns anos os painéis fotovoltaicos vêm sendo explorados. Pensando nisso, surgiu o interesse na criação de um sistema que otimize essa geração de energia.

1.5 Resultados Esperados

Com o desenvolvimento de um protótipo de seguidor solar, será possível demonstrar o funcionamento do sistema. O sistema terá de ser capaz de ajustar o azimute do painel solar de acordo com a intensidade luminosa incidente e terá que utilizar a luz solar como fonte de energia do sistema.

1.6 Trabalhos Correlatos

Com a busca da otimização da eficiência do sistema fotovoltaico, verificou-se trabalhos relacionados ao seguidor solar.

Cortez (2013) realizou um estudo de um sistema de seguimento solar em produção de energia fotovoltaica. A proposta do trabalho dos pesquisadores consiste em um estudo sobre seguidores solares já existentes pela JPM³, empresa no segmento de energias renováveis, o seguidor utiliza um calendário astronômico, no qual utiliza um algoritmo e este precisa ser um sistema de malha aberta. Por fim, o estudo propôs o uso de sensores para a determinação da posição do sol.

Faricelli (2008) também desenvolveu um protótipo de um seguidor solar para painéis fotovoltaicos com dois eixos de azimute que variam de acordo com a hora do dia, utilizando um sistema eletromecânico.

O projeto do sistema de aperfeiçoamento do seguidor solar já existente foi tido como satisfatório, a inserção dos sensores junto com o sistema tracking aumentaram a eficiência na geração dos painéis. No caso do seguidor solar com dois eixos, Faricelli não obteve os dados experimentais esperados e que apesar disso contribuiu para o início de novas pesquisas.

Nesse trabalho de otimização de energia será confeccionado um protótipo do sistema móvel de dois eixos de geração de energia solar, onde será feito a comparação entre um sistema fotovoltaico fixo com um sistema móvel de dois eixos e avaliar se o sistema móvel é mais eficiente. Será utilizado sensores de luminosidade e servo motores para rastreamento da luminosidade.

³ JPM: uma empresa com negócios na área de energias renováveis.

1.7 Estrutura do Trabalho

O desenvolvimento do trabalho é dividido em capítulos. Estes elementos textuais serão descritos a seguir: O Capítulo 1 é composto pela introdução aos assuntos tratados, objetivos gerais e específicos do trabalho, metodologia utilizada para realizar o projeto, sua motivação e resultados esperados. O Capítulo 2 trata do referencial teórico usado para a execução do trabalho. Em seguida, o Capítulo 3 exibe a caracterização do sistema que irá avançar de acordo com a luminosidade. O Capítulo 4 analisa os resultados obtidos de acordo com a entrada do sistema. E, por último, o Capítulo 5 traz as conclusões finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os conceitos teóricos abordados para desenvolvimento do projeto proposto, além de uma descrição dos materiais utilizados e suas justificativas.

2.1 Energia solar

O sol fica a aproximadamente 151 milhões de quilômetros da Terra. A energia solar é originária do sol, sendo uma ótima fonte de eletricidade para algumas finalidades, como por exemplo, iluminação, motores elétricos, eletrônicos, computadores, e também pode ser utilizada para aquecimento de água. Assim a energia solar possui três tipos de processos, sendo eles, o térmico, o elétrico e o químico. No caso do processo elétrico, este pode ocorrer por transformação direta, ou seja, da energia solar para energia elétrica. Esta energia pode ser aproveitada pelo processo fotovoltaico ou pelo gerador termelétrico. Como curiosidade, tem-se que em um dia, a energia solar incidente sobre a Terra equivale a toda energia já consumida no mundo durante 27 anos. (NASCIMENTOANTONIO, 2002). No entanto, verifica-se que o aproveitamento dessa fonte de energia é mínima. Esse tipo de geração deveria ser melhor aproveitado, incentivado e disseminado no uso diário da população.

2.2 Radiação solar

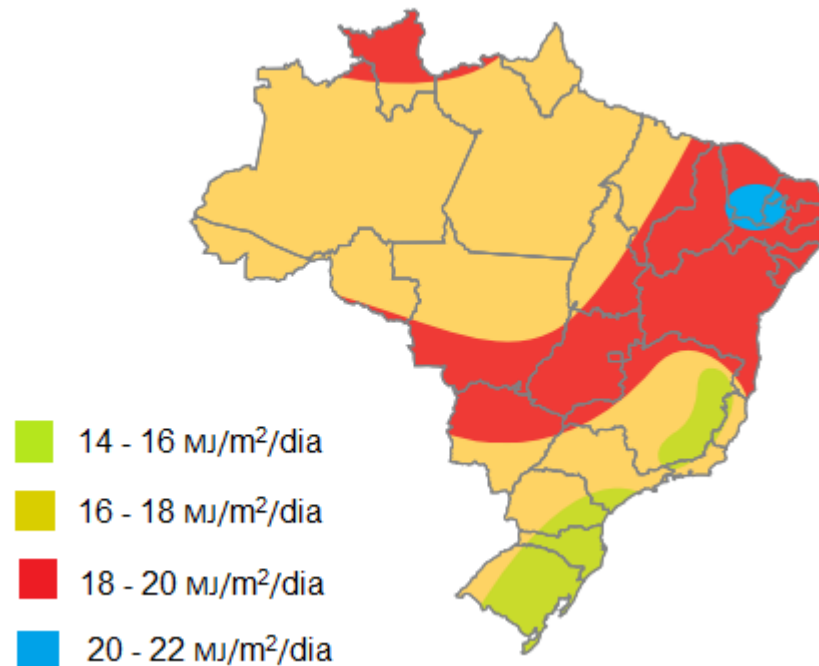
Radiação é a energia radiante lançada pelo sol. São ondas eletromagnéticas. Existem alguns fatores que qualificam e interferem na radiação, quais sejam a latitude local e a posição no tempo, ou seja, a hora do dia e o dia do ano, estes, por sua vez, são influenciadas pelos movimentos de rotação e translação da Terra. (ANEEL, 2005).

Utilizada de forma genérica, a “radiação solar” pode fazer referência ao fluxo de potência, titulando-se de “irradiância solar” ou pode referenciar como energia por unidade de área, nomeando-se de “irradiação solar”. (PINHO; GALDINO, 2014).

A radiação quando chega à Terra não se encontra de forma homogênea, uma vez que quando esta passa pela atmosfera parte revela-se como luz visível (raios ultravioletas e infravermelhos), tornando-se possível captar a luz e transformá-la em energia (elétrica ou térmica). (ANEEL, 2008).

As assertivas citadas anteriormente podem ser verificadas a partir da Figura 4 e da Tabela 1 a seguir:

FIGURA 4 - Variação da radiação solar no Brasil



Fonte: MME: EPE (2007).

TABELA 1 - Fatores de conversão para unidades de radiação solar

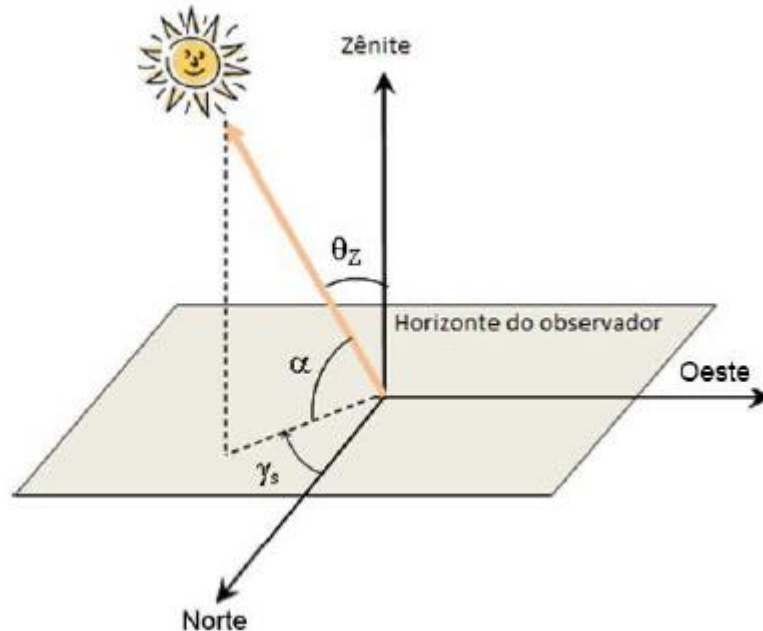
Para converter de:	Para:	Multiplique por:
cal/cm ² .min	W/m ²	697,8
W/m ²	cal/cm ² .min	0,0014331
W/m ²	mcal/cm ² .s	0,023885
MJ/m ² .dia	kWh/m ² .dia	0,27778
Langley/dia	kWh/m ² .dia	0,01163
cal/cm ²	J/cm ²	4,1868
cal/cm ²	kWh/m ²	0,01163
J/cm ²	cal/cm ²	0,23885
J/cm ²	kWh/m ²	0,0027778
kWh/m ²	cal/cm ²	85,985
kWh/m ²	J/cm ²	360
Langley	cal/cm ²	1

Fonte: Pinho; Galdino (2014).

Segundo Pinho e Galdino (2014) os raios solares possuem algumas relações geométricas entre si, variando de acordo com a posição aparente do sol. Desse modo,

os raios solares relacionam-se com a superfície da terra de modo que seja possível classificar alguns ângulos⁴, como podemos ver na Figura 5 a seguir:

FIGURA 5 - Ângulo em relação ao solo e o ângulo de incidência



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

O deslocamento angular é tomado a partir do Norte (0°) geográfico, que por convenção, será positivo quando a projeção se encontrar à direita do Sul (a Leste) e negativo quando se encontrar à esquerda (a Oeste).

Existe também o ângulo do horário do sol (ω), que é o deslocamento angular Leste-Oeste devido ao movimento de rotação da Terra, cada hora solar (H_s) se refere a um deslocamento de 15° . Por convenção, quando o ângulo é negativo, faz referência ao período da manhã e quando for positivo faz referência ao período da tarde. Para calcular o ângulo do horário do sol, tem-se a Equação 1 :

$$\omega = (H_s - 12) \cdot 15^\circ \quad (1)$$

O ângulo zenital pode ser calculado de forma que o ângulo do horário do sol, a latitude local e a declinação solar estejam relacionados entre si, como mostra a Equação 2 e que também possibilita calcular a duração do dia de acordo com a localidade e época do ano.

⁴ Ângulo Zenital (θ_z) : ângulo de incidência de radiação de raio em uma superfície horizontal. Ângulos azimutal do sol (γ_s): é o ângulo entre a projeção dos raios solares e no plano horizontal. Altura solar (α) : ângulo entre a horizontal e a linha ao sol, isto é, o complemento do ângulo zenital.

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cdot \cos \omega \cdot \cos \phi + \text{sen} \delta \cdot \text{sen} \phi \quad (2)$$

dos quais:

ϕ = latitude local

δ = declinação solar

ω = ângulo do horário

Mas se considerar que $\theta_z=90^\circ$, é possível saber o ângulo horário do pôr do sol, ou seja, substituindo o $\theta_z=90^\circ$ como na Equação 3,

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\text{tg} \phi \cdot \text{tg} \delta) \quad (3)$$

portanto, sendo possível calcular o número de horas de sol (N).

$$N = \frac{2}{15} \cdot \omega_s \quad (4)$$

Há uma diferença entre hora solar e hora oficial, os cálculos de energia solar existentes baseiam-se na hora solar. A hora oficial é aquela que conseguimos acompanhar por um relógio, já a hora solar leva em consideração o espaço que separa o plano do observador e o plano em que a hora oficial está baseada. Essa diferença pode ser calculada conforme a Equação 5.

$$\text{hora solar} - \text{horas oficial} = 4(L_{st} - L_{loc}) + E \quad (5)$$

sendo:

L_{st} = longitude padrão do fuso;

L_{loc} = longitude local

4 = fator de conversão da longitude de graus para minutos;

E = equação do tempo.

As relações matemáticas podem ser observadas no livro manual de engenharia sistemas fotovoltaicos. (PINHO; GALDINO, 2014).

2.3 Painéis Fotovoltaicos

A célula fotovoltaica é confeccionada a partir do material semicondutor, um material essencial para o processo de conversão. O módulo fotovoltaico constitui-se por um conjunto de células fotovoltaicas, associadas entre si eletricamente, possuindo como objetivo transformar energia solar em energia elétrica. Na produção das células fotovoltaicas existem tecnologias aplicadas ao modo de produção, são classificadas em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), chamadas de primeira

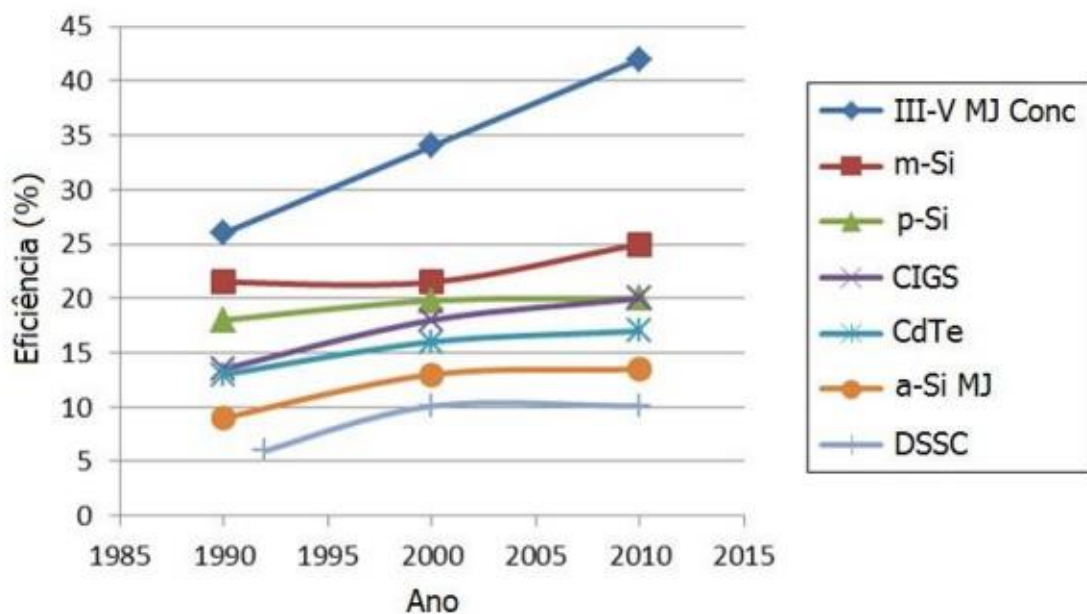
geração, ou seja, são tecnologias mais consolidadas e antigas no mercado. (PINHO; GALDINO, 2014).

Na segunda geração, a tecnologia adotada é dos filmes finos, em que é dividida em silício amorfo (a-Si), índio e gálio (CIGS), telureto de cádmio (CdTe) e disseleneto de cobre (CIS). Estes materiais apresentam menor eficiência, conseqüentemente, são menos visíveis no mercado.

A terceira geração encontra-se em fase de pesquisa em desenvolvimento. Esta geração pode ser dividida em três segmentos de cadeias produtivas, sendo elas: células sensibilizadas por corante (*DSSC – Dye – Sensitized Solar Cell*), células orgânicas ou poliméricas (*OPV – Organic Photovoltaics*), célula fotovoltaica multijunção (III-V Mj Conc) e célula fotovoltaica para concentração (*CPV – Concentrated Photovoltaics*). (PINHO; GALDINO, 2014).

No Gráfico 1 apresenta os materiais de que são feitos os painéis e a evolução da eficiência desses materiais de acordo com o passar dos anos.

GRÁFICO 1 - Materiais de painéis solares e suas eficiências



Fonte: Pinho; Galdino (2014).

Como a célula fotovoltaica se encontra na margem dos elementos semicondutores na tabela periódica, estes elementos são caracterizados por obterem uma banda de valência completamente preenchida por elétrons e uma banda de condução que se encontrará sem elétrons, sendo assim, um material semicondutor

terá um comportamento isolante. O espaço entre as duas bandas de energia permitidas é intitulada GAP⁵, uma banda proibida, podendo atingir até 3 eV (eletron-volt). A diferenciação dos materiais semicondutores, condutores e isolantes está na largura do GAP. (PINHO; GALDINO, 2014).

As bandas de energia, por serem um aspecto dos materiais semicondutores, viabilizam a excitação térmica na banda de valência para a banda de condução, com isso, tem-se o aumento da condutividade e da temperatura. Com essa transição dos elétrons de uma camada para outra, ficam alguns resquícios na camada de valência, esses resquícios são chamados de lacunas, terão cargas positivas. Quando em um material semicondutor a temperatura for maior que 0 kelvin (zero absoluto) e a quantidade de elétrons na banda de condução for o mesmo que o número de lacunas na banda de valência, serão, então, os materiais semicondutores rotulados como portadores intrínsecos. (PINHO; GALDINO, 2014).

Para fabricação da célula fotovoltaica, a propriedade indispensável é de que a probabilidade dos fótons incidentes no material com energia superior a do GAP gere pares de elétron-coluna. A absorção dos fótons com o nível de energia maior do que a do GAP resultará em dissipação de energia em excesso e em forma de calor no material. Desse modo, o que aumenta a condutividade elétrica do material são os elétrons e lacunas fotogerados, sendo chamados de efeito condutivo. Para a fabricação de componentes fotoresistores, como por exemplo o LDR, é utilizado o efeito fotocondutivo. (PINHO; GALDINO, 2014).

Existe o método de dopagem, que consiste em adicionar impurezas no semicondutor de forma controlada, mudando as propriedades elétricas dos materiais intrínsecos. Com a finalidade de separar os portadores, é necessário fazer a junção pn⁶. A junção pn mostra-se capaz de separar os portadores, podendo então obter um campo elétrico para que se possa utilizar a tensão e a corrente.

⁵ GAP: A medida que sua temperatura aumenta, os elétrons absorvem energia passando para a banda de condução. Esta "quantidade" de energia necessária para que o elétron efetue essa transição é chamada de gap de energia (em inglês band gap), ou banda proibida.

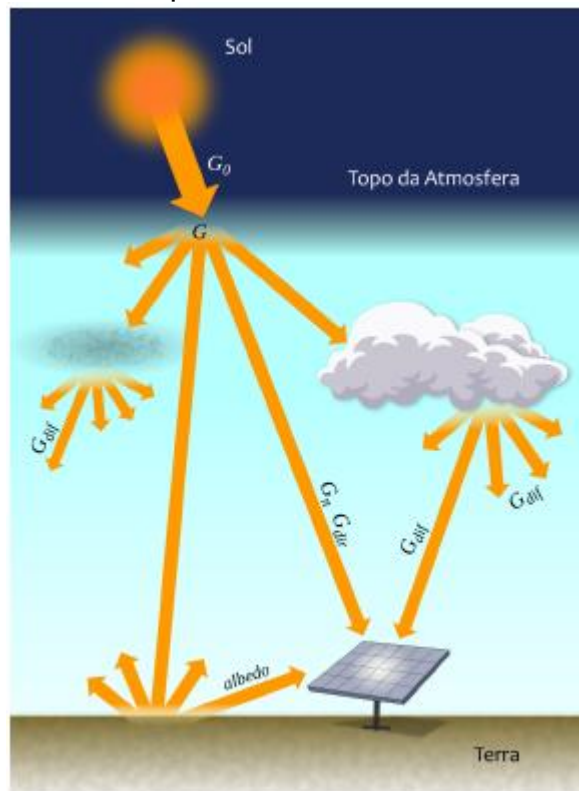
⁶ Junção pn: quando em um silício puro, for introduzidos átomos de boro em uma metade e de fósforo na outra, será formado o que se chama junção pn.

2.3.1 Irradiância Solar

O painel solar coleta os raios solares incidentes em sua superfície, por sua vez a irradiância solar (W/m^2) incidente em uma superfície é classificada como direta e difusa. A irradiância solar direta é aquela que possui a direção de incidência entre a superfície e o sol, já a irradiância solar difusa abrange todas as direções dos raios solares provenientes do processo de espelhamento, quando um raio solar passa pelos gases e partículas presentes na atmosfera. (PEREIRA, et al. 2017).

Esse processo pode ser analisado de acordo com a Figura 6, onde se afere os componentes da irradiância solar com mais detalhes, assim que atinge a atmosfera.

FIGURA 6 - Componentes da irradiância solar



Fonte: PEREIRA, et al. 2017

De acordo com o Atlas Brasileiro de energia Solar (PEREIRA, et al. 2017) tem-se que, para melhor entendimento da cada componente e seu significado, mencionam-se que:

- Irradiância extraterrestre (G_0): é a taxa de energia incidente por unidade de área em um determinado plano horizontal imaginário localizado no topo da atmosfera;

- Irradiância direta normal (G_n): é a taxa de energia por unidade de área, provinda diretamente do Sol que incide perpendicularmente à superfície;
- Irradiância direta horizontal (G_{dir}): é a uma parte de energia por unidade de área do feixe solar direto numa superfície horizontal, podendo ser determinada como o produto entre a irradiância direta normal (G_n) e o cosseno do ângulo zenital solar;
- Irradiância difusa horizontal (G_{dif}): é a parcela de energia incidente sobre uma superfície horizontal por unidade de área, consequente do espalhamento do feixe solar direto;
- Irradiância global horizontal (G): é a taxa de energia total por unidade de área incidente numa superfície horizontal;
- Irradiância no plano inclinado (G_i): é a parcela de energia total por unidade de área incidente sobre um plano inclinado na latitude do local em relação à superfície da Terra.

2.3.2 Identificação de características elétricas dos painéis fotovoltaicos

Existem algumas informações técnicas que constam na etiqueta afixada em cada módulo que são importantes para realização de qualquer projeto, como consta na Tabela 2 Já as demais informações geralmente são encontradas no catálogo técnico dos módulos. (PINHO; GALDINO, 2014).


TABELA 2 - Dados técnicos que constam na etiqueta do módulo

Informação	Significado ou importância da informação
Nome do fabricante	Identificação do responsável pela qualidade do módulo
Identificação do modelo	Pelo modelo pode-se identificar a folha de dados técnicos com informações sobre tecnologia, potência e tolerância
Número de série	O número de série é obrigatório para registro, qualificação, rastreabilidade e garantia do produto
Tensão máxima do sistema	Indica o maior valor de tensão de circuito aberto de um arranjo onde o módulo pode ser instalado
Tensão de circuito aberto (V_{OC})	Multiplicando-se V_{OC} de cada módulo pelo número de módulos em série em um arranjo, obtém-se V_{OC} do arranjo (ver item 4.1.2)
Corrente de curto-circuito (I_{SC})	Multiplicando-se I_{SC} de cada módulo pelo número de módulos em paralelo em um arranjo, obtém-se I_{SC} do arranjo (ver item 4.1.2)
Tensão de máxima potência (V_{MP})	Multiplicando-se V_{MP} de cada módulo pelo número de módulos em série em um arranjo, obtém-se V_{MP} nominal do arranjo (ver item 4.1.2)
Corrente de máxima potência (I_{MP})	Multiplicando-se I_{MP} de cada módulo pelo número de módulos em paralelo em um arranjo, obtém-se I_{MP} nominal do arranjo (ver item 4.1.2)
Potência nas condições-padrão de ensaio (STC)	Potência máxima nominal do módulo nas condições de irradiância de 1.000 W/m^2 , espectro AM 1,5 e temperatura de célula de 25°C
Temperatura nominal da célula nas condições de operação (NOCT)	Temperatura das células do módulo nas condições de irradiância de 800 W/m^2 , temperatura ambiente de 20°C e velocidade de vento de 1 m/s

Fonte: Pinho; Galdino, 2014.

Existe também a classificação dos painéis fotovoltaicos quanto à categoria de eficiência energética, variando de A a E, como mostra a Tabela 3. Essa classificação é feita pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro). Trata-se de uma informação importante apenas quando se refere a projetos que possuem uma certa limitação de área disponível para instalação do painel fotovoltaico. (PINHO; GALDINO, 2014).

TABELA 3 - Classes de eficiência de módulos fotovoltaicos no Brasil

CLASSES	ÍNDICE DE MÓDULO		EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
	SILÍCIO CRISTALINO	FILMES FINO	
A	EE > 13,5	EE > 9,5	
B	13,5 >= > 13,0	9,5 >= > 7,5	
C	13,0 >= EE > 12,0	7,5 >= EE > 6,5	
D	12,0 >= EE > 11,0	6,5 >= EE > 5,5	
E	EE < 11,0	EE < 5,5	

Fonte: INMETRO (2017).

2.3.3 Células de Silício Monocristalino

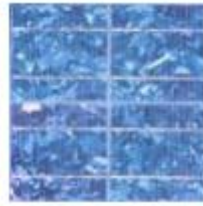
Considerada uma das mais comercializadas, a célula de silício monocristalino é produzida a partir de um único cristal de silício, que é cortado em finas lâminas e dispõe de uma cor uniforme. Possui a eficiência mais alta do mercado, girando em torno de 15% de eficiência. (NASCIMENTO, 2004)

FIGURA 7 - Célula de silício monocristalino.

Fonte: Nascimento (2004).

2.3.4 Células de Silício Policristalino

As células de silício policristalino diferem-se da monocristalino, pelo método de fundição dos cristais. No caso do policristalino, os cristais são derretidos em moldes especiais e ao esfriar os cristais vão solidificando e se organizam em vários outros cristais. Com a formação dos múltiplos cristais, a eficiência da célula reduz para aproximadamente 14%. (JANNUZZI; VARELLA; GOMES, 2009).

FIGURA 8 - Célula de silício policristalino

Fonte: Nascimento (2004).

2.3.5 Células de Silício Amorfo

Células de silício amorfo possuem um elevado grau de desordem em sua estrutura atômica, não apresentando estrutura cristalina. Sua confecção é feita a partir de películas bem finas sobrepostas. Esse tipo de célula costuma ser de menor custo, porém sua eficiência também é menor. Células de silício amorfo são utilizadas em grande escala em calculadoras. (PINHO; GALDINO, 2014).

2.3.6 Células de Filme Fino

As células de filme fino consistem em finas camadas de silício amorfo, telureto de cádmio, cobre, índio, estes materiais são depositados sobre um substrato como vidro, aço ou plástico. A eficiência desse tipo de célula varia de acordo com o material utilizado para a produção do filme fino. (PINHO; GALDINO, 2014).

TABELA 4 - Tipos de células e suas eficiências de filmes finos

Tipo de Célula	Eficiências (%)
Silício amorfo (Si-a)	5% ⁽¹⁾ - 9,5% ⁽²⁾
Disseleneto de cobre-índio (CIS)	7% ⁽¹⁾ - 19,2% ⁽²⁾
Telureto de cádmio (CdTe)	8% ⁽¹⁾ - 16,5% ⁽²⁾

Fonte: Jannuzzi; Varella; Gomes, 2009.

2.3.7 Associação em Série

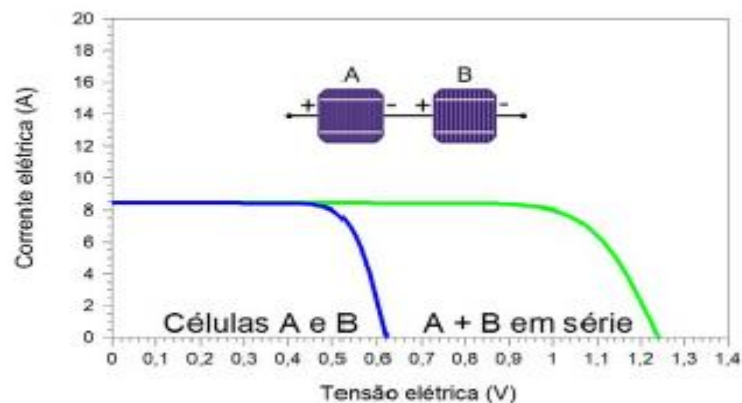
Os terminais de cada dispositivo fotovoltaico são conectados de tal forma que o terminal positivo fique ligado ao negativo, resultando na soma da tensão e a corrente não sofre alteração.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (6)$$

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \quad (7)$$

No caso de dispositivos idênticos com as mesmas especificações, resultam em corrente iguais, mas quando as correntes de curto circuito dos dispositivos fotovoltaicos forem diferentes, a combinação será limitada pela de menor corrente, por isso não é recomendado a configuração de diferentes especificações, o que pode causar superaquecimento. (PINHO; GALDINO, 2014).

GRÁFICO 2 - Associação de célula fotovoltaica em série



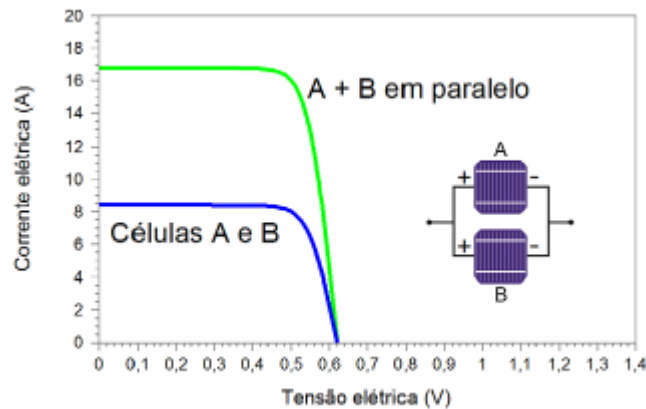
Fonte: Pinho; Gandino, 2014.

2.3.8 Associação em Paralelo

Os terminais positivos são interligados, assim como os negativos serão conectados entre si, sendo assim, haverá a soma das correntes e a tensão não irá sofrer interferência.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (8)$$

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n \quad (9)$$

GRÁFICO 3 - Associação de células fotovoltaicas em paralelo

Fonte: Pinho; Gandino, 2014.

2.4 Sistemas que Utilizam Energia Solar Fotovoltaica

2.4.1 Sistemas Isolados

Um sistema fotovoltaico é rotulado como isolado quando o sistema opera apenas com a fonte fotovoltaica que alimentará diretamente as cargas ou poderá ser armazenada em baterias. A resolução da Aneel N°83/2004 foi o pontapé inicial para a regulamentação dos sistemas isolados, a legislação tem como foco a inserção dos sistemas fotovoltaicos nos programas de eletrificação rural no Brasil.

Existem duas subdivisões para um sistemas fotovoltaico isolado, podendo ser ele individual ou de minirrede. No sistema isolado individual, a geração deve ser para atendimento exclusivo de uma unidade consumidora, em contraponto, o sistema de minirrede possui uma geração que é comum para um grupo de unidades consumidoras que são próximas umas das outras. (PINHO; GALDINO, 2014).

2.4.2 Sistemas Híbridos

Os sistemas chamados de híbridos são aqueles que usufruem de mais de uma forma de geração de energia, com exceção da rede convencional, podendo utilizar o sistema fotovoltaico juntamente com um sistema eólico, por exemplo. Esse tipo de sistem, como mostra a Figura 9, é direcionado a atender o maior número de unidades consumidoras. Sendo assim, necessita-se que o sistema híbrido seja de médio a grande porte. Por se tratar de um sistema com mais de uma forma de geração, existem

complexos e variados tipos de arranjo e multiplicidade de opções, dessa maneira, sua complexidade é muito maior se comparada aos demais sistemas fotovoltaicos. (CRESESB, 2008).

FIGURA 9 - Exemplo de sistema híbrido

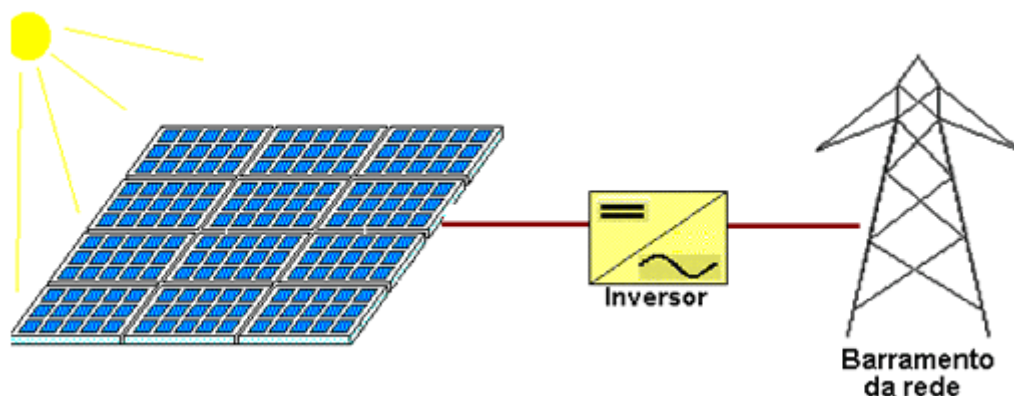


Fonte: CIRCUITAR (2008)

2.4.3 Sistema Interligado à Rede Elétrica

Este sistema equivale a uma fonte adicional do sistema elétrico robusto, no qual encontra-se conectada. Para montagem desse tipo de sistema é preciso uma grande quantidade de painéis fotovoltaicos, sendo exemplificado pela Figura 10. Pelo fato de estar conectada diretamente à rede elétrica, não necessita de armazenamento de energia. Esse tipo de sistema é conectado a um inversor que faz a intermediação entre o arranjo dos painéis e a conexão da rede elétrica. (CRESESB, 2008).

FIGURA 10 - Sistema interligado à rede elétrica.



Fonte: Cresesb (2008)

2.5 Tipos de Coletores Solar

Existem coletores solares que “seguem” o sol, de maneira a aumentar a eficiência do sistema, minimizando o ângulo de incidência da radiação de feixe em sua superfície e maximizando o feixe incidente da radiação. (DUFFIE e BECKMAN 2013)

Os seguidores solares são classificados de acordo com o seu movimento, podendo ser de um eixo ou dois eixos de rotação, visando à otimização do sistema de geração fotovoltaico.

2.5.1 Seguidor Solar de um Eixo

De acordo com Paiva (2009) um sistema que possui apenas um eixo de rotação, sendo este o eixo horizontal, dispõe de apenas um ajuste diário que é feito por meio do feixe da radiação. Os raios de luz são normais à superfície do painel solar, no horário de meio-dia, todos os dias. Com isso, tem-se as relações matemáticas para se chegar ao melhor ângulo de fixação do painel solar. (PAIVA, 2009)

$$\cos \theta = \sin^2 \delta + \cos^2 \delta \cos \omega \quad (10)$$

A inclinação desta superfície será fixada para cada dia e será calculada por:

$$\beta = | \varphi - \delta | \quad (11)$$

O ângulo de azimute de superfície para um dia será 0° ou 180° dependendo da latitude e declinação:

$$\gamma = 0^\circ \text{ se } \varphi - \delta > 0$$

$$\gamma = 180^\circ \text{ se } \varphi - \delta \leq 0 \quad (12)$$

No caso do eixo horizontal Leste-Oeste, a radiação direta pode ser determinada usando a relação trigonométrica, como mostra a Equação 13. (PAIVA, 2009)

$$\cos \theta_s = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha \sin^2 \omega} \quad (13)$$

sendo que,

θ_s = ângulo de incidência direta;

α = ângulo de declividade terrestre;

ω = ângulo horário.

E com objetivo de calcular a inclinação do painel, utiliza-se a Equação 14:

$$\tan \beta = \tan \theta_s | \cos \gamma_s | \quad (14)$$

sendo que,

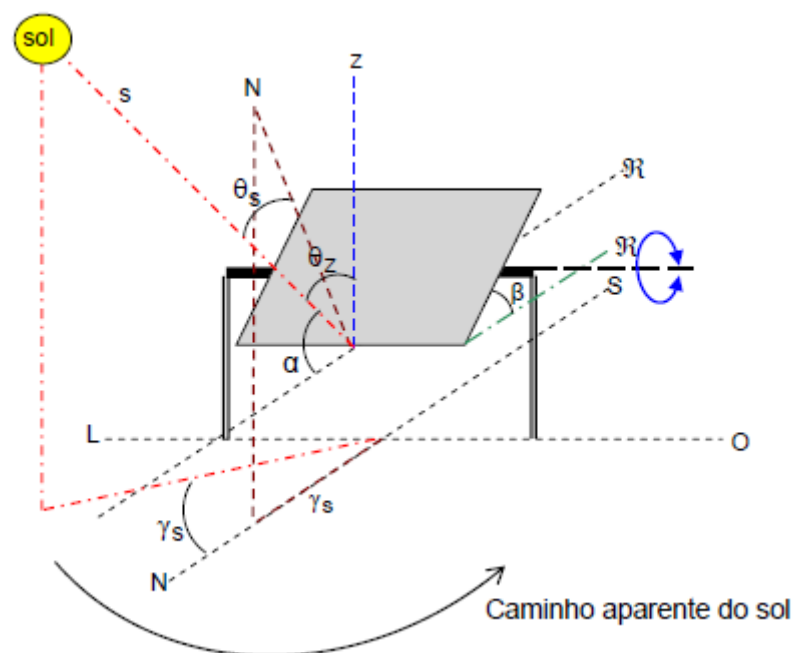
β = ângulo de inclinação do painel;

θ_z = ângulo de zênite;

γ_s = ângulo de azimute solar.

Os parâmetros calculados podem ser analisados em um seguidor horizontal móvel com movimentação Leste-Oeste, como mostra a Figura 11.

FIGURA 11 - Seguidor com eixo horizontal móvel leste–oeste



Fonte: Paiva (2009)⁷

No caso do eixo norte-sul, para encontrar a radiação direta utiliza-se a Equação 15.

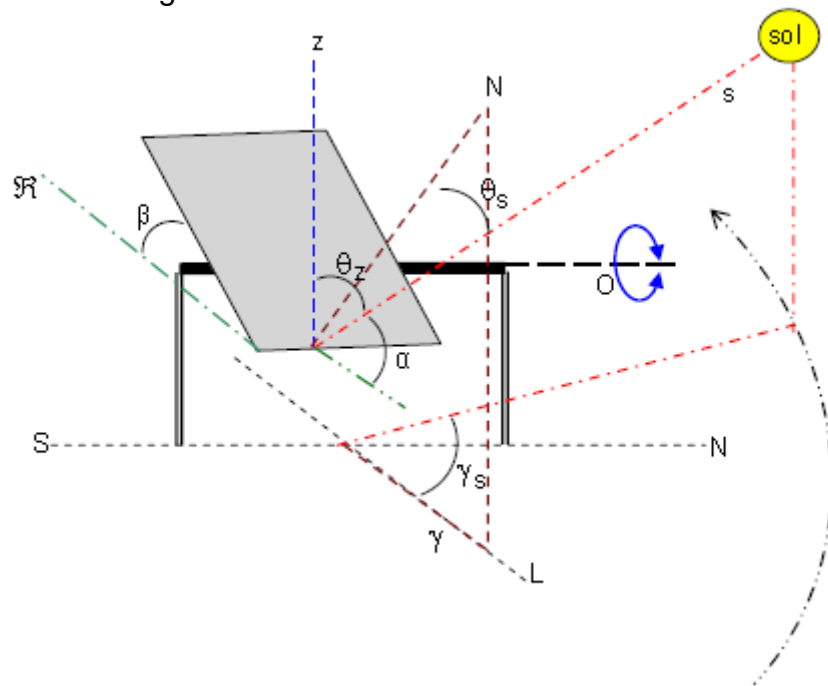
$$\cos \theta_s = \sqrt{\cos^2 \theta_z + \cos^2 \alpha \sin^2 \omega} \quad (15)$$

e para determinar o ângulo de inclinação do painel no caso do eixo horizontal norte-sul, como mostra a Equação 16, em que os parâmetros calculados são representados na Figura 12.

$$\tan \beta = \tan \theta_z |\cos(\gamma - \gamma_s)| \quad (16)$$

⁷ Desenvolvimento de um rastreador solar microcontrolado para um coletor solar concentrado.

FIGURA 12 - Seguidor com eixo móvel horizontal norte-sul



Fonte: Paiva (2009)⁸

Quando se trata de eixo vertical móvel o ângulo da superfície (γ) é igual ao ângulo solar (γ_s), então, a fórmula para calcular o ângulo de incidência direta é dada pela Equação 17, podendo também analisar tal condição na Figura 13.

$$\cos\theta_s = \cos\theta_z \cos\beta + \sin\theta_z \sin\beta \quad (17)$$

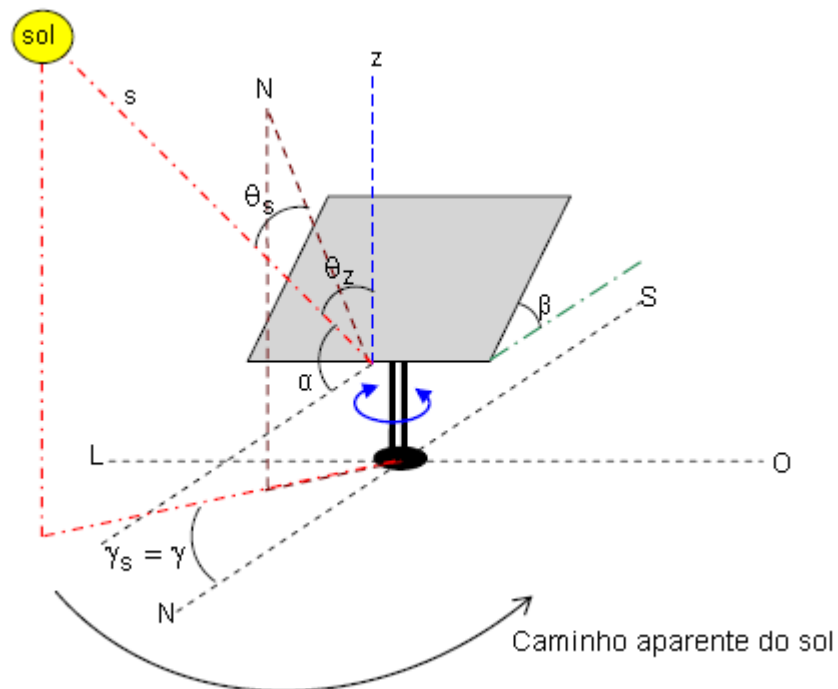
em que,

θ_s = ângulo de incidência, em graus;

θ_z = ângulo azimutal, em graus;

β = ângulo de inclinação do plano.

⁸ Desenvolvimento de um rastreador solar microcontrolado para um coletor solar concentrado.

FIGURA 13 - Seguidor com eixo vertical

Fonte: Paiva (2009)⁹

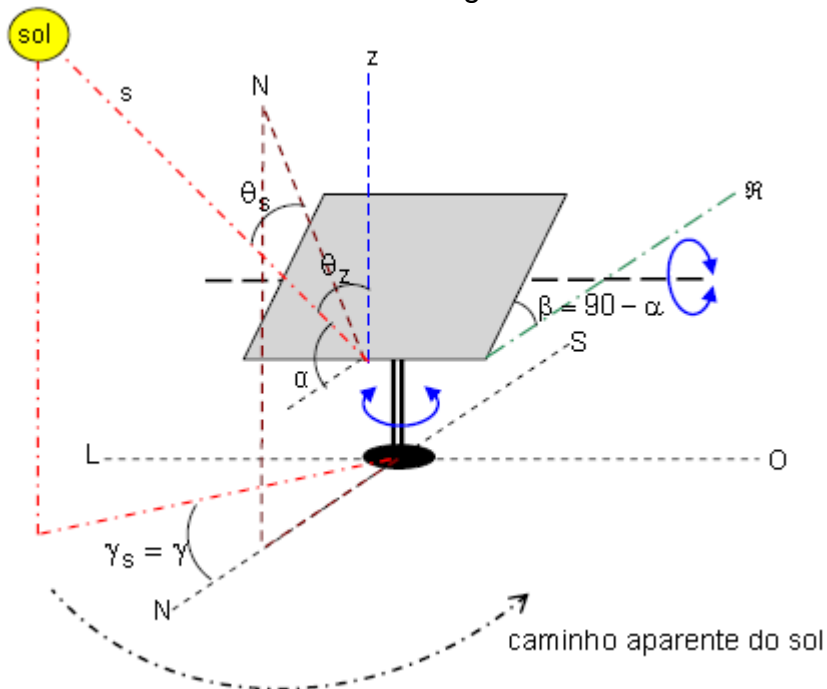
2.5.2 Seguidor Solar de Dois Eixos

Quando se utiliza um sistema com eixo vertical e horizontal móveis, como mostra a Figura 14, há um aumento no rendimento na conversão de energia, uma vez que os painéis solares irão obter mais raios solares diretos do que os raios difusos incidentes na superfície do painel solar. (PAIVA, 2009).

Como esse sistema abrange, com dois sentidos de rotação, então, o cálculo será simplificado fazendo com que o ângulo de incidência direta seja igual a zero. No entanto, quanto ao movimento no eixo horizontal, tem-se a correção constante da inclinação do painel em relação ao Sol, fazendo com que a inclinação do painel e a elevação do sol sejam ângulos complementares. O eixo vertical faz a correção do azimute, sendo o ângulo do coletor solar igual ao ângulo do sol. (PAIVA, 2009).

⁹ Desenvolvimento de um rastreador solar microcontrolado para um coletor solar concentrado.

FIGURA 14 - Seguidor de dois eixos



Fonte: Paiva (2009).

2.6 Montagem de Hardware

2.6.1 Servo Motor

O servo motor, diferentemente dos motores CC¹⁰, possibilita o posicionamento do eixo do motor de acordo com a necessidade, utilizando um sinal de controle. Muito utilizado para controlar robôs, aviões ou qualquer objeto que se deseja mover em certo ângulo e manter tal ângulo por algum período e depois modificá-lo novamente.

Os servo motores podem variar de acordo com seu tamanho ou torque, sendo assim classificados como mini, padrão ou grande. Geralmente, quando utilizado em pequenos projetos, usa-se o mini, que é alimentado pelo Arduino. Existem três fios que são conectados ao Arduino: o fio marrom, o terra (GND), o vermelho, 5 Volts, e o terceiro fio colorido, que pode variar, é o sinal.

A largura do pulso que pode ser enviado ao servo motor pode variar de no mínimo 1 milissegundo que corresponde a 0°, e no máximo 2 milissegundos que

¹⁰ Motores CC: motores de Corrente-Contínua.

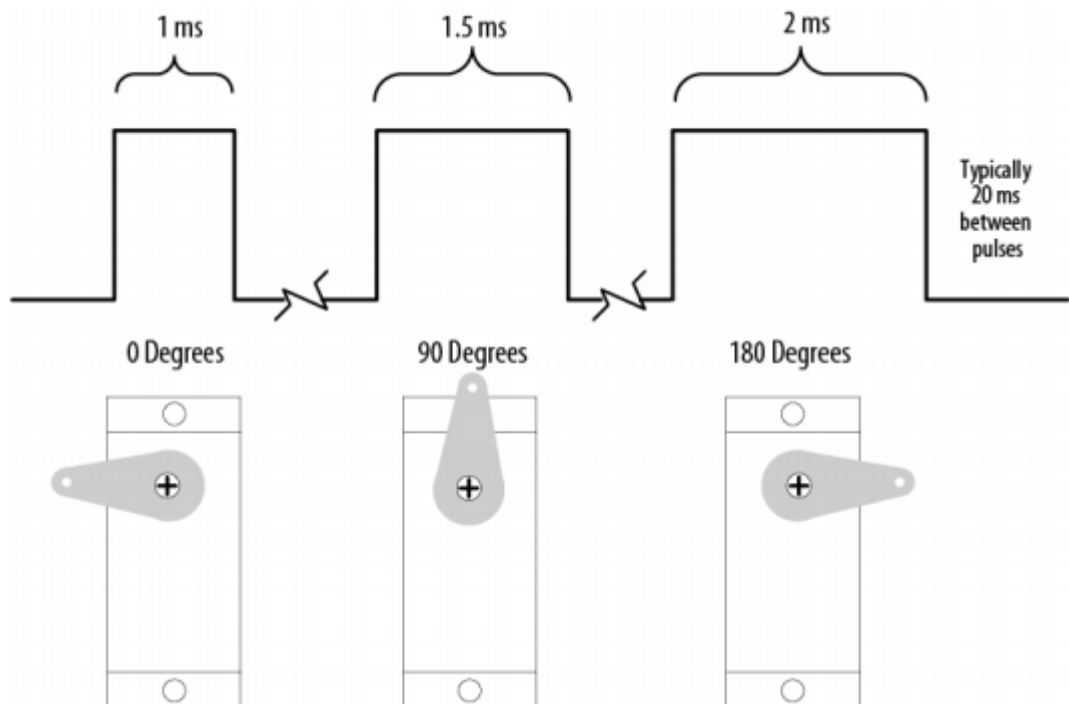
correspondem a 180° , sendo possível simplificar a explicação utilizando as Figuras 15 e 16.

FIGURA 15 - Servomotor



Fonte: RUBO.IN (2018).

FIGURA 16 - Variação do ângulo de acordo com o milissegundo



Fonte : INMOOV (2018).

2.6.2 LDR

O LDR (*Light dependent resistor*), como mostra a Figura 17, é denominado como célula fotocondutora, é um resistor cuja resistência varia de acordo com a intensidade da luminosidade incidente sobre sua superfície.

De acordo com a luminosidade incidente na superfície, diminui ou aumenta o estado de energia dos elétrons livres, ou seja, quanto maior a intensidade luminosa incidente, maior será a sua resistência e quanto menor a intensidade luminosa, menor será a resistência.

FIGURA 17 - LDR



Fonte: Leetech (2018).

2.6.3 Placa de Fenolite

A placa utilizada para fazer circuito impresso é uma placa de plástico revestida de cobre chamada de placa de fenolite, tal como a Figura 18.

O circuito pode ser feito pelo programa Proteus. Ele deve ser impresso em uma impressora a laser em um papel fotográfico ou pode ser desenhado a mão com uma caneta de acetato ou caneta permanente diretamente na placa.

Após impresso o desenho, este é colocado na superfície da placa e é utilizado um ferro de passar roupa, para aquecer e passar o desenho do papel para a placa.

Em seguida, a placa é banhada em um ácido, o percloroeto de ferro, que irá corroer todo o cobre, deixando apenas a parte que está desenhada o circuito.

FIGURA 18 - Placa de circuito impresso

Fonte: Baú da Eletrônica (2018).

2.7 Arduino

Arduino é uma placa microcontroladora que contém 14 pinos de entrada e saída digital. Dentre os 14 pinos, 6 podem ser utilizados com saída PWM (Modulação de Largura de Pulso), ou seja, essas portas são utilizadas para o controle de potência ou velocidade manipuladas por meio da largura de pulso de uma onda quadrada e das 8 portas restantes, 6 são portas analógicas. Na placa BAÚ existe também um cristal de quartzo de 16HZ, que serve como *clock*¹¹, uma conexão USB, um conector de energia, um conector ICSP¹² e um botão reset. Para seu funcionamento, é necessário conectá-la a um computador via cabo USB ou uma bateria. (Arduino s.d.)

O microcontrolador utilizado no Arduino deste projeto é o ATmega328, que possui arquitetura Harvard de 8 bits, uma memória *flash* de 32 KB, 32 registradores de uso geral, 6 conversores Analógico/Digital, entre outras características em que pode ser visto na Tabela 5.

¹¹ *Clock* é um relógio mestre que envia pulsos eletrônicos para componentes importantes, como a unidade central de processamento de memória.

¹² ICSP (*In-Circuit Serial Programming*), é um protocolo de comunicação.

TABELA 5 - Características do Arduino UNO

<u>Microcontrolador</u>	ATmega328
Tensão de funcionamento	5V
Tensão de entrada (recomendado)	7-12V
Tensão de entrada (limites)	6-20V
Pinos de entrada Digital (I/O)	14 (dos quais 6 oferecem saída PWM)
Pinos de entrada analógica	6
Corrente DC por pinos (I/O)	40 mA
Corrente DC para 3.3V Pin	50 mA
Memória Flash	32 KB (ATmega328), dos quais 0,5 KB utilizados pelo carregador de inicialização
RAM	2 KB (ATmega328)
EPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidade do relógio	16 MHz

Fonte: Castilho (2009).

No esquema elétrico do Arduino, representado no Anexo A, é possível visualizar com mais detalhe o que é cada porta e como ele funciona por dentro.

Sendo assim, o processador USB funciona como um conversor USB-Serial, um conector USB fêmea do tipo B é conectado a um cabo USB que é usado para alimentação do circuito. O conector USB possui duas funções, sendo uma levar as informações da porta USB do PC até a placa e a outra alimentar o Arduino caso não haja uma alimentação externa.

Os sinais que saem da alimentação USB passam por uma filtro de proteção. Esse filtro é composto por: fusível (dispositivo de proteção utilizado em caso de sobrecorrente) que protege a porta USB do computador caso aconteça algum curto-circuito na placa; varistor, protege os pinos do microcontrolador contra descargas eletrostáticas; ferrite, utilizado para anulação dos ruídos e, por último; resistores, servem para amenizar ruídos e picos de tensão que vêm do cabo USB. (FURLAN, 2018).

Existe também um LED que fica sempre ligado quando o Arduino está ligado, este possui dois resistores conectados ao ED para controlar a corrente que chega até ele. Já os LED's TX e RX são controlados pelo software do processador, sendo que o LED TX funciona quando são enviadas informações do Arduino para o computador,

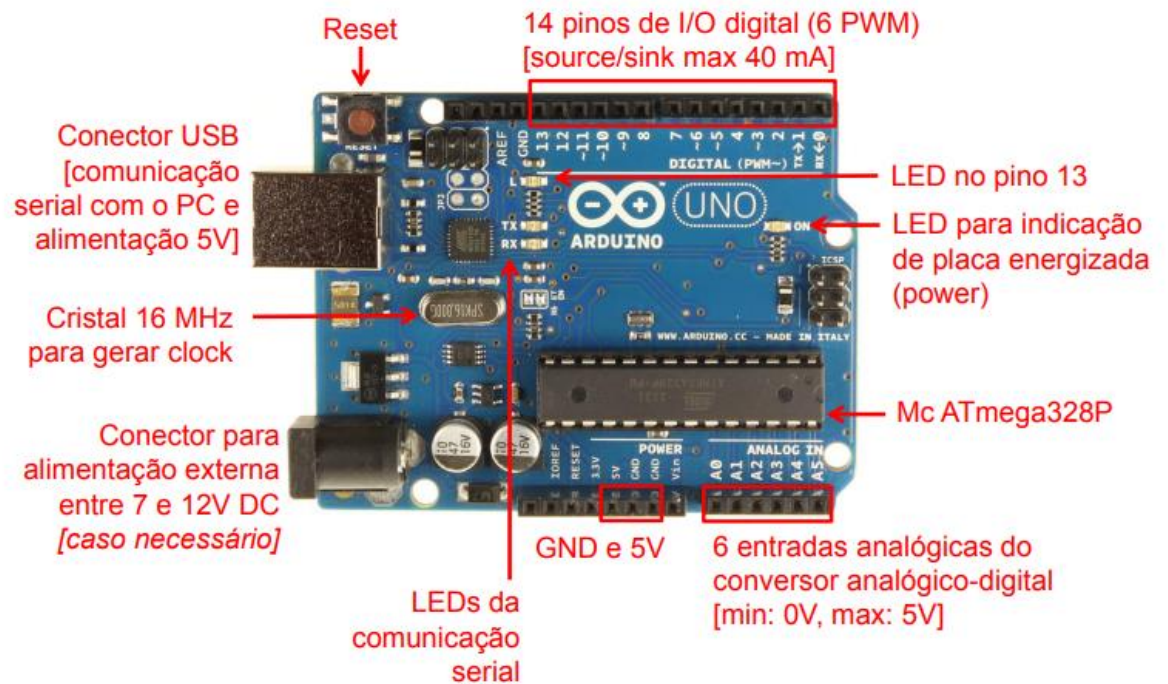
já o LED RX funciona quando são enviadas informações do computador para o Arduino, e para controlar a corrente nos LED's é utilizado um resistor em série em cada LED. (FURLAN, 2018).

O Arduino utiliza um oscilador que tem a função de produzir o pulso no *clock*. O oscilador é constituído por um cristal que possui uma frequência de 16 MHz, na qual é gerada uma onda senoidal que servirá como base para o *clock*. O processador presente na placa Arduino irá transformar a onda senoidal em uma onda quadrática, por isso, ele é composto por dois capacitores que irão ajustar a frequência do cristal. (FURLAN, 2018).

O processador é a parte mais importante do Arduino, pois é ele que recebe, envia e interpreta os sinais encaminhados pelo processador ATmega16U2. Além de executar o que foi programado, o processador interage com dispositivos externos, fazendo leituras e acionamentos. Ao gravar um programa no Arduino, o processador ATmega16U2 encaminha informações para o processador principal ATmega328, utilizando a porta serial, mas na hora da gravação é necessário fazer reset do processador principal. Ativando o seu modo de gravação, o sinal de reset é enviado de um processador para outro por meio do pino 13. (FURLAN, 2018).

A alimentação é feita por um plugue de alimentação de uma fonte externa. Geralmente é utilizada uma tensão entre 7 a 12 Volts. Assim que a tensão entra no Arduino, é utilizado um diodo de proteção contra polaridade invertida, depois usa-se um regulador de tensão, uma vez que o Arduino funciona com uma tensão de 5 Volts. Esse regulador tenta manter a tensão no Arduino sempre a 5 Volts. O circuito de chaveamento é utilizado para desconectar uma das fontes de alimentação, sempre dando preferência para a alimentação externa. O chaveamento irá desligar a alimentação via USB caso exista uma alimentação externa, deixando de haver, então, conflito de alimentação. Nesse esquema é utilizado dois resistores, um transistor Mosfet e um amplificador operacional, conforme Figura 19. (FURLAN, 2018).

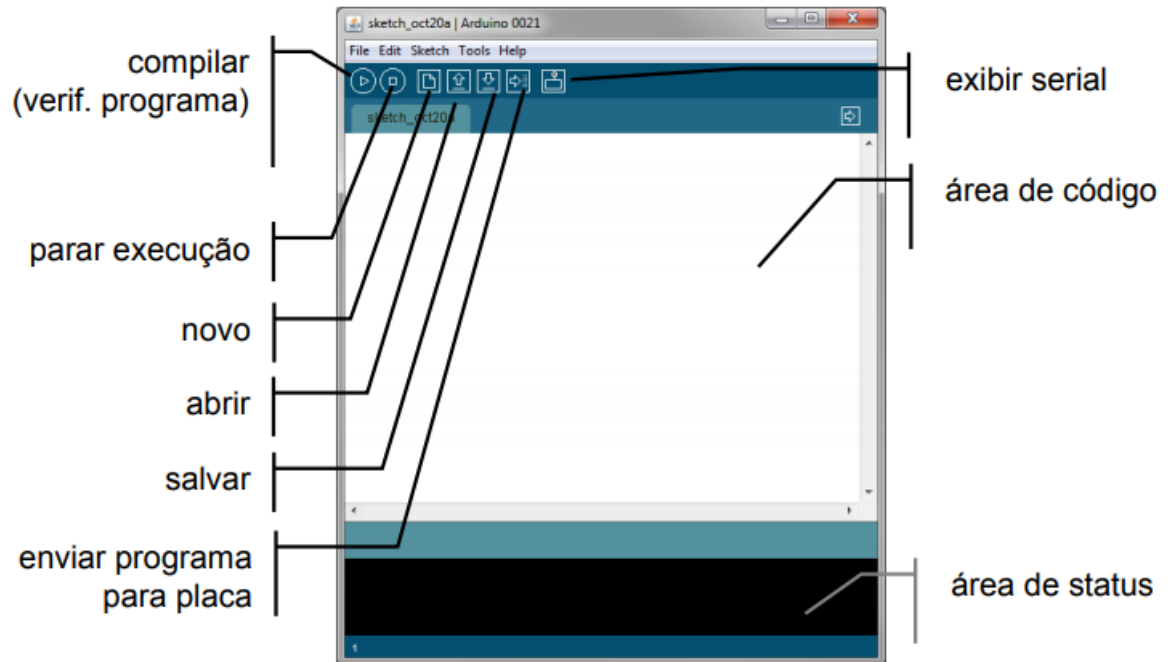
FIGURA 19 - Arduino



Fonte: Borba (2014).

O software utilizado para controlar os pinos e as ações é desenvolvido no programa Arduino IDE (ambiente de desenvolvimento integrado) que permite gravar os programas e mandar para a placa. O respectivo software aceita códigos em C ou C++ e sua interface inicial pode ser observada na Figura 20. O Arduino possui uma rapidez para controlar os dispositivos eletrônicos deixando oculto a complexidade dos componentes, dando importância a seus valores analógicos ou digitais, chamados de prototipagem.

No quesito de valores analógicos, existe um arranjo de diversos valores, sendo diferente para cada dispositivo, no digital utiliza-se 0 e 1, que significa desligado e ligado respectivamente ou falso e verdadeiro. Para desenvolvimento de um programa, é necessário identificar se está sendo utilizados sensores ou atuadores.

FIGURA 20 - Interface do ambiente de programação

Fonte: Oliveira; Zanetti (2009).

O principal componente da placa Arduino UNO é o microcontrolador ATMEGA328, que pode operar com uma frequência de até 20 MHz. Possui três *timers*¹³: o *Timer 0*, de 8 bits, o *Timer 1*, de 16 bits, e o *Timer 2* de 8 bits. Os três *timers* podem ser usados para geração de sinais PWM¹⁴, sendo que os *Timers 1 e 2* possuem duas unidades de comparação e também possuem saídas independentes, já o *Timer 3* possui apenas uma unidade de comparação e só é capaz de executar instruções que estejam na memória *Flash* (consequência da sua arquitetura Harvard). (ELETRÔNICA 90, 2017)

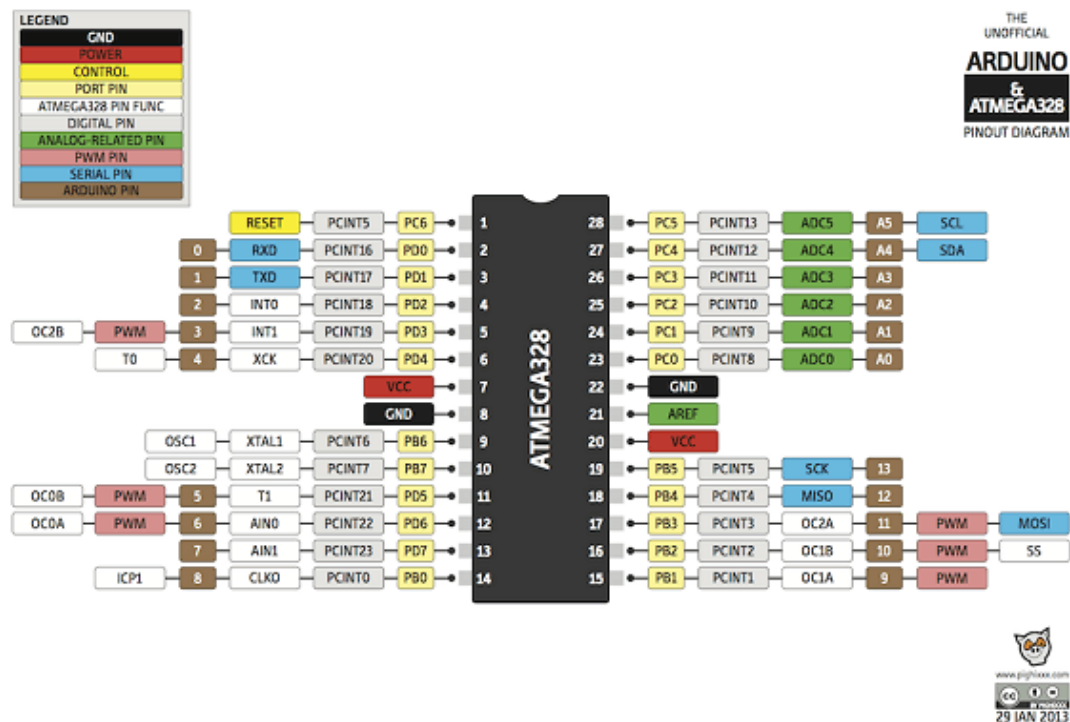
O software a ser executado no microcontrolador Atmel AVR precisa estar na memória *Flash*, bem como o programa feito na IDE do Arduino. Para que seja dispensado o uso de um gravador externo, a gravação da *Flash* é feita por um software que reside nela própria, o Bootloader¹⁵. O Bootloader é o primeiro software executado pelo microcontrolador na memória *Flash* após um Reset (Boot). (ELETRÔNICA 90, 2017).

¹³ Os *timers* funcionam como um relógio que pode ser usado para contar o tempo, medir a duração de certos eventos, entre outras aplicações.

¹⁴ PWM: modulação por largura de pulso.

¹⁵ O Bootloader é um programa inicializador. Que tem como objetivo preparar o hardware para o funcionamento correto da aplicação e/ou aplicar atualizações dessa aplicação.

FIGURA 21 - Microcontrolador ATMEGA328 com suas respectivas portas e funções



Fonte: Eletrônica90 (2017)

2.8 Linguagem de Programação

A linguagem C foi criada por Dennis M. Ritchie e Ken Thompson, a sua estrutura é baseada na linguagem B que, por sua vez, é uma evolução da linguagem BCPL. C é uma linguagem usada como ferramenta para programação de qualquer tipo de sistema, como por exemplo: sistemas operacionais, planilhas eletrônicas, gerenciadores de banco de dados. A linguagem C por ser considerada portátil e poderosa, já que existe uma padronização dos compiladores existentes, passou a ser difundida rapidamente e tornou-se uma das linguagens de programação mais importantes e conhecidas por todos os tipos de programadores. (MIZRAHI, 1990).

Toda essa disseminação que a linguagem C teve fez com que diferentes organizações começassem a utilizar e desenvolver diversas versões da linguagem C, o que ocasionou problemas com sua portabilidade. (DAMAS 2007).

É importante destacar que linguagem de programação é uma maneira de se comunicar com o um computador. A linguagem que o computador entende é denominada linguagem de máquina, e são os programas compiladores e os

interpretadores que fazem a tradução para a linguagem de máquina. (MIZRAHI, 1990).

A sequência de código é elaborada de tal forma que proporcione a oportunidade de ser resolvido algum problema. Um programa pode ser produzido em subprogramas contendo a instrução necessária, sendo, então, lido pelo compilador para começar a execução do programa. (DAMAS 2007).

Neste trabalho serão utilizados dois softwares para elaboração das linhas de código, sendo estes o compilador MikroC e o Arduino, ambos utilizam a linguagem C para programação.

2.8.1 Protheus

O Proteus é uma solução de software completa para simulação de circuito e design de PCB (*Printed Circuit Board*), ou seja, placa de circuito impresso. Ele compreende vários módulos para captura esquemática que aparecem como guias dentro de um único aplicativo integrado. Isso fornece um fluxo de trabalho para o engenheiro de projeto.

Esse software permite que seja simulado um circuito já em uma placa virtual, que, após realizado os testes no software e apresentado funcionamento correto, o circuito pode ser impresso para posteriormente ser passado para uma placa de fenolite real. Esse software possui duas ferramentas, o Ares e o Isis. Na ferramenta Ares pode-se criar *layouts* de circuitos impressos, já no Isis é possível montar circuitos elétricos e realizar testes virtualmente. (SOUZA, 2018).

2.8.2 Compilador MikroC

Dentre as várias opções de compiladores para programas em linguagem C, existem os CCS, PICmicro C, entre outros. Neste trabalho será utilizado o compilador mikroC, versão gratuita, da Microelektrônika, visto que este possui uma interface mais simples de trabalhar.

O referido compilador servirá para simular, editar e compilar os programas no microcontrolador PIC e outra característica, além de existir nele uma biblioteca completa dos controles de periféricos dos microcontroladores, ou seja, a biblioteca

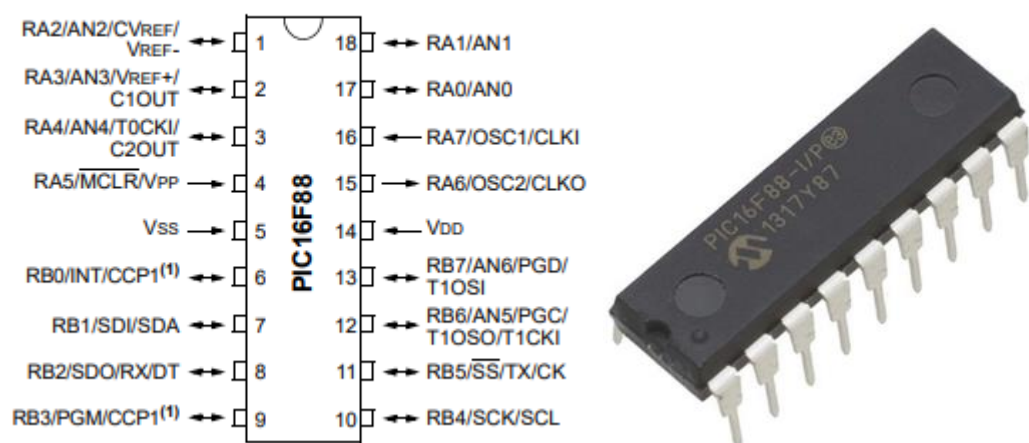
simplifica as programações, uma vez que as linhas de códigos já se encontram prontas nela. (MELO, 2011).

2.9 PIC16f88

Existem diversos tipos de microcontroladores sendo o Arduino um deles. Agora vamos analisar o microcontrolador PIC (Controlador de Interface Programável) mais especificamente do PIC16f88 que é fabricado pela empresa Microship. Ele pode ser classificado de acordo com a sua capacidade, então, o PIC a ser escolhido dependerá do tamanho do projeto que ele será inserido. (BRAGA, 2018).

Nesse projeto será utilizado o PIC16f88, como mostra a Figura 22, que possui 18 pinos com 8 bits e que utiliza o conjunto de instruções RISC (Computador com Conjunto de Instruções Reduzido), ou seja, o microcontrolador irá funcionar utilizando apenas instruções básicas, fazendo com que fique mais rápido, uma vez que irá utilizar apenas um ciclo de *clock* para executar cada uma das instruções. Este PIC também possui um oscilador interno de 8MHz, modulação de largura de pulso (PWM) de 10 bits, conversor analógico para digital de 7 canais. Uma das suas características que mais chama atenção é seu baixo consumo de energia. (MICROSHIP, 2013).

FIGURA 22 - PIC16f88 com seus respectivos pinos
18-Pin PDIP, SOIC



Fonte: Microchip (2013).

Para poder usar o PIC é necessário ter um computador, um programador e um leitor que reconheça a linguagem de programação C++. O software utilizado para

escrever programação neste projeto é o MikroC, como mencionado anteriormente. O programador que utilizamos é parecido com o da Figura 23. (MELO, 2011).

FIGURA 23 - Programador de PIC



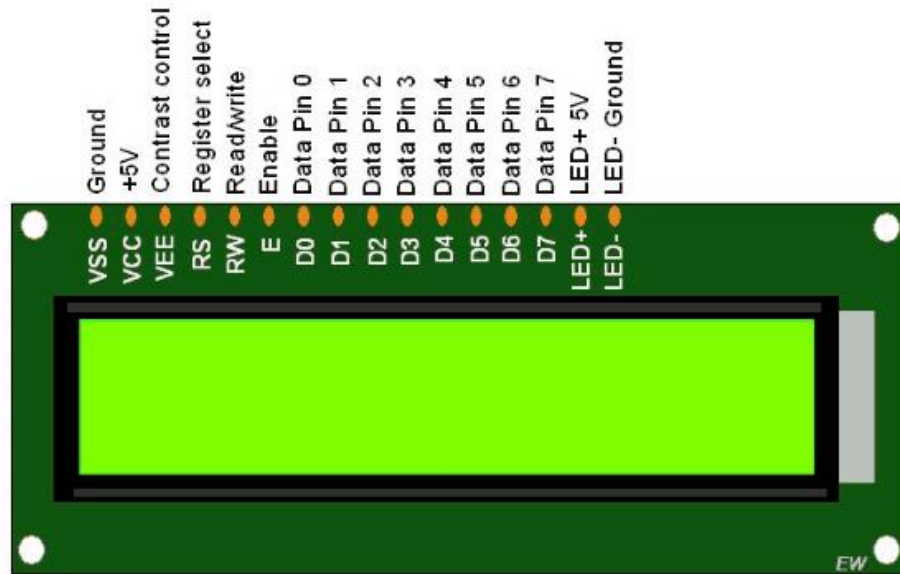
Fonte: Mercado livre (2018).

2.10 Display LCD com Módulo i2c

O display é utilizado em projetos com o intuito de adicionar uma interface visual de comunicação. Utilizamos neste projeto o LCD 16x2, que pode ser exibido em sua tela duas linhas de texto com até 16 caracteres. Para facilitar na hora de conectar o LCD, que possui poucas portas, ao Arduino foi utilizado o LCD com o módulo i2c (circuito inter-integrado). Este módulo fará com que o LCD ao invés de utilizar 16 portas utilize apenas quatro, sendo apenas duas portas ligadas diretamente ao Arduino, sendo o SDA (*serial data*) e SCL (*serial clock*) e as outras duas para alimentação (Vcc) e o terra (GND), de acordo com a Figura 24 pode-se analisar tais características do LCD e na Figura 25 as características do módulo I2C. (Circuitar 2018)

O pino SDA é utilizado para transferir os dados, podendo tanto enviá-los como recebê-los, já a porta SCL é utilizada para temporização. A tensão utilizada pelo pino Vcc pode variar de 4,5 V até 5,5V e o consumo máximo de corrente é de aproximadamente 200mA. (REIS, 2014).

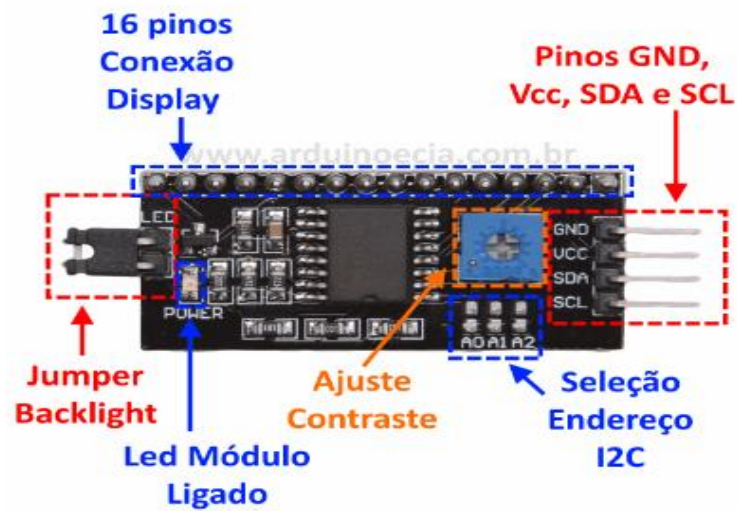
FIGURA 24 - LCD 16X2



LCD 16x2

Fonte: Eletronic Wings (2018).

FIGURA 25 - Módulo i2c



Fonte: Arduino e Cia (2018).

3 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Este capítulo contém a apresentação do desenvolvimento do projeto do seguidor solar. Será especificado cada parte do circuito contemplando todo o funcionamento do projeto. O painel fotovoltaico se deslocará quando o sensor receber a luminosidade, que enviará informações ao microcontrolador PIC. Depois de processadas as informações no PIC, estas irão para o Arduino, ativando os servo motores com a finalidade de obter maior radiação incidente no painel solar. Cada etapa é de extrema importância para o êxito do projeto.

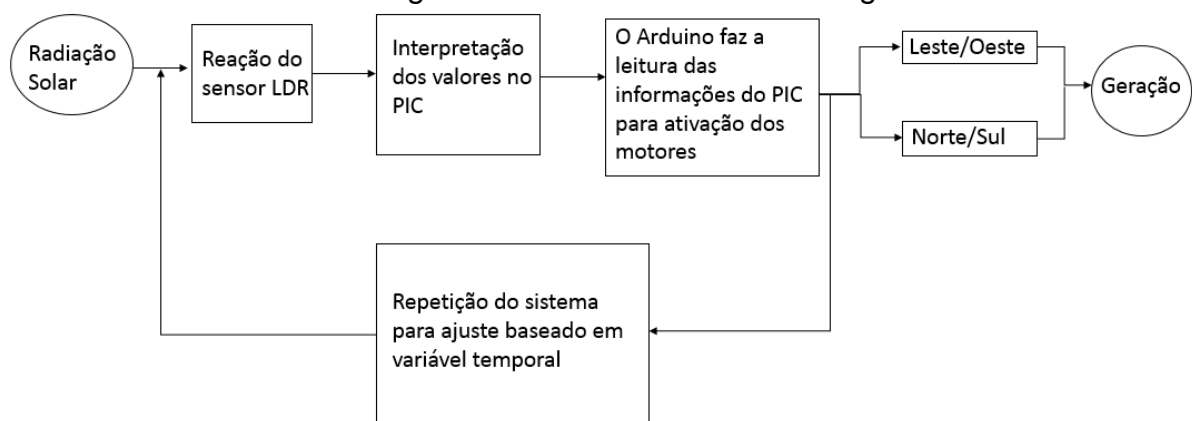
3.1 Descrição do Sistema Proposto

O sistema proposto, por meio do conjunto de sensoriamento, ativa a parte mecânica, permitindo a rotação do eixo vertical e horizontal. Busca-se o melhor ângulo azimutal e zênite para o painel solar otimizar a geração de energia.

Na Figura 26, é apresentado o diagrama em bloco que explana o funcionamento do projeto. A radiação solar, incide sobre o LDR, que entrega os valores para a placa principal, onde se encontram os microcontroladores, o valor é processado apresentando uma saída.

A saída de informações do microcontrolador ativa os servo motores em seus respectivos eixos e uma realimentação é feita, caracterizando um sistema de malha fechada, onde, na realimentação, o sistema indica a releitura do LDR. Esse ciclo será feito até quando não houver mais luminosidade adequada para geração de energia. Como saída desse sistema, tem-se a geração de energia a partir do painel fotovoltaico.

FIGURA 26 - Diagrama em blocos do sistema seguidor solar

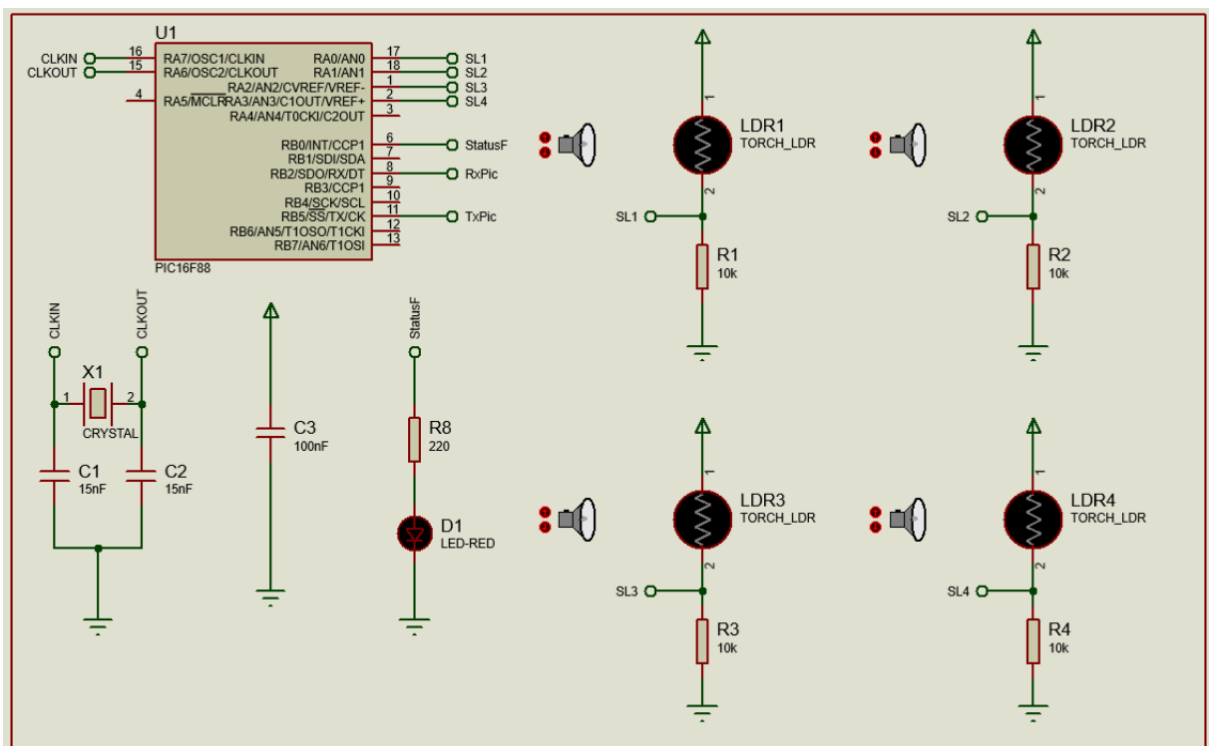


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 Circuito de Detecção

O circuito de detecção é responsável por identificar a maior intensidade luminosa através de quatro sensores de luminosidade. Os sensores variam a resistência de acordo com a luminosidade incidente na superfície, dessa maneira, os valores da diferença de potencial oriundas do divisor de tensão, formado pelo LDR em série com o resistor de $10K\Omega$, irão chegar ao PIC16f88, que irá fazer a leitura das informações, depois irá interpretar essas informações para mandá-las para o Arduino. O circuito pode ser entendido pela Figura 27.

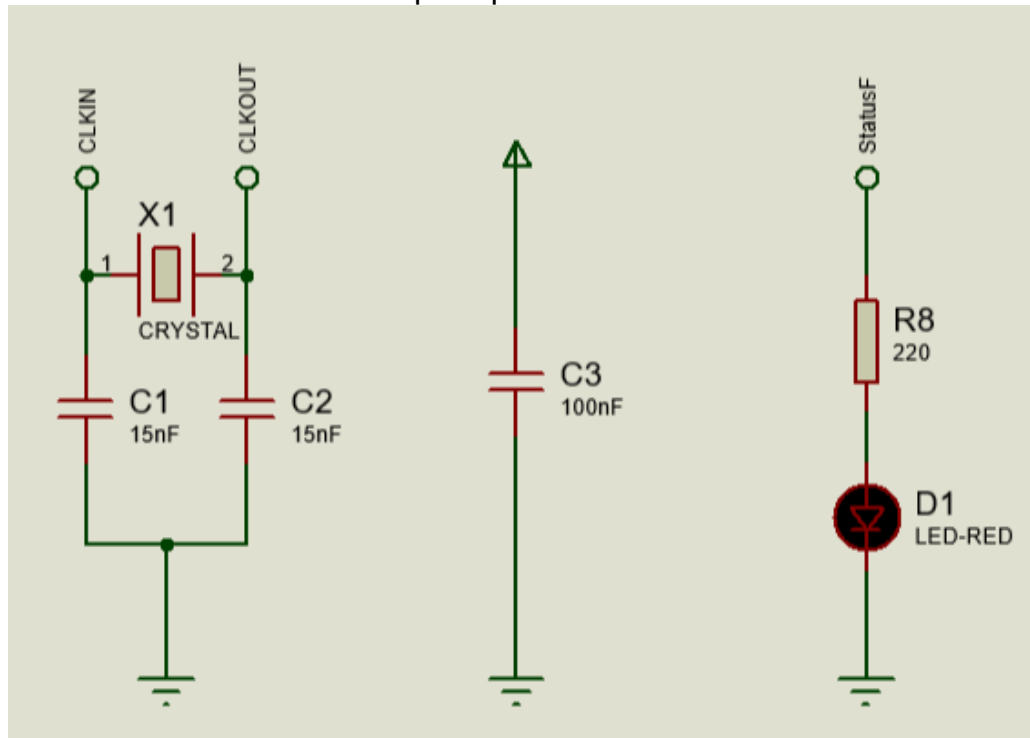
FIGURA 27 - Diagrama elétrico do projeto com destaque na parte de detecção do circuito



Fonte: elaborado pelo autor.

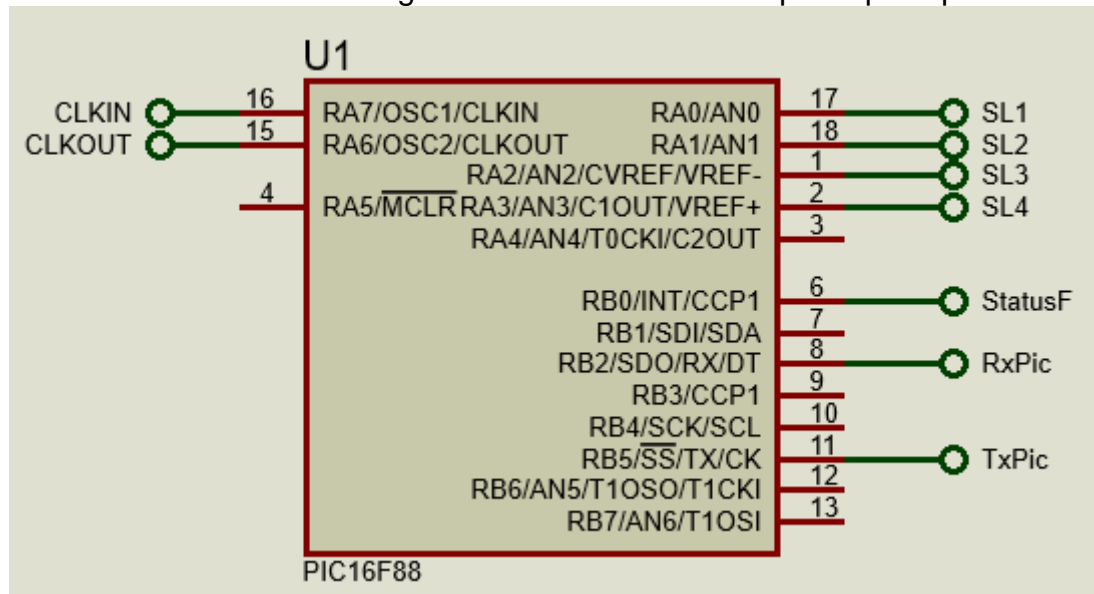
O microcontrolador PIC utiliza um cristal de 8 MHz, como pode ser visto na Figura 28 por “X1”, ligado a dois capacitores de 15nF. O cristal está conectado aos pinos 15 e 16 do PIC onde se encontra o *clock*. A causa de se usar esse microcontrolador PIC neste projeto foi uma alternativa à limitação do número de portas do Arduino, uma vez que todas as portas já estavam ocupadas e não teria espaço para os sensores.

FIGURA 28 - Parte do diagrama com o cristal, filtro de entrada e LED da placa principal



Fonte: elaborado pelo autor.

O capacitor de 100nF está sendo utilizado para funcionar como filtro, corrigindo as imperfeições das ondas advindas da alimentação, e o LED é usado para sinalizar o funcionamento. Cada vez que o PIC enviar uma informação, o LED irá acender, como pode ser visto na Figura 28 que possui a representação do circuito.

FIGURA 29 - Parte do diagrama com o PIC16f88 da placa principal

Fonte: elaborado pelo autor

Os LDR's estão conectados ao microcontrolador PIC, mostrado na Figura 29, nas portas 15, 16, 17 e 18 como entrada, já nas portas 1 e 2 como Ground (terra) e VCC (positivo). As portas 8 e 11 estão como saída para comunicação com o Arduino, representadas com RX e TX respectivamente.

A programação do PIC16f88 encontra-se no Apêndice A e a programação do Arduino encontra-se no Apêndice B, ambas as programações são iniciadas declarando as funções e as variáveis. O PIC faz a leitura dos valores de tensão dos sensores, utilizando dez amostras de cada sensor, fazendo uma média das amostras. Depois de realizar a média de cada sensor, é feita outra média, porém dividindo os sensores por pares, ou seja, os pares de direita/esquerda e superior/inferior. Após a média dos pares, são feitos os cálculos das diferenças entre os pares para analisar qual possui maior valor, caso a diferença seja maior que a tolerância estabelecida de 110 bits o sistema executa a função, senão o sistema volta para o início do processo.

Considerando que o sistema execute a função, ele faz os seguintes comparativos: se a direita for maior que a esquerda mais a tolerância, ou se a direita é maior que a esquerda mais a tolerância e, se o sensor superior é maior que o inferior mais a tolerância, ou se o inferior é maior que o superior mais a tolerância, e assim que obtiver os valores, o sistema se movimentará para o respectivo lado do sensor. O PIC, após processar as informações de quais sensores são de maior valor, irá calcular em quais ângulos os servo motores devem posicionar-se. Quando já definidos os

ângulos, o PIC manda informação para o Arduino que, por sua vez, terá a função de fazer a leitura dos ângulos para mandar o comando para os servo motores. O Arduino também está conectado a um sensor de corrente e tensão, a tensão do painel solar e a corrente que passa no circuito. Esses valores serão mostrados no LCD. Para melhor esclarecimento do funcionamento do sistema, o fluxograma da programação geral encontra-se no Anexo B.

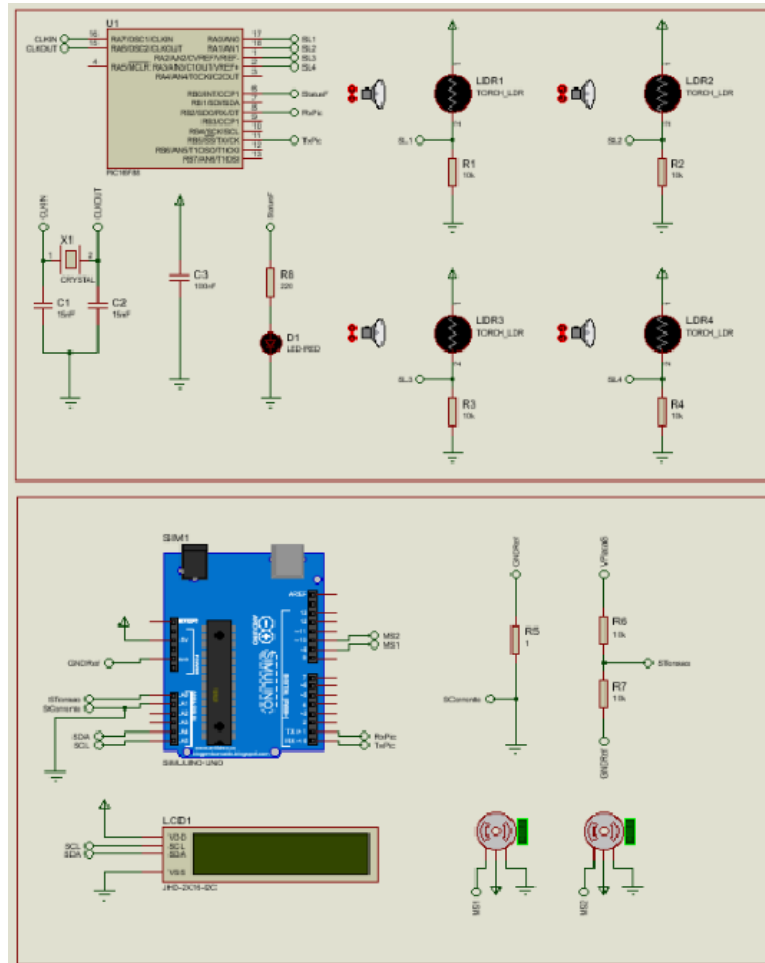
3.3 Circuito de Ação

Nessa parte do projeto esmiúça-se como se deu o desenvolvimento no microcontrolador Arduino usado neste projeto e a junção do Arduino com o PIC 16f88. Apresentaremos também quais portas foram usadas no Arduino e quais são suas funções.

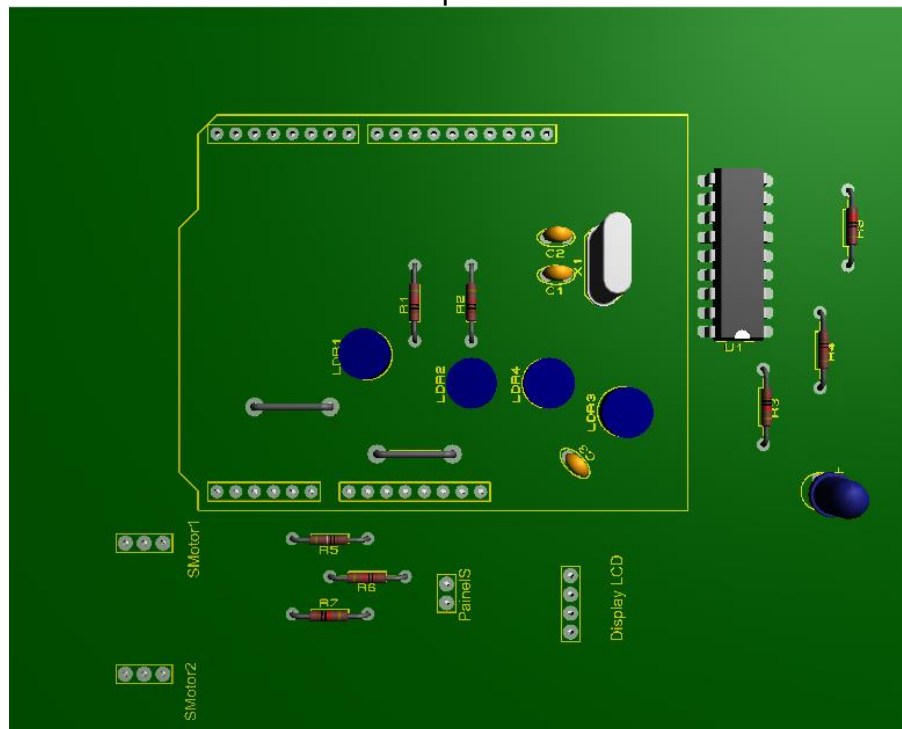
Neste rumo, a placa principal onde fica o microcontrolador Arduino, que é responsável por ler, interpretar e executar as informações dos sensores, intermediadas pelo PIC, e, por conseguinte, mandar informação para os servo motores do eixo horizontal e vertical, mudando a posição da placa solar de acordo com as variações luminosas. Assim que os motores estiverem em sua posição estável, o sistema irá reler as informações dos sensores, essa leitura ficará sendo atualizada a cada 12 milissegundos, a programação encontra-se no Apêndice B.

As funções de leitura dos sensores, acionamento dos servo motores, leitura da corrente e da tensão, estão interligadas ao Arduino. Para o desenvolvimento do protótipo, inicialmente foi montado o circuito no software Proteus, facilitando o dimensionamento dos componentes eletrônicos. O diagrama elétrico construído no software possui a parte de alimentação do Arduino, que conseqüentemente irá alimentar o PIC16f88, o LCD e os dois servo motores, como pode ser visto na Figura 30.

FIGURA 30 - Diagrama elétrico da placa principal.



Fonte: elaborado pelo autor.

FIGURA 31 - Visão da placa em forma 3D

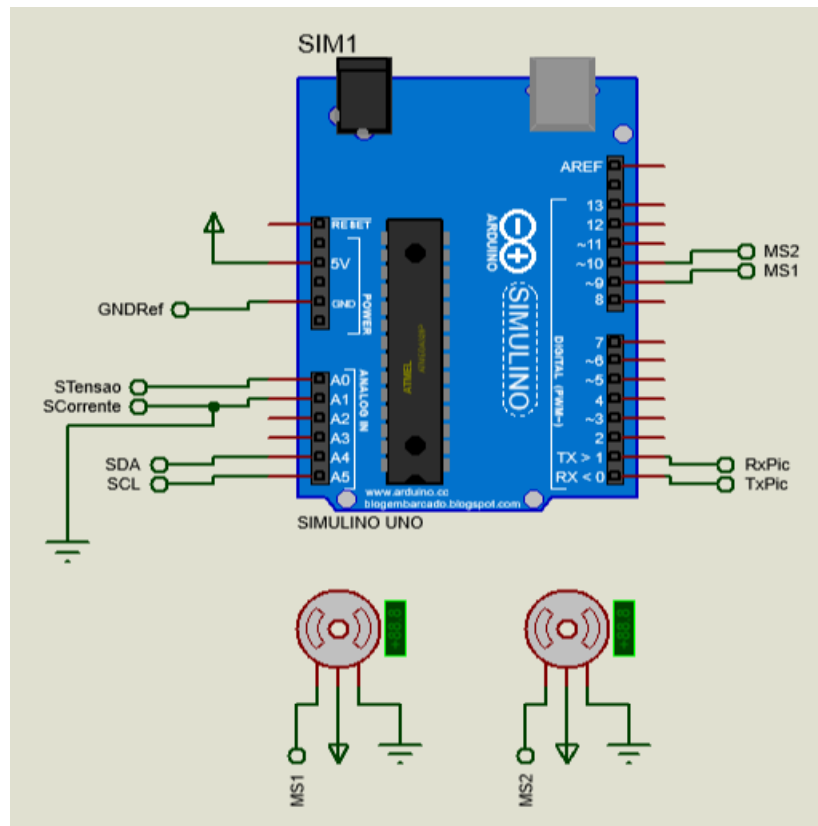
Fonte: elaborado pelo autor.

Neste bloco de ação é representado o protótipo do seguidor solar que interage com o meio de acordo com a variação da intensidade luminosa incidente na superfície dos sensores, que se encontra no mesmo plano do painel fotovoltaico. Após a montagem da placa principal é possível ter a visão da placa de circuito impresso no formato em 3D como mostra a Figura 31.

Como dito anteriormente, existem quatro sensores sensíveis à luminosidade, em que dois estão relacionados ao servo motor do eixo vertical (norte/sul) e os outros dois estão relacionados ao servo motor do eixo horizontal (leste/oeste).

O circuito da Figura 32 nos mostra o microcontrolador Arduino e os dois servo motores, estes estarão conectados entre si e respondendo a leitura dos sensores, mudando o ângulo de acordo com o necessário. As portas digitais 9 e 10 do Arduino estão sendo utilizadas pelos servo motores como sinal. Portanto, o Arduino faz uma leitura das informações enviadas pelo PIC, interpreta essas informações, e, por fim, faz o comando para os servo motores .

FIGURA 32 - Diagrama elétrico do projeto com destaque na parte de ação do

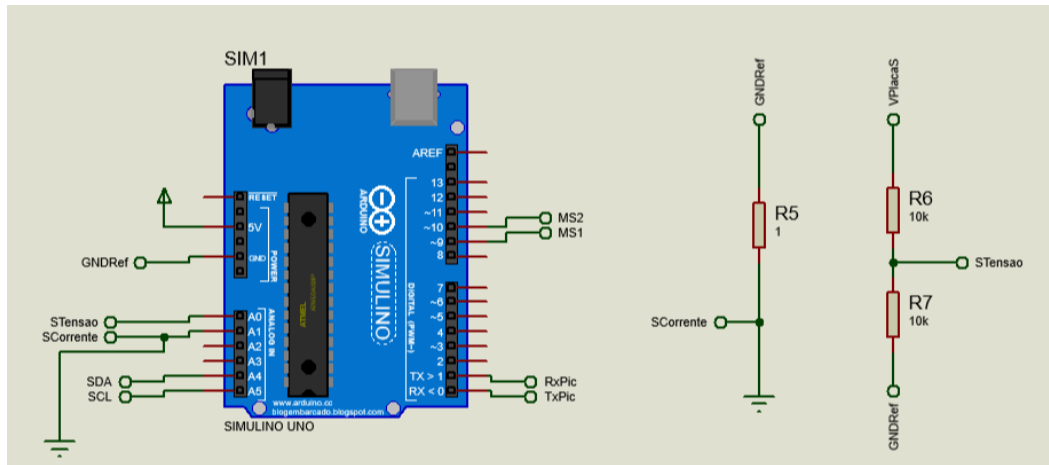


Fonte: elaborado pelo autor.

3.5 Circuito da Geração

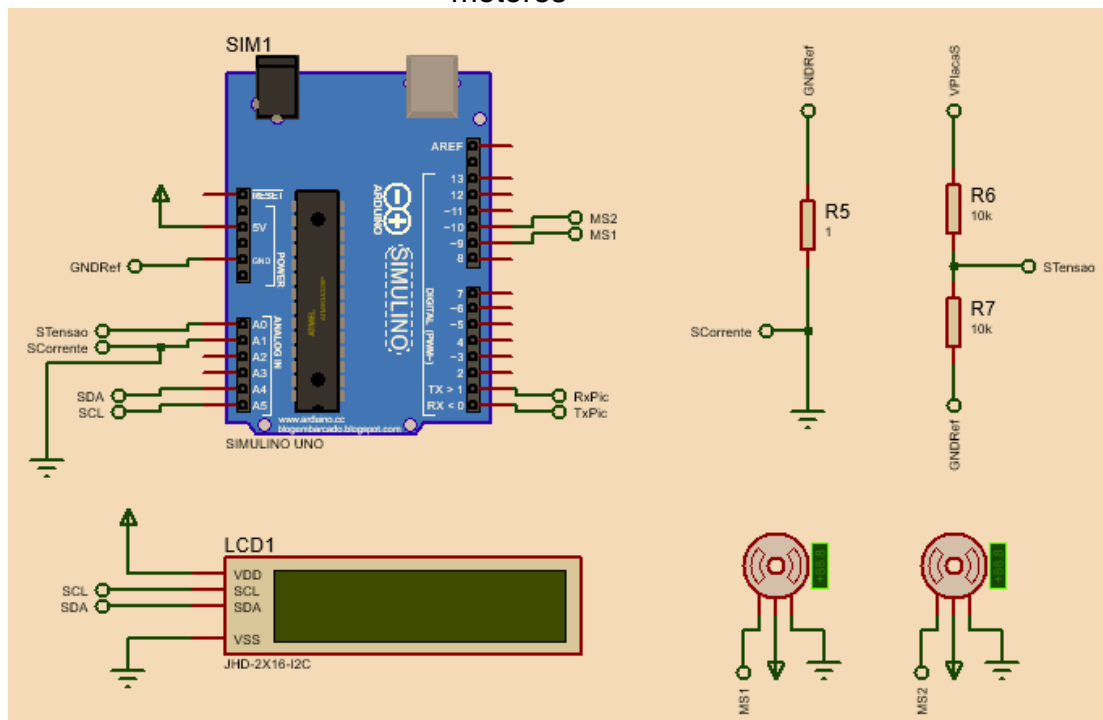
A placa fotovoltaica, quando entra em contato com a luz, consegue transformar a energia luminosa em energia elétrica. Para sabermos quanto a placa solar está gerando de energia, foram colocados dois sensores um de tensão e um de corrente como mostra a Figura 33. Foi utilizado também uma tela de LCD que mostra a tensão que o painel solar está gerando e mostra também a corrente que está passando no circuito da placa principal, como mostra a Figura 34, para se ter mais controle do funcionamento do circuito principal.

FIGURA 33 - Diagrama elétrico do projeto com destaque do sensor de corrente e de tensão do circuito



Fonte: elaborado pelo autor.

FIGURA 34 - Diagrama elétrico do projeto com os sensores, LCD e os servo motores



Fonte: elaborado pelo autor.

Por fim, foi feito um protótipo de seguidor de luminosidade impresso na impressora 3D, cada componente foi impresso separadamente. Depois de todas as partes impressas, obteve-se o protótipo mostrado na figura 35, cujas dimensões são 28x16x13cm. Já foram feitas as devidas alterações para inserir o LCD na tampa da

caixa, o espaço para a passagem dos fios que ligam os servo motores e o acoplamento do painel solar.

FIGURA 35 - Protótipo físico do seguidor de luminosidade



Fonte: elaborado pelo autor.

4 TESTES E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os testes e os resultados alcançados pelo projeto. Os testes pretendem verificar o desempenho da placa fotovoltaica em uma situação real com uma carga em relação ao azimute desta. Para métodos de estudo, usa-se um LED como carga e para simular o sol, usa-se uma lanterna. Será testado o desempenho do painel fotovoltaico com o servo motores parados em 90° graus no eixo vertical e 180° graus no eixo horizontal e serão recolhidos os valores de tensão, corrente e potência. O teste será repetido com os motores e sensores de luminosidade ativos e serão recolhidos os mesmos parâmetros do teste anterior.

Cada etapa dos testes será apresentada com tabelas e gráficos para a comparação do desempenho do sistema. Para simulação de um conjunto real com o Sol, a lanterna simulará uma trajetória aproximada. Foi utilizado um LED com um resistor de 100K Ω em paralelo com o painel fotovoltaico, simulando uma carga, sendo possível fazer as análises e verificar qual melhor método para otimização do sistema de geração de energia com o painel fotovoltaico.

4.1 Teste com o Sistema de Otimização Desligado

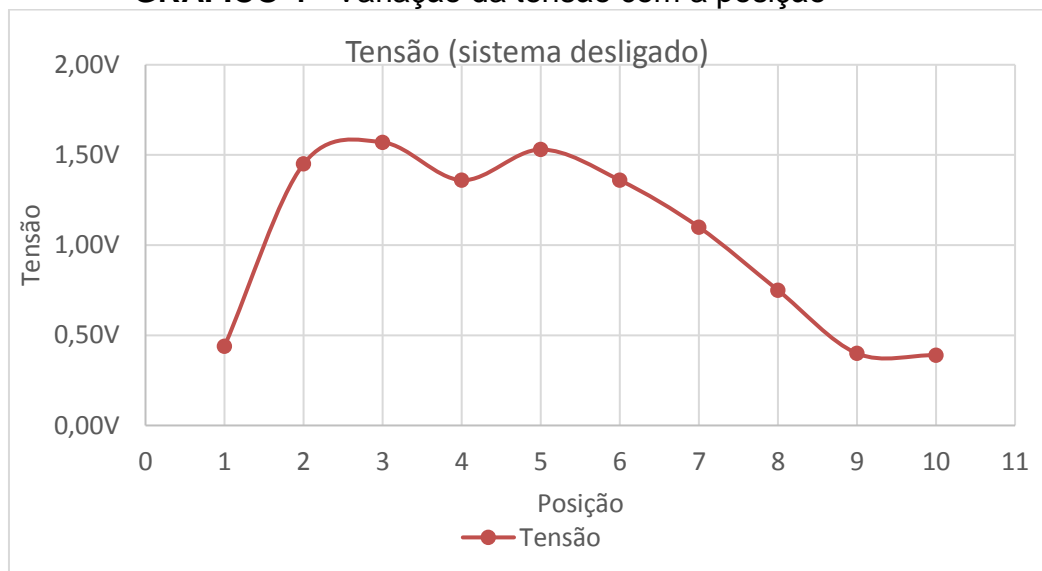
O teste foi realizado em um ambiente com ausência de luminosidade e com o sistema desligado, significando que os sensores captaram luminosidade para não ativar os servo motores. Situando a lanterna nas posições que simularia a trajetória do nascer até o pôr do sol, as posições se mantiveram espaçadas 20° até formar uma trajetória de aproximadamente 180°. A tensão foi medida pelo próprio sistema, já a corrente e a potência foram calculadas manualmente. Os cálculos foram feitos com base na tensão e corrente nominais da placa, que são respectivamente 6 Volts e 84mA (miliampère).

TABELA 6 - Parâmetros do sistema desligado

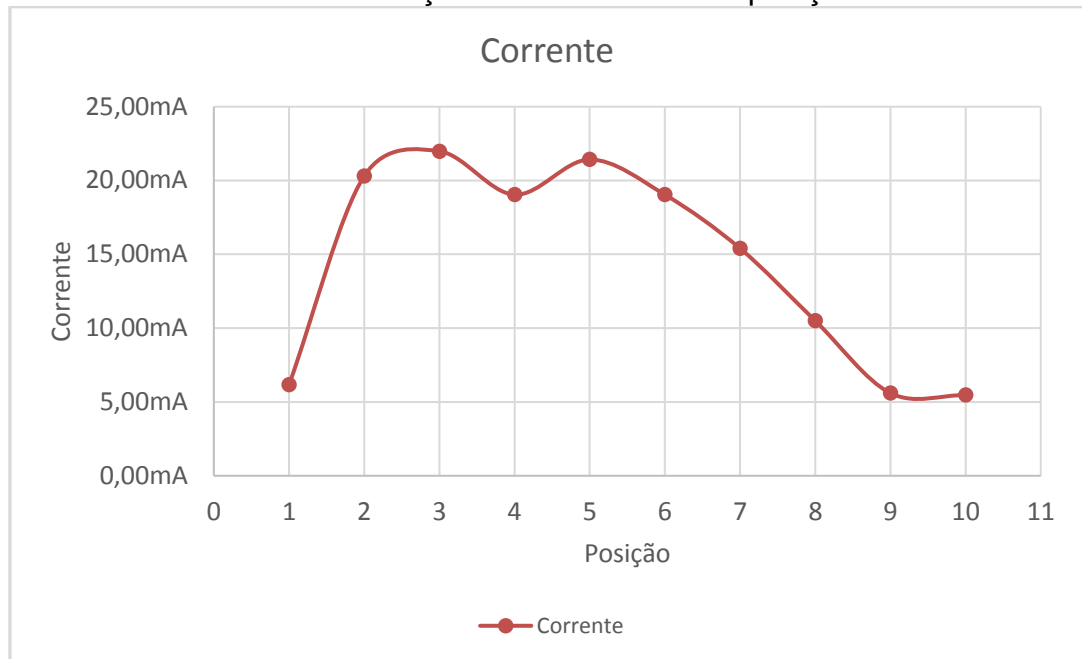
Sistema desligado				
Posição	Ângulo	Tensão	Corrente	Potência
1	0°	0,44V	6,16mA	2,71mW
2	20°	1,45V	20,30mA	29,44mW
3	40°	1,57V	21,98mA	34,51mW
4	60°	1,36V	19,04mA	25,89mW
5	80°	1,53V	21,42mA	32,77mW
6	100°	1,36V	19,04mA	25,89mW
7	120°	1,10V	15,40mA	16,94mW
8	140°	0,75V	10,50mA	7,88mW
9	160°	0,40V	5,60mA	2,24mW
10	180°	0,39V	5,46mA	2,13mW

Fonte: elaborado pelo autor.

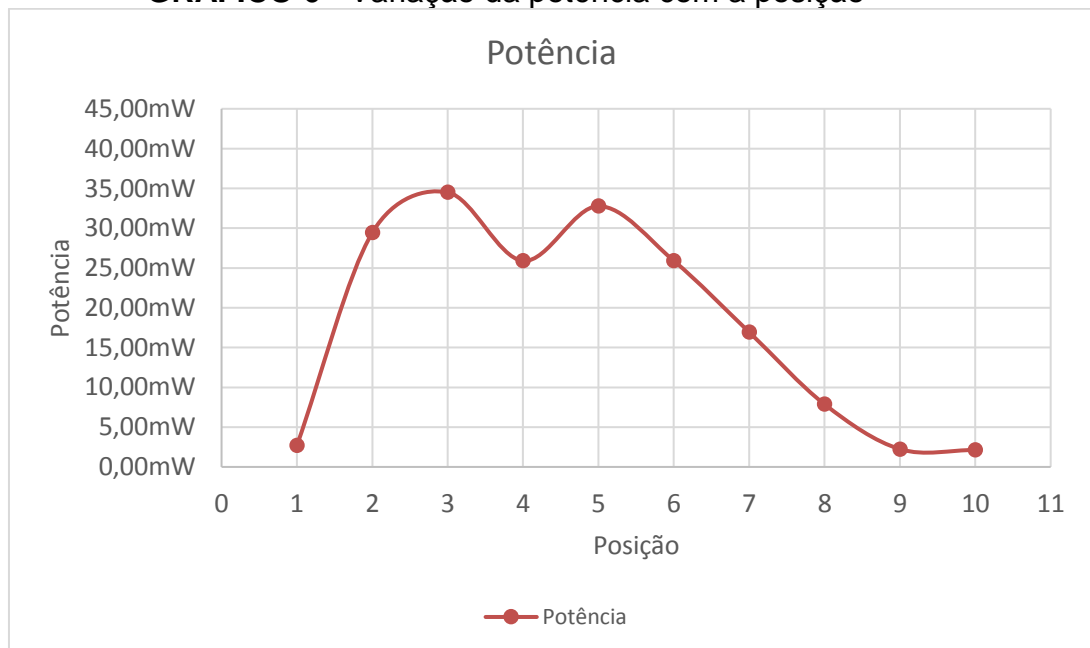
De acordo com a Tabela 6, que contém os dados adquiridos na medição, para melhor figuração do desempenho do sistema, e levando em consideração os Gráficos 4, 5 e 6, tem-se a variação da tensão, corrente e potência geradas pelo painel fotovoltaico de acordo com a mudança da posição da luz.

GRÁFICO 4 - Variação da tensão com a posição

Fonte: elaborado pelo autor.

GRÁFICO 5 - Variação da corrente com a posição

Fonte: elaborado pelo autor.

GRÁFICO 6 - Variação da potência com a posição

Fonte: elaborado pelo autor.

4.2 Teste com o Sistema de Otimização Ligado

O teste foi feito em um ambiente com ausência de luminosidade, no qual, com o sistema ligado, ou seja, os sensores de luminosidade ligados para receber a

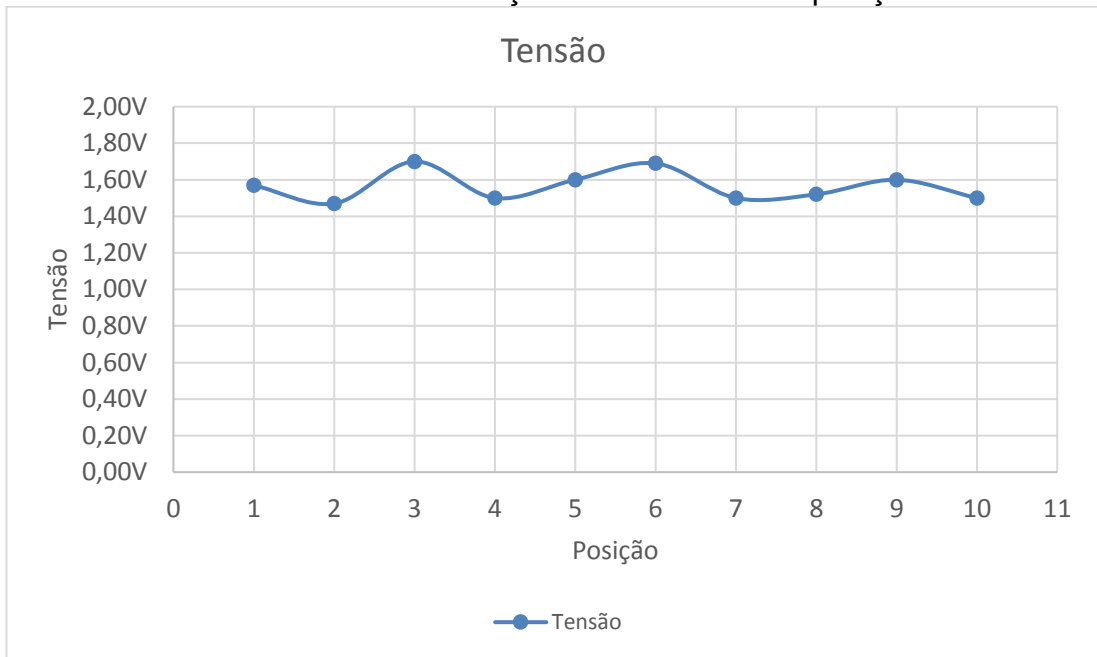
luminosidade e ativar os servo motores. Posicionou-se a lanterna na posição um que simularia o nascer do sol. As demais posições da lanterna foram espaçadas aproximadamente em 20° até formar uma trajetória por volta de 180°. Nesse caso, também foram calculados os parâmetros de corrente e potência, conforme Tabela 7.

TABELA 7 - Parâmetros do sistema ligado

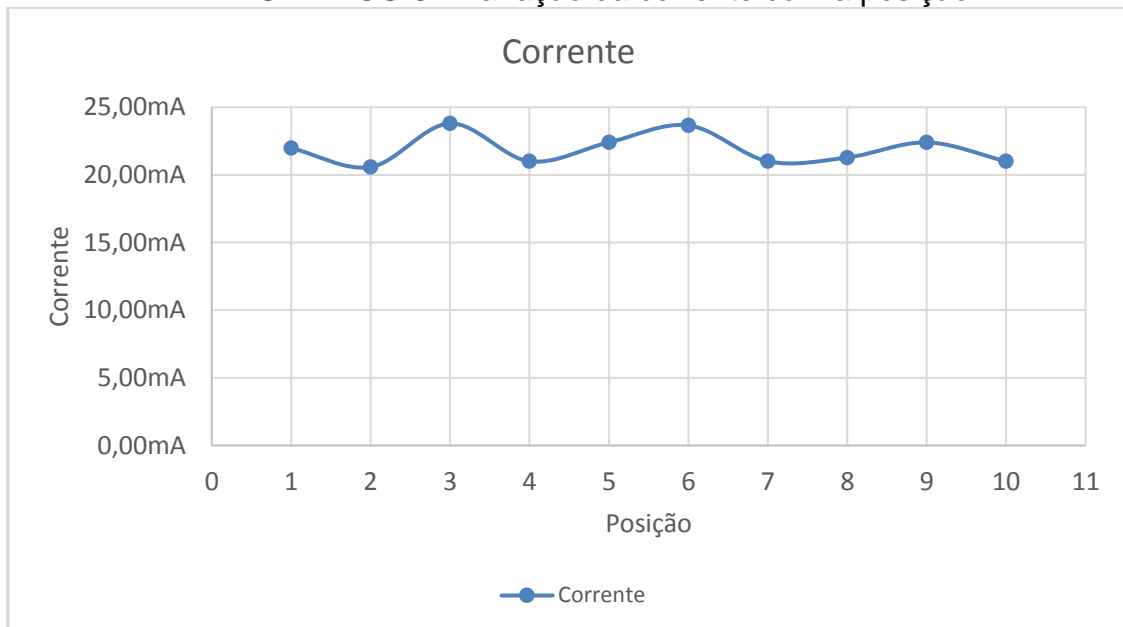
Sistema ligado				
Posição	Ângulo	Tensão	Corrente	Potência
1	0°	1,57V	21,98mA	34,51mW
2	20°	1,47V	20,58mA	30,25mW
3	40°	1,70V	23,80mA	40,46mW
4	60°	1,50V	21,00mA	31,50mW
5	80°	1,60V	22,40mA	35,84mW
6	100°	1,69V	23,66mA	39,99mW
7	120°	1,50V	21,00mA	31,50mW
8	140°	1,52V	21,28mA	32,35mW
9	160°	1,60V	22,40mA	35,84mW
10	180°	1,50V	21,00mA	31,50mW

Fonte: elaborado pelo autor.

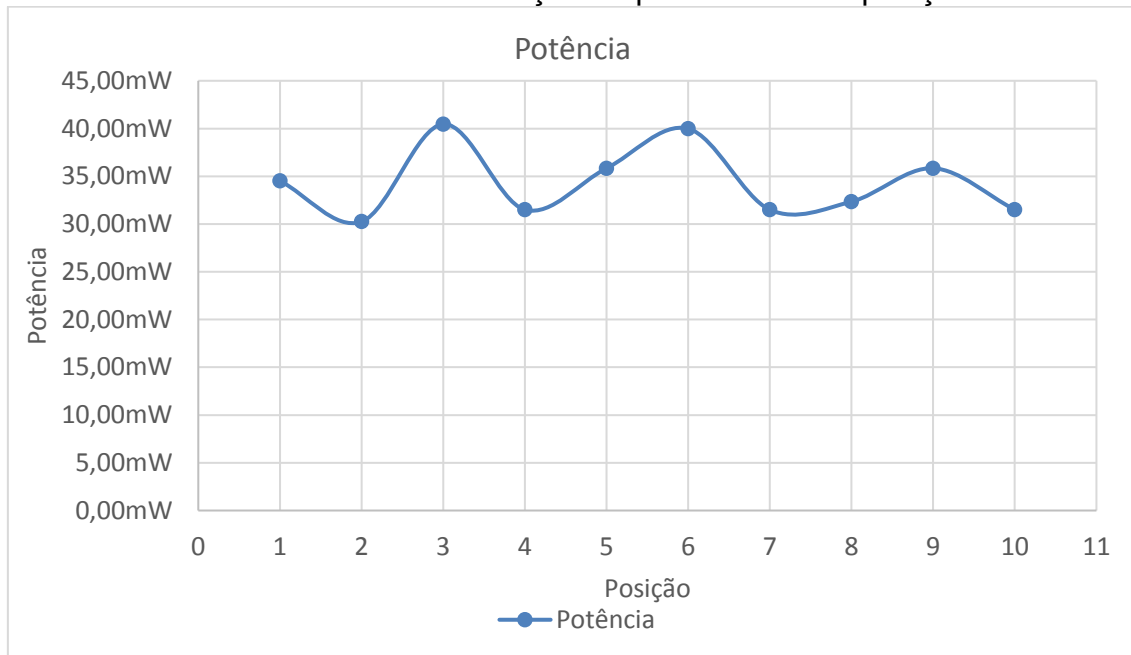
A Tabela 7 contém os dados adquiridos na medição, para melhor figuração do desempenho do sistema. Nos Gráficos 7, 8 e 9, tem-se a variação da tensão, corrente e potência geradas pelo painel fotovoltaico de acordo com a mudança da posição da luz. Nesse caso, o sistema movimentou-se de acordo com a direção da luz, para captar maior luminosidade e conseqüentemente gerar mais energia por meio da placa fotovoltaica.

GRÁFICO 7 - Variação da tensão com a posição

Fonte: elaborado pelo autor.

GRÁFICO 8 - Variação da corrente com a posição

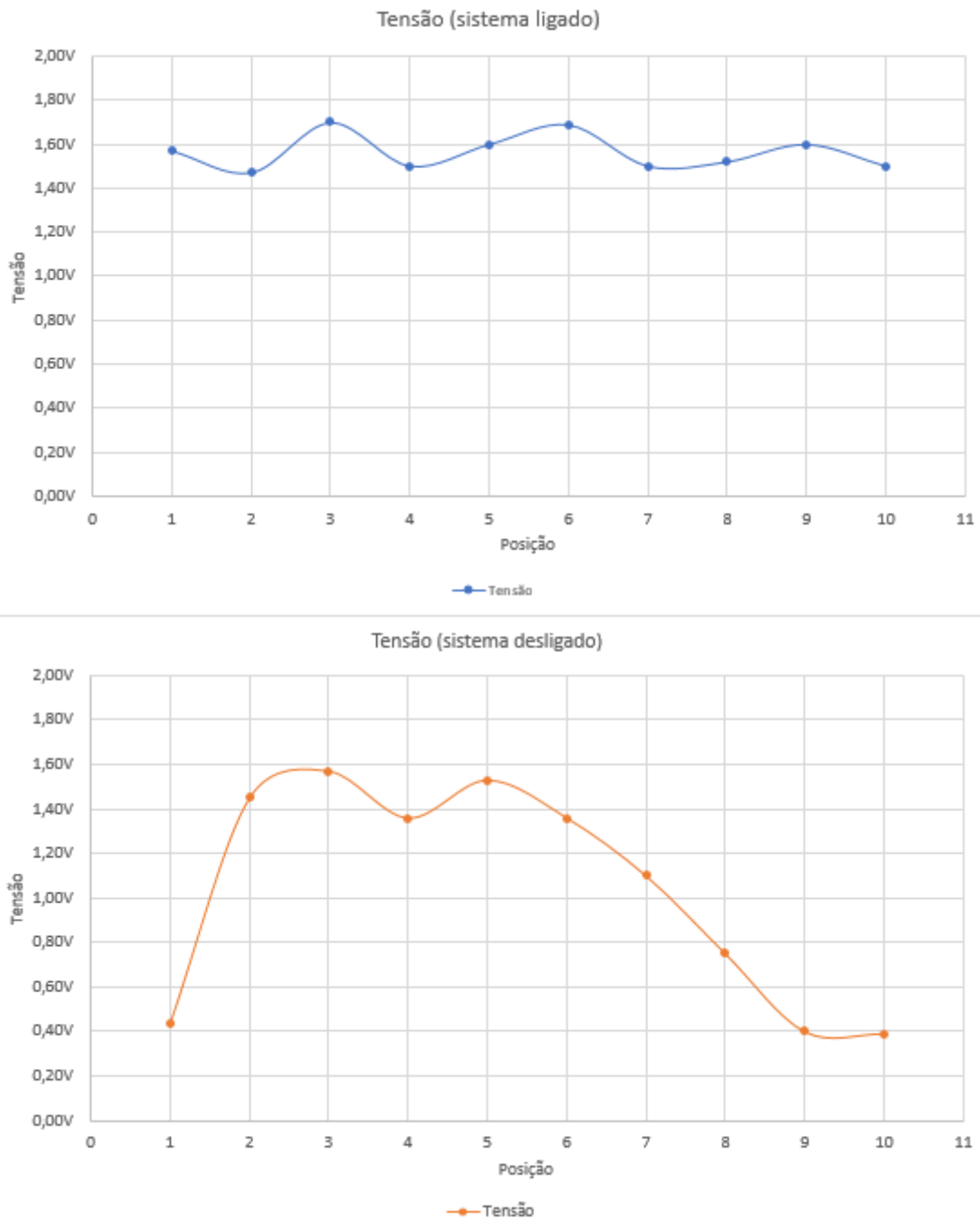
Fonte: elaborado pelo autor.

GRÁFICO 9 - Variação da potência com a posição

Fonte: elaborado pelo autor.

4.3 Resultados

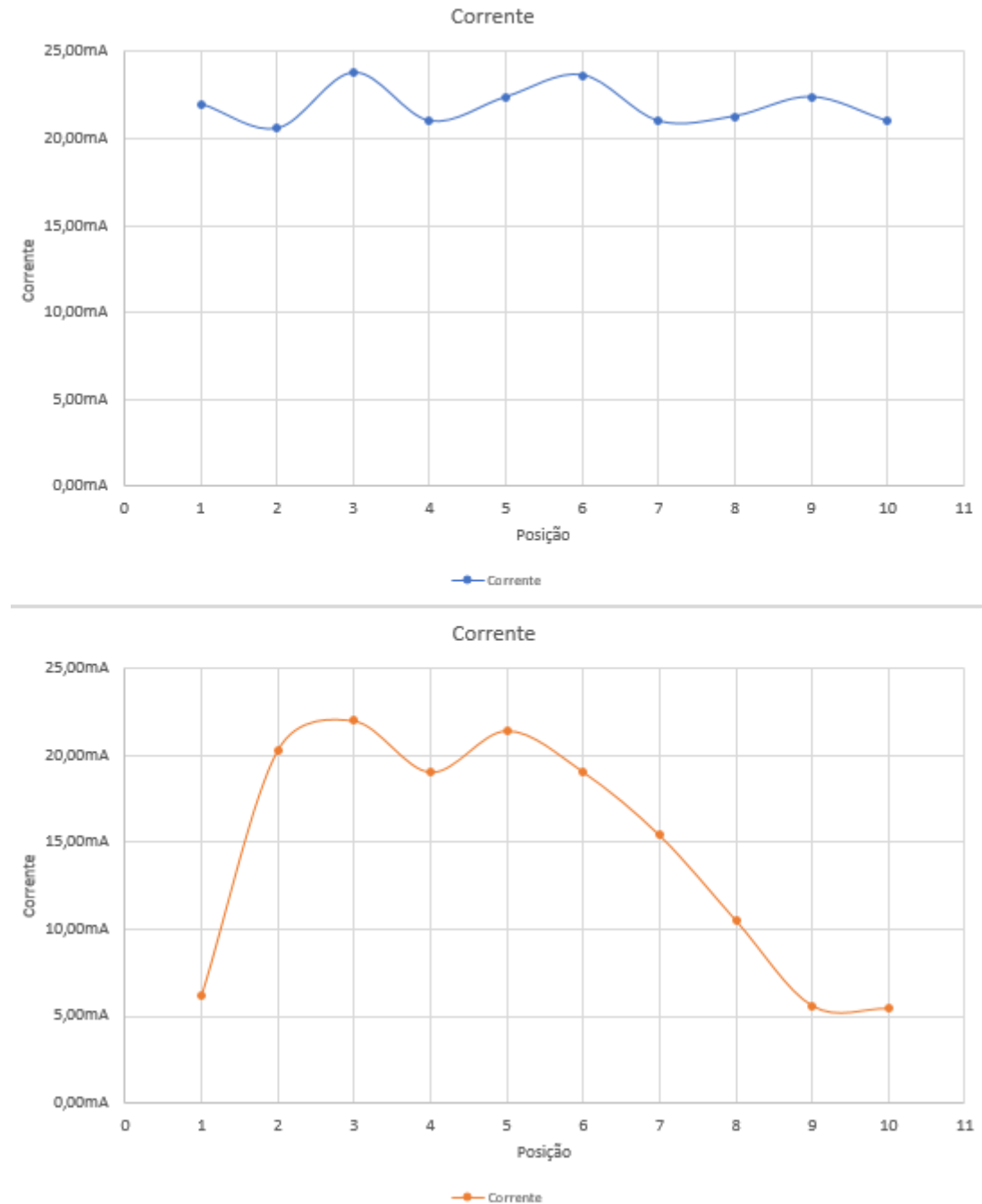
Com o teste da tensão em ambos os casos, pode-se verificar que as variações de tensão quando o sistema está ligado são menores do que as variações do sistema desligado. Quando o sistema se encontra ligado, possui uma maior geração de energia do painel solar, obtendo uma geração mais contínua e com valores maiores. Já quando o sistema se encontra desligado, obtêm-se valores mais instáveis e menores, quando a luz se encontra próxima da posição 5, onde esta está perpendicular ao painel, como pode ser visto no Gráfico 10.

GRÁFICO 10 - Variação da tensão com o sistema ligado e desligado respectivamente

Fonte: elaborado pelo autor.

Nos gráficos da corrente como mostra o Gráfico 11, tem-se que, como a corrente é diretamente proporcional à tensão, os gráficos têm o mesmo. O gráfico da corrente por sua vez é semelhante ao da tensão, como pode ser visto no Gráfico 11, onde se compara a corrente gerada com o sistema ligado e desligado respectivamente.

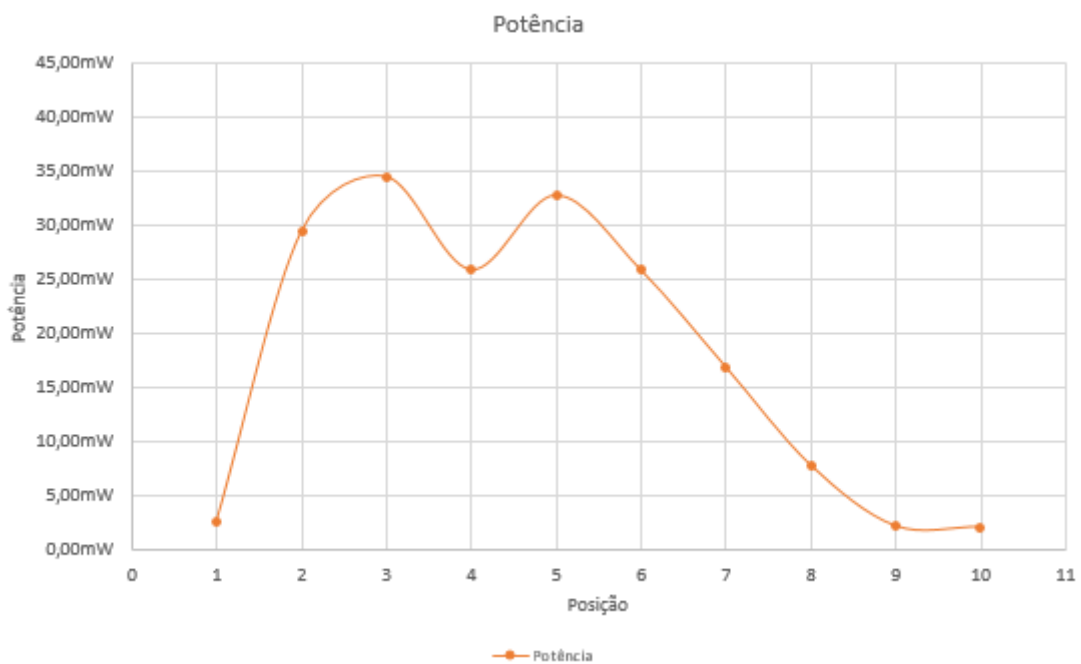
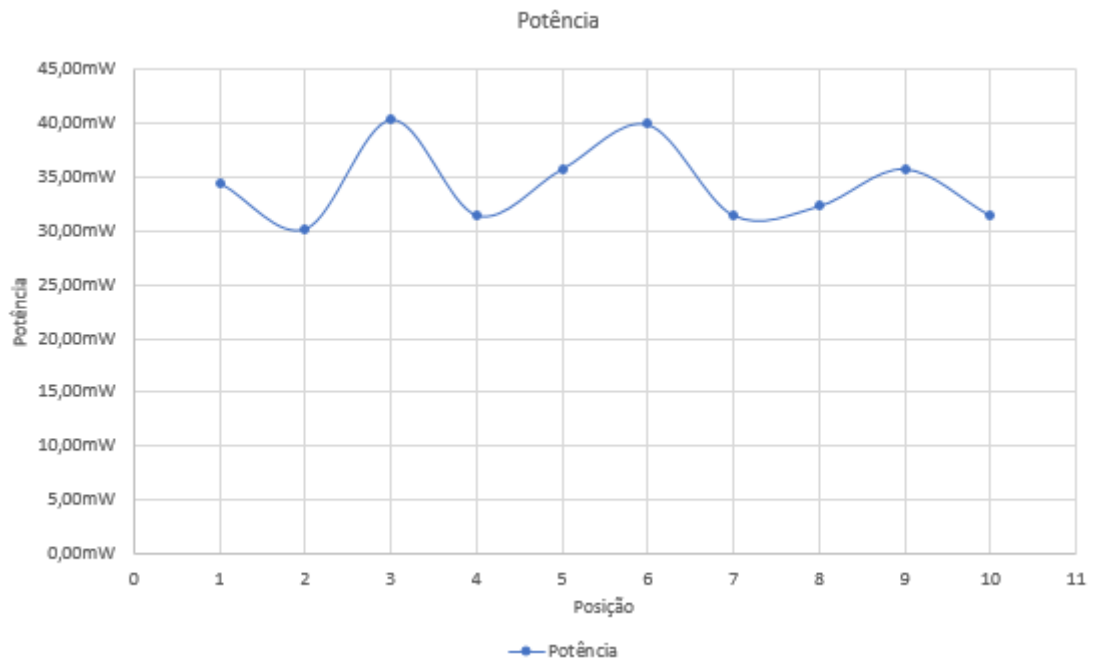
GRÁFICO 11 - Variação da corrente com o sistema ligado e desligado respectivamente



Fonte: elaborado pelo autor.

A potência do painel solar se dá pela relação da tensão com a corrente que são geradas. No Gráfico 12, pode-se notar que o valor médio da potência com o sistema ligado (gráfico em azul) tem um crescimento de 90,5% em relação ao sistema desligado (gráfico em laranja).

GRÁFICO 12 - Variação da corrente com o sistema ligado e desligado respectivamente



Fonte: elaborado pelo autor.

A energia do sistema é analisada multiplicando a potência pelo tempo. Em uma época do ano onde há 12 horas de irradiação solar do nascer ao pôr do sol, sendo que o nascer é a posição um, correspondente à 0° , e o pôr do sol à posição 10,

correspondente à 180° , obtenho um intervalo de medições de 1h20min, equivalendo a cada posição obtida nos testes supracitados.

A potência total dissipada pela placa com o sistema de otimização em pleno funcionamento nas 12 horas é igual a 343,74mWh. A potência total dissipada pela placa com o sistema de otimização desligado nas 12 horas é igual a 180,40mWh. A eficiência do sistema de otimização ligado tem um acréscimo de 90,5%.

5 CONCLUSÃO

O sistema de geração fotovoltaico, na atual conjuntura do Brasil, vem sendo disseminado cada vez mais. Investimentos em pesquisas estão sendo feitos para a obtenção de um sistema economicamente viável e mais eficiente, novas tecnologias estão sendo estudadas para impulsionar o crescimento de geração deste sistema.

A proposta do projeto em questão baseia-se em um sistema que se orienta por resistores dependentes de luz posicionados estrategicamente para obter em valores a luminosidade incidente na placa, juntamente com uma linguagem C++ (com adaptações) que irá proporcionar a movimentação dos servo motores posicionados nos eixos vertical e horizontal .

Os valores de saída dos sensores são lidos e interpretados pelo PIC de tal forma que os LDR's são somados a partir de pares, para que possam ser somados e analisados em função do maior valor. Após esse processamento dos dados, estes são enviados ao Arduino, sendo, então, tratados e examinados para dar o comando aos servo motores, que, por sua vez, dá mutabilidade à placa para aprimorar a incidência solar e a eficiência da placa.

A dificuldade encontrada ao executar o projeto foi na montagem do *hardware*, visto que o Arduino UNO possui poucas portas analógicas, então, não seria possível conectar todos os componentes, sendo que faltariam portas analógicas para os quatro sensores. Por questão de limitação de espaço, decidiu-se utilizar um microcontrolador PIC de pequeno porte e que conseguiria atuar junto com o Arduino. Então, os sensores foram conectados ao PIC para fazer os processamentos de dados, os cálculos dos ângulos e, por fim, mandar as informações para o Arduino.

Foram realizados dois testes com o sistema: sendo o primeiro com os sensores desligados, ou seja, os motores não eram ativos, portanto deixando a placa solar em uma única posição; e, no segundo teste realizado, utilizou-se o sistema com os sensores ligados e os servo motores funcionando, por isso, o sistema foi capaz de rotacionar nos eixos vertical e horizontal de 0° a 180°. Com isso, pode-se verificar a eficácia desse sistema em que a geração de energia do painel se manteve mais constante e com valores mais altos de tensão, consequentemente, obteve uma maior potência comparado ao sistema desligado.

Usualmente, os painéis fotovoltaicos são posicionados de forma fixa em um ângulo onde há mais aproveitamento dos raios solares. Com esse tipo de configuração, pode-se perceber que, em algumas horas do dia, a eficiência do painel cai bruscamente, como foi simulado no teste no qual desligou-se o sistema de otimização.

Projetando este sistema em escala real, como por exemplo, em uma usina fotovoltaica onde seus painéis teriam a mobilidade de rotacionar, tanto no eixo vertical quanto no eixo horizontal, otimizaria em demasia a sua eficiência. Com essa otimização, há uma capacidade de produzir mais energia reduzindo o número de painéis fotovoltaicos, tendo uma redução de gastos com painéis, o que torna o sistema energético economicamente viável.

5.1 Proposta para Trabalhos Futuros

Nesta seção são expostas algumas referências para o aperfeiçoamento do sistema apresentado, tais como:

- Utilizar uma maior amostragem dos valores coletados pelos sensores de luminosidade para o sistema ficar mais preciso;
- Estudar a viabilidade econômica perante a instalação deste sistema em pequenas e grandes instalações;
- Projetar o sistema em uma instalação em escala real.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 2. ed. Brasília: Aneel, 2005. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b>. Acesso em: 1 ago. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2008_AtlasEnergiaEletricaBrasil3ed/297ceb2e-16b7-514d-5f19-16cef60679fb>. Acesso em: 8 ago. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Energia Solar* 3. In: Atlas de energia elétrica do Brasil. 2. ed. Brasília: Aneel, 2005. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf)>. Acesso em: 8 ago. 2018.

ALBADÓ, Ricardo. *Energia Solar*. São Paulo: Artlibre, 2002.

NASCIMENTO, Cássio Araújo do. Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica. 2004. Monografia (Pós-Graduação) - Pós-Graduação Lato-Sensu em Fontes alternativas de energia. Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2004. Disponível em: <http://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf>. Acesso em: 4 set. 2018.

ARDUINO. Arduino Uno Ver 3. *Arduino*. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

AURELIO, Marco dos Santos. *Fontes de energia nova e renovável*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2013.

BAÚ DA ELETRÔNICA. Circuito Impresso. 1 imagem. 2018. Disponível em: <http://www.baudaeletronica.com.br/placa-de-fenolite-virgem-8x12-cm.html?gclid=EAlaIQobChMIm7HvhMOW3QIVUvIRCh0cHwVnEAKYAYABEgKzgvD_BwE>. Acesso em: 10 set. 2018.

BRAGA

BRAGA, Newton C. Conheça os microcontroladores PIC - parte 1 (MIC001). *Instituto NCB*. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/microcontroladores/141-microchip-pic/1243-mic001>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

CENTRO DE REFERENCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E OLICA SERGIO DE S. BRITO (CRESESB). *Casa Solar Eficiente*. Rio de Janeiro: CRESESB, 2008.

Disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=casa_solar>.

Acesso em: 7 ago. 2018.

CENTRO DE REFERENCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E OLICA SERGIO DE S. BRITO (CRESESB). *Atlas Solarimétrico do Brasil*: banco de dados solarimétricos.

Coordenador Chigueru Tiba. et al. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.
Disponível em:
<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2018.

CENTRO DE REFERENCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E OLICA SERGIO DE S. BRITO (CRESESB). Potencial Solar- Sundata v 3.0. CRESESB, 2017. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>> Acesso em: 2 ago. 2018.

CIRCUITAR. LCD. *Curricular*, 2018a. Disponível em:
<<https://www.circuitar.com.br/nanoshields/modulos/lcd/>>. Acesso em: 17 out. 2018.

CIRCUITAR. Programação para Arduino: Primeiros Passos. Circuitar, 2018b. Disponível em: <<https://www.circuitar.com.br/tutoriais/programacao-para-Arduino-primeiros-passos/>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

CORTEZ, Ramiro José Monteiro. *Sistema de seguimento solar em produção de energia fotovoltaica*. 2013. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Universidade do Porto: Portugal, 2013.

DAMAS, Luís. *Liguagem C*. Rio de Janeiro: Editora de Informatica LDA, 2007.

DUFFIE, J. A.; WILLIAM, A. B. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 4. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2013.

ELETRÔNICA 90. O que é um Microcontrolador? Conheça o ATmega328. *Eletrônica 90*, 20 jan. 2017. Disponível em: <<http://eletronica90.com.br/o-que-e-um-microcontrolador/>>. Acesso em: 21 set. 2018.

FARICELLI, Christian de Freitas. *Seguidor solar para sistemas fotovoltaicos*. 2008. 102 f. Trabalho de formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em:
<http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2008/Trabalhos%20 finais/TCC_040_2008.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2018.

FURLAN, Gustavo Ambrozini. Esquema Elétrico do Arduino: O Guia Definitivo. *Circuitar Eletrônicos*, 2018. Disponível em:
<<https://www.circuitar.com.br/tutoriais/esquema-eletrico-do-arduino-o-guia-definitivo/>>. Acesso em: 24 set. 2018.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, Merlin; BELICO, Lineu dos Reis. *Energia e meio ambiente*. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

INMOOV. Introduction to Servo Motors Arduino. *In Moov*, 2015. Disponível em:
<<http://www.inmoov.fr/wp-content/uploads/2015/02/Introduction-to-Servo-Motors-Arduino.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Sistema Fotovoltaico. INMETRO, 2018. Disponível em: <<http://inmetro.gov.br/consumidor/pbe/sistema-fotovoltaico.asp>>. Acesso em: 21 set. 2018.

JANNUZZI, G. M.; FABIANA K .O. M. V.; GOMES, R. D. M. *Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama de Atual Legislação*. 1. ed. Relatório Final: Campinas, 2009.

LABCENTER. *Proteus*. Lab Center, 2018. Disponível em: <<https://www.labcenter.com/>>. Acesso em: 7 ago. 2018.

MADEIRA, Maurício Oliveira. *Análise do desempenho de um gerador fotovoltaico com seguidor solar azimutal*. 2008. 121 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Mecânica: Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

MELO, João Luiz Glovacki Graneman de. *Microcontrolador PIC 18F452/ Proteus*. Curitiba: Mini Curso, 2011.

MERCADO LIVRE. PICKit 2 Programador gravador usb de pic Microchip, 2018. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-777257012-pickit-2-programador-gravador-usb-de-pic-microchip-pickit2-_JM?quantity=1>. Acesso em: 11 set. 2018.

MICROSHIP. *Microship Pic16f88 Data Sheet*. Estados Unidos da América: Microship, 2013. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/30487d.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS e ENERGIA. Plano Nacional de Energia 2030. Brasília: MME: EPE, 2007. Disponível em: <<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Outras%20Fontes.pdf>>. Acesso em 11 set. 2018.

MIZRAHI, Victorine Viviane. *Treinamento em Linuagem C*. São Paulo: Makron Books, 1990.

MULTILÓGICA-SHOP. Referência. Multilógica-Shop, 2008. Disponível em: <<https://multilogica-shop.com/Referencia>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

NASCIMENTO, Cassio Araújo. Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica, 2004. Disponível em: <http://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2018.

LEETECH. LDR. 1 imagem. 2018. Disponível em: <<https://leetechbd.com/product/ldr-10-mm-photo-resistor/>>. Acesso em: 17 out. 2018

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). 1 imagem. 2018. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/energia-agora/balanco-de-energia>>. Acesso em: 6 ago. 2018.

PAIVA, Edinei Canuto. *Desenvolvimento de um Rastreador Solar Microcontrolador para um Coletor Solar Concentrado*. 2009. 109 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação, em Engenharia Agrícola Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009.

PEREIRA, Enio Bueno et al. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf>. Acesso em: 19 set. 2018.

PEREIRA, Enio Bueno et al. *Atlas brasileiro de energia solar*. São José dos Campos :INPE, 2006. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2018.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. (Orgs.). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CEPTEL-CRESESB, 2014.

REIS, Valdinei Rodrigues dos. I2C – Protocolo de Comunicação. *ArduinoBR*, 17 dez. 2014. Disponível em: <<http://www.arduino.br/arduino/i2c-protocolo-de-comunicacao/>>. Acesso em: 17 out. 2018.

RUBO.IN. Servo Motor. 1 imagem. 2018. Disponível em: <<https://robu.in/product/towerpro-sg90-9gm-1-2kg-180-degree-rotation-servo-motor-good-quality>>. Acesso em: 10 set. 2018.

RÜTHER, Ricardo. *Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil*. Florianópolis: LABSOLAR, 2004. Disponível em: <<https://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>>. Acesso em: 7 ago. 2018.

SOUZA, Fábio. Usando os pinos digitais do Arduino. Embarcados, 9 dez. 2013. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/pinos-digitais-do-Arduino/>>. Acesso em: 11 set. 2018.

SOUZA, Vitor Amadeu. *Conhecendo o Proteus*. Cerne Tecnologia. Disponível em: <http://www.cerne-tec.com.br/conhecendo_proteus.pdf>. Acesso em: 28 set. 2018.

APÊNDICE A - Programação do PIC no software MikroC

```

// Mapeamento de HardWare
#define Atualizar RB0_bit
//#define Amostras 100

//Definir as funções usadas
//void LimparVrl();
void Enviar(int AnguloX,int AnguloY);
void Processamento();
void VMed();
void ConverterEnv(int Valor);
void CntPosicao();

//Variaveis Globais

int aAngX = 0,aAngY = 0,AngX =
90,AngY = 90;
//float avEx = 0,avEy = 0;
int aS1 = 0,aS2 = 0,aS3 = 0,aS4 = 0;
long int S1 = 0,S2 = 0,S3 = 0,S4 = 0;

int PassoX = 5, PassoY = 5;
int RxD = -1,RyT = 1;
int cont = 0;

void main() {

//Configuração dos registradores

// Registradores gerais
OPTION_REG = 0x80; //1000 0000;
INTCON = 0x00; //0000 0000;
PIE1 = 0x00; //0000 0000;
PIR1 = 0x00;

//Registradores dos comparadores
CMCON = 0x00;

//Registradores do ADC
ANSEL = 0x0F; //0000 1111;
ADCON0 = 0x59; //0101 1001;
ADCON1 = 0x40; //0100 0000;

//Registradores das portas I/O
TRISA = 0xFF;
PORTA = 0x00;
TRISB = 0x00;
PORTB = 0x00;

//Função para configurar a
comunicação serial
UART1_Init(9600);
delay_ms(100);
//Gerar a interrupção
//Gerar a interrupção
Atualizar = 1;
delay_ms(2000);
}

```

```

Atualizar = 0;

// Laço de repetição
while(1){

    Processamento();
}

void Processamento(){

    VMed();
    CntPosicao();

}

void Enviar(int AnguloX,int AnguloY){

    // Atualizar = 1;

    //Indicar o inicio da mensagem
    UART1_Write('#');

    //Envio do angulo do eixo X
    UART1_Write('X');
    /*LimparVrl();
    InttoStr(AnguloX,text);
    UART1_Write_Text(text); */
    ConverterEnv(AnguloX);
    UART1_Write(',');

    //Envio do angulo do eixo X
    UART1_Write('Y');
    /*LimparVrl();
    InttoStr(AnguloY,text);
    UART1_Write_Text(text); */
    ConverterEnv(AnguloY);
    UART1_Write(',');

}

void VMed(){
int cont1 = 0;

/*
A - Sensor

```



```

0 - 1
1 - 2
3 - 3
2 - 4
}

1 2
3 4
*/

void ConverterEnv(int Valor){

int N1 = 0,N2 = 0,N3 = 0,N4 = 0;
char Cp = 0;

if(Valor > 1023){
    Valor = 0;
}else if(Valor < 0){
    Valor = 75;
}

S1 = 0;
S2 = 0;
S3 = 0;
S4 = 0;

for(cont1 = 0;cont1 < 10;cont1++){
    N1 = Valor / 1000;
    N2 = (Valor / 100) - (N1*10);
    N3 = (Valor / 10) - (N1*100) - (N2*10);
    N4 = Valor - (N1*1000) - (N2*100) -
(N3*10);

    if(N1 != 0){
        Cp = N1 + 48;
        UART1_Write(Cp);
    }

    S1 = S1/10;
    S2 = S2/10;
    S3 = S3/10;
    S4 = S4/10;

    if(N2 != 0 || ((N2 == 0) && (N1 != 0))){
        Cp = N2 + 48;
        UART1_Write(Cp);
    }

    if(N3 != 0 || ((N3 == 0) && (N2 != 0))){

```

```

Cp = N3 + 48;
UART1_Write(Cp);
}
Cp = N4 + 48;
UART1_Write(Cp);

}

void CntPosicao(){
int Tlrc1 = 110;
int Tlrc2 = 110;
int Difp = 0;
int vT = ((float)(S1 + S2))/2;
int vB = ((float)(S3 + S4))/2;
int vE = ((float)(S1 + S3))/2;
int vD = ((float)(S2 + S4))/2;

int vEx = vD - vE;
int vEy = vT - vB;

if(vEx < 0){
    vEx = vEx * (-1);
}
if(vEy < 0){
    vEy = vEy * (-1);
}

Difp = vEx - vEy;
if(Difp < 0){
    Difp = Difp*(-1);
}

if(Difp > Tlrc1){

if((vT-Tlrc2) > vB){

    AngY = AngY + RyT*PassoY;

}else if((vB-Tlrc2) > vT){

    AngY = AngY - RyT*PassoY;

}

if(vD-Tlrc2 > vE){

if(aAngY <= 90){
    AngX = AngX + RxD*PassoX;
}else{
    AngX = AngX - RxD*PassoX;
}

}else if(vE-Tlrc2 > vD){

```

```
if(aAngY <= 90){  
  AngX = AngX - RxD*PassoX;  
}else{  
  AngX = AngX + RxD*PassoX;  
}  
}
```

```
if(AngX > 160){  
  AngX = 160;  
}else if(AngX < 5){  
  AngX = 5;  
}
```

```
if(AngY > 170){  
  AngY = 170;  
}else if(AngY < 5){  
  AngY = 5;  
}
```

```
if(AngX != aAngX || AngY != aAngY){
```

```
  Enviar(AngX,AngY);  
  aAngX = AngX;  
  aAngY = AngY;  
  delay_ms(20);  
}
```

```
}
```

APÊNDICE B - Programação do Arduino no Software Arduino

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Servo.h>
#include <SoftwareSerial.h>

//Parte de cima
//Inicia 55 - 0°

//SoftwareSerial SerialPic(4, 7);//RX,TX
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

String TAngx = "100";
String TAngy = "";
int AngX = 0;
int AngY = 0;
float Tensao = 0;
float Corrente = 0;
bool StatusF = true;
float Tns = 0;
float Crr = 0;
int cAms = 0;
long tempDp = 0;

char Lt = 0;
String g = "";

Servo SMotorX,SMotorY;

void setup() {

  lcd.init();
  lcd.backlight();
  Serial.begin(9600);
  pinMode(A0,INPUT);
  pinMode(A1,INPUT);
  pinMode(9,OUTPUT);
  pinMode(10,OUTPUT);

  pinMode(12,OUTPUT);
  SMotorX.attach(9);
  SMotorY.attach(10);

  /*
  Eixo Y (170 - 5)
  Eixo X (160 - 5)

  R.Eixo X - D +
  R.Eixo Y - F -
  */

  //AngX = 90;
  //AngY = 90;
  //Posicionar();

  /*
  delay(3000);
  AngX = 100;
  AngY = 179;
  Posicionar();
  */
  lcd.setCursor(0,0);

```

```

lcd.print("Iniciando....");
delay(2000);

}

void loop() {
  /**
  ObterAng();
  SensorTenCorr();
  /**/

  /*

  while (Serial.available() > 0) {

    Lt = (char)Serial.read();

    Serial.print(Lt);

  }

  */

}

void ObterAng(){

char Ctd = 0;
bool SMsg = false;
long Temp = millis();

```

```

while(1){

  SensorTenCorr();
  while (Serial.available() > 0) {

    Ctd = (char)Serial.read();
    if(Ctd == '#' && StatusF){
      SMsg = true;
    }else if(Ctd == 'X' && SMsg){
      ObterAngX();
    }
    else if(Ctd == 'Y' && SMsg){
      ObterAngY();
    }else if(Ctd == ';'){
      SMsg = false;
      break;
    }else if(Ctd == 'M'){

      StatusF = false;
      delay(500);
      AngX = 90;
      AngY = 90;
      Posicionar();

    }else if(Ctd == 'T'){

      StatusF = false;
      delay(500);
      int cont = 0;
      AngX = 90;
      AngY = 90;
      Posicionar();
      for(cont = 5;cont <= 160;cont+=5){

```

```

AngX = cont;
Posicionar();
delay(250);
}

AngX = 90;
AngY = 90;
Posicionar();
for(cont = 5;cont <= 170;cont+=5){
AngY = cont;
Posicionar();
delay(250);
}
delay(500);
AngX = 90;
AngY = 90;
Posicionar();

}

}

if(Ctd == ';'){
Posicionar();
break;
}
if((millis() - Temp) >= 2000){
break;
}
//LerTenCorr();
//DisplayAtlz();
}

}

void ObterAngX(){
int cont = 0;
char Ctd1 =0;
TAngx = "";
while(1){
while (Serial.available() > 0) {

Ctd1 = (char)Serial.read();
if(Ctd1 != ',' && isDigit(Ctd1)){
TAngx +=Ctd1;
}else{
break;
}
}

if(Ctd1 == ','){

AngX = TAngx.toInt();
break;
}

}

}

void ObterAngY(){
int cont = 0;
char Ctd2 =0;
TAngy = "";
while(1){
while (Serial.available() > 0) {

```

```

Ctd2= (char)Serial.read();
if(Ctd2 != ',' && isDigit(Ctd2)){
  TAngy+= Ctd2;
}else{
  break;
}

}

if(Ctd2 == ','){

AngY = TAngy.toInt();

break;
}

}
}

void Posicionar(){
//SerialExibir();
SMotorX.write(AngX);
delay(10);
SMotorY.write(AngY);
delay(10);

}

void SensorTenCorr(){

if((millis() - tempDp) >= 750){
  CalcularTenCorr();
  tempDp = millis();
  DisplayAtlz();
}else{
  LerTenCorr();
}
}

void LerTenCorr(){

int NCont = 0;

for(NCont = cAms +10;cAms <
NCont;cAms++){

Tns += analogRead(A0);
Crr += analogRead(A1);
delay(1);

}

}

void CalcularTenCorr(){

Tns = Tns/(cAms+1);
Crr = Crr/(cAms+1);

Tns = ((5*Tns)/(1023));
Crr = ((5*Crr)/(1023));
}
}

```

```

Tensao = 2*Tns;
Corrente = Crr;
}

Tns = 0;
Crr = 0;
cAms = 0;

}

void DisplayAtlz(){
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("TENSAO");
  lcd.setCursor(11,0);
  lcd.print(Tensao);
  lcd.setCursor(15,0);
  lcd.print("V");

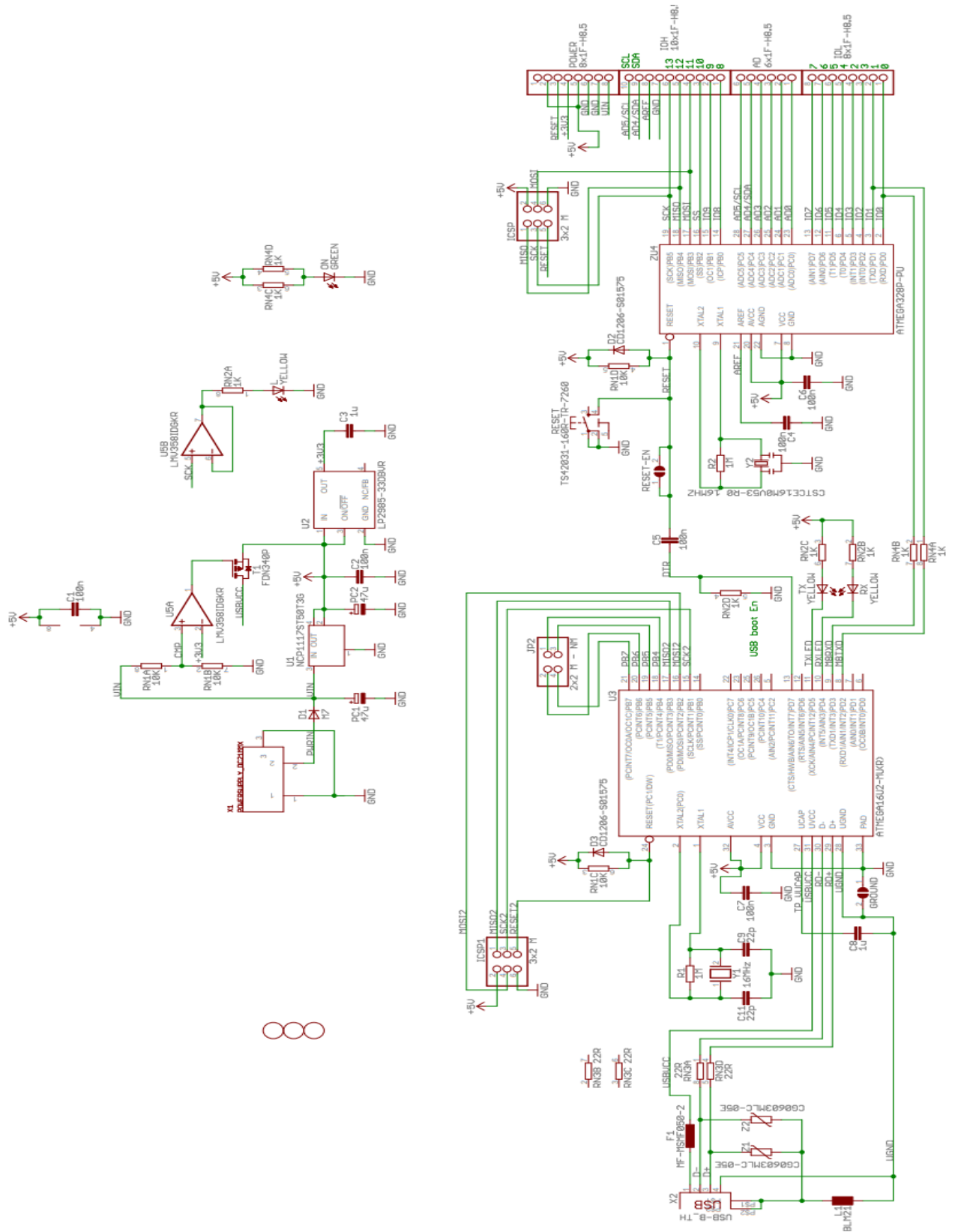
  lcd.setCursor(0,1);

  lcd.print("CORRENTE");
  lcd.setCursor(11,1);
  lcd.print(Corrente);
  lcd.setCursor(15,1);
  lcd.print("A");

  Serial.print(', ');
  Serial.println(Tensao);
  void SerialExibir(){
    Serial.print("X");
    Serial.println(AngX);
    Serial.print("Y");
    Serial.println(AngY);
  }
}

```


ANEXO A – Esquema Elétrico do Arduino



Fonte: <[https://storage.googleapis.com/circuitar-web-media/project/58/files/Arduino_Uno_Rev3-02-TH%20\(Circuitar\).pdf](https://storage.googleapis.com/circuitar-web-media/project/58/files/Arduino_Uno_Rev3-02-TH%20(Circuitar).pdf)>.

ANEXO B – Fluxograma da Programação Geral

