

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO DO RIO GRANDE DO NORTE - IFRN
CAMPUS JOÃO CÂMARA
CURSO DE TECNOLOGIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

FAGNER FELIPE DOMINGOS DANTAS
PEDRO GUILHERME GOMES DE CARVALHO

ÁRVORE FOTOVOLTAICA:
ANÁLISE, SIMULAÇÃO E MONTAGEM DO PROTÓTIPO

JOÃO CÂMARA/RN

2018

FAGNER FELIPE DOMINGOS DANTAS
PEDRO GUILHERME GOMES DE CARVALHO

**ÁRVORE FOTOVOLTAICA:
ANÁLISE, SIMULAÇÃO E MONTAGEM DO PROTÓTIPO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Energias Renováveis.

Prof. Orientador: Dennys Lopes Alves, MSc.

Prof. Coorientador: Luciano Pereira dos Santos Júnior, Dr.

JOÃO CÂMARA/RN

2018

FAGNER FELIPE DOMINGOS DANTAS
PEDRO GUILHERME GOMES DE CARVALHO

**ÁRVORE FOTOVOLTAICA:
ANÁLISE, SIMULAÇÃO E MONTAGEM DO PROTÓTIPO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Energias Renováveis.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em ___/___/___, pela seguinte Banca Examinadora:

Dennys Lopes Alves. Orientador – Presidente

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Luciano Pereira dos Santos Júnior, Coorientador - Examinador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Sâmia Lorena de Medeiros Confessor, Membro da banca - Examinador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a todos que nos incentivaram e
contribuíram para que tudo fosse realizado com sucesso.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por nos ter dado força para chegar a esse momento;

Aos nossos pais que sempre foram muito solícitos e prezaram por nossa educação;

Ao nosso orientador Dennys Lopes Alves e coorientador Luciano P. dos Santos Júnior;
pela confiança e sabedoria com o qual nos orientaram durante a realização deste trabalho;

Aos Docentes pelos ensinamentos e amizade;

A Samuel, pela grande ajuda no desenvolvimento da estrutura do protótipo;

E a todos que de alguma maneira contribuíram de forma direta ou indiretamente para essa
conquista.

“Nós somos o que fazemos repetidamente. A excelência
portanto, não é um ato, mas um hábito.”
Aristóteles

RESUMO

O presente trabalho retrata um sistema de captação de luz solar para obtenção de eletricidade: a árvore solar fotovoltaica. Além disso, aborda algumas das etapas que foram necessárias à realização das simulações, os cálculos correlacionados, explicações acerca do princípio operativo e os elementos necessários à montagem do primeiro e do segundo protótipo. Quanto aos aspectos metodológicos utilizou-se de pesquisas bibliográficas em trabalhos similares e correlatos à temática, simulações computacionais no *software Labcenter Proteus 7*, seguidos da aquisição de dados em campo, após a construção do respectivo protótipo. O principal objetivo do protótipo é maximizar a produção de energia solar fazendo uso da sequência de Fibonacci, objetivando utilizar uma menor área terrestre para a finalidade anterior e proporcionar uma estrutura que é diretamente ligada à natureza, nos remetendo a sustentabilidade. Todo o trabalho descrito durante o transcorrer deste texto foi desenvolvido dentro das instalações físicas do Instituto Federal de Educação do Rio Grande do Norte - Campus João Câmara entre os meses de setembro de 2017 e fevereiro de 2018. A eletricidade gerada é proveniente da instalação de minimódulos fotovoltaicos posicionados nos galhos da versão inicial da árvore desenvolvida. O sistema incorpora uma fonte de tensão, uma fonte de corrente e um circuito de amostragem e apresentação dos valores de tensão e corrente gerados. Os resultados obtidos são satisfatórios, porém conclui-se haver a necessidade de incluir dispositivos de proteção contra sobrecargas e sobrecorrente, além de circuitos de proteção contra inversão de polaridade dos bornes de saída das respectivas fontes.

Palavras Chaves: Árvore Fotovoltaica. Árvore Solar. Fonte de Corrente Fotovoltaica.

ABSTRACT

The present work shows a system of capture of sunlight to obtain electricity: solar photovoltaic solar. In addition, we cover the steps necessary to perform the simulations, the correlated calculations, explanations about the operating principle and the fundamental elements for the assembly of the first and second prototypes. As for the methodological methods, we used bibliographical research in similar works and related to the subject, computational simulations in the software Labcenter Proteus 7, followed by the acquisition of data in the field, after a construction of the respective prototype. The main objective of the prototype is to maximize a solar energy production using the Fibonacci sequence, use a smaller land area for an earlier purpose and be a structure in which it is linked to nature, referring to sustainability. All the work described in the scope of the Federal Institute of Education of Rio Grande do Norte - Campus João Câmara between September 2017 and February 2018. A generated and proven electricity of installation of photovoltaic minimodules positioned in the branches of the original version of the developed version . The system incorporates a voltage source, a current source and a sampling circuit, and displays the generated voltage and current values. The results obtained are satisfactory, but there are devices to protect against overloads and overcurrents, as well as circuits to protect against polarity inversion of the origin born from the sources.

Keywords: Photovoltaic Tree. Solar Tree. Photovoltaic Current Source.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVO	11
2.1. OBJETIVOS GERAIS.....	11
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
3. JUSTIFICATIVA.....	12
4. METODOLOGIA	12
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
5.1. IRRADIAÇÃO SOLAR.....	14
5.2. TIPOS DE RADIAÇÃO	15
5.3. INSTRUMENTOS SOLARIMÉTRICOS	16
5.4. TIPOS DE TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA.....	17
5.4.1. CÉLULAS DE SILÍCIO MONOCRISTALINO E POLICRISTALINO	17
5.4.2. FILMES FINOS E ORGÂNICOS.....	18
5.5. RENDIMENTOS DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.....	19
5.6. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E UMIDADE	19
5.7. O CIRCUITO EQUIVALENTE A UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA.....	21
5.8. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	22
5.9. SISTEMAS AUTÔNOMOS OU ISOLADOS (<i>OFF GRID</i>)	22
5.10. INCLINAÇÃO E DIMENSÕES DO MÓDULO FOTOVOLTAICO	24
5.11. ÁRVORE SOLAR FOTOVOLTAICA	25
6. RESULTADOS E DISCURSÕES	27
7. CONCLUSÃO	46
8. REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

Quando se fala em energia, deve-se lembrar de que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia na Terra. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas, em sua maioria, da energia do Sol (PINHO & GALDINO, 2014).

Conforme Lopez (2012), a demanda mundial por eletricidade cresce rapidamente, mesmo considerando os impactos negativos que acompanham algumas formas de geração convencional, tais como a nuclear e combustível fóssil. Este fato levou à necessidade de eletricidade alternativa, com os produtores considerando os recursos renováveis para suprir a demanda sem agregar danos ao ambiente.

Embora ainda tímidas e com participação muito reduzida na matriz energética mundial, o uso das fontes alternativas vem crescendo muito em todo o planeta. Em diversos países, apesar de suprirem apenas uma fração da demanda de eletricidade, essas fontes já são consideradas maduras e ocupam importante espaço nas políticas públicas e nos investimentos privados (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

Segundo o Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia - CERNE, hoje em dia, muitas das fontes consideradas renováveis têm aproximadamente o mesmo valor das fósseis em alguns países. Para ter-se noção, o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - Coppe/UFRJ junto com o *GreenPeace* lançaram um relatório denominado Revolução Energética. O documento faz uma estimativa para até 2050 de um Brasil com 100% de participação de fontes renováveis em sua matriz.

A eletricidade é considerada insumo fundamental para o desenvolvimento econômico e social. Apesar disso, cerca de 30% da população mundial não tem acesso à eletricidade (LOPES, 2012). Dessa forma, a energia solar fotovoltaica produzida poderia sanar esse tipo de problema, pois conforme Villalva & Gazoli (2012), os sistemas autônomos, também chamados sistemas isolados, são empregados em locais não atendidos por uma rede elétrica. Podem ser usados para fornecer eletricidade para residências e zonas rurais, na praia, no camping, em ilhas e em qualquer lugar onde a energia elétrica não esteja disponível.

A partir de observações de um jovem chamado Aidan Dwyer, descobriu-se que as árvores poderiam ser a solução para um problema de produtividade. Ele chegou a conclusão de que as árvores seguiam uma sequência denominada como Fibonacci, e no caso das plantas, o mesmo afirma, e muitos cientistas abraçam a teoria que elas resultam num ganho de coleta de luz solar devido ao seu arranjo estrutural. A ideia foi colocar painéis fotovoltaicos nas pontas dos galhos de um protótipo de árvore, imitando as folhas. Com esta invenção, Dwyer ganhou o prêmio de Jovem Naturalista, concedido pelo Museu Americano de História Natural em 2011.

Desta forma, o referente trabalho tem como objetivo produzir eletricidade por meio de uma forma não convencional, de modo a economizar espaço, podendo ser transportada facilmente para outros locais, além de apresentar resultados de temperatura, umidade, tensão e corrente através de *displays*. Após a realização de cálculos, pode-se notar as possibilidades existentes de tensão e corrente produzidas por este mecanismo.

Um dos objetivos deste trabalho é chamar a atenção das pessoas por meio da utilização de uma estrutura não convencional, como é o caso da árvore fotovoltaica. A mesma faz referência a sustentabilidade, o que torna a proposta mais atrativa. Esta árvore que gera eletricidade parece ideal para ser instalada em qualquer ambiente, em especial nos que sofrem com a falta de espaço como é o caso dos centros urbanos. A árvore fotovoltaica surgiu com a necessidade de aproveitar ao máximo o potencial solar existente, baseando-se na natureza. Além disso, a mesma pode contribuir economicamente e ambientalmente, reduzindo a poluição, permitindo ao usuário produzir sua própria energia, além de impulsionar o mercado das energias renováveis.

Segundo Santos (2005), a fotossíntese pode ser considerada como um dos processos biológicos mais importantes na Terra. Por liberar oxigênio e consumir dióxido de carbono, a fotossíntese transformou o mundo no ambiente habitável que conhecemos hoje. Dessa forma, as árvores são responsáveis por absorver o principal agente para o efeito estufa: o CO₂. Ele está presente na atmosfera e as árvores transformam o CO₂ em oxigênio por meio da fotossíntese. Fazendo analogia a estrutura de uma árvore, produziu-se um protótipo que se assemelha a sequência de Fibonacci, que é reconhecida mundialmente por diversos matemáticos, e que no caso das árvores, gera um aumento de absorção da radiação solar. O protótipo desenvolvido oferece diferentes entradas para as pessoas, como: *USB*, inversor, *plug* P04 e P06. Além disso, oferece resultados instantâneos de tensão, corrente, temperatura e umidade.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver um sistema fotovoltaico autônomo montado sobre a estrutura de uma árvore, emulando uma árvore solar fotovoltaica. O referido protótipo poderá ser utilizado, com o intuito de maximizar a produção de eletricidade, uma vez que a própria estrutura oferece uma redução de área a ser utilizada e fornecer aos usuários fontes de tensão, corrente e valores de tensão, corrente, temperatura e umidade do entorno da árvore através de *displays*. Como objetivo secundário, o presente trabalho visa ainda despertar o interesse das pessoas em relação à utilização das fontes renováveis de energia, cooperando pela redução de gases poluentes na atmosfera.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Desenvolver um protótipo de árvore solar fotovoltaica;
- Implementar um código para utilização de um sensor de temperatura/umidade;
- Montar um circuito regulador ajustável de tensão, a partir da utilização do circuito integrado *LM317* destinado a cargas alimentadas em tensão contínua;
- Elaborar um circuito regulador fixo de tensão, a partir da utilização do circuito integrado *LM7805* destinado a suprir portas *USB*;
- Produzir uma fonte de corrente destinadas a alimentar uma bateria, sendo esta última destinada suprir os bornes de saída da *stringbox*.

3. JUSTIFICATIVA

Sendo a poluição um ato que prejudica a vida em geral, invade a integridade e a saúde dos seres vivos, torna-se fundamental eliminá-la. Em razão do elevado uso de combustíveis fósseis pela humanidade, hoje percebe-se a necessidade de utilizar fontes renováveis, mesmo essas ainda sendo mais caras que os anteriores. Dessa forma, o presente trabalho propõe uma maneira de aproximar às pessoas das energias renováveis, visando a diminuição da poluição e a otimização das áreas empregadas para produção de energia solar fotovoltaica.

A energia solar fotovoltaica é uma das fontes que menos carecem de manutenção. A utilização de uma fonte que além de produzir energia renovável, não emite gases poluentes durante a produção de eletricidade e não produz nenhum ruído é de se apreciar. A geração de eletricidade residencial cresceu com intensidade devido a utilização dessa fonte alternativa de energia, servindo como complemento a matriz energética também. Além disso, ao adotar um tipo de sistema de geração como esse, reduz-se as perdas que ocorrem na linha de transmissão da distribuidora de energia. Refletindo sobre esses fatos, originou-se a árvore solar fotovoltaica.

4. METODOLOGIA

A princípio houve uma discussão acerca do que pretendia-se realizar no trabalho (foi analisado a viabilidade da construção de um protótipo de árvore, em qual árvore basear-se para criar este protótipo, verificou-se ainda qual seria o valor do investimento, entre outras coisas). Tudo isso só aconteceu quando se descobriu a árvore solar fotovoltaica, por meio de um vídeo, em seguida explorou-se mais a respeito desta temática.

Estabeleceu-se a escolha da quantidade e tipo das células fotovoltaicas a partir das características: tensão, corrente, potência, tamanho da área da célula fotovoltaica, encontradas na internet. Como tinha-se em mente desenvolver um protótipo de árvore capaz de fornecer eletricidade aos usuários, tornou-se necessário selecionar um painel com dimensões mais elevadas para aumentar a área de captação de luz.

Quando finalmente decidiu-se construir o protótipo, conduziu-se à necessidade da seleção dos materiais. Esses não poderiam ser muito leves já que a região de João Câmara-RN é rica em vento, sem mencionar que os minimódulos ou células fotovoltaicas são bem sensíveis, dessa forma, não poderiam sofrer qualquer risco de cair. Propôs-se elaborar uma base pesada para sanar essa adversidade, mas que ao mesmo tempo não se tornasse difícil de ser transportada.

Foi necessária a realização de soldagens nos terminais das células para conseguir-se inserir os cabos positivos e negativos (já que elas não vieram com os cabos interligados nos terminais). Houve ainda verificação da continuidade e a tensão de circuito aberto (V_{OC}) produzido por cada célula fotovoltaica (para realmente certificar-se que a solda foi bem-feita, ou se alguma célula não estava funcionando).

Interligou-se em série, paralelo e misto cada célula para testar seu funcionamento e verificou-se os valores produzidos antes de coloca-las na estrutura do protótipo. Quando montou-se o protótipo (tronco e galhos da árvore), passou-se os cabos das células fotovoltaicas e uniu-se estas na estrutura da árvore. Também verificou-se as tensões produzidas após a inserção das células na estrutura da árvore (verificação do funcionamento).

Utilizou-se o programa computacional *Isis Proteus 7 Student Version* do *LabCenter Electronics* para simulação dos circuitos eletrônicos. Desenvolveu-se também circuitos para a conectividade do protótipo (portas *USB*, *plugs "banana"*, *plugs P04* e *P06*).

Desenvolveu-se um código na plataforma Arduino para medição de temperatura e umidade do entorno da árvore, para que os mesmos aparecessem em um *display* que ficou acessível para as pessoas na base da árvore.

No que se refere a classificação desta pesquisa científica, quanto a natureza, a mesma pode ser rotulada como aplicada, já que possui finalidades imediatas, além de gerar produtos e/ou processos. Segundo Gil (2008), a pesquisa aplicada, por sua vez, apresenta muitos pontos de contato com a pesquisa pura, pois depende de suas descobertas e se enriquece com o seu desenvolvimento; todavia, tem como característica fundamental o interesse na aplicação, utilização e consequências práticas dos conhecimentos.

O produto gerado foi o protótipo que também possui alguns outros elementos que foram inseridos no modelo da árvore, como foi o caso das caixas de conexão que contém os *displays* com os valores produzidos de tensão, corrente e a outra responsável por apresentar a

temperatura e umidade da localidade, sem mencionar-se a conectividade (portas *USB*, P04, P06 e *plugs* para conexão de inversores fotovoltaicos que também se fizeram presentes).

Quando a pesquisa encontrava-se na fase preliminar, a mesma tinha tem como finalidade proporcionar mais informações sobre o assunto que vamos investigar, possibilitando sua definição e seu delineamento, isto é, facilitando a delimitação do tema da pesquisa; orientar a fixação dos objetivos e a formulação das hipóteses ou descobrir um novo tipo de enfoque para o assunto (PRODANOV & FREITAS, 2013). Dessa forma, do ponto de vista da classificação da pesquisa científica, inicialmente, classificaríamos como exploratória, visto que estávamos com a pretensão de obter mais informações acerca do tema em questão, assim como, também definir os objetivos para esta.

Entretanto, o tipo de pesquisa deste trabalho aproxima-se do modelo descritivo, uma vez que passamos a registrar e descrever os fatos observados sem interferir neles. Como expõe Perovano (2014), o processo descritivo visa à identificação, registro e análise das características, fatores ou variáveis que se relacionam com o fenômeno ou processo.

Quando o pesquisador procura explicar os porquês das coisas e suas causas, por meio do registro, da análise, da classificação e da interpretação dos fenômenos observados. Visa a identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos; “aprofunda o conhecimento da realidade porque explica a razão, o porquê das coisas.” (GIL, 2010, p. 28). A pesquisa mais uma vez sofreu modificação, encaixando-se em explicativa, pois a partir de registros, análises, classificação e interpretações dos fenômenos observados, pode-se explicar as suas causas.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. IRRADIAÇÃO SOLAR

O valor do somatório da média anual da irradiação solar global se configura com um dado relevante para o dimensionamento de sistemas solares fotovoltaicos. Durante o ano, a irradiação solar global sofre variações ao longo do dia, sendo esta variação muito influenciada pela radiação direta. Além da irradiação solar global, o número de horas de luz (insolação) é também frequentemente utilizado para o dimensionamento de projetos de sistemas solares (LEÇA, 2014). Dados de irradiação podem ser obtidos, dentre outras formas, a partir de consultas a atlas solarimétricos, como por exemplo, o apresentado na Figura 1, ou mediante consulta em bases de dados disponíveis na internet.

Em consonância com Queiroz (2005), pode-se afirmar que os países tropicais, como consequência de seu posicionamento geográfico, possuem grande capacidade energética, por conseguinte são bastante favoráveis a exploração do potencial energético proveniente dos equipamentos solares. O Brasil, ainda de acordo com Queiroz (2005), possui significativo

potencial solar com disponibilidade equivalente a $1,13 \times 10^{10}$ GWh, em quase todo o ano, como acontece, por exemplo, no Nordeste brasileiro.

De acordo com o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica de Sergio de S. Brito – CRESESB, a cidade de Natal/RN ($-05^{\circ} 47' 42'' e - 35^{\circ} 12' 34''$), possui uma irradiação solar média anual de aproximadamente $5,66 kWh/m^2.dia$, enquanto a cidade de Ceará Mirim/RN ($-05^{\circ} 38' 04'' e - 35^{\circ} 25' 32''$), possui cerca de $5,5 kWh/m^2.dia$. Como a cidade de interesse é a de João Câmara/RN ($-05^{\circ} 32' 15'' e - 35^{\circ} 49' 11''$), localizada nas proximidades das duas cidades anteriores, e o CRESESB não oferece dados referentes especificamente a cidade de João Câmara/RN, adota-se que a mesma tem por volta de $5,5 kWh/m^2.dia$, uma vez que esta última está mais próxima de Ceará Mirim/RN. Tal valor explicita o potencial fotovoltaico da cidade de interesse, em razão do índice de irradiação bastante promissor a produção de eletricidade fotovoltaica.

Na Figura 1, quanto mais escuro o tom de vermelho, maior a média anual do índice de irradiação global horizontal.

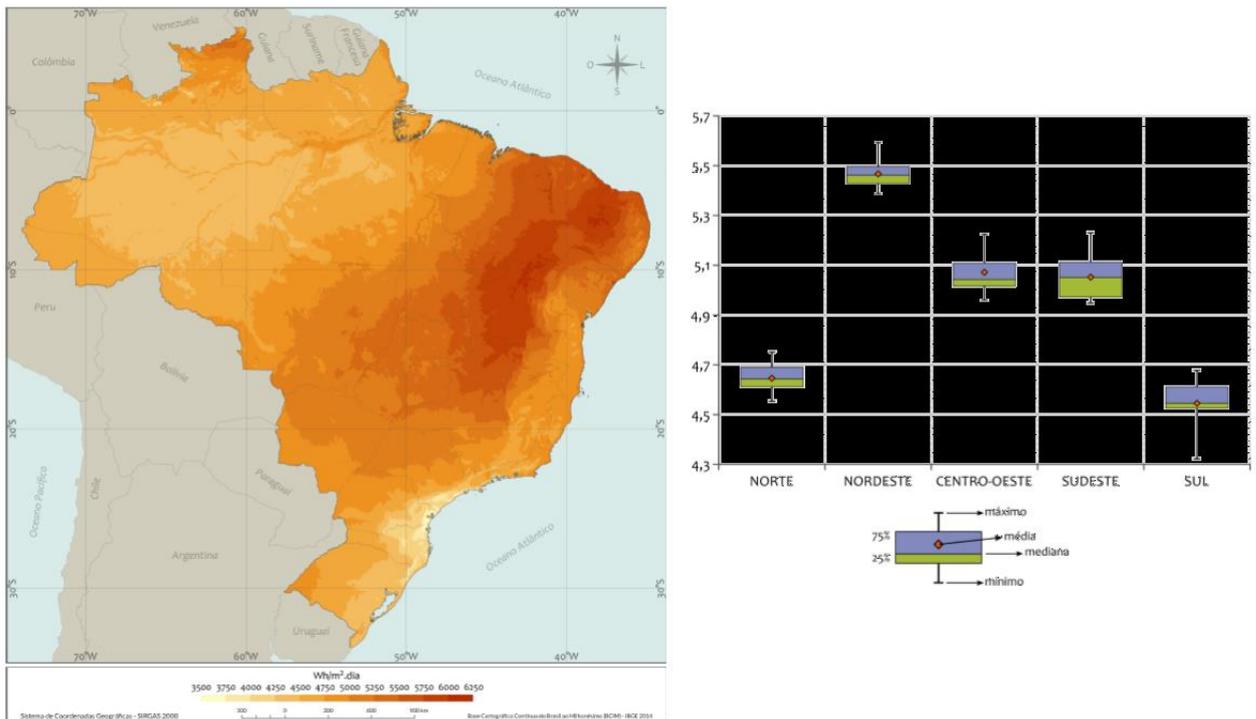


Figura 1: Total diário da irradiação global horizontal (a) e Variabilidade das médias anuais dos totais diários de irradiação global horizontal de 2005 a 2015 para cada uma das regiões do Brasil (b). Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA, et al, 2017).

5.2. TIPOS DE RADIAÇÃO

Considerando a radiação solar que chega à superfície terrestre e incidente sobre uma superfície receptora para geração de energia, tem-se que ela é constituída por uma componente direta (ou de feixe) e por uma componente difusa. A radiação direta é aquela que provêm diretamente da direção do Sol e produz sombras nítidas. A difusa é aquela proveniente de todas as direções e que atinge a superfície após sofrer espalhamento pela atmosfera terrestre (PINHO & GALDINO, 2014).

Uma grandeza empregada para quantificar a radiação solar é a irradiância, geralmente chamada também de irradiação, expressa na unidade de W/m^2 (VILLALVA & GAZOLI, 2012). Entretanto alguns autores adotam que a irradiância é em outras palavras a potência entregue pelo sol, dado em (watt por metro quadrado), enquanto que a irradiação é o somatório da potência (irradiância em um intervalo de tempo), ou seja, a irradiação é energia (kWh/m^2 , Wh/m^2 , etc), é também conhecida como insolação.

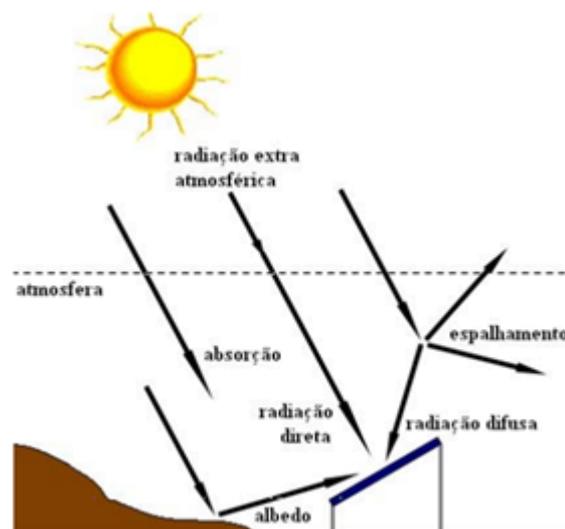


Figura 2: Tipos de radiação. Disponível em: < <http://hccengenharia.com.br/a-irradiancia-solar-no-rio-grande-do-sul-e-suficiente-para-gerar-energia-solar/> >. Acesso em: 08/03/18.

Segundo Pereira et al. (2006), o albedo de superfície é função da refletância da camada de cobertura do solo e de seu uso. Essa refletância varia no transcorrer do ano dependendo do estágio de crescimento da vegetação, estação do ano e variações interanuais do clima.

A radiação global é a soma da radiação direta e da radiação difusa. A radiação direta corresponde aos raios solares que chegam diretamente do Sol em linha reta e incidem sobre o plano horizontal com uma inclinação que depende do ângulo zenital do Sol (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

5.3. INSTRUMENTOS SOLARIMÉTRICOS

Segundo o CRESESB (2014), a medição da radiação solar, tanto a componente direta como a componente difusa na superfície terrestre é de maior importância para o estudos das influências das condições climáticas e atmosféricas. Com um histórico dessas medidas, pode-se viabilizar a instalações de sistemas térmicos e fotovoltaicos em uma determinada região garantindo o máximo aproveitamento ao longo do ano onde, as variações da intensidade da radiação solar sofrem significativas alterações.

A radiação global pode ser medida por um instrumento denominado piranômetro, que consiste em uma redoma de vidro que recebe luz de todas as direções e a concentra em um sensor de radiação solar instalado em seu interior (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

Conforme o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), o pireliômetro é um radiômetro que emprega o mesmo princípio de medida da radiação solar utilizado no piranômetro por termopilha. No entanto, este instrumento é dotado de um colimador com abertura para possibilitar que apenas a componente direta normal da radiação solar incida no sensor.



Figura 3: Piranômetro (a). Disponível em: < http://sonda.ccst.inpe.br/fotos/PTR/2004/petrolina_83.html >. Acesso em: 19/02/18. Pireliômetro (b). Disponível em: < http://recursosolar.geodesign.com.br/Pages/Pyrheliometer_RS.html >. Acesso em: 08/03/18.

5.4. TIPOS DE TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

5.4.1. CÉLULAS DE SILÍCIO MONOCRISTALINO E POLICRISTALINO

As principais tecnologias empregadas na produção de energia solar fotovoltaica são as células de silício cristalino (c-Si), filmes finos e orgânicos. Alguns autores as classificam em gerações, sendo a primeira geração de silício cristalino – c-Si, a segunda é chamada de filmes finos e a terceira são as conhecidas como células orgânicas - *OPV*.

Segundo Lopez (2012), o silício cristalino é a tecnologia mais empregada atualmente, com uma participação de 95% do mercado de células fotoelétricas. Painéis solares feitos de células de silício cristalino têm rendimento de 13 a 17%.

Há dois tipos de silício cristalino, o monocristalino (m-Si) e o policristalino (p-Si). De acordo com Villalva e Gazoli (2012), as células de silício monocristalino são as mais eficientes produzidas em larga escala e disponíveis comercialmente. Alcançam eficiências de 15 a 18%, mas tem um custo de produção mais elevado do que outros tipos de células. São células rígidas e quebradiças, que precisam ser montadas em módulos para adquirir resistência mecânica para o uso prático.

Silício Policristalino: As células são formadas por vários cristais de silício e a vantagem é que possuem um custo menor de fabricação em relação ao monocristalino e sua eficiência é comparável (EPE, 2012).



Figura 4: Células de silício monocristalino e policristalino respectivamente. Disponível em: < <https://pt.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/tipos-celulas-fotovoltaicas> >. Acesso em: 08/03/18.

5.4.2. FILMES FINOS E ORGÂNICOS

Conforme Varella e Gomes (2009), no intuito de se buscar alternativas na fabricação de células fotovoltaicas, principalmente para redução dos seus custos, muitos trabalhos de pesquisa vêm sendo realizados no mundo todo. Um dos principais campos de investigação é o de células fotovoltaicas de filmes finos. Atualmente há três tipos de módulos fotovoltaicos de filme fino disponíveis no mercado que são fabricados a partir de silício amorfo (Si-a), disseleneto de cobre-índio (CIS) e telureto de cádmio (CdTe).

As tecnologias de filmes finos, sendo inerentemente menos eficientes e também por estarem ainda na infância de seu desenvolvimento, têm no momento um rendimento ao redor de 7 a 10% para módulos comercialmente disponíveis, o que significa que se necessita de aproximadamente o dobro da área em módulos solares de filmes finos para obter a mesma potência instalada com painéis de c-Si. Apesar de os painéis solares de filmes finos terem já hoje um preço inferior por Wp^3 (ou seja $\$/potência$, ou $\$/energia$) ao dos de c-Si, a área ocupada para uma determinada potência instalada deve ser levada em consideração na análise econômica, quando da opção por uma ou outra tecnologia fotovoltaica (RÜTHER, 2004).



Figura 5: Exemplo de célula de filme fino flexível (a). Disponível em < http://www.sunenergy.eco.br/componentes_fotovoltaicos.php?menu=energia_solar_comp >. Acesso em: 15/10/17. Exemplo de uma célula solar do tipo orgânica – OPV (b). Disponível em: < <http://www.pensamentoverde.com.br/produtos/tinta-organica-que-gera-energia-solar-deve-chegar-ao-mercado/> >. Acesso em: 08/03/18.

5.5. RENDIMENTOS DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A Tabela 1 apresenta de forma resumida

Tabela 1: Rendimentos de acordo com a tecnologia da célula fotovoltaica.

Materiais e/ou Tecnologias	Células	Módulos
Silício Monocristalino – m-Si	14% a 25%	14% a 21%
Silício Policristalino – p-Si	20%	13 a 16,5%
Orgânicas	12%	7 a 12%
Filmes Finos	9 a 16%	7 a 13%
Silício Amorfo – a-Si	9%	6 a 9%
Telureto de Cádmio – CdTe	14,4%	9 a 11%
Seleneto de Cobre, Índio e Gálio - CIGS	22%	10 a 12%
Híbrido – HJT	-----	23%

Fonte: Martins et. al. (2015) – adaptado.

5.6. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E UMIDADE

A temperatura ambiente é um dos fatores externos que mais é estudado na literatura da energia fotovoltaica, já que é o segundo fator com maior correlação e afetação no desempenho dos módulos. Com a variação da temperatura, o fator que varia de forma mais drástica é a tensão de saída, e por outro lado a corrente apresenta uma variação mínima (CANTOR, 2017).

Segundo Rütther (2004), vários parâmetros podem afetar o rendimento do conjunto de módulos solares fotovoltaicos, também denominado gerador fotovoltaico. O principal deles é

o parâmetro radiação solar, que depende fundamentalmente da localização geográfica da instalação, bem como de sua inclinação e orientação.

Como explica Beltrão (2008), a condição padrão para se obter as curvas características é definida pela norma E-1036 *Standard Methods for Testing Electrical Performance of Nonconcentrator Terrestrial Photovoltaic Modules and Arrays Using Reference Cells*, como sendo temperatura de 25°C na célula, radiação de 1000 W/m² (radiação recebida na superfície da Terra em dia claro, ao meio dia) e distribuição espectral AM 1,5. Alguns fabricantes, com o objetivo de complementar as informações dos módulos em *Standard Test Conditions* (STC) informam também a *Nominal Operation Cell Temperature* (NOCT), definida como a temperatura que as células atingem quando submetidas às condições consideradas mais próximas da realidade.

A análise da Figura 6 permite verificar que a elevação da temperatura de uma célula fotovoltaica provoca nesta uma redução de sua tensão de saída, por conseguinte a mesma tende a perder rendimento. A disponibilidade de radiação solar, apesar da extrema relevância, não é o único fator a ser considerado para a produção de eletricidade por meio da energia fotovoltaica, uma vez que a radiação solar acompanha-se frequentemente da temperatura, influenciando consideravelmente na produção de energia.

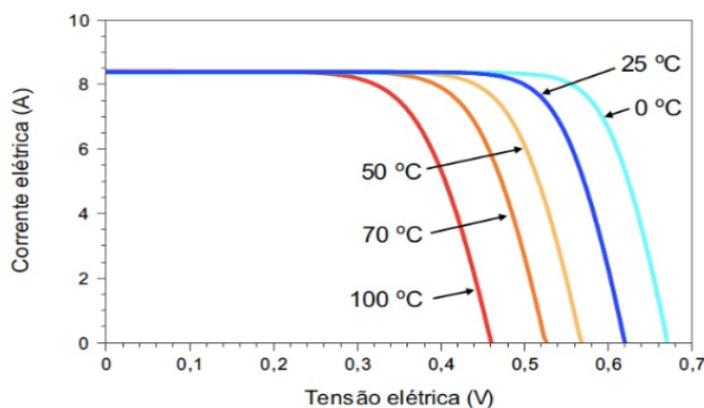


Figura 6: Efeito provocado pela temperatura da célula na curva característica I versus V (considerando 1000 W/m²) no módulo solar fotovoltaico.

Fonte: ROCHA, 2014.

Na troca de calor entre módulos fotovoltaicos e o ambiente que lhe rodeia, existe dois tipos de convecção que interatuam nos sistemas fotovoltaicos, os quais a convecção natural e convecção forçada, esta última, fortemente ligada com a velocidade do vento na vizinhança dos módulos. Quanto maior a altura dos painéis, maior será a velocidade do vento passando pelos módulos. Quando a velocidade do vento é pouca ou nula, a convecção é chamada de natural ou livre, devido a diferença permanente de temperatura entre o módulo e o ar (CANTOR, 2017).

Cantor (2017) explica que quando a luz atinge uma gota de água no ar, três situações podem acontecer: refração, reflexão ou difração. Em qualquer desses casos, a quantidade de radiação direta que atinge os módulos será menor do que sem partículas de água no ar. A umidade altera a irradiância de forma não linear e a própria irradiância provoca pequenas variações no VOC de forma não linear e grandes variações no ISC .

5.7. O CIRCUITO EQUIVALENTE A UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA

De acordo com Hecktheuer (2001), nem toda a corrente estabelecida pelas células reais é fornecida para a carga. Essas células apresentam fugas de corrente que são proporcionais a tensão. Para representar estas fugas, é adicionada ao circuito equivalente uma resistência em paralelo com o diodo. Para células de boa qualidade, as fugas de corrente são muito pequenas e portanto a resistência paralela tende ao infinito. Um outro fator que deve ser levado em conta é a queda de tensão ocasionada pela circulação de corrente através da própria célula, grade de metalização da sua face frontal e contatos elétricos. Para levar em conta essa queda de tensão, é acrescentada uma resistência série ao circuito equivalente. Células fotovoltaicas de boa qualidade apresentam baixos valores de resistência série.

Souza (2014) explica que a recombinação de cargas reduz principalmente a tensão de circuito aberto de uma célula solar e aumenta o fator idealidade do diodo (n), que tem como consequência a distorção da curva $I-V$ no ponto de máxima potência (PM) [4]. As perdas ôhmicas são inevitáveis e podem ser modeladas através do uso de uma resistência série (R_S), que representa as perdas no material semiconductor, na malha de metalização e no contato do metal com o silício, e uma resistência paralela (R_P), que descreve as imperfeições da junção pn, as impurezas do cristal e corrente de fuga do diodo, que afetam a potência de saída da célula, deteriorando o fator de forma de sua curva de corrente versus tensão com o aumento da temperatura ou radiação, além de modificar a corrente de saturação da junção (I_0).

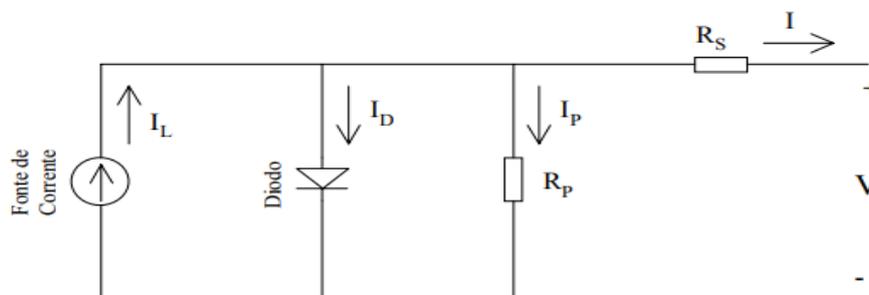


Figura 7: Circuito equivalente a uma célula fotovoltaica real.

Fonte: (HECKTHEUER, 2001).

5.8. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Sistemas isolados, em geral, utilizam-se alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento pode ser feito através de baterias, quando se deseja utilizar aparelhos elétricos, ou armazenar-se na forma de energia gravitacional quando se bombeia água para tanques em sistemas de abastecimento. Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, o que é o caso da irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida ou estocadas em reservatórios (CÂMARA, 2011).

Na visão de Oliveira (2017), os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) são caracterizados por um conjunto de componentes eletroeletrônicos, sendo os principais os Módulos Fotovoltaicos, capazes de converter energia solar em energia elétrica; e o Inversor, que promove a conversão da energia em corrente contínua para alternada e a injeção dessa energia diretamente na rede elétrica. Esse tipo de sistema pode ser usado tanto para geração de energia em grande escala, como nas usinas centralizadas, quanto para a geração distribuída. No caso da micro e da minigeração distribuída, a quantidade de energia gerada é medida pelo medidor bidirecional da concessionária, assim como a que se consome da rede elétrica.

Na perspectiva de Silvestri e Takasaki (2014), quanto à configuração, os sistemas podem ser:

- a) **Sistemas puros:** utilizam gerador fotovoltaico como único gerador de energia elétrica;
- b) **Sistemas híbridos:** onde há a associação do gerador fotovoltaico com outros tipos de geradores de energia elétrica.

5.9. SISTEMAS AUTÔNOMOS OU ISOLADOS (*OFF GRID*)

Sistema isolado: é quando o sistema atende uma carga utilizando somente energia fotovoltaica. Nesse tipo de sistema, geralmente, necessita-se alguma forma de armazenamento. O armazenamento de energia pode ser na forma de baterias, para o acionamento dos equipamentos elétricos nos períodos que não há geração fotovoltaica (ZANIRATO; MOURA; CORDEIRO, 2011).

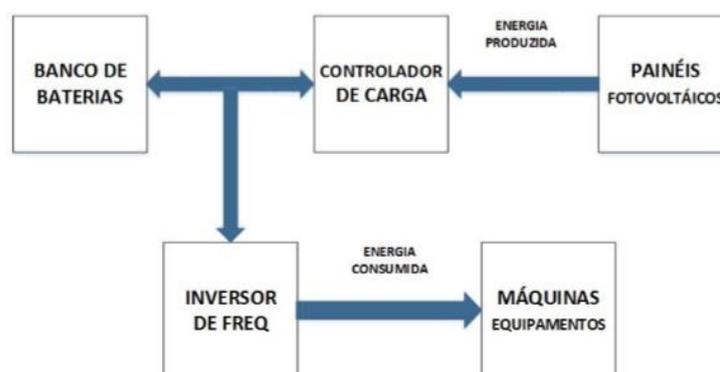


Figura 8: Esquema ilustrativo de um sistema autônomo.

Fonte: (ALVES, 2016).

De acordo com Oliveira (2017), esses sistemas são divididos em três classes básicas: autônomos com baterias, híbridos e de bombeamento de água. A seleção do sistema mais adequado depende das finalidades que se pretende dar à eletricidade produzida, da análise econômica, do nível de confiabilidade de fornecimento de eletricidade que se deseja e de outras condições específicas de cada projeto.

Nestes sistemas, um controlador de carga condiciona a energia gerada para um banco de baterias eletroquímicas. Além de evitar a sobrecarga e/ou sobrecorrentes nas baterias, ele é utilizado para garantir que os painéis solares fotovoltaicos produzam o máximo de potência possível em qualquer condição atmosférica (CRUZ, 2012). Isso se aplica para sistemas autônomos com baterias.

Os controladores de carga de sistemas fotovoltaicos possuem controle automático de máxima potência, que é feito pelo ajuste da corrente e tensão no painel FV. Este processo fornece até 30% a mais energia em painéis FV, representando um valor significativo no projeto do sistema (LOPEZ, 2012).

Na perspectiva de Villalva e Gazoli (2012), a presença de bateria é necessária para proporcionar fornecimento constante de energia para o consumidor e para evitar desperdício da energia gerada quando o consumo é baixo, permitindo seu armazenamento para uso posterior, nos momentos em que houver pouca ou nenhuma radiação, no período da noite e nos dias nublados e chuvosos.

O inversor é um equipamento eletrônico que converte a eletricidade de tensão e corrente contínuas (CC) em tensão e corrente alternadas (CA). O inversor é necessário nos sistemas fotovoltaicos para alimentar consumidores em corrente alternada a partir da energia elétrica de corrente contínua produzida pelo painel fotovoltaico ou armazenada na bateria (VILLALVA & GAZOLI, 2012).



Figura 9: Esquema para um sistema autônomo de geração fotovoltaico. Disponível em: < <https://www.aldeiasolar.com/produtos-e-servicos> >. Acesso em: 08/03/18.

5.10. INCLINAÇÃO E DIMENSÕES DO MÓDULO FOTOVOLTAICO

Os sistemas fotovoltaicos ainda podem ser classificados quanto ao seu posicionamento: com painéis estáticos ou móveis. O primeiro caso, tal qual o nome já diz, é estático, o painel fica em uma posição fixa o tempo todo, inclinação definida de acordo com o perfil de insolação do local de sua localização. No segundo caso, o painel, ou um conjunto deles, tem sua inclinação variada através de um sistema de controle (KRUG & LOPES, 2016).

Na visão de Braga (2008), o sol possui movimento aparente no céu de acordo com a hora do dia e com o dia do ano. Para receber maior intensidade luminosa é necessário fazer o acompanhamento desses movimentos. Entretanto, os módulos normalmente são instalados em posição fixa, devido ao elevado custo dos equipamentos que permitem sua movimentação (seguidores ou *trackers*). Dessa forma, é fundamental determinar a melhor inclinação para cada região em função da latitude local e das características da demanda.

A área ocupada por um arranjo fotovoltaico é uma limitação para as tecnologias fotovoltaicas que apresentam uma menor eficiência de conversão (RÜTHER, 2004).

O suporte dos módulos solares é muito importante para a correta inclinação destes. É necessário realizar alguns cálculos para dimensionar o suporte dos painéis solares, como mostra abaixo. Além disso, é de suma importância determinar a orientação deste, por exemplo: orientação norte.

Z : altura da haste de fixação;

$$Z = L \times \text{sen}(\alpha)$$

Onde α é o ângulo de inclinação, e L o comprimento do módulo;

X : Distância entre a borda do módulo no solo e a barra de sustentação.

$$X = \cos(\alpha) * L$$

5.11. ÁRVORE SOLAR FOTOVOLTAICA

De acordo com Palz (2002), a transmissão elétrica a grandes distâncias implica a utilização de linhas de alta tensão para minimizar as perdas e, por conseguinte, uma série de estações de transformação, para converter energia de alta tensão a níveis acima de 700 kV até uma tensão apropriada para uso. Com a prática atual, quase 10% da energia produzida se perde na rede de distribuição e nas instalações de redução de tensão.

Com o advento da energia solar, possibilitou-se a produção de eletricidade no local de consumo, por exemplo, reduzindo as perdas pelas linhas de transmissão. O jovem Aidan Dwyer ganhou a patente provisória dos Estados Unidos por suas inovações envolvendo matrizes de painéis solares e foi convidado a falar na *World Future Energy Summit* em Abu Dhabi. Várias empresas demonstraram interesse no projeto de Aidan. Não demorou muito para que sua inovação se propagasse em diversos países.

Os pequenos painéis solares, dispostos de acordo com um princípio matemático encontrado na natureza denominado como Sequência de Fibonacci, produziram 20% mais energia do que os arranjos planos e prolongaram a coleta em até duas horas e meia.

A sequência acima se inicia em 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, e assim, sucessivamente. O que podemos perceber é que a soma dos dois últimos sempre resulta no número posterior.

Cientistas e engenheiros indianos projetaram uma “árvore solar” que esperam ajudar a superar um dos principais desafios que o país enfrenta na geração de energia solar. Com painéis fotovoltaicos colocados em diferentes níveis em ramos feitos de aço, as “árvores solares” reduzem drasticamente a quantidade de espaço necessário para o desenvolvimento de parques e usinas solares.

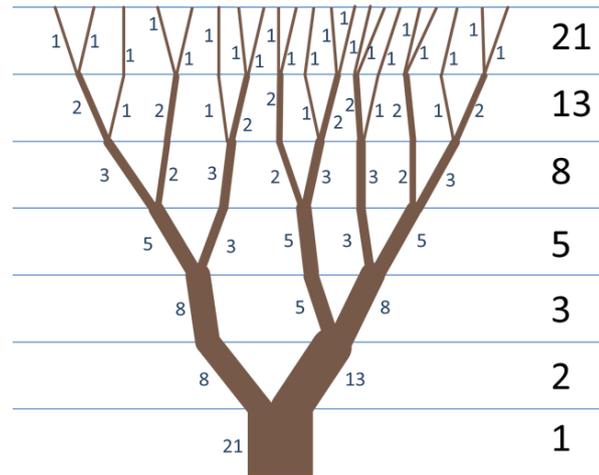


Figura 10: Árvore demonstrando a sequência de Fibonacci. Disponível em: <

<https://botanicamathematica.wordpress.com/2014/04/01/fibonacci-tree/>>. Acesso em: 08/03/18.

Membros do Conselho de Pesquisa Científica e Industrial (CSIR) em Nova Deli, afirmam que são necessários cerca de quatro metros quadrados de espaço para produzir energia que de outra forma teria exigido 400 metros quadrados de espaço.



Figura 11: Aidan Dwyer e sua árvore solar fotovoltaica (a). Disponível em: < <https://patch.com/new-york/northport/teen-innovator-goes-global> >. Acesso em: 08/03/18. Árvore solar indiana (b). Disponível em: < <https://inhabitat.com/indias-new-solar-power-tree-can-light-5-homes-in-just-4-sq-ft-of-land/> >. Acesso em: 08/03/18.

Embora a utilização de Árvores Solares, em certos casos, pode diminuir a captação da energia solar por conta de possíveis efeitos de sombreamento nas placas, a inserção de placas em um arranjo vertical é possível em locais como parques, jardins e à beira de rodovias, por exemplo (MOURA, 2017).

Já existem árvores solares fotovoltaicas no Brasil, como podemos ver abaixo:



Figura 12: Árvore solar na Universidade Estadual do Ceará (a). Disponível em: < <http://g1.globo.com/ceara/noticia/2017/02/uece-inaugura-arvore-solar-que-carrega-ate-10-bicicletas-eletricas.html> >. Acesso em: 08/03/18. Árvore solar com material orgânico fotovoltaico em na estrutura metálica em forma de palmeira (b). Disponível em:< <https://www.odebate.com.br/energia-para-a-vida/a-energia-do-futuro-da-em-arvore-17-07-2017.html> >. Acesso em: 08/03/18.

Segundo o *website* da Universidade Estadual do Ceará inaugurou-se em 21 de fevereiro de 2017 uma "árvore solar" constituída por módulos fotovoltaicos capazes de carregar até dez bicicletas elétricas. O equipamento é formado por dez painéis fotovoltaicos postos sobre as palmas de uma palmeira metálica.

A árvore desenvolvida pela empresa mineira Sunew, chamou atenção dos participantes do IV Encontro dos Municípios com o Desenvolvimento Sustentável (EMDS) no início do ano de 2017. “Essa é uma solução que vem somar ao desenvolvimento dos municípios”, afirmou o prefeito de Serra Talhada/PE, Luciano Duque, que já estuda a instalação de *OPTrees* em seu município. A árvore estava presente em 2017, em um outro grande evento, o Rock In Rio. Além de produzir uma energia com baixo impacto ambiental, essa árvore desempenha a função como objeto paisagístico.

Segundo Moura (2017), a Árvore Solar também pode ser utilizada como alternativa em imóveis onde o telhado não aponta na melhor direção da irradiação solar.

Existem muitas outras árvores solares no mundo, cada uma possuindo características próprias. Áustria, Estados Unidos, Inglaterra, Itália e Israel são exemplos de países que aderiram às arvores solares fotovoltaicas.

6. RESULTADOS E DISCURSÕES

Este tópico trata dos principais resultados obtidos no trabalho. A Figura 13 refere-se a um esquema meramente ilustrativo do circuito de amostragem de temperatura e umidade com os resultados sendo apresentados através de um *display LCD* 16 colunas por duas linhas (16 × 2), utilizando o sensor *DHT11* e o armazenamento dos dados em um cartão de memória cujo o fabricante é a *SanDisk*, modelo *micro SDHC* com capacidade de memória de 4 GB, sendo tal tarefa implementada através da plataforma de desenvolvimento Arduino Uno. Montou-se o esquema no *Proteus 7* com o sensor *DHT11*.

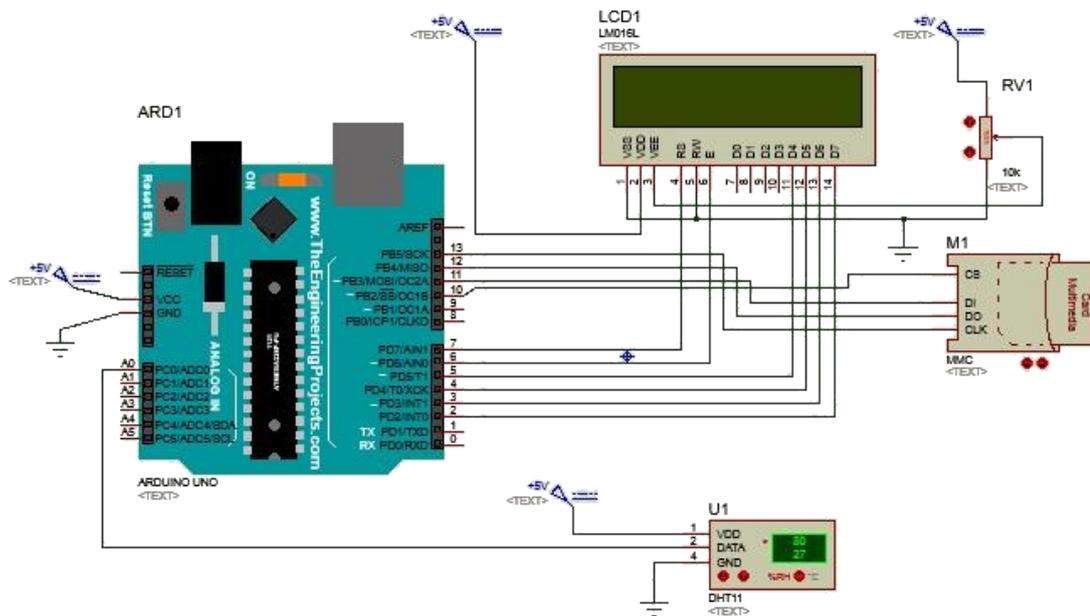


Figura 13: Esquema ilustrativo de ligação do *display LCD*, sensor *DHT11* e *micro SD*.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Utilizou-se o *DHT11*, ele é um sensor de temperatura e umidade que permite a realização de leituras de 0 a 50° C (graus Celsius) e umidade entre 20 a 90%. Realizando a leitura dessas medidas entorno da árvore, através da entrada A0 do Arduino, a temperatura e umidade são grandezas analógicas, logo deve-se utilizar uma porta analógica do microcontrolador. Os sinais analógicos provenientes do sensor de temperatura são convertidos para sinais digitais através do conversor analógico digital interno do *Atmega 328p* – microcontrolador do Arduino. O pino VCC, tem por finalidade alimentação de 3 – 5V DC. O pino GND, é o negativo. O DATA é responsável pelos dados da entrada analógica (A0).

O cartão *SD* é utilizado para o armazenamento dos dados de temperatura e umidade gerados pelo sensor. A comunicação é feita pela comunicação *SPI* (*Serial Peripheral Interface*), que geralmente terão os seguintes nomes: *MISO* (*Master In Slave Out*), *MOSI* (*Master Out Slave In*), *SCK* (*Serial Clock*) e *CS* (*Slave Select*). O pino 13 (*SCK*), responsável por sincronizar os dados de transmissão entre o Mestre e o Escravo. O pino 12 (*MISO*), dados do Escravo para o Mestre. O pino 11 (*MOSI*), dados do Mestre para o Escravo e o pino 10 (*CS*) seleciona a hospedagem dos dados coletados pelo *DHT11* para eventuais consultas. A Figura 15 ilustra os pinos *SPI* do Arduino Uno.

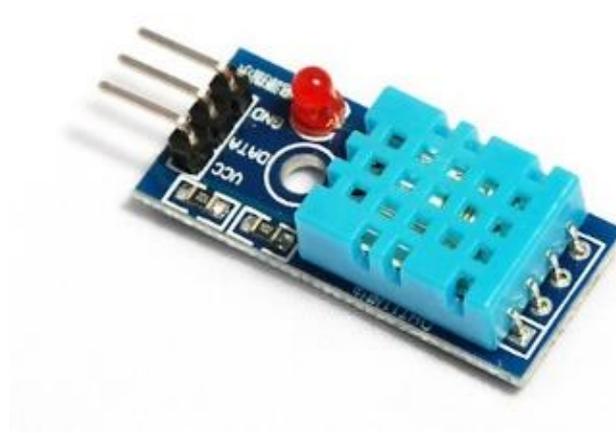


Figura 14: Sensor DHT11. Disponível em: < <http://www.raspberrypiportugal.pt/sensor-dht11-temperatura-humidade/> >. Acesso em: 17/03/18.

Os pinos do *display LCD* (Figura 15) tem por finalidade fazer com que os dados obtidos pelo Arduino, sejam exibidos em tempo real. Pino 1 (V_{ss}) *GND*, Pino 2 (V_{dd}) 5V, Pino 3 (V_o) ajuste do contraste, Pino 4 (*RS*) registrador de dados, Pino 5 (*R/W*) leitura/escrita, Pino 6 (*E*) habilita a escrita no *LCD*, Pinos 5, 4, 3, 2 (*D4, D5, D6, D7*) pinos responsáveis por enviar os dados ao *display* para o controle do Arduino, pino (*A*) anodo luz de Fundo, pino (*K*) catodo luz de fundo.

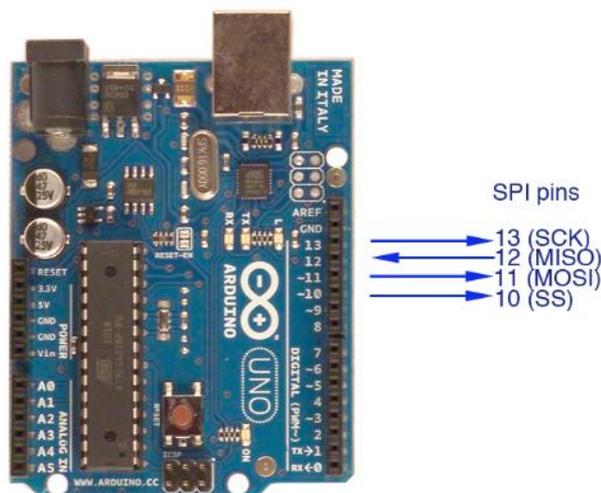


Figura 15: Pinos *SPI* Arduino Uno. Disponível em: < <http://www.hardcopyworld.com/ngine/arduino/index.php/archives/2778> >. Acesso em: 17/03/18.



Figura 16: Display LCD 16x2. Disponível em: < <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-719921082-display-lcd-16x2-arduino-pic-backlight-azul-barras-16-pinos- JM> >. Acesso em: 17/03/18.

O *display* junto com o voltímetro/amperímetro destina-se a utilização como interface gráfica com os usuários do protótipo no entorno da árvore, mostrando os valores de temperatura/umidade e tensão/corrente. Os valores correspondentes à tensão e corrente são exibidos no voltímetro/amperímetro. A Figura 17 apresenta a frente da *stringbox* com o *display* (temperatura/umidade), e tensão/corrente. Posteriormente será mostrado o esquema de ligação do voltímetro/amperímetro.



Figura 17: Interface gráfica do protótipo.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O circuito integrado *LM7805* é um regulador de tensão fixo de três terminais cuja tensão de saída não pode ser ajustada mediante circuito externo, sendo capaz de receber até 30 V (*input voltage range*), não regulados, em seus terminais de entrada para convertê-los em 5 V (*fixed output voltage*) disponíveis na saída do dispositivo. Valores superiores a 30 V, podem danificar o integrado, embora este possua internamente um circuito limitador de

corrente para auto desligamento em caso de sobrecarga térmica ou de potência, sempre que a temperatura interna atingir o limite de projeto (MARKUS, 2000).

O integrado *LM7805* suporta uma corrente máxima de saída de até 1 A ($I_{OMáx.}$). Os capacitores têm a finalidade precípua de minimizar os efeitos de eventuais flutuações de tensão. Segundo recomendação do *datasheet*, o valor de 100 nF é um valor de referência para circuitos com esta funcionalidade. Esse regulador é bastante versátil, permitindo na saída a interligação a uma porta *USB* que será utilizada no protótipo para alimentação de dispositivos que adotam este tipo de interconexão elétrica.

A Figura 18 exibe o *datasheet* do *LM7805* nas condições de teste que determinam todas as características abaixo. São elas: tensão de entrada ($V_I = 10V$), corrente de saída ($I_O = 500mA$), capacitor ($C_I = 0,1 \mu F$), e temperatura de junção ($-40^\circ C < T_J < 125^\circ C$).

Electrical Characteristics (LM7805)							
Refer to the test circuits. $-40^\circ C < T_J < 125^\circ C$, $I_O = 500mA$, $V_I = 10V$, $C_I = 0.1\mu F$, unless otherwise specified.							
Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^\circ C$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5mA \leq I_O \leq 1A$, $P_O \leq 15W$, $V_I = 7V$ to 20V	4.75	5.0	5.25		
Regline	Line Regulation ⁽¹⁾	$T_J = +25^\circ C$	–	$V_O = 7V$ to 25V	4.0	100	mV
				$V_I = 8V$ to 12V	1.6	50.0	
Regload	Load Regulation ⁽¹⁾	$T_J = +25^\circ C$	–	$I_O = 5mA$ to 1.5A	9.0	100	mV
				$I_O = 250mA$ to 750mA	4.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^\circ C$	–	5.0	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5mA$ to 1A	–	0.03	0.5	mA	
		$V_I = 7V$ to 25V	–	0.3	1.3		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁾	$I_O = 5mA$	–	-0.8	–	mV/ $^\circ C$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10Hz$ to 100kHz, $T_A = +25^\circ C$	–	42.0	–	$\mu V/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽²⁾	$f = 120Hz$, $V_O = 8V$ to 18V	62.0	73.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1A$, $T_J = +25^\circ C$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽²⁾	$f = 1kHz$	–	15.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35V$, $T_A = +25^\circ C$	–	230	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁾	$T_J = +25^\circ C$	–	2.2	–	A	

Notes:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
2. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Figura 18: Características elétricas do LM7805. Disponível em: <
<http://hades.mech.northwestern.edu/images/6/6c/LM7805.pdf>>. Acesso em: 17/03/18.

A configuração *Darlington* (TIP127) empregada na fonte fixa de tensão de 5 V, foi empregada para a obtenção de uma corrente de saída mais elevada na porta *USB*, para que a mesma pudesse carregar um celular, por exemplo.

Na Figura 19 podemos ver a “pinagem” do transistor (o pino 1 é referente a base, o pino 2 é o coletor e o terceiro é o emissor. No lado direito, vemos seu respectivo circuito equivalente.

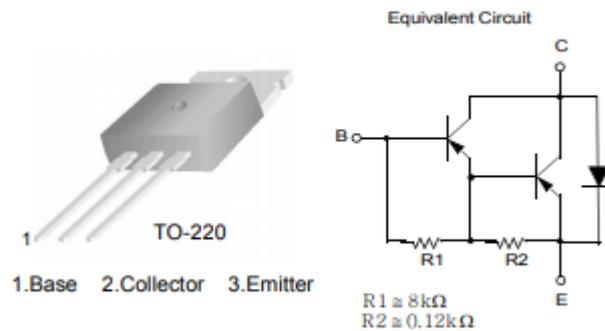


Figura 19: Circuito equivalente do transistor *Darlington*. Disponível em: <
http://www.redrok.com/PNP_Darlington_TIP127_-100V_-5A_Hfe1000_TO-220.pdf>. Acesso em: 17/03/18.

Consultando o *datasheet* do TIP127 *Darlington* vemos que o ganho (β ou hFE) é igual a 1000, essa grandeza nos informa a ampliação do sinal do transistor (quantas vezes a corrente de coletor é maior que a corrente de base).

Inicialmente tinha-se em mente outra fonte fixa de tensão, ela está presente na Figura 20, chegamos a montá-la na *protoboard*, mas a corrente não se aproximou da esperada, a mesma não ultrapassava 0,3A.

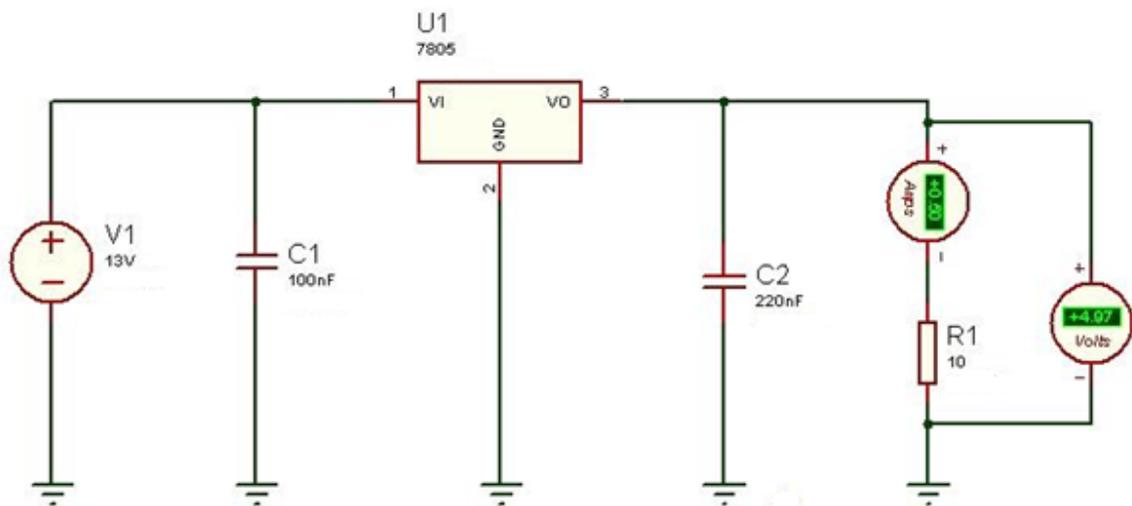


Figura 20: Fonte fixa de 5 V utilizando LM7805.

Fonte: Elaborada pelo autor

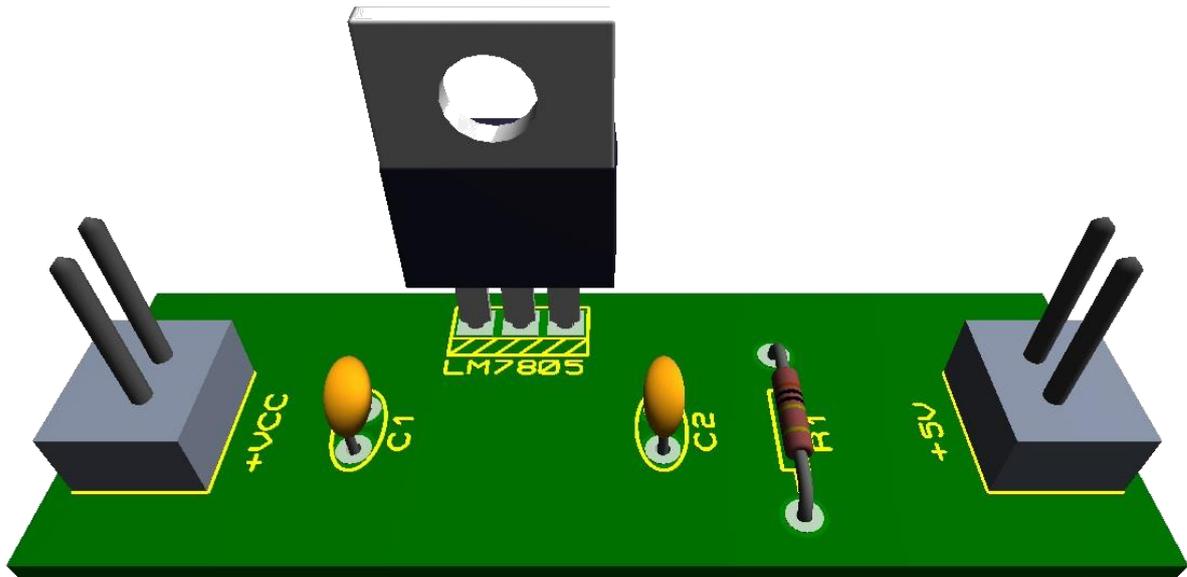


Figura 21: Visão 3D da fonte fixa sem a configuração *Darlington*.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A figura 21 apresenta a visão 3D do primeiro circuito fixo de tensão montado (não contava com o transistor TIP127-*Darlington*).

A fonte de tensão utilizando o LM7805 com a configuração *Darlington* está presente na Figura 22.

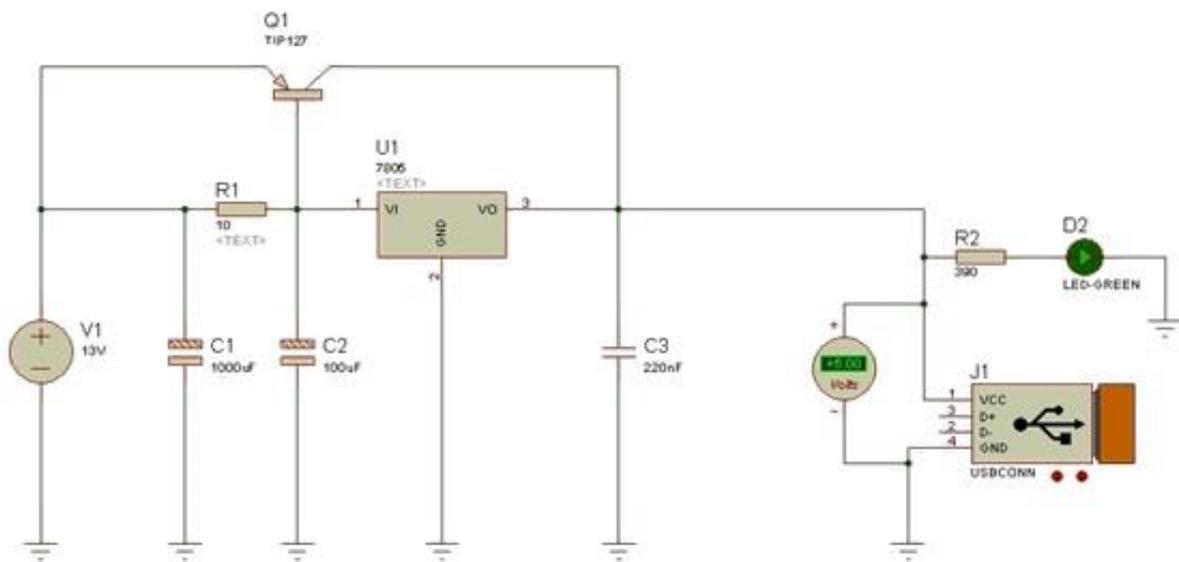


Figura 22: Fonte de tensão fixa de 5 V com a configuração *Darlington*.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 22 refere-se a fonte de tensão utilizando o LM7805, com a configuração *Darlington*. Utilizou-se a fonte V1 para simular a tensão proveniente dos minimódulos, já que

o simulador não dispõe destes. De acordo com Braga (2014), pequenas alterações na tensão de saída podem ser conseguidas com o acréscimo de um diodo adicional externo que somará sua tensão do diodo interno. Dessa forma, os 5 V de saída se tornariam aproximadamente 5,6 V, adotando que a tensão interna do diodo seja 0,6 V. Foi por esse motivo que se adicionou o diodo à fonte. O intuito foi de elevar a tensão de saída para que essa fosse um pouco maior que 5 V, pelo fato que quando testou-se a fonte real a tensão se aproximava de 4,8 V, não de 5 V que era a finalidade esperada para o referido circuito.

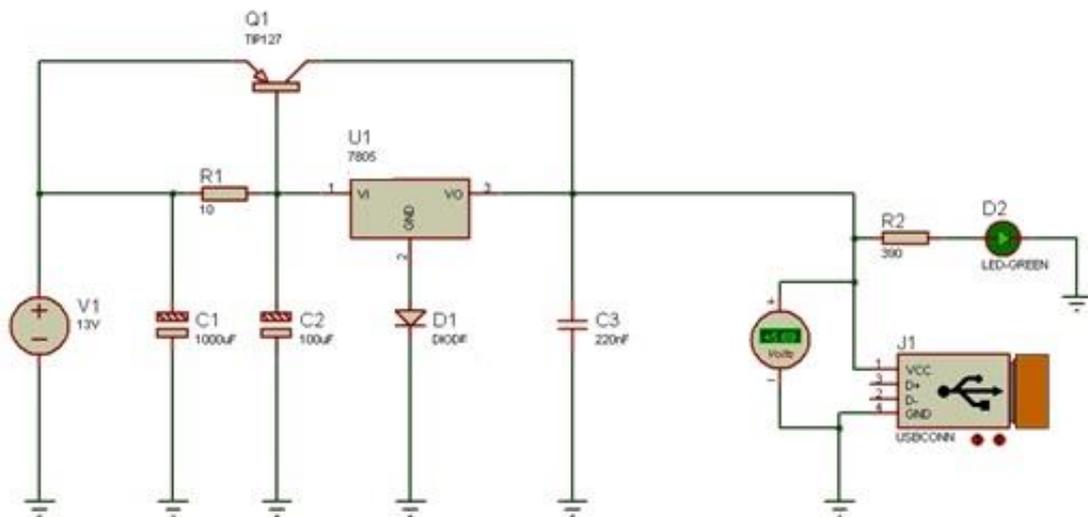


Figura 23: Fonte fixa de tensão na configuração *Darlington* com acréscimo de um diodo.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir do *software Labcenter Proteus 7 (Ares)* projetou-se em 3D todos os circuitos utilizados no protótipo. A Figura 24 expõe a representação 3D da fonte fixa de 5V realmente utilizada no protótipo com a configuração *Darlington* mais diodo. Ainda, acrescentou-se um *led* verde para indicar que a fonte está alimentada.

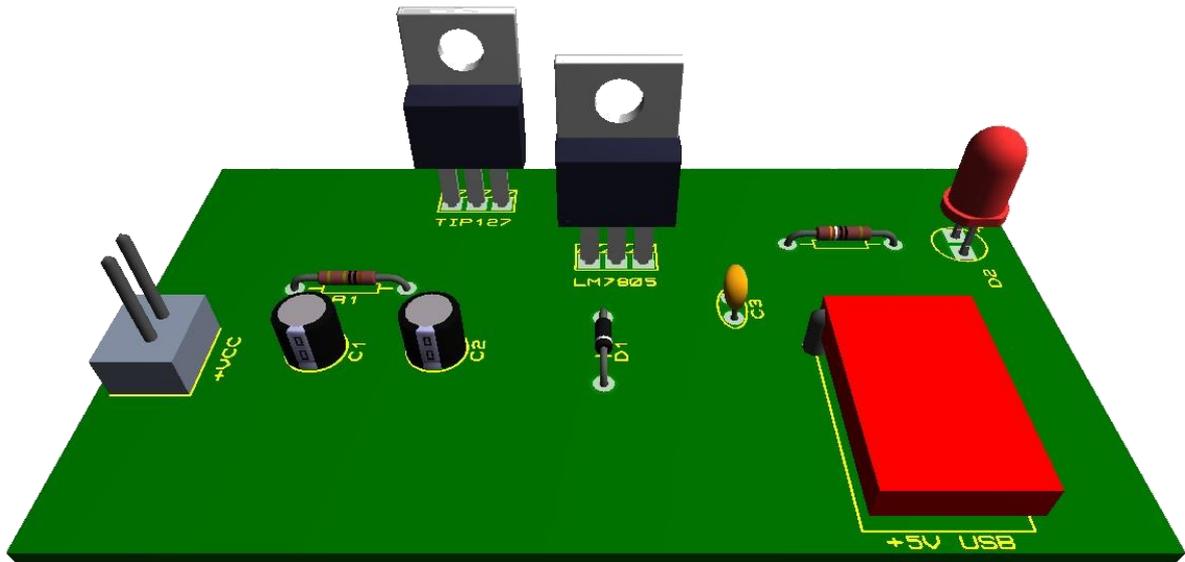


Figura 24: Projeção em 3D da fonte fixa final na configuração *Darlington*.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A figura 25 mostra a vista traseira da Figura 24 da placa de circuito impresso. Essas interligações são conhecidas como “trilhas”.

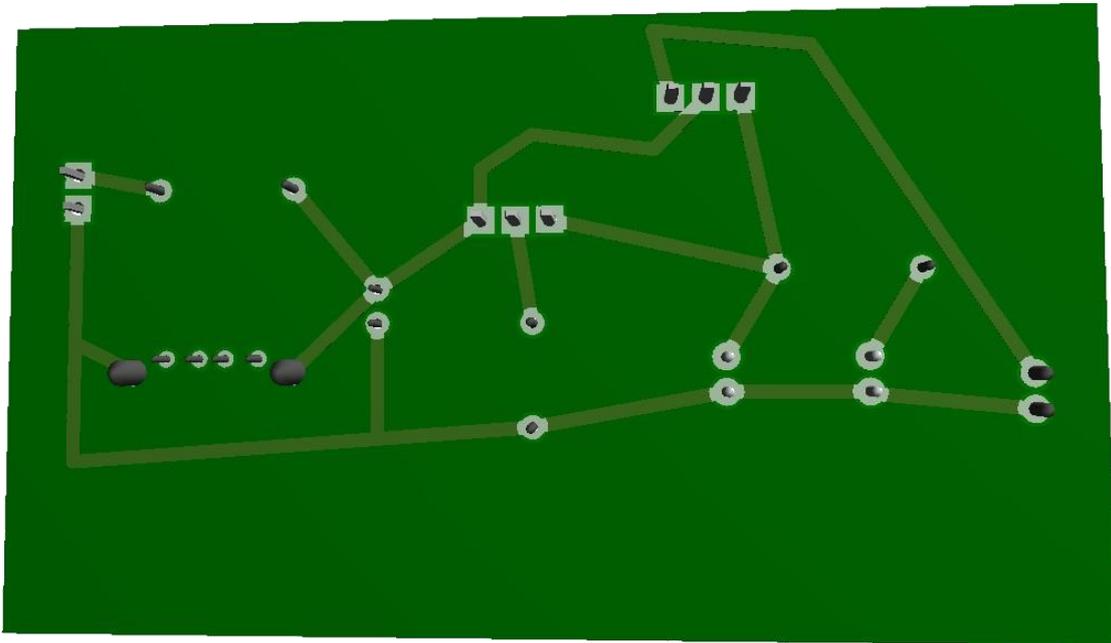


Figura 25: Trilha do circuito PCB 3D fonte fixa final.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 26 exibe a tensão de saída no multímetro, após o acréscimo do diodo na fonte.

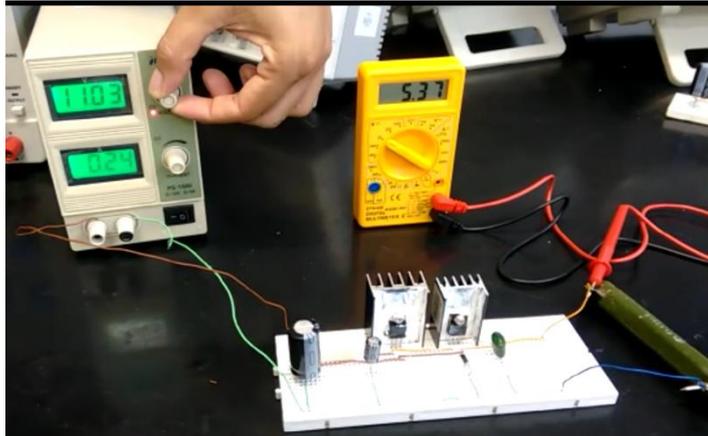


Figura 26: Tensão de saída sendo exibida no multímetro.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Quando montou-se o circuito na *protoboard* percebeu-se a elevação de temperatura no TIP127 (alto chaveamento, devido ao ganho) e no LM7805, para não danificar esses componentes utilizou-se dissipadores de calor e pasta térmica.

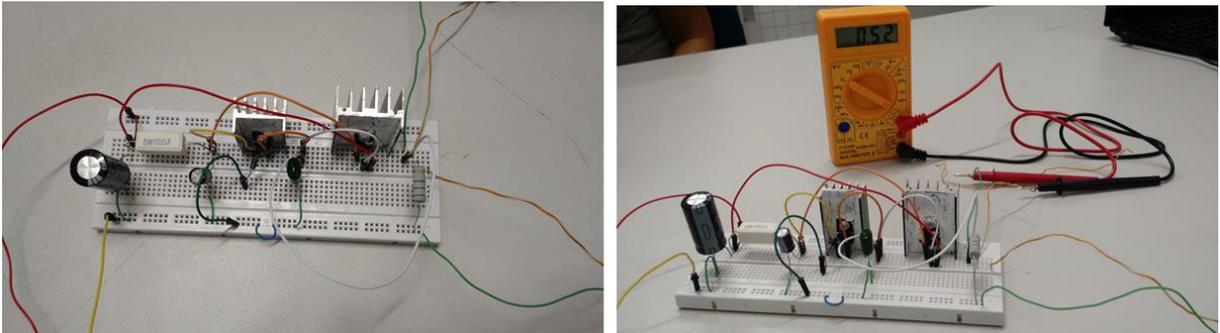


Figura 27: Fonte fixa já com o diodo incluído e a corrente chegando a **0,52 A**.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Em relação ao resistor na fonte fixa de tensão, inicialmente colocou-se no circuito um resistor um resistor de $10\ \Omega$ ($5\ W$), entretanto o mesmo apresentou uma elevada temperatura pois nesse passava até $0,52\ A$, mas para não queimá-lo utilizou-se resistor de $22\ \Omega$ ($50\ W$) para evitar a queima do componente e garantir a integridade da fonte.

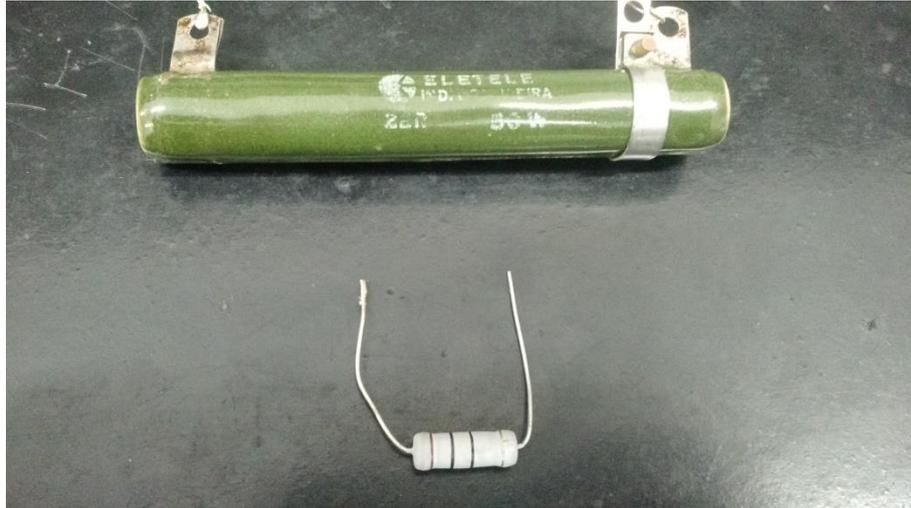


Figura 28: Resistor verde (22Ω , $50 W$), resistor branco (10Ω , $5 W$).

Fonte: Autoria própria.

A Figura 28 traz três resistores de potência, o branco foi inicialmente usado, no entanto, notou-se um superaquecimento neste e para não danificá-lo utilizou-se o resistor verde presente na mesma figura, pois o último se sobressaiu melhor que o primeiro nos testes.

A Figura 29 mostra a interligação do voltímetro/amperímetro, alimentado por uma fonte *DC* que pode ser de $5 V$ à $30 V$ conectado a uma carga. O voltímetro/amperímetro é composto por cinco cabos (2 positivos, 2 negativos e 1 de medição). Todos os terminais positivos, tanto da fonte quanto do voltímetro/amperímetro são conectados juntos, o cabo de medição é conectado no terminal negativo do aparelho em questão. Os dois negativos que vêm do *display* voltímetro/amperímetro são conectados no negativo da alimentação.

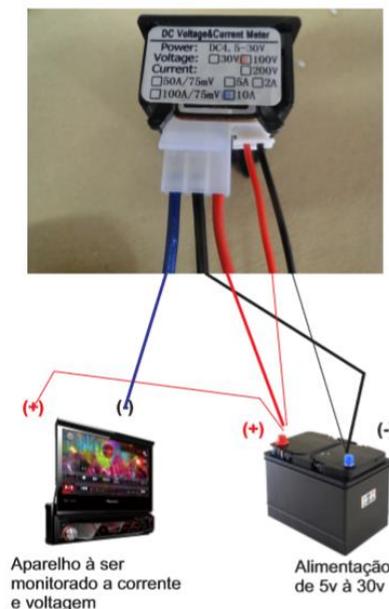


Figura 29: Ilustração da ligação do voltímetro/amperímetro digital. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0B9CKeX_KY3wDTWIPT1VJTHIIVnc/view>. Acesso em: 17/03/18.

A Figura 27 trata da fonte fixa de tensão conectada ao voltímetro/amperímetro. Ele monitora a tensão e a corrente na carga, no caso, o resistor verde de cerâmica. Isso significa que dos 9,42 V que chegam ao circuito (tensão na fonte), apenas 5,47 V chegam a carga. O mesmo acontece com a corrente, dos 0,26 A que saem da fonte, 0,20 A chegam à carga.

O esquema utilizado na Figura 28 é diferente do esquema mostrado na Figura 27. A Figura 29 exhibe a configuração utilizada na Figura 28.

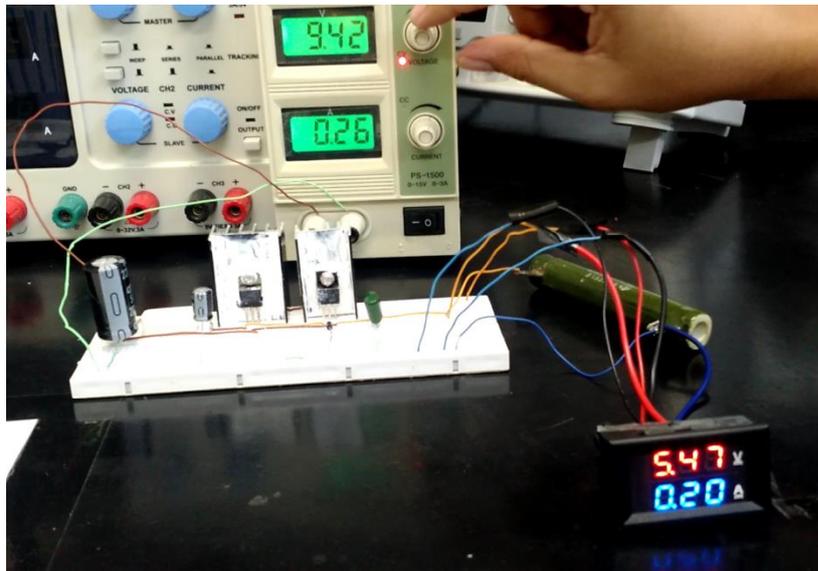


Figura 30: Voltímetro/amperímetro conectado a fonte fixa.

Fonte: elaborada pelo autor.

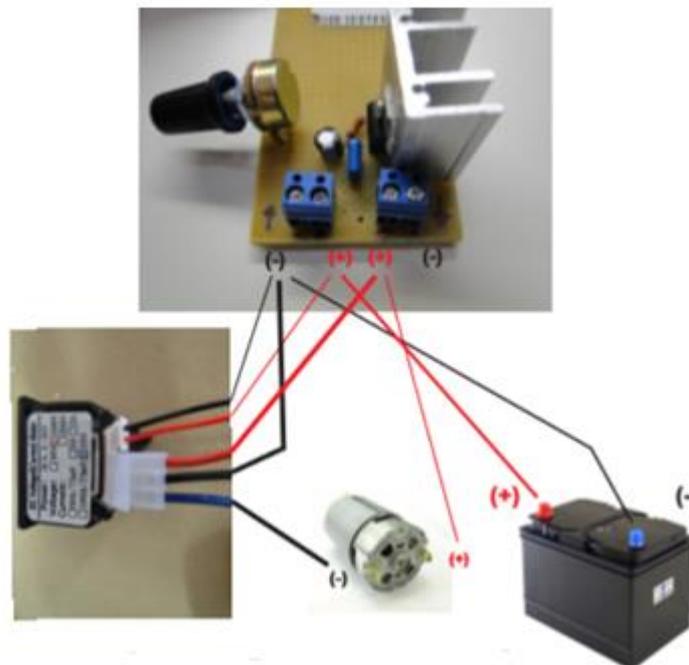


Figura 31: Esquema do voltímetro/amperímetro conectado a uma fonte montado em uma placa de circuito impresso. Disponível em: < https://drive.google.com/file/d/0B9CKeX_KY3wDTWIPT1VJTHIIVnc/view>.

Acesso em: 17/03/18.

Empregou-se a fonte $V1$ para simular a tensão proveniente dos minimódulos. O Capacitor $C1$ (capacitor eletrolítico de filtragem com a finalidade de filtrar eventuais ruídos provenientes da entrada do circuito). O Capacitor $C2$ (capacitor opcional utilizado quando o capacitor $C1$ está distante do pino de entrada do regulador $C2$). Neste caso foi mantido por segurança para evitar eventuais ruídos elétricos que não tenham sido totalmente eliminados pelo capacitor $C1$).

A finalidade do resistor $R2$ e do potenciômetro $RV1$ (regulagem da tensão de saída do regulador) e o fixo para evitar que o terminal central seja conectado diretamente ao terra em caso de curto no potenciômetro). O capacitor $C3$ (capacitor poliéster de filtragem com a finalidade de filtrar eventuais ruídos provenientes da saída do circuito). Como carga na montagem na *protoboard* foi utilizado um resistor de $22\ \Omega$.

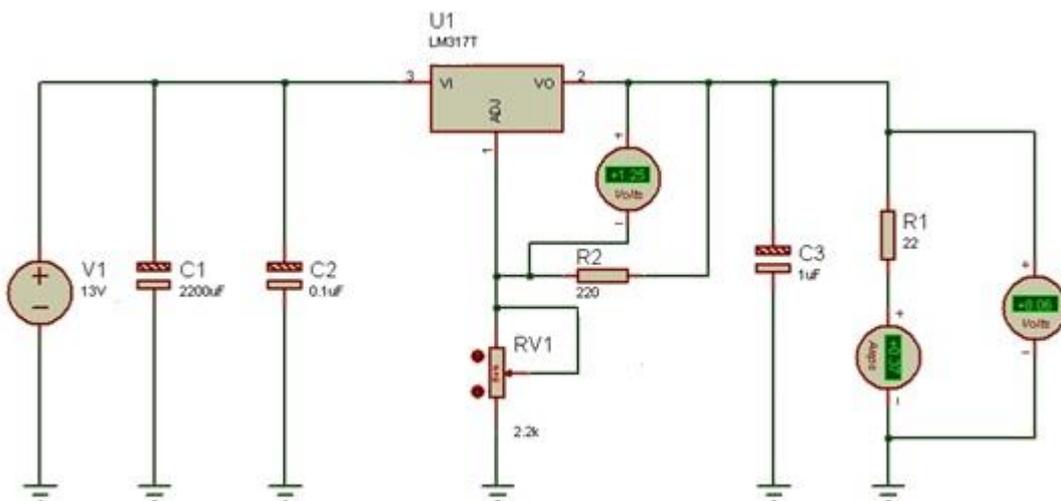


Figura 32: Fonte regulável de tensão.

Fonte: Elaborada pelo autor.

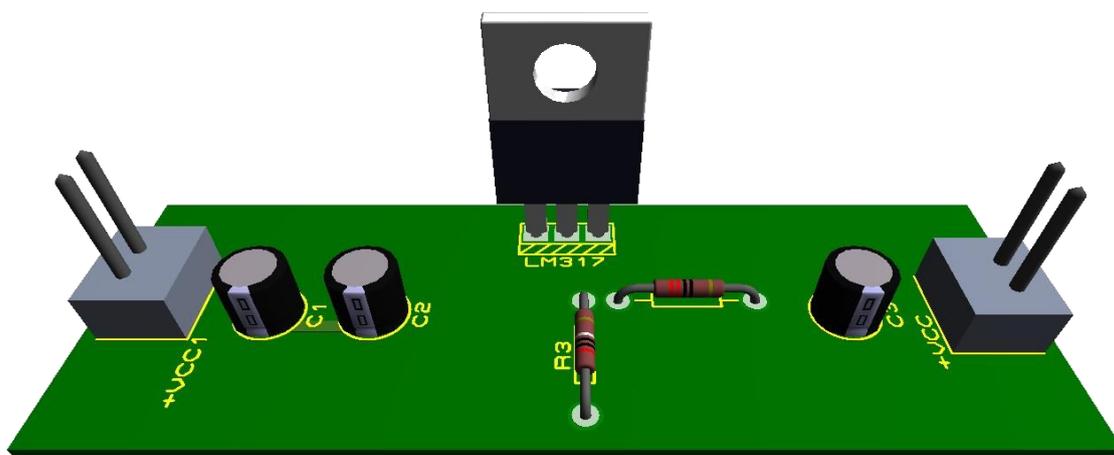


Figura 33: Fonte ajustável de tensão em 3D.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 33 traz a representação 3D da fonte ajustável de tensão. Enquanto que a Figura 34 mostra a interligação (trilha) dos componentes eletrônicos (vista traseira da placa).

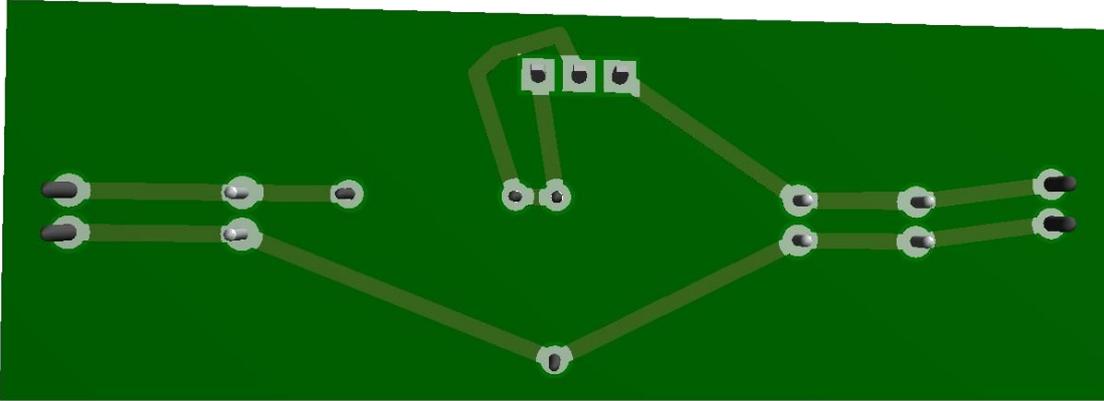


Figura 34: Trilha do circuito PCB 3D da fonte ajustável.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na construção da fonte reguladora de tensão, conseguiu-se variar a tensão de 0 V a 12 V no *software Proteus 7*, como mostra a Figura 23, no entanto na montagem real obteve-se uma variação de tensão entre 1,12 V e 12,13 V (Figura 24) a uma alimentação de 13,93 V.

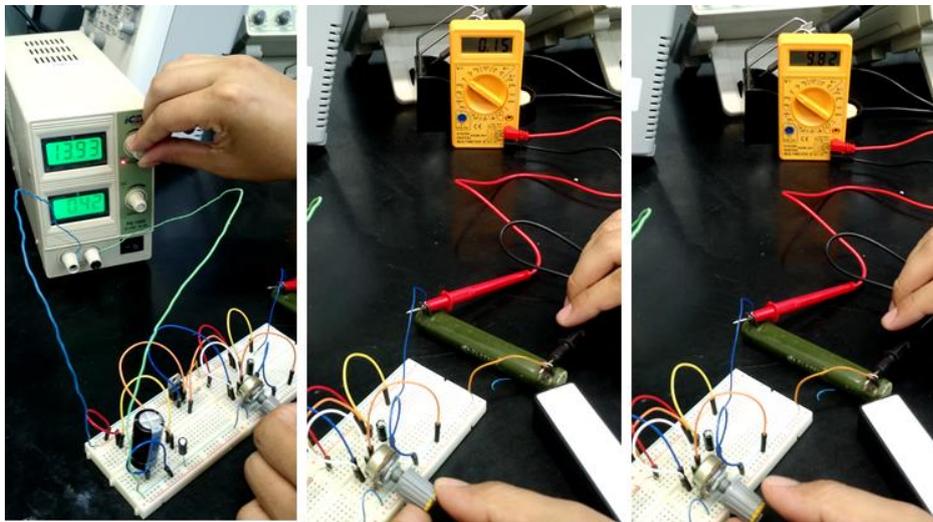


Figura 35: Fonte utilizada na alimentação do circuito (primeira foto da esquerda para a direita), tensão mínima no circuito ajustável (segunda foto), tensão máxima produzida (última foto da esquerda para a direita).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como a corrente produzida pelos minimódulos não chega a ser suficiente na maior parte do dia para alimentar os circuitos incorporados ao protótipo, houve a necessidade de elaborar um circuito para carregar baterias. Dessa maneira, as baterias alimentam de forma mais estável os circuitos da árvore, como mostra a Figura 30. Tornou-se necessário trocar o potenciômetro uma vez (utilizava-se um de $5k\ \Omega$, em seguida trocou-se por um potenciômetro de $2,2k\ \Omega$), já que o primeiro permitia uma tensão de saída menor do que a esperada.

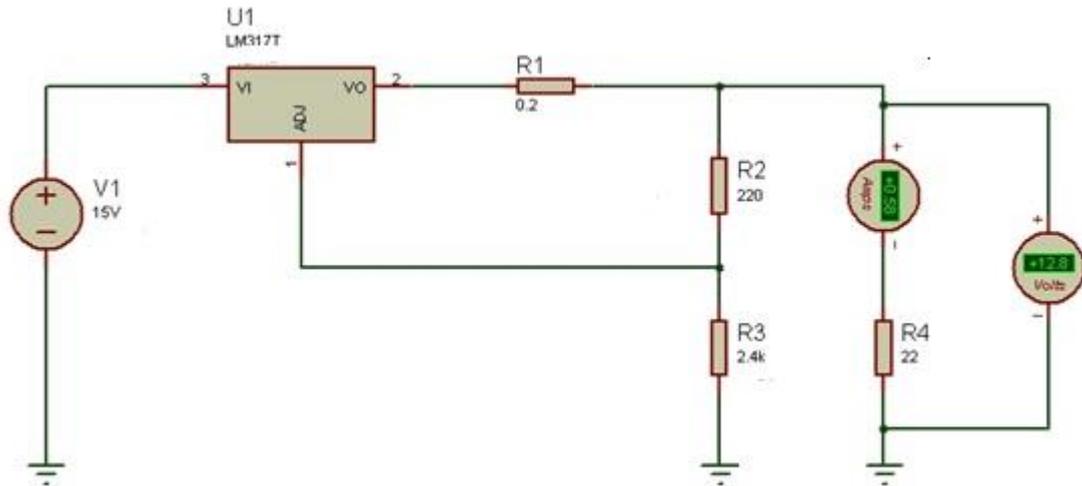


Figura 36: Circuito carregador de baterias.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 31 exibe a representação esquemática em 3D do circuito responsável por carregar as baterias do sistema-árvore-fotovoltaica.

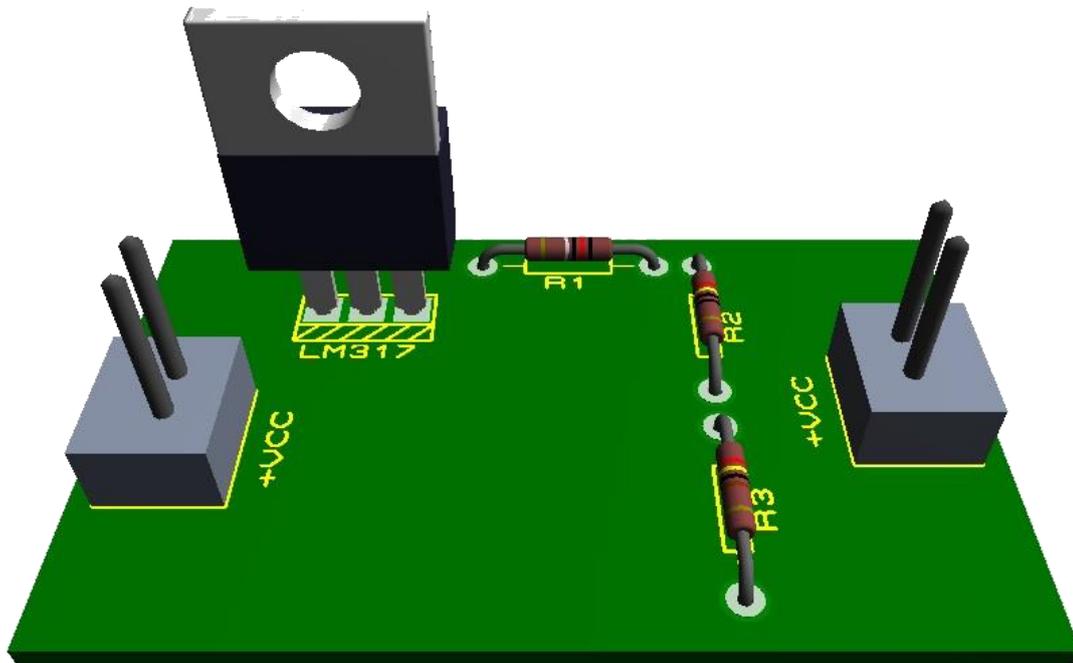


Figura 37: Circuito carregador de baterias.

Fonte: Elaborada pelos autores.

A figura 38 traz a representação da trilha do circuito responsável por carregar as baterias do protótipo.

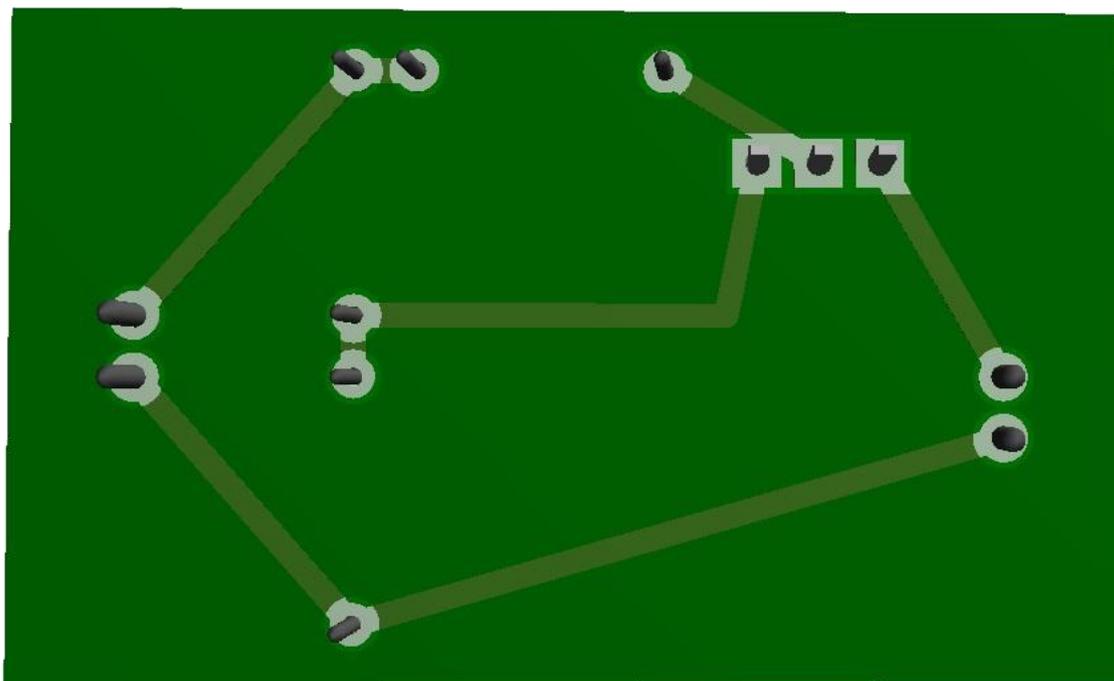


Figura 38: Trilha do circuito PCB do circuito carregador de baterias.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Alguns dos resultados correspondentes aos múltiplos cenários de arranjo calculados estão listados na Tabela 1. As soluções apresentadas na mesma consideram as especificidades elétricas nominais dos minimódulos, quais sejam: 12 V, 0,125 A e 1,5 W por módulo. A Tabela 2 apresenta um comparativo entre os valores medidos com a árvore exposta a iluminação artificial, dentro do laboratório, e exposta a iluminação proveniente diretamente do sol.

Tabela 2: Diferentes cenários da associação de células fotovoltaicas e respectivos valores de tensão e corrente.

Nº de células em série	Nº de células em paralelo	Nº de arranjos em série	Nº de células por String	Nº de arranjos em paralelo	Interligação final	V _{TOTAL} [V]	I _{TOTAL} [A]	P _{TOTAL} [Wp]
4	5	1	4	1	PARALELO	12	0,75	9
4	5	1	4	1	SÉRIE	60	0,125	7,5
2	7	1	2	1	SÉRIE	36	0,125	4,5
3	6	1	3	1	SÉRIE	84	0,125	10,5
9	0	1	9	0	SÉRIE	108	0,125	13,5
0	9	0	0	1	PARALELO	12	1,125	13,5
9	0	3	3	0	PARALELO	36	0,375	13,5
9	0	2	5 – 4	0	PARALELO	48	0,25	12
9	0	2	6 – 3	0	PARALELO	36	0,25	9
7	2	1	7	1	PARALELO	12	0,375	4,5
6	3	1	6	1	PARALELO	12	0,5	6
4	5	1	5	1	PARALELO	12	0,625	7,5

Tabela 3: Comparativo entre os valores de tensão medidos no primeiro protótipo.

CÉLULA	TENSÃO NO LABORATÓRIO (V)	TENSÃO EM CAMPO (V)
1	7,4	11,6
2	6,8	11,2
3	6,7	11
4	7,1	11,6
5	6,2	11
6	5,9	10,8
7	5,9	11,1

Tabela 4: Comparativo entre os valores de tensão medidos no segundo protótipo.

CÉLULA	TENSÃO NO LABORATÓRIO (V)	TENSÃO EM CAMPO (V)
1	7,93	12,65
2	7,61	12,9
3	6,85	12,65
4	7,02	12,74
5	7,21	12,77
6	7,50	12,86
7	6,69	13,04
8	7,99	12,98
9	8,1	13,02

Enumerou-se no primeiro protótipo cada célula com algarismos 1 a 7, no sentido de cima para baixo. Em laboratório pode-se notar que quanto maior a numeração de identificação do módulo menor é a tensão produzida, uma vez que estas estão posicionadas mais abaixo e, por conseguinte recebem menos luz, porém nas medições de campo a diferença passa a ser muito pequena. Direcionamos as superfícies coletoras para o norte geográfico na medição das tensões em campo, com as mesmas inclinações nos galhos do protótipo quando medidos em laboratório. Os valores listados na Tabela 3 correspondem a média aritmética simples de 3 medições efetuadas com um espaçamento de tempo de 30 segundos entre cada medição. Cada minimódulo tem dimensões de 8,5 cm por 11,5 cm, ou seja, a área receptora equivale a $0,00977 m^2$. O cálculo do rendimento da célula é dado a partir da aplicação da Eq. (1):

$$\eta = \frac{P_{max}}{A_p \times 1000} \quad (1)$$

O cálculo da energia produzida por uma célula se dá a partir da utilização da Eq. (2):

$$EP = E_s \times A \times \eta \quad (2)$$

As alíneas (a) a (d) informam as designações e respectivas unidades correspondentes a Equação 1 e Equação 3.

a) η : Eficiência do módulo (Adimensional);

b) P_{max} : Potência máxima ou de pico do módulo (Watts – W);

c) A_p : Área do módulo (metros quadrados – m^2);

d) E_p : Energia produzida pelo módulo (Watts-horas – Wh);

e) E_s : Insolação diária (Watts-horas por metro quadrado por dia – Wh/ m^2 /dia).

A aplicação dos valores numéricos correspondentes aos minimódulos utilizados conduz a um rendimento de 15,35 % e a uma produção aproximada de 47,24 Wh. Considerando cada uma das placas produzindo 12 V, interligando-as em série, obtém-se de 72 V como valor esperado. Em campo, obtivemos 67,2 V com o tempo parcialmente nublado, provavelmente em uma condição de radiação mais favorável, o valor medido seria mais próximo do esperado.



Figura 39: Montagem e teste da primeira versão do protótipo.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Analisou-se que a estrutura da primeira versão do protótipo poderia causar sombreamento nas placas fotovoltaicas, tornando o sistema menos eficiente. Ainda, a primeira versão do protótipo apresentava sete células FV, depois de alguns testes práticos, notou-se que o valor da corrente gerado não era o que esperávamos, visto que a corrente produzida dificilmente atinge o valor que o fabricante afirma (125 mA).

Na segunda versão da árvore, tornou-se necessário a obtenção de mais dois mini módulos FV, pois a intenção era produzir mais corrente para a alimentação dos circuitos que a estrutura apresenta. Logo, a segunda versão da árvore conta com nove células fotovoltaicas, posicionadas de modo a não produzir sombreamento nas próprias células (todas à mesma altura), montadas sobre o suporte fixo com angulação igual a 10° (no caso do Rio Grande do

Norte), como a estrutura é móvel é preciso direcioná-la para o Norte. A nova versão é ainda mais compacta que a anterior.

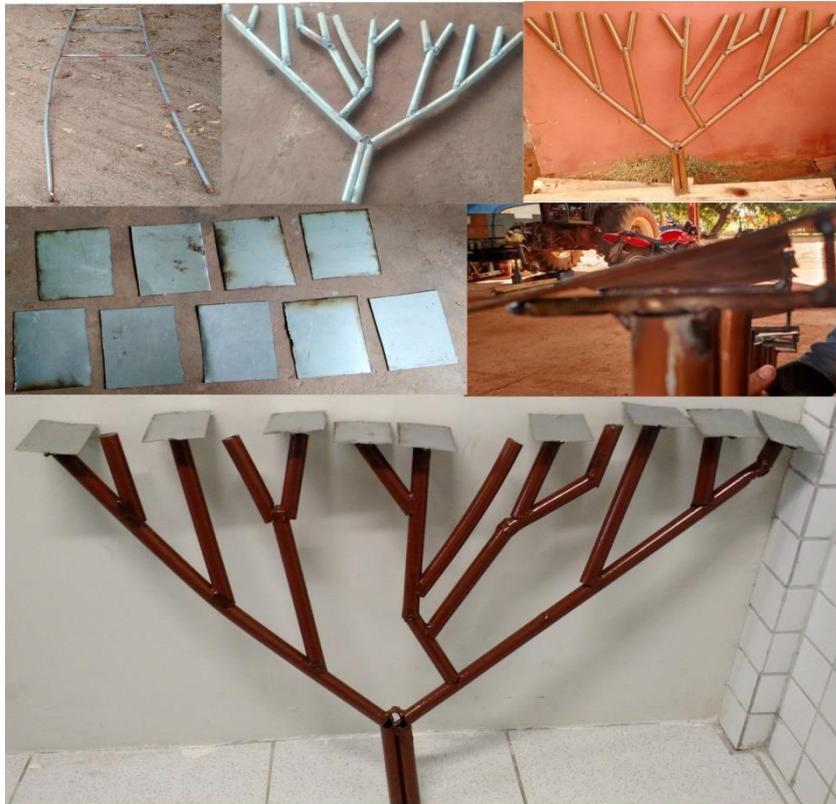


Figura 40: Montagem da segunda versão do protótipo.

Fonte: Elaborada pelo autor.

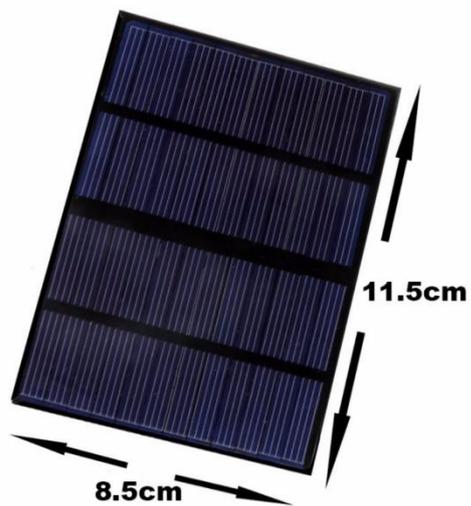


Figura 41: Mini módulo fotovoltaico utilizada no protótipo. Disponível em: <
<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-832398892-celula-painel-placa-energia-solar-fotovoltaica-12v-15w-JM>>. Acesso em: 17/03/2017.

Características do mini painel:

Potência: 1,5 W;

Tensão: 12 V;

Material: Policristalino;

Tamanho: 115 × 85 mm;

Peso: 38 g.

Cálculo do dimensionamento do suporte dos módulos:

α = ângulo de inclinação;

Z : altura da haste de fixação;

L : comprimento do módulo;

X : Distância entre a borda do módulo no solo e a barra de sustentação.

$$\alpha = 10^\circ \rightarrow \text{Orientação: Norte.}$$

$$Z = L \times \text{sen}(\alpha)$$

$$Z = 11,5 \times \sin(10^\circ)$$

$$\mathbf{Z = 1,996 \text{ cm}}$$

$$X = \text{cos}(\alpha) * L$$

$$X = \text{cos}(\alpha) * 11,5$$

$$\mathbf{X = 11,32 \text{ cm}}$$

7. CONCLUSÃO

Sob o ponto de vista acadêmico-científico as atividades descritas neste texto foram significativas por abeirar-nos da intrincada característica das montagens eletrônicas e das problemáticas que acompanham todo protótipo, encurtando o afastamento existente entre as atividades teóricas do curso e as situações reais de trabalho das oficinas e laboratórios eletrônicos.

Julga-se ter obtido êxito no trabalho aqui descrito após uma série de ajustes, adaptações e readequações inerentes à realização de montagens eletrônicas, pois obteve-se valores muito próximos daqueles previamente calculados, atestando a eficácia da segunda versão do protótipo. Neste âmbito, o comportamento no simulador eletrônico se equiparou bastante dos valores experimentais coletados durante a montagem física real.

As ações correlacionadas a esta montagem (na área de eletroeletrônica e energia solar fotovoltaica) nos permitiram compreender aspectos de natureza palpável, ampliando nossa cognição e, sobretudo, excitando nosso querer em aprofundar-se nas temáticas trabalhadas.

Percebeu-se que a utilização de células fotovoltaicas sobre a estrutura da árvore requer um número bem elevado destas, dependendo da finalidade esperada. Se fôssemos utilizar painéis fotovoltaicos comerciais os problemas seriam bem menores, no entanto os gastos seriam mais elevados.

Para continuidade do projeto, tem-se como próximo desafio, conferir ao protótipo aspectos mais próximos dos equipamentos comerciais, garantindo sua utilização também como objeto paisagístico. Além da implementação do conversor elevador *boost* que poderia elevar a tensão para uma conexão com a rede elétrica.

Os resultados presentes neste trabalho foram satisfatórios, todavia, enxergou-se a necessidade da inclusão de dispositivos de proteção em casos de sobrecarga e sobrecorrente, tais como: mini-disjuntores, varistores e fusíveis. Assim como, a utilização de circuitos que atuem contra a inversão de polaridade dos bornes de saída das fontes, sendo a inserção destas melhorias inclusas nas futuras etapas desta pesquisa.

8. REFERÊNCIAS

Beltrão, Ricardo Esberard de Albuquerque. **Efeito da Temperatura de Geração de Energia de Módulos Fotovoltaicos a Condições Climáticas Distintas. Estudo de Caso Para as Localidades de Recife e Araripina.** 2008. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

Bertucci, Janete Lara de Oliveira. **Metodologia Básica para Elaboração de Trabalhos de Conclusão de Curso: Ênfase na Elaboração de TCC de Pós Graduação Lato Sensu.** São Paulo: Atlas, 2008. (116).

Braga, Renata Pereira. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações.** 2008. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Braga, Newton C.. **Manual de Mecatrônica: Automação, Robótica e Controle.** São Paulo: Newton C. Braga, 2014, disponível em: <
[https://books.google.com.br/books?id=Zr3iBgAAQBAJ&pg=PA393&lpg=PA393&dq=tensã
o+de+saída+com+acrescimento+de+diodo&source=bl&ots=xCrj5H0AF&sig=sXrtQ9Y5swEwr
12U_nc-FEOvrWA&hl=pt-](https://books.google.com.br/books?id=Zr3iBgAAQBAJ&pg=PA393&lpg=PA393&dq=tensã+o+de+saída+com+acrescimento+de+diodo&source=bl&ots=xCrj5H0AF&sig=sXrtQ9Y5swEwr12U_nc-FEOvrWA&hl=pt-)

[BR&sa=X&ved=0ahUKEwj41YqNrPjZAhXFg5AKHXQxAT4Q6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false](#) >, acesso em: 19/03/2018.

Câmara, Carlos Fernando. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede Elétrica**. 2011. 68 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

Cantor, Guillermo Andrés Rodríguez. **Influência Dos Fatores Climáticos No Desempenho De Módulos Fotovoltaicos Em Regiões De Clima Tropical**. 2017. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Energias Renováveis, Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

Cerne, Centro de estratégias em recursos naturais e energia. **Brasil poderá ter uma matriz 100% em 2050, aponta relatório**, disponível em: < <http://cerne.org.br/brasil-podera-ter-uma-matriz-100-limpa-em-2050-aponta-relatorio/> >, acesso em: 19/03/2018.

Epe. Nota Técnica EPE. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Energética Brasileira**. Maio de 2012.

Leça, Marco Menezes. **Potencial Solar dos Edifícios Públicos da Região Autónoma da Madeira**. 2014. 157 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Telecomunicações e Redes de Energia, Universidade da Madeira, Funchal, 2014.

Lopez, Ricardo Aldabó. **Energia Solar Para Produção de Eletricidade**. São Paulo: Artliber, 2012. 229 p.

Markus, Otávio. **Sistemas Analógicos - Circuitos Com Diodos e Transistores: Teoria e Exercícios**. 5. ed. São Paulo: Érica, 2000. 374 p. (Ensino Modular).

Oliveira, Paulo Henrique Breyner Saldanha de. **Avaliação do Potencial de Transformação do NIPE em uma Edificação de Energia Zero**. 2017. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

Palz, Wolfgang. **Energia Solar: e Fontes Alternativas**. Curitiba: Hemus, 2002. 358 p.

Pereira, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: Inpe, 2017. 80 p., disponível em: < [http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas Brasileiro Energia Solar 2a Edicao.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf) >, acesso em: 19/03/2018.

Pinho, João Tavares; Galdino, Marco Antônio. **Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Grupo de Trabalho de Energia Solar - Gtes. Cepel - Dte - Cresesb, 2014. 530 p., disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>, acesso em: 19/03/2018.

Queiroz, W. F. Construção de um Fogão Solar à Concentração Para Cozimento Direto e Indireto. Dissertação de Mestrado – PPGEM/UFRN, 2005.

Rüther, Ricardo. Edifícios Solares Fotovoltaicos. Florianópolis: Labsolar, 2004. 118 p.

Santos, Durvalina Maria Mathias dos. **Fotossíntese**. Jaboticabal: Disciplina de Fisiologia Vegetal, Unesp, 2005. 10 p., disponível em: <http://jaguar.fcav.unesp.br/download/deptos/biologia/durvalina/TEXT0_27.pdf>, acesso em: 19/03/2018.

Villalva, Marcelo Gradella; Gazoli, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica, Conceitos e Aplicações: Sistemas Isolados e Conectados à Rede**. São Paulo: Érica, 2012. 224 p.

Krug, Gregory Lusa; Lopes, Marcel Braga. **Desenvolvimento De Sistema De Posicionamento Automático Para Painel Solar Fotovoltaico Através De Sensores E Estudo De Eficiência**. 2016. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (utfpr), Curitiba, 2016.