

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA / ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Cristopher Ferraz Rodrigues e Silva

Energia fotovoltaica aplicada em sistema hidropônico

Trabalho Final de Curso como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Antônio Marcos de Melo Medeiros – Orientador. Pontifícia
Universidade Católica de Goiás.

Prof. Ma. Fabricia Neres Borges – Banca Examinadora. Pontifícia
Universidade Católica de Goiás.

Prof. Me. Rubens Antônio Alves – Examinador. UNICEUG, Centro
Universitário de Goiânia.

Goiânia, 10 de dezembro de 2022.

Energia fotovoltaica aplicada em sistema hidropônico

Cristopher Ferraz Rodrigues e Silva, Antônio Marcos de Melo Medeiros, Fabricia Neres Borges, Rubens Antônio Alves.

Resumo — Com esgotamento dos recursos naturais, se torna cada vez mais necessário o estudo de fontes energéticas geradas por fontes renováveis. A energia fotovoltaica, como um caso de energia renovável, está cada vez mais presente em nossas vidas. Por ser gerada a partir da luz do sol, é uma fonte teoricamente infinita, se tornando uma das principais fontes renováveis. Um exemplo de aplicação para energia fotovoltaica, é um sistema hidropônico alimentado por placa fotovoltaica. Este trabalho tem como objetivo estudar características elétricas de uma placa fotovoltaica e implementar um sistema hidropônico automatizado alimentado por energia solar.

Palavras-chave — Fonte renovável; energia fotovoltaica; radiação; temperatura; sistema hidropônico.

Abstract — With depletion of natural resources, it becomes increasingly necessary to study energy sources generated by renewable sources. Photovoltaic energy, as a case of renewable energy, is increasingly present in our lives. As it is generated from sunlight, it is a theoretically infinite source, becoming one of the main renewable sources. An example of application for photovoltaic energy is a hydroponic system powered by a photovoltaic plate. This work aims to study electrical characteristics of a photovoltaic plate and implement an automated hydroponic system powered by solar energy.

Index Terms—Renewable source; Photovoltaics; electric current; radiation; temperature; hydroponic system.

I. INTRODUÇÃO

A conversão fotovoltaica de energia é uma área de pesquisa muito ativa devido à necessidade de ampliar a participação das fontes de energia renováveis na matriz energética global. Os esforços de pesquisa vão desde a modelagem de dispositivos fotovoltaicos até os estudos de impacto ambiental e aspectos econômicos. [1]

A utilização de recursos fósseis para geração de energia é reconhecidamente danosa ao meio ambiente. A elevada emissão de gases para a atmosfera tem como consequência o aquecimento global. A forma de energia que substituirá o combustível fóssil tem que ter a preocupação com a sustentabilidade e, evidentemente, diminuir a atual degradação ambiental. [2]

Silva, C.F.R. Escola Politécnica, Pontifícia Universidade Católica de Goiás Av. Universitária 1.440, setor Universitário Goiânia-GO, CEP: 74605-01, fone: +55 62 3946-1351. E-mails: cristopherfrs@gmail.com.

Medeiros, A.M.M. Escola Politécnica, Pontifícia Universidade Católica de Goiás Av. Universitária 1.440, setor Universitário Goiânia-GO, CEP: 74605-01, fone: +55 62 3946-1351. E-mails: amarcosmedeiros@gmail.com.

A energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico). Edmond Becquerel relatou o fenômeno em 1839, quando nos extremos de uma estrutura de matéria semicondutora surge o aparecimento de uma diferença de potencial elétrico, devido à incidência de luz. [3].

Um material fotocondutor (ou fotoresistivo) é aquele onde suas propriedades de condutividade elétrica são alteradas na presença de radiação eletromagnética.[1] O material de eleição para as células fotovoltaicas é o silício cristalino. As razões para esta escolha são a sua abundância no planeta, a sua não-toxicidade, o fato de ser a matéria-prima da indústria eletrônica, entre outros. [4]

O índice de radiação solar do Brasil é muito bom quando comparado à Europa por exemplo. A menor irradiação do país é verificada na região do litoral norte do Estado de Santa Catarina, sendo da ordem de 1500 kWh/m² de irradiação global anual na superfície horizontal. A maior irradiação é verificada no norte do Estado da Bahia sendo da ordem de 2350 kWh/m² de irradiação global horizontal anual. [5]

Segundo dados do relatório da Agência Internacional de Energia (IEA, 2015), no ano de 2014 foram inseridos 38,7 GWp em instalações fotovoltaicas na rede elétrica mundial. Em termos globais, no final de 2014 já havia aproximadamente 177 GWp de potência em instalações fotovoltaicas. [5]

O termo hidroponia (do grego: hydro = água e ponos = trabalho) significa trabalho com água, no entanto, hidroponia consiste no conjunto de técnicas de cultivo de plantas sem utilizar solo, de forma que os nutrientes minerais essenciais sejam fornecidos às plantas através de uma solução nutritiva. [6]

Este sistema permite o uso racional de água e de nutrientes, a programação da produção, a precocidade da primeira colheita, um maior período de produção e, com isso, maior produtividade por planta e por unidade de área.[7]

De acordo a cartilha básica de orientação ao cultivo hidropônico (2010), todas as plantas precisam de certas condições para se desenvolver com saúde. Prover todas elas é a função de qualquer cultivo e o que determina a qualidade daquilo que se vai produzir. Estes fatores são: Luz, Ar(oxigênio/CO₂), Nutrição e Apoio. [8]

A crescente busca por uma vida mais saudável tem levado a um aumento constante e irreversível no nível de exigência do consumidor em relação à qualidade salutar de sua alimentação. Há na sociedade uma relação cada vez mais forte e mais frequente entre alimentação e saúde e o meio ambiente. E com isso, os consumidores estão exigindo alimentos livres de produtos químicos, principalmente, dos resíduos de agrotóxicos. [9]

No Brasil, o cultivo hidropônico em escala comercial vem crescendo de forma rápida, destacando-se os estados de São

Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul que vêm desenvolvendo pesquisas pioneiras para a implantação da hidroponia. [6]

II. ENERGIA FOTOVOLTAICA

O efeito fotovoltaico ocorre em nível atômico ao incidir um fóton na ligação entre dois átomos induzindo ao seu rompimento. Os materiais que possuem esta característica em seus átomos são os semicondutores, como o Silício utilizado na construção das células fotovoltaicas, que possui quatro elétrons em sua camada de valência. [16]

A. Módulos fotovoltaicos

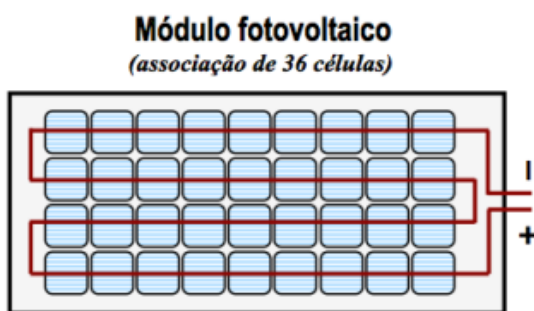


Figura 1 - Representação de módulo fotovoltaico [10]

O agrupamento de módulos fotovoltaicos do mesmo tipo pode ser efetuado através do estabelecimento de ligações em série, paralelo ou mista, obtendo-se assim diferentes valores de tensão ou corrente. Este procedimento, permite efetuar o controle da energia produzida pelo painel. [10]

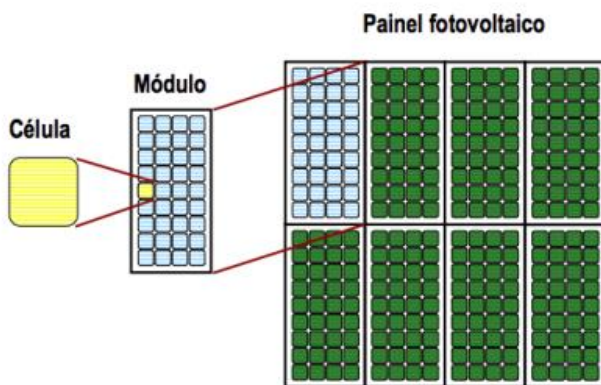


Figura 2 - Comparação entre célula, módulo e painel fotovoltaico [10]

Na construção dos módulos, é necessário dotá-los de características que lhes permitam resistir às condições ambientais adversas a que vão estar submetidos. Neste sentido, a fim de garantir a proteção contra a ação de esforços mecânicos, dos agentes atmosféricos e da humidade, as células são normalmente embebidas numa película de *etileno acetato de vinilo* (EVA). Trata-se de um material flexível, translúcido e não refletor da radiação solar, que tem ainda a

particularidade de assegurar o isolamento elétrico entre as células. [10]

1) Ligação em série de módulos fotovoltaicos

A figura 3 representa esquematicamente a associação em série de n módulos fotovoltaicos.

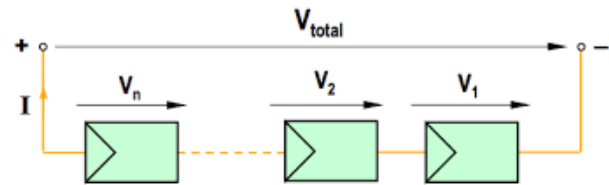


Figura 3 - Ligação em série entre módulos [10]

De acordo com a figura 3, a tensão total de saída e descrita na equação 1, para um sistema serie soma as tensões e a corrente é a mesmo no sistema:

$$\begin{aligned} V_{\text{total}} &= V_1 + V_2 + \dots + V_n = n \cdot V & (1) \\ V_1 &= V_2 = \dots = V_n \\ I_1 &= I_2 = \dots = I_n = I \end{aligned}$$

Com efeito, a associação em série de módulos fotovoltaicos permite obter tensões mais elevadas, mantendo a corrente estipulada do módulo. [10]

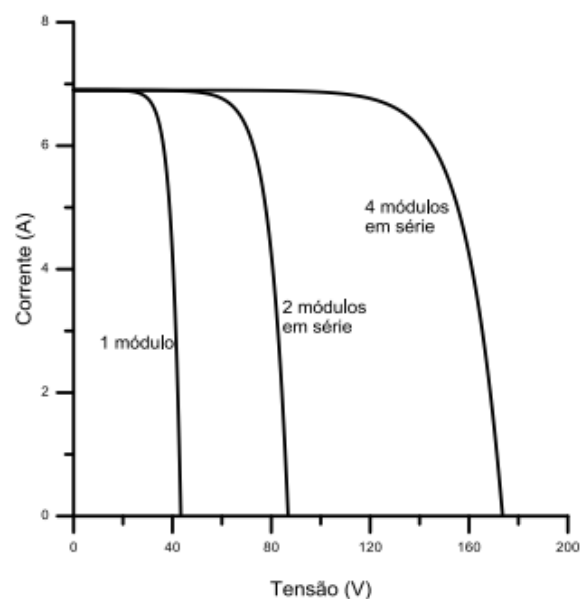


Figura 4 - Comportamento da corrente e tensão em módulos em série [12]

2) Ligação em paralelo de módulos fotovoltaicos

A ligação em paralelo entre módulos individuais é efetuada quando se pretende obter correntes mais elevadas e manter o nível de tensão estipulada do módulo. A figura 5 representa esquematicamente a associação em paralelo de n módulos fotovoltaicos.

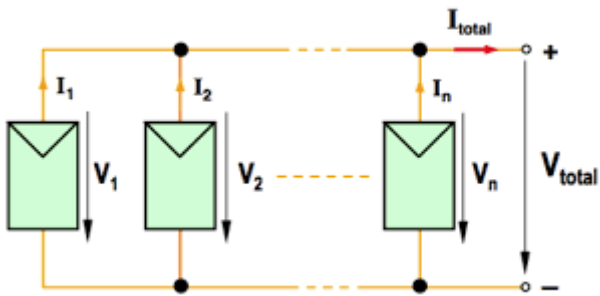


Figura 5 - Ligação em paralelo entre módulos [10]

Nesta situação, obtêm-se intensidades de corrente mais elevadas, mantendo-se a tensão estipulada do módulo. Neste caso, é possível escreverem-se as seguintes relações:

$$I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n = n.I \quad (2)$$

$$V_1 = V_2 = \dots = V_n = V_{\text{total}} \quad [10]$$

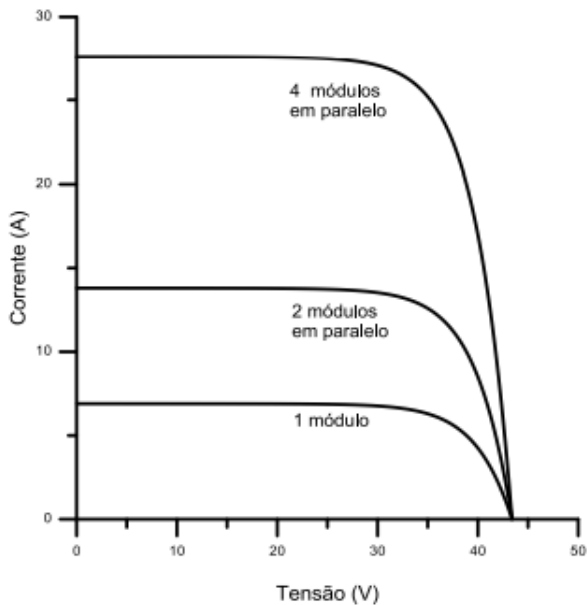


Figura 6 - Comportamento da corrente e tensão em módulos em paralelo [12]

3) Ligação mista de módulos fotovoltaicos

A figura 7 representa esquematicamente a associação mista de $n \times m$ módulos fotovoltaicos.

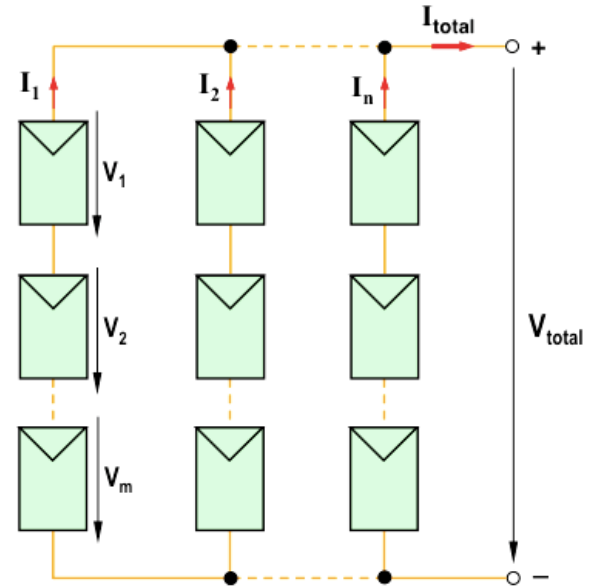


Figura 7 - Ligação em série e em paralelo entre módulos [10]

Onde n representa o número de fileiras de módulos associados em paralelo e m representa o número de módulos associados em série. Na associação mista de módulos fotovoltaicos, obtêm-se as características das associações em série e em paralelo. No entanto, conseguem-se obter valores mais elevados de corrente e de tensão. Com efeito, no pressuposto de que o sistema é constituído por módulos do mesmo tipo, então a corrente I que atravessa cada fileira é igual. Neste contexto, a análise da figura 7 permite estabelecer a seguinte relação:

$$I_1 = I_2 = \dots = I_n = I \quad (3)$$

Por isso, a corrente total é calculada da seguinte maneira:

$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n = n.I \quad (4)$$

Por outro lado, a queda de tensão V que ocorre em cada módulo que integra uma determinada fileira também é igual. Deste modo pode-se escrever a relação seguinte:

$$V_1 = V_2 = \dots = V_m \quad (5)$$

Deste modo, a tensão total é obtida da equação 6 [10]:

$$V_{\text{total}} = m.I \quad (6)$$

B. Características elétricas

1) Radiação

A energia do Sol é transmitida ao nosso planeta através do espaço na forma de radiação eletromagnética. Essa radiação é composta por ondas eletromagnéticas com diferentes valores de energia. Todo o espectro de radiação, incluindo as ondas visíveis ao olho humano e as não visíveis, transportam energia que pode ser convertida na forma de calor ou em energia elétrica. [11]

A corrente elétrica gerada pelo módulo aumenta de acordo com o aumento da irradiância e, a corrente de curto circuito tem um aumento linear. Este comportamento pode ser observado na figura 8. [12]

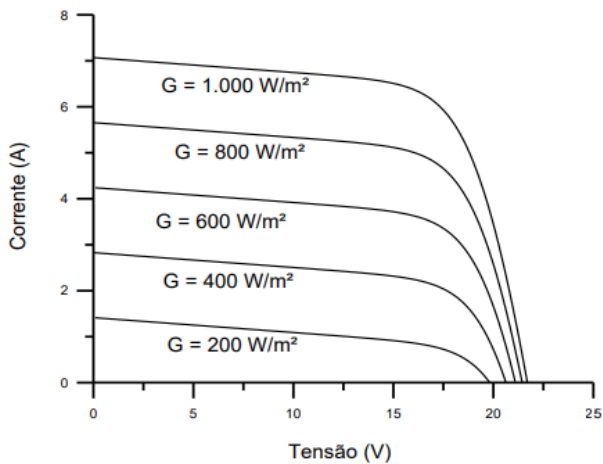


Figura 8 - Comportamento da corrente e tensão em relação a irradiância [12]

Com o aumento da radiação solar na célula:

- A potência de saída da célula aumenta;
- A tensão em vazio, VCA, quase não varia (desprezável);
- A corrente de curto-circuito, ICC, varia linearmente;
- A corrente inversa de saturação, I_0 , varia. [13]

2) Influência da temperatura

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, como se mostra na Figura 9. [11]

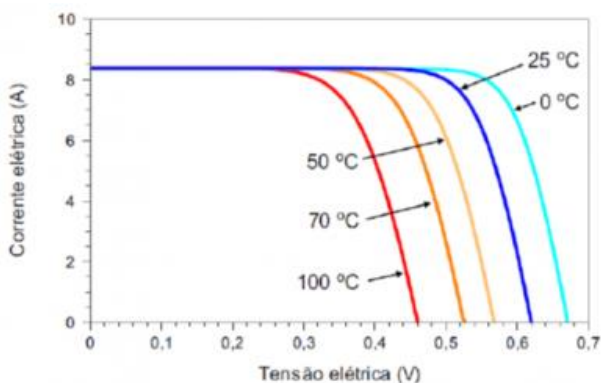


Figura 9 - Comportamento da tensão e corrente com variação da temperatura [11]

Semelhante a outros dispositivos semicondutores, as células solares também são sensíveis à gradientes de temperatura. Como resultado, o calor pode reduzir severamente a geração do módulo solar. [14]

A eficiência elétrica é influenciada principalmente pelo tipo de módulo fotovoltaico usado. Um módulo fotovoltaico típico converte 6-20% da radiação solar incidente em eletricidade, dependendo do tipo de células solares e condições climáticas. O resto da radiação solar incidente é convertida em calor, o que aumenta significativamente a temperatura do módulo fotovoltaico e reduz a eficiência fotovoltaica do módulo. [14]

Com o aumento da temperatura da célula:

- A potência de saída da célula decresce;
- A tensão em vazio, VCA, decresce;
- A corrente de curto-circuito, ICC, varia pouco (desprezável);
- A corrente inversa de saturação, I_0 , varia. [13]

III. HIDROPONIA

Para enfrentar situações climáticas adversas e possibilitar a produção em locais ou épocas em que ocorrem grandes variações de temperatura, alta luminosidade, chuvas intensas, ventos fortes e granizo, a solução é o cultivo protegido de hortaliças em casa de vegetação ou em outra estrutura de proteção. Este sistema permite o uso racional de água e de nutrientes, a programação da produção, a precocidade da primeira colheita, um maior período de produção e, com isso, maior produtividade por planta e por unidade de área. [7]

Por princípio, todas as espécies vegetais podem ser cultivadas hidroponicamente, no entanto, em termos agrônômicos e econômicos, as espécies mais adequadas ao cultivo hidropônico são as de pequeno porte. Há relatos das mais diversas espécies cultivadas em sistema hidropônico em escala comercial: *hortaliças, condimentares, medicinais, ornamentais, frutíferas, forrageiras*. [6]

Várias são as vantagens do cultivo hidropônico, a seguir são listadas algumas dessas vantagens: Melhor controle sobre a composição dos nutrientes fornecidos às plantas; Redução no ciclo da cultura e maior produtividade; Menor consumo de água e de fertilizantes; Redução em alguns tratamentos culturais; Dispensa rotação de cultura; Redução de riscos climáticos; Produção fora de época. [6]

O cultivo hidropônico pode ser realizado por um sistema aberto ou fechado de circulação da solução nutritiva. [7]

A. Sistema aberto

Neste sistema, a solução nutritiva é aplicada ao substrato, contido em contentores tipo calha, canal e saco ou tubo de plástico, de modo a mantê-lo sempre úmido. É geralmente utilizado para o cultivo de espécies de plantas de porte alto, como o tomateiro. Nesse sistema, a aplicação da solução nutritiva é realizada por gotejamento, e usa-se o tanque classe A ou outro tipo de evaporímetro para o controle das aplicações. [7]



Figura 10 – Exemplo de sistema aberto de hidroponia [15]. Imagem: www.tecnologiaetreinamento.com.br/agricultura/hidroponia-agricultura/tipos-de-sistemas-de-hidroponia

B. Sistema fechado

Neste sistema a solução nutritiva circula do reservatório, passando pelo sistema radicular das plantas e retornando ao reservatório. A circulação é realizada, em geral, por bombeamento e drenagem, possibilitando a reutilização da solução. Nesse sistema, há economia de água e nutrientes, no entanto, a solução sofre alterações ao passar pelo sistema radicular. [7]



Figura 11 – Exemplo de sistema fechado de hidroponia [15]. Imagem: www.plataformahidroponia.com/a-hidroponia

Diferentes sistemas de hidroponia são descritos na literatura. Os mais usados são:

a) O sistema de fluxo laminar de nutrientes (NFTJ), segundo que a solução nutritiva é forçada a circular através de calhas, canais ou tubos onde estão as raízes das plantas. [7]



Figura 12 – Exemplo de sistema de fluxo laminar [15]. Imagem: www.safraviva.com.br/hidroponia.

b) O cultivo em água profunda (DFT), piscina ou *floating*, em que a solução nutritiva é contida em um reservatório em forma de piscina, formando uma lâmina de 15 cm a 20cm. [7]



Figura 13 – Exemplo de sistema em água profunda [15]. Imagem: www.canaldohorticultor.com.br/conheca-5-sistemas-dinamicos-para-o-cultivo-hidroponico.

c) A aeroponia, um promissor sistema de hidroponia, no qual a água e os nutrientes são aspergidos sobre o sistema radicular das plantas que está suspenso no ar. [7]



Figura 14 – Exemplo de sistema de aeroponia [15]. Imagem: www.groho.pt/post/como-fazer-um-sistema-em-aeroponia-em-casa.

d) O cultivo em substrato, que constitui também uma forma de hidroponia, pois todos os nutrientes são fornecidos por intermédio da solução nutritiva. [7]

IV. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O projeto desenvolvido tem como objetivo aplicar um sistema hidropônico, utilizando energia fotovoltaica para alimentar o sistema por completo.

Inicialmente foi montado a base, utilizando perfis de alumínio intertravados com barras roscadas e porcas, a fim de suportar as tubulações do sistema hidropônico. Após a montagem, o resultado obtido pode ser observado na figura 15.



Figura 15 - Base da estrutura

Após fixar as tubulações do sistema hidropônico, foram adicionados mais perfis de alumínio para suporta uma telha de polipropileno, com inclinação de 16° , conforme figura 16.



Figura 16 - Base com suporte para telhado e tubulações

Após montar o telhado, foi instalado sobre ele uma pequena estrutura com objetivo de fixar a placa fotovoltaica, visto na figura 17.



Figura 17 - Estrutura com telhado e suporte para placa

Como reservatório do Sistema hidropônico, foi utilizado um balde originalmente destinado a armazenar produtos alimentícios, sendo assim, não deve interferir nos aspectos físico-químicos do produto armazenado e nem liberar resíduos, o tornando um recipiente ideal para ser usado como reservatório de solução nutritiva. E para injetar a solução no sistema, uma bomba d'água de 12 V de corrente contínua, com vazão de 600 a 800 L/h. Balde e bomba representados na figura 18.



Figura 18 - Balde usado como reservatório

Na parte elétrica utilizou-se um módulo fotovoltaico de 30W com dimensões (446x548x30) mm (figura 19), um microcontrolador Arduino uno R2 (figura 20) responsável pela automatização do sistema, além de um módulo relé (figura 21), cuja função é ligar e desligar a bomba.



Figura 19 - Placa fotovoltaica



Figura 20 - Arduino uno R2



Figura 21 – Módulo Relé

Foi utilizada uma bateria para armazenamento de energia elétrica para alimentar o sistema no período em que não houver irradiância solar. A bateria é composta por 3 pilhas de

lithium recarregáveis de 4,2 V em série, resultando em 12,6 V. O cálculo do dimensionamento do tempo foi utilizado a equação 7 onde foi utilizado um banco com total de 29400mAh, e a potência da bomba de 19W, como o banco de bateria não deve ser descarregada para além de um certo limite, sob pena de a danificar. Foi utilizado um fator de profundidade de descarga de 30% (PD = 0,3).

$$\text{Tempo de uso da bateria} = \frac{29,4 \text{ A x h x } 12,6\text{V x } 0,3}{19\text{W (potência bomba)}} \quad (7)$$

$$\text{Tempo de uso da bateria} = 5,8 \text{ horas}$$

O tempo de uso do sistema durante a noite de de 5,8 horas como a noite o sistema fica duas horas ligado e duas horas desligado o banco de baterias atende ao sistema proposto. Na Figura 22 mostra o banco montado com proteção BMS 40A para uso no sistema.

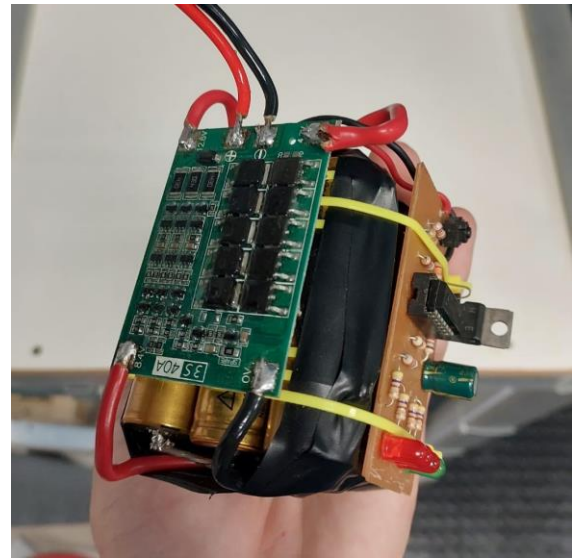


Figura 22 - Bateria

Para fornecer a tensão adequada para o microcontrolador, incorporou-se ao sistema um controlador de carga de placa solar de 10 A, 12 a 24 V e PWM.



Figura 23 - Controlador de carga

Foi utilizado um módulo LCD Keypad Shield (figura 24) para interação com o usuário e para exibir o texto e o tempo durante o ciclo.



Figura 24 – Módulo LCD Keypad Shield

Para organização e armazenamento da bateria, do controlador de carga e dos disjuntores de acionamento elétrico foi adicionado um painel (figura 25).



Figura 25 – Painel do controlador de carga

Para armazenamento do módulo LCD e interação com o usuário, outro painel foi adicionado (figura 26).



Figura 26 – Painel do módulo LCD

Na automatização, foi implementado um algoritmo que

define o ciclo de circulação. O tempo definido no programa foi baseado na produção de alface, que alterna 15 minutos ligado e 15 minutos desligado. A alface é um tipo de hortaliça capaz de crescer no projeto, devido a quantidade de luz necessária para seu desenvolvimento.

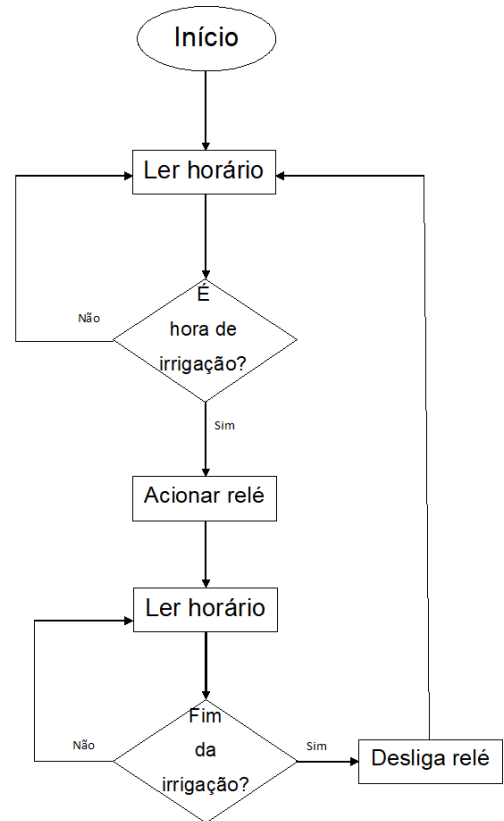


Figura 27 - Algoritmo da programação

Após o processo de montagem dos componentes citados anteriormente, temos a estrutura pronta para funcionamento, conforme figuras 28, 29 e 30.

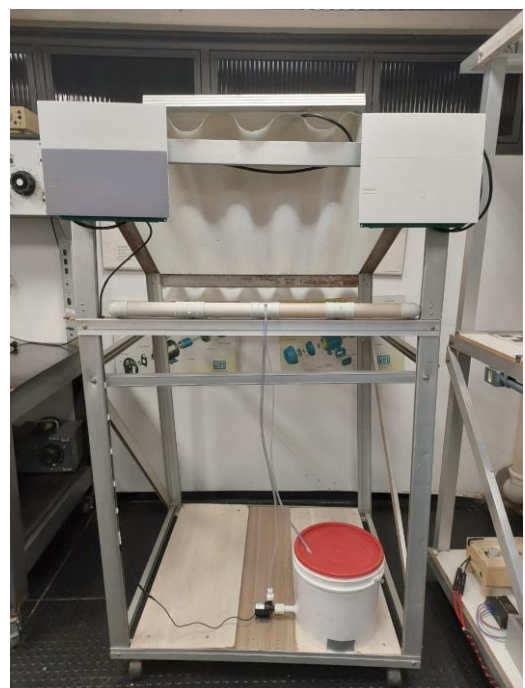


Figura 28 - Projeto em seu estágio final, vista frontal



Figura 29 - Projeto em seu estágio final, vista lateral



Figura 30 - Projeto em seu estágio final, vista posterior

V. RESULTADOS

Com o projeto em funcionamento, todos os componentes funcionando corretamente. É possível notar no LCD se o

sistema está ou não acionado e também o tempo restante do ciclo atual. Com o sistema acionado, a bomba consegue circular a solução pela tubulação com facilidade, a bateria suporta o sistema ligado, a placa fotovoltaica recarrega a bateria como deveria, o que comprova o funcionamento do controlador de carga.

Quanto a programação, os tempos dos ciclos são cumpridos e o acionamento da bomba também ocorre da maneira correta. Durante a circulação da solução pela tubulação, a vazão pelas tubulações em paralelo não é homogênea e a solução tem dificuldade em retornar por completo para o reservatório.

O projeto foi feito reaproveitando alguns materiais para a estrutura, reduzindo o valor final. Os valores dos componentes utilizados no projeto estão especificados na tabela 1.

Tabela1: materiais utilizados e valores

Componente	Valor (R\$)
Bomba	150,00
Placa solar	380,00
Arduino	35,00
Relé	9,00
LCD Keypad Shield	32,00
Controlador de carga	68,00
Total	674,00

VI. CONCLUSÃO

Um projeto totalmente funcional, com todos os conjuntos funcionando corretamente. A bateria tem autonomia de 11,74 horas com a bomba ligada, se baseando na potência da bomba, 19 W, e na energia da bateria, 223,2 Wh. É um sistema simples, apenas com interação visual com o usuário, mas atende seu propósito inicial, que é ter um sistema hidropônico alimentado por energia limpa.

Com uma alteração no programa é possível permitir que o usuário defina o tempo do ciclo manualmente através dos botões. Por utilizar um microcontrolador, também existe a possibilidade de implementar um sistema supervisor para controlar o sistema remotamente, tornando o projeto um produto comercial.

VII. REFERÊNCIAS

[1] Ariane A. Lima, Natalia Pereira Menezes, Sthefany Santos, Byanca Amorim, Fabiano Thomazi, Fernando Zanella, Armando Heilmann, E. Burkarter, Cesar A. Dartora “Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de Energia”, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 42. Curitiba PR, 2019.

[2] Rafael Amaral Shayani, Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira, Ivan Marques de Toledo Camargo “Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais”, LABORATÓRIO DE FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA DO DEPARTAMENTO

DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. Brasília DF, 2006.

[3] Cássio Araújo do Nascimento “PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA CÉLULA FOTOVOLTAICA”, Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação. Lavras MG, 2004.

[4] Miguel C. Brito, José A. Silva “Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade”, Artigo publicado na revista O instalador. Lisboa, 2006.

[5] Antonio Robson Oliveira da Rosa, Fabiano Perin Gasparin “PANORAMA DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL”, Revista Brasileira de Energia Solar Ano 7 Volume VII Número 2. Rio Grande do Sul, 2016.

[6] Egídio Bezerra Neto, Levy Paes Barreto “AS TÉCNICAS DE HIDROPONIA”, Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica vols. 8 e 9, Recife PE, 2012.

[7] Osmar A. Carrijo, Nozomu Makishima “Princípios de Hidroponia”, Embrapa Circular Técnica, 2000.

[8] Francivaldo Balbino da Silva, Artur Torres de Araújo, Neilton Carlos Barbosa, Moises Hamsses Sales de Sousa “CONTROLE AUTOMATIZADO DA ÁGUA NO CULTIVO HIDROPÔNICO”, CONAPESC, 2014.

[9] MENEGAES, Janine Farias; FILIPETTO, Jorge Eugênio; RODRIGUES, Andrielle Magrini; SANTOS, Osmar Souza dos “Produção sustentável de alimentos em cultivo hidropônico”, Revista Monografias Ambientais, v. 14, n. 3, Santa Maria RS, 2015.

[10] Joaquim Carneiro “Módulos Fotovoltaicos – Características e Associações”, 2º Ano do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Guimarães, 2010.

[11] GUILLERMO ANDRÉS RODRÍGUEZ CANTOR “INFLUÊNCIA DOS FATORES CLIMÁTICOS NO DESEMPENHO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EM REGIÕES DE CLIMA TROPICAL”, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS, João Pessoa PB, 2017.

[12] Welber Gonçalves Propheta, Wellington Garcia Vieira “PROTÓTIPO DE SISTEMA HIDROPÔNICO COM REGA AUTOMATIZADA PARA CULTIVO DE ALFACE ALIMENTADO POR SISTEMA FOTOVOLTAICO”, Trabalho Final de Curso para bacharel em Engenharia Elétrica PUC GO, Goiânia GO, 2019.

[13] Ricardo Jorge Cabral Lopes “EFEITO DO SOMBREAMENTO NOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS”, Trabalho final para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica, Lisboa, 2013.

[14] ALEXANDRE ATÍLIO RAMOS DE ALENCAR FILHO “AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA

TEMPERATURA NA EFICIÊNCIA DE MÓDULO FOTOVOLTAICO SOBRE ESTRUTURA FLUTUANTE”, Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, para obtenção do título de mestre em Engenharia Mecânica, Fortaleza CE, 2018.

[15] MARTINEZ, H. E. P.; SILVA FILHO, J. B. Introdução ao cultivo hidropônico de plantas. 3. ed., ver., Viçosa: Ed. UFV, 2006. 111 p

[16] Ritielli Berticelli, Ricardo Lauxen, Alexandre Binato, Gustavo Corbellini Masutti, Luis Kaufmann Rodrigues “Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações”, Centro de Ciências Sociais e Aplicadas– Universidade de Cruz Alta (UNICRUZ), Cruz Alta, RS, 2017.