

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO FOTVOLTAICA AUTÔNOMO PARA ÔNIBUS ADAPTADO PARA FOOD TRUCK.

DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS PHOTOVOLTAIC ILLUMINATION SYSTEM FOR A FOOD TRUCK.

PROYECTO DE DISEÑO DE ILUMINACIÓN PARA UN FOOD TRUCK CON UN SISTEMA FOTVOLTAICO AISLADO

João Vitor Pruinelli¹; João Pedro de Marchi²; Juscélia Padilha³; Luan Henrique Pereira⁴; Jeancarlos Araldi⁵

1. Instituto Federal de Santa Catarina-IFSC; E-mail: joao.vp15@aluno.ifsc.edu.br
2. Instituto Federal de Santa Catarina-IFSC; E-mail: joao.pdm@aluno.ifsc.edu.br
3. Instituto Federal de Santa Catarina-IFSC; E-mail: juscélia.padilha@ifsc.edu.br
4. Instituto Federal de Santa Catarina-IFSC; E-mail: luan.p11@aluno.ifsc.edu.br
5. Instituto Federal de Santa Catarina-IFSC; E-mail: jeancarlos.araldi@ifsc.edu.br

RESUMO

Diante do atual cenário mundial, busca por fontes alternativas de energia. Considerou-se a necessidade de um sistema independente, em locais desprovidos de fonte de energia elétrica, para resolver alguns problemas da sociedade. O objetivo deste, é desenvolver um sistema fotovoltaico isolado, que tivesse autonomia para suprir a própria demanda de iluminação, sendo dimensionado para um ônibus *food truck*. Tal sistema ficaria acoplado em um ônibus, com painéis fotovoltaicos fixados em uma estrutura no teto no lado externo. Sistema este, que poderá ser desconectado periodicamente, quando o ônibus necessitar se movimentar. Os demais componentes estão alocados internamente. Para testes de validação, simulou-se sua implantação em um Instituto Federal de Educação no oeste de Santa Catarina. O projeto visa difundir a consciência sustentável, mostrando o compromisso do IF com empresas e toda a comunidade. Além de possibilitar aos estudantes a aplicação dos saberes adquiridos nos cursos com ênfase em mecânica.

Palavras-Chave

Sustentabilidade; Energia Renovável; Energia Solar.

RESUMEN

Ante el escenario mundial actual, búsqueda de fuentes de energía. Se planteó la necesidad de un sistema independiente, en lugares sin fuente de energía eléctrica, para solucionar algunos problemas de la sociedad. El objetivo es desarrollar un sistema fotovoltaico aislado, que tenga autonomía para abastecer su propia demanda de iluminación, siendo dimensionado para un food truck bus. Dicho sistema estaría conectado a un autobús, con paneles fotovoltaicos unidos a una estructura de techo externa. Este sistema, que se puede apagar periódicamente, cuando el autobús necesita moverse. Los demás componentes se asignan internamente. Para las pruebas de validación, se simuló su implementación en un Instituto Federal de Educación en el oeste de Santa Catarina. El proyecto tiene como objetivo difundir la conciencia sostenible, mostrando el compromiso de IF con las empresas y toda la comunidad. Además de capacitar a los alumnos para aplicar los saberes adquiridos en cursos con énfasis en mecánica.

Contraseñas

Sostenibilidad; Energía renovable; Energía solar.

ABSTRACT

As for the current society, there's a search for renewable energy sources, and given the situation, this project was brought up to provide energy to an isolated system that has not got a way of generating energy for itself, automatizing this energy-give process. Therefore, the objective of this project was to develop a photovoltaic system that has the autonomy to provide energy to itself, and thy system shall be allocated onto a food truck. The system was fixed into a structure on top of the food truck, the structure which can be detached if the food truck ever needs to move. A few other components could be found inside of the food truck. This system was implanted into a federal institute's container, simulating a food truck. Developing thy project helped to show how the federal institutions are committed with sustainable development and with the community.

Key Words

Sustainability; Renewable Energy; Solar Power.

1 INTRODUÇÃO

Os seres humanos possuem características intelectuais que os diferencia dos demais animais. Essas características possibilitaram, historicamente, seu desenvolvimento técnico e social. Em decorrência, novas necessidades foram criadas, exigindo novas tecnologias para supri-las. Nem sempre esses avanços consideram o espaço em que estão inseridos ou até mesmo com o planeta terra. Apresenta-se em vários aspectos da sociedade, principalmente com a geração de energia a partir de fontes não renováveis. O planeta não consegue repor a matéria prima utilizada para essa produção de energia. Todavia com os impactos previstos por levianas ações, novas fontes de geração de energia “alternativas”, de fontes renováveis estão sendo desenvolvidas, tais como eólicas, solares fotovoltaicos e centrais termelétricas (dos Reis, 2006).

Atualmente, 90% da energia elétrica consumida no Brasil advém de usinas hidrelétricas. Apesar disso, o país só utiliza 25% do seu potencial hidráulico (Pena, 2018). Isso acontece porque o Brasil também tem grande potencial em outras áreas de geração de energia, como é o caso da energia proveniente do sol. Estudos apontam que o Brasil tem níveis de irradiação maiores até mesmo que os países líderes no segmento de energia fotovoltaica, como Alemanha e China.

Os painéis que produzem a energia solar funcionam através do “efeito fotovoltaico”, fenômeno esse, que produz corrente elétrica com os raios ultravioletas da luz solar, isso acontece porque a origem de suas células é formada por semicondutores. A maioria das células é fabricada de Silício, que possuem uma banda de energia que permite elétrons, e uma banda que não os possui (vazia), essa diferença das bandas aliadas a materiais presentes na composição da célula, como Fósforo e até Boro, permite a produção de energia. A excitação calórica dos raios ultravioletas, aliado a propriedade dos materiais semicondutores (diminui sua resistividade quando são aquecidos), produzem uma diferença de tensão que gera a corrente elétrica contínua, que pode ser armazenada e/ou transformada em corrente alternada por um inversor, (Miyazato, 2016).

Através da radiação solar podemos obter duas fontes de energia sustentáveis, nas quais estão submetidas a efeitos distintos, são eles o efeito fotoelétrico e o efeito fotovoltaico. Embora ambos estejam relacionados com a emissão de elétrons por meio da absorção de luz, esses não ocorrem através do mesmo processo (Santos, 2018).

A grande vantagem do sistema pensado para este projeto é que seria isolado. Sistemas fotovoltaicos isolados (SFI) são sistemas que não tem conexão com a rede elétrica, ou seja, são autônomos. Quando compostos pelo gerador (módulo) fotovoltaico, controlador de carga, inversor e nesse caso, necessitam de um conjunto de acumuladores de energia (baterias) para suprir as necessidades elétricas quando a produção dos geradores é insuficiente (tempo nublado ou durante a noite são alguns exemplos).

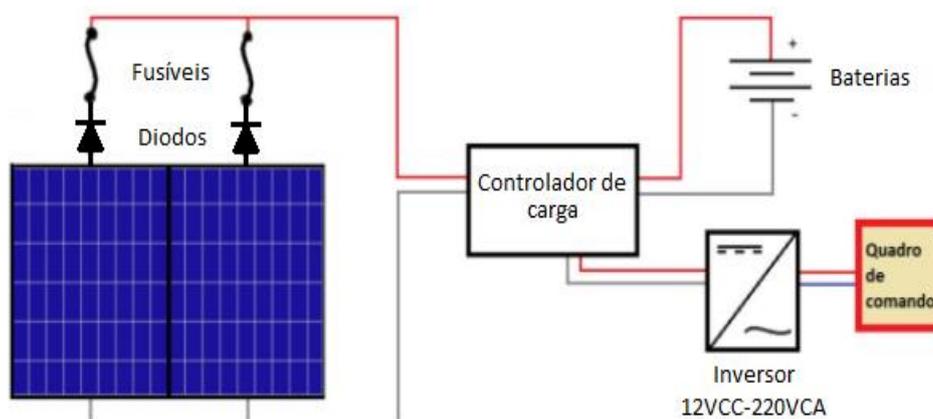
Logo vê-se a importância que este estudo representou para a comunidade de energia elétrica renovável. Enriquecendo o conhecimento dos pesquisadores e desenvolvendo uma tecnologia importantíssima para o crescimento do cenário científico brasileiro.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente estudo, calculou-se o consumo diário, dimensionamento das baterias, perdas de energia do sistema, dimensionamento dos módulos fotovoltaicos, dimensionamento do inversor que é armazenada nas baterias de Corrente Contínua (CC), e a utilizada é Corrente Alternada (CA) fica restringida a resistência, dimensionamento do controlador de carga, dimensionamento dos componentes que foram utilizados: fios condutores, fusível, quadro de comando, diodo semiconductor.

Figura 1

Esquemática da ligação entre os componentes do SFI



Após os cálculos, dimensionou-se o sistema e, projetada a disposição dos equipamentos no ônibus, de forma a não impactar nas atividades desenvolvidas, a organização dos equipamentos e componentes dentro da instalação é uma parte importante do projeto, uma vez que se deve imaginar onde cada equipamento/dispositivo ficará para aproveitar ao máximo o espaço e diminuir desperdícios. Os painéis fotovoltaicos foram alocados no teto na parte externa. O inversor, o controlador de carga, os fusíveis e os diodos no quadro de comando. Este, conta com disjuntores do ônibus, possibilitando acionamento da rede elétrica, se necessário. Do quadro de comando será distribuída a energia (por fios condutores, em eletrodutos). A bateria é alocada no chassi, protegida de intempéries e bem arejada.

A próxima e última etapa, desenvolveu-se o projeto em CAD e a fabricação da estrutura para fixar os painéis solares. Além de suportar o peso das placas calculadas, em uma orientação ideal, mantém-se estática em cima do container do almoxarifado (simulação)

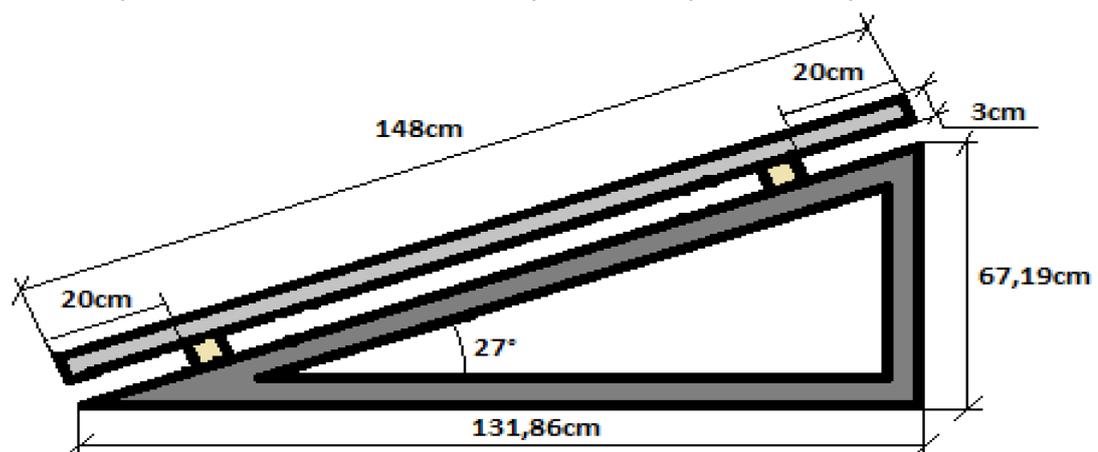
enquanto permanece estacionado. Devido à exposição dessa estrutura às intempéries diariamente, fabricou-se com aço galvanizado (resistente à oxidação) no formato de dois triângulos retângulos de mesma angulação, como indica a literatura, para maior aproveitamento/rendimento.

Nesta aplicação, além de suportar o peso das placas (22kg) em uma orientação favorável (aproximadamente 27°), a estrutura deve se manter estática em cima do ônibus, "Food Truck" (que permanece estacionado) e ter a possibilidade de ser desconectada do seu suporte, quando o ônibus sair para manutenção/revisão (uma vez ao ano).

O perfil escolhido foi o tubular 50x50mm, comercialmente conhecido como Metalon que é produzido com aço carbono galvanizado. Possui uma melhor retenção de peso em relação aos demais perfis fabricados, uma vez que possui uma espessura fina. Para construção do triângulo retângulo considera-se o valor da hipotenusa como sendo o comprimento do painel fotovoltaico, 148cm, e adotando o ângulo corresponde ao valor da latitude, aproximadamente 27° . Calculou-se, através de equações triviais de trigonometria, o comprimento do cateto oposto, correspondente ao comprimento vertical, e o comprimento do cateto adjacente, correspondente ao comprimento horizontal da estrutura. Como mostra a figura 3.

Figura 3

Dimensionamento inicial da estrutura. Cinza escuro representa os perfis tubulares; cinza-claro representa os painéis fotovoltaicos; amarelo queimado representa os perfis de trilho



Contudo, os painéis foram fixados à estrutura através dos perfis trilho, assim, os últimos 20cm da hipotenusa se tornam sobremetal e conseqüentemente desperdício, por isso

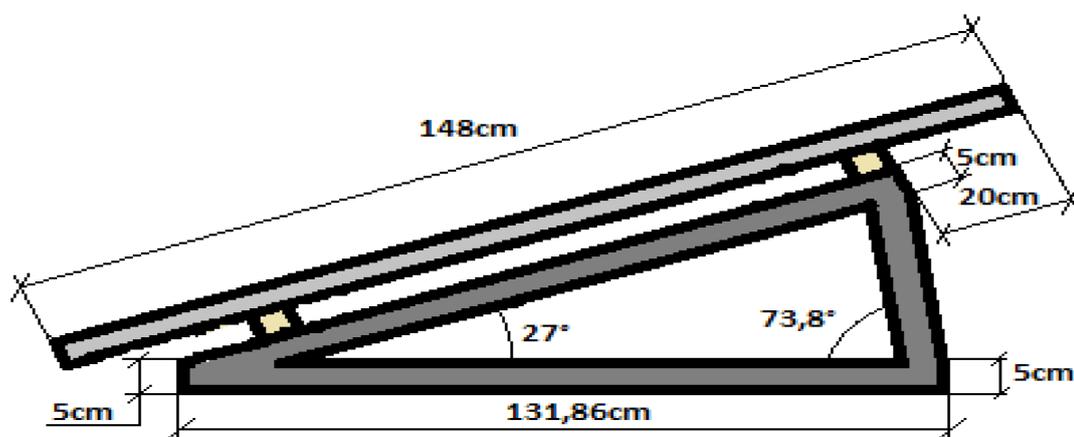
substituiu-se a barra vertical por uma barra angulada, de forma que o perfil trilho fique na extremidade da estrutura. Além dessa nova disposição da barra garantir um maior apoio aos painéis fotovoltaicos. Além de que se deve levar em conta que nas extremidades da estrutura foram soldados os perfis tubulares que ligam os dois triângulos, assim, as extremidades não apresentam ângulos diferentes da perpendicular, e, como consequência, o processo de cortes e soldagem foram facilitados.

Cortou-se a ponta em que a hipotenusa se encontra com o cateto adjacente (a estrutura não é mais um triângulo retângulo, porém para fins ilustrativos ainda usa o nome de reta), de forma que se origine um uma linha vertical de tamanho 5cm (igual ao tamanho do tubo) perpendicular ao solo. O mesmo processo acontece na união do cateto adjacente com o cateto oposto, onde há uma secção de 5cm na extremidade, também perpendicular ao solo.

Por fim há a união da hipotenusa com o cateto oposto, porém para análise se observou o ângulo entre o cateto oposto e o adjacente (CA x CO). Este ângulo de 73° , segue até a extremidade do trilho, porém se fosse adicionado um segmento de reta perpendicular à hipotenusa de 5cm, restaria uma pequena sobra de material, que será corrigida com uma alteração do ângulo CA x CO, para $73,8^\circ$, o que fez com que o cateto oposto coincidisse com o final desses 5cm e não diretamente com o perfil de trilho. Como pode ser observado na figura 4.

Figura 4

Dimensionamento estrutural final.



Contudo, visando proteger ainda mais a estrutura contra os efeitos climáticos, deve-se dimensionar as barras de ligação de forma que a Largura da Estrutura (1) fique menor que a

soma da Largura dos Painéis (LP) com a área do Grampos Intermediários (GI) que separa os dois painéis (para facilitar os cálculos foi arredondado de 1,88cm para 2cm), dessa forma os painéis serviram como uma espécie de “cobertura”, para toda a estrutura. Ou seja, a Largura da Estrutura (LE) deve:

$$\begin{aligned} LE &< (LP \cdot 2) + GI \\ LE &< (68cm \cdot 2) + 2cm \\ LE &< 138cm \end{aligned} \quad (1)$$

Com isso, pode-se dimensionar a Largura da Estrutura como 100cm, obedecendo a condição, de forma que sobrasse um total de 19cm dos painéis para as laterais. Para descobrir o tamanho final da barra de ligação (BL) foi desconsiderado desse um metro a Espessura dos Triângulos (ET), logo (2):

$$BL = 100cm - (ET \cdot 2) = 100 - (5 \cdot 2) = 90cm \quad (2)$$

Por fim, calculou-se o quanto de material será utilizado para fazer a Conexão Central (CC) (3). Ao todo foram utilizados 3, um em cada extremidade do triângulo, então:

$$CC = BL \cdot 3 = 90cm \cdot 3 = 270cm = 2,7m \quad (3)$$

A fixação entre a placa e a estrutura foi feita com grampos ligados a um perfil trilho (perfil que se assemelha a um H). Esse conjunto é responsável por sustentar a placa e por isso também é a peça mais exposta a ações climáticas, então seu material foi determinado por ser de alumínio.

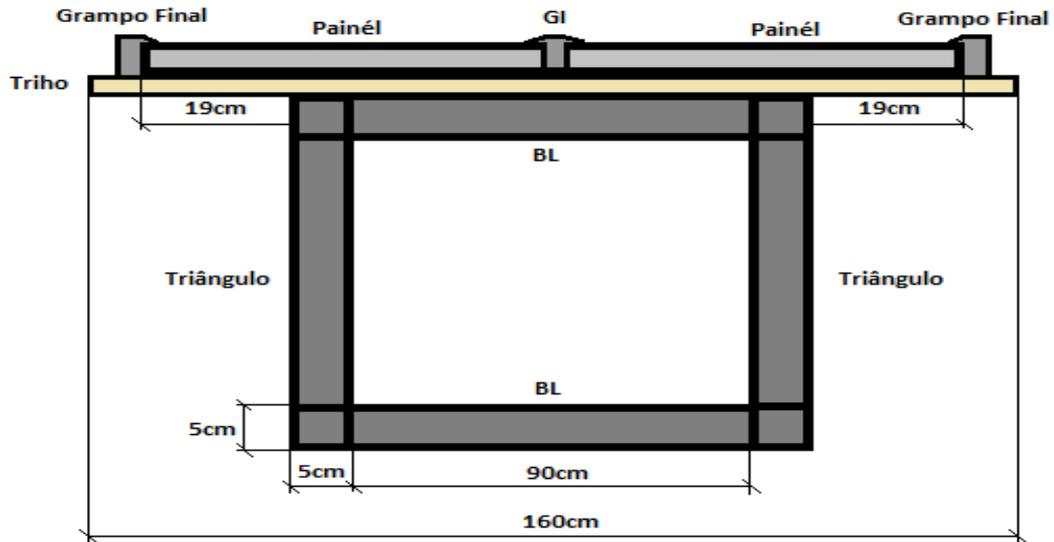
Para dimensionar o Tamanho do Perfil Trilho (TPT) (4) foi considerado a Largura dos Painéis (LP) somado com os Grampos Intermediários (GI) e Grampos Finais (GF) (para facilitar os cálculos, eles foram arredondados de 4,58 para 5cm). Logo:

$$\begin{aligned} TPT &> LP + GI + GF \\ TPT &> (68cm \cdot 2) + 2cm + 5cm \\ TPT &> 143 \end{aligned} \quad (4)$$

Desse modo selecionou-se os perfis trilhos com 160cm por uma medida de segurança, desta forma pode-se observar como se deu o projeto da estrutura de uma visão posterior simplificada, como indica a Figura 5.

Figura 5

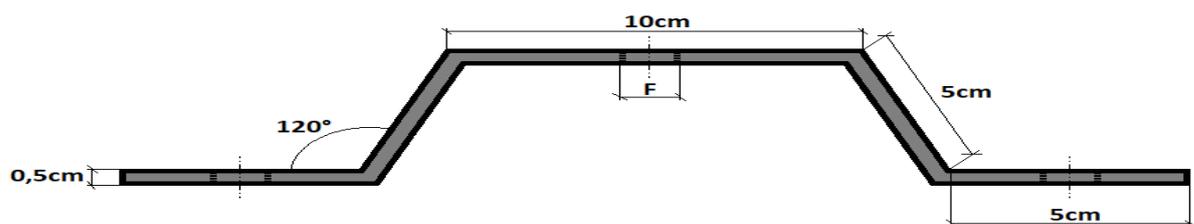
Imagem simplificada da visão traseira da estrutura



A fixação da estrutura no ônibus foi feita, de tal maneira que é possível retirá-la quando o ônibus necessite sair das instalações do Instituto. Para isso optou-se por chapas de Aço Inox com 30cm de comprimento, 10cm de largura e 0,5cm de espessura, dobradas de modo que tenham uma elevação no meio, formando uma curva com angulação de 120°, assim como é possível ver na Figura 6.

Figura 6

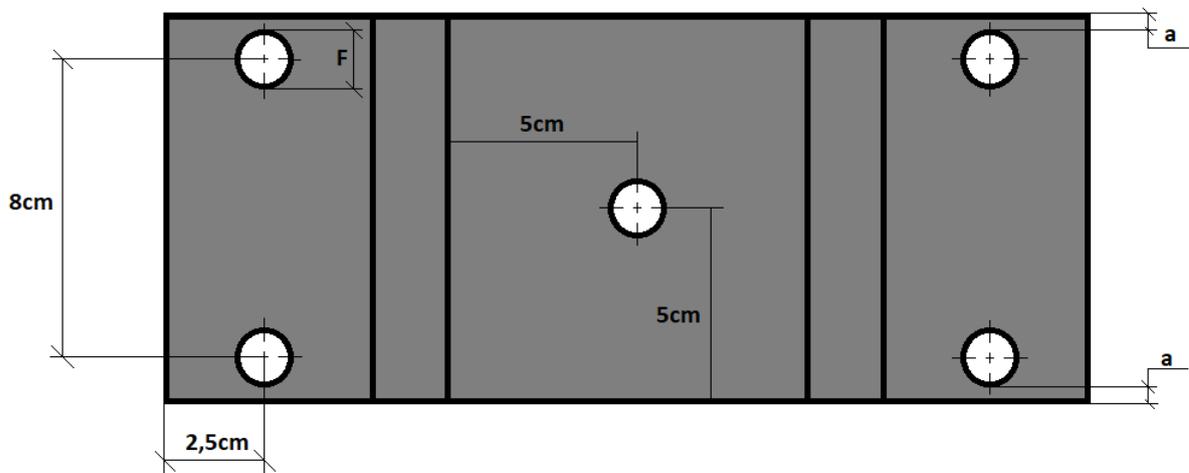
Chapa de fixação da estrutura, vista frontal



Cada superfície de contato da chapa com o ônibus tem 2 furos com afastamento de 8cm entre si, de forma que sobre uma distância de "a" entre o furo e a lateral da chapa, mostrando que ambas têm o mesmo distanciamento como mostra a Figura 7.

Figura 7

Chapa de fixação da estrutura, vista superior



Ao todo foram utilizadas 4 chapas de fixação, assim, pode-se calcular a área total de material que foi necessária para construir todas as chapas com uma simples multiplicação, chegou-se ao valor de 1200cm².

Assim, com o término do dimensionamento estrutural, através do software *Solidworks*, foi desenvolvido o projeto final da estrutura que foi conseqüentemente construída, como pode-se observar na figura 8.

Figura 8

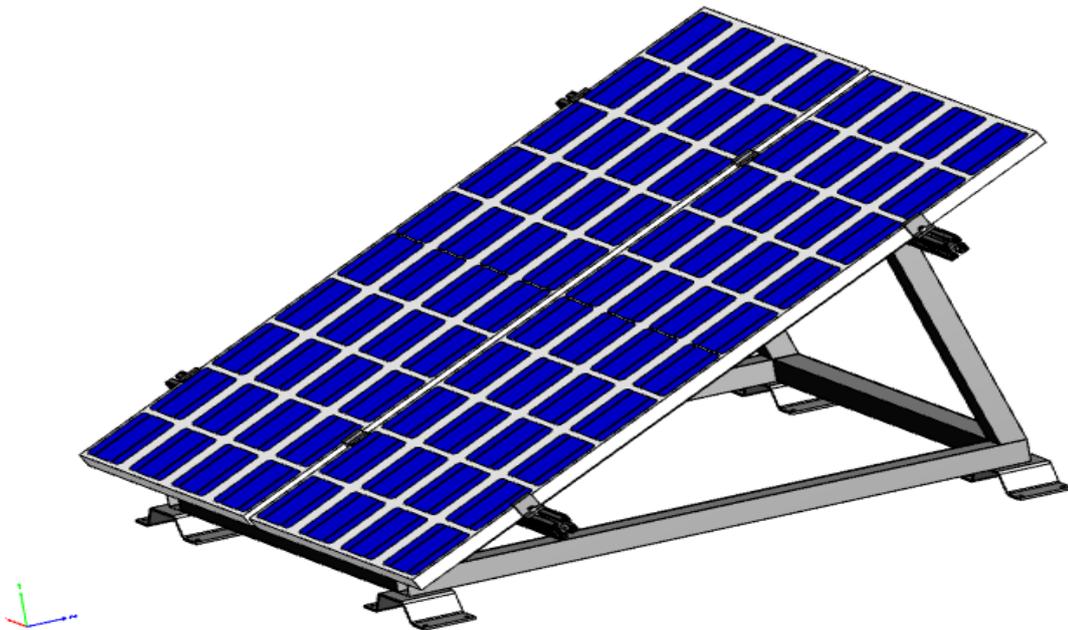
Montagem final da estrutura sem módulos fotovoltaicos



A Figura 8 mostra como a estrutura ficará sem os módulos fotovoltaicos, assim percebe-se a disposição de todos os componentes da estrutura, na figura 9 é possível visualizar o projeto final da estrutura construída.

Figura 9

Montagem final da estrutura com os módulos fotovoltaicos



Já a Figura 3.0, mostra a visão final da estrutura restando apenas a junção das chapas de fixação no ônibus.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente confeccionou-se a estrutura de suporte para os painéis solares (1), a qual pintou-se para evitar desgaste da estrutura causados por intempéries climáticas e pela oxidação (2). Logo após, iniciou-se a instalação elétrica fixando os eletrodutos e passando os fios condutores que ligam todos os componentes do sistema (3), para então confeccionar as ligações elétricas entre o painel, quadro de comando, lâmpadas etc.

A caixa de bateria alocou-se no container adjacente o qual instalou-se os painéis fotovoltaicos. E ao final tem-se um sistema que gera energia corretamente, carrega a bateria e ilumina o container, controlado pelo controlador de carga.

Figura 10

(1) - Estrutura de suporte dos painéis, (2) - Pintura da estrutura de suporte e (3) - instalação elétrica.



Sobre o consumo diário de energia elétrica, levando em consideração as informações da Lâmpada Led T8 18W, é possível distinguir o quanto de energia será necessário para acender as lâmpadas dentro do período indicado.

A potência total instalada (5) é dada por:

$$P_{instalada} = 18W \cdot 8 = 144W \quad (5)$$

Sendo assim o consumo diário (6) é estimado em:

$$C = 144W \cdot 4h = 576Wh \quad (6)$$

Tabela 1

Resumo do consumo das lâmpadas LED

Quantidade	Equipamentos	Consumo (W)		Horas de uso/Dia	Consumo Diário (Wh)
		Por unidade	Total		
8	Lâmpada LED	18	144	4	576

A energia mínima das baterias é dada pela razão entre o consumo diário (2) e o percentual de descarga. Aproximando o total de perdas nos cabearmentos em 6%, perdas de conversão de energia na bateria (energia elétrica-química-elétrica) de 10% e outros 10% de perdas por desajuste, tem-se que a energia mínima das baterias com perda (7) necessária é de:

$$Energia_{perdas} = \frac{2880Wh}{(1-0,06) \cdot (1-0,10) \cdot (1-0,10)} \approx 3782,5Wh \quad (7)$$

Considerando que foram utilizadas apenas baterias de 12V, sua capacidade (8) é dada por:

$$C_{baterias} = \frac{3782,5Wh}{12V} \approx 315,2Ah \quad (8)$$

Para dimensionar os painéis fotovoltaicos (9), considerou-se o mês com menor incidência solar, sendo junho como mostra a tabela 2, garantindo pleno funcionamento durante todo o ano.

Tabela 2

Irradiação solar diária média

Irradiação solar diária média (kWh/m2.dia)												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
6,22	5,66	5,08	4,11	3,16	2,70	2,99	3,86	4,07	5,10	6,10	6,38	4,62

Fonte: CRESESB.

$$Potência = \frac{C}{Horasdesol} = \frac{576Wh}{2,70h} \approx 213,33W \quad (9)$$

A partir da potência, dimensiona-se levando em consideração as perdas (perdas nos cabearmentos em 6%, perdas de conversão de energia na bateria 10% e outros 10% de perdas por desajuste (não utilização de um MPPT),) (10).

$$Potência_{Necessária} = \frac{213,33W}{(1-0,06) \cdot (1-0,10) \cdot (1-0,10)} \approx 278,86W \quad (10)$$

Após, calcula-se a quantidade de painéis necessários (11).

$$Painéis_{Necessários} = \frac{Potência_{Necessária}}{Potência_{painel}} = \frac{278,86W}{150W} \approx 1,85 \quad (11)$$

Com os cálculos referente aos painéis concluídos, vê-se a necessidade de dimensionar o inversor. Adotando o inversor de 200W, calcula-se a carga relativa do inversor quando operando a plena carga (S), (12):

$$P_{utilizada} = \frac{S}{P_{inversor}} \cdot 100 = \frac{121,26W}{200W} \cdot 100 \approx 60\% \quad (12)$$

Com a carga relativa do inversor calculado, percebe-se que é o suficiente para operar ao máximo com as placas. Com isso é necessário um controlador de carga para regular a tensão das baterias para aumentar a vida útil delas. Logo, uma corrente máxima no lado de corrente alternada se dá por:

$$I_{Máxima} = \frac{S}{V} = \frac{121,26W}{220V} \approx 0,55A \quad (13)$$

E considerando um rendimento (η) de:

$$I_{entrada} = I_{painéis} \cdot n_{painéis} = 8,32 \cdot 2 = 16,64 \quad (14)$$

Conta:

$$\eta = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}} = \frac{V_{saída} \cdot I_{saída}}{V_{entrada} \cdot I_{entrada}} = \frac{220 \cdot 0,55}{12 \cdot 16,64} \approx 0,60 \quad (15)$$

logo, tem-se a seguinte corrente no lado de corrente contínua:

$$I_{máxima} = \frac{V_{saída} \cdot I_{saída}}{\eta \cdot V_{entrada}} = \frac{220V \cdot 0,55A}{0,60 \cdot 12V} \approx 16,8A \quad (16)$$

Assim determinou-se: fatores elétricos envolvendo as placas fotovoltaicas, faltando o dimensionamento dos fios condutores, os quais foram selecionados em 1,5 mm² para suprir a demanda necessária. Determinando assim tabela 3 de resumo:

Tabela 3

Resumo dos componentes elétricos utilizados na iluminação

Circuitos		Potência		Corrente Nominal (A)	Seção dos condutores (mm ²)	Disjuntor Corrente nominal
Tipo	Quantid.	P. lâmpada (W)	P. Aparente (VA)			
Lâmpadas LED	8,00	18,00	121,26	0,55	1,5	10,00

Com todos os fatores prévios definidos, por fim realizou-se a montagem final das placas fotovoltaicas em cima do container do almoxarifado do IFSC Campus Xanxerê, como mostra a imagem abaixo (Figura 11).

Figura 11

Resultado da montagem das placas fotovoltaicas



4 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E CONTINUIDADE DO TRABALHO

No decorrer do presente projeto foi possível determinar diversas questões referente à construção e dimensionamento de um dispositivo fotovoltaico. Dentre elas está a demanda de energia elétrica de um ônibus *food truck*, a qual foi calculada levando em consideração as informações da Lâmpada Led T8 18W, o que mostrou que o consumo diário de energia seria de aproximadamente $576Wh$.

Com a informação do consumo diário, foi possível calcular o restante das variáveis para o desenvolvimento do sistema fotovoltaico. O que resultou na construção do suporte para dois painéis fotovoltaicos com cabeamento de $1,5\text{ mm}^2$.

Assim, o presente projeto mostra como é possível construir e dimensionar um design fotovoltaico para ser usado em um sistema isolado produzindo toda energia necessária para funcionar autonomamente. Discentes ainda podem desenvolver projetos para manutenção periódica das placas e inclusive atualizações conforme haja necessidade.

Declaração de conflito de interesses

Nada a declarar.

Agradecimentos

Esse estudo foi financiado pela Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação pelo edital 14/2021/PROPP/DP/XXE.

Contribuições dos autores

JVP: Conceituação, Curadoria de Dados, Metodologia. JPM: Supervisão, Validação, Visualização, Escrita – Primeira Redação. JP: Obtenção de Financiamento, Investigação. LHP: Análise Formal, Escrita – Revisão e Edição. JA: Validação.

REFERÊNCIAS

- CRESESB (2014) Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2 ed. Disponível em:
<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata> Acesso em: 16 fevereiro 2023.
- dos Reis, L. B., & Santos, E. C. (2006). *Energia elétrica e sustentabilidade: aspectos tecnológicos, socioambientais e legais*. Editora Manole.
- Miyazato, T. (2016). *Aquecimento solar residencial: diretrizes para implantação*. Appris Editora.
- Pena, R. F. A. (2020). *Fontes de Energia do Brasil. Fontes de Energia Brasileiras*. MundoEducação. Disponível em: <https://mundoeducacao.com.br/geografia/fontes-energia-brasil.htm> . Acesso em: 16 de fevereiro 2023.
- Santos, E. K. S. D. (2018). *Diretrizes para a concepção de projetos de sistema fotovoltaico conectado à rede em residências de médio padrão na cidade de Pato Branco-Paraná (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná)*. Disponível em:
<http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/660590>. Acesso em: 16 de fevereiro 2023.