



ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID EM UM FOOD TRUCK

ANALYSIS AND SIZE OF AN OFF-GRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN A FOOD TRUCK

Tamires Lopes de Sousa¹

João Luiz Bergamo Zamperin²

RESUMO: O uso da energia solar possui diversos benefícios, um deles é a independência da concessionária de energia elétrica, proporcionando a diminuição da demanda pela energia do sistema nacional, adiando assim, a construção de novas barragens e usinas termelétricas, que geram diversos impactos ambientais e por ser uma fonte de energia renovável e limpa. Este trabalho consiste em analisar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico off-grid em um food truck, apontando os seus benefícios e por fim analisar a durabilidade das baterias deste projeto e o retorno do investimento.

Palavras-chave: Energia solar Fotovoltaica; Energia Renovável; Off-grid

ABSTRACT: The use of solar energy has several benefits, one of which is the independence of the electric power concessionaire, providing a reduction in the demand for the energy of the national system, thus delaying the construction of new dams and thermoelectric plants, which generate several environmental and Be a renewable and clean source of energy. This

¹ Graduanda em Engenharia Elétrica, UNITOLEDO, 2017.

² Doutro em Engenharia Elétrica, UNESP, 2015.

work consists of analyzing the design of an off-grid photovoltaic system in a food truck, pointing out its benefits and finally analyzing the durability of the batteries of this project and the return on investment.

Key words: Photovoltaic solar energy; Renewable energy; Off-grid

1. INTRODUÇÃO

A evolução das fontes de energias renováveis torna-se cada vez mais importante. A procura de uma fonte inesgotável de energia é cada vez mais cobiçada, sendo assim a energia solar é vista como uma boa opção.

O Brasil apresenta um dos maiores índices de irradiação solar do mundo, como pode ser visto na Figura 1. Os valores anuais de radiação solar global incidente variam entre 1.550 e 2.400 kWh/m² ao longo do território nacional e são superiores aos da maioria dos países da União Européia, como, por exemplo, a Alemanha (900 – 1.250 kWh/m²) e a França (900 – 1.650 kWh/m²).



Figura 1 - Mapa da radiação solar no Brasil

Fonte: *ecoa*(2010)

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isto se dá, por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (IMHOFF,2007).

1.2 SISTEMA OFF-GRID

Os sistemas fotovoltaicos podem se classificar como off-grid, que são um conjunto que não depende da rede elétrica convencional para demanda de energia elétrica, sendo possível sua utilização em localidades carentes de rede de distribuição elétrica. Existem dois tipos de autônomos: com armazenamento e sem armazenamento. O primeiro pode ser utilizado em carregamento de baterias de veículos elétricos, em iluminação pública e, até mesmo, em pequenos aparelhos portáteis (VILLALVA & GAZOLI, 2012). Enquanto o segundo, além de ser frequentemente utilizado em bombeamento de água, apresenta maior viabilidade econômica, já que não utiliza instrumentos para o armazenamento de energia (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

Os sistemas isolados de geração de energia solar fotovoltaica, de maneira simplificada, são compostos de quatro componentes:

Painéis solares ou placas solares: Sendo o sistema que gera energia elétrica, cuja propriedade de transformar a radiação solar em energia elétrica. Um sistema pode ter apenas um painel ou vários painéis interligados entre si.

Controladores de carga:garantem o correto abastecimento das baterias evitando sobrecargas e descargas profundas, aumentando sua vida útil.

Inversores: tem a função de transformar corrente contínua (CC) em corrente alternada (AC), e levar a tensão, por exemplo, de 12V para 127V. Em alguns casos pode ser ligado a outro tipo de gerador ou à própria rede elétrica para abastecer as baterias.

Baterias: Sistema de armazenamento de energia elétrica para ser utilizada nos momentos em que o sol não esteja presente e não haja outras fontes de energia.

Este artigo visa realizar o uso do sistema fotovoltaico off grid em um food truck que é tendência da gastronomia mundial, os **food trucks** oferecem vários tipos de comida, tudo isso é possível aos caminhões de pequeno porte que são adaptados e que se transformam em verdadeiros restaurantes móvel. A iniciativa começou pelos Estados Unidos, mas já está ganhando adeptos no Brasil e em outros países da América do Sul. Nas ruas brasileiras ainda há poucos food trucks, mas eles vêm surgindo cada vez mais, a maioria em São Paulo. Um dos mais conhecidos é a Temakeria Navan, inaugurada em janeiro por um grupo de jovens empresários. A Temakeria utiliza energia eólica e solar como fonte de energia. A utilização da

energia gerada a partir do sistema off-grid trás vários benefícios para o empresário e para o cliente, oferecendo uma economia por parte do gasto com gasolina e um maior conforto ao cliente por não ter ruídos e faz com que o estabelecimento fique com uma estética mais agradável

2. OBJETIVOS

A análise a ser desenvolvida tem como objetivo de dimensionar a instalação de um sistema de energia gerada através de um sistema fotovoltaico off-grid. O uso de gerador como fonte de energia acarreta várias desvantagens ao empresário, fatores como: ruídos, gasto com combustível (gasolina), poluição, cheiro de gasolina em um ambiente de preparação de alimentos, dificuldade em transporte do gerador e a estética visual do ambiente. Para a diminuição destes fatores uma boa opção é a instalação do sistema fotovoltaico off-grid que não há gastos com combustível e nem ruídos por ser uma energia totalmente limpa. Sua instalação é quase imperceptível por ser instalado na parte superior do food truck oferecendo uma estética mais agradável a ambiente.

RELAÇÃO DE CONSUMO EM WATTS					
Quantidade	Equipamento	Consumo W		Horas de uso/dia	Consumo W por dia
		Unitário	Total		
3	Lâmpadas internas	8	24	6	144
1	Maquina de cartão de crédito	60	60	6	360

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a instalação de um sistema fotovoltaico off-grid em um Food Truck, se faz necessário o levantamento dos itens os quais dependem de energia elétrica e a sua potência em Watts. A Tabela 1 evidencia o gasto diário em W/dia que o Food Truck.

1	Freezer horizontal 336L	335	335	6	2010
Total do consumo W/dia					2514

Tabela 1 – Tabela de consumo diário em Watts

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.



Figura 2 – Food truck que está sendo analisado

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.



Figura 3 – Lâmpadas internas 8W

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.



Figura 4 – Tomada utilizada para a máquina de cartão de crédito

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.



Figura 5 – Freezer Metalfrío 336L

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

O índice de irradiação local é outro fator fundamental nos projetos fotovoltaicos. Levando em consideração que para um bom rendimento da placa é necessário que haja uma irradiação solar suficiente para a geração de energia desejada. O food truck à ser analisado, está localizado na cidade de Penápolis-SP. Como Penápolis não tem unidade de medição de radiação solar, será utilizada a cidade de Araçatuba-SP por estar mais próxima.

Estação: Araçatuba
Município: Araçatuba, SP - BRA
Latitude: 21,2° S
Longitude: 50,432777° O
Distância do ponto de ref. (21° S; 50° O): 50,2 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,83	5,56	5,47	4,89	4,39	3,86	4,31	4,81	4,83	5,83	5,83	5,69	5,11	1,97
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	21° N	5,29	5,31	5,61	5,49	5,38	4,91	5,44	5,62	5,10	5,69	5,36	5,11	5,36	,77
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	21° N	5,29	5,31	5,61	5,49	5,38	4,91	5,44	5,62	5,10	5,69	5,36	5,11	5,36	,77
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	23° N	5,22	5,26	5,59	5,52	5,45	4,99	5,52	5,66	5,10	5,65	5,29	5,03	5,36	,67

Tabela 2 – Potencial solar de Araçatuba.

Fonte: CRESESB CEPEL (2017)

3.1 DIMENSIONAMENTO DA QUANTIDADE DE MÓDULOS

É de suma importância para que o sistema funcione corretamente, seguindo padrões de instalação. Sua inclinação deverá ser adequada com a inclinação da região onde será instalado o sistema e com sua direção voltada ao norte, para melhor aproveitamento do sol durante o dia, visto que a Tabela 2, indica para esta região a inclinação fique em 21°.



Figura 6 – Inclinação dos painéis solares

Fonte: Elaborada pelo próprio autor. (2017)

O número de módulos necessários pode ser obtido através deste equacionamento:

$$N_{\text{módulos}} = \frac{\sum \text{consumo}}{Efv} \quad (1)$$

$$N_{\text{módulos}} = \frac{2514}{491,9} \cong 5 \text{ módulos}$$

$$Efv = \frac{2514}{5,11} = 491,9 \text{ Watts hora}$$

$$\sum \text{consumo} = \text{Total do consumo} \times \text{Tempo de uso} = 2514 \text{ W/dia}$$

$$Efv = \frac{\sum \text{consumo}}{\text{insolação local}}$$

Tempo médio de insolação do local = 5,11 município de Araçatuba

A configuração dos módulos será formada por três strings paralelos com um módulo em série por string. O módulo utilizado no projeto é da marca Komaes com uma potência de 150W cada placa que pesa 11,6Kg e tem dimensões de 1480 x 680 x 35 (mm) e seu custo é de R\$ 525,90 por unidade. Optando pela placa com potência de 150W será necessário somente três placas para elaborar o projeto. Porém se caso for utilizado placa com menor potência será necessário aumentar a quantidade de placas para suprir a demanda de energia do projeto, levando em consideração também a área disponível na parte superior do food truck onde será instalado o projeto que é de quatro metros de comprimento sendo possível a instalação de seis placas solar no máximo.

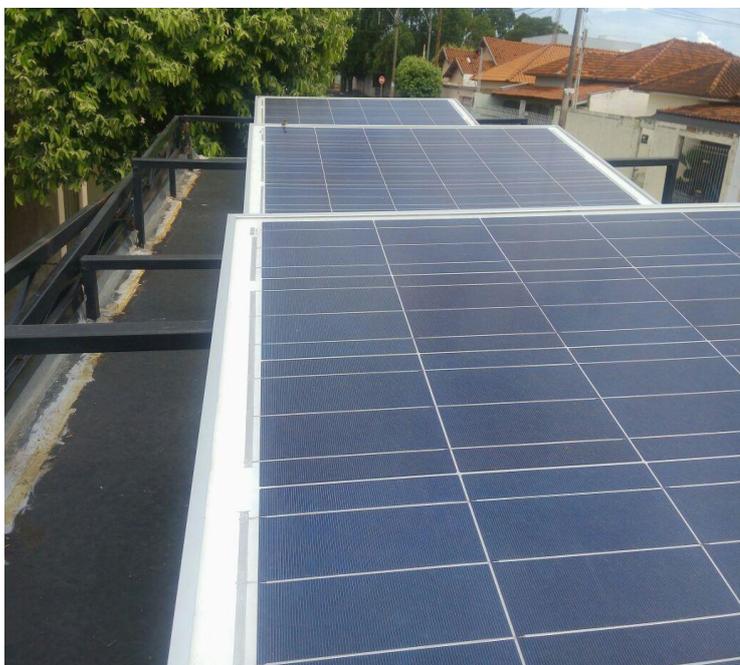
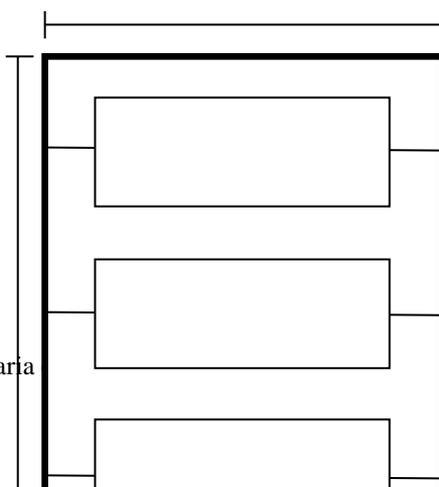


Figura 7 – Três módulos string paralelos com um módulo em série por string.

Fonte: Elaborada pelo próprio autor. (2017)

1.70m



Dimensões de cada módulo

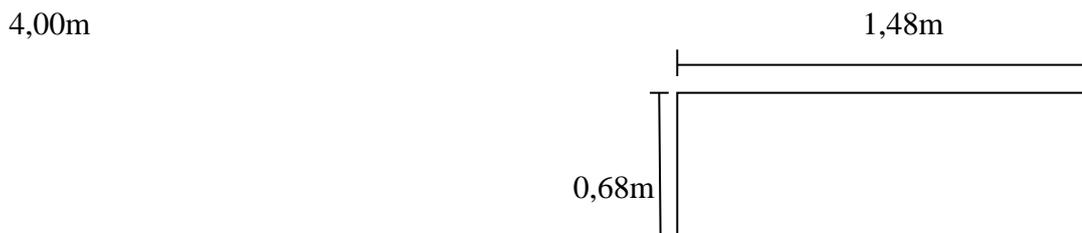


Figura 8 – Especificação do tamanho da área dos módulos e do Food Truck

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

3.2 CONTROLADOR DE CARGA

O controlador de carga é o responsável direto pela vida útil da bateria. Sua função é monitorar o nível de tensão da bateria e a partir daí conectá-la ou não ao painel e à carga. A operação desse circuito baseia-se em comparação com histerese, usando amplificadores operacionais. Nas histereses resume-se o princípio de operação do controlador. Ele atua excitando um MOSFET que desliga o painel solar da bateria quando a tensão nos terminais atinge o valor de 13,7V e volta a religar somente quando a tensão cai a 12,5V. Também desliga o inversor com um sinal de reset para o oscilador, caso a bateria atinja uma tensão menor do que 11V, somente religando após a tensão voltar a 12,5V. Esta proteção aumenta a vida útil da bateria, evitando sua sobrecarga ou descarga completa. (MENDES, CAMELO, RONALD, 2009).

Considerando a configuração dos módulos fotovoltaicos, cada string tem uma corrente máxima de 8,41A, como existem 3string a corrente será de 25,2A.

$$I = I_{m\acute{a}x} \times Q_s \quad (2)$$

$$I = 8,93 \times 3 = 26,7A$$

I = corrente

I_{máx} = Corrente máxima

Q_s = Quantidade de string



Figura 9 – Controlador de carga solar 30A Smart PWM

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

3.3 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

Como a energia proveniente dos painéis e baterias é em corrente contínua (CC) e a maioria dos eletrodomésticos disponíveis no mercado são de corrente alternada (CA) os inversores são utilizados para modificar a tensão de entrada (Ex.: 12 Volts) em tensões de saída 110 ou 220 Volts, assim como a corrente contínua em alternada (senoidal). Sua aplicação está na alimentação de equipamentos que trabalham em CA.

Há duas tecnologias caracterizadas nos inversores, relacionados à qualidade em reproduzir na onda criada o formato mais próximo de uma senoide CA:1) senoide MODIFICADA a frequência e a tensão de seus resultados podem variar e contêm algum ruído e distorção.2) Inversores de senoide PURA são concebidos para imitar a energia e, em alguns casos, proporcionar uma forma de onda, melhor do que a utilidade.O inversor também é definido pela tensão de trabalho na entrada (dos painéis solares) e pela tensão de saída em 110 Volts ou 220 Volts. A capacidade do inversor deve superar a potência em Watts do maior consumo dos equipamentos.

O somatório de potência total dos equipamentos é de 419W. Levando em consideração o fator de segurança de 30% a potência deve ser de 544,7W, sendo assim o inversor deverá ser capaz de operar com uma potência mínima de 554,7W e tensão 24V.

$$P_{inv} = P_{equip} \times F_{seg} \quad (3)$$

$$P_{inv} = 419 \times 1,3 = 544,4W$$

P_{inv}= Potência do inversor

P_{equip} = Potência dos equipamentos

F_{seg} = Fator de segurança de 30%

A utilização de um inversor de 2000W foi determinado caso futuramente ocorra a necessidade do aumento de produção de energia no food truck. O inversor será capaz de funcionar perfeitamente sem a necessidade de fazer a troca, se houver o aumento no número de placas solares do projeto.

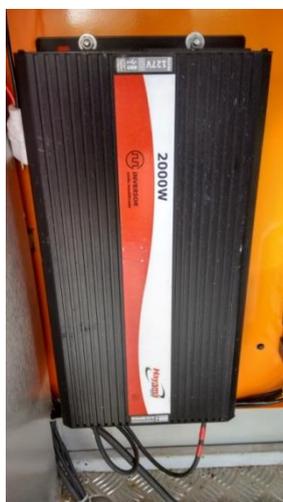


Figura 10 – Inversor 2000W Hayama Ent:12v Saída:127v

Fonte: Elaborada pelo próprio autor. (2017)

3.4 DIMENSIONAMENTO DAS BATERIAS

Para utilização em **sistemas solares fotovoltaicos**, as mais recomendadas são as **baterias estacionárias**, tipicamente aplicadas a funções que demandam por longos períodos de corrente elétrica moderada, ao invés de sobrecargas por poucos segundos. Além disso, esta categoria de bateria é projetada para suportar períodos maiores de descarga, por isso duram muito mais tempo e são adequadas para o uso em **sistemas solares fotovoltaicos. (SOLAR BRASIL 1985)**

As Baterias estacionárias também conhecidas como baterias de ciclo profundo, tem vida útil entre 4 e 5 anos e. A diferença deste modelo é que possui placas mais grossas, conseguindo suportar descargas mais profundas.

Cálculo para a energia armazenada pelo banco de bateria, considerando que o sistema tenha três dias de autonomia e a descarga máxima da bateria é de 20%.

$$E_{armazenada} = \frac{N_{aut} \times E_{consumo}}{D} \quad (3)$$

$$E_{armazenada} = \frac{3 \times 2514}{0,20} = 37,71 \text{ Wh}$$

Earmazenada = energia armazenada

Naut = Números de dias de autonomia

Econsumo = Energia consumida (Wh)

D = Descarga máxima da bateria

A energia armazenada pelo banco de bateria deve ser de 37,71 Wh

Capacidade do banco de baterias

$$C_{banco} = \frac{E_{armazenada}}{V_{banco}}$$

$$C_{banco} = \frac{37,71}{24} = 1571 \text{ Ah}$$

Sendo assim o banco de baterias será composto por duas baterias em serie de 12V e 240Ah cada totalizando em saída uma tensão total de 24V. Nos sistemas fotovoltaicos quanto maior é a tensão continua para a carga das baterias, menores serão as perdas de energia nos cabos.



Figura 11 - Bateria Solar Centrium Energy Df-4001 Freedom 12VA 240Ah

Fonte: Elaborada pelo próprio autor. (2017)

4. Resultados e Discussão

Foi investido um capital inicial de R\$ 7.094,59 com todo o material necessário para a instalação do projeto e mais um custo de mão de obra de instalação no valor de R\$ 3.000,00. Totalizando um investimento de R\$ 10.094,59 em todo o projeto.

PRODUTOS	QUANTIDADE	PREÇO R\$	FRETE
Controlador de carga solar 20A Smart PWM	1	94,99	34,9
Inversor 2000wHayama Ent:12v Saída:127v	1	1599,9	18,9
Bateria Solar Centrium Energy Df-4001 Freedom 12v 240Ah	2	1785	112
Painel Solar Fotovoltaico Komaes150W	3	525,9	86,2
TOTAL R\$			7094,59

Tabela 3 – Valor total do investimento

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

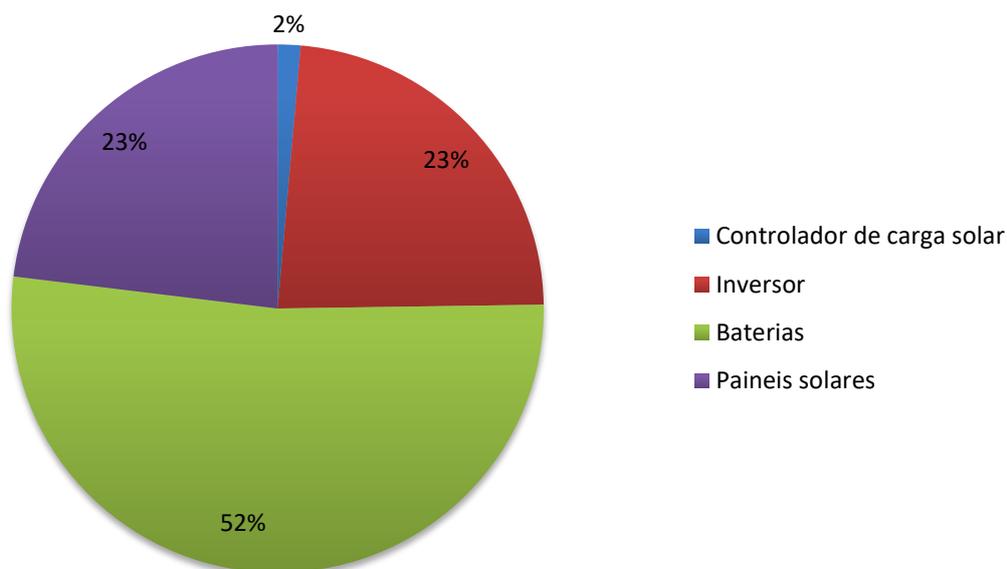


Figura 12 – Porcetagem do custo de cada item adquirido

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Constata-se na Figura 12 que as baterias são o que elevam o custo deste sistema com 52% de todo o gasto obtido.

Todo o projeto foi desenvolvido para trabalhar no limite. A quantidade necessária de módulos de acordo com os cálculos é de aproximadamente cinco módulos, porém por uma questão de limitação financeira e falta de incentivo para o empreendedor foram utilizados apenas três módulos. O sistema irá funcionar mesmo com dois módulos a menos, porém a quantidade de equipamentos que utiliza a energia gerada pelo sistema não poderá aumentar.

O projeto foi desenvolvido para operar com cinco módulos assim, futuramente se for necessário a ampliação do sistema será adquirido somente dois módulos, cortando custos com inversor, controlador e bateria.

Foi investido um capital inicial de R\$ 10.094,59, foi encontrada a média do gasto de gasolina somando os valores diários em um período de um ano. E com isto foi abatido e gerado o pay-back.

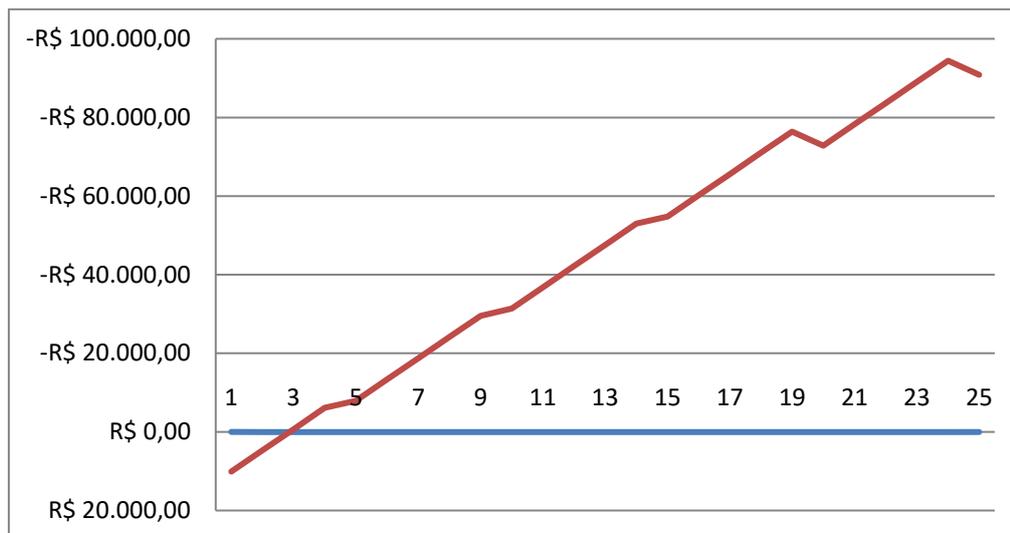


Figura 13 – Gráfico que analisa o pay-back do projeto

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

A cada cinco anos há um desnível da reta, que é a troca das baterias, ou seja, a cada cinco anos terá um novo gasto de R\$ 3.570,00 levando em consideração o aumento do preço da bateria ao longo dos anos, este valor pode estar variando. Foi elaborado a partir da média do preço da gasolina desde 2013, o gasto mensal gasto com o sistema utilizando gerador seria de R\$ 450,00.

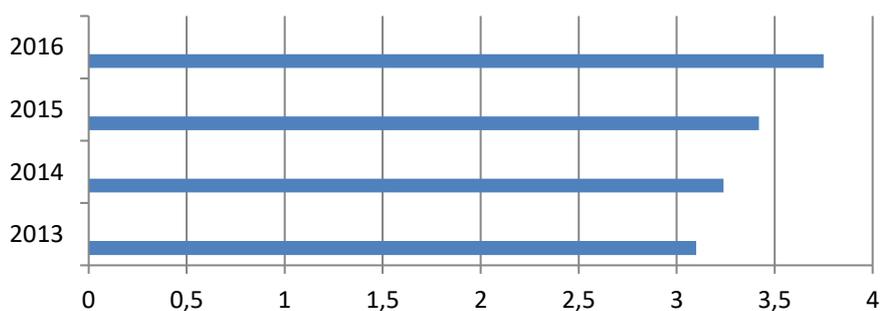


Tabela 4 - Média do preço da gasolina de 2013 a 2016

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

5. Conclusão

Com os dados obtidos pode-se concluir que a implantação deste sistema fotovoltaico no Food truck será viável, Em síntese, este trabalho apontou que o investimento inicial do projeto o qual, será de R\$10.094,59 e o retorno deste investimento será em torno de dois anos e dez meses. Levando em consideração a troca das baterias a cada cinco anos. E tendo em vista que a durabilidade do projeto é estimada em um período de 20 a 25 anos. Ocorrendo a troca das baterias cinco vezes totalizando um valor de R\$ 17.850,00. Entretanto o pay-back aponta uma economia de gasolina em torno de R\$ 90.000,00 durante os 25 anos já com os valores da troca das baterias incluso.

Os benefícios tanto para empreendedor quando para o cliente são bem visíveis. O empreendedor se beneficiará com a economia gerada através do projeto, não terá gastos com gasolina, ruídos e cheiro de gasolina, além de ser inovador é uma idéia sustentável. Para o cliente o conforto será maior e a estética visual do ambiente mais agradável. O incentivo por parte do governo ainda é pequeno, mas futuramente haverá mais oportunidade e acessibilidade para todos.

Referências Bibliográficas

IMHOFF, J. Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007. 146 f. acesso em: 10 mar. 2017.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. São Paulo: Erica, 2012. acesso em: 10 mar. 2017.

NEOSOLARENERGIA (2017) **Disponível em:** <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-isolados-off-grid/> acesso em: 12 mar. 2017.

OSOL (2017) **Disponível em:** <http://www.osol.com.br/dimensionamento-de-sistema-solar-autonomo-off-grid/> acesso em : 12 mar. 2017.

MENDES, CAMELO, RONALD. Controlador –Inversor fotovoltaico para sistema de iluminação pública. 2009. **Disponível em:** http://www.pppg.ufma.br/cadernosdepesquisa/uploads/files/2009_1_07.pdf acesso em: 12 mar. 2017.

SOLARBRASIL(2017) **Disponível em:** <http://www.solarbrasil.com.br/blog-da-energia-solar/100-como-escolher-a-bateria-para-um-sistema-de-energia-fotovoltaica-off-grid> acesso em: 12 mar. 2017.

MERCADO LIVRE(2017) **Disponível em:** <http://www.mercadolivre.com.br/> acesso em: 12 mar. 2017.

PONTO FRIO (2017) **Disponível em:** <http://www.pontofrio.com.br/> acesso em: 12 mar. 2017.

ENERYSHOP(2017) **Disponível em :** <http://www.energyshop.com.br> acesso em: 12 mar. 2017.