

REFRIGERAÇÃO HÍBRIDA FOTOVOLTAICA-DIESEL PARA TRANSPORTE DE ALIMENTOS EM CAMINHÕES FRIGORÍFICOS

Pedro Henrique da Silva Morais – pedro.morais@aluno.ufabc.edu.br

Guilherme Reis Coelho – guilherme.reis@aluno.ufabc.edu.br

Gabriel Ranea – gabriel.ranea@aluno.ufabc.edu.br

Ricardo da Silva Benedito - r.benedito@ufabc.edu.br

Universidade Federal do ABC, Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas - CECS

4.3 Aspectos técnicos de sistemas fotovoltaicos instalados

Resumo. *O investimento em tecnologias renováveis para a geração de energia elétrica se faz cada vez mais importante a nível global, devido à aspectos econômicos e socioambientais. Uma tecnologia que está se destacando, a energia solar fotovoltaica, se difunde cada vez mais por meio de novas aplicações para o seu sistema de geração. O presente artigo apresenta uma solução para a instalação de um sistema fotovoltaico para geração móvel de energia em um caminhão frigorífico, bem como seu dimensionamento, custo e economia financeira que a adoção do mesmo traz. Após o dimensionamento e comparação entre os sistemas a diesel e híbrido, pode-se concluir que o sistema híbrido é economicamente viável. Esse, com seis módulos fotovoltaicos instalados, apresenta uma economia anual com combustível de R\$ 3224,55 e um Payback descontado de aproximadamente sete anos. Em uma análise geral, este sistema pode ser aplicado a uma frota de caminhões, na qual teria um maior impacto para a sociedade e meio ambiente, pois o consumo de combustível seria menor, o que geraria menos gases poluentes para a atmosfera. O projeto possibilita o desenvolvimento da tecnologia de sistemas fotovoltaicos, pois contribui para futuros projetos e pesquisas na área de refrigeração fotovoltaica. Por sua vez, essa contribuição leva à uma redução nos custos de sistemas voltados para esse fim.*

Palavras-chave: *Refrigeração Fotovoltaica, Sistemas Fotovoltaicos Isolados, Sistemas Híbridos Fotovoltaico-Diesel*

1. INTRODUÇÃO

A utilização de sistemas fotovoltaicos tem sido de fundamental importância para fornecer energia elétrica em situações que não se dispõe da rede elétrica convencional. Conforme descrito por Pinho e Galdino (2014) e Messenger e Ventre (2010) essa tecnologia pode ser utilizada para eletrificar tanto sistemas terrestres quanto sistemas móveis, como embarcações e veículos. Especificamente no que tange à aplicação da energia solar fotovoltaica em veículos, segundo Castro et al (2017), utilizar energia solar fotovoltaica em veículos elétricos é economicamente viável. Outra possível aplicação para sistemas fotovoltaicos isolados, pouco explorada no mundo e no Brasil, na concepção dos autores, é na produção de energia elétrica para sistemas de refrigeração em caminhões frigoríficos.

Atualmente, o transporte de alimentos perecíveis que necessitam de refrigeração é, em geral, realizado por caminhões com baús frigoríficos, os quais possuem ciclos de refrigeração por compressão a vapor. Segundo o site Web Ar Condicionado (2014) o acionamento do compressor, usualmente, é realizado por meio de motores a diesel, tanto em modo *direct drive* quanto por motor diesel independente. No modo *direct drive*, o motor do veículo transfere energia mecânica diretamente ao compressor (acionamento puramente mecânico do compressor) ou ao alternador (acionamento elétrico do compressor) através de uma correia. Quando há a presença de um motor diesel independente, o compressor não depende do motor do caminhão para ser acionado. Em ambos os casos, a utilização do diesel como única fonte de energia está associada ao aumento do consumo de combustível, que por sua vez, resulta em um aumento das emissões de gases poluentes para a atmosfera.

O uso de energia solar fotovoltaica em sistemas de refrigeração, por seu turno, tem se mostrado tecnicamente viável, como atestam as revisões realizadas por Allouhi et al. (2015) e Sarbu e Sebarchievici (2013). Paralelamente, segundo Rizzo (2010), o acoplamento de sistemas fotovoltaicos a circuitos elétricos veiculares é tecnicamente possível e pode trazer diversos benefícios, como a diminuição do tempo de recarga e aumento da vida útil de baterias, devido à prevenção de descargas profundas e, principalmente, diminuição do consumo de combustível.

Diante do que foi exposto, este trabalho tem como proposta avaliar a integração de um sistema fotovoltaico com um sistema a diesel já existente para a refrigeração de um baú frigorífico. O foco do estudo está na diminuição no consumo de combustível verificada em relação a um sistema convencional, sem a presença do sistema fotovoltaico. A execução do projeto é motivada por aspectos econômicos e socioambientais, uma vez que a redução do consumo de combustível implica em uma economia financeira e na redução na emissão de gases poluentes.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO HÍBRIDO FOTOVOLTAICO-DIESEL

A configuração típica de um ciclo de refrigeração por compressão a vapor, conforme descrita por Borgnakke e Sonntag (2013), é apresentada na Fig. 1.

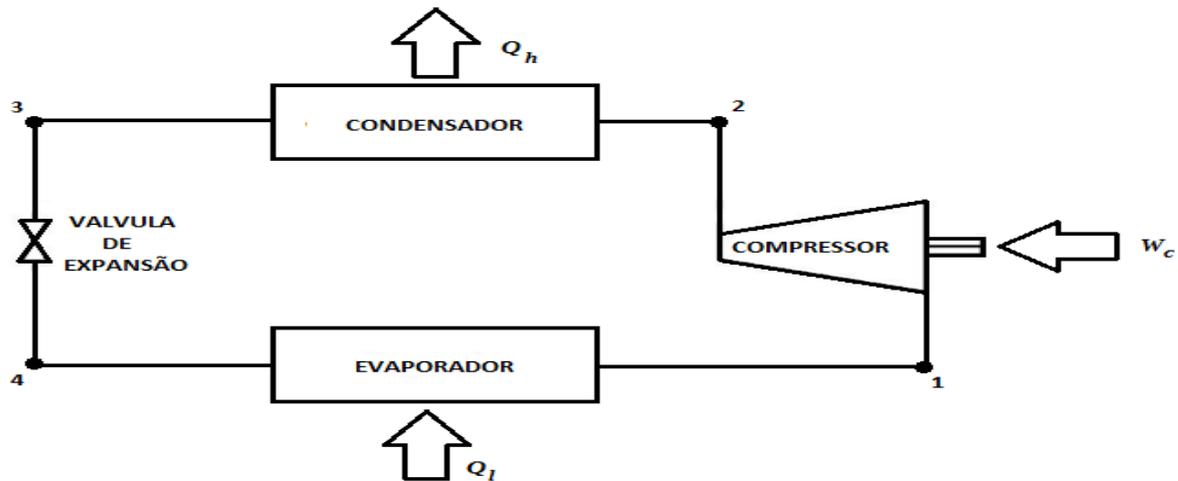


Figura 1. Ciclo de compressão a vapor

O fluido de trabalho chega ao compressor no estado de vapor superaquecido a baixa pressão e é comprimido graças ao trabalho W_c realizado pelo compressor no processo 1-2, aumentando a pressão do fluido. Uma quantidade Q_h de calor é rejeitada no processo 2-3, o fluido de trabalho sai do condensador no estado líquido, porém com uma pressão menor do que na entrada devido às perdas de carga e por atrito existentes no condensador. A passagem do fluido pela válvula de expansão, no processo 3-4, tem como função diminuir a pressão do líquido que sai do condensador. Por fim, o fluido de trabalho é vaporizado no evaporador, no processo 4-1, retornando ao compressor para iniciar um novo ciclo.

Para o funcionamento do ciclo é necessário que o compressor seja acionado por meio de uma fonte de energia elétrica externa. Conforme apresentado na seção anterior, na configuração tradicional, sem o sistema fotovoltaico, o motor a diesel do sistema de refrigeração tem essa função, com o auxílio de um motor elétrico quando o veículo está estacionado. Já na configuração híbrida proposta neste artigo, o sistema fotovoltaico fornece uma parte da energia elétrica consumida pelo frigorífico, ou seja, o mesmo não depende somente da queima do diesel para a geração de energia elétrica. O sistema fotovoltaico é composto de módulos fotovoltaicos, controlador de carga, inversor e baterias.

A Fig. 2 apresenta o diagrama correspondente, no qual se podem observar os componentes do sistema fotovoltaico. O motor de refrigeração representa o motor a diesel, em geral, quando o veículo está em movimento, e também representa o motor auxiliar elétrico quando estacionado. Por fim, o frigorífico também é representado no diagrama.

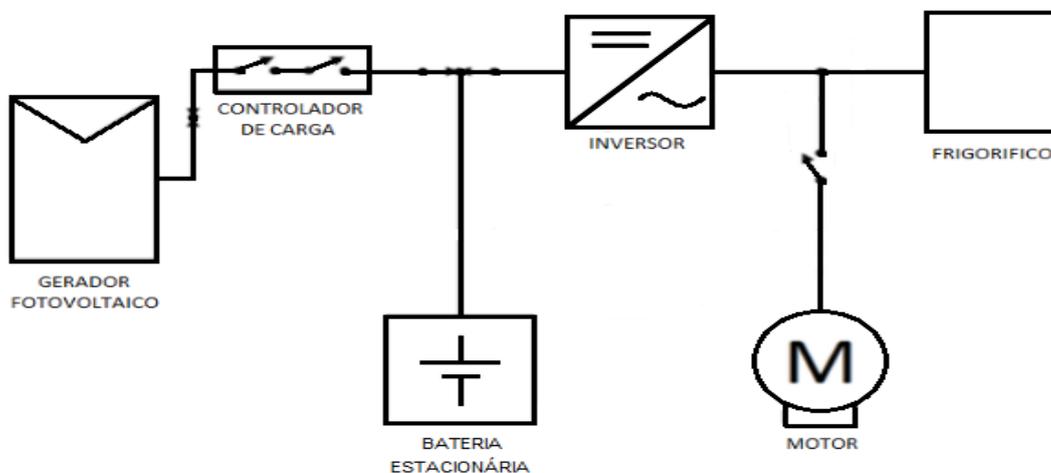


Figura 2. Diagrama unifilar do sistema de refrigeração híbrido fotovoltaico diesel

3. INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Os módulos fotovoltaicos serão instalados na parte superior do baú frigorífico, conforme mostrado na Fig. 3, onde os mesmos são ilustrados na cor azul e envoltos por uma estrutura de cor prata. O suporte dos módulos fotovoltaicos é ilustrado na cor marrom e o baú frigorífico na cor branca.

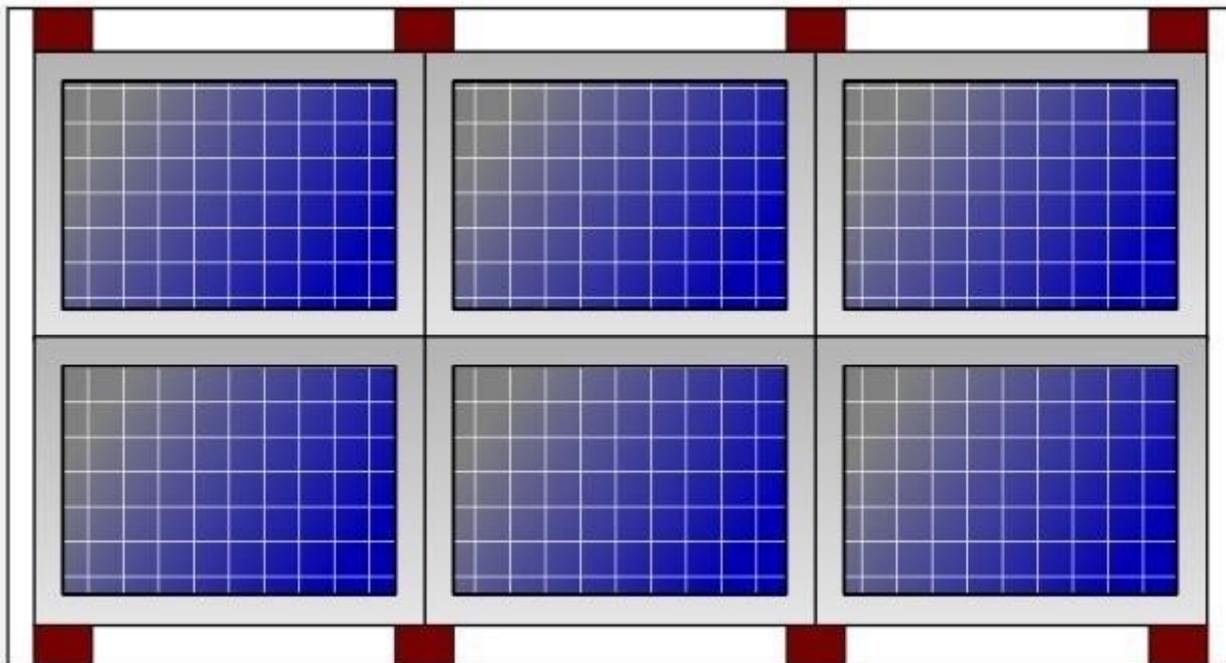


Figura 3. Vista superior da área de instalação dos módulos fotovoltaicos

A área superior do baú frigorífico é o fator limitante para determinar a quantidade de módulos fotovoltaicos do sistema, portanto para o dimensionamento dessa quantidade foi considerado o valor máximo de módulos que poderiam ocupar a maior parcela da área superior do baú. Esse possui 2,3 metros de largura, e 6 metros de comprimento, os módulos, por sua vez, possuem 0,99 metros de largura e 1,65 metros de comprimento. Dessa forma, chega-se a um valor total de seis módulos, formando duas fileiras de três módulos. Segundo recomendações do fabricante do controlador de carga, para um melhor aproveitamento de potência, o número de módulos em série deve ser dois. Assim, o gerador fotovoltaico terá três fileiras de módulos, conectadas em paralelo, onde cada fileira possui dois módulos conectados em série.

Os outros componentes do sistema fotovoltaico, como controlador de carga, baterias e inversor devem ser instalados em compartimentos que possuam ventilação, para que o desempenho dos mesmos não seja prejudicado, pois o aumento de temperatura causa uma queda na eficiência desses equipamentos.

O sistema de refrigeração e o baú frigorífico escolhidos para o dimensionamento nesse trabalho têm suas características técnicas apresentadas nas Tab. 1 e Tab. 2, respectivamente.

Tabela 1. Características técnicas do sistema de refrigeração

CARACTERÍSTICA	VALOR
Fabricante	Thermo King
Sistema	T-880R
Potência do motor a diesel	11,16 kW
Capacidade de refrigeração à -18 °C do motor a diesel	3,81 kW
Potência do motor auxiliar elétrico	5,37 kW
Capacidade de refrigeração à -18 °C do motor elétrico	3,37 kW

Tabela 2. Características técnicas do baú frigorífico

CARACTERÍSTICA	VALOR
Fabricante	Catarina implementos rodoviários
Modelo	Baú frigorífico ¾
Comprimento	6 m
Largura	2,3 m
Altura interna	2 m

4. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O dimensionamento do sistema baseia-se na estimativa de potência e energia que o gerador fotovoltaico irá produzir. Essa estimativa leva em consideração as correções necessárias, como perdas por aumento de temperatura, sujeiras depositadas na superfície dos módulos, e eficiências de inversor e baterias. Essas grandezas podem ser verificadas por medições, uma vez que o sistema esteja instalado e funcionando corretamente.

Para o cálculo de potência que o gerador fotovoltaico pode gerar, foi considerada a correção por temperatura, apresentado na Eq (1).

$$P_{mp}(T_{mod}) = P_{mp}(1 + \gamma(T_{mod} - 25)) \quad (1)$$

No que se refere à Eq (1), $P_{mp}(T_{mod})$ representa a potência máxima que o módulo fotovoltaico pode entregar, com a correção por diferença de temperatura entre as temperaturas do módulo, T_{mod} , e a de referência, de 25 °C. O índice P_{mp} representa a potência máxima nominal do módulo e o índice γ representa o coeficiente de perda de potência devido ao aumento de temperatura. Os índices citados são apresentados na Tab. 3

Tabela 3. Especificações elétricas do módulo CS6K-270P para as condições de irradiância 1.000 W/m², temperatura de célula 25 °C e espectro AM 1,5.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Potência nominal máxima	270 W
Coefficiente γ	- 0,41 %/°C
Temperatura nominal de operação	45 °C

O cálculo da máxima temperatura que o modulo pode chegar é apresentado na Eq (2).

$$T_{mod} = T_{amb} + G \left(\frac{TNOC - 20}{800} \right) \quad (2)$$

Em relação à Eq (2), T_{mod} representa a temperatura que o módulo pode chegar, como descrito anteriormente, T_{amb} representa a temperatura ambiente máxima, G representa a irradiância no local e $TNOC$ representa a temperatura nominal de operação do módulo. Os parâmetros de projeto utilizados no dimensionamento do sistema são apresentados na Tab. 4, segundo Pinho e Galdino (2014) e Pereira et al (2006). A Tab. 5 apresenta características técnicas dos outros componentes do sistema fotovoltaico, como controlador de carga, baterias e inversor.

Tabela 4. Parâmetros considerados para o dimensionamento

CARACTERÍSTICA	VALOR
Temperatura ambiente máxima	35 °C
Irradiância	1000 W/m ²
Horas de sol pleno	4 h
Eficiência de “sujidade”	90 %

Tabela 5. Características técnicas do controlador de carga, bateria e inversor

Controlador de carga		Bateria		Inversor	
Fabricante	Epsolar	Fabricante	Freedom	Fabricante	Epsolar
Tensão máxima	150 V	Capacidade	60 Ah	Potência máxima	2000 W
Corrente máxima	60 A	Eficiência	86 %	Eficiência	93 %

Para calcular a potência produzida pelo gerador fotovoltaico, além da correção de temperatura, foram considerados as eficiências da bateria e do inversor e efeitos de sujeira depositada nos módulos, que podem atrapalhar seu rendimento. Portanto, a potência produzida pelo sistema fotovoltaico é calculada pela Eq (3).

$$P_p = N^{\circ}_{mod} [P_{mp}(T_{mod}) \eta_{bat} \eta_{inv} \eta_{suj}] \quad (3)$$

De acordo com a Eq (3), P_p representa a potência produzida pelo gerador fotovoltaico. A mesma leva em consideração o número total de módulos do sistema, N°_{mod} , a potência do módulo fotovoltaico com correção de temperatura, $P_{mp}(T_{\text{mod}})$, as perdas devido às eficiências da bateria e do inversor, η_{bat} e η_{inv} , respectivamente, e por fim, a correção devido à perda de potência por eventuais sujeiras depositadas na superfície dos módulos, representado por η_{suj} .

Finalmente, a energia produzida pelo sistema fotovoltaico é apresentada na Eq (4)

$$E_p = P_p HSP \quad (4)$$

No que tange a Eq (4), E_p representa a energia produzida pelo sistema fotovoltaico, P_p representa a potência produzida pelo sistema fotovoltaico, já descrito anteriormente e HSP representa a quantidade de horas de sol pleno da localidade analisada.

5. CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

5.1 Sistema a diesel

O consumo de combustível do sistema a diesel é calculado pela Eq (5), segundo Lora e Do Nascimento (2004)

$$m_c = \frac{E_r}{\eta_m PCI_c t} \quad (5)$$

No que diz respeito à Eq (5), m_c e E_r representam, respectivamente, a vazão mássica de combustível e a energia necessárias para o funcionamento do frigorífico, enquanto η_m representa a eficiência do motor, que teve um valor teórico adotado de 25%, segundo Lora e Do Nascimento (2004). PCI_c representa o poder calorífico inferior do combustível e t representa o tempo de funcionamento do sistema de refrigeração, que foi adotado como 12 horas. As informações sobre o combustível necessárias para o dimensionamento são apresentadas na Tab. 6, segundo ANP (2012) e o site ANP SLP (2017) para informações sobre o preço do combustível.

Tabela 6. Características do combustível: Diesel

CARACTERÍSTICA	VALOR
Poder calorífico inferior	43 MJ/kg
Massa específica	852 kg/m ³
Preço	R\$/L 2,94

A energia requerida para acionamento do frigorífico é calculada na Eq (6).

$$E_r = P_f t \quad (6)$$

No que corresponde a Eq (6), E_r representa a energia necessária para o funcionamento do frigorífico, já descrita anteriormente. P_f representa a potência necessária para o acionamento do mesmo, que é calculada como a soma das potências do sistema a diesel e do sistema elétrico auxiliar. Por fim, t representa o tempo de funcionamento do sistema de refrigeração.

Para o cálculo do consumo de combustível em base volumétrica, a Eq (7) foi utilizada.

$$v_c = m_c \rho_c \quad (7)$$

No que concerne a Eq (7), v_c e m_c representam, respectivamente, as vazões volumétrica e mássica de combustível necessárias para o funcionamento do frigorífico e ρ_c representa a massa específica do combustível.

5.2 Sistema híbrido fotovoltaico-diesel

O consumo de combustível do sistema híbrido fotovoltaico-diesel é calculado pela Eq (8).

$$m_c = \frac{E_r - E_p}{\eta_m PCI_c t} \quad (8)$$

A Eq (8) apresenta semelhança com a Eq (5), já descrita anteriormente, apenas com uma diferença, no termo de energia produzida pelo sistema fotovoltaico, representado por E_p .

O cálculo do consumo de combustível em base volumétrica para o sistema híbrido fotovoltaico-diesel pode ser feito de maneira semelhante ao cálculo feito para o sistema a diesel, utilizando a Eq (7).

6. CUSTO COM CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

Para o cálculo de custo com consumo de combustível, a Eq (9) foi utilizada.

$$C_c = f v_c P_c \quad (9)$$

Com relação à Eq (9), v_c representa a vazão volumétrica necessária para o funcionamento do frigorífico, P_c representa o preço do combustível e C_c representa o custo com consumo de combustível. O fator f é utilizado para a conversão de reais por segundo para reais por ano, que tem como valor 31536000.

O cálculo de economia anual é apresentado na Eq (10).

$$Ec_{an} = C_d - C_h \quad (10)$$

Na Eq (10), C_d e C_h representam os custos anuais com consumo de combustível dos sistemas a diesel e híbrido, respectivamente. Ec_{an} é a diferença entre as duas variáveis citadas acima, que representa a economia anual.

7. RESULTADOS

Os resultados apresentados nesta seção foram obtidos utilizando o software EXCEL, que possui uma extensa base de dados, cujas diversas fórmulas matemáticas auxiliaram em todos os cálculos necessários.

Os resultados do dimensionamento do sistema fotovoltaico são apresentados na Tab.7.

Tabela 7. Dimensionamento do sistema fotovoltaico.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Temperatura do módulo	66,25 °C
Potência do módulo fotovoltaico	224,23 W
Potência produzida pelo gerador fotovoltaico	968,89 W
Energia produzida pelo gerador fotovoltaico	13,95 MJ

Os resultados do dimensionamento do consumo de combustível, nos sistemas a diesel e híbrido são apresentados na Tab. 8.

Tabela 8. Dimensionamento do consumo de combustível.

SISTEMA À DIESEL		SISTEMA HÍBRIDO	
CARACTERÍSTICA	VALOR	CARACTERÍSTICA	VALOR
Energia requerida	715,16 MJ	Energia requerida	715,16 MJ
Energia produzida pelo gerador fotovoltaico	-	Energia produzida pelo gerador fotovoltaico	13,95 MJ
Vazão mássica de combustível	0,154 g/s	Vazão mássica de combustível	0,151 g/s
Vazão volumétrica de combustível	1,807 $\mu\text{m}^3/\text{s}$	Vazão volumétrica de combustível	1,772 $\mu\text{m}^3/\text{s}$

O custo com o sistema fotovoltaico é apresentado na Tab. 9.

Tabela 9. Custo do sistema fotovoltaico

EQUIPAMENTO	FABRICANTE	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO	CUSTO
Modulo Fotovoltaico CS6K-270P	Canadian Solar	6	R\$ 619,00	R\$ 3714,00
Controlador de Carga eTracer 6415BND 24V	Epsolar	1	R\$ 3099,00	R\$ 3099,00
Bateria Estacionária DF 1000	Freedom	6	R\$ 449,00	R\$ 2694,00
Inversor Senoidal SHI2000-22	Epsolar	1	R\$ 2590,00	R\$ 2590,00
Custo de manutenção anual	-	25	R\$ 120,97	R\$ 3024,25
Total	-	-	-	R\$ 15121,25

O custo de manutenção anual foi considerado de 1% do valor do custo dos equipamentos, segundo MME (2014). No custo do sistema, foram adicionadas as trocas de baterias que serão necessárias ao longo dos vinte e cinco anos do mesmo, pois apesar do sistema fotovoltaico possuir tal vida útil, as baterias têm tempo de vida menor. Nesse projeto, a vida útil foi adotada como aproximadamente sete anos, segundo o fabricante Freedom, devido à baixa profundidade de descarga necessária, que será cerca de dez por cento. Quando o sistema a diesel e o sistema fotovoltaico não estiverem operando, o sistema de refrigeração possui um motor elétrico auxiliar, que pode operar com conexão a rede, como quando o caminhão estiver parado. Considerando que as baterias sejam instaladas em um ambiente com ventilação, sua temperatura não deve ser elevada, portanto, a profundidade de descarga é considerada como cerca de dez por cento, como citado acima. Como cada ciclo possui duas baterias, faz-se necessário a troca de baterias três vezes ao longo do tempo de vida útil do sistema, totalizando seis baterias.

Os resultados do dimensionamento do custo de combustível no sistema à diesel e no sistema híbrido são apresentados na Tab. 10.

Tabela 10. Dimensionamento do custo de combustível.

SISTEMA À DIESEL		SISTEMA HÍBRIDO	
CARACTERÍSTICA	VALOR	CARACTERÍSTICA	VALOR
Custo anual de combustível	R\$ 165284,69	Custo anual de combustível	R\$ 162060,14
Economia anual de combustível	-	Economia anual de combustível	R\$ 3224,55

8. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO

A análise de viabilidade econômica de um projeto é de suma importância para a tomada de decisão em investimentos. Nesta seção, será apresentada uma análise baseada no método dos valores líquidos descontados, o qual consiste no cálculo do valor presente líquido (VPL).

Segundo Gonçalves et al (2009), o VPL é obtido a partir do desconto de todos os fluxos de caixa de um investimento para o momento inicial, momento do primeiro desembolso. Outros parâmetros importantes para a análise de investimentos são a taxa interna de retorno (TIR) e o Payback descontado. A TIR é a taxa de desconto que teria um determinado fluxo de caixa para igualar a zero seu VPL e o Payback descontado representa o tempo necessário para o investidor recuperar o investimento inicial. Nesse método o capital não tem o mesmo valor ao longo do tempo e, portanto, será considerada uma taxa de desconto ao ano.

A Tab. 11 apresenta os valores utilizados para o cálculo do VPL e Payback descontado.

Tabela 11. Valores utilizados no cálculo de VPL e Payback descontado

CARACTERÍSTICA	VALOR
Investimento inicial	R\$ 15121,25
Receita anual prevista	R\$ 3224,55
Despesa anual prevista	R\$ 120,97
Número de períodos	25 anos

O investimento inicial representa o custo total do projeto, que abriga todos os equipamentos e manutenção. A receita anual prevista é o valor economizado anualmente com a instalação do sistema fotovoltaico no caminhão e a despesa anual

prevista é o custo anual com a manutenção dos equipamentos. Por último, o número de períodos é a vida útil do sistema implementado.

Utilizando o software EXCEL, a partir do fluxo de caixa que é apresentado na Fig. 4, foi possível encontrar os valores de VPL, TIR e Payback descontado.

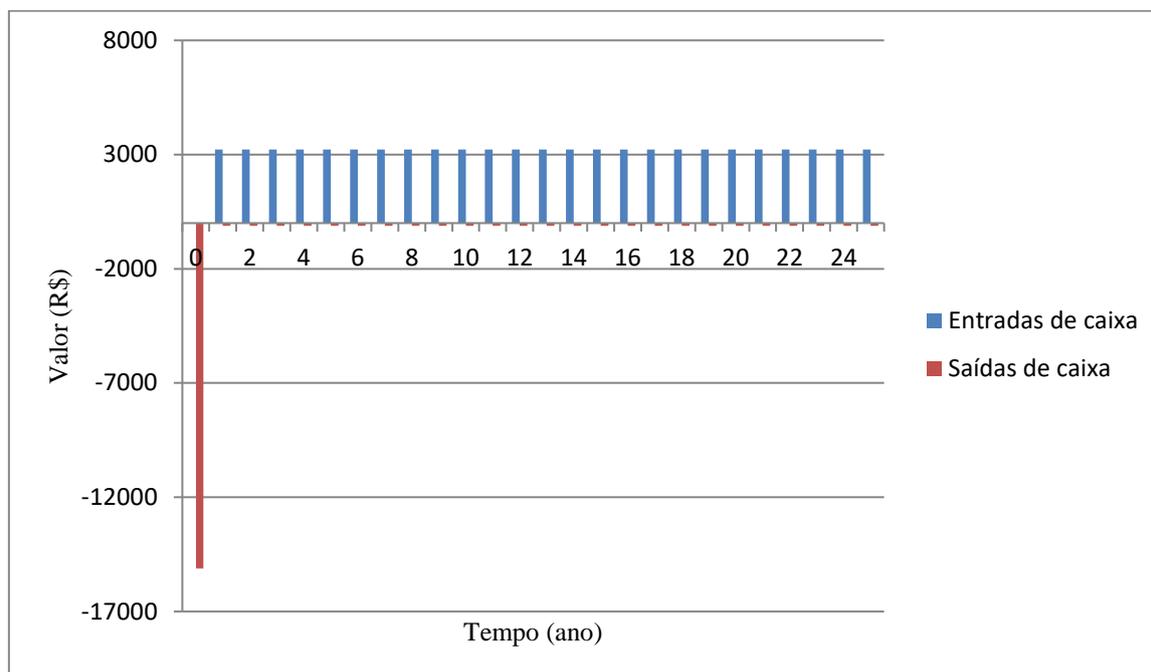


Figura 4. Fluxo de caixa do investimento no sistema fotovoltaico

O valor do dinheiro muda ao longo do tempo, dessa forma, o investimento deve ser feito caso a taxa de desconto seja menor que a TIR, calculada como vinte por cento para este caso. Portanto, a taxa adotada para análise do projeto foi de oito por cento. A Fig. 5 apresenta graficamente como varia o VPL em relação à taxa de desconto. Observar que o VPL se iguala à zero em uma taxa de vinte por cento, que representa a TIR.

Para cada período foi calculado o saldo acumulado do investimento de acordo com a taxa de desconto e, este então, foi utilizado para calcular o VPL. A cada ano, foi somado o saldo referido do ano ao investimento, que resulta em um valor menor que zero, porém, a partir do momento em que essa soma for maior que zero, encontra-se o Payback descontado. Ao chegar ao final do período, temos o saldo acumulado total do investimento, ou VPL, apresentado na Fig. 6.

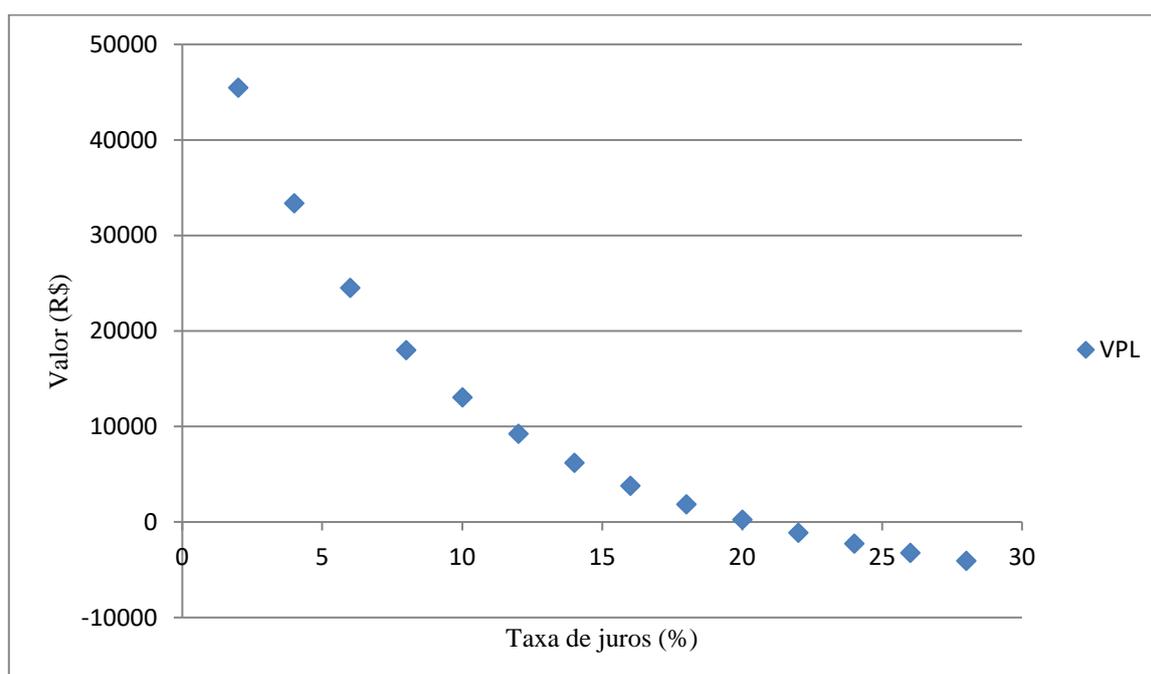


Figura 5. Variação do VPL em relação a taxa de juros

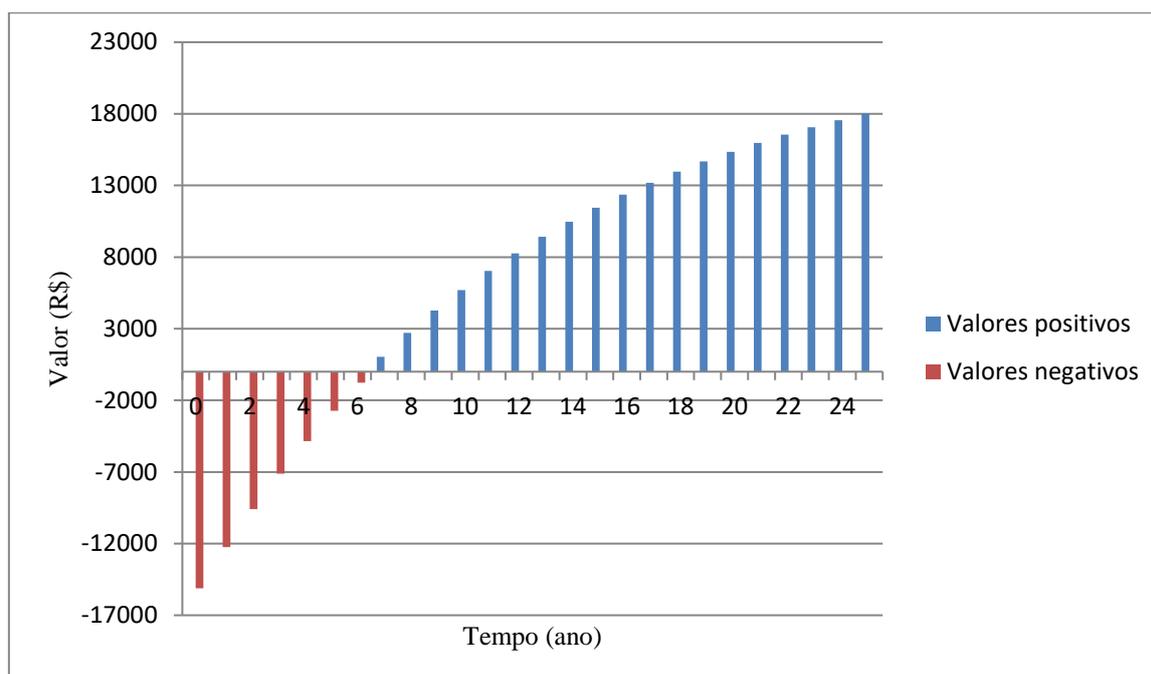


Figura 6. Saldo acumulado do investimento no sistema fotovoltaico

Na Fig. 6, pode-se observar que, desde o investimento inicial, o valor acumulado aumenta gradativamente. É importante ressaltar que o Payback descontado pode ser observado entre o sexto e o sétimo ano da implementação do projeto, período em que o valor acumulado deixa de ser negativo e passa a ser positivo. Isso infere que, a partir desse momento o investidor recuperou o capital investido. Segundo IEE (2015) e Alves (2016), o Payback descontado em sistemas fotovoltaicos ocorre entre o quinto e o décimo quinto ano de implementação dos mesmos, o que demonstra a viabilidade do projeto descrito e comprova que as ferramentas de dimensionamento e análise utilizadas são adequadas para projetos fotovoltaicos.

Na Tab. 12 são apresentados os resultados da análise de viabilidade econômica do projeto

Tabela 12. Resultados da análise de viabilidade econômica do projeto

CARACTERÍSTICA	VALOR
TIR	20 %
Taxa de desconto	8 %
VPL	R\$ 18008,75
Payback descontado	6 anos e 5 meses

9. CONCLUSÃO

Após o dimensionamento do sistema a diesel e do sistema híbrido fotovoltaico-diesel, conclui-se que a implementação do sistema fotovoltaico em um sistema de refrigeração a diesel é viável economicamente e gera um retorno do investimento em aproximadamente sete anos, sendo a duração do sistema fotovoltaico de vinte e cinco anos. A instalação do sistema resulta em uma economia anual de R\$ 3224,55 em consumo de combustível. É possível, portanto, cogitar a possibilidade de abastecer uma frota de caminhões frigoríficos, como a existente no estado de São Paulo, a qual possui aproximadamente 190 caminhões, segundo MEC (2014), o que resultaria em uma economia anual de R\$ 612664,50 em consumo de combustível. Essa diminuição de consumo propiciaria uma diminuição de emissão de gases poluentes para a atmosfera, o que confirma a viabilidade econômica e ambiental do projeto proposto. Ademais, o sistema poderia atender diversas aplicações em frigoríficos estacionários, como em supermercados, hospitais, pontos de vacinação em locais isolados e quaisquer outras necessidades em que a refrigeração seja indispensável. As futuras pesquisas podem trazer investimentos para o setor, o que levaria à uma redução nos custos dos sistemas e possibilitaria maiores perspectivas para a execução de projetos que utilizam energia solar fotovoltaica.

10. REFERÊNCIAS

- Rizzo, G., 2010, Automotive Applications of Solar Energy, IFAC Proceeding Volumes, vol. 43, n. 7, pp. 174-185
- Castro, T. S., De Souza, T. M., Silveira, J. L., 2017, Feasibility of Electric Vehicle: Electricity by Grid x Photovoltaic Energy, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 69, pp. 1077-1084
- Messenger, R. A., Ventre, J., 2010, Photovoltaic Systems Engineering, CRC Press
- Sarbu, I., Sebarchievici, 2013. Review of Solar Refrigeration and Cooling Systems, Energy and Buildings, vol. 67, pp. 286-297
- Allouhi, A., Kouskou, T., Jamil, A., Bruel, P., Mourad, Y., Zeraoui, Y., 2015. Solar Driven Cooling Systems: An Updated Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 44, pp. 159-181
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2012, Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, ANP
- Pereira, E. B., Martins, F. R., De Abreu, S. L., Ruther, R., 2006, Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE
- Ministério da Educação, 2014, Caderno de Informações Técnicas “Caminhão Frigorífico”, FNDE
- Web Ar Condicionado. Conheça como funcionam as câmaras frigoríficas em caminhões. Disponível em: <<http://www.webarcondicionado.com.br/conheca-como-funcionam-as-camaras-frigorificas-em-caminhoes>>. Acesso em: 08 de outubro de 2017
- Gonçalves, A., Das Neves, C., Calôba, G., Nakagawa, M., Motta, R. R., Da Costa, R. P., 2009, Engenharia Econômica e Finanças, Elsevier Editora Ltda
- Borgnakke, C., Sonntag, R. E., 2013. Fundamentos da Termodinâmica, Blucher
- Lora, E. E. S., Do Nascimento, M. A. R., 2004. Geração Termelétrica: Planejamento, Projeto e Operação, Interciência
- Pinho, J. T., Galdino, M. A., 2014. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, CEPEL-CRESESB
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2017, Sistema de Levantamento de Preços. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Por_Estado_Municipio.asp>. Acesso em: 10 de outubro de 2017
- Ministério de Minas e Energia, 2014, Sistemas isolados, avaliação de alternativa de suprimento em sistemas isolados no Acre, EPE
- Instituto de Energia e Ambiente, 2015, Microgeração fotovoltaica no Brasil: Viabilidade econômica, USP, São Paulo
- Alves, G. H., 2016, Projeto e análise da viabilidade econômica da instalação de painéis fotovoltaicos no setor industrial, Trabalho de Conclusão de Curso, EESC, USP, São Carlos

HYBRID PHOTOVOLTAIC-DIESEL REFRIGERATION FOR FOOD TRANSPORT IN A REFRIGERATOR TRUCK

Abstract. *The investment in renewable technologies to generate electricity has become a matter of extreme importance worldwide, due to economic and socioenvironmental aspects. One of the most important technologies is the photovoltaic solar energy, which spreads increasingly through new applications for its generation system. This article presents a solution to the installation of a photovoltaic system on a refrigerator truck, as well as its sizing, cost and economic viability. After the sizing, when comparing both the diesel and the hybrid systems, the conclusion is that the second one is economically viable. The hybrid system, with six installed photovoltaics modules presents R\$ 3224,55 of annual economy with fuel and a discounted payback of approximately seven years. In a general analysis, this system can be applied to a truck fleet, which would have a bigger impact for society and environment, because the fuel consumption would be smaller and thus, the polluting gas emissions would decrease. The project enables the development of technology in photovoltaic systems, for it contributes to future researches and projects on the photovoltaic refrigeration field. Thus, this contribution leads to a reduction in costs for systems that have the same purpose.*

Key words: *Photovoltaic refrigeration, Isolated Photovoltaic systems, Hybrid Photovoltaic-Diesel Systems*