

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA HÍBRIDA (*OFF GRID E ON GRID*) EM CAMINHÕES FRIGORÍFICOS

Alexandre Carlos de Araújo Gomes – alexandrepb2@gmail.com
Anderson de Souza Rodrigues – andersonrodriguestec@hotmail.com
Caio Cesar Gomes Soares Dias – caiocesar81@gmail.com
Carlos Frederico Dias Diniz – carlosfd@poli.br
Universidade de Pernambuco, Departamento de Engenharia Elétrica.

Resumo. Este artigo é resultado de uma pesquisa cujo tema permeia a tendência mundial pelo incentivo à substituição de combustível fóssil por fontes renováveis. Justifica-se pelo combate a agressão causada ao meio ambiente pela emissão dos gases resultantes do processo de combustão. Objetivou-se comprovar a viabilidade da implantação de um sistema solar fotovoltaico para suprir o consumo do refrigerador dos caminhões frigoríficos. Cada caminhão frigorífico será equipado por um sistema de geração fotovoltaico isolado (*off grid*) e os módulos deste sistema isolado serão aproveitados para constituir o sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (*on grid*) da empresa, quando os veículos estiverem estacionados em seu pátio. A viabilidade para essa solução foi baseada na vertente da economia financeira e incentivada pelos moldes da política do carbono (emissão de CO₂). Do ponto de vista metodológico, calculou-se o tempo o qual foi possível o sistema *off grid* suprir o consumo do refrigerador para mensurar economia de combustível e conseqüentemente a economia financeira. Realizou-se simulação de geração em software para mensurar economia gerada pelo sistema *on grid* na fatura da conta de energia da empresa. Levantaram-se os custos dos sistemas (*off grid* e *on grid*) e também a economia gerada por estes ao longo de sua vida útil, para realizar o cálculo da Relação Custo-Benefício. Concluiu-se que o custo total de investimento será de R\$ 114786,74 e um retorno total ao longo dos 25 anos de vida útil do sistema será de R\$ 311.385,72, obtendo um retorno do investimento a partir do 11º ano de funcionamento. Conclui-se também que esse sistema evitará a emissão de 353 toneladas de CO₂ ao longo da sua vida útil, o qual se iguala à emissão de CO₂ de 122 veículos de passeio por um período de um ano.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica, Sistema Híbrido, Caminhão Frigorífico.

1. INTRODUÇÃO

O mercado de geração de energia elétrica por fontes renováveis está se inserindo a passos largos na matriz energética brasileira. Atualmente o nordeste brasileiro já conta com 37,2% de geração de energia elétrica advinda dos parques eólicos (DANTAS, 2017). A geração de energia elétrica por fonte solar está seguindo os mesmos passos da geração eólica, crescendo nos últimos 2 anos de crise 300% e com perspectivas de alcançar o patamar de 1 mil Megawatt instalados em 2017. É demonstrado economicamente que o investimento em geração de energia elétrica própria (homologada pela Agência Nacional de Energia Elétrica através da Resolução Normativa N° 482 de abril de 2012 e revisada pela Resolução Normativa N° 687 de novembro de 2015) é viável e a curto-médio prazo traz retorno. Essa tecnologia fomenta o mercado financeiro e de trabalho, qualifica mão de obra local, traz retorno rápido do investimento, dá maior confiabilidade ao sistema elétrico brasileiro e reduz impactos ambientais (VILLALVA, 2012).

Visando incentivar os países a controlarem suas taxas de emissão de gases poluentes, o mercado de carbono vem ganhando cada vez mais força e espaço no cenário mundial na busca pelo cumprimento das metas do protocolo de Kyoto (GODOY e PAMPLONA, 2017). Nesse mercado, cada país possui um limite de toneladas de carbono que pode emitir na atmosfera, dessa forma cada um destes países precisa(m) definir internamente, um limite de emissão de CO₂ por setor. Já é perceptível reflexos dessas iniciativas, seja no avanço rápido das energias por fontes renováveis, seja na tendência atual da substituição dos combustíveis fósseis por tração elétrica na área da mobilidade em geral.

Seguindo essa tendência mundial de redução de emissão de carbono na atmosfera e incentivo a fontes de energias renováveis, buscou-se a viabilidade em reduzir o consumo de combustível fóssil utilizado pelos sistemas de refrigeração dos caminhões frigoríficos, utilizando módulos fotovoltaicos instalados no próprio caminhão (sistema com acumuladores). Esses mesmos módulos solares instalados nos caminhões, quando estes estiverem estacionados no pátio da empresa, irão se conectar a um inversor solar de tecnologia *on grid*, isto é, o inversor estará conectado à rede da concessionária local, injetando energia nesta, abatendo no consumo da unidade consumidora ou gerando créditos para ser abatido na próxima fatura de energia.

2. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo teve como fundamento teórico artigos científicos, revistas, livros, catálogos e *Datasheets* dos equipamentos. Foram coletados dados, dimensionados os sistemas fotovoltaicos e simulados em softwares específicos para que se pudesse prever sua geração de energia elétrica já considerando as perdas reais do sistema, tal como por inclinação, temperatura ou eficiência dos equipamentos. Realizou-se uma revisão geral do mercado para que se pudesse prever os custos dos sistemas. Em uma etapa final, foi calculado, utilizando ferramentas financeiras, o tempo de retorno (*payback*) do projeto já considerando a previsão dos aumentos percentuais ao longo dos 25 anos de vida útil do sistema. Foram consultadas empresas especializadas em energia solar e também empresa específica de logística de frio, nas quais foram coletados dados referentes a energia solar fotovoltaica e caminhões frigoríficos.

Foi selecionado como modelo de caminhão para estudo o Scania P250DB6x2. O caminhão possui área útil para instalação dos módulos solares equivalente a 20,52 m². Os módulos fotovoltaicos selecionados para o estudo foi o de modelo CS6X-320P do fabricante *Canadian Solar Inc* de tecnologia policristalina. Na Tab. 1 são apresentados os dados elétricos deste módulo solar. Cada módulo fotovoltaico possui área de 2 m², tornando possível arranjar 8 módulos para cada caminhão.

Tabela 1 - Especificações elétricas do módulo CS6X-320P para as condições de irradiância 1.000 W/m², temperatura de célula 25 °C e espectro AM 1,5.

| | |
|-----------------------------------|------------------------|
| Potência de Pico (Wp) | 320 |
| Tensão de máxima potência (Vmp) | 37 |
| Corrente de máxima potência (Imp) | 8,65 A |
| Tensão de Circuito Aberto (Voc) | 45,5 V |
| Corrente de Curto-Circuito (Isc) | 9,24 A |
| Eficiência | 16,49 % |
| Dimensões(mm): | 1956x992x40 |
| Peso (N): | 230 |
| Célula Solar: | Policristalina (72pçs) |
| Caixa de junção: | IP 67 |
| Cabo(mm): | 900 |
| Conector: | Compatível com MC4 |
| Temperatura de Operação | -40°C ~ +85°C |

Utilizou-se o software *PvSyst* para simular a geração prevista para os sistemas (*off grid* e *on grid*), levando em consideração a média de insolação da região nordeste. Com o resultado da geração prevista para o sistema *off grid* de 257,2 kWh/mês e considerando que o consumo de energia do refrigerador é de 6kWh, resulta-se que a média de tempo em que o sistema *off grid* suprirá o consumo do refrigerador será de 1,94h/dia, levando em conta que serão 22 dias ao mês.

Os módulos fotovoltaicos serão conectados eletricamente em série formando uma *string*, totalizando 362,4V de circuito aberto. Essa *string* será conectada ao equipamento controlador de carga para que este gerencie o correto carregamento do banco de bateria com nível de tensão de 24 Vdc, constituídos por 4 baterias. O banco de bateria será conectado ao inversor de frequência *off grid* com nível de entrada de 24 Vdc e saída trifásica com nível de tensão de 380 Vca, no qual será conectado o sistema auxiliar elétrico do refrigerador do caminhão frigorífico.

Serão considerados nesse estudo 4 caminhões com o arranjo fotovoltaico descrito. Na empresa proprietária dos caminhões frigoríficos, estarão instalados dois inversores de tecnologia *on grid*, cada qual possuindo 2 *Max Power Point Tracker (MPPT)*, isto é, máximo seguidor de potência. Os dados elétricos destes inversores se encontram na Tab. 3.

Tabela 3 - Especificações elétricas do inversor de frequência de tecnologia *on grid* Powador 6.0TL3

| Dados Elétricos de Entrada | |
|-------------------------------------|----------------|
| Potência Máxima (W) | 5.200 |
| Tensão Máxima (Vdc) | 550 |
| Máxima Corrente de Entrada (A) | 15 |
| Tensão de Arranque do Sistema (Vdc) | 100 |
| Faixa de Tensão de Operação | 175 - 500 V |
| MPP | 2 |
| Dados Elétricos de Saída | |
| Faixa de Tensão de Operação (Vac) | 220V/230V/240V |
| Frequência Nominal de Saída (Hz) | 60 |

| | |
|--|-------|
| Corrente de Funcionamento | 25A |
| Potência Máxima (W) | 5.000 |
| Distorção Harmônica Total de Corrente AC | < 3% |
| Fator de Potência | 1 |

Cada *string* formada por um caminhão será conectada a um MPPT do inversor *on grid*. As conexões das strings dos caminhões serão conectadas aos inversores *on grid* através de uma tomada de engate rápido, isto é, quando o caminhão estiver no pátio da empresa, os módulos fotovoltaicos deixarão de atuar no sistema *off grid* e passarão a injetar energia elétrica na rede da concessionária, através dos inversores *on grid*. E desta forma, subtrair, ao final do mês, essa energia injetada da energia consumida pela empresa. Por conversão, optou-se em considerar 8 dias ao mês essa geração *on grid* e 22 dias a geração *off grid*.

A economia gerada pelo sistema *off grid* se dá através do não consumo de combustível durante 1,94h ao dia pelo refrigerador do caminhão frigorífico, o que resultaria em 42,68h ao mês. Consultada a área de manutenção e planejamento da empresa Rodoviário Teixeira, constatou-se que a média de consumo de refrigeradores de caminhões frigoríficos para potência de 6 kW é de 2 litros de combustível diesel por hora de funcionamento do equipamento. Conclui-se que se pouparia por dia e por caminhão em combustível o equivalente a 84,92 L. Consultou-se os dados da Agência Nacional de Petróleo e conclui-se que a média de preço do litro para região nordeste do combustível diesel é de R\$ 3,073. Considerando os 4 caminhões frigoríficos, a economia mensal que o sistema *off grid* geraria seria de R\$ 1043,83, já que a economia por caminhão é de R\$ 260,95 (multiplicação da quantidade de litro poupado por caminhão pelo valor unitário do litro do combustível diesel).

A economia gerada pelo sistema *on grid* foi realizada segundo a modalidade de compensação de energia *net metering* autorizado pela Resolução Normativa n° 482 de 17 de abril de 2012 e revisada pela Resolução Normativa n° 687 de 24 de novembro de 2015 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A energia injetada na rede será compensada na conta de energia da unidade consumidora (empresa proprietária dos caminhões) autorizada através de um processo de aprovação de projeto, inspeção e liberação pela concessionária local. É possível acumular créditos pelo período de 60 meses, caso o consumo não ultrapasse a energia injetada na rede, contabilizada por um medidor bidirecional ou de 4° quadrante.

Na vertente econômica, consultou-se a empresa Joule Energias especializada em sistemas de geração de energia elétrica de tecnologia solar fotovoltaica para coletar dados dos preços dos equipamentos para levantamento do custo de implantação desses sistemas. O retorno do investimento foi calculado através de payback simples pelas economias geradas pelos dois sistemas e o custo total de implantação desse projeto. Foram considerados na simulação financeira os aumentos previstos de 6,5% ao ano no valor unitário do kWh e do litro de combustível diesel.

O cálculo da Relação custo-benefício para esse estudo baseou-se no que diz o módulo 7 do Programa de Eficiência Energética (PROEE), Cálculo da Viabilidade. O cálculo da viabilidade segue a Eq. (1).

$$Rcb = Cat/Bat \quad (1)$$

Para o cálculo do Rcb (Relação Custo-Benefício), utilizou-se para o Cat (Custo anualizado total em R\$) o valor de R\$ 117286,74 e para o Bat (Benefício anualizado total em R\$) o valor de R\$ 311385,72. Aplicando na Eq. (1), chega-se a 0,37 como resultado.

Esse é um resultado considerado bom, pois segundo o módulo 7 do PROEE, a Rcb deverá ser menor ou igual a 0,8 para que o projeto de eficiência energética seja viável.

Na vertente ambiental, calculou-se a média de CO₂ não emitido na atmosfera, pela simulação do programa de calculadora ambiental que mostrou que 1kWh/mês equivale a 1,63kg de CO₂ e que 1km/mês de carro movido a combustível diesel equivale a 2,82 kg de CO₂.

3. SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Nos tópicos que seguem, serão apresentados os detalhes dos sistemas *off grid* e *on grid*, assim como geração de energia elétrica, perdas na geração, configuração destes e custos de implementação.

3.1 Sistema solar fotovoltaico – *off grid* (isolado)

O sistema *off grid* de geração solar fotovoltaica estará instalado no caminhão e será acoplado na alimentação elétrica dos refrigeradores (sistema auxiliar elétrico). Ao longo do dia o sistema irá gerar energia e a mesma será armazenada no banco de baterias (PINHO, 2014). Alimentará, segundo comando do motorista, o refrigerador por um período médio de 1,94 h/dia.

Configuração do sistema solar fotovoltaico *off grid*. A configuração do sistema *off grid* seguirá o esquema ilustrado na Fig. 1. Os módulos solares serão conectados eletricamente em associação série e os terminais ligados ao controlador de carga para monitorar o carregamento do banco de bateria. Por fim, o banco alimentará o inversor de frequência e este, o sistema auxiliar elétrico do refrigerador. Sendo os módulos solares localizados sobre o baú do

caminhão frigorífico, o inversor e as baterias distribuídas em local adequado (abaixo do baú). O inversor foi dimensionado para potência do refrigerador em estudo, a saber, 6 kW, sendo trifásico com tensão de saída de 380Vac.



Figura 1 – Esquematização de sistema *off grid*.

Geração do sistema solar fotovoltaico *off grid*. A simulação da geração prevista no software *PVsys* para sistema *off grid* é mostrado na Tab. 4. A energia efetiva gerada utilizada para o projeto é a da coluna *E User* (Energia fornecida ao usuário).

Tabela 4 – Resultado da simulação da geração de energia elétrica (kWh) do sistema *off grid* no software *Pvsyst* para Região Nordeste.

| | <i>GlobHor</i> kWh/m ² | <i>GlobEff</i> kWh/m ² | <i>E User</i> kWh | <i>E Load</i> kWh |
|-----------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Janeiro | 203,8 | 200,8 | 272,0 | 277,4 |
| Fevereiro | 177,4 | 174,5 | 245,9 | 250,5 |
| Março | 187,0 | 183,9 | 272,5 | 277,4 |
| Abril | 159,9 | 156,8 | 254,6 | 268,4 |
| Mai | 149,8 | 146,7 | 254,4 | 277,4 |
| Junho | 128,5 | 125,7 | 207,8 | 268,4 |
| Julho | 134,9 | 131,9 | 223,9 | 277,4 |
| Agosto | 170,3 | 167,2 | 270,6 | 277,4 |
| Setembro | 174,8 | 171,8 | 266,2 | 268,4 |
| Outubro | 198,6 | 195,0 | 272,7 | 277,4 |
| Novembro | 210,6 | 207,0 | 268,4 | 268,4 |
| Dezembro | 205,5 | 202,0 | 277,4 | 277,4 |
| Ano | 2101,2 | 2063,3 | 3086,4 | 3266,0 |

Legenda - *GlobHor*: Irradiação global no plano horizontal; *GlobEff*: irradiação global efetiva nos coletores; *E User*: Energia fornecida ao usuário; *E Load*: Necessidade de energia do usuário.

3.2 Sistema solar fotovoltaico *on grid* (conectado à rede elétrica). O sistema de geração solar fotovoltaico conectado à rede elétrica aproveitará os módulos solares instalados nos caminhões (sistema *off grid*) quando estes estiverem no pátio da empresa (finais de semanas, feriados e no abastecimento destes), isto é, haverá um sistema de comutação (engate rápido) para que quando os caminhões chegarem ao pátio da empresa, os módulos solares deixem de gerar energia para o sistema *off grid* e gerem energia pelo sistema conectado à rede elétrica suprimindo o consumo mensal, parcial ou global, da empresa, podendo ainda gerar créditos para próxima fatura da conta de energia desta, segundo resoluções da Aneel.

Configuração do sistema solar fotovoltaico *on grid*. Nesse estudo de viabilidade foram considerados 4 caminhões, cada caminhão comportando 8 módulos solares de tecnologia policristalino com potência individual de

320Wp. O que totaliza 32 módulos e potência total instalada de 10,24 kWp. Os dados elétricos dos módulos foram coletados dos *datasheets*. Esses módulos solares serão arranjos em dois inversores fotovoltaico instalados na empresa, os quais estarão conectados à rede elétrica, com suas devidas proteções e requisitos exigidos pelas Normas Brasileiras 5410:2014 – Instalações Elétricas de baixa tensão; 5444/1989 – Símbolos elétricos para instalações elétricas prediais; 16274/2014 – Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede; 16150/2013 – Sistemas Fotovoltaicos(FV), Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição, procedimento de ensaio de conformidade; 16149/2013 – Sistemas Fotovoltaicos (FV), Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A configuração do sistema *on grid* seguirá como esquematizado na Fig. 3.

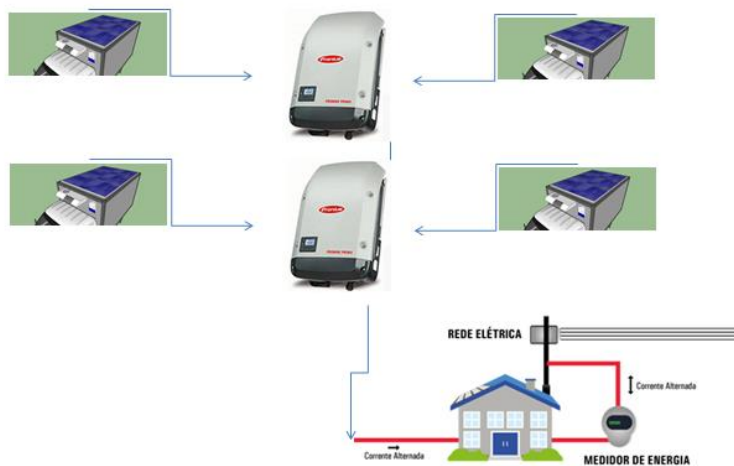


Figura 3 – Esquema prático da configuração do sistema solar *on grid*.

Geração do sistema solar fotovoltaico *on grid*. A simulação de geração pelo sistema conectado à rede elétrica foi, assim como no sistema *off grid*, realizada no software *PVsystem*. Essa simulação já leva em consideração todos os tipos de perdas do sistema, tal como por ângulo de inclinação, ângulo azimute e por temperatura demonstrado na Fig. 4 (gráfico de perdas). A coluna 7 da Tab. 2 (*E_Grid*) informa a geração de energia elétrica mensal fornecida pelo sistema solar para 16 módulos, o que equivale a 2 caminhões. Por o estudo levar em consideração um número total de 4 caminhões, a geração prevista na Tab. 2 irá dobrar. É louvável observar que essa simulação leva em consideração que o sistema funcionará diariamente, porém para esse estudo específico o mesmo irá funcionar na função de *on grid* em média 8 dias por mês.

Tabela 2 – Resultado da simulação da geração de energia elétrica (kWh) do sistema *on grid* no software *PvSystem*.

| | <i>GlobHor</i> kWh/m ² | <i>T Amb</i> °C | <i>GlobInc</i> kWh/m ² | <i>GlobEff</i> kWh/m ² | <i>EArray</i> kWh | <i>E_Grid</i> kWh | <i>EffArrR</i> % | <i>EffSysR</i> % |
|-----------|--------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Janeiro | 203,8 | 28,52 | 203,8 | 200,7 | 856,9 | 812,9 | 13,70 | 12,99 |
| Fevereiro | 177,4 | 28,67 | 177,4 | 174,2 | 747,5 | 709,4 | 13,73 | 13,03 |
| Março | 187,0 | 28,71 | 187,0 | 183,6 | 790,6 | 750,2 | 13,77 | 13,06 |
| Abril | 159,9 | 27,63 | 159,9 | 156,6 | 686,1 | 650,2 | 13,98 | 13,25 |
| Mai | 149,8 | 27,26 | 149,8 | 146,5 | 651,8 | 617,4 | 14,17 | 13,42 |
| Junho | 128,5 | 25,65 | 128,5 | 125,6 | 565,3 | 534,6 | 14,33 | 13,55 |
| Julho | 134,9 | 25,60 | 134,9 | 131,9 | 595,3 | 563,2 | 14,37 | 13,59 |
| Agosto | 170,3 | 25,77 | 170,3 | 167,1 | 741,0 | 703,1 | 14,17 | 13,44 |
| Setembro | 174,8 | 26,34 | 174,8 | 171,8 | 750,2 | 711,6 | 13,97 | 13,26 |
| Outubro | 198,6 | 27,52 | 198,6 | 195,0 | 841,5 | 798,2 | 13,80 | 13,09 |
| Novembro | 210,6 | 27,64 | 210,6 | 207,0 | 885,3 | 840,4 | 13,69 | 12,99 |
| Dezembro | 205,5 | 28,31 | 205,5 | 201,9 | 868,9 | 824,6 | 13,77 | 13,07 |
| Ano | 2101,2 | 27,30 | 2101,2 | 2061,9 | 8980,4 | 8515,9 | 13,92 | 13,20 |

Legendas - *GlobHor*: Irradiação global no plano horizontal; *T Amb*: Temperatura ambiente; *GlobInc*: irradiação global no plano do coletor; *GlobEff*: Irradiação global efetiva nos coletores; *EArray*: Energia produzida pela matriz fotovoltaica; *E_Grid*: energia injetada na rede; *EffArrR*: eficiência de matriz fotovoltaica; *EffSysR*: eficiência do sistema.

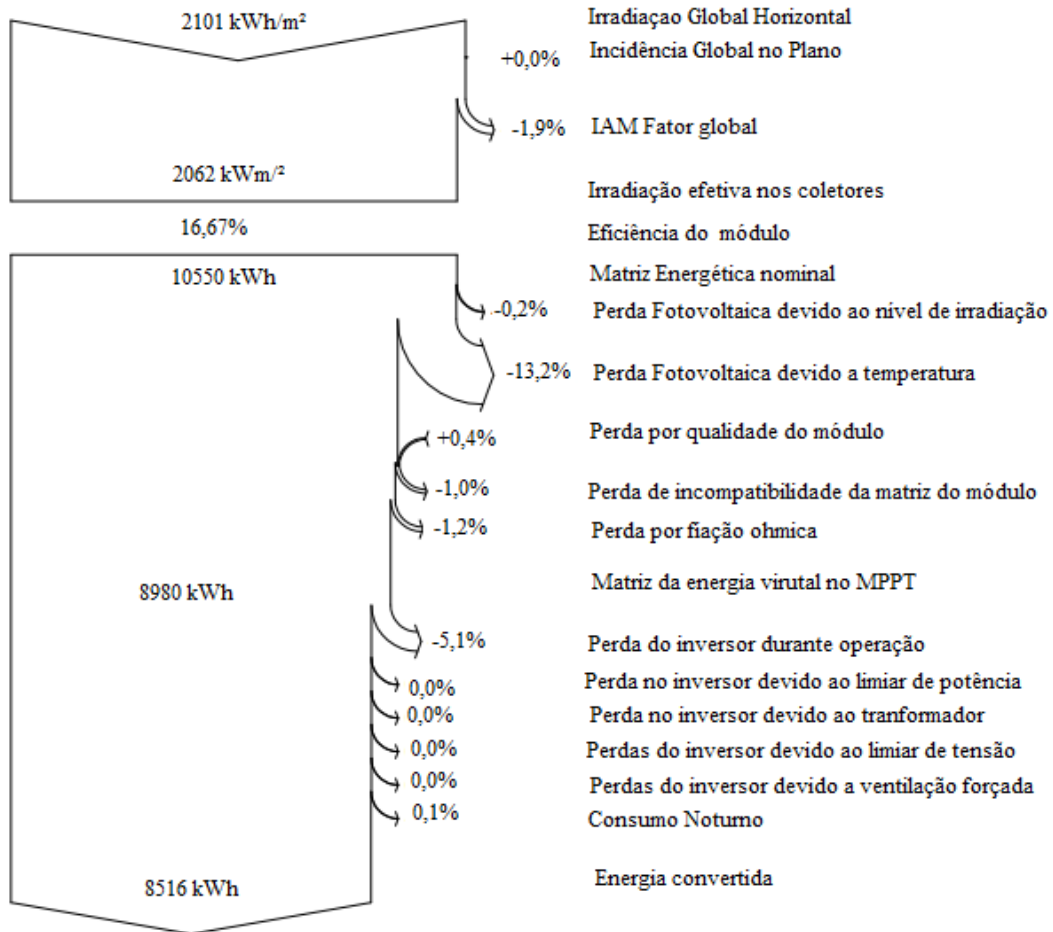


Figura 4 –Perdas elétricas inerentes ao sistema solar *on grid*.

Como já mencionado, a geração apresentada na Tab. 2 leva em consideração que o sistema irá gerar energia diariamente, porém neste estudo serão considerados apenas os dias de finais de semana em que os caminhões estarão no pátio da empresa, isto é, 8 dias por mês. Na Tab. 3 é possível observar essa geração por cada mês para os 32 módulos (4 caminhões, cada qual com 8 módulos) levando em consideração apenas os 8 dias no mês.

Tabela 3 – Geração de energia (kWh) para os 32 módulos gerando 8 dias por mês.

| | |
|-----------|--------|
| Janeiro | 419,56 |
| Fevereiro | 405,56 |
| Março | 387,2 |
| Abril | 346,76 |
| Maio | 318,64 |
| Junho | 285,12 |
| Julho | 290,68 |
| Agosto | 362,88 |
| Setembro | 379,52 |
| Outubro | 411,96 |
| Novembro | 448,2 |
| Dezembro | 425,6 |

4. LEVANTAMENTO DOS CUSTOS

A seguir serão levantados os custos totais com os dois sistemas solares (*off grid e on grid*) foram considerados preços de mercados atualizados (ano base 2017).

4.1 Sistema solar *off grid*

A Tab. 4 é composta pelos equipamentos que compõe o sistema, valores unitários destes e valores totais do sistema *off grid*.

Tabela 4 – Custos dos equipamentos do sistema *Off Grid*.

| | | | | |
|--------------------------|-----|-------|---------|----------|
| Bateria | 16 | unid. | 1500,00 | 24000,00 |
| Controlador | 4 | unid. | 120,00 | 480,00 |
| Inversor <i>off grid</i> | 4 | unid. | 6000,00 | 24000,00 |
| Estrutura | 4 | unid. | 1000,00 | 4000,00 |
| Plug de sobrepor | 4 | unid. | 25,00 | 100,00 |
| Cabo Elétrico Solar | 100 | m | 2,31 | 231,00 |

É necessário levar em consideração que para o sistema *off grid* há a necessidade da substituição da bateria para cada 5000 ciclos, utilizando em seu funcionamento 10% de descarga do banco. O sistema terá uma vida de 18 anos ao completar esses 5000 ciclos. Logo o custo com a substituição equivalerá a apenas uma substituição do banco de bateria. O custo total com o sistema *off grid* é de R\$ 76580,00

4.2 Sistema solar *on grid*

A Tab. 5 é composta pelos equipamentos que compõe o sistema, valores unitários destes e valores totais do sistema *on grid*.

Tabela 5 – Custos dos equipamentos do sistema *on grid*.

| | | | | |
|-------------------|-----|-------|---------|----------|
| Módulo Solar | 32 | unid. | 680,00 | 21760,00 |
| Inversor Solar | 2 | unid. | 6000,00 | 12000,00 |
| Cabo Elétrico | 100 | m | 1,50 | 150,00 |
| Disjuntor AC | 2 | unid. | 9,45 | 18,90 |
| Caixa de sobrepor | 2 | unid. | 10,00 | 20,00 |
| Eletroduto | 7 | tubo | 8,60 | 60,20 |
| Conector elétrico | 10 | unid. | 0,80 | 8,00 |
| Tomada sobrepor | 4 | unid. | 25,00 | 100,00 |
| Cabo solar | 80 | m | 2,37 | 189,60 |
| Projeto | - | - | 500,00 | 500,00 |

O custo total com o sistema *on grid* é de R\$ 34806,70.

4.3 Custo total dos dois sistemas

Tomando por base os números levantados para os sistemas, a saber: R\$ 76580,00 (Tab. 4) para o *off grid* e R\$ 34806,70 (Tab. 5) para o sistema *on grid* e que o preço médio da mão de obra será de R\$ 100,00 por módulo solar, isto é, R\$ 3400,00, e considerando um valor médio de R\$ 100,00 anual (R\$ 2500,00 ao longo dos 25 anos) para manutenção do sistema (limpeza de módulos e substituição dos bancos de bateria) então o custo total para o sistema será de R\$ 117286,74.

5. PAY BACK DO INVESTIMENTO

5.1 Economia com sistema solar *off grid*

Para levantar a economia gerada pelo sistema, o mesmo foi dimensionado para suprir no tempo de 1,94 h/dia o refrigerador do caminhão frigorífico. Consultada área técnica da empresa Rodoviário Teixeira, especializada em transportes de frios, foi coletado o dado de que o consumo médio de combustível Diesel dos refrigeradores (6 kW) é de 1,5 L por hora de funcionamento.

O cálculo da economia gerada levará em conta o funcionamento pleno de 1,94 h do refrigerador pelo sistema solar e que funcionará 22 dias por mês, o que equivale a 42,68h/mês. O preço médio do Diesel considerado nesse estudo foi o da média dos preços da região Nordeste, o que equivale a R\$ 3,073 (ANP, 2017). Com o dado coletado da Rodoviário Teixeira, o consumo mensal, em litros, de Diesel pelo refrigerador equivale a 66. Foi considerado um aumento de 3%

ao ano no preço do litro do Diesel. Logo, no primeiro ano, a economia geral será de R\$ 6323,00. A economia total gerada pelo sistema *off grid* ao longo dos 25 anos é de R\$ 207142,97.

5.2 Economia com sistema solar *on grid*

Para o cálculo da economia gerada pelo sistema *on grid*, considerou-se o valor da tarifa do kWh, assim como uma média de aumento anual de 6,5%. No primeiro ano de operação, considerando a tarifa para o ano de 2017 de R\$ 0,67/kWh, a economia gerada pelo sistema foi de R\$ 3181,99. A economia total gerada pelo sistema *on grid* ao longo dos 25 anos é de R\$ 104242,76.

5.3 Economia gerada pelos dois sistemas

A economia gerada pelos dois sistemas equivale à soma total das economias geradas por cada sistema, a saber: R\$311385,72. Na Fig. 5 é possível verificar essa economia por ano de vida útil do sistema.

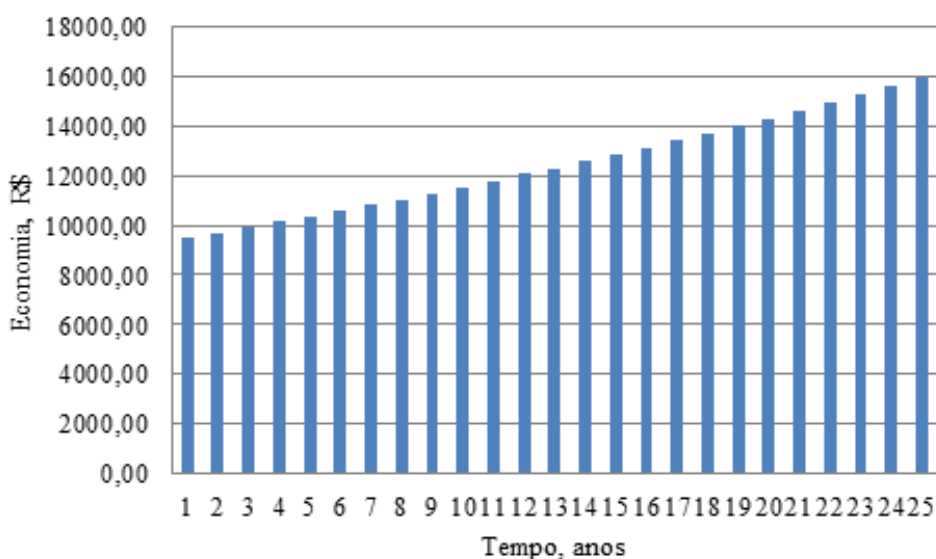


Figura 5 – Economia total gerada anualmente pelo sistema híbrido.

5.4 Retorno do investimento

Observados os custos totais dos dois sistemas e os lucros destes ao longo dos 25 anos de vida útil, pode-se observar na Fig. 6 que o tempo estimado para retorno do investimento é de 11 anos. Ao longo dos 25 anos, o sistema híbrido trará um lucro real para a empresa de R\$ 194119,51.

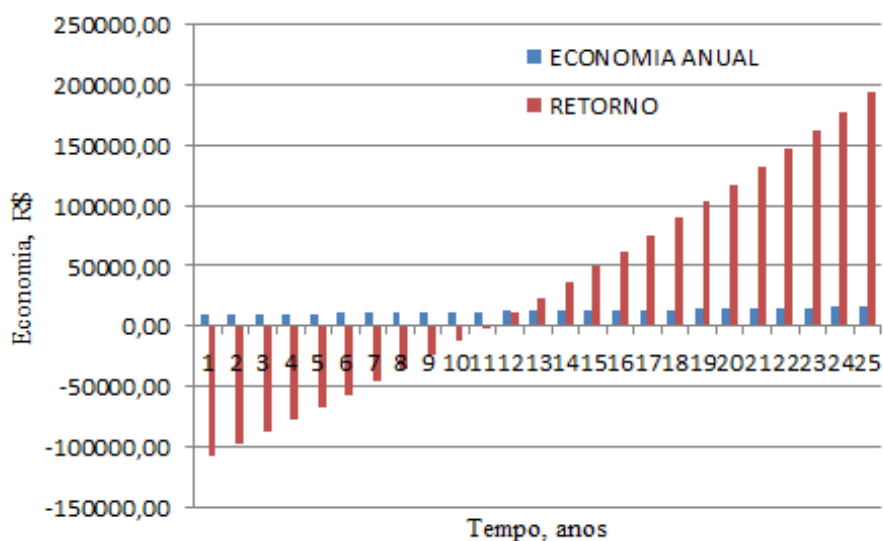


Figura 6 – Tempo (anos) estimado de retorno do investimento.

6. CONCLUSÃO

Conclui-se a viabilidade para o projeto estudado, justificado pelo retorno financeiro, economia financeira gerada e redução de emissão de CO₂ ao meio ambiente.

A tendência mundial pela substituição das fontes energéticas fósseis por renováveis fará com que essas tecnologias se desenvolvam cada vez mais e se tornem mais baratas, políticas de incentivo sejam implantadas e linhas de créditos diferenciadas envolva tal setor, o que diminuiria ainda mais o tempo de retorno para o investimento.

REFERÊNCIAS

- DANTAS, Rafael. A caminho da geração de energia limpa. Algomais – A revista de Pernambuco, jul. 2017. Disponível em: <<http://revista.algomais.com/noticias/a-caminho-da-geracao-de-energia-limpa>>. Acesso em: 13 set. 2017.
- AGÊNCIA BRASIL. Energia solar fotovoltaica pode crescer mais de 300% até o fim do ano, diz setor. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2017-07/energia-solar-fotovoltaica-pode-crescer-mais-de-300-ate-o-fim-do-ano-diz>>. Acesso em: 07 set. 2017.
- VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. São Paulo: Érica, 2012. 221p.
- GODOY, Sara; PAMPLONA, João. O protocolo de Kyoto e os países desenvolvidos. Pesquisa & Debate, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 330-353, out. 2017.
- PINHO, Antonio. Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos. 2. ed. Rio de Janeiro: Cepel, 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL: “Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE, Módulo 7 – Cálculo de Retorno”. Rio de Janeiro, 2013.

USE OF GENERATION SYSTEMS OF HYBRID PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY (OFF GRID AND ON GRID) IN REFRIGERATOR TRUCKS

Abstract. *This article is a conclusion of a research whose subject interests the global trend by the incentive to replace fossil fuels with renewable sources. To justify these replacement, it is observed that there is an aggression caused to the environment by the emission of resultant gases resulting from combustion process. One of the premises of this article was to prove the viability of a solar photovoltaic system implementation on refrigerated trucks. Each refrigerated truck will be equipped with an off grid photovoltaic isolated generation system. Furthermore, the system's isolated modules will be applied to construct an on grid photovoltaic system connected to the company's electrical network, when the vehicles are parked on the company's parking lot. The viability to this solution was based on the financial economics position, and encouraged by the carbon's politics moldes (emission of CO₂). From the methodologic point of view, it was calculated the time in which was possible that the off grid system would be able to supply the refrigerator consume, for the purpose to measure the fuel economy and consequently, the financial economy. It was performed a software generation simulation with the objective to measure the economy generated by the on grid system on the company's electrical bill. In order to make the calculations of the cost-benefit ratio, the off grid and on grid systems costs were calculated and so as the economy generated by those systems throughout its lifespan. It was concluded that the total investment cost will be R\$ 114786,74 and a total financial return of R\$ 311385,72, whereas the system 25 years lifespan. Making possible an investment return from the 11th year of operation. Ultimately, it was concluded that the system will avoid the emission of 353 tonnes of CO₂ over the years of system operation, whereupon it equals to the emission of CO₂ from 22 normal vehicles for a whole year.*

Key words: *Photovoltaic Energy, Hybrid System, Refrigerated Trucks.*