



Grupo eumed.net / Universidad de Málaga y
Red Académica Iberoamericana Local-Global
Indexada en IN-Recs (95 de 136), en LATINDEX (33 DE 36), reconocida por el DICE, incorporada a la
base de datos bibliográfica ISOC, en RePec, resumida en DIALNET y encuadrada en el Grupo C de la
Clasificación Integrada de Revistas Científicas de España.

Vol 10. N° 28
Febrero 2017
www.eumed.net/rev/delos/28

COMPARAÇÃO ENTRE A APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA SOLAR FOTOVOLTAICA COM E SEM ARREFECIMENTO UTILIZANDO HOMER®

Emanuel Antunes Vieira¹
Lucas Feksa Ramos²
Cristiane Krüger³
cris.kruger@hotmail.com
Brasil

CONTENIDO

Resumo	2
Abstract	2
Resumen	3
1 Introdução.	3
2. Referencial teórico	3
2.1 Software HOMER®	3
2.2 Sistemas de Conexões Fotovoltaicas	4
2.3 Radiação Solar	5
2.4 Célula Fotovoltaica	6
2.5 Fotovoltaica no Brasil	8
3. Estudo de caso	8
4. Resultados	10
5. Conclusão	12
Referências	13

¹ É graduado em Engenharia de Energias Renováveis e Ambiente, pela Universidade Federal do Pampa, em 2013. Atualmente é mestrando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Seus tópicos de interesse em pesquisa incluem rastreamento solar ativo, eficiência energética e fontes alternativas de produção de energia.

² Possui mestrado em Engenharia Elétrica e atualmente é doutorando em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) no Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência (CEESP) sediado no Centro de Tecnologia UFSM, trabalha com P&D na maximização da potência e rendimento de centrais fotovoltaicas conectadas à rede usando rastreamento solar, concentradores planos e condicionamento geotérmico. Professor adjunto de Engenharia Elétrica da UNIR.

³ É bacharel em Ciências Contábeis pela Universidade da Região da Campanha (Urcamp), Graduada no Programa Especial de Formação de Professores para Educação Profissional – PEG, Especialista em Contabilidade, Perícia e Auditoria. Especialista em Gestão Pública, Mestre em Administração e atualmente doutoranda em Administração, ambos pela Universidade Federal de Santa Maria. Tem experiência profissional em Administração de Empresas com ênfase em Gestão de Pessoas, atua principalmente nas áreas Contábil, Administrativa e Gestão.

RESUMO

A energia elétrica a partir de fontes alternativas é uma eficiente saída para atender à crescente demanda pela energia elétrica, além de ser sustentável e poder aumentar a diversidade das matrizes energéticas do Brasil. O presente trabalho faz uma análise de viabilidade da instalação de um sistema fotovoltaico desconectado à rede para suprir à demanda de energia elétrica de uma comunidade com demanda máxima de 100kWp. Serão abordadas duas hipóteses: painéis sem arrefecimento e painéis arrefecidos, a fim de verificar a potência gerada pelo sistema. As análises foram feitas com a ajuda do *software Hybrid Optimization Model for Electric Renewables* (HOMER) que foi desenvolvido pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL).

Palavras-chave: energias renováveis, energia fotovoltaica, arrefecimento de painéis fotovoltaicos, *software* HOMER.

COMPARISON OF TECHNOLOGY APPLICATION OF PHOTOVOLTAIC SOLAR COOLING WITH AND WITHOUT USING THE SOFTWARE HOMER®

ABSTRACT

The electrical energy from alternative sources is an efficient output to meet growing demand for electricity, as well as being sustainable and can increase the diversity of the energy mix in Brazil. This work is an installation of the feasibility analysis of a photovoltaic system network offline to meet the electricity demand of a community with maximum demand 100kWp. two cases will be discussed: panels without cooling and cooled panels in order to check the power generated by the system. Analyses were made with the help of software Hybrid Optimization Model for Electric Renewables (HOMER) that was developed by the National Renewable Energy Laboratory (NREL).

Keywords: renewable energy, photovoltaics, cooling photovoltaic panels, HOMER software.

COMPARACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE APLICACIÓN DE REFRIGERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CON Y SIN EL USO DEL SOFTWARE HOMER®

RESUMEN

La electricidad a partir de fuentes alternativas es una producción eficiente para satisfacer la creciente demanda de electricidad, además de ser sostenible y puede aumentar la diversidad de la combinación energética en Brasil. Este trabajo es una instalación del análisis de viabilidad de una conexión de red de sistemas fotovoltaicos para satisfacer la demanda de electricidad de una comunidad con la máxima demanda de 100 kWp. se discutirán dos casos: paneles sin enfriamiento y se enfriaron los paneles con el fin de comprobar la potencia generada por el sistema. Los análisis se realizan con la ayuda de software híbrido modelo de optimización para las energías renovables eléctricas (Homero) que fue desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL).

Palabras clave: energía renovable, la energía fotovoltaica, paneles fotovoltaicos de refrigeración, el software de Homero.

1 INTRODUÇÃO.

Com a procura por novas alternativas energéticas para suprir a demanda da vida moderna, incentivou-se estudos e pesquisas em fontes alternativas de geração de energia no laboratório do Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência (CEESP).

Nesse trabalho são analisadas as características para simulações no *software* HOMER, no que se refere a implementação de painéis fotovoltaicos. O objetivo destas simulações é estimar o custo atual de geração, sua crescente participação na matriz energética e verificar a influência de fatores variantes na formação destes custos. Verificar-se o efeito do arrefecimento na geração final do sistema fotovoltaico e o impacto do aumento de geração de energia devido a esse arrefecimento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

No referencial teórico, a seguir, apresenta-se inicialmente o *software* Homer®, os sistemas de conexões fotovoltaicas, radiação solar, célula fotovoltaica e um breve parecer da fotovoltaica no Brasil.

2.1 Software HOMER®

O software escolhido para a realização deste estudo foi o Homer® (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) versão 3.1.2, que é gratuitamente disponibilizado pelo NREL

(National Renewable Energy Laboratory). O *software* Homer® foi desenvolvido para auxiliar na concepção e otimização de sistemas de produção distribuída, bem como para possibilitar a comparação entre diferentes tecnologias de produção de energia, que permite modelar e simular o seu comportamento físico e econômico.

O *software* HOMER® pode simular sistemas isolados ou conectados na rede, no qual pode servir cargas específicas, baterias, e entram diversas fontes alternativas, além disso executa três processos para formulação dos seus resultados; são eles: simulação, otimização e análise de sensibilidade. Na simulação, o programa modela, hora a hora, o desempenho de uma única configuração para determinar viabilidade técnica e o custo total do projeto, o qual inclui o custo de instalação e de funcionamento (O&M) do sistema durante sua vida útil. Na otimização, o programa simula todas as configurações de geração distribuída em busca da solução que possua o menor custo e que satisfaça as limitações técnicas do projeto. Na análise de sensibilidade, por sua vez, o programa realiza diversas otimizações, em função de uma gama de dados para uma mesma entrada e, assim, avalia os efeitos das incertezas do projeto.

O *software* é geralmente o escolhido para esse modelo de pesquisa devido apresentar diversas vantagens como:

- Simula ao longo de cada hora e ao longo do ano, o que permite em qualquer fase do projeto adicionar ou remover componentes na rede;
- Avalia o contributo de cada componente na rede, o seu custo e a sua interferência na eficiência da mesma;
- Avalia se, ao longo dos anos, o sistema satisfará o crescimento da demanda;
- Fornece dados das várias combinações e faz a otimização desses resultados para melhor atender o projeto;
- Permite fazer análises de sensibilidade, que analisam e comparam as escolhidas, relacionando o custo, a eficiência e o índice de emissões de CO₂.

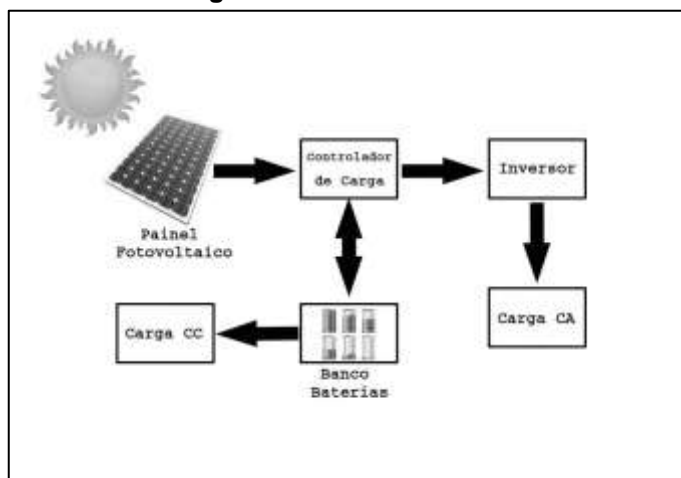
2.2 Sistemas de Conexões Fotovoltaicas

Existem dois tipos de conexões os quais estão a seguir.

▪ Sistemas isolados – *Off-grid*

Sistemas isolados tem grande aplicação em locais onde não há fornecimento de energia elétrica por razões técnicas e/ou econômicas. Esse sistema pode atender cargas em corrente contínua ou alternada. As opções mais comuns de fazer o armazenamento de energia é por meio de baterias ou na forma de energia potencial gravitacional, que consiste no bombeio de água para tanques em sistemas de abastecimento, a **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** exemplifica um sistema isolado com armazenamento como foi descrito

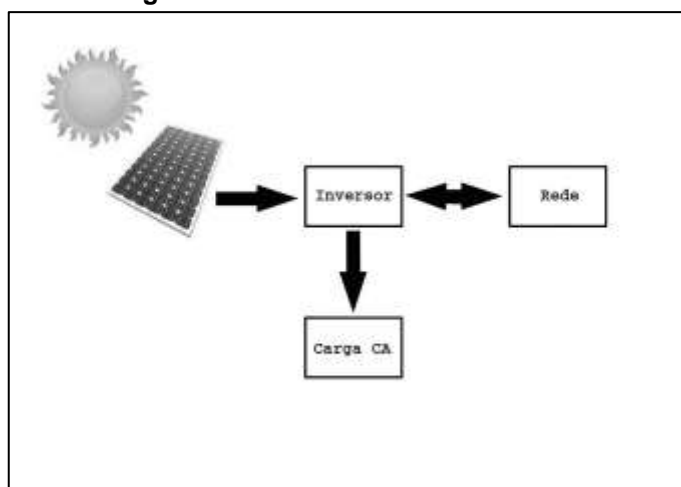
Figura 1 - Sistema Isolado



▪ Sistemas Conectados - *Grid-tie ou On-grid*

Diferente do modelo acima que é isolado esse sistema normalmente não necessitam de armazenamento de energia, por que toda a energia excedente é injetada diretamente na rede. O sistema da rede tem que estar preparado com relógio bidirecional para futuras cobranças da concessionária, a **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** a seguir mostra o sistema.

Figura 2- Sistema Conectado à Rede



2.3 Radiação Solar

É sabido que no Brasil, os índices de radiação solar apresentam um ótimo potencial para a utilização de energia fotovoltaica como mostrado na **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, no Rio Grande do Sul varia entre 14 e 16MJ/m².dia. Ainda de acordo com o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Entretanto, há pouco incentivo para a geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos, visto que os programas governamentais criados são escassos, não

conseguiu-se motivar a criação de um mercado voltada para essa tecnologia (FARRET, 1999; FARRET e SIMÕES, 2006).

Figura 3 - Radiação Solar no Brasil



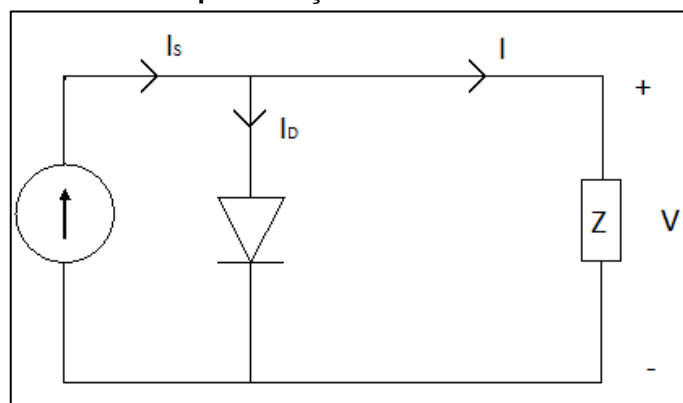
Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil.

2.4 Célula Fotovoltaica

Um módulo fotovoltaico é composto por diversas células fotovoltaicas que é identificado geralmente por sua potência elétrica de pico (Wp), todavia para um projeto de central fotovoltaica deve ser considerado um conjunto de características compatíveis com a aplicação específica (VIANA, 2010).

A figura 4 mostra o modelo elétrico da célula fotovoltaica pelo diodo da qual passa uma corrente I_D expressa por:

Figura 4 - Modelo de representação elétrica de uma célula fotovoltaica



$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \quad (1)$$

Que corresponde a:

I_0 – corrente inversa máxima de saturação do diodo;

V – tensão nos terminais da célula;

m – fator de idealidade do diodo;

V_T – designado por equivalente térmico = KT/q ;

Z – representa a carga na figura 4;

K : constante de Boltzmann ($K = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$);

T : temperatura absoluta da célula em K ($0^\circ\text{C} = 273,16\text{K}$);

q : magnitude da carga do elétron ($q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$).

A corrente I na carga é, portanto:

$$I = I_S - I_D = I_S - I_0 \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \quad (2)$$

Como demonstrado matematicamente pela equação 3 a corrente de curto circuito I_{CC} será o valor máximo da corrente da carga, igual a corrente gerada pelo efeito fotovoltaico. Dessa forma: $V = 0$, $I_D = 0$ e $I = I_S = I_{CC}$.

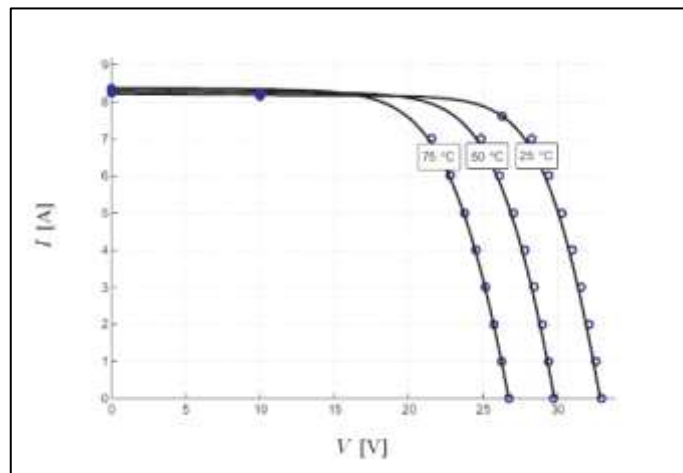
Com a corrente em circuito aberto a tensão V_{ca} é o valor máximo da tensão nos terminais da célula, que ocorre à vazio:

$$V_{ca} = mV_T \ln \left(1 + \frac{I_S}{I_0} \right) \quad (3)$$

Tanto a corrente de curto circuito quanto a corrente de circuito aberto são valores característicos dos painéis fotovoltaicos, cabe lembrar que também depende da temperatura e incidência solar.

No Brasil a influência da temperatura afeta significativamente o desempenho da geração fotovoltaica, o **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** a seguir demonstra o da temperatura nos módulos fotovoltaicos, pois quanto maior a temperatura do módulo menor será a energia produzida (KAZMERSKI, 1997).

Figura 5 - Curva característica $I \times V$, sobre o efeito da temperatura



Fonte: elaborado pelos autores.

Em busca de uma solução, afim de reduzir o efeito da temperatura, será analisado como um sistema de arrefecimento para painéis fotovoltaicos impactaria na geração de energia de um sistema fotovoltaico de 100kWp.

2.5 Fotovoltaica no Brasil

Conforme os dados do BIG - Banco de Informações de Geração do portal da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), hoje possui 23 empreendimentos de fonte fotovoltaicas em operação.

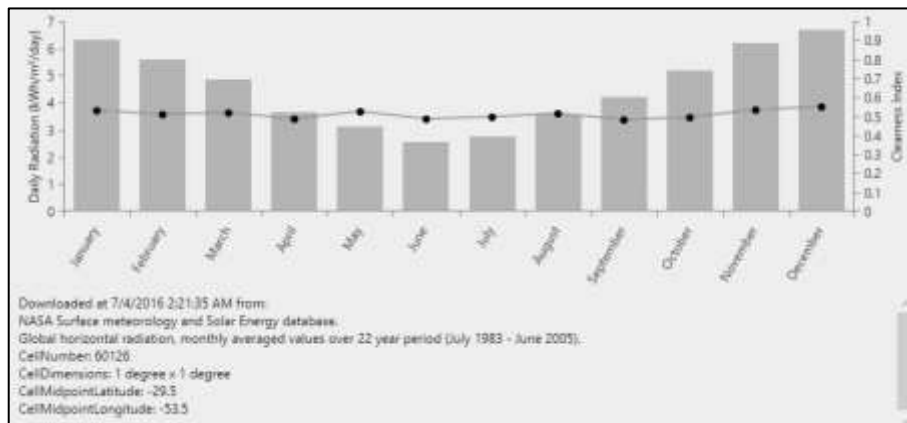
3. ESTUDO DE CASO

A premissa para o projeto de suprimento de energia elétrica de uma pequena comunidade que utiliza consumo máximo de 100 kW, de pequeno porte de carga e com o perfil residencial a integração entre painéis fotovoltaicos e a banco de baterias.

O sistema é inicialmente configurado, considera-se fatores climáticos com a radiação solar e temperatura ambiente, os dados são obtidos por download dos dados meteorológicos do site da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*).

Com as configurações da localização já definidas verifica-se a radiação total anual na cidade de Santa Maria no estado do Rio Grande do Sul, no Brasil, continente sul americano , a **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, apresenta os dados de radiação solar para a cidade alvo do estudo. A média anual é de $4.55 kWh/m^2/dia$, com uma média anual de insolação de 4.36 horas diária.

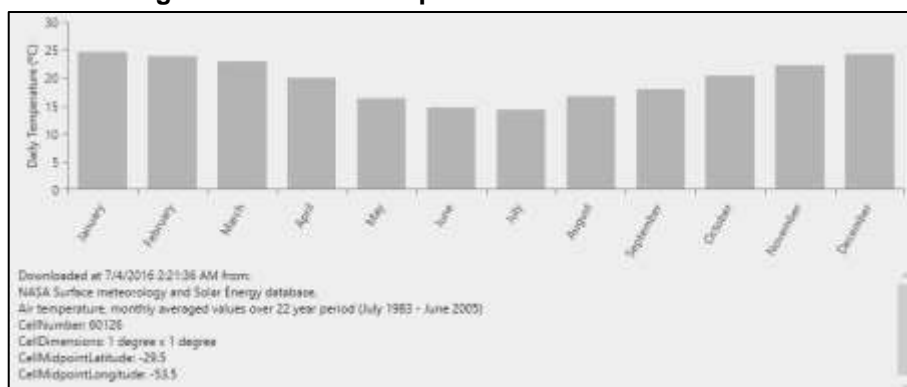
Figura 6 - Radiação Anual em Santa Maria – RS



Fonte: elaborado pelos autores.

Neste estudo, que a temperatura influencia na geração de energia o perfil de temperatura local, tem papel significativo a geração fotovoltaica como já apresentado na **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** A **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, faz referência a temperatura média mensal para a cidade de Santa Maria. A média anual é de 19.88 °C.

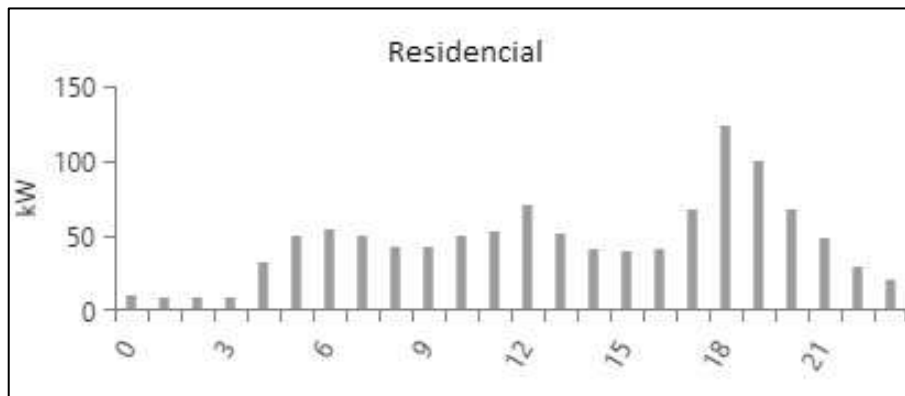
Figura 7 - Perfil de temperatura em Santa Maria – RS



Fonte: elaborado pelos autores.

Aplicasse nas configurações um perfil de energia, no qual pode configurado no HOMER®. A **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** mostra a caixa de seleção do perfil da carga. Após a seleção de perfil aparece, no qual essa é escolhido o tipo de usuário de carga, no caso desta simulação foi escolhido o perfil o residencial, no qual apresenta um pico no consumo entre 17:30 a 20:30h.

Figura 8 - Perfil residencial de consumo



Fonte: elaborado pelos autores.

A **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** demonstra a carga real que será alimentada, mostra detalhes de carga (kW) a cada hora, e pode ser alterada caso necessário pelo usuário, mostra o gasto em um dia, o pico e outras informações para uma simulação mais precisa.

Com a carga já definida selecionou-se o tipo de painel fotovoltaico, para as simulações foi selecionado o modelo comercial da *Canadian Solar MaxPower CS6X-320*, alimenta-se a simulação com valores reais de preços por 1kW e manutenção e operação por ano. A mostra as devidas configurações, com o valor de \$ 1400,00 por 1kW e \$70,00 de manutenção e operação anual.

A seleção do conversor tem que ser comercial e com características semelhantes aos do real para utilização dos painéis escolhidos, o conversor no qual tem o valor de \$ 1500,00 por 1kW e \$100,00 de manutenção e operação anual.

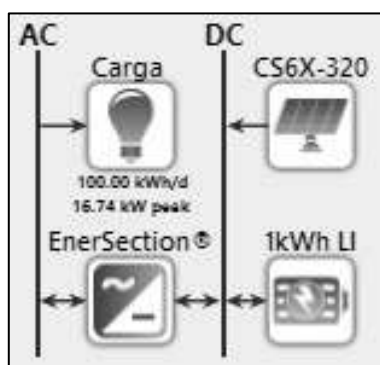
Como o sistema funcionará desconectado da rede a implementação de um banco de baterias se faz necessário a implementação do banco de bateria tem o custo de \$1000,00 por 1kW, substituição de \$600,00 e operação de \$100,00.

4. RESULTADOS

Primeiramente analisou-se o modelo descrito acima, foi simulado e obteve-se os valores econômicos de implementação do sistema de geração fotovoltaico, nestes valores desapressam custos com transporte, suportes e cabeamento e custos da simulação, estão apresentados na **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

A simulação implementa no programa computacional Homer, é apresentada na **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, dentro dos parâmetros já citados.

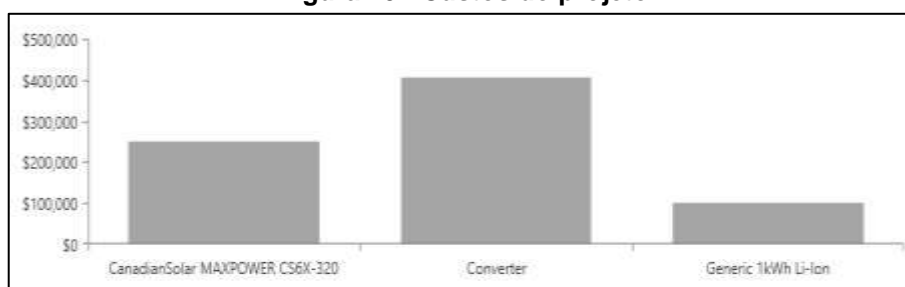
Figura 9 - Sistema simulado



Fonte: elaborado pelos autores.

Verifica-se rapidamente que custo de PV tem o valor de \$ 250.268,00 e o valor gasto na aquisição dos conversores será de \$406.482,00 e o banco de baterias será de \$101.800,00, teve um custo total do sistema de \$758.552,00, na **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

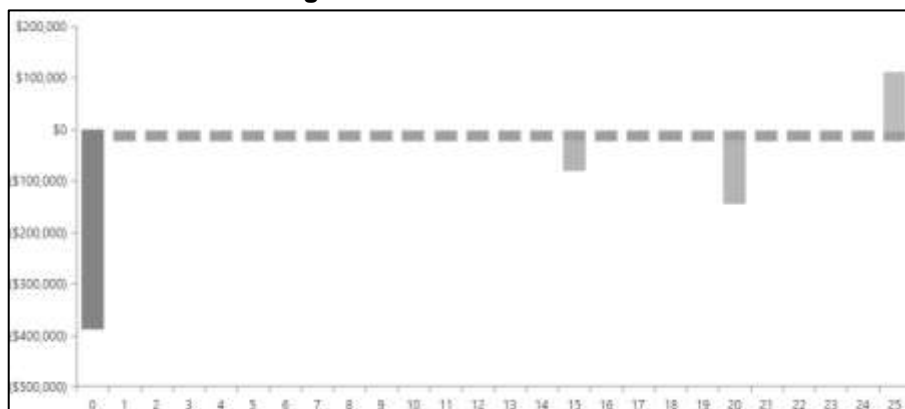
Figura 10 - Custos do projeto



Fonte: elaborado pelos autores.

A **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** mostra que nessa simulação para o perfil residencial com demanda de 100kWp tem-se um retorno a partir de 25 anos, o que não é fator impeditivo devido ao tempo de vida útil dos painéis fotovoltaicos, e o tipo de utilização, em sistema isolado.

Figura 11 - Análise de custos

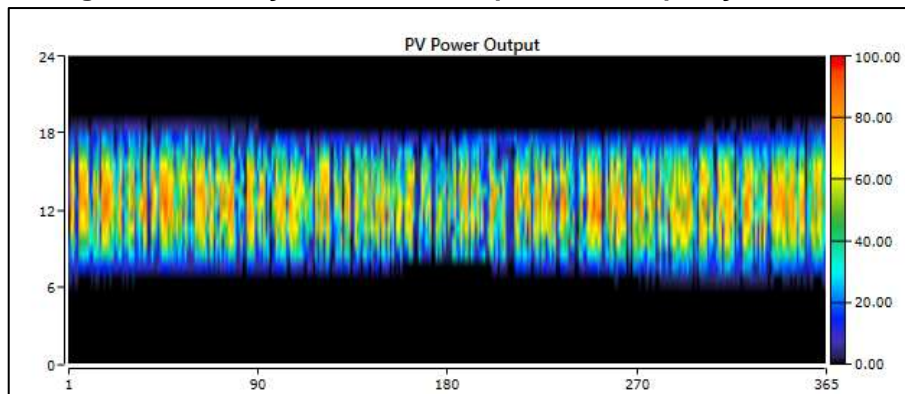


Fonte: elaborado pelos autores.

Visto o atual panorama em que se encontra essa simulação é favorável a instalação de painéis.

A geração foi de 154.173.00 kWh/ano, que gerou um custo de \$0,103 \$/kWh. Para esta simulação a temperatura de operação dos módulos fotovoltaicos é de 45°C, e com fator de capacidade de 17,60%.

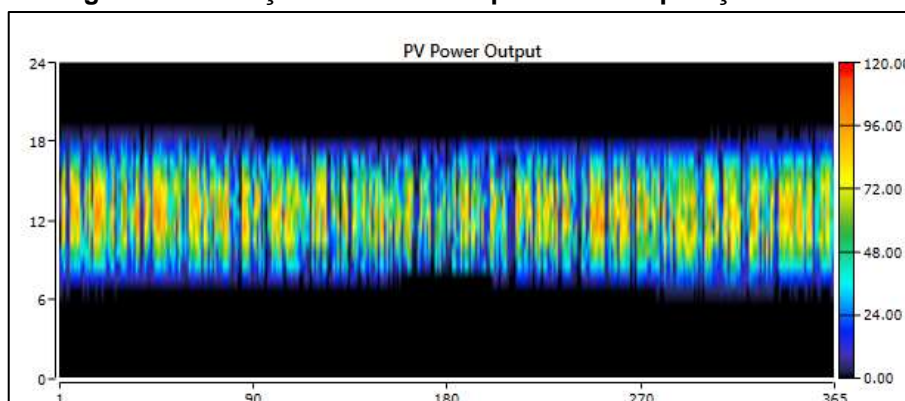
Figura 12 - Geração PV com a temperatura de operação de 45°C



Fonte: elaborado pelos autores.

A simulação 2, a temperatura de operação dos módulos fotovoltaicos é reduzida por um sistema de arrefecimento geotérmico, manteve-se os painéis à 15°C, os demais parâmetros são mantidos os mesmos. Para esta simulação há geração foi de 165.947,00 kWh/ano, que gerou um custo de \$0,095 \$/kWh, valor bruto sem levar em conta o valor de implementação do sistema de arrefecimento, e com fator de capacidade de 18.94%.

Figura 13 - Geração PV com a temperatura de operação de 15°C



Fonte: elaborado pelos autores.

Ao comparar as simulações, a geração com arrefecimento obteve um aumento de 10.777.00 kWh/ano que corresponde um incremento de 7.63% a mais na geração anual. O custo de implementação do sistema de arrefecimento está estimado em 30% a mais que o sistema sem o sistema de refrigeração, que totalizou \$986,117,00.

Assim este modelo apresenta resposta dentro do esperado no que se trata de geração de energia e valores.

5. CONCLUSÃO

Baseado nos resultados obtidos com o *software* HOMER, a contribuição desse trabalho foi analisar se haveria uma melhora na geração com a diminuição da temperatura, hipótese que foi confirmada. Porém, necessita de uma avaliação mais criteriosa no que se trata na parte econômica, que contemple uma análise criteriosa de custos logísticos, que visa obter um resultado final mais próximo do real.

Estas simulações levaram em conta diversos fatores, como radiação solar e temperatura. O sistema fotovoltaico desconectado à rede de distribuição e o funcionamento com armazenamento de energia em baterias, se tornou mais eficiente energeticamente com o uso de arrefecimento dos painéis fotovoltaicos, que devido o arrefecimento geotérmico, se mantem a 15°C, constantes durante o ano, que gerou um aumento de 7.63%, na energia gerada anualmente.

Pode-se concluir que a energia fotovoltaica é economicamente e tecnicamente viável em diversos cenários apesar do tempo de retorno do investimento ser elevado.

Com relação ao tipo de tecnologia estudada, observa-se que inúmeros benefícios seriam gerados para o meio ambiente. Por ser uma fonte renovável de energia, não há emissão de gases poluentes, os quais contribuem para a degradação ambiental.

REFERÊNCIAS

- ANEEL, Agência Nacional De Energia Elétrica. Resolução Normativa No 482, De 17 De Abril De 2012. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso em: 1 jan. 2017.
- ANEEL, Agência Nacional De Energia Elétrica. Banco de Informações de Geração (BIG). Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/FontesEnergia.asp>> Acesso em: 26 dez. 2016.
- CEESPE, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**/Rio de Janeiro, CRESESB, 1999.
- CPTEC/INPE. Descrição da rede **SONDA** e acesso à base de dados coletados. <http://sonda.ccst.inpe.br>. Acesso em 14 de nov. 2016.
- FARRET, F. A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. UFSM, 1999.
- FARRET F. A; SIMÕES, M. A. **Integration of Alternative sources of energy**. New Jersey: WILEY-INTERSCIENCE, 2006.
- KAZMERSKI, L. L. Photovoltaics: a review of cell and module technologies. **Renewable and sustainable energy reviews**. p. 71-170, 1997.

VIANA, T. S. **Potencial de geração de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos com concentrador no Brasil.** 2010.