



Asociación de Universidades  
GRUPO MONTEVIDEO

25  
al  
27  
Montevideo

SET  
2019



II CONGRESO DE AGUA  
AMBIENTE Y ENERGÍA

AUGM



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

# SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UMA COMUNIDADE NO HAITI

Wesly Jean<sup>a</sup>, Antonio C. P. Brasil Junior<sup>b</sup>, Augusto Arcela<sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília (UnB), Brasil, weslyjean999@gmail.com.*

<sup>b</sup> *Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília (UnB), Brasil, brasiljr@unb.br.*

<sup>c</sup> *Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília (UnB), Brasil, augusto.arcela@gmail.com.*

**RESUMO:** A energia gerada pelo sol, atualmente é considerada uma das alternativas mais esperançosas na geração de energia elétrica necessária para suprir às necessidades da humanidade. Dentre as formas usuais de energia solar, destaca-se os sistemas fotovoltaicos, que convertem a radiação solar direta e difusa em eletricidade. Esta geração de eletricidade pode ser aproveitada de forma descentralizada. Para localidades desprovidas de atendimento elétrico de fontes convencionais, alternativas de geração de eletricidade utilizando tecnologias de sistemas fotovoltaicos são consideradas viáveis, além de proporcionar o desenvolvimento social e econômico da região. Desta forma, este trabalho apresenta o projeto de um sistema fotovoltaico isolado da rede elétrica convencional destinada a uma comunidade isolada no Haiti. Haiti é um país onde há grande potencial de radiação solar. Estudos mostram que na maior parte do país a irradiação solar varia entre 5 à 7 kWh/m<sup>2</sup>/dia. A projeção desse sistema será feita, por meio da ferramenta HOMER. O projeto em questão visa viabilizar sua implementação via programa de assistência social do governo haitiano chamado “*Banm lavi, banm limyè*” que objetiva disponibilizar energia elétrica para as comunidades remotas e economicamente vulneráveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energias Renováveis, Energia Solar e Ferramenta HOMER

## 1 INTRODUÇÃO

O total da demanda mundial de energia atualmente representa 17% de eletricidade e deve aumentar até 2050 para 23% segundo AIE (Agência Internacional de Energia), isso porque a população mundial deve ultrapassar a marca de 9 bilhões até 2050 (UNFPA, 2011). Portanto, devido a esse aumento na demanda, a capacidade de geração deve ser ampliada. Atualmente, a matriz energética mundial é composta por diversas fontes primárias, no qual destacam-se petróleo, carvão mineral, gás natural, hidráulica, eólica e solar. Apesar dessas opções de produção de energia, os combustíveis fósseis prevalecem e continuam sendo a base da oferta de energia primária dos países (EPE, 2011). As fontes de origem fósseis trazem constante preocupação ao meio ambiente devido ao aumento de gases de efeito estufa como metano (CH<sub>4</sub>) e Gás Carbônico (CO<sub>2</sub>), elas causam danos à qualidade de vida, do aumento das temperaturas e da acidez do solo (TORRES, 2012). As emissões de CO<sub>2</sub> dos combustíveis fósseis são apontadas como uma das causas para o aquecimento global, outro problema são os desastres ecológicos causados à partir da perfuração de poços de petróleo.

REN21 (2019) define fontes de energias renováveis como todas as fontes energéticas que produzem de forma contínua e que são transformadas pelo homem em energia útil para satisfazer as suas necessidades. As energias de fontes limpas em 2040 passarão a ser responsáveis por 56% do fornecimento de energia no mundo (BNEF, 2015). Essa expansão se deve à diversos fatores como, a escassez de combustíveis fósseis, necessidade de redução da dependência de derivados

de petróleo e por fim, a questão ambiental com as emissões de gases poluentes. Durante a última década, a tecnologia fotovoltaica tem mostrado potencial para se tornar uma importante fonte de geração de energia para o mundo, apresentando um crescimento robusto e contínuo, mesmo em tempos de crises financeiras e econômicas, a capacidade instalada acumulada à nível mundial em 2009 era praticamente 23 GW, 2010 foi de 40 GW e em 2011 foi mais de 69 GW, tudo isso representa uma produção de 85 TWh de eletricidade anual (EPIA, 2012).

Ao todo, estima-se que 1 bilhão de pessoas no mundo não tem acesso a eletricidade e ainda 2,8 bilhões usam algum tipo de biomassa e/ou madeira para cozinhar e se aquecer de acordo com estudo realizado pelo banco mundial em parceria com AIE (IEA, 2018). O acesso à eletricidade é essencial para o desenvolvimento humano, do nível de qualidade de vida e para desenvolvimento econômico de qualquer sociedade.

O acesso às pessoas a eletricidade se torna uma grande preocupação nos últimos anos. A ONU em 2011 lançou o programa “Energia Sustentável para Todos”, é o de que o percentual seja de 100% até 2030. E uma das alternativas para atingir essa meta é dobrar a fatia de energia renovável no mundo. Sistemas fotovoltaicos isolados ou autônomos são sistemas que fornecem energia elétrica para comunidades consideradas remotas e que não estão conectados à rede de distribuição de eletricidade da concessionária local (IEA, 2013b).

Haiti possui um excelente potencial de energia renovável, segundo avaliações, o país teoricamente comporta o potencial de satisfazer na sua totalidade a demanda de eletricidade por meio de fontes renováveis e de tecnologias que presentemente disponíveis (WORLDWATCH, 2014a). A irradiação global diária na horizontal varia de 5 à 7 kWh/m<sup>2</sup>/dia na maior parte do país e se aproxima de 8 kWh/m<sup>2</sup>/dia em certas regiões (WORLDWATCH, 2014b). Há várias comunidades isoladas no Haiti e como todas comunidades remotas, elas são caracterizadas pelo baixo poder aquisitivo da população, logística de transporte inadequada e/ou inexistente, isolamento de serviços de fornecimento regular de energia elétrica e baixa densidade demográfica. De acordo com Batliwala e Meinecke, (2005 *apud* Villaça, 2011, p. 10) “Pobreza e serviços de energia escassos caminham de mãos dadas, e mantém uma relação sinérgica.” A geração de eletricidade por meio de fontes alternativas usando os recursos do local é bem consolidada em vários países e pode ser uma solução viável para geração de eletricidade nessas comunidades além de ser um negócio socialmente, economicamente e ambientalmente viável para melhorar a qualidade de vida das pessoas de tais comunidades.

O vilarejo chamado "*Paulin*" está localizada a cerca de 50 km da cidade de Port-de-Paix no noroeste do Haiti. Ele é atravessado por um grande rio que é a principal causa do seu isolamento. Tem latitude 19,92 norte, longitude -72,85 leste e altitude de 36 m. O vilarejo é sem eletricidade, o sistema de iluminação das casas é através de querosene e lâmpada de biomassa convencional. Diante disso, este projeto propõe buscar uma solução para suprimento energético deste vilarejo isolado usando o recurso e as tecnologias de energia solar. É uma proposta que vai ao encontro com o programa do governo "*Banm limyè, banm lavi*" que pretende eletrificar todas as comunidades do país. Desta forma, este trabalho tem como objetivo projetar um sistema fotovoltaico por meio da ferramenta HOMER, que simula as configurações do sistema, como os custos, os componentes, o número de opções de tecnologias e a disponibilidade de recursos energéticos disponíveis (Slam et al., 2012).

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 *Processo de Simulação*

A ferramenta HOMER simula todos os custos que ocorrem durante a vida do projeto, incluindo custo inicial (CI), substituição de componentes dentro da vida do projeto e manutenção como

mostrado por Rehman et al. (2012 *apud* Silveira et al., 2015). Um dia típico foi considerado e simulado, sendo que esta carga diária foi considerada constante durante o ano inteiro. Os dados relacionados com a carga de eletricidade no vilarejo foram obtidos através da base de dados de localidades próximas de população de baixa renda. Esta carga leva em conta o sistema de iluminação, equipamentos eletrodomésticos e domésticos.

O diagrama esquemático do modelo é apresentado na Fig. 1. Este modelo contém um sistema de energia fotovoltaica, um conversor de energia e um banco de bateria usado para cumprir os requisitos de carga do vilarejo. Os dados de entrada incluem irradiação solar, dados de carga, especificações técnicas, dados de custo dos módulos fotovoltaicos e conversores. Os dados de carga elétrica são apresentados na Fig. 2, sendo que a média anual escalonada é de 156 kWh/d, com um fator de carga de 0,31 e o pico da demanda é de 21 kW. E por fim os dados de entrada para cada componente do sistema são apresentados na Tabela 1 abaixo.

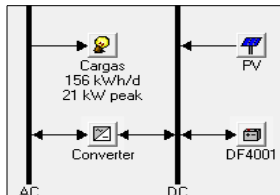


Figura 1. Arquitetura do sistema FV em estudo.

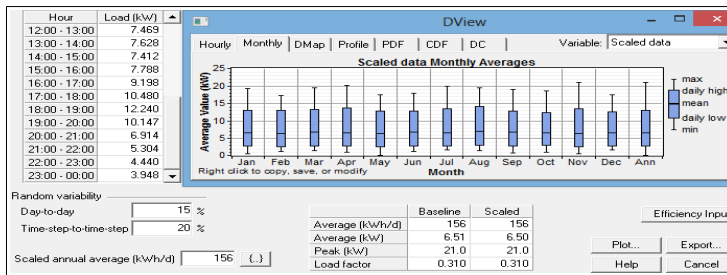


Figura 2. Demanda de carga para o vilarejo.

Tabela 1. Dados de entrada para montagem do sistema.

Componentes	Tamanho (kW)	Custo (US \$/kW)	Reposição (US \$/kW)	O&M (US \$/h)	Vida Útil (year)	Eficiência (%)	Batt./string
FV	53,2	71.484	71.484	0	20	-	-
Banco Bateria	96	107.161	107.161	0	4	-	1 (24 V bus)
Conversor	96(4x24)	13.519	13.519	0	15	85	-

### 2.1.1 Sistema: FV – Bateria

Nesse sistema o gerador fotovoltaico (FV) produz eletricidade CC em proporção direta com a irradiação solar global que incide sobre o vilarejo. Conforme informado anteriormente, o vilarejo fica a 36 m do nível do mar, 19° 56' 16" do Norte e 72° 49' 55" para Este. Os valores médios da radiação solar para cada mês são mostrados na Fig. 3. Março a Setembro é o intervalo que apresenta maiores intensidades de irradiação e destacam-se julho e dezembro como maior e menor radiação durante o ano.

O banco de bateria armazena energia de corrente contínua (CC). O sistema é controlado por um controlador de carga que é responsável pela proteção das baterias, controlando o processo de car-

ga e descarga delas, prolongando a sua vida útil e garantindo uma maior eficiência no armazenamento da energia produzida.

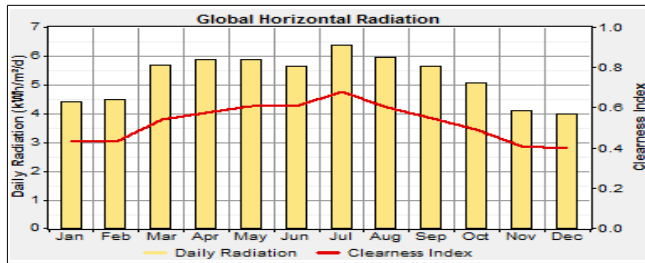


Figura 3. Média mensal de irradiação solar global diária no vilarejo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos resultados da simulação, a ferramenta HOMER sugeriu um sistema de 53,2 kW o equivalente a 380 painéis solares como o mais viável. Um conversor de tamanho 24 kW e um banco de bateria de tamanho 96 V como tensão do sistema e é equivalente a 296 baterias estacionárias Freedom DF 4001 (0,240kAh/0,220kAh). O custo de capital desse sistema deve atingir US \$ 125.877, também tem um custo operacional anual de US \$ 9.587 por ano, custo líquido atual (NPC) de US \$ 248.429 e um custo de energia (COE) de US \$ 0,341, conforme Tab. 2.

Tabela 2. Sistema FV ideal para o vilarejo.

PV (kW)	DF4001	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Batt. Lf (yr)
53.2	96	24	\$ 125,877	9,587	\$ 248,429	0,341	1,00	4,0
53.2	120	24	\$ 134,565	11,418	\$ 280,527	0,385	1,00	4,0
53.2	96	35	\$ 163,054	10,575	\$ 298,232	0,410	1,00	4,0
53.2	120	35	\$ 171,743	12,406	\$ 330,329	0,454	1,00	4,0

#### 3.1 Análise de Rendimento Energético

Como observado anteriormente, devido à forte irradiação luz solar na localidade, média de 5,26 kWh/m/dia, o sistema projetado seria capaz de atender às necessidades de energia do vilarejo com 100% de energia solar. A potência mensal do sistema, como apresentado na Fig. 4, mostra uma variação com cerca de 7 kW em dezembro e eleva um máximo de 11,5 kW em julho, que são os meses em que a radiação é, respectivamente, mínima e máxima.

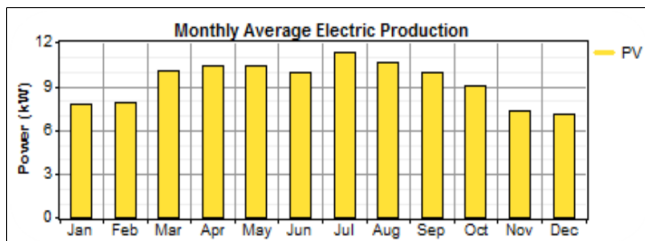


Figura 4. Média mensal da potência do sistema FV.

A Fig. 5 apresenta a saída, ou a quantidade de energia gerada pelos painéis, para cada hora do dia durante todo o ano na vilarejo. Nos períodos de 00:00 h até as 06:00 h e de 18:00 h às 00:00 h, o módulo não produz energia, mas das 06:00 h às 18:00 h gera grandes quantidades de energia, dependendo da hora e mês do ano. O mês com a menor geração é dezembro, a energia gerada pode ficar abaixo de 10,8 kW, dependendo do dia. De fato, julho é o mês com a maior produção, a

energia gerada é de 43,2 kW e pode chegar a 54,0 kW dependendo do dia e do horário. Durante os períodos em que não há geração ou pouca geração dos painéis, o banco de bateria carregada seria capaz de fornecer toda a energia que a comunidade precisa.

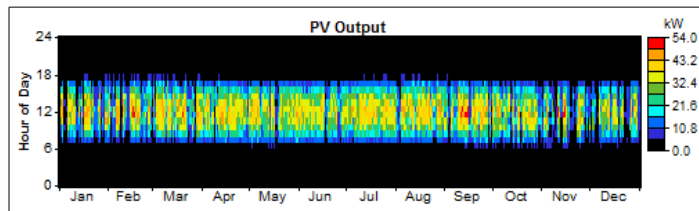


Figura 5. Produção mensal dos painéis solares para cada hora do dia.

### 3.2 Análise Econômica

As estimativas do custo total do sistema e o custo de seus componentes principais (FV, banco de bateria e conversor) são mostrados na Fig. 6. Os custos de capital inicial, reposição, operação e manutenção (O&M) e de salvamento são resumidos na Tabela 3. O que se pode observar é que a maior parte do custo presente líquido total entre os componentes se concentra no banco de bateria, isto porque o banco de bateria possui um custo de reposição a cada quatro anos durante o ciclo de vida do sistema. O custo menor é dos painéis fotovoltaicos já que não possuem custos de reposição, nem de manutenção durante a vida útil do projeto.

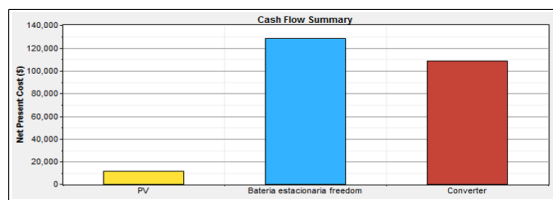


Figure 6. Resumo do fluxo de caixa para cada componente do sistema.

O custo de capital proposto pelo sistema é de US\$ 125.877, o custo de substituição é de US \$ 136.675, os custos de operação e manutenção (O&M) são nulos. Os componentes FV, banco de bateria e converter terão respectivamente os custos totais de: US \$ 11.379, US \$ 128.390 e US \$ 108.660 o que contabiliza para o sistema um custo presente líquido (NPC) de US \$ 248.429 (Tabela 3). Estes custos são mais baixos comparados aos custos de implementação de sistemas convencionais que dependem linhas de transmissão e distribuição, equipamentos, distâncias, entre outros.

Tabela 3. Os custos do sistema FV simulado.

Componentes	Capital (US \$)	Reposição (US \$)	O&M (US \$)	Total (US \$)
FV	10.008	3.120	0	11.379
Banco Bateria	34.755	99.708	0	128.390
Conversor	81.114	33.846	0	108.660
Sistema	125.877	136.675	0	248.429

## 4 CONCLUSÃO

Para atender às necessidades energéticas do vilarejo "*Paulin*", no noroeste do Haiti, este estudo foi realizado com um sistema 100% de energia solar. O projeto tem um custo presente líquido de US \$ 248,429, custo de manutenção praticamente inexistente e custo de reposição de US \$ 136,675 devido à troca do banco de baterias a cada quatro anos. O projeto ainda apresenta custos mais baixos em comparação aos sistemas convencionais que poderiam ser implementados na comunidade.

A metodologia do modelo apresentado pela ferramenta HOMER para a avaliação do potencial de energia solar na produção de energia fotovoltaica e os resultados encontrados neste trabalho podem ser aplicados a outras comunidades do arquipélago.

## 5 REFERENCES

- Bnef, 2015. "Global Trends in Clean Energy Investment". Bloomberg New Energy Finance (BNEF), Report Bloomberg EMEA summit, London, England.
- Silveira, E. F., Taygoara, F. O. and Antonio, C. P. B.J., 2015. "Hybrid energy scenarios for Fernando de Noronha archipelago". Energy Procedia 00 (2015).
- Epe, 2011. "Energy Analysis and Aggregated Data". Final Report – Brazilian Energy Balance (BEN), Brasilia, DF, Brazil.
- Epia, 2012. "European Photovoltaic Industry Association". Report Global Market Outlook for Photovoltaics Until, Belgium.
- Iea, 2018. "Photovoltaic Power Systems". Annual report 2018 – International Energy Agency (IEA), Fribourg, Switzerland. Disponível em: <https://www.iea.org/>
- Islam, A.K.M. S., Md.Mustafizur, R., Md.Alam, H.M. and Firoz, A., 2012. "Hybrid Energy System for St. Martin Island, Bengladesh: An Optimized model". Procedia Engineering 49.
- Ren21, 2019. "Renewables 2019 Global Status Report". A comprehensive annual overview of the state of renewable energy. Disponível em: <https://www.ren21.net/>
- Torres, R.C., 2012. "Energia Solar Fotovoltaica como Fonte Alternativa de Geração de Energia Elétrica em Edificações Residenciais". 163 f. thesis, Escola de Engenharia de São Carlos, SP, Brazil, pp. 27-28, 32-34, 2012.
- Unfpa, 2011. "Report on the State of World Population 2011". United Nations Fund Population (UNFPA), New York, USA.
- Villaça, A.L., 2011. "A Implantação de Mini-redes de Energia Solar em comunidades Isoladas do Amazonas". Thesis, Departamento de Engenharia, Lavras, MG, Brazil, pp. 10.
- Worldwatch, 2014. "Feuille de Route pour un Système Énergétique Durable em Haiti: Exploiter les Ressources Énergétiques Nationales pour mettre em Place un Système Électrique Fiable, Abordable et Adapté aux Changements Climatiques". Roadmap – Worldwatch Institute and Ministère des Travaux Publics, Transports, Énergie et Communications, Port-au-prince, Haiti.