

ESTUDO DE VIABILIDADE DE PLANTA HÍBRIDA EÓLICA-FOTOVOLTAICA PARA COMPENSAÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL

Allan Costa Gomes (UFC) E-mail: allancostagomes1995@gmail.com
Clodomir Comaru Neto (UFC) E-mail: ccnetofor@gmail.com
Dário Macedo Sobrinho (UFC) E-mail: dariomacedo.eel@gmail.com
Dayse Maria Benevides de Queiroz (UFC) E-mail: daysebenevides@hotmail.com
Ellefson Emmanuel Souza de Oliveira (UFC) E-mail: ellefson_oliveira@hotmail.com
Felipe Porto (UFC) E-mail: felipeportorc@hotmail.com
Kênio Monteles Uchôa (UFC) E-mail: keniouchoa@gmail.com
Natasha Esteves Batista (UFC) E-mail: estevesnatasha@hotmail.com
Shakil Bonnet Jossib Ribeiro (UFC) E-mail: shakilribeiro@gmail.com
Paulo Cesar Marques de Carvalho (UFC) E-mail: carvalho@dee.ufc.br

Resumo: A preocupação com a dependência de combustíveis fósseis e de seus impactos ambientais gera uma tendência de diversificação da matriz energética mundial por fontes renováveis que causem menor impacto ambiental. A presente pesquisa apresenta um estudo de viabilidade financeira da implantação de plantas híbridas eólica-fotovoltaica (PHEFV) para compensação de consumo de energia elétrica residencial para as condições encontradas na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), CE. A região avaliada possui média anual da velocidade do vento de 4,28 m/s e uma irradiação média anual de 5,53 kWh/m². A ferramenta computacional HOMER Pro é utilizada para determinar a melhor usina híbrida eólica-fotovoltaica para perfis de carga residencial, cujas demandas variam entre 3,3 kWh/d e 33,3 kWh/d. Dados coletados de irradiação e velocidade de vento são utilizados como recursos energéticos para os módulos fotovoltaicos e turbinas eólicas. Os dados e os custos desses equipamentos de geração foram obtidos junto a empresas brasileiras. Para demandas entre 6,6 kWh/d e 33,3 kWh/d, os resultados mostram que o modo ótimo de se suprir essas cargas é com a utilização de plantas compostas unicamente de módulos fotovoltaicos. O uso de turbinas eólicas para geração distribuída residencial não é lucrativo devido ao alto custo do investimento inicial.

Palavras-chave: Usina híbrida, geração distribuída, energia renovável, compensação de energia, HOMER Pro.

FEASIBILITY STUDY OF A WIND-PHOTOVOLTAIC HYBRID PLANT FOR RESIDENTIAL ELECTRICITY CONSUMPTION NET METERING

Abstract: The concern about fossil fuel dependency and its environmental impacts is leading to a worldwide energy matrix tendency of diversification using renewable sources with less environmental impacts. The present research presents a financial feasibility study of the implantation of hybrid wind-photovoltaic plants (PHEFV) to offset the consumption of residential electric energy for the conditions found in the Metropolitan Region of Fortaleza (RMF), CE. The area under study has average annual wind speed of 4,28 m/s and annual irradiation average of 5,33 kWh/m². The software HOMER Pro is used to determine the best hybrid wind-photovoltaic energy plant for a residential load profile, where demand ranges from 3.3 kWh/d to 33.3 kWh/d. Collected data of irradiation and wind speed are used as energetic resources to the photovoltaic modules and wind turbines. The data and costs of these generation components were obtained from Brazilian companies. For demands between 6.6 kWh/day and 33.3 kWh/day, the optimal way in terms of the net present cost to supply the load is with the use of photovoltaic plants. The use of wind turbines for residential distributed generation is not profitable due to high start-up cost.

Keywords: Hybrid power plant, distributed generation, renewable energy, net metering, HOMER Pro.

1. Introdução

A busca por fontes de energia renováveis com menores impactos ambientais na implantação e operação e que possam estar mais próximas dos consumidores é um grande desafio. Nesse contexto tem surgido a nível mundial a proposta do desenvolvimento de sistemas híbridos de energia renovável, compostos por geração eólica e solar fotovoltaica (FV). Analisando os trabalhos que abordam plantas híbridas eólica-fotovoltaica (PHEFV), foi verificado que no Brasil e no mundo já há um esforço em se mesclar essas duas fontes de energia.

No cenário nacional, deve-se considerar as regras estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em suas Resoluções Normativas nº 482/2012 e nº 687/2015 que estabelecem as condições gerais para o acesso de micro (potência instalada até 75 kW) e minigeração (potência instalada entre 75 kW e 5 MW) distribuída aos sistemas de distribuição e o sistema de compensação de energia elétrica. As referidas resoluções estabelecem as regras para injeção de energia elétrica na rede, possibilitando redução de custo na conta de energia. No âmbito da fazenda pública, o convênio ICMS 16/15 do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) autorizou a concessão de isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482/2012 - ANEEL.

Um sistema composto por uma planta FV de 10,2 kWp com módulos de 55 Wp e quatro aerogeradores de 10 kW cada, instalados na vila Joanes, Salvaterra, Pará, é analisado em Pinho (2008). Esse sistema entrou em funcionamento no ano de 1997. Uma aplicação composta por 162 módulos FV com 21 kWp em conjunto com 3 aerogeradores de 7,5 kW de potência nominal cada é apresentada em Ribeiro (2009). Em Conceição (2013) é apresentada uma proposta de um sistema híbrido destinado a unidades consumidoras residenciais, sendo composto por módulos FV com potência total de 530 Wp, 1 aerogerador de 750 W e um inversor monofásico de 1.200 W. Em Albiero (2017) é analisado um desenho conceitual de uma planta híbrida composta por 8 módulos FV de 250 Wp cada, 2 biodigestores tubulares de 6 m³ e um aerogerador de 1 kW no Ceará (CE); a planta é ligada a três inversores de frequência com potência de saída de 7,5 kW cada. Em Rockenbach (2018) é apresentada uma planta híbrida renovável composta por 160 módulos FV de 330 Wp cada, associados a um aerogerador de 2,4 kW. A proposta é que a planta híbrida seja instalada para atender uma unidade do setor de avicultura no Mato Grosso do Sul.

A nível internacional, uma planta híbrida composta por 12 módulos FV de 308 Wp cada, associados a 2 aerogeradores de 500 W cada é proposta em León (2014), para ser implantada em comunidades isoladas no México. Na Índia, em Pooja (2015) várias combinações são testadas; a que apresenta o melhor resultado é uma planta FV com potência de 2 kWp e 1 aerogerador de 5 kW. Esse sistema foi desenvolvido para ser instalado no vilarejo isolado de Sanodar, Bhavnagar. Além dos aspectos técnicos, análises financeiras são também necessárias para projetos de PHEFV. Em Barraco (2016) é verificado que o menor custo de geração de energia elétrica para uma taxa de financiamento de 6% ao ano é de uma planta composta por 9 MWp de geração FV associada a 18 aerogeradores de 1,65 MW cada.

Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo apresentar um estudo de viabilidade financeira da implantação de PHEFV para compensação de consumo de energia elétrica residencial; o estudo usa como estudo de caso as condições encontradas

na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), CE.

A RMF é composta por 19 municípios: Aquiraz, Caucaia, Cascavel, Chorozinho, Eusébio, Fortaleza, Guaiúba, Horizonte, Itaitinga, Maracanaú, Maranguape, Pacajus, Pacatuba, Paracuru, Paraipaba, Pindoretama, São Luís do Curu, São Gonçalo do Amarante e Trairi. Comparativo da RMF em relação ao CE é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparativo da RMF em relação ao CE (dados de 2015).

	Área (km ²)	População Residente Estimada	Produto Interno Bruto (PIB)
RMF	7.440	3.985.295	84.830.287
CE	148.826	8.904.459	130.620.788
Participação da RMF	5,00%	44,76%	61,30%

Fonte: IPECE (2017).

No que diz respeito ao consumo de eletricidade residencial, em 2015 o CE teve um consumo de 3,9 TWh, dos quais 61,46% foram na RMF (IPECE, 2016), o que indica o grande impacto do consumo da RMF em todo o estado. Isto evidencia a importância do presente estudo para a RMF, assim como para regiões com características semelhantes em que a micro e mini geração distribuída (GD) se fazem mais presentes. Segundo a FIEC (2019), o CE responde por cerca de 37,90 MW de GD: cerca de 7,77 MW são instalações em residências, consistindo basicamente de geração FV (99%) e eólica (1%). Desde valor, a RMF responde por 5,06 MW, indicando a predominância da GD residencial nesta região.

No presente artigo são apresentados inicialmente os dados utilizados para realizar o dimensionamento ótimo da GD: o perfil de carga utilizado e os recursos solar e eólico para RMF. Em seguida, os dados técnicos e financeiros dos componentes das PHEFV, obtidos através de pesquisa no mercado brasileiro, são apresentados. Os resultados obtidos através da ferramenta de projeto de sistemas otimizados HOMER Pro são apresentados. Por fim, com base nesses resultados, são apresentadas discussões e conclusões quanto à viabilidade financeira da implantação de PHEFV na RMF.

2. Dimensionamento da PHEFV

A geração FV e eólica foram as opções utilizadas para a GD em cargas residenciais de faixas de consumo distintas. Para dimensionar a PHEFV foi utilizado o HOMER Pro, um software de projeto ótimo de redes elétricas (HOMER ENERGY, 2019a). O HOMER Pro fornece uma plataforma que permite, através da inserção do perfil de carga (PCG), dos recursos energéticos, das plantas de GD e da rede de distribuição determinar qual a configuração da rede que minimiza o valor presente líquido (VPL) da geração ótima. A determinação desta geração ótima é feita por meio de um algoritmo de busca em redes modificado (HOMER ENERGY, 2019b).

A rede híbrida modelada no presente artigo é apresentada na Figura 1, que apresenta uma carga elétrica residencial ligada à rede de distribuição e aos aerogeradores. A interface entre a planta FV e a carga elétrica é feita pelo inversor.

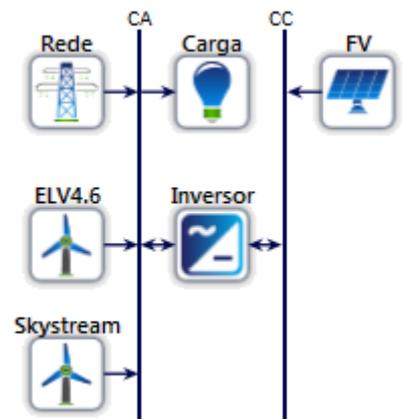


Figura 1 – Modelo da rede híbrida a ser dimensionada. Fonte: Adaptado do HOMER Pro.

Foi assumido um PCG hipotético representativo para consumidores residenciais do CE, apresentado na Figura 2, que mostra a porcentagem da demanda de pico por horário; a demanda de pico ocorre para o horário de 19:00 horas.

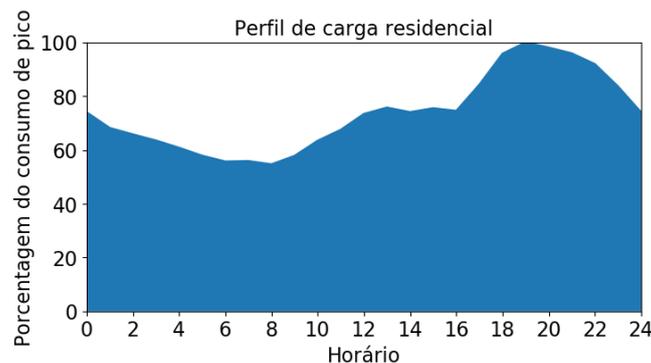


Figura 2 – PCG hipotético residencial da RMF utilizado no dimensionamento da PHEFV.

Diferentes valores de consumo para este PCG são variados entre 3,3 kWh/d e 33,3 kWh/d com passo de 3,3 kWh/d para verificar a viabilidade financeira da PHEFV para dez diferentes faixas de consumo. Essa metodologia foi adotada com base em Gomes (2018) e visa verificar como a planta dimensionada é alterada em função da variação dos níveis de consumo residencial.

2.1. Recurso solar e eólico

A inserção dos dados dos recursos solar e eólico relacionado a GD no HOMER Pro é necessária para o dimensionamento da geração ótima. Para o presente estudo, os dados de irradiância solar foram coletados através de um piranômetro LP-02 (HUKSEFLUX, 2019), localizado no Laboratório de Energias Alternativas (LEA-UFC), em Fortaleza, Brasil, Latitude: -3°44'14.9"S/ Longitude: -38°34'22.0"O, na RMF. As medições foram realizadas a cada dez minutos entre os horários de 05:00 e 18:00 horas, durante o ano de 2018. A Figura 3 mostra a irradiância média por mês e por horário. A menor irradiância no primeiro semestre é função da estação chuvosa característica da RMF.

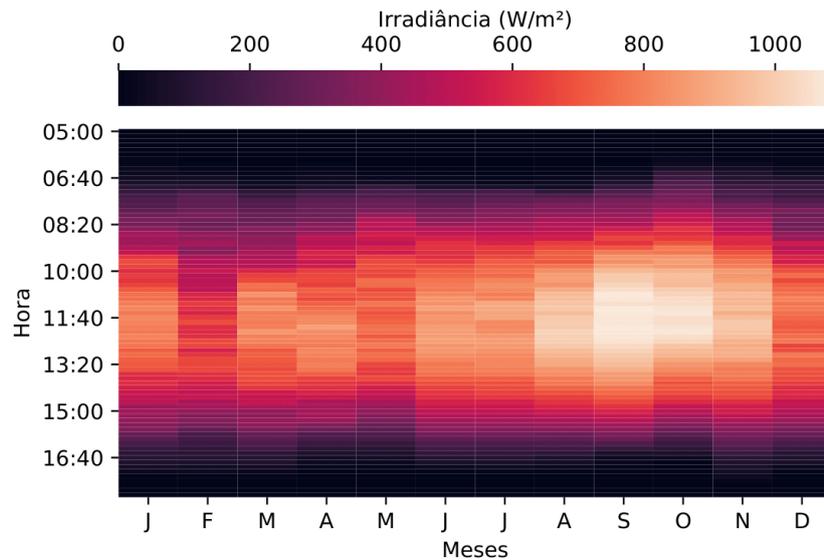


Figura 3 – Perfil médio de irradiância por horário e mês para 2018 da RMF.

Baseado nestes dados de irradiância, determinou-se o perfil médio de irradiação mensal utilizado como fonte de dados do HOMER Pro. A Figura 4 apresenta os dados referentes à irradiação média mensal, no qual se obteve uma irradiação média de 5,53 kWh/m² para a RMF em 2018.

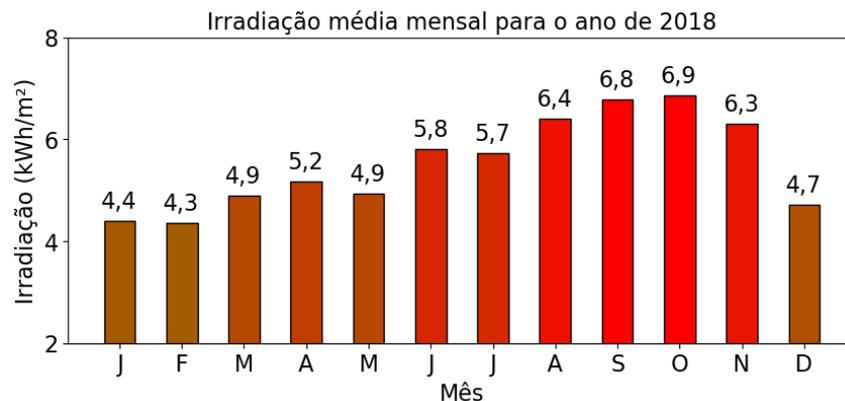


Figura 4 – Irradiação mensal para 2018 da RMF.

Os dados de velocidade do vento foram coletados por meio de estação anemométrica instalada em torre de coleta de dados financiada pelo projeto do CNPq “Previsão de potencial eólico visando operação integrada ótima de unidades geradoras de eletricidade: estudo de caso para o Nordeste do Brasil”, localizada na RMF (LAT: 3°50,7’S, LON: 38°38,3’W). O conjunto de medições para coleta de dados de velocidade do vento é constituído de três anemômetros, do modelo NRG 40c, instalados, a 78 m, 50 m e 20 m de altura e equipamento NRG 500P para medição de direção do vento, instalado a 78 m (CARNEIRO, 2014). A estação ainda dispõe de um sistema de aquisição NRG Symphonie-plus que foi programado para realizar registros num intervalo de integração de 10 minutos. Os dados coletados compreendem o período de fevereiro de 2012 a janeiro de 2013 (CARNEIRO, 2016).

No dimensionamento da PHEFV referente ao recurso eólico, utilizou-se as médias mensais dos dados de velocidade do vento referentes à altura de 20 m, apresentados na Figura 5. Os meses que apresentam maiores médias de velocidade do vento estão no

segundo semestre, como ocorre com a irradiação solar, devido à baixa cobertura de nuvens. A média anual da velocidade do vento para o período é de 0,82 m/s.

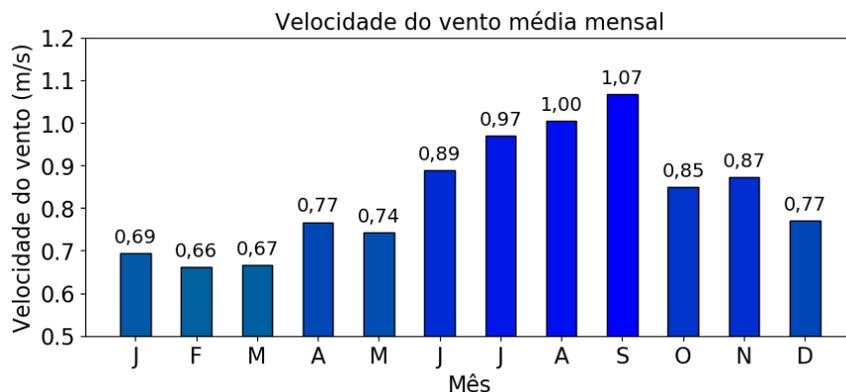


Figura 5 – Velocidade média do vento (m/s) medida para 20 metros entre 02/2012 e 01/2013.

2.2. Componentes da GD

No HOMER Pro os componentes são os elementos conectados que geram e distribuem energia elétrica à carga elétrica, incluindo as plantas de GD e a rede elétrica de distribuição. Os custos adotados das plantas FV foram baseados em pesquisa de mercado nacional feita no segundo trimestre de 2019 (GREENER, 2019), mostrados na Figura 6. Esses custos incluem os custos de aquisição dos módulos, inversores, acessórios e dos serviços de integração, que incluem os serviços de projeto e instalação.

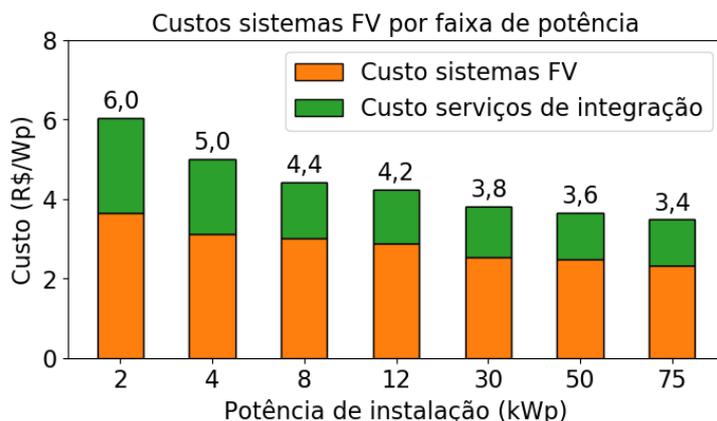


Figura 6 – Custo das plantas FV por faixa de potência de instalação. (GREENER, 2019).

Foram utilizados parâmetros de módulos FV policristalinos, visto a maior utilização deste tipo de tecnologia presente em 69% do mercado nacional de módulos FV (GREENER, 2019). Os módulos JKM330PP-72, TSM-330PD14 e CS6U-330P foram adotados neste estudo, todos de 330 Wp, com especificações apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Especificações dos módulos FV utilizados.

Módulo FV	Eficiência (%)	Coefficiente de temperatura (%/°C)	Temperatura nominal de operação (°C)
JKM330PP-72	17,01	-0,40	45
TSM-330PD14	17,00	-0,41	44
CS6U-330P	16,97	-0,40	44

Fonte: (JINKO SOLAR, 2019; TRINASOLAR, 2019; CANADIANSOLAR, 2019).

O fator de redução de desempenho (*derating factor*) adotado para os módulos FV foi de 80% e vida útil de 25 anos. Esse fator de redução de desempenho indica que, durante a vida útil dos módulos, o potencial de geração reduz de forma linear até o final da vida útil, momento no qual o potencial de geração será de 80% da capacidade inicial. Baseado nessas especificações cria-se o modelo do módulo FV no software.

Os custos de aquisição dos aerogeradores, incluindo torre e acessórios são baseados em consulta de preços feita junto a distribuidoras nacionais. Admitiu-se os custos dos serviços de integração para os aerogeradores como sendo proporcional ao custo deste mesmo tipo de serviço para as plantas FV de potência nominal similar. Os aerogeradores Skystream e ELV-H4.6 utilizados neste estudo são apresentados na Tabela 3. As curvas de potência foram obtidas juntas aos fornecedores. Baseado nos dados de custos e nas curvas de potência, os modelos dos aerogeradores foram inseridos no software.

Tabela 3 – Custos e parâmetros dos aerogeradores.

Aerogerador	Skystream	ELV.H4-6
Custo (R\$)	67.000,00	92.350,00
Potência nominal (kW)	2,4	3,0
Altura torre (m)	13,56	12,00
Custo integração (R\$)	25.530,00	35.680,00
Custo total (R\$)	92.530,00	128.030,00
Custo por Watt (R\$/W)	29,10	30,78

Fonte: (ENERGIA PURA, 2019; ELETROVENTO, 2019).

Em relação ao modelo da rede de distribuição, o estudo considera a GD no sistema de compensação brasileiro. De acordo com as resoluções 482/2012 e 687/2015, a energia elétrica gerada não é vendida, sendo convertida em créditos de energia que podem ser utilizados pelo consumidor nos horários em que a geração não supre todo o consumo. O HOMER Pro permite a modelagem desse tipo de sistema de compensação através da configuração do preço da tarifa. A tarifa praticada pela distribuidora do CE para o mês de novembro de 2019 é de 0,73 R\$/kWh, obtida em Enel (2019), na bandeira tarifária verde para o consumo e zero para a venda da energia produzida.

Outro aspecto importante da preparação da compilação dos dados é a determinação de parâmetros de ordem financeira. O tempo de vida do projeto foi adotado em 20 anos com uma taxa de juros de 8% ao ano. Admitiu-se uma inflação de 5,85% ao ano, baseado na inflação média brasileira dos últimos 10 anos (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2019).

3. Resultados

Uma vez inseridos os dados no HOMER Pro das especificações descritas anteriormente, é desempenhada a etapa de otimização pelo software para dimensionar a PHEFV que financeiramente atenda da melhor forma a carga elétrica. Os resultados estão resumidos na Tabela 4, em que as melhores plantas determinadas por faixa de consumo são apresentadas pela potência da planta FV e a quantidade de aerogeradores ELV-4.6 e Skystream. Também são apresentadas métricas de Diferença de Valor Presente Líquido (DVPL), calculado entre a melhor planta em relação ao caso base em que somente a rede fornece eletricidade; o Custo da Energia (CDE), que representa o custo médio da energia determinado com base na relação dos custos da compra da energia junto a concessionária mais o investimento feito na planta de GD com o total de energia consumida pela carga; o Capital Inicial (CI), que representa o investimento na planta de

GD; e a Fração de Energia Renovável (FR), que representa a quantidade da energia consumida pela carga que é proveniente do sistema de geração dimensionado das melhores plantas.

Tabela 4 – Resultados da simulação com a especificação dos melhores sistemas.

Faixa de consumo (kWh/d)	FV (kW)	ELV.H4-6 (un.)	Skystream (un.)	DVPL (R\$)	CDE (R\$/kWh)	CI (R\$)	FR (%)
3,33	0	0	0	0	0,729	0	0
6,66	0,74	0	0	2.314,00	0,671	7.105,00	32,5
10,00	1,12	0	0	5.647,00	0,635	8.578,00	32,4
13,33	1,51	0	0	8.885,00	0,618	10.121,00	32,5
16,66	1,86	0	0	12.121,00	0,608	11.523,00	32,4
20,00	2,23	0	0	15.101,00	0,601	12.996,00	32,4
23,33	2,66	0	0	18.692,00	0,596	14.679,00	32,6
26,66	3,01	0	0	21.930,00	0,592	16.081,00	32,5
30,00	3,54	0	0	25.241,00	0,589	18.185,00	32,9
33,33	3,72	0	0	28.499,00	0,587	18.886,00	32,4

Observa-se que para nenhuma das faixas de consumo os aerogeradores se mostram como opções viáveis do ponto de vista financeiro. Para as faixas de menor consumo diário (3,33 kWh/d), nem mesmo a opção de módulos FV se mostra viável financeiramente; em função disto, o VPL para este caso é zero, uma vez que se mantém no caso base, somente com a rede de distribuição fornecendo eletricidade. Identifica-se um padrão de aumento da potência instalada de módulos FV de acordo com o aumento das faixas de consumo; isto é acompanhado pelo aumento no VPL, que indica que quanto maior o consumo, maior é o retorno gerado pelo investimento em GD. Isso se evidencia quando se compara a relação de proporção direta entre DVPL e CI: observa-se que para a faixa de 6,66 kWh/d, para cada 1,00 R\$ investido, gera-se um retorno de 0,32 R\$. O valor desse retorno aumenta gradualmente com as faixas de consumo, até que para a faixa de 33,33 kWh/d esse retorno é de 1,51 R\$.

Quanto ao CDE, observa-se que para a faixa de 3,33 kWh/d, o CDE é igual à tarifa da concessionária, uma vez que a solução determinada não recomenda instalação de GD. Para as outras FDC, em que há a presença de GD, o CDE apresenta uma redução gradual com o aumento da faixa. Isso ocorre porque há um aumento na geração FV, uma vez que a capacidade instalada é maior para a faixa de consumo mais elevada.

Em relação à FR, para todas as faixas de consumo esse valor se mantém entre 32,4% e 32,9%. Esse valor pode ser associado ao tempo que as plantas FV ficam expostas ao Sol, geralmente entre 7:00 e 17:00 horas (Figura 3), período no qual a energia consumida representa aproximadamente esse valor do total durante o dia (Figura 2). Isso indica que as plantas FV geram somente o que está sendo consumido, sem nenhum excesso. Isso é de se esperar, uma vez que o sistema de compensação brasileiro não permite a venda do excesso produzido e que o HOMER Pro não modela o sistema de geração de créditos para consumo próprio posterior à geração. Na Figura 7 são apresentados a Taxa Interna de Retorno (TIR), Retorno de Investimento (RDI) e *payback*.

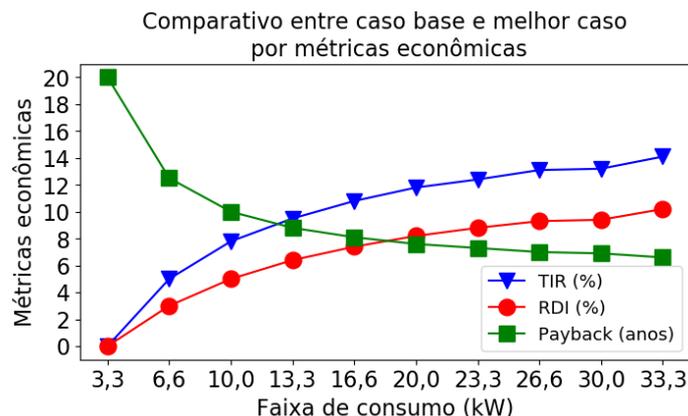


Figura 7 – TIR, RDI e *payback* para os melhores casos de GD dimensionado por faixas de consumo.

Essas métricas confirmam o que foi observado anteriormente em relação ao DVPL: quanto maior a faixa de consumo do cliente, maior o benefício financeiro gerado pela instalação das plantas FV. Para as faixas acima de 16,6 kWh/d, por exemplo, é encontrado um *payback* menor do que 8 anos para que essas plantas se paguem. Um ponto negativo a se destacar é que para as faixas de consumo de menor valor, geralmente caracterizadas por consumidores de menor renda e/ou que moram sozinhos, os benefícios financeiros de podem demorar muito tempo ou não gerar retorno.

Como observado, para todas as faixas de consumo, exceto uma, as plantas de GD consistem basicamente de plantas FV. Para investigar porque os aerogeradores não se mostram como opções financeiras viáveis, na Figura 8 é apresentado o DVPL para a melhor solução de cada PHEFV possível: somente a planta FV, somente o aerogerador Skystream, somente o aerogerador ELV.H4-6 e combinações desses componentes.

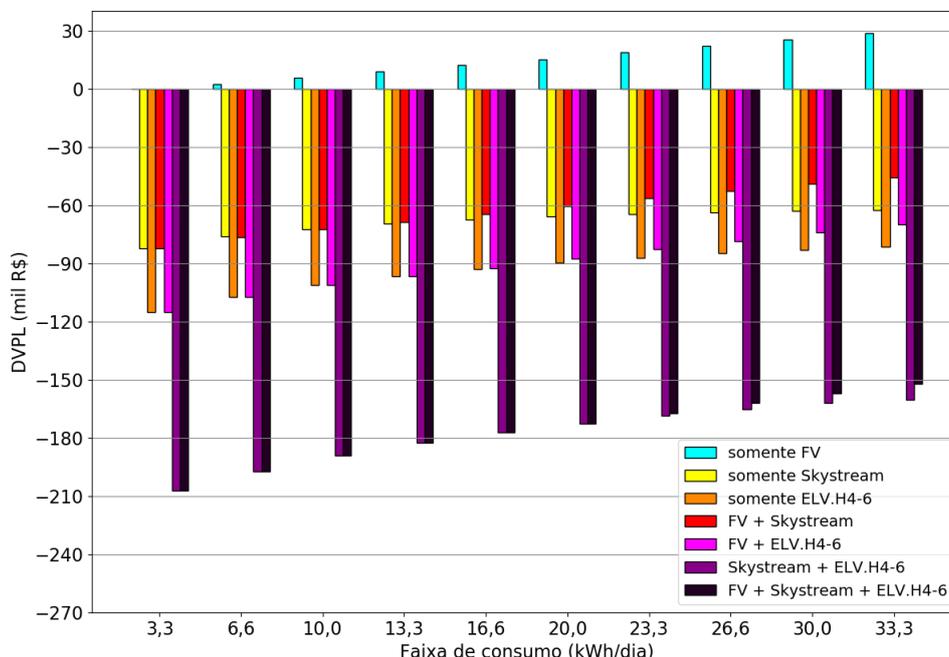


Figura 8 – Comparação entre os DVPL das combinações das PHEFV.

Não só as plantas com aerogeradores não chegam a ser ótimas globalmente para cada faixa, como ainda apresentam prejuízo financeiro em relação ao caso em que o consumidor se mantém conectado somente à concessionária. Isso se justifica

principalmente pelo fato de esses aerogeradores apresentarem no Brasil um alto custo de investimento inicial. Outro ponto que prejudica o uso de aerogeradores é o fato de que, mesmo que consigam gerar durante todo o dia, o recurso eólico no local analisado e na altura de operação (abaixo de 20 metros) é limitado.

4. Conclusão

O presente artigo apresenta um estudo de viabilidade financeira da implantação de PHEFV para compensação de consumo de energia elétrica residencial, tendo como estudo de caso as condições encontradas na RMF, CE. Através de dados coletados dos recursos eólico e solar, dos custos de implantação de plantas FV e de aerogeradores utilizou-se o HOMER Pro para determinar a configuração ótima de GD sobre o aspecto financeiro para consumidores com diferentes níveis de consumo de eletricidade. Os resultados demonstram que para todas as faixas de consumo, exceto a que apresenta o nível mais baixo, a instalação de GD baseada em plantas FV se mostra como uma opção financeiramente melhor do que o fornecimento somente pela concessionária. O benefício de se utilizar plantas FV para os consumidores nas faixas acima de 6,66 kWh/d aumenta gradualmente com o nível de consumo, uma vez que o investimento pode se pagar em até 8 anos e ainda gerar retorno de até 1,52 R\$ por real investido. Para os consumidores com menor nível de consumo, as margens de retorno e de *payback* se mostram pequenas. Vale lembrar que, quando se adicionam à análise questões como confiabilidade e temas de ordem regulatória e política, é natural agir de forma conservadora no que diz respeito à GD.

Em relação à utilização de aerogeradores, o alto custo inicial associado ao baixo recurso eólico local para a altura em que esses equipamentos são utilizados na micro e mini GD tornam o investimento não rentável. Uma conclusão natural é que esses aerogeradores precisam de redução de custos para que sua utilização na GD seja viável.

Referências

ALBIEIRO, D.; PRACIANO, A.; VOGT, H.; MONTEIRO, L. & FEITOSA, E. *Sistema Híbrido Renovável de Geração de Energia Elétrica para o Semiárido*. Conexões - Ciência e Tecnologia, vol. 11, no. 1, 2017. doi: 10.21439/conexoes.v11i1.1067.

PINHO, J.T. *Sistemas Híbridos – Soluções Energéticas para a Amazônia*. Brasília, Ministério de Minas e Energia, 2008.

RIBEIRO, L.A.D.S.; SAAVEDRA, O.R.; MATOS, J.G.D.; BONAN, G. & MARTINS, A.S. *Small renewable hybrid systems for stand alone applications*. 2009 IEEE Power Electronics and Machines in Wind Applications, 2009. doi: 10.1109/PEMWA.2009.5208388.

KAUR, D.T. *Optimal sizing of solar photovoltaic–Wind hybrid system*. International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering, pp. 99–103, 2015. doi: 10.17148/IJIREICE.2015.3121.

LEÓN, A.L. & ECHARURI, M.P.P. *Sistema híbrido autónomo para autoabastecimiento energético de vivienda em enseada B.C.* 2014.

MELLO, T.A.; ROCKENBACH, G.C.D. & SILVA, L.L. *Proposta de geração híbrida eólico/solar on-grid no setor de avicultura na região de Dourados-MS*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

CONCEIÇÃO, L.F. *Microgeração de energia elétrica através de sistema híbrido eólico / solar para uso residencial*. Monografia, Universidade Federal de Lavras, 2013.

BARACCO, R.P.; LOURENÇO, S.; LEVENHAGEN, R.S. & CASSIANO, D.A. *Análise técnica e financeira de usina híbrida eólica fotovoltaica*. Ciência & Engenharia, vol. 24, no. 2, pp. 111-118, 2016. doi: 10.14393/19834071.2015.31977.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). *Ceará em*

- números - 2017. 2017. [Online]. Disponível em: http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2017/index.htm. [Acesso: 8- Out- 2020].
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE).** *Ceará em números* - 2016. 2016. [Online]. Disponível em: http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2016/index.htm. [Acesso: 8- Out- 2020].
- FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO CEARÁ (FIEC).** *Dashboards*. 2019. [Online]. Disponível em: <https://www1.sfipec.org.br/observatorio-da-industria/informacoes-estrategicas/dashboard/1030/energia>. [Acesso: 15- Nov- 2019].
- HOMER ENERGY.** 2019a. [Online]. Disponível em: <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>. [Acesso: 20- Nov- 2019]
- HOMER ENERGY.** *HOMER Optimizer™, a Faster Path to Finding Least-Cost Microgrid Options*. 2019b. [Online]. Disponível em: <https://microgridnews.com/homer-optimizer-a-faster-path-to-finding-least-cost-microgrid-options/>. [Acesso: 20- Nov- 2019]
- GOMES, P.V.; NETO, N.K.; CARVALHO, L.; SUMAILI, J.; SARAIVA, J.; DIAS, B.; MIRANDA, V. & SOUZA, S.** *Technical-economic analysis for the integration of PV systems in Brazil considering policy and regulatory issues*. *Energy Policy*, vol. 115, pp. 199–206, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.014>
- HUKSEFLUX.** *LP02 Second class pyranometer*. 2019. [Online]. Disponível em: <https://www.hukseflux.com/products/solar-radiation-sensors/pyranometers/lp02-pyranometer>. [Acesso: 20- Nov- 2019].
- CARNEIRO, T.C.; SANTOS, H.A., A.P.S. BRAGA. & CARVALHO, P.C.M.** *Redes Neurais Artificiais para Previsão de Velocidade do Vento: Estudo de Caso para Maracanaú – CE*. XX Congresso Brasileiro de Automática (CBA), Belo Horizonte, Brasil, 2014.
- CARNEIRO, T.C.; MELO, S.P.; CARVALHO, P.C. & BRAGA, A.P.S.** *Particle Swarm Optimization method for estimation of Weibull parameters: A case study for the Brazilian northeast region*. *Renewable Energy*, vol. 86, pp. 751–759, 2016. doi: 10.1016/j.renene.2015.08.060.
- GREENER.** *Strategy market study: distributed generation - 2Q 2019*. 2019. [Online]. Disponível em: <https://www.greener.com.br/pesquisas-de-mercado-energia-solar-fotovoltaica-brasil/>. [Acesso: 20- Nov- 2019].
- JINKO SOLAR.** *EAGLE 72P 320-340 WATT POLY CRYSTALLINE MODULE*. 2019. [Online]. Disponível em: <https://www.jinkosolar.com/ftp/Eagle%20JKM320-340PP-72-A2-EN.pdf>. [Acesso: 20- Nov- 2019].
- TRINASOLAR.** *TALLMAX MODULE TSM-PD14*. 2019. [Online]. Disponível em: https://static.trinasolar.com/sites/default/files/EN_TSM_PD14_datasheet_B_2017_web.pdf. [Acesso: 20- Nov- 2019].
- CANADIANSOLAR,** *MAXPOWER CS6U-325/330/335P*. 2019. [Online]. Disponível em: https://www.canadiansolar.com/upload/db6510218c769393/7434ad71443_f89b8.pdf. [Acesso: 20- Nov- 2019].
- ENERGIA PURA.** *AEROGERADOR SKYSTREAM LAND*. 2019. [Online]. Disponível em: https://www.energiapura.com/portofolio_posts/aerogerador-skystream-land/. [Acesso: 20- Nov- 2019].
- ELETROVENTO.** *Modelo ELV-H4.6 - 3 kW*. 2019. [Online]. Disponível em: <http://www.eletrovento.com.br/produto/modelo-elv-h4-6-3-kw/9/>. [Acesso: 20- Nov- 2019].
- ENEL.** *Tarifas*. 2019. [Online]. Disponível em: https://www.enel.com.br/pt-ceara/Tarifas/_Enel.html. [Acesso: 20- Nov- 2019].
- BANCO CENTRAL DO BRASIL.** *Histórico das metas para a inflação*. [Online]. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicometas>. [Acesso: 20- Nov- 2019].