

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE DE DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DO SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM UNIDADES PROSSUMIDORAS

Letícia Toreti Scarabelot – leticia.scarabelot@posgrad.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Giuliano Arns Rampinelli – giuliano.rampinelli@ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade

Resumo. *O sistema de compensação de energia elétrica garante a operacionalidade dos sistemas fotovoltaicos de geração distribuída em unidades prossumidoras. O conceito de micro e minigeração distribuída é recente no Brasil, sendo que a primeira Resolução Normativa é datada do ano de 2012, gerando com isso, uma falta de conhecimento, por parte da sociedade e até mesmo da academia, sobre o funcionamento do sistema de compensação deste modelo de geração de energia. Este artigo apresenta o desenvolvimento do software PVGrid. Este é uma ferramenta computacional de dimensionamento e análise do sistema de compensação de energia elétrica de geração distribuída. O usuário deve inserir dados de localização, tipo de conexão e demanda mensal de energia elétrica. O software foi desenvolvido na linguagem JavaScript, e os códigos desenvolvidos são escritos em TypeScript, um superconjunto da linguagem JavaScript, e posteriormente transcompilados para JavaScript nativo e, foi projetado para possuir dois módulos, front e back-end. O relatório resultante da simulação do software PVGrid fornece a potência necessária para o sistema fotovoltaico do usuário, a produtividade do sistema, a área estimada da ocupação do sistema, um comparativo da energia gerada pelo sistema fotovoltaico e a energia consumida, a irradiação solar global inclinada em média diária para a localidade escolhida pelo usuário. Além disso, o software apresenta o quilowatt hora (kWh) faturado e o crédito acumulado mensalmente, em kWh.*

Palavras-chave: *Geração Distribuída, Sistemas Fotovoltaicos, Unidades Prossumidoras, Software de Simulação.*

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, no âmbito da relação entre ciência, tecnologia e sociedade há diversas temáticas de interesse globalizado. Desenvolvimento sustentável, meio ambiente, energias renováveis e mudanças climáticas são algumas agendas desafiadoras da sociedade do século XXI. A ciência e tecnologia podem e devem ser agentes transformadores e revolucionários da sociedade garantindo desenvolvimento econômico sustentável, conforto e bem-estar social. Em dezembro de 2015, o Acordo de Paris foi adotado pela convenção das Nações Unidas para Mudanças do Clima estabelecendo um novo acordo global para mitigar as mudanças climáticas. O principal objetivo do Acordo de Paris é limitar o aquecimento do planeta o que implica em emissões líquidas de gases de efeito estufa iguais a zero em algum momento do futuro (Nhamo e Nhamo, 2016).

Para tornar a matriz de energia elétrica mais segura, robusta e renovável é necessário diversificar a mesma a partir da inserção contínua e gradual de diferentes fontes de energias renováveis (Cantner et al., 2016). Os sistemas fotovoltaicos de geração distribuída apresentam maturidade tecnológica e confiabilidade de desempenho, fatores que permitem a inserção gradual e segura na matriz elétrica. Atualmente no Brasil, a geração distribuída com sistemas fotovoltaicos tem viabilidade econômica, principalmente para unidades consumidoras residenciais e segurança jurídica, uma vez que há normativas específicas regulamentando o setor (Breyer e Gerlach, 2013). O cenário é promissor e a participação da geração distribuída, em especial com sistemas fotovoltaicos, irá crescer significativamente nos próximos anos (ANEEL, 2017). Os sistemas fotovoltaicos se apresentam como uma alternativa renovável para diversificar e descarbonizar a matriz elétrica (De Queiroz et al., 2016).

No Brasil, a geração distribuída foi regulamentada a partir da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, sendo aprimorada e atualizada pela Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015 (ANEEL, 2015). Atualmente, há cerca de 16 mil sistemas de geração distribuída no país, sendo que 99 % das instalações são de sistemas fotovoltaicos e, aproximadamente, 80 % estão em unidades consumidoras residenciais (ABGD, 2017; ANEEL, 2017).

O sistema de compensação de energia elétrica, conhecido internacionalmente como *net metering*, permite que unidades consumidoras se tornem também unidades geradoras de energia elétrica (Eid et al., 2014). As unidades prossumidoras (unidades consumidoras com sistema de geração distribuída) apresentam, normalmente, sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica. A energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico é consumida instantaneamente, sendo que um possível excesso de energia elétrica é injetado na rede elétrica da concessionária, contabilizando créditos de energia para a unidade prossumidora. Para períodos em que o consumo de energia elétrica na unidade é maior que a geração de energia elétrica, a unidade prossumidora pode compensar os créditos de energia elétrica

e utilizar a energia elétrica da rede. Ao final do período de faturamento, a concessionária de energia elétrica realiza o balanço entre a energia elétrica injetada e a energia elétrica consumida da rede elétrica para chegar ao valor da fatura elétrica (Darghouth et al., 2011; Yamamoto, 2012). Este modelo pode ser considerado uma eficiente política para a inserção da tecnologia solar fotovoltaica ainda em desenvolvimento em um país (Lacchini e Rütther, 2015).

Nesse cenário, destaca-se a geração distribuída a partir de sistemas fotovoltaicos, por ser uma fonte de energia que não libera poluentes durante sua geração, por sua fácil integração arquitetônica e sua competitividade econômica (Zomer et al., 2014). Em um estudo recente, o Greenpeace apresentou diferentes cenários de projeção para a inserção de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída no Brasil para período entre 2015 e 2030.

Em um cenário moderado, estima-se que o número de unidades consumidoras solarizadas e a potência instalada seriam de aproximadamente 1,2 milhões e 7,3 GW, respectivamente. Ainda no cenário moderado, estima-se que o valor agregado à economia, os tributos recolhidos e a geração de empregos seriam de aproximadamente 81,5 bilhões de reais, 1,6 bilhões de reais e 690 mil empregos, respectivamente. Em um cenário otimista, considerando alguns incentivos de financiamento e isenção de impostos, estima-se que o número de unidades consumidoras solarizadas e a potência instalada seriam de aproximadamente 8,8 milhões e 41,4 GW, respectivamente. Ainda no cenário otimista, estima-se que o valor agregado à economia, os tributos recolhidos e a geração de empregos seriam de aproximadamente 560 bilhões de reais, 11,3 bilhões de reais e 4 milhões de empregos, respectivamente (Greenpeace, 2016).

Os cenários são projeções, mas que evidenciam o potencial da geração distribuída com sistemas fotovoltaicos. Em 2015, o tempo médio de retorno do investimento de sistemas fotovoltaicos foi de 9,7 anos e estima-se que em 2024, este tempo será da ordem de 6,8 anos. Os sistemas fotovoltaicos apresentam atrativos socioambientais e econômicos, sendo definitivamente uma alternativa ao sistema elétrico brasileiro.

No entanto, há um desconhecimento da sociedade em geral sobre o funcionamento do sistema de compensação de energia elétrica e o potencial e viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos. O software *PVGrid* é uma ferramenta computacional desenvolvida para contribuir na difusão de conhecimento sobre os sistemas fotovoltaicos de geração distribuída. A interface do software é amigável e a partir de dados de entrada de fácil acesso do usuário, apresenta relatórios de saída fácil entendimento. O software *PVGrid* foi desenvolvido pelo Núcleo Tecnológico de Energia Elétrica (NTEEL) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, a geração distribuída é caracterizada pela instalação e operação de geradores de pequeno porte, normalmente a partir de fontes renováveis ou mesmo de combustíveis fósseis, localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica. No Brasil, a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, publicou em 2012 a nota técnica intitulada “Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira”, contemplando as principais aplicações da energia solar para geração de eletricidade no Brasil, dando especial enfoque aos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (EPE, 2012). Os estudos mostraram que a inserção fotovoltaica estaria mais próxima de se realizar via geração distribuída. Concomitantemente, em 2012, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 482 (ANEEL, 2012), e posteriormente a Resolução Normativa nº 687, estabelecendo as condições gerais para micro e minigeração distribuída no país (ANEEL, 2015).

Uma importante inovação trazida por estas resoluções é o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, que permite que a energia excedente gerada pela unidade consumidora com micro ou minigeração seja injetada na rede elétrica de distribuição, armazenando esse excedente de energia. Quando a energia gerada pela unidade consumidora for maior que a energia consumida por essa unidade ao longo de um mês, o consumidor receberá um crédito em energia (kWh), válido por 60 meses. A unidade prossumidora também pode utilizar os créditos de energia em outras unidades consumidoras. Essa compensação de crédito em outra unidade consumidora só é permitida se ambas as unidades estiverem na mesma área de concessão e serem caracterizada como autoconsumo remoto (ANEEL, 2015).

A geração compartilhada é caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada. Por fim, o empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, como condomínios, é caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, cada unidade consumidora é constituída por uma fração com uso individualizado e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do proprietário do empreendimento, da administração ou do próprio condomínio, com micro ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e a de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento (ANEEL, 2015).

O cenário atual além de promissor, é desafiante para a geração distribuída com sistemas fotovoltaicos, uma vez que o gerenciamento da rede elétrica também exigirá a implementação de novas ferramentas. A sinergia entre governo, indústria, academia e sociedade é essencial para garantir uma inserção gradual e segura dos sistemas fotovoltaicos na matriz elétrica brasileira. Projeções para um horizonte 2017-2024, estimam em aproximadamente 890 mil unidades prossumidoras nos setores residencial e comercial, sendo aproximadamente 90 % em unidades prossumidoras residenciais (Fig. 1). A estimativa de potência nominal de sistemas geração distribuída em 2024 é de aproximadamente 3,2 MW_p. Em

um estudo anterior, para um horizonte 2015-2024, a estimativa era de aproximadamente 1,2 milhões de unidades prosumidoras e 4,5 MW_p de potência instalada (ANEEL, 2017). Os números citados são previsões e estimativas baseadas em premissas e distintos cenários micro e macroeconômicos, mas que evidenciam o potencial da inserção de geração distribuída na matriz elétrica e, conseqüentemente, a geração de emprego e renda. Atualmente, no Brasil, a potência instalada de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída é da ordem de 135 MW_p.

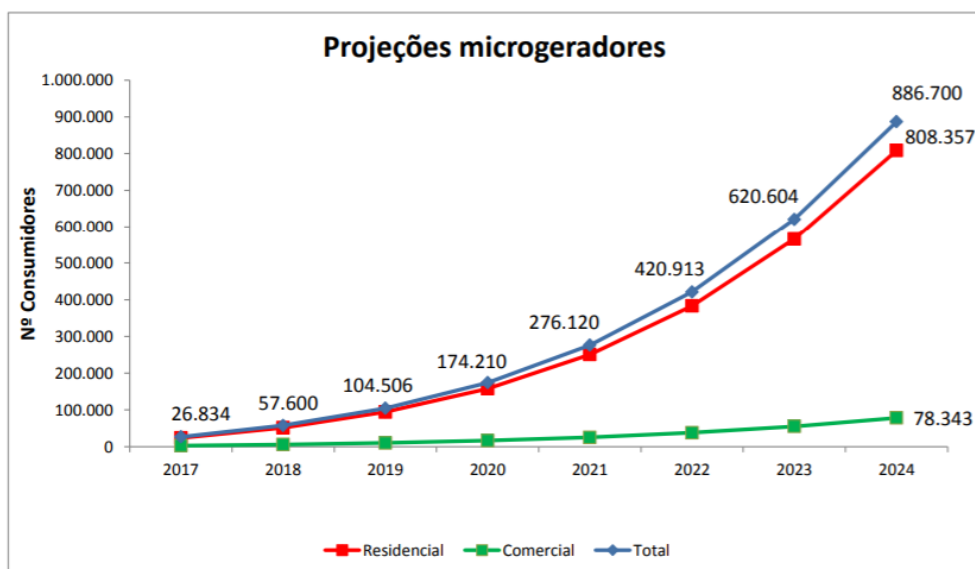


Figura 1 – Cenário de projeção da geração distribuída no Brasil em um horizonte 2017-2024.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Há diversas ferramentas computacionais ou simuladores em plataformas web disponíveis ao consumidor interessado em estimar potência, área e investimento de um sistema fotovoltaico para atender a demanda de energia elétrica de sua unidade consumidora. Estes simuladores, normalmente, estão disponíveis em homepages de empresas de projeto, comercialização e instalação de sistemas fotovoltaicos. Há também um simulador solar desenvolvido em uma parceria entre o Instituto Ideal e a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) GmbH e KfW banco de fomento alemão, no âmbito do Programa América do Sol.

Diante dos requisitos levantados da proposta do software, iniciou-se o estudo para a definição da plataforma e linguagem de programação a ser utilizada no desenvolvimento do software. Optou-se pelo uso da linguagem *JavaScript* devido a sua versatilidade e popularidade. Os códigos desenvolvidos são escritos em *TypeScript*, um superconjunto da linguagem *JavaScript*, e posteriormente transcompilados para *JavaScript* nativo. O software foi projetado para possuir dois módulos: *front* e *back-end*. Os módulos podem ser instalados e executados localmente como aplicativos nativos ou serem disponibilizados em um servidor remoto no qual o usuário pode acessar e executar o software como um website disponível em <http://pvgrid.plantapiloto.ufsc.br>.

O módulo *front* é o responsável pelo gerenciamento e interação com o usuário. A interface gráfica foi desenvolvida através de *HTML/SCSS* com o uso do framework *Bootstrap* em conjunto com as bibliotecas *jQuery*, *Knockout* e *Chart.js* para a criação dos gráficos. Atualmente esse é o módulo responsável pela execução e processamento do modelo matemático, contudo o modelo necessita de informações sobre o índice de irradiação solar e temperatura média da região que está sendo simulada pelo usuário. Para tal as coordenadas de latitude e longitude são enviadas para o módulo *backend* que retorna os dados solicitados.

O módulo *backend* é o responsável pelo fornecimento das informações de irradiação solar e temperatura média para determinada longitude e latitude através de um serviço *REST*. Foi desenvolvido utilizando o ambiente de execução *JavaScript Node.js* em conjunto com o framework *Express*. Para o armazenamento dos dados geográficos é utilizando o banco de dados *MongoDB*.

O banco de dados possui duas coleções com dados geoespaciais com índices de geometria 2D. A primeira coleção armazena os dados de temperatura média anual e mensal em graus Celsius. Os dados dessa coleção foram obtidos do *Dataset NASA Surface meteorology and Solar Energy (SSE) 6.0*. A segunda coleção armazena os dados de irradiação inclinada média anual e mensal, é utilizado o *dataset Brazil Latitude Tilted Solar Radiation Model (10 km)* fornecido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). O software *PVGrid* utiliza modelos matemáticos consolidados na literatura científica para realizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico a partir dos dados de localização, tipo de conexão e demanda mensal de energia elétrica que são informações a serem inseridas pelo usuário (Pinho e Galdino, 2014). A partir das informações inseridas pelo usuário, o software dimensiona a potência do sistema fotovoltaico proposto e apresenta a operacionalidade do sistema de compensação de energia elétrica, entre outras informações de saída.

A energia elétrica convertida por sistemas fotovoltaicos de geração distribuída é consumida instantaneamente na unidade consumidora em períodos onde o consumo é maior que a geração. Para períodos em que a geração é superior ao consumo, a energia elétrica excedente é injetada à rede elétrica. Para os períodos onde a geração não é suficiente para atender o consumo, a rede elétrica fornece a energia complementar. Ao final do período mensal, é realizada a compensação de energia elétrica para verificação do consumo a ser faturado. A proposta do software *PVGrid* desenvolvido é dimensionar a potência do sistema fotovoltaico e apresentar a operacionalidade do sistema de compensação de energia elétrica a partir de informações inseridas pelo usuário. Os softwares de dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos são ferramentas importantes para engenheiros, projetistas e interessados em geral. Entretanto, via de regra, os softwares exigem um conhecimento técnico prévio. Para apresentar a funcionalidade do software *PVGrid* para dimensionamento e análise do sistema de compensação de energia elétrica foram utilizados dados de geração e consumo de energia elétrica de duas unidades consumidoras residenciais que apresentam sistemas fotovoltaicos, denominadas de UCFV Turvo I (Fig. 2) e de UCFV Turvo II (Fig. 3). A topologia, componentes e conexão à rede dos sistemas fotovoltaicos é apresentada na Tab. 1.

Tabela 1. Características dos sistemas fotovoltaicos de geração distribuída de referência.

	<i>UCFV Turvo I</i>	<i>UCFV Turvo II</i>
<i>Inversor (modelo/potência)</i>	PHB1500-SS 1500W	PHB3000-SS 3000W
<i>Módulos fotovoltaicos</i>	5 x 250 Wp	8 x 260 Wp
<i>Tecnologia</i>	Silício Multi-cristalino	
<i>Alimentação</i>	Monofásico	
<i>Ângulo de azimute</i>	60° L	60° O
<i>Ângulo de inclinação</i>	25°	20°
<i>Local de Instalação</i>	Turvo SC Latitude: 28° 55' 34" S Longitude: 49° 40' 45" W	



Figura 2 – Sistema fotovoltaico da UCFV Turvo I.



Figura 3 – Sistema fotovoltaico da UCFV Turvo II.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ferramenta computacional *PVGrid* é um software de dimensionamento e análise do sistema de compensação de energia elétrica de geração distribuída e está disponível em uma plataforma *web*. A interface do software é intuitiva e as informações que usuário deve inserir são dados de localização, tipo de conexão da unidade consumidora e consumo mensal de energia elétrica (Fig. 4).

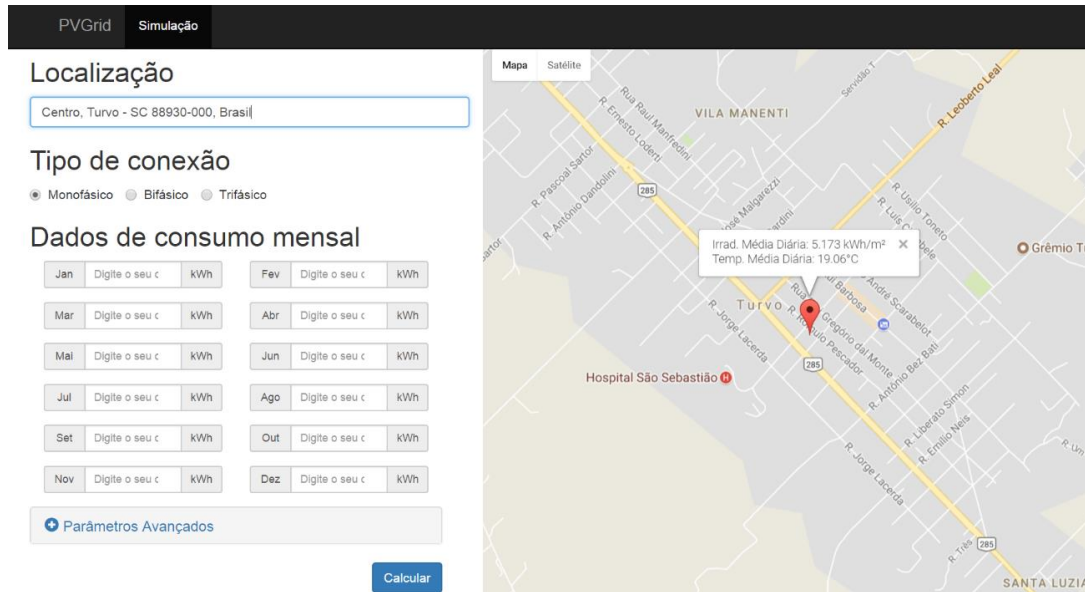


Figura 4 – Layout de entrada do software *PVGrid*.

A partir das informações inseridas pelo usuário, o software dimensiona a potência do sistema fotovoltaico proposto e apresenta a operacionalidade do sistema de compensação de energia elétrica. A potência do sistema fotovoltaico dimensionado atende aproximadamente 90 % da demanda de energia elétrica da unidade consumidora, evitando que energia elétrica gerada seja utilizada para abatimento do custo de disponibilidade. Um relatório de saída é gerado e está dividido em três partes. A primeira parte contém informações e dados gerais sobre o sistema fotovoltaico, a energia elétrica mensal, gerada e consumida, em kWh e a irradiação solar global inclinada em média diária mensal (Fig. 5).

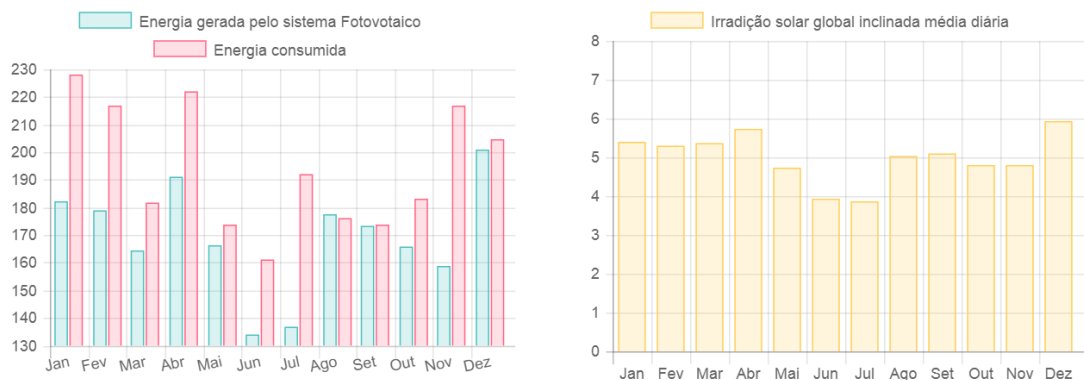
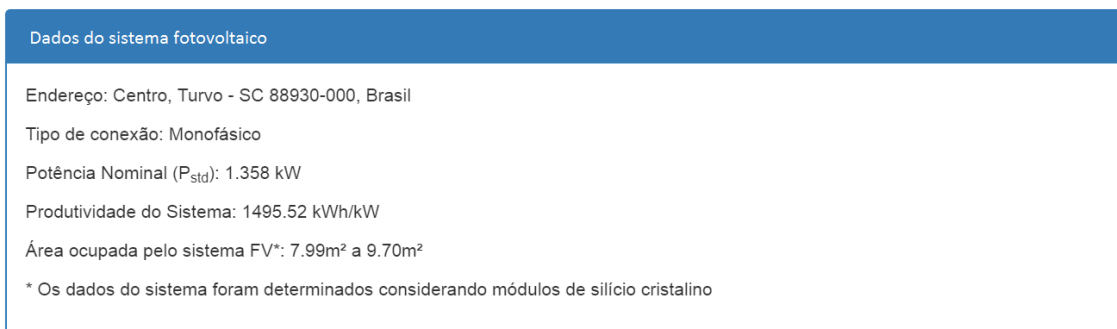


Figura 5 – Relatório de saída, dados gerais, do software *PVGrid*.

O software *PVGrid* permite que o usuário altere dados gerais do sistema fotovoltaico, como por exemplo, a potência nominal e refaça a simulação e análise do sistema de compensação de energia elétrica. A Fig. 6 apresenta o balanço mensal entre a energia elétrica consumida e energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico. Nesta segunda parte do relatório de saída são apresentados, mensalmente, o crédito de energia elétrica, o kWh faturado e o crédito acumulado para compensação em meses subsequentes.

Dados Mensais					
Mês	Consumido (kWh)	Produzido (kWh)	Crédito (kWh)	kWh Faturado	Crédito Acumulado (kWh)
Jan	228.00	402.62	174.62	30.00	174.62
Fev	217.00	395.45	178.45	30.00	353.07
Mar	182.00	363.30	181.30	30.00	534.37
Abr	222.00	422.36	200.36	30.00	734.73
Mai	174.00	367.07	193.07	30.00	927.81
Jun	161.00	296.52	135.52	30.00	1063.32
Jul	192.00	302.20	110.20	30.00	1173.52
Ago	176.00	391.97	215.97	30.00	1389.50
Set	174.00	383.18	209.18	30.00	1598.67
Out	183.00	366.37	183.37	30.00	1782.05
Nov	217.00	350.98	133.98	30.00	1916.03
Dez	204.50	444.52	240.02	30.00	2156.05
TOTAL:	2330.50	4486.55	2156.05	360.00	

Figura 6 – Relatório de saída, sistema de compensação, do software *PVGrid*.

A terceira parte do relatório de saída apresenta índices de desempenho, razão de performance e produtividade do sistema fotovoltaico, a radiação solar em média diária mensal e a temperatura ambiente em média diária mensal (Fig. 7).

Dados do sistema					
Mês	Razão de Performance	Produtividade do sistema (kWh/kW)	Irradiância (kWh/m ²)	Temperatura (°C)	
Jan	0.80	134.21	5.392	22.67	
Fev	0.80	131.82	5.299	22.76	
Mar	0.81	121.10	5.362	21.93	
Abr	0.82	140.79	5.749	19.99	
Mai	0.83	122.36	4.75	17.06	
Jun	0.84	98.84	3.932	15.67	
Jul	0.84	100.73	3.862	14.97	
Ago	0.84	130.66	5.044	16.13	
Set	0.83	127.73	5.116	16.81	
Out	0.82	122.12	4.785	18.59	
Nov	0.81	116.99	4.785	20.25	
Dez	0.81	148.17	5.924	21.88	
TOTAL/MÉDIA:	0.82	1495.52	5.173	19.06	

Figura 7 – Relatório de saída, índices de desempenho, do software *PVGrid*.

A Tab. 2 e a Tab. 3, apresentam dados de geração e consumo de energia elétrica dos sistemas fotovoltaicos de referência, sistema FV Turvo I e sistema FV Turvo II, respectivamente e dados de geração de energia elétrica simulados pelo software *PVGrid*. Para a UCFV Turvo I, o desvio percentual médio anual é da ordem de 8 % enquanto que para a UCFV Turvo II, o desvio percentual médio anual é da ordem de 12,8 %. É importante destacar que a base de dados de radiação solar utilizada na simulação é diferente da radiação solar efetivamente verificada nos sistemas fotovoltaicos em operação.

Tabela 2. Dados de consumo e geração da unidade prosumidora com Sistema FV Turvo I.

Data	Geração FV <i>PVGrid</i> (kWh)	Geração FV Real (kWh)	Consumo UCFV (kWh)	Desvio <i>PVGrid</i> – Real (%)
jan-16	156,37	172,00	228,00	9,99
fev-16	162,81	190,00	217,00	16,70
mar-16	140,31	180,00	182,00	28,29
abr-16	174,33	170,00	222,00	2,55
mai-16	152,17	120,00	174,00	26,81
jun-16	122,67	140,00	161,00	14,13
jul-16	128,43	130,00	192,00	1,22
ago-16	165,82	150,00	176,00	10,55
set-16	154,85	160,00	174,00	3,32
out-16	151,86	160,00	183,00	5,36
nov-16	145,48	200,00	217,00	37,47
dez-16	176,24	206,50	204,50	17,17
Total	1.831,34	1.978,50	2.330,50	8,03
Média	152,61	164,87	194,21	-
σ	16,55	27,00	22,54	-

Tabela 3. Dados de consumo e geração da unidade prosumidora com Sistema FV Turvo II.

Data	Geração FV <i>PVGrid</i> (kWh)	Geração FV Real (kWh)	Consumo UCFV (kWh/mês)	Desvio <i>PVGrid</i> – Real (%)
abr-16	290,09	227,00	225,00	27,80
mai-16	253,22	178,00	233,00	42,26
jun-16	204,12	166,00	230,00	22,96
jul-16	213,70	160,00	276,00	33,56
ago-16	275,92	213,00	229,00	29,54
set-16	257,67	219,00	246,00	17,66
out-16	252,69	230,00	229,00	9,86
nov-16	242,07	270,00	201,00	11,54
dez-16	293,27	290,00	193,00	1,13
jan-17	260,20	250,00	238,00	4,08
fev-17	270,92	270,00	257,00	0,34
mar-17	233,47	230,00	284,00	1,51
Total	3.047,34	2.703,00	2.841,00	12,74
Média	253,94	225,25	236,75	-
σ	27,54	41,61	26,59	-

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geração distribuída com sistemas fotovoltaicos em unidades consumidoras é a principal estratégia para descentralização da energia elétrica e estão no coração do movimento prossumidor. Os sistemas fotovoltaicos de geração distribuída apresentam maturidade da tecnologia e competitividade econômica devido à diversos fatores combinados. O cenário é promissor e desafiador, mas existem barreiras a serem superadas, entre elas, a difusão de conhecimento para popularização da tecnologia. Neste contexto, ferramentas computacionais direcionadas para um usuário sem conhecimento prévio podem ser importantes no processo de popularização.

O presente trabalho apresentou o desenvolvimento e funcionamento de um software de dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos para análise do sistema de compensação de energia elétrica de geração distribuída. O software *PVGrid* é ferramenta computacional que permite ao usuário compreender e analisar o funcionamento do sistema de compensação de energia a partir de sistemas fotovoltaicos. Os dados de entrada são localização, tipo de conexão e consumo mensal de energia elétrica. Os dados de saída são apresentados em um relatório e fornecem a potência do sistema fotovoltaico, área do gerador fotovoltaico, balanço do sistema de compensação, entre outras informações.

Para apresentar a funcionalidade do software *PVGrid* para dimensionamento e análise do sistema de compensação de energia elétrica foram utilizados dados de geração e consumo de energia elétrica de duas unidades consumidoras residenciais que apresentam sistemas fotovoltaicos, denominadas de UCFV Turvo I e de UCFV Turvo II.

Os dados de geração e consumo de energia elétrica dos sistemas fotovoltaicos de referência, sistema FV Turvo I e sistema FV Turvo II, respectivamente foram comparados com os dados de geração de energia elétrica simulados pelo software *PVGrid*. Para a UCFV Turvo I, o desvio percentual médio anual é da ordem de 8 % enquanto que para a UCFV Turvo II, o desvio percentual médio anual é da ordem de 12,8 %. É importante destacar que a base de dados de radiação solar utilizada na simulação é diferente da radiação solar efetivamente verificada nos sistemas fotovoltaicos em operação.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

REFERÊNCIAS

- ABGD, 2017. Associação Brasileira de Geração Distribuída. Disponível em: <https://www.geracaodistribuida.org/copia-mapa-do-mercado2>
- ANEEL, 2017. National Electric Energy Agency Normative (ANEEL), Rio de Janeiro, Brazil. Consumer Units With Distributed Generation. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Classe.asp.
- ANEEL, 2015. National Electric Energy Agency Normative (ANEEL), Rio de Janeiro, Brazil. Resolution No. 687/2015.
- ANEEL, 2012. National Electric Energy Agency Normative (ANEEL), Rio de Janeiro, Brazil. Resolution No. 482/2012.
- Breyer, C., Gerlach, A., 2013. Global overview on grid-parity. Prog. Photovoltaics Res. Appl. 21, 121–136.
- Cantner, U., Graf, H., Herrmann, J., Kalthaus, M., 2016. Inventor networks in renewable energies: The influence of the policy mix in Germany. Res. Policy 45, 1165–1184.
- Darghouth, N.R., Barbose, G., Wiser, R., 2011. The impact of rate design and net metering on the bill savings from distributed PV for residential customers in California. Energy Policy 39, 5243–5253.
- De Queiroz, A.R., Lima, L.M.M., Lima, J.W.M.L., da Silva, B.C., Scianni, L.A., 2016. Climate change impacts in the energy supply of the Brazilian hydro-dominant power system. Renew. Energy 99, 379–389.
- Eid, C., Reneses Guillén, J., Frías Marín, P., Hakvoort, R., 2014. The economic effect of electricity net-metering with solar PV: Consequences for network cost recovery, cross subsidies and policy objectives. Energy Policy 75, 244–254.
- EPE, 2012. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Disponível em: http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf
- Greenpeace, 2016. Greenpeace Report, Brazil. Disponível em: http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/documentos/2016/Relatorio_Alvorada_Greenpeace_Brasil.pdf.
- Lacchini, C., Rütther, R., 2015. The influence of government strategies on the financial return of capital invested in PV systems located in different climatic zones in Brazil. Renew. Energy 83, 786–798.
- Nhamo, G., Nhamo, S., 2016. One global deal from Paris 2015: Convergence and contestations on the future climate mitigation agenda. South African J. Int. Aff. 23, 323–346.
- Pinho, J. T., Galdino, M. A., (org) 2014. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. CEPTEL-CRESESB. Grupo de Trabalho de Energia Solar. Rio de Janeiro.
- Yamamoto, Y., 2012. Pricing electricity from residential photovoltaic systems: A comparison of feed-in tariffs, net metering, and net purchase and sale. Sol. Energy 86, 2678–2685.
- Zomer, C., Nobre, A., Cassatella, P., Reindl, T., Rütther, R., 2014. The balance between aesthetics and performance in building-integrated photovoltaics in the tropics. Prog. Photovoltaics Res. Appl. 22, 744–756.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE OF DESIGN AND ANALYSIS OF THE DISTRIBUTED GENERATION COMPENSATION SYSTEM IN PROSUMERS

Abstract. *The electric energy compensation system provides the operation of distributed generation photovoltaic systems in prosumers. The concept of distributed generation and net metering are recent in Brazil and the regulatory frameworks for decentralized energy are new. This paper presents the development of PVGrid software. PVGrid is a software of the design and simulation of photovoltaic systems for distributed generation. The user must enter with location data, type of grid connection and energy consumption. The software was developed in JavaScript and developed codes are written in typescript, a superset of JavaScript. Subsequently, the codes are compiled to native JavaScript. The software has two modules, front and back end. The report shows the power of the PV system, yield final, the estimated area of the PV system, the energy balance and other information. The Software is a tool for dissemination of distributed generation with photovoltaic systems.*

Key words: *distributed generation, photovoltaic systems, prosumers, softwares.*