

REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA POR MEIO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNICÍPIO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ: UM ESTUDO DE CASO EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR¹

LUIZ FERNANDO ROSA MENDES², HELISA MOREIRA PEIXOTO PEREIRA³, PAULA
CAMPOS TEIXEIRA³ & MARCELO SILVA STHEL⁴

¹Publicado no Ano de 2019;

²Professor no Instituto Federal Fluminense *campus* Guarus, lfmendes@iff.edu.br;

³Graduanda em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal Fluminense *campus* Guarus;

⁴Professor na Universidade Estadual do Norte Fluminense- UENF.

Resumo

O trabalho busca analisar o uso da geração distribuída (GD) por energia solar fotovoltaica (ESFV) por meio de estudo de caso de uma residência unifamiliar situada no perímetro urbano da cidade de Campos dos Goytacazes/RJ. O estudo foi dividido em três etapas: pesquisado o potencial de ESFV na posição geográfica com latitude - 21°45' Sul e longitude de - 41°20' Oeste utilizando a ferramenta *Global Solar Atlas*; levantamento dos sistemas de ESFV conectados à rede instalados na cidade; e pesquisa de campo com aplicação de questionário aos proprietários do imóvel em análise. Mediante isso, confirmou-se um bom potencial para geração de ESFV, no entanto é ínfimo o número de sistemas instalados neste município. O estudo de caso nesta residência mostrou que foi possível reduzir o uso da energia elétrica da rede convencional no ano 2016 em 85%. Assim, os proprietários estão diminuindo a demanda por eletricidade da rede elétrica convencional, rede esta que provém de fontes predominantemente hidrotérmicas.

Palavras-chave: Geração distribuída, energia elétrica, centros urbanos.

Abstract

The work aims to analyze the use of distributed generation (GD) by photovoltaic solar energy (PVSE) through a case study of a single family dwelling located in the urban perimeter of the city of Campos dos Goytacazes / RJ. The study was divided in three stages: the potential of PVSE in the geographical position with latitude - 21°45' South and longitude of - 41°20' West using Global Solar Atlas tool; survey of the grid-connected PVSE systems installed in the city; and field research with application of questionnaire to the owners of the property under analysis. Therefore, a good potential for PVSE generation has been confirmed, however, the number of systems installed in this municipality is negligible. The case study at this residence showed that it was possible to reduce the use of conventional grid electricity in the year 2016 by 85%. Thus, the owners are decreasing the demand for electricity from the conventional electricity grid, which comes from predominantly hydrothermal sources.

Keywords: Distributed generation, electricpower, urban centers.

1. Introdução

Atualmente o mundo enfrenta uma grave crise ambiental em decorrência do aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) pelas atividades humanas. O setor energético tem uma significativa participação nas emissões globais de dióxido de carbono (CO₂), principalmente devido à queima de combustíveis fósseis para a geração de eletricidade (VICTOR *et al.*, 2014). Segundo Celestino e Julião (2016), as fontes fósseis são responsáveis por 2/3 das emissões mundiais dos GEE.

Diante desse cenário de intensificação dos GEE, a preocupação com as questões ambientais leva à busca por estratégias para mitigar essas emissões globais. O desenvolvimento de tecnologias de geração de energia por meio de fontes mais limpas abre espaço para a inserção das fontes renováveis na matriz elétrica de diversos países (SIMAS, 2012).

A participação das energias renováveis na geração de eletricidade global foi de aproximadamente 21% no ano de 2012, e segundo as previsões da Agência Internacional de Energia (IEA) a tendência é subir mais 5% até 2020 (BRUCKNER *et al.*, 2014; ÉPOCA NEGÓCIOS, 2015). Esse crescimento aumenta a confiabilidade nessas tecnologias, reduz

seus custos e abre oportunidades para a incorporação das mesmas em países onde a demanda por energia é substancial e os recursos renováveis são favoráveis (IEA, 2011).

Fontes renováveis de energia têm sido alternativas sustentáveis para atender a necessidade de energia elétrica, uma vez que confere a diversificação da matriz e aumenta a segurança energética para os países em termos de abastecimento (LOPES, 2011). Entre as alternativas de geração de energia renovável, pode-se citar a hidráulica, a biomassa, a eólica, a solar, entre outras.

Dentre as fontes renováveis, a energia solar tem grande potencial para contribuir com a demanda mundial por eletricidade, especialmente em países com altos índices de radiação solar (YERGIN, 2014). A potência mundial de energia solar, em 2015, foi de 227 GW e a perspectiva é alcançar, em 2030, uma potência de 1.362 GW (EXAME, 2016).

A utilização de GD através de fontes renováveis no setor elétrico brasileiro é uma solução estratégica para a melhoria da eficiência energética, visto que promove a redução de perdas e custos de energia durante a sua transmissão e distribuição, aumenta a segurança do abastecimento e contribui para o desenvolvimento sustentável (BARIN *et al.*, 2010; ANEEL, 2016).

Dessa forma, o trabalho consiste em analisar o uso da GD por meio de ESFV numa residência situada na cidade de Campos dos Goytacazes, região Norte do estado do Rio de Janeiro, tendo o estudo de caso, foco no potencial solar do município, na energia consumida pelo domicílio e na energia injetada na rede elétrica da concessionária local pelo sistema de ESFV.

2. Fundamentação teórica

2.1. Geração distribuída

A GD, também conhecida como geração dispersa (*Dispersed Generation – DG*), geração local (*On Site Generation – OSG*) ou geração embutida (*Embedded Generation – EG*), pode ser definida como uma forma de geração de energia elétrica com conexão direta com as redes de distribuição (ACKERMANN; ANDERSSON; SÖDER, 2001). Mesmo com várias denominações, o termo adotado neste trabalho será geração distribuída (GD) por ser mais amplamente divulgado no Brasil.

Este tipo de produção de eletricidade está associado aos empreendimentos de geração pequeno porte e cogeração¹. A GD pode utilizar como fonte primária de energias combustíveis não renováveis e renováveis. Dentre os combustíveis não renováveis destacam-se o gás natural por meio de microturbinas e células a combustível e também motores alternativos com combustão interna. As energias renováveis utilizadas são os pequenos aproveitamentos hidráulicos por meio de pequenas centrais hidroelétricas (PCH), energia eólica a partir de aerogeradores, energia de biomassa em termoelétricas, biogás em microturbinas e solar por meio de sistemas fotovoltaicos, sendo este último o foco do trabalho em questão.

A GD torna-se uma alternativa para o sistema elétrico a partir do momento em que reúne os benefícios, a começar por adequar-se ao mercado de energia e aumentar a eficiência na utilização dos recursos naturais mitigando os impactos ambientais provenientes da geração centralizada (LORA; HADDAD, 2006).

2.2. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil

A utilização da ESFV no Brasil pode ser dividida em dois períodos distintos: antes e depois do ano de 2011.

Antes 2011, havia apenas utilização de ESFV por meio de sistemas autônomos² aplicados para eletrificação de residências do meio rural, comunidades isoladas e na alimentação elétrica de equipamentos remotos. Um exemplo era programa Luz para Todos, lançado pelo governo federal em 2003, que utilizava esta fonte de energia elétrica para atender as comunidades isoladas, principalmente na região Amazônica (MME, 2017).

No mesmo ano de 2011, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em conjunto com as empresas concessionárias brasileiras de energia elétrica publicaram o estudo intitulado “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira” que tinha o intuito de promover a implantação de usinas

¹ Pode ser definida como uma geração em que coexiste a energia térmica (utilizada como fonte de calor/frio para um processo industrial) e a mecânica (para acionar os geradores elétricos) a partir de um mesmo combustível. De modo geral, para esse tipo de geração utiliza-se gás natural (GN), resíduos de madeira, casca de arroz, bagaço da cana, palha, etc. (COGEN, 2017; SOUZA; AZEVEDO, 2006).

² O sistema de ESFV autônomo ou isolado consiste em empregar essa forma de energia para obtenção de eletricidade em locais não atendidos pelos serviços da rede da concessionária de energia elétrica (ANDRADE JÚNIOR; MENDES, 2016).

fotovoltaicas (UFV) experimentais interligadas ao Sistema Elétrico Nacional (SIN) (VILLALVA, 2015).

Em 2012, surge o marco regulatório para a ESFV brasileira por meio da resolução normativa nº 482/2012 da ANEEL. Essa resolução estabeleceu as condições de acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica, tornando possível a geração de energia renovável em residências brasileiras. De acordo com o capítulo III da resolução, o consumidor, ao adquirir a microgeração ou minigeração pode aderir ao sistema de compensação de energia elétrica (*net metering tariff*). Através deste sistema, o consumidor pode ceder o excesso de energia produzida em sua residência para a rede distribuidora local, em troca de créditos no consumo de energia elétrica ativa. Dessa forma, a fatura referente à energia elétrica ativa será a diferença entre a energia consumida e a injetada e, caso haja crédito de energia elétrica ativa, este poderia ser acumulado por 36 meses após o faturamento. A resolução normativa nº 482/2012 também regulamentava o acesso aos sistemas de distribuição, a medição de energia elétrica e as medidas a serem tomadas caso houvesse irregularidades na unidade consumidora ou dano ao sistema elétrico (ANEEL, 2012).

Um fator climático foi decisivo para que houvesse a maior aceitação da ESFV, a alteração no ciclo hidrológico no país entre os anos de 2013 a 2015 (CARTA CAPITAL, 2016; DEUTSCHE WELLE, 2008). Segundo Mendes (2014), nesse período o país enfrentou uma dupla crise (hídrica-energética) que reduziu a geração hídrica e acarretou no incremento no uso das usinas térmicas movidas por combustíveis fósseis que, conseqüentemente impactou no aumento da tarifa de energia elétrica para o consumidor final e daí, esses consumidores vislumbraram na geração distribuída a possibilidade de redução de custos.

No final do ano de 2015, a ANEEL publicou a resolução normativa nº 687/2015 que alterou a nº 482/2012. A resolução nº 687/2015 trouxe consigo várias alterações que proporcionaram maiores atrativos para os consumidores. As principais mudanças contidas na resolução normativa nº 687/2015 em relação à Resolução nº 482/2012, segundo o Atlas Rio Solar organizado pelo Instituto de Energia da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (IEPUC-Rio) foram:

- O estabelecimento das modalidades de auto consumo remoto e geração compartilhada, abrindo as portas para a geração em terrenos afastados do local de consumo (mas ainda na área da mesma distribuidora) e para vizinhos que queiram participar do sistema de compensação de energia;
- A possibilidade de compensação de créditos de energia entre matrizes e filiais de grupos empresariais;
- Os sistemas de geração distribuída condominiais (pessoas físicas e jurídicas);
- A ampliação da potência máxima de 1 MW para 5 MW;
- A ampliação da duração dos créditos de energia elétrica de 36 meses para 60 meses;
- A redução dos prazos de tramitação de pedidos junto às distribuidoras;
- A padronização dos formulários de pedido de acesso para todo o território nacional; e a submissão e acompanhamento de novos pedidos pela internet a partir de 2017. (IEPUC, 2016, p. 15).

Com as alterações descritas tornou possível a geração distribuída em condomínios, onde os moradores podem compartilhar a mesma fonte de energia, e também a geração compartilhada, em que consumidores podem se unir em um consórcio para a instalação de micro ou minigeração distribuídas (ANEEL, 2015). Outra alteração importante foi a criação de formulários padrão para a solicitação de acesso pelo consumidor, o que facilitou o processo.

Paralelamente as resoluções, o Ministério de Minas e Energia (MME) lançou no final do ano de 2015 o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) com o objetivo de ampliar e aprofundar as ações de estímulo à geração de energia pelos próprios consumidores, com base nas fontes renováveis de energia, em especial a solar fotovoltaica (MME, 2015).

Os estados brasileiros, por sua vez, começaram a incentivar a energia distribuída a partir da isenção do ICMS sobre a energia excedente gerada pelas Unidades Consumidoras (UC) e diminuindo assim o tempo de retorno do investimento para os consumidores/produtores de eletricidade (MME, 2015; FOLHA MAX, 2016). Além disso, os equipamentos destinados à ESFV fabricados no país, tais como módulos fotovoltaicos (MFV), inversores, etc., são isentos do IPI, de PIS/PASEP e da COFINS (AGÊNCIA SENADO, 2017).

Diante disso, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2016 – ano base 2015, entre os anos de 2015/2014 a potência instalada por energia solar cresceu 42,3% e,

percentualmente, a energia gerada, em GWh, experimentou um crescimento de 266,4% (EPE, 2017). Em números absolutos de potência instalada a ESFV ainda é inexpressiva frente às outras fontes de energia, no entanto em números percentuais se observa um crescimento substancial da ESFV no país, o que vem contribuindo para maior diversificação da matriz elétrica brasileira.

Para Pinto, Amaral e Janissek (2016) o Brasil tem condições favoráveis para a geração solar fotovoltaica, em particular nas zonas urbanas, por meio de sistemas conectados à rede elétrica. Isso porque o país possui uma localização geográfica privilegiada com relação ao potencial solar. No entanto, é baixa exploração dessa fonte de energia na matriz energética no país. Os autores mostram que se houvesse a implantação de quatro a sete MFVs com potência $217 W_p$ por casa, em todo o país, seria possível produzir resultados que reduziria a crise energética.

Atualmente, a ESFV corresponde por apenas 0,82% da matriz elétrica brasileira com uma potência instalada de 1.306 MW a partir de 2.231 usinas fotovoltaicas (UFV) e 376 MW oriundos de 31.194 UC por meio de GD. Além disso, há em fase de construção 30 UFV que unidas terão uma potência instalada de 831 MW (ANEEL, 2018).

3. Material e Métodos

3.1. Material

O cerne deste trabalho é uma residência unifamiliar situada no perímetro urbano da cidade de Campos dos Goytacazes/ RJ, região Norte do estado do Rio de Janeiro, estando esta residência localizada geograficamente nas coordenadas com latitude de - 21°45' Sul e longitude de - 41°20' Oeste.

3.2. Métodos

O presente trabalho tem caráter de estudo de caso por analisar um único fato com riqueza de detalhes do objeto estudado (DOS SANTOS, 2012). Portanto, o trabalho foi dividido em três etapas.

No primeiro momento foi pesquisado o potencial solar fotovoltaico na posição geográfica com latitude - 21°45' Sul e longitude de - 41°20' Oeste a partir da ferramenta

Global Solar Atlas com o objetivo de mostrar que o local em estudo têm potencial para utilização da ESFV. Essa ferramenta foi desenvolvida pelo Banco Mundial em parceria com a *International Solar Alliance* (ISA) e disponibilizada de forma gratuita no *website* da Nova Matriz (<http://globalsolaratlas.info/>) (NOVA MATRIZ, 2017).

Logo em seguida, foi realizado um levantamento dos sistemas de GD por ESFV na cidade de Campos dos Goytacazes/RJ com base nos dados disponibilizados no *website* da ANEEL com o objetivo de mostrar a expansão na utilização dessa fonte de energia por meio da GD no município (<http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas>).

E por fim, se realizou uma pesquisa de campo de cunho quantitativo-descritivo a partir da aplicação de questionário com perguntas fechadas aos proprietários do imóvel onde o sistema está implantado e levantamento técnico do *in loco*. Nesta pesquisa foram verificados aspectos relacionados à instalação física do sistema de ESFV quanto às questões pertinentes a escolha do tipo de geração, implantação e consumo de energia elétrica do domicílio antes (ano de 2014) e depois da instalação do sistema de ESFV conectado à rede (ano de 2016).

4. Resultados e Discussão

4.1. Potencial solar fotovoltaico em Campos dos Goytacazes/ RJ

O município de Campos dos Goytacazes, situado na região Norte do estado do Rio de Janeiro, tem área territorial de 4.026,7 km², contendo 487.186 habitantes e 126.864 domicílios (IBGE, 2017), sendo que o mesmo é um dos municípios brasileiros com maior potencial técnico para geração fotovoltaica em telhados residenciais do país (EPE, 2014). Na Figura 01 pode-se verificar o município de Campos dos Goytacazes destacado no interior do círculo, com seu território colorido na cor vermelha, o que indica um alto potencial técnico em energia fotovoltaica.

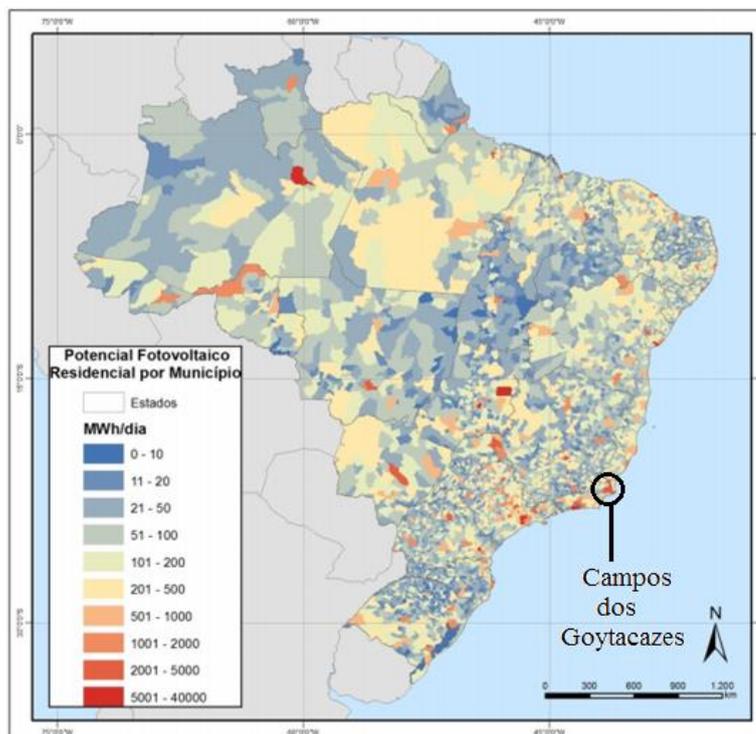


Figura 01. Mapa do Potencial Técnico de Geração Fotovoltaica em Telhados Residenciais por Município. Fonte: EPE (2014).

O potencial de ESFV na residência, foco do trabalho, situada na zona urbana do município de Campos dos Goytacazes/ RJ e localizada nas coordenadas geográficas com latitude - 21°45' Sul e longitude de - 41°20' pode ser analisado pelo *Global Solar Atlas* (Figura 02).

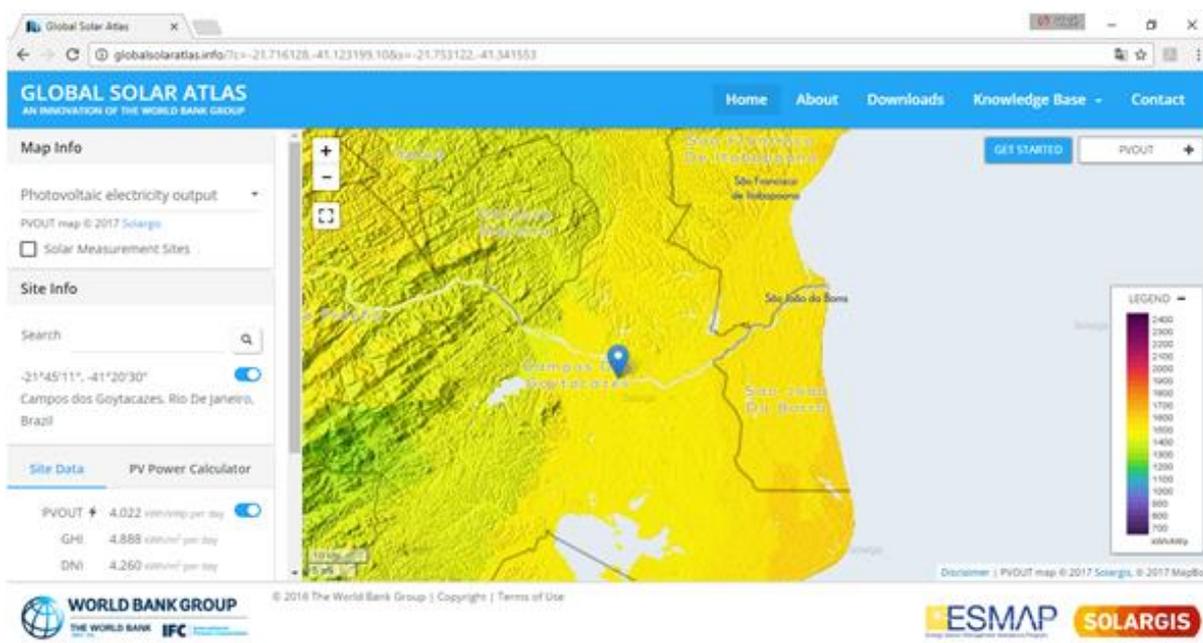


Figura 02. Imagem do *site* do *Global Solar Atlas* e mapa a partir das coordenadas geográficas com latitude - 21°45' Sul e longitude de - 41°20' Oeste. Fonte: Global Solar Atlas (2017).

O *site* do *Global Solar Atlas* é uma ferramenta importante para estimar a quantidade de ESFV de um determinado local. Na Figura 02 é possível ver o mapa com a localização do ponto em estudo (marcado com um ponto em azul). No canto esquerdo da Figura 02 observa-se a legenda do *PVout*³, no canto direito as informações com as coordenadas geográficas e informação do *PVout* do ponto escolhido e irradiação solar.

Ainda de acordo com o *Global Solar Atlas*, no local estudado a irradiação global no plano horizontal corresponde a 4,888 kWh/m² por dia e 1.784 kWh/ m² por ano. Sendo que, levando em consideração ângulo ideal de 21° estipulado pelo próprio *Global Solar Atlas*, a irradiação global no plano inclinado será de 5,178 kWh/ m² por dia e 1.890 kWh/ m² por ano. Neste caso, nota-se que a inclinação do PFV no ângulo de 21° faz com que haja um aumento de 5,6% na quantidade de irradiação incidente no módulo ao longo do dia e que contribui para maior geração de eletricidade (PINHO; GALDINO, 2014).

³ *PVout* consiste na quantidade referente à relação de conversão de energia solar em eletricidade num módulo FV. Sua unidade é descrita em kWh/ kWp é gerada de acordo com as condições geográficas do local e configuração do sistema de ESFV (NOVA MATRIZ, 2017).

O *PV out* na posição geográfica descrita é de aproximadamente 4,022 kWh/ kW_p por dia, i.e., nesta posição estima-se que sistema fotovoltaico (FV) com potência elétrica de 1kW_p é capaz de gerar cerca de 4,022 kWh por dia.

A cidade de cidade de Friburgo (47°59'N, 07°52'L) localizada no estado federal de Baden-Württemberg na Alemanha, cidade que tem um condomínio capaz de produzir quatro vezes mais energia do que consome (CICLO VIVO, 2015), por exemplo, o *PVout* é de 3,126 kWh/ kW_p, ou seja, o *PVout* na cidade de Campos dos Goytacazes é 22,28% maior se comparado com a cidade alemã, confirmando assim o potencial de geração de energia solar fotovoltaica no município foco do estudo.

4.2. GD por ESFV no município de Campos dos Goytacazes/ RJ

Até o junho de 2018, o estado do Rio de Janeiro contava com 2.184 UC com GD por ESFV que totalizam 22.634,57 kW de potência instalada (ANEEL, 2018a).

No município de Campos dos Goytacazes/ RJ são apenas 64 sistemas de GD e todos por meio de ESFV, totalizando cerca de 325,48 kW. Desta maneira, o município corresponde por apenas 0,7 % do total de potência instalada no estado do Rio de Janeiro (ANEEL, 2018a).

Realizando a divisão dos 64 sistemas por classe de consumidores, nota-se que 58 são da classe residencial, quatro UC corresponde a classe comercial e apenas dois da classe rural. Efetuando uma divisão de potência instalada por classe, pode-se verificar que a residencial tem uma potência instalada de 193,26 kW (59,38%), a classe comercial tem potência de 121,68 kW (37,38%) e a classe rural 10,54 kW (3,24%) (ANEEL, 2018a). Vale destacar que, nesse estudo, nenhum dado referente a classe industrial foi encontrado para o referido município.

Observa-se então, a predominância da classe residencial no número de instalações e potência instalada de sistemas de GD, seguido da classe residencial. Tal fenômeno se justifica pelo fato que, nos últimos anos, essas duas classes tiveram os maiores aumentos nas tarifas de energia elétrica (ANEEL, 2018b).

4.3. Estudo de caso de residência unifamiliar

A residência em análise foi a primeira UC a implantar a GD por ESFV no município de Campos dos Goytacazes/ RJ. Oficialmente o sistema foi conectado à rede em janeiro de 2015, ou seja, aproximadamente três anos após a resolução nº 482/2012 da ANEEL.

Basicamente, o sistema ESFV dessa residência é composto por um arranjo de dez MFVs policristalinos de $250 W_P$ ($2,5 kW_P$) que compreende uma área de $16,34 m^2$ e um inversor monofásico com potência de $2,1 kW_P$.

Os dez MFVs foram instalados na laje da dependência externa a residência, conforme a Figura 03a, e o inversor fixado na parede externa da mesma edificação, sendo protegido tanto pelo beiral da laje quanto pelos próprios módulos, de acordo com a Figura 03b.



Figura 03a e 03b. Vista dos 10 PFV's policristalinos de $240W_P$ que compõe o sistema de ESFV por meio de GD com potência de $2,1 kW_P$ da residência em estudo. Fonte: próprios autores.

Os módulos foram instalados seguindo as orientações de inclinação (ângulo de 21°) e de posicionamento (voltados para o norte geográfico) como indicado por VILLALVA (2015).

O local de instalação do inversor (Figura 3b) é apropriado, pois o equipamento tem índice de proteção IP 65 (FRONIUS, 2017), significando que o inversor é protegido contra poeira (tipo de proteção indicada pelo algarismo 6 do IP) e protegido contra jatos de água de qualquer direção (tipo de proteção indicada pelo algarismo 5 no IP) (NISKIER; MACINTYRE; COSTA, 2013).

Na entrevista com os proprietários foi perguntado como eles souberam da possibilidade de implantação de um sistema de GD em residências. Os proprietários responderam que foi através de notícias da *internet* e *sites* sobre a importância da implantação de novas fontes de energia para o meio ambiente. No entanto, eles não pensaram em verificar outro tipo de fonte de energia renovável para a GD, como exemplo a eólica ao invés de energia solar fotovoltaica. Quando perguntados sobre o grau de importância dos critérios (Custo da energia elétrica, contribuição ambiental e valorização do imóvel) na tomada de decisão para implantação da geração de ESFV conectada à rede elétrica em sua residência, eles responderam conforme o Quadro 01.

Quadro 01. Grau de importância de alguns critérios na implantação da geração de ESFV conectada à rede elétrica.

Critérios	Grau de importância					
	Muito baixa	Baixa	Médio	Alta	Muito alta	Não quero opinar
Custo da energia elétrica			x			
Contribuição Ambiental					x	
Valorização do imóvel	x					

Fonte: próprios autores.

Desta forma, o resultado do Quadro 01 mostra que, neste caso, os proprietários levaram em consideração para a tomada de decisão sobre a implantação da GD por ESFV a contribuição desse tipo de geração para o ambiente, seguido do critério econômico (custo da energia elétrica da concessionária local) e por fim, a valorização do imóvel do seu imóvel.

Entretanto, os proprietários se contradisseram quando perguntados sobre a forma de análise usada para decidir instalar o sistema de GD. Eles responderam que foi a partir de uma análise de viabilidade técnica e econômica na residência, ou seja, a análise não levou em consideração o ambiente. Mas, é possível, no caso em estudo, verificar uma mudança de pensamento sobre a contribuição dos cidadãos para reduzir as pressões da geração de energia elétrica sobre os recursos naturais.

Outra pergunta foi realizada em relação ao trâmite administrativo e a instalação do sistema de GD. Os donos da residência responderam que a solicitação para ligação do sistema junto à rede e a sua instalação foram realizados por empresa especializada, localizada fora do

município de Campos dos Goytacazes/RJ, isso porque até o ano de 2014 não havia nenhuma empresa especializada neste tipo de geração de energia no município.

O levantamento do consumo de energia elétrica do domicílio com base no ano anterior à instalação do sistema de GD é mostrado na Figura 04.

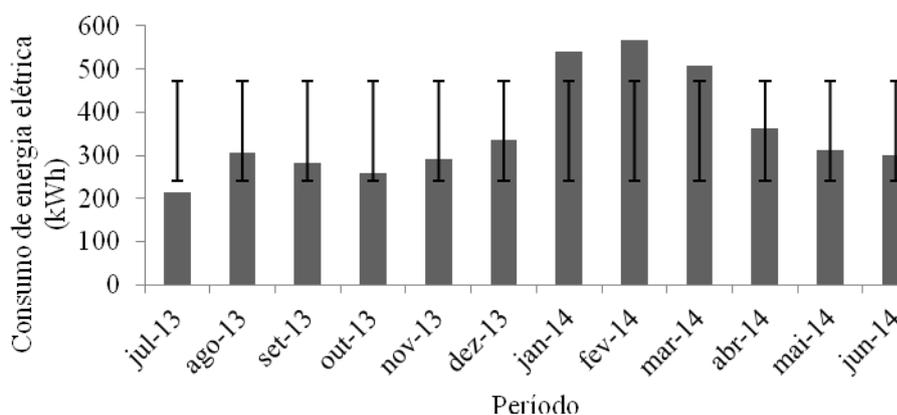


Figura 04. Histórico do consumo mensal de energia elétrica da residência no período anterior a instalação do sistema de ESFV conectado à rede elétrica. Fonte: próprios autores a partir dos dados da Ampla.

Observa-se pela Figura 04 o consumo de energia elétrica da residência entre julho de 2013 a julho de 2014, sendo que esse período foi escolhido para análise em função do início de utilização do imóvel pelos proprietários no mês anterior (junho de 2014). Neste período, a média anual de consumo de energia elétrica foi de 356,67 kWh com desvio padrão (σ) de 116 kWh, sendo o σ explicado pela variação no consumo do período de verão (janeiro, fevereiro e março) – período com temperaturas mais elevadas e necessidade de acionamento dos condicionadores de ar.

Vale ressaltar que, o período compreendido entre julho de 2014 a dezembro de 2014 não foi analisado no trabalho porque havia em curso o processo de instalação na residência do sistema de ESFV conectado à rede e também a própria concessionária de energia local estava se adaptando ao novo modelo de faturamento imposto pela GD (ausência de medidor bidirecional, falta de treinamento dos profissionais para retirada da leitura de consumo, etc.).

A Figura 05 mostra o gráfico de consumo/ produção de energia elétrica do domicílio pesquisado no ano de 2016. Desta forma, o Gráfico (Figura 05) expõe a energia consumida

(kWh) pela residência, a energia excedente ou injetada (kWh) pelo sistema de ESFV na rede da concessionária local e a energia líquida, expressa em percentual (diferença entre a energia consumida pela energia excedente).

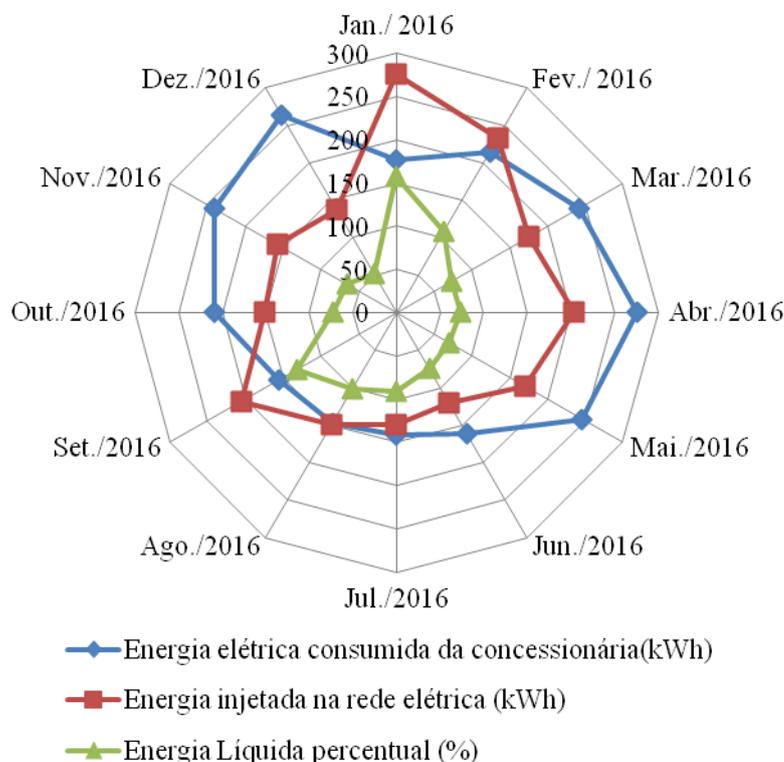


Figura 05. Histórico do consumo mensal de energia elétrica da residência, energia injetada na rede elétrica pelo sistema de ESFV, ambas em kWh, e a energia líquida percentual (%). Fonte: próprios autores a partir dos dados da ENEL.

Nota-se pela Figura 05 que o consumo médio mensal de eletricidade pela residência foi de 204 kWh com um desvio padrão de 49,62 kWh. Observa-se então que, o consumo de energia elétrica da residência obteve um valor médio menor que o observado na Figura 4. Isso se deve às medidas de eficiência energética incorporadas no sistema de iluminação com a substituição de lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas por lâmpadas de LED.

Ainda na Figura 05, pode-se constatar que o sistema de ESFV injetou em média por mês 176,08 kWh com desvio padrão de 46,17 kWh, tendo a maior injeção de energia na rede nos meses de janeiro, fevereiro e setembro, gerando assim créditos de energia. Nesses meses o percentual excedente foi respectivamente de 57%, 8% e 31%. Nos demais meses a GD

contribuiu para redução da fatura mensal (energia líquida) pagas pelos proprietários. No ano estudado, o sistema de GD reduziu a conta de energia elétrica em aproximadamente 85%, uma vez que, em 2016, a residência consumiu 2.474 kWh e o sistema injetou 2.109 kWh, ou seja, foram gerados 365 kWh/ ano de energia excedente.

Os resultados apontados na Figura 05 corroboram com um dos cinco pilares da Terceira Revolução Industrial (TRI) descrita por Rifkin (2012). O autor descreve que a transição da segunda revolução industrial (período ainda vivido pela humanidade) para a TRI, passa pela mudança no uso das fontes de energia, dentre elas a energia solar fotovoltaica, fazendo com que os imóveis se transformem em microgeradores de eletricidade para coletar energia renovável local.

5. Considerações finais

Assim, o trabalho mostrou que o município de Campos dos Goytacazes/RJ tem potencial solar que viabiliza a implantação de energia fotovoltaica por meio de GD. O estudo de caso da residência mostrou que o sistema de ESFV com potência de 2,5 kW_P instalado, reduziu a fatura de energia elétrica no ano de 2016 em 85%.

Neste estudo verifica-se a atitude pioneira dos proprietários do domicílio em questão, constituindo como os primeiros a implantar a GD na cidade de Campos dos Goytacazes/ RJ. O aumento no número de instalações de ESFV conectados à rede faz com que haja uma diminuição na demanda por eletricidade da rede elétrica convencional e conseqüentemente, menor dependência das fontes hídricas e térmicas para geração energia.

O crescimento da GD constitui numa quebra de paradigma no sistema de distribuição de eletricidade, pois há uma mudança na relação entre consumidor e concessionária. As distribuidoras de energia elétrica precisam estar atentas às mudanças impostas pela GD e se adaptar ao novo tipo de cliente chamado prosumidor⁴.

Como futura pesquisa será realizada uma análise de retorno do investimento a partir da instalação de um sistema ESFV conectada a rede em outro domicílio na cidade de Campos dos Goytacazes/RJ.

⁴ No setor de distribuição de energia elétrica, o termo "prosumidor" consiste em um consumidor que é, ao mesmo tempo, um produtor de energia (VALOR, 2017).

Referências bibliográficas

ACKERMANN, T.; ANDERSSON, G.; SÖDER, L. Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research*, v. 57, n. __, p. 195-204. 2001.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Capacidade de geração do Brasil. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acessado em: 29 jun. 2018a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Relatórios de Consumo e Receita de Distribuição. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/relatorios-de-consumo-e-receita>>. Acessado em: 17 jun. 2018b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Brasil ultrapassa 5 mil conexões de micro e minigeração. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-5-mil-conexoes-de-micro-e-minigeracao/656877?inheritRedirect=false>. Acesso em: 30 set. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Nota técnica – altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Resolução normativa n. 687 de 24 de novembro de 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2015/026/documento/nota_tecnica_0017_2015_srd_-_anexo_i_-_minuta_resolucao.pdf>. Acessado em: 04 abr. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa n. 482 de 17 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acessado em: 20 mar. 2013.

AGÊNCIA SENADO. CI aprova isenção de impostos para painéis de energia solar. Disponível em: <<http://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2015/05/13/ci-aprova-isencao-de-impostos-para-paineis-de-energia-solar>>. Acessado em: 28 mar. 2017.

ANDRADE JÚNIOR, L. M.; MENDES, L. F. R. Microgeração fotovoltaica conectada à rede elétrica: considerações acerca de sua difusão e implantação no Brasil. *Vértices*, v. 16, n. 2, p. 31-51. 2016.

BARIN, A. *et al.* Seleção de fontes alternativas de geração distribuída utilizando uma análise multicriterial baseada no método AHP e na lógica Fuzzy. *Revista SBA Controle e Automação*, v. 21, n. 5, p. 477-486. 2010.

BRUCKNER, T. *et al.* Energy Systems. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge,

United Kingdom and New York, NY, USA. Disponível em: <http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter7.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2017.

CARTA CAPITAL. A seca já começou a afetar a economia. Disponível em: <<http://www.cartacapital.com.br/revista/835/a-seca-da-economia-4105.html>>. Acessado em: 24 mai. 2016.
CELESTINO, V.; JULIÃO, R. Modelagem conceitual para identificação de áreas com potencial para geração de energia por fonte renovável. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, v. __, n. 9, p. 65-89. 2016.

CICLO VIVO. Bairro solar na Alemanha produz quatro vezes mais energia do que consome. Disponível em: <http://ciclovivo.com.br/noticia/bairro_solar_na_alemanha_produz_quatro_vezes_mais_energia_do_que_consome>. Acessado em: 9 jun. 2015.

COGEN (Associação da Indústria de Cogeração de Energia). Conceitos e tecnologias. Disponível em: <<http://www.cogen.com.br/cogeracao/conceito-e-tecnologias>>. Acessado em: 14 fev. 2017.

DEUTSCHE WELLE. Termelétricas pesam no bolso do consumidor brasileiro. Disponível em: <<http://www.dw.com/pt-br/termel%C3%A9tricas-pesam-no-bolso-do-consumidor-brasileiro/a-18236852>>. Acessado em: 27 jun. 2008.

DOS SANTOS, I. E. *Manual de métodos e técnicas de pesquisa científica*. 9. ed. Niterói: Impetus, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2016 – ano base 2015. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acessado em: 07 fev. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Nota Técnica DEA 19/14: Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014.

ÉPOCA NEGÓCIOS. Fontes renováveis vão liderar crescimento energético até 2020. Disponível em: <<http://epocanegocios.globo.com/Caminhos-para-o-futuro/Energia/noticia/2015/10/fontes-renovaveis-vaoliderar-crescimento-energetico-ate-2020.html>>. Acesso em: 6 abr. 2017.

EXAME. Energia solar deve crescer 6 vezes no mundo. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/economia/energia-solar-deve-crescer-6-vezes-no-mundo/>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

FOLHA MAX. Microgeração de energia crescem 325% com isenção de ICMS. Disponível em: <www.folhamax.com.br/imprime.php?cid=87907&sid=9>. Acessado em: 03 jun. 2016.

FRONIUS. Technical data Fronius Galvo. Disponível em: <<http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-1E267E57->

F91D4AA8/fronius_international/SE_DOC_DBL_Fronius_Galvo_M06_0091_EN_292142_s_napshot.pdf>. Acessado em: 05 abr. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acessado em: 14 abr. 2017.

INSTITUTO DE ENERGIA DA PONTÍFICA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO (org.). Atlas Rio Solar – Atlas Solarimétrico do estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Ed. PUC-Rio, 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Deploying Renewables 2011: Best and Future Policy Practice - 2011. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/free_publications/publication/Deploying_Renewables2011.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2017.

LOPES, L. V. *Políticas de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica no Brasil*. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas), UNICAMP, 2011. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000852483&opt=1>>. Acesso em: 8 abr. 2017.

LORA, E. E. S.; HADDAD, J. (coord.). *Geração distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais*. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

MINISTÉRIO DE MINIAS E ENERGIA. Brasil lança Programa de geração distribuída com destaque para energia solar. Disponível em: http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030. Acessado em: 18 dez. 2015.

MINISTÉRIO DE MINIAS E ENERGIA. Programa Luz para Todos chegou a 15,6 milhões de brasileiros em 12 anos. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/11/programa-luz-para-todos-chegou-a-15-6-milhoes-de-brasileiros-em-12-anos>>. Acessado em: 07 fev. 2017.

NISKIER, J.; MACINTYRE, A.J.; COSTA, L.S (colaborador). *Instalações Elétricas*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

NOVA MATRIZ. Conheça o Global Solar Atlas, a Ferramenta que pode Alavancar a Geração Fotovoltaica no Mundo. Disponível em: <<http://www.novamatriz.com.br/conheca-global-solar-atlas-ferramenta-alavancar-geracao-fotovoltaica-mundo/>>. Acessado em: 10 fev. 2017.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. (org.). *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CEPEL/ CRESESB, 2014.

PINTO, J. T. M.; AMARAL, K. J.; JANISSEK, P. R. Deployment of photovoltaics in Brazil: Scenarios, perspectives and policies for low-income housing. *Solar Energy*, v. 133, n. __, p. 73–84. 2016.

RIFKIN, J. *A Terceira Revolução Industrial*. São Paulo: M. Books, 2012.

SIMAS, M. S. *Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada*. São Paulo, 2012. 220p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2012.

SOUZA, Z. J.; AZEVEDO, P.F. Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: um estudo a partir das usinas paulistas. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v.44, n.2, p. 179-199. 2006.

VALOR. Grandes elétricas investem em geração distribuída. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/empresas/4977360/grandes-eletricas-investem-em-geracao-distribuida>>. Acessado em: 24 mai. 2017.

VICTOR, D. G. *et al.* Chapter 1 – Introductory chapter. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. IPCC Working Group III Contribution to AR5. Cambridge University Press. Disponível em: <<http://pure.iiasa.ac.at/11123>>. Acesso em: 7 abr. 2017.

VILLALVA, M. G. *Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações*. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015. 224 p.

YERGIN, D. *A Busca*. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2014. 830 p.