

SISTEMAS CONECTADOS GRID-TIE ATRELADOS A SFV ALOCADOS A REALIDADE DE REDES INTELIGENTES NO BRASIL

Anna Clara do Prado Rosa¹, Rafael Neves Fassarella¹, Rafael de Paula Cosmo²

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica

² Doutorando em Engenharia Mecânica – Professor Multivix – Vitória

RESUMO

O presente estudo tem por objetivo analisar os sistemas conectados Grid-TIE, esclarecendo suas principais vantagens e desvantagens quando atrelados a sistemas fotovoltaicos (SFV) implantados em domicílios brasileiros. Foi realizada uma revisão bibliográfica, de base técnica descritivo-exploratória, a qual inclui a análise detalhada e crítica dos conteúdos ligados ao tema. Conclui-se que as principais vantagens de se implementar sistemas conectados Grid-TIE atrelados a SFV em domicílios brasileiros integrados a redes inteligentes são: 1) a energia excedente gerada no sistema pode ser repassada à rede por preceitos da ACL e da Portaria 538/2015, gerando créditos de energia ao consumidor junto ao regimentado no ACR e à Resolução Normativa (RN) 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel); 2) baixo custo operacional e alta confiabilidade no ponto de geração de eletricidade; 3) instalação facilitada. No que tange às desvantagens temos: 1) alto custo inicial de investimento; 2) possibilidade de geração de problemas na regulação da tensão; 3) em algumas localidades, as tecnologias Grid-TIE podem não conseguir integrar positivamente a energia elétrica excedente à rede, o que torna a exportação/venda/repasso da energia excedente inviável. Desse modo, somente em certas localidades do Brasil as vantagens de se implementar sistemas conectados Grid-TIE atrelados a SFV superaram suas desvantagens. Portanto, antes de ser iniciada a implementação de um sistema dessa natureza, é recomendada a realização de um minucioso estudo por profissional devidamente qualificado.

Palavras-chave: redes inteligentes, sistema Grid-TIE, sistema fotovoltaico (SFV), cogeração energética, instalações domiciliares brasileiras.

ABSTRACT

The present study aims to analyze the Grid-TIE connected systems, clarifying their main advantages and disadvantages when linked to photovoltaic systems (PVS) implemented in Brazilian households. A bibliographic review was carried out, with a descriptive-exploratory technical basis, which includes a detailed and critical analysis of the contents related to the theme. It is concluded that the main advantages of implementing Grid-TIE connected systems linked to SFV in Brazilian homes integrated with smart grids are: 1) the surplus energy generated in the system can be transferred to the grid according to ACL and Ordinance 538/2015, generating energy credits to the consumer with the regimented in the ACR and the Normative Resolution (RN) 482/2012 of the National Agency of Electric Energy (ANEEL); 2) low operating cost and high reliability at the point of electricity generation; 3) Easy installation. Regarding the disadvantages, we have: 1) high initial investment cost; 2) possibility of generating problems in voltage regulation; 3) in some locations, Grid-TIE technologies may not be able to positively integrate surplus electricity into the grid, which makes export/sale/transfer of surplus energy unfeasible. Thus, only in certain locations in Brazil the advantages of implementing Grid-TIE connected systems linked to SFV outweighed its disadvantages. Therefore, before starting the implementation of a system of this nature, it is recommended that a thorough study be carried out by a duly qualified professional.

Keywords: Smart grids, Grid-TIE system, photovoltaic system (PVS), energy cogeneration, Brazilian residential installations.

1. INTRODUÇÃO

As redes inteligentes já são uma realidade no Brasil, porém ainda pouco representativa no cenário energético nacional se comparado a países como a Alemanha. Para que esse tipo de sistema se desenvolva, é necessário compreender não somente suas características técnicas, mas também a regulação vigente.

Toledo (2012) e Pinto (2013) descrevem redes inteligentes de energia como sendo uma forma nova, mais inteligente e segura, de se distribuir energia elétrica por meio de ações interligadas entre todos os usuários da base energética nacional.

Sistemas conectados Grid-TIE constituem um importante elemento para a constituição das redes inteligentes. Trata-se de um tipo de inversor, majoritariamente utilizado em sistemas de geração solar de energia, porém sendo possível adaptar para qualquer tipo de microgeração de energia, onde o equipamento converte a corrente contínua (CC), gerada pelos painéis solares, em corrente alternada (CA), seja ela 127V ou 220V, utilizada no uso residencial.

Ao mesmo tempo, esse tipo de inversor pode fornecer a energia excedente para a rede elétrica da concessionária. Para isso, o equipamento possui um oscilador interno que sincroniza a frequência e a tensão da energia gerada com a energia fornecida pela rede, sendo capaz até de se desconectar automaticamente caso identifique baixa qualidade da energia devido a quedas, manutenções etc.

Uma rede inteligente se caracteriza por um fluxo bidirecional de informações e energia elétrica, o que permite que a energia, que é tradicionalmente gerada e distribuída de modo radial pela rede, possa também receber energia de unidades consumidoras locais. Isso viabiliza ao consumidor que dispõe de sistemas conectados, tal qual o Grid-TIE, deixar em alguns momentos de ser “cativo” do Ambiente de Contratação Regulada (ACR), e se tornar “ofertivo” no Ambiente de Contratação Livre (ACL).

Tal flexibilização é regulamentada pelas Resoluções Normativas (RNs) nº 414/2010, nº 482/2012 e nº 499/2012, e pelo Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (PROGD - Portaria 538/2015), no que tange a possibilidade de fornecer energia elétrica à rede (ANEEL, 2012a; ANEEL, 2012b; SANTOS, 2013). Esfera (2020) define bem essa modalidade:

O Ambiente de Contratação Regulada (ACR) é formado pelos consumidores cativos. Nele, a energia é comprada pelas distribuidoras por meio de leilões, e o preço é determinado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). O consumidor cativo é aquele que só pode comprar energia elétrica da concessionária responsável pela distribuição em sua região, naquele que é o modelo mais comum para residências e pequenas empresas ...[...]... O Ambiente de Contratação Livre (ACL) é aquele conhecido como o Mercado Livre de Energia. Neste ambiente de negociação, os consumidores negociam as condições de compra de energia elétrica diretamente com as geradoras ou comercializadoras.

Conforme argumentam Pereira e Oliveira (2011), Santos (2013), Santana-Rodriguez (2013), Lima (2017), Avellar (2018) e Esfera (2020), os sistemas conectados Grid-TIE são interessantes tanto ao consumidor quanto à sociedade e aos governos, devido ao fato de que:

- A energia resulta de uma base sustentável - auto renovável;
- A energia é consumida muito próximo do local onde é gerada, não necessitando ser transportada pela rede por longos trajetos, o que diminui, consideravelmente, a carga das redes elétricas de média e baixa tensão;
- A energia pode ser comprada pelo consumidor vide preceitos do ACR ou ACL;
- O excedente de energia local da Geração Distribuída (GD) pode ser repassado à rede, levando o local da GD a receber créditos em energia (kWh) que podem ser empregados para abater no consumo do ACR junto à concessionária em meses subsequentes;

- Sistemas conectados podem ser até 30% mais eficientes que sistemas isolados. Tais atos têm elevado, significativamente, o número de interessados e de instalações de sistemas conectados Grid-TIE, em todo o mundo.

Contudo, devemos levar em consideração que existem desvantagens nesse tipo de sistema, dentre eles, destacam-se:

- Alto custo inicial de investimento;
- Possibilidade de geração de problemas na regulação da tensão;
- Em algumas localidades as tecnologias Grid-TIE podem não conseguir integrar positivamente a energia elétrica excedente à rede, o que torna a exportação da energia excedente inviável;
- Possibilidade de comprometer a qualidade (oscilação) da energia da rede por necessitar de ajustes constantes;
- Probabilidade de problemas no que tange ferroressonância, ilhamento, interferência com religadores, dessensibilização de relés e desarmes automáticos por interferência.

Mesmo com as desvantagens apresentadas, os sistemas conectados Grid-TIE atrelados a sistemas fotovoltaicos (SFV) constituem um importante conjunto de tecnologias para o suprimento de energia em algumas cidades pelo mundo e no Brasil. De acordo com a Absolar (2021), em 2020 o Brasil foi o 9º país que mais instalou sistemas de geração solar no mundo, sendo a primeira vez que está entre os 10 maiores, evidenciando o potencial dessa tecnologia.

Diante do acima descrito, surgiu o problema de pesquisa: “os benefícios dos sistemas conectados Grid-TIE atrelados a Sistemas Fotovoltaicos (SFVCR) superam as desvantagens dos mesmos quando alocados a bases domiciliares brasileiras?”.

O objetivo do presente estudo foi analisar os sistemas conectados Grid-TIE, esclarecendo as principais vantagens e desvantagens deles quando atrelados

a SFV a serem implementados em domicílios brasileiros. A fim de enriquecer o estudo, foi somado ao mesmo os seguintes objetivos específicos: (1) compreender redes inteligentes; (2) analisar energia fotovoltaica; e (3) explicar sistemas conectados Grid-TIE.

Nesse contexto, a implementação em bases domiciliares brasileiras de sistemas conectados Grid-TIE atrelados a SFV pode ser um importante elemento propulsor da microgeração de energia no país. Contudo, à luz das normativas vigentes no Brasil e fatores regionais de cada localidade, há de se investigar se os benefícios e as vantagens oferecidas por essas tecnologias conseguem se sobrepor às desvantagens inerentes à sua utilização.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Captar a energia da luz do sol, convertê-la em energia elétrica, e adicioná-la à rede inteligente de distribuição, tornou-se uma atividade relativamente simples nos dias de hoje. Isso é devido ao desenvolvimento durante anos de técnicas e equipamentos, além de uma legislação que possibilite e incentive tal atividade, os quais precisam ser compreendidos a fim de que se possa avançar com a proposta deste trabalho.

2.1 REDE INTELIGENTE

Uma rede elétrica, basicamente, pode ser descrita como sendo um conjunto de instalações interconectadas disposta para fornecer eletricidade dos produtores aos consumidores. A mesma é formada por geradores de energia elétrica, linhas de transmissão de alta tensão, centros de demanda e linhas de distribuição (TOLEDO, 2012; SANTOS, 2013).

Assim como diversas outras categorias de empreendimento, uma rede elétrica deve se adaptar, ano após ano, a manter-se eficiente no que tange às demandas do mercado. Em se tratando das redes elétricas, isso é alcançado por meio do uso de técnicas de gerenciamento de rede, as quais podem se utilizar de tecnologias inovadoras, como é o caso das redes inteligentes ou Grid-TIE (PINTO, 2013; SANTOS, 2013; CAMARGO et al., 2016).

Um sistema conectado Grid-TIE basicamente pode ser descrito como sendo um conjunto de redes inteligentes que conecta à rede energética às bases renováveis de energia. Tais bases podem ser decorrentes da queima do gás natural (térmica), do aproveitamento do deslocamento das massas de ar (eólica) e da energia advinda do sol (fotovoltaica). Essas usinas de energia podem variar de pequenos sistemas domiciliares e comerciais espalhados, até grandes geradoras concentradas, viabilizando que o local da Geração Distribuída (GD) possa fornecer energia elétrica excedente aos demais usuários ligados à rede.

Vale lembrar que, de um modo amplo, pode ser dito que a Grid-TIE é um aprimoramento da rede elétrica do século XXI, em que se busca enfrentar problemas energéticos de demanda não com uma maior produção energética, mas com uma melhor gestão de dados e dos recursos disponíveis. Isso é possível em virtude da comunicação bidirecional integrada a dispositivos inteligentes, o que eleva a “flexibilidade” das fontes na rede elétrica, permitindo que as mesmas sejam centralizadas e descentralizadas quando necessário (BELISÁRIO, 2011; TOLEDO, 2012; OĞZ, Y.; ÖZSOY, 2015).

A implantação do referido sistema dispõe de amparo legal, sendo regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) por meio da resolução normativa nº 482 de 2012. O Governo Federal, por meio do Ministério de Minas e Energia, criou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (PROGD), com os seguintes objetivos e abrangência (Brasil, 2015, p. 1):

Art. 1º Cria o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica - PROGD, com os seguintes objetivos:

I - Promover a ampliação da geração distribuída de energia elétrica, com base em fontes renováveis e cogeração;

II - Incentivar a implantação de geração distribuída em:

a) edificações públicas, tais como escolas, universidades e hospitais; e

b) edificações comerciais, industriais e residenciais.

Art. 2º O PROGD compreende a geração distribuída dos sistemas elencados a seguir:

I - Geração distribuída de que trata o art. 2º, § 8º, alínea "a", da Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, observado o disposto nos arts. 14, 15, §§ 3º e 4º, do Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004; e

II - Microgeração e minigeração distribuída, definida conforme regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

Importante enfatizar que os sistemas conectados Grid-TIE mais interessantes para bases domiciliares brasileiras que buscam operar no ACL, vide preceitos da RN nº 414/2010, nº 482/2012 e nº 499/2012 e PROGD (Portaria 538/2015), são os que seguem “atrelados” a um sistema fotovoltaico (SFV). Alguns dos motivos já foram evidenciados, mas o grande destaque fica por conta do elevado potencial de insolação que detém a ampla maioria das regiões do país (BRASIL, 2015), como pode ser identificado na Figura 1.

A Tabela 1 sumariza os dados climáticos acerca da irradiação solar diária e da temperatura média do ar de 20 cidades brasileiras. Os dados têm como base as informações da Agência Espacial Americana (Nasa), porém foram coletados de modo direto do software RETScreen (CRUZ, 2016).

Quando a rede inteligente segue conectada a um SF, passa a mesma a ser denominada como Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR/Grid-TIE) (BELISÁRIO, 2011; TOLEDO, 2012; SANTOS, 2013; PINTO, 2013). Desse modo, essa associação permite não somente elevar a funcionalidade de uma rede inteligente, mas também ampliar o uso de fontes renováveis, especialmente a fotovoltaica. Evidentemente, devido à maior oferta e à melhor gestão, também se alcança uma maior disponibilidade de energia elétrica.

Figura 1 – Potencial de geração de energia solar do Brasil.



Fonte: Cruz (2016, p. 118).

Tabela 1 – Dados climáticos e irradiação solar no Brasil.

Cidades- representativas	Latitude	Longitude	Irradiação solar diária - horizontal	Irradiação solar diária - inclinada	Temperatura do ar
	(°)	(°)	(kWh/m ² /d)*	(kWh/m ² /d)*	(°C)*
Belo Horizonte	-19,85	-43,95	4,34	4,47	22,33
Belém	-1,38	-48,48	5,05	5,02	26,68
Boa Vista	2,83	-60,70	5,00	4,85	28,34
Bom Jesus da Lapa	-13,25	-43,44	5,73	5,84	25,47
Brasília	-15,79	-47,88	5,34	5,53	23,81
Campo Grande	-20,47	-54,67	5,10	5,24	24,51
Cuiabá	-15,65	-56,10	5,09	5,16	26,91
Curitiba	-25,52	-49,17	4,31	4,43	17,51
Florianópolis	-27,67	-48,55	4,24	4,36	20,99
Fortaleza	-3,78	-38,53	5,84	5,78	27,41
Jacareacanga	-6,27	-57,66	4,75	4,77	26,93
Manaus	-3,15	-59,98	4,61	4,59	27,24
Petrolina	-9,38	-40,51	5,72	5,70	25,89
Porto Nacional	-10,72	-48,58	5,03	5,11	25,59
Porto Velho	-8,77	-63,92	4,56	4,59	26,43
Recife	-8,07	-34,85	5,89	5,78	27,52
Rio de Janeiro	-22,92	-43,17	4,49	4,65	23,72
Salvador	-13,02	-38,52	5,27	5,17	24,84
Santa Maria	-29,69	-53,83	4,54	4,67	19,86
São Paulo	-23,62	-46,65	3,96	4,05	20,05
Média			4,94	4,99	24,60

Fonte: Cruz (2016, p. 51).

2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia fotovoltaica pode ser considerada a mais comum dentre os métodos de geração elétrica renováveis em ambientes residenciais. Tal fato é devido tanto às vantagens de instalação e operação quanto às características específicas desse tipo de geração, como:

- Sua operação não gera nenhuma poluição, ou seja, é sustentável;
- Não libera gases de efeito estufa;
- Uma vez instalado o SFV, é possível se deter de uma escalabilidade simples em relação às necessidades de energia a cada usuário;

- O silício, necessário ao sistema, tem grande disponibilidade na crosta terrestre.

Fatos que explicam o porquê o SFV, conectado via Grid-TIE ou desconectado à rede (SFVDR), vem sendo cada vez mais utilizado com o passar dos anos, seja em aplicações industriais ou em instalações domésticas em todo o mundo (SANTOS, 2013; CAMARGO et al., 2016).

Em 2012, estudos indicavam que os SFV contribuíam com cerca de 1% para a geração de eletricidade em todo o mundo, sendo que os maiores instaladores de SFV residenciais, em termos de capacidade, eram a China, o Japão e os Estados Unidos, enquanto a metade da capacidade mundial estava instalada na Europa, com Alemanha e Itália fornecendo 7% a 8% do seu respectivo consumo de eletricidade solar.

Segundo a Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA), no ano de 2013 a capacidade instalada de energia fotovoltaica (FV) equivalia a aproximadamente 137 gigawatts (GW), porém, desde o fim 2015, observou-se um rápido crescimento do mercado global de SFV, de modo que em 2016 a capacidade instalada já ultrapassava a marca dos 200GW, cerca de 40 vezes maior que a capacidade instalada de 2006 (CAMARGO et al., 2016), sendo que em 2019 a geração fotovoltaica alcançou, em escala global, aproximadamente 700GW de capacidade instalada (IRENA, 2020).

Santos (2013) destaca que nos últimos anos os SFV de uso doméstico ganharam “terreno”, o que, em parte, decorre de quatro pontos principais:

- Aumento do apelo e divulgação em prol da sustentabilidade - o que fez elevar a preocupação da população com a aquisição de medidas para preservar o meio ambiente, que, por sua vez, favoreceu a divulgação, aquisição e instalação de fontes alternativas de energia;
- Avanços tecnológicos – os quais fizeram aumentar a escala de fabricação de SFV a menores custos, o que levou esses a se tornarem cada vez mais baratos e, por consequência, mais acessíveis a população;

- Vantagem financeira – um SFV doméstico de telhado pode recuperar a energia investida para sua fabricação e instalação dentro de 0,7 a 2 anos e produz cerca de 95% da energia limpa renovável limpa ao longo de uma vida útil de 30 anos.
- Elevação da confiabilidade - com o passar dos anos e com o aumento do número de SFV instalados se elevou a confiabilidade em sua segurança e eficiência.

Ainda segundo Santos (2013), à medida que os itens 1, 2 e 3, acima citados, se fixaram junto às sociedades, diversos países pelo mundo, incluindo o Brasil, deram início à disposição de incentivos financeiros, em tributações e tarifas a empresas, organizações e unidades domésticas que se utilizem de SFV de alimentação elétrica, fato que instigou ainda mais a busca por se utilizar os mesmos.

Atualmente, a Agência Internacional de Energia espera que a energia solar se torne a maior fonte de eletricidade do mundo até 2050, com a energia solar fotovoltaica e a solar térmica concentrada contribuindo com 16% e 11% para a demanda global, respectivamente (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

2.3 REDE INTELIGENTE CONECTADA (SFV/GRID-TIE): MATERIAIS, CONEXÕES E COMPONENTES

Um sistema fotovoltaico (SFV) é um sistema de energia projetado para fornecer eletricidade por meio de células fotovoltaicas. No que se refere à construção, seja conectado à rede (SFVCR/Grid-TIE) ou sem conexão com a rede (SFVDR), é importante notar que o silício cristalino é o material predominante usado em 90% dos módulos solares produzidos em todo o mundo, enquanto os outros tipos de construção vêm perdendo, mais e mais, participação no mercado (BANYERES, 2012).

Villalva e Gazoli (2012) ressaltam ainda que cerca de 70% de todas as células solares e módulos FV são produzidos na China e Taiwan, sendo que a capacidade instalada de SFV tanto para pequenos sistemas de telhado como

para grandes usinas de energia solar está crescendo rapidamente, e em partes iguais, em todo o mundo.

Da mesma forma, os autores informam que, impulsionado por avanços na tecnologia e aumentos na escala de fabricação e sofisticação, o custo da energia FV está em declínio contínuo, ao mesmo tempo que a eficiência de conversão de um módulo solar convencional aumentou de 15 para 20% nos últimos 10 anos.

Ademais, o custo nivelado da eletricidade proveniente de sistemas fotovoltaicos de grande escala tornou-se competitivo quando comparados a fontes convencionais de eletricidade em uma lista crescente de regiões, atualmente em cerca de 30 países diferentes (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

De modo simples, pode-se afirmar que um SFV, seja SFVCR/Grid-TIE ou SFVDR, abrange, em seu esquema de funcionamento, o arranjo de várias conexões e componentes, o que, basicamente, inclui: 1) cabos e painéis solares a absorver e converter luz solar em eletricidade; 2) inversores de frequência para converter a corrente elétrica de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA); 3) unidade de condicionamento de energia, e 4) equipamento de ligação à rede (BANYERES, 2012; MENDEZ-MUÑIZ; CUERVO GARCIA, 2012).

É interessante destacar que os SFV, sejam SFVCR/Grid-TIE ou SFVDR, podem variar de pequenos sistemas montados nos telhados, construídos com capacidade de algumas a várias dezenas de quilowatts, a SFV mais robustos, alocados em grandes centrais elétricas, destinados a dispor centenas de megawatts (OĞZ, Y.; ÖZSOY, 2015; LOPEZ-SANTOS et al., 2016; LIMA et al., 2017).

Cabe também ser lembrado que em SFVCR/Grid-TIE, além dos componentes referenciados, faz-se necessário o uso de acessórios elétricos a configurar o “trabalho” do sistema. Referidos pesquisadores ditam também que em um SFVCR/Grid-TIE pode ser imprescindível seguir integrado um sistema de rastreamento solar a melhorar o desempenho geral do mesmo, o que leva o

projeto desse a evitar a necessidade de definir o arranjo a alocar uma bateria integrada (MENDEZ-MUÑIZ; CUERVO, 2012).

3. METODOLOGIA E MÉTODO DA PESQUISA

O presente estudo é de base técnica descritivo-exploratória, tendo como metodologia a revisão sistemática de literatura de estudos envoltos ao tema “sistemas conectados Grid-TIE atrelados a SFV alocados a realidade de redes inteligentes no Brasil”, o que incluiu análise crítica, interpretação literária e compreensão de textos.

Todo o material passou por uma previa seleção de conteúdo, o que permitiu uma separação detalhada do que seria aproveitado, o que viabilizou que o material selecionado se tornasse base segura para a produção do estudo em si.

O levantamento e a extração disposta aos livros se deram via coleta desses em bibliotecas de usabilidade pública; o levantamento e extração dos artigos e periódicos se deu junto a banco de dados de websites como Scientific Electronic Library (Scielo); o levantamento e extração de conteúdos de cunho científico e anais se deu junto a bases web de pesquisa, tais como Google Acadêmico. As palavras-chave empregadas para busca foram: redes inteligentes; sistema Grid-TIE; sistema fotovoltaico (SFV); cogeração energética; instalações domiciliares brasileiras.

Para seleção dos conteúdos, foi preparada a avaliação de todos os títulos e resumos dos estudos identificados, sendo disposto sob esses os seguintes critérios booleanos, de inclusão e exclusão, a elencar a eletividade dos mesmos: (1) os conteúdos eram publicações nacionais e internacionais de cunho científico; (2) os conteúdos estavam completos nas bases de pesquisa; (3) os conteúdos foram publicados entre 2011 e 2021; (4) foram excluídos conteúdos na forma de editoriais e carta; (5) os conteúdos detinham bases textuais com entendimentos relacionados SFVCR/Grid-TIE; e (6) a linha de pesquisa dos conteúdos seguia focada, mesmo que em parte, nas principais vantagens e desvantagens dos SFVCR/Grid-TIE, quando atrelados a SFV a serem implementados em domicílios brasileiros.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram identificados 1.972 conteúdos. Após a seleção por título e resumos disponíveis, permaneceram 406. Desses, 206 foram excluídos por serem publicações do tipo editoriais, cartas ou por não possuírem relação clara com o objetivo desejado. Ao fim, seguiram para leitura integral 17 conteúdos. Desses, somente seis foram selecionados a integrar a discussão do estudo em si.

Dentre os conteúdos selecionados, foi ressaltado que, segundo Aneel (2021), a Resolução Normativa (RN) 482/2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), dita as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Assim, em linhas gerais, pode-se apontar que a RN 482/12 estabelece as regras para esse sistema de “compensação de energia” (também denominado de “créditos de energia” ou “lei de incentivo a energia solar”). Ou seja, como avaliado anteriormente, a referida RN permite que “consumidores cativos” vendam energia elétrica excedente gerada por um SFVCR/Grid-TIE às concessionárias de energia (distribuidoras) operantes no país.

A própria Aneel fornece em seu site um passo a passo que os interessados devem seguir caso tenham interesse em instalar um SFVCR/Grid-TIE em sua residência, tal recurso é representado pela Figura 2.

Vale lembrar que, mesmo com o crescimento dos SFVs, praticamente todos os domicílios e bases comerciais no Brasil ainda têm 100% de sua eletricidade fornecida pelas concessionárias de energia (distribuidoras). No entanto, os proprietários que decidirem instalar SFVCR/Grid-TIE em seus imóveis podem aderir ao sistema de créditos da RN 482/12 e, assim, passar a “vender” a energia elétrica excedente, de seu SFVCR/Grid-TIE, às concessionárias de energia.

Figura 2 – Passo-a-passo junto à concessionária de energia a instalar/conectar o SFVCR/Grid-TIE à base domiciliar.



Fonte: ANEEL (2021, p. 1).

Sob tal foco, cabe destacar que existem diversas informações no sistema de créditos da RN 482/12 que podem deter “peso” no “julgamento” do proprietário de um SFV em conectar ou não o mesmo à rede Grid-TIE, como ICMS, PIS e Cofins.

Em tal conteúdo, é fundamental ter o entendimento de que em 2015 o Conselho Nacional da Política Fazendária - Ministério da Fazenda (Confaz), por meio do ajuste Sistema Nacional Integrado de Informações Econômico-Fiscais (SINIEF) 2, de 22 de abril de 2015, revogou o convênio que orientava a tributação da energia injetada na rede, permitindo que cada Estado decida se tributa ou não a energia solar, de SFV, inserido na rede inteligente (Grid-TIE). Podemos ainda ressaltar que no ano de 2020 a geração era isenta de ICMS em todos os estados brasileiros.

Da mesma forma, o Governo Federal, por meio da Lei nº 13.169, artigo 8º, isenta de cobrança do PIS e Cofins à energia solar inserido na rede por SFVCR/Grid-TIE, bem como nos “créditos de energia” dispostos a ela. Essa

isenção é válida, segundo a lei, inclusive para energia gerada em local diferente de onde será consumida, desde que pertença ao mesmo titular.

Cabe atentar também que em muitos casos nas distribuidoras de energia existe uma “tarifa de pico”, um horário do dia em que a tarifa cobrada pela energia é maior. Sendo assim, para que haja compensação nesses casos, a geração por SFV fora do horário de pico deve ser proporcional ao aumento na tarifa no horário de pico. Por exemplo, se a tarifa no horário de pico for cinco vezes maior que o valor convencional, deve-se gerar cinco vezes mais energia que a consumida nesse horário para que seja compensada. Portanto, se foi consumido 100kwh durante o horário de pico, deve ser gerado 500kwh fora dele para que haja compensação.

É interessante também indicar que no caso de grandes consumidores de energia elétrica, como indústrias, a resolução 482/2012 da Aneel estabelece que SFV, conectados ou não à rede, devem deter potência similar à demanda contratada, visto que segue a esses vetada a venda de energia excedente à rede. Ou seja, se o consumidor é de grande porte e possui uma demanda de 800kW, seu gerador de energia solar não deve dispor de potência maior que 800kWp, visto que o excedente gerado não poderá ser vendido (gerar crédito) à rede.

Já para pequenos consumidores (residências/domicílios e pequenos comércios), a RN 482/2012 da Aneel dita que potência maior que a demanda pode ser vendida/repassada à rede. Contudo, tais consumidores devem deter SFVCR/Grid-TIE de no máximo 5.000kWp (aproximadamente 35.000 m² de painéis solares), o que acaba limitando a produção excedente de energia para venda (geração de crédito) na rede.

A energia gerada a mais pelo SFVCR/Grid-TIE que é disposto na rede (geração distribuída – GD) é entendida como “emprestada” à concessionária (distribuidora) de energia, a qual gerará o já indicado crédito de energia ao consumidor cativo, tendo esse crédito de energia a validade de 60 meses a ser utilizado no abatimento de contas de energia.

Créditos de energia que não forem compensados no local principal indicado pelo contratante passivo podem ser empregados no abatimento de contas de outros endereços, desde que o titular cadastrado (CPF ou CNPJ) para cobrança do endereço seja o mesmo, o que vale tanto para Pessoas Físicas (PF) como para Pessoas Jurídicas (PJ).

Segundo Santana-Rodriguez et al. (2013) e Lima et al. (2017), de um modo amplo e simplista pode-se considerar que as principais vantagens de sistemas fotovoltaicos SFVCR/Grid-TIE para consumidores cativos são:

- A energia excedente gerada pode ser repassada à rede, gerando créditos de energia ao mesmo;
- Baixo custo operacional e alta confiabilidade no ponto de geração de eletricidade;
- Os SFVCR/Grid-TIE são relativamente mais fáceis de instalar, pois não exigem um sistema de bateria integrado;
- A integração do SFVCR detém vantagem de se utilizar efetivamente de toda carga gerada, não dispendo perdas envolvidas com armazenamento;
- Mesmo que o sol nem sempre brilhe, qualquer instalação SFVCR/Grid-TIE cede uma redução média razoavelmente previsível no consumo elétrico, gerando retorno financeiro no custo do mesmo.

Por outro lado, Lopez-Santos et al. (2017) e Lima et al. (2017) demonstram que o sistema de geração solar atrelado ao Grid-TIE também apresenta desvantagens, que são:

- Pode causar problemas com a regulação de tensão;
- A grade tradicional opera sob a suposição de fluxo unidirecional ou radial, mas a eletricidade injetada na rede aumenta a voltagem e pode levar a níveis fora da largura de banda aceitável de $\pm 5\%$;
- Alto custo inicial de investimento;

- Em algumas localidades as tecnologias Grid-TIE não conseguem lidar com a geração de energia distribuída na rede, o que torna a exportação de eletricidade excedente impossível, tendo o excedente de ser aterrado;
- O mesmo pode comprometer a qualidade da energia, visto que a “natureza” da energia FV gerada é intermitente, dispendo mudanças rápidas na voltagem, o que desgasta os reguladores de tensão, devido a necessidade de ajuste frequente, e gera oscilação de tensão;
- Desafios relacionados à proteção e ao ilhamento, vide o SFVCR/Grid-TIE, e dessensibilização de relés, desarme, interferência com religadores automáticos e ferroressonância.

5. CONCLUSÃO

Conforme o apelo pela utilização de fontes de energia renováveis no mundo cresce, a geração fotovoltaica atrelado a Grid-TIE ganha cada vez mais espaço como fonte de energia. No Brasil não é diferente, visto que em 2020, segundo a Absolar (2020), entramos no top 10 países que mais instalaram energia solar no mundo.

Fato esse devido, principalmente, à queda no custo de implantação e a vários incentivos fiscais fornecidos pelo Governo Federal e alguns Governos Estaduais, tais como isenção de ICMS e PIS/Cofins, implantados partir de 2015, causando um crescimento exponencial de instalação de SFVs.

Ao mesmo tempo, o Brasil ainda tem desafios a superar para que tal tipo de geração seja mais comum na nossa realidade. Podemos destacar que seu custo de implantação, mesmo que caindo ano após ano, ainda é proibitivo para a grande maioria da população, enquanto em muitas áreas a qualidade do fornecimento de energia pelas concessionárias é ruim, de forma que a implantação de um sistema de geração SFVCR/Grid-TIE pode ser impossível.

Tendo em vista o exposto, conclui-se que hoje, no Brasil, na maioria dos casos, a implantação de um sistema de geração solar atrelado a Grid-TIE será vantajosa. Porém é necessário a avaliação de um profissional habilitado para

que haja uma análise “caso a caso” da situação, visto os problemas acima mencionados que devem ser levados em consideração.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR (São Paulo). Brasil entra no top 10 de países que mais instalaram energia solar em 2020. In: ABSOLAR (São Paulo). **Brasil entra no top 10 de países que mais instalaram energia solar em 2020**. São Paulo, 26 maio 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/brasil-entra-no-top-10-de-paises-que-mais-instalaram-energia-solar-em-2020-2/>. Acesso em: 26/10/2021.
- ADALBO, R. **Energia solar para produção e eletricidade**. 1º Ed. São Paulo: Artliber, 2012.
- ANEEL. **RN 482/ 2012**. Publicada 17/04/2012a. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&participacaopublica_WAR_participacaopublica_portlet_idDocumento=38561&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp. Acesso 27/05/2021.
- ANEEL. **RN 414/ 2010**. Atualiza em 2012b. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/REN_414_2010_atual REN_4_99_2012.pdf/d299b3a0-ad4a-4c68-a280-6891e10b4465. Acesso 27/05/2021.
- ANNEEL. **Informações técnicas**. S/ d. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas>. Acesso 30/08/2021.
- BANYERES, L. J. **Geração de energia solar fotovoltaica**. 1º Ed. São Paulo: Marcombo, 2012.
- BELISÁRIO, R. **Brasil inova nas redes elétricas inteligentes**. Cienc. Cult. 2011; vol.63(1). Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext HYPERLINK "http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252011000100003"& HYPERLINK "http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252011000100003"pid=S0009-67252011000100003. Acesso 13/11/2021.
- BRASIL. **Portaria nº 538/2015**. Publicado 15/12/2015. Disponível em: <https://www1.satrix.com.br/satrix/arquivos/aneel-portari-538-1-progd-15122015.pdf>. Acesso 28/05/2021
- CAMARGO, J. R. *et al.* **Sistemas Fotovoltaicos: Conceitos, inovação e aplicações**. 1º Ed. São Paulo: Cabral editora universitária, 2016.
- CRUZ, T. B. **Análise do potencial de inserção de energia solar térmica para aquecimento de água em residências unifamiliares no Brasil**. Dissertação [Mestrado em Planejamento Energético]. Rio de Janeiro: COPPE_UFRJ, 2016. 188f. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Talita_Borges_Cruz.pdf. Acesso 27/05/2021.
- ESFERA. **Entenda as diferenças entre ACR e ACL na compra de energia**. Publicado 19/10/2020. Disponível em: <https://esferaenergia.com.br/blog/acr-e-acl/>. Acesso 27/05/2021.
- IRENA (Abu Dhabi). **Renewable capacity statistics 2020. Renewable capacity statistics**, Abu Dhabi, ano 2020, 2020. DOI ISBN 978-92-9260-239-0. Disponível em: <https://irena.org/publications/2020/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2020>. Acesso em: 12/11/2021.

- LIMA, L. C. *et al.* Performance analysis of a grid connected photovoltaic system in northeastern Brazil. **Energy for Sustainable Development**. 2017; vol. 37: 79–85.
- LOPEZ-SANTOS, O. *et al.* **Operation of a Photovoltaic Microinverter as Active Power Filter using the single phase P-Q Theory and Sliding Mode Control**. **Ingeniería**. 2016; Vol. 22 (2). Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas. Publicado 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/318240659> Operation of a Photovoltaic Microinverter as Active Power Filter using the single phase P-Q Theory and Sliding Mode Control. Acesso 13/11/2021.
- MARTINS, H. **Novas regras da ANEEL para geração doméstica de energia elétrica solar**. Publicado 2015. Disponível em: <http://solarenergy.com.br/2016/03/novas-regras-aneel-geracao-domestica-energia-solar/>. Acesso 27/05/2021.
- MENDEZ-MUNIZ, J. M.; CUERVO GARCIA, R. **Energia solar fotovoltaica**. 7º Ed. São Paulo: FC Editorial, 2012.
- OĞZ, Y.; ÖZSOY, M. F. **Sizing, design, and installation of an isolated wind-photovoltaic hybrid power system with battery storage for laboratory general illumination in Afyonkarahisar**, Africa do Sul. 2015; Vol.26 (4). Publicado 2015. Disponível em: http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext HYPERLINK "http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1021-447X2015000400007"& HYPERLINK "http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1021-447X2015000400007"pid=S1021-447X2015000400007. Acesso em 13/11/2021.
- PEREIRA, F. A. S.; OLIVEIRA, M. A. S. **Laboratório de energia solar fotovoltaica**. São Paulo: Piblindustria, 2011.
- PINTO, M. O. **Energia elétrica: geração, transmissão e sistemas interligados**. 1º Ed. São Paulo: LTC, 2013.
- SANTANA-RODRIGUEZ, G. *et al.* **Evaluation of a grid-connected photovoltaic system and in-situ characterization of photovoltaic modules under the environmental conditions of Mexico City**. *Revista Mexicana de Física*. 2013; vol. 59: 88–94 MARCH–APRIL 2013. Publicado 2013. Disponível em: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmf/v59n2/v59n2a12.pdf>. Acesso 13/11/2021
- SANTOS, M. A. **Fontes de energia renovável**. 1º Ed. São Paulo: LTC, 2013.
- TOLEDO, F. **Desvendando as redes elétricas inteligentes: smart grid handbook**. 1º Ed. São Paulo: Brasport, 2012.
- VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações - sistemas isolados e conectados à Rede**. 2º Ed. São Paulo: Érica, 2014.