

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE PARA RESIDÊNCIAS COM BAIXO CONSUMO MENSAL

Crissiane Alves Ancines – ancines@mecanica.ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica

Lucas Della Mea Soares - lucas.dmea@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Engenharia Mecânica

Letícia Jenisch Rodrigues – leticia.jenisch@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica

Resumo. O Projeto de Lei do Senado nº 224, de 2015, atualmente em tramitação, prevê a alteração da Lei nº 11.977/2009, para obrigar a instalação de equipamentos destinados à geração fotovoltaica no âmbito do programa minha casa, minha vida. De acordo com o projeto, a energia elétrica gerada poderá ser injetada, total ou parcialmente, na rede elétrica das concessionárias e permissionárias de distribuição de energia. Além disso, a aquisição do sistema será sem ônus para usuário. Entretanto, em contrapartida, a Lei 12.212/2010 também será alterada, excluindo os beneficiários, das unidades consumidoras com SFCR, da Tarifa Social de Energia Elétrica. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo simular um sistema de geração compacto, composto por dois módulos fotovoltaicos e um microinversor, em quatro cidades brasileiras, visando quantificar o quanto o sistema seria capaz de produzir. Assume-se que as residências têm um consumo médio de 100 kWh por mês, padrão bifásico. O software utilizado foi o RETScreen Expert, versão demo, disponível gratuitamente na internet. Os resultados obtidos demonstram que, ao longo de um ano, todos os sistemas injetariam energia excedente na rede da concessionária, à qual estão conectados, e os consumidores pagariam o equivalente ao somatório das taxas mínimas mensais.

Palavras-chave: Residências do programa minha casa, minha vida, Tarifa social de energia elétrica, Sistema fotovoltaico conectado à rede.

7.2. Impactos Sociais, Econômicos e Ambientais de Energias Renováveis

1. INTRODUÇÃO

Com uma maior visibilidade mundial, a energia solar como fonte de produção de energia elétrica vem se tornando de grande importância na matriz energética. Segundo Pereira (2017), a geração fotovoltaica de energia elétrica tem um grande potencial no Brasil, conforme se observa na Fig. 1. No local menos ensolarado do Brasil, é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha, por exemplo. O mapa mostra o rendimento energético anual máximo (medido em kWh de energia elétrica fornecida por ano para cada kW de potência fotovoltaica instalada) em todo o território nacional, tanto para usinas de grande porte centralizadas e instaladas em solo, quanto para a produção fotovoltaica distribuída integrada em telhados e coberturas de edificações. Esses valores são baseados numa taxa de desempenho médio anual de 80%. A concentração populacional também é mostrada, através dos círculos azuis espalhados pelo território brasileiro.

De acordo com Pereira (2017), sistemas fotovoltaicos não tem peças móveis, são de manutenção mínima, não produzem ruídos ou qualquer tipo de poluição, e utilizam a energia praticamente inesgotável do Sol. Sua integração às edificações e conexão à rede de distribuição elétrica vêm crescendo em importância e em aplicação em todo o mundo. No Brasil, somente em 2012 a agência reguladora Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabeleceu as regras e a regulamentação para a, assim chamada, micro e a minigeração (ANEEL, 2017a). Pesquisas na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) identificaram situações em que módulos solares fotovoltaicos, utilizados como materiais de revestimento de prédios de escritório, podem se justificar economicamente pelo custo evitado na substituição de materiais de revestimento de fachadas como vidro, granito ou ACM (*aluminum composite material*). Atualmente, esses tipos de pesquisas, e investimentos, para fomentar a implementação desses sistemas fotovoltaicos tem crescido, mas ainda é pouco considerando a disponibilidade que o Brasil tem dessa fonte (Pereira, 2017).

Diversos fatores depõem favoravelmente à energia solar fotovoltaica, um deles é o alto rendimento energético por hectare, podendo ser cinco vezes maior que a eólica e dez vezes maior que a cana-de-açúcar. Além disso, painéis fotovoltaicos (FV) são silenciosos, modulares, utilizam combustível gratuito e possuem baixo custo operacional e de manutenção. No entanto, dois grandes desafios necessitam ser vencidos para que a energia solar fotovoltaica atinja todo o seu potencial: o custo de geração e de armazenamento da energia necessitam ser menores que os custos de combustíveis fósseis (Ely e Swart, 2014).

O custo na aquisição dos equipamentos é a principal causa do elevado preço da energia elétrica gerada por painéis FV. Mas, segundo Tolmasquim (2014), estimativas apontam no sentido da diminuição dos custos de instalação dos sistemas fotovoltaicos para os seguimentos residencial, comercial e planta centralizada, em 48,70%, 46,3% e 54,8%, respectivamente, até 2020.

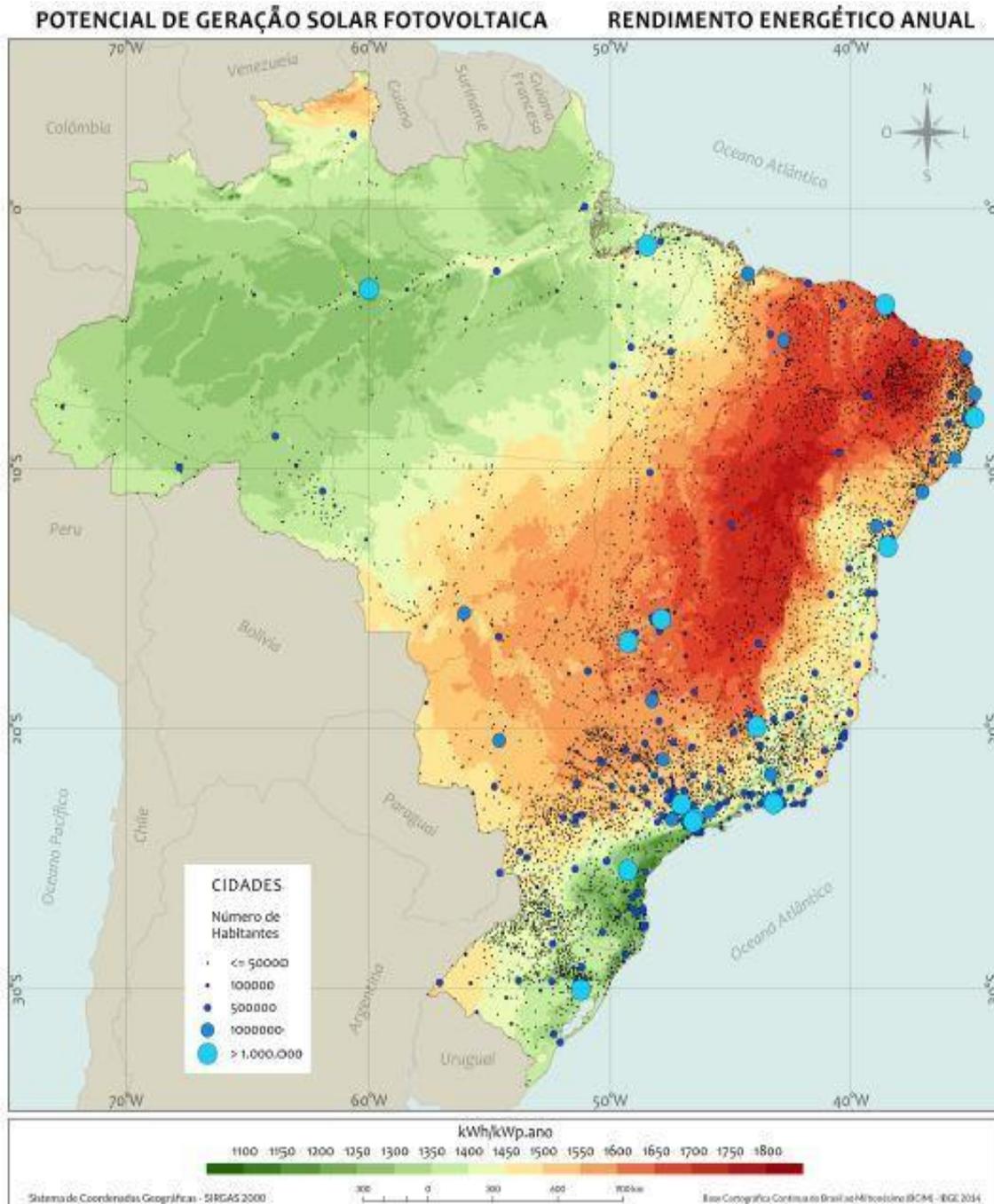


Figura 1 - Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para todo o Brasil (Pereira, 2017).

As aplicações dos sistemas fotovoltaicos podem ser classificadas conforme a Fig. 2. Os sistemas fotovoltaicos isolados (SFI) são normalmente instalados em locais sem acesso à rede elétrica e necessitam de um elemento armazenador de energia. Já os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCRs) são vistos como uma forma de geração distribuída (GD) ao longo dos alimentadores da rede elétrica de distribuição, em baixa ou média tensão, e contribuem para disponibilizar a energia próximo ao ponto de consumo (Junior, 2010).

Diversos países se destacam na aplicação de tecnologias SFCRs adotando programas de incentivo, seja subsidiando a aquisição dos sistemas FV, remunerando atrativamente a energia fotogerada ou ambas as situações. No Brasil, ainda existem poucos SFCRs, e a grande maioria está instalada em universidades e centros de pesquisa, o que evidencia o

caráter de prospecção dos benefícios e da viabilidade desta tecnologia (Junior, 2010). Aos poucos o país vem buscando um cenário diferente desse, com programas de incentivo ao uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

Nesse ano de 2017, segundo a Agência Brasil (AB, 2017), foi informado pelo Ministro das Cidades que, em breve, será lançada a portaria que prevê a instalação de energia solar nos imóveis do programa minha casa, minha vida (MCMV). De acordo com o estudo realizado, o custo das moradias não sofrerá alteração com a implantação dos sistemas, que serão instalados no telhado das edificações. A implementação de energia solar fotovoltaica no programa foi proposta pela Fiesp em dezembro do ano passado e é resultado de um protocolo de intenções entre a entidade e os ministérios das Cidades e do Trabalho (AB, 2017). O sistema seria constituído de dois módulos FV e um microinversor. Segundo Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar, 2017), o beneficiário consumidor da Faixa 1 do programa, que tem consumo na faixa de 100 kWh por mês de energia elétrica, poderia reduzir em até 70% os gastos com energia elétrica.

Não obstante, o Projeto de Lei do Senado nº 224, de 2015, atualmente em tramitação, prevê a alteração da Lei nº 11.977, de 7 de julho de 2009, para obrigar a instalação, no âmbito do programa MCMV, de equipamentos para geração fotovoltaica de energia elétrica, sem ônus para os beneficiários (Brasil, 2017a). A energia elétrica gerada pela unidade habitacional pode ser utilizada para uso próprio ou injeção, total ou parcial na rede, desde que: “I – a geração de energia elétrica pela unidade habitacional beneficiada atenda aos critérios de eficiência definidos pelo Poder Executivo; II – o beneficiário não se enquadre nos critérios ou opte por não usufruir da Tarifa Social de Energia Elétrica, de que trata a Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010” (Brasil, 2017a).

Consequentemente, a Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010 deverá ser alterada no Art. 2º, acrescentando-se o §6º, o qual declara que a Tarifa Social de Energia Elétrica não se aplicará às unidades consumidoras, classificadas na Subclasse Residencial Baixa Renda, do programa MCMV, que possuem equipamentos para a geração fotovoltaica de energia elétrica (Brasil, 2017a). A energia elétrica gerada poderá ser utilizada para uso próprio ou para injeção total ou parcial na rede elétrica das concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica.



Figura 2 - Tipos de sistemas fotovoltaicos (Adaptado de Junior, 2010).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal simular a geração fotovoltaica em quatro cidades brasileiras (Porto Alegre, São Paulo, Natal e Manaus), utilizando um arranjo composto por dois módulos e um microinversor. O consumo médio mensal será de 100 kWh. Serão avaliados três casos, com arranjos de potências nominais distintas. A partir dos resultados das simulações será possível estimar o quanto de energia pode ser gerada, o quanto o consumidor pode economizar na fatura de energia elétrica, e se energia excedente será produzida.

2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA (SFCRs)

A geração fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz do Sol em eletricidade (efeito fotovoltaico), onde a unidade fundamental desse processo é a célula fotovoltaica, fabricada com um material semicondutor. Um módulo FV é constituído por essas células conectadas em arranjos associados em série e em paralelo para produzir tensão e corrente suficiente para a utilização prática de energia. A geração é feita em corrente contínua (CC). Portanto, geralmente é necessário o uso de um inversor para transformá-la em corrente alternada (CA), podendo assim ser utilizada normalmente em aplicações convencionais conectadas à rede (*on-grid*). Outro meio de aplicação é em sistemas isolados (*off-grid*). Nesse caso, além dos equipamentos citados, geralmente, são utilizadas baterias e controladores de carga para viabilizar o funcionamento do sistema. Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede apresentam duas configurações distintas: os sistemas fotovoltaicos distribuídos e os sistemas fotovoltaicos centralizados (Rüther, 2004).

Segundo Oliveira (2002), experiências com a conexão de sistemas à rede, por meio de painéis fotovoltaicos, foram feitas através de grandes centrais, por volta da década de 1990. Ainda segundo o autor, em 1990, foram produzidos no mundo cerca de 48 MWp de potência em módulos FV onde, desse total, 2% (1MWp) foram utilizados em sistemas comerciais ou residenciais conectados à rede elétrica. No ano de 1999, a produção de módulos fotovoltaicos cresceu para 201 MWp, sendo que a participação dos sistemas residenciais ou comerciais conectados à rede passou a ser de quase 30%. Os SFCRs são constituídos basicamente por painel FV e inversor. Não são utilizados elementos para armazenar a

energia elétrica. Basicamente, a rede elétrica da concessionária é vista como o elemento armazenador, pois toda a energia elétrica gerada é colocada em paralelo com a energia da rede, como mostrado na Fig. 3 (Oliveira, 2002).

A chamada geração distribuída é constituída pelos módulos montados diretamente nas edificações, ou em outros locais, tais como coberturas de estacionamentos, áreas livres, etc. Essas edificações são alimentadas pela energia elétrica produzida pelos módulos, através de um inversor CC/CA, concomitantemente com a rede elétrica de distribuição em baixa tensão, na qual estão interligadas. Esse sistema de produção de energia elétrica geralmente está presente em residências e em pequenos comércios. Esse fluxo de energia produzido pelos módulos nas edificações é medido através de controladores de kWh que contabilizam a energia comprada da rede, lançada à rede e a produzida pelo SFCR. O faturamento de energia elétrica gerada por sistemas fotovoltaicos conectados à rede pode ser feito de diferentes formas dependendo, diversas vezes, da livre negociação entre o proprietário e a empresa concessionária, ou da regulamentação adotada para esse tipo de aplicação da tecnologia fotovoltaica (Zilles *et al.*, 2012).

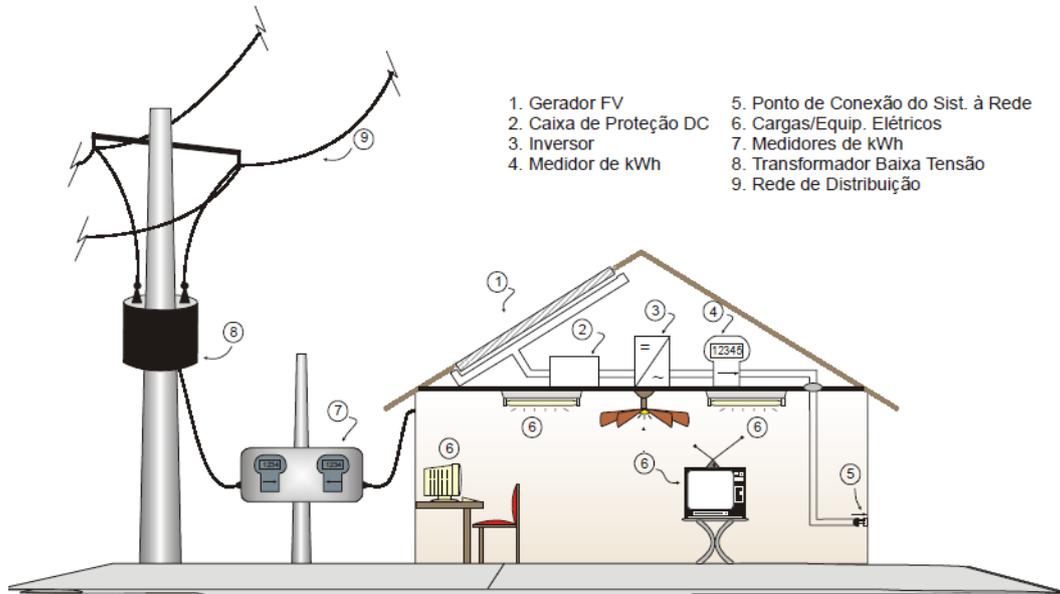


Figura 3 - Diagrama esquemático de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (Oliveira, 2002).

A Fig. 4 apresenta dois modelos de conexão SFCR, um onde o sistema é conectado entre a rede e a carga e, o segundo, onde o sistema é conectado antes dos medidores da energia comprada da rede, ou seja, o consumo da residência ocorre entre a geração fotovoltaica e a rede (Oliveira, 2002).

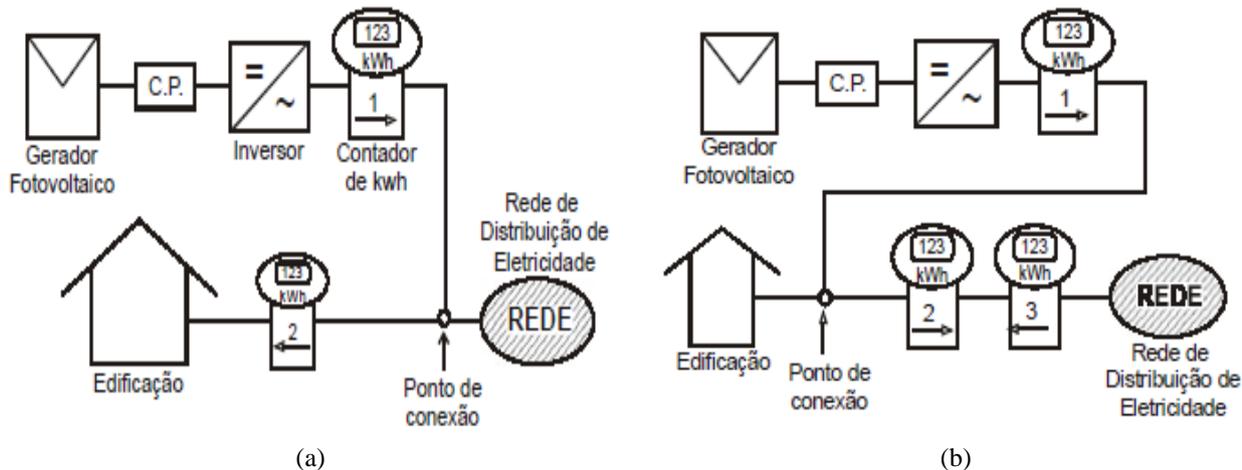


Figura 4 – Modelos de conexão de SFCR, onde C. P. denominada Caixa de Proteção. (a) sistema conectado entre a rede e a carga, (b) sistema conectado antes dos medidores da energia comprada da rede (Oliveira, 2002).

Sistemas solares fotovoltaicos interligados ao sistema de distribuição podem trazer diversas vantagens em seu uso. A produção de energia produzida junto à carga costuma minimizar as perdas nas redes de transmissão e distribuição, e ainda ocupa um espaço já utilizado, uma vez que esta é integrada à edificação. Este tipo de conexão reduz o investimento em linhas de transmissão e distribuição. A montagem do SFCR pode substituir materiais de revestimento e de cobertura

nas edificações e além disso, pode haver coincidência de consumo, principalmente em prédios comerciais onde a maior utilização de energia elétrica ocorre em horários de maior produção de energia pelos módulos FV (Câmara, 2011)

No Brasil, atualmente, a legislação permite que a geração distribuída participe de leilões de energia nova e leilões de ajustes, regulados e promovidos pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), com autorização da ANEEL. Embora isso possibilite o comércio da energia produzida de forma direta entre o gerador distribuído e consumidores livres, ou comercializadores, há uma restrição no Artigo nº 15, Decreto nº 5.163/04 (Brasil, 2017b), onde o distribuidor pode contratar energia elétrica proveniente de empreendimentos de geração distribuída num montante de 10% de sua carga, desde que a aquisição seja precedida de chamada pública promovida diretamente pelo agente distribuidor. Além disso, esse percentual não considera o montante de energia elétrica oriundo de empreendimentos próprios de geração distribuída. O custo de geração de eletricidade a partir de um sistema fotovoltaico integrado a uma edificação de porte residencial, incluindo encargo, está próximo da tarifa praticada pelas distribuidoras locais, que revendem energia produzida a partir de fontes convencionais (Zilles *et al.*, 2012).

3. SOFTWARE RETSCREEN

As simulações, que estimam o comportamento de produção de energia exportada ao sistema interligado de distribuição pelo arranjo de módulos, foram realizadas através do *software* denominado *RETScreen Expert*, representado na Fig. 5. Este *software* é definido por seus desenvolvedores como uma ferramenta de gerenciamento de energia renovável (RNC, 2017). Ela permite uma detalhada análise da eficiência de sistemas energéticos, permitindo avaliar a viabilidade de projetos de cogeração, bem como, associado a isso, a elaboração de uma análise econômica. Desta forma, é possível realizar uma análise do desempenho energético de um arranjo FV em determinada localidade do planeta com parâmetros ajustáveis de projeto.

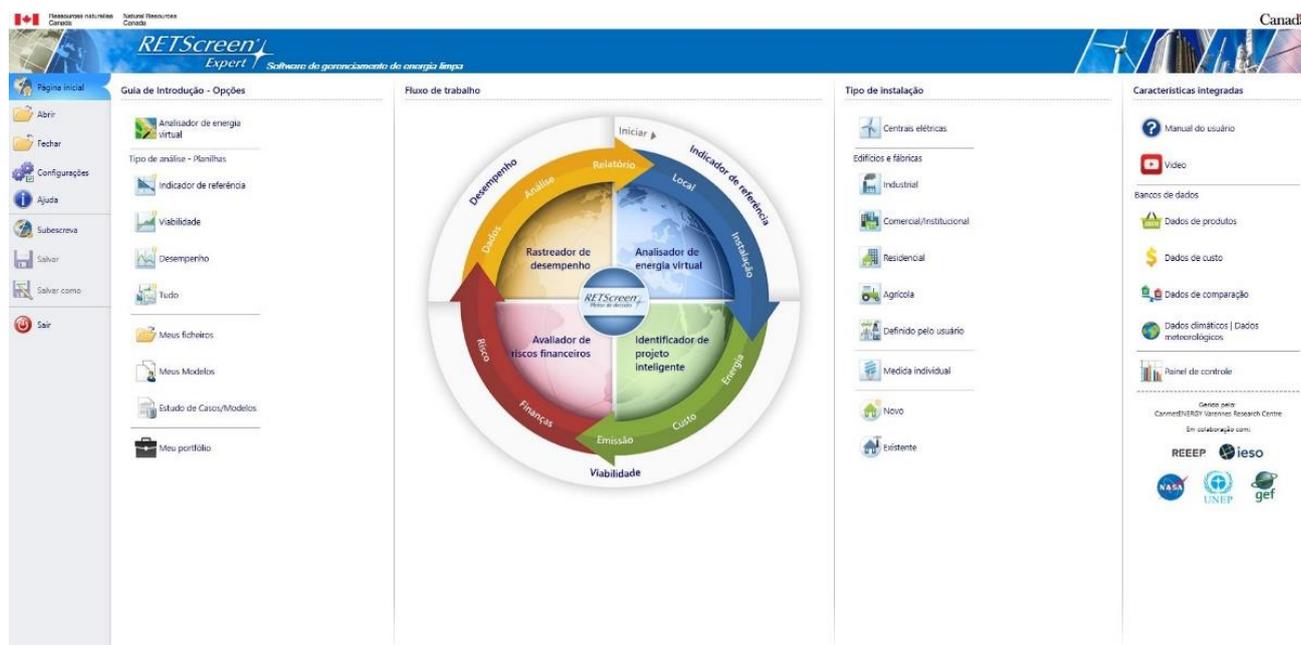


Figura 5 - Tela inicial do *software* RETScreen Expert (RNC, 2017).

Este *software* foi desenvolvido pelo governo canadense e possui duas versões, sendo uma proprietária, a qual possui todas as funcionalidades e outra distribuída como *software* livre (versão demo), que possui limitação na funcionalidade de geração de relatórios finais e também não permite salvar os projetos criados. Um dos pontos fortes da ferramenta é a rapidez em identificar, avaliar e otimizar a viabilidade técnica e financeira de projetos de energias renováveis.

Para a análise, primeiramente, foram escolhidas quatro cidades do Brasil para se realizar o estudo, sendo elas Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul, São Paulo, no estado de São Paulo, Natal, no estado do Rio Grande do Norte, e Manaus, no estado do Amazonas. Posteriormente, foram definidos os modelos dos dois módulos fotovoltaicos e do microinversor, que compõem o arranjo.

No primeiro caso, foi analisado um sistema composto por dois módulos de 60 células de 250 Wp de potência nominal, com eficiência de 15,6%. No segundo caso, dois módulos, também de 60 células, de 270 Wp de potência nominal e eficiência elétrica de 16,6%. Por último, outros dois módulos de 72 células de 330 Wp de potência nominal, com eficiência de 17%. Essas características são sumarizadas na Tab. 1.

Além disso, utilizou-se, para os três casos, um microinversor com eficiência de 95%. Por fim, considerou-se um fator de perdas diversas de 3%, tanto na análise do arranjo FV, para cada caso, quanto na análise do microinversor, além

das perdas de cada componente. No final da análise, apresenta-se uma tabela contendo a energia exportada para a rede, em kWh, para cada mês do ano, para cada cidade.

Tabela 1 - Especificações fornecidas pelos fabricantes dos componentes utilizados na análise do caso.

Especificações do fabricante	Módulo I	Módulo II	Módulo III	Inversor
Número de células	60	60	72	-
Potência Nominal (W)	250	270	330	500 (saída)
Eficiência do módulo	15,6	16,60%	17%	95%

Para uma produção máxima de energia elétrica ao longo do ano, o ângulo de inclinação dos módulos FV deve ser igual à latitude do local de instalação do sistema. Entretanto, pequenas variações na inclinação não resultam em grandes mudanças na energia produzida anualmente, podendo estar dentro de 10° em torno da latitude do local. Para áreas muito próximas ao Equador, com latitudes entre -10° e +10°, recomenda-se uma inclinação mínima de 10°. Essa inclinação mínima visa favorecer a autolimpeza dos módulos pela ação da água da chuva (Pinho *et al.*, 2014). Com base nessa informação, os ângulos escolhidos para cada cidade podem ser visualizados na Tab. 2.

Tabela 2 – Ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos usados nas respectivas cidades de análise.

CIDADE	ÂNGULO DE INCLINAÇÃO (β)
Porto Alegre – RS	30°
São Paulo – SP	23°
Natal – RN	10°
Manaus - AM	10°

4. RESULTADOS

Com base na metodologia aplicada no presente trabalho, foi possível simular a quantidade de energia produzida por cada tipo de arranjo (casos I, II e III) para cada uma das quatro cidades. Conforme comentado anteriormente, o consumo mensal médio, por residência, foi definido em 100 kWh, padrão bifásico. A Fig.6 apresenta os valores da irradiação solar global diária, média, no plano horizontal (kWh/m² dia) utilizados nas simulações. A energia elétrica gerada a cada mês, para as quatro cidades, é apresentada na Tab. 3.

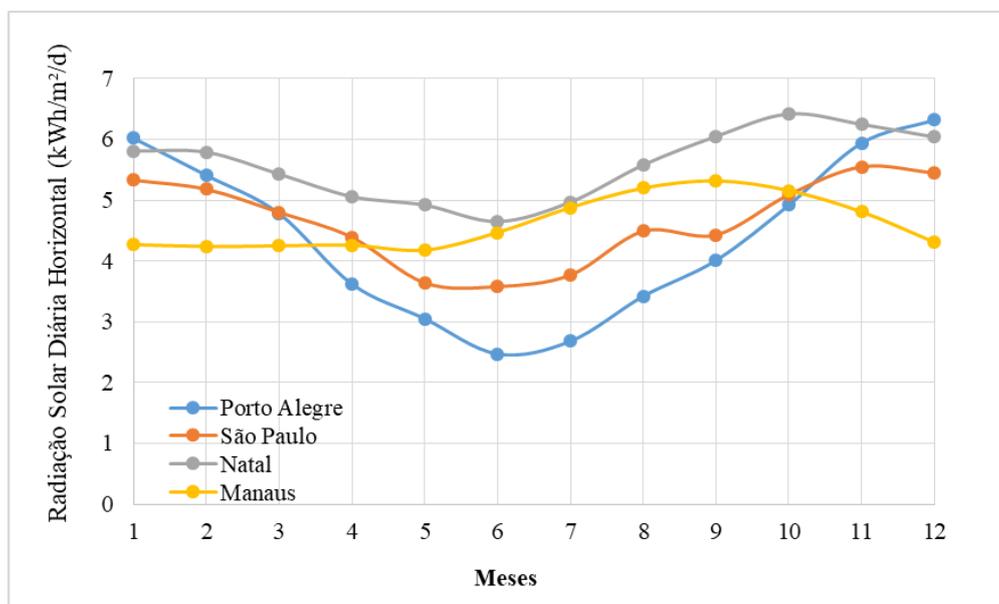


Figura 6 – Valores da irradiação solar global diária, média, no plano horizontal utilizados nas simulações.

A maior geração de energia elétrica, 103,37 kWh, ocorre na cidade de Natal, RN, no mês de outubro, para o arranjo contendo dois módulos de 330 Wp de potência nominal. Por outro lado, a menor geração de energia elétrica, 45,77 kWh, ocorre na cidade de Porto Alegre, RS, no mês de junho, para o arranjo contendo dois módulos de 250 Wp de potência nominal. A energia elétrica gerada mensalmente para os casos I, II e III é apresentada nas Figuras 7, 8 e 9, respectivamente.

Tabela 3 – Resultados da energia elétrica média gerada, em kWh por mês, para cada cidade.

		CASO I				CASO II				CASO III			
Unidade	Mês	Porto Alegre	São Paulo	Natal	Manaus	Porto Alegre	São Paulo	Natal	Manaus	Porto Alegre	São Paulo	Natal	Manaus
kWh/mês	Janeiro	70,48	55,26	69,35	52,39	76,11	59,68	74,9	56,58	93,3	72,94	91,54	69,15
	Fevereiro	62,91	57,1	63,65	47,78	67,94	61,67	68,74	51,61	83,04	75,37	84,01	63,07
	Março	65,22	54,78	68,08	53,97	70,44	59,16	73,52	58,29	86,09	72,01	89,86	71,24
	Abril	59,97	51,29	63,73	53,67	64,77	55,39	68,82	57,96	79,17	67,7	84,12	70,84
	Mai	53,57	51,13	66,22	55,76	57,86	55,22	71,52	60,22	70,71	67,5	87,41	73,6
	Junho	45,77	48,66	61,83	58,51	49,43	52,55	66,78	63,19	60,41	64,23	81,62	77,23
	Julho	55,09	54,47	67,97	65,51	59,5	58,83	73,41	70,75	72,72	71,91	89,72	77,23
	Agosto	56,38	57,86	73,99	67,73	60,88	62,49	79,91	73,15	74,42	76,34	97,67	89,41
	Setembro	59,00	51,23	74,38	64,8	63,72	55,33	80,33	69,99	77,88	67,63	98,18	85,54
	Outubro	70,05	52,97	78,31	63,34	75,65	57,21	84,57	68,4	92,47	69,92	103,37	83,6
	Novembro	70,97	59,89	72,11	56,42	76,65	64,68	77,88	60,93	93,68	79,06	95,18	74,47
	Dezembro	75,16	55,31	71,38	52,48	81,12	59,73	77,09	56,68	99,21	73,01	94,23	69,27
	Total		744,57	649,95	831,00	692,36	804,07	701,94	897,47	747,75	983,10	857,62	1096,91

É importante lembrar que o custo de disponibilidade, ou taxa mínima, é o valor cobrado pelas concessionárias por disponibilizar a energia elétrica na unidade de consumo. Esse custo é regulado pela Resolução Normativa da ANEEL nº414 de 9 de setembro de 2010 (ANEEL, 2017b), a qual estabelece os seguintes valores mínimos, de acordo com o padrão de conexão com a rede: 30 kWh, se o padrão é monofásico, 50 kWh, se o padrão é bifásico, e 100 kWh, se o padrão é trifásico. Caso a unidade consumidora apresente um consumo mensal inferior à quantidade mínima aplicável, a mesma pagará pelo custo de disponibilidade.

A legislação que rege os sistemas de geração distribuída, a Resolução Normativa da ANEEL nº 687 de 24 de novembro de 2015, no seu artigo 7 impossibilita a eliminação do custo de disponibilidade da fatura de energia elétrica. Segundo o item I do Artigo 7 “deve ser cobrado, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B, ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A, conforme o caso” (ANEEL, 2017c). Conseqüentemente, mesmo que o SFCR gere mais energia do que unidade consumiu, o consumidor deverá pagar para a taxa mínima, de acordo com o seu padrão de ligação à rede. Em essência, o consumidor nunca terá uma fatura “zerada”.

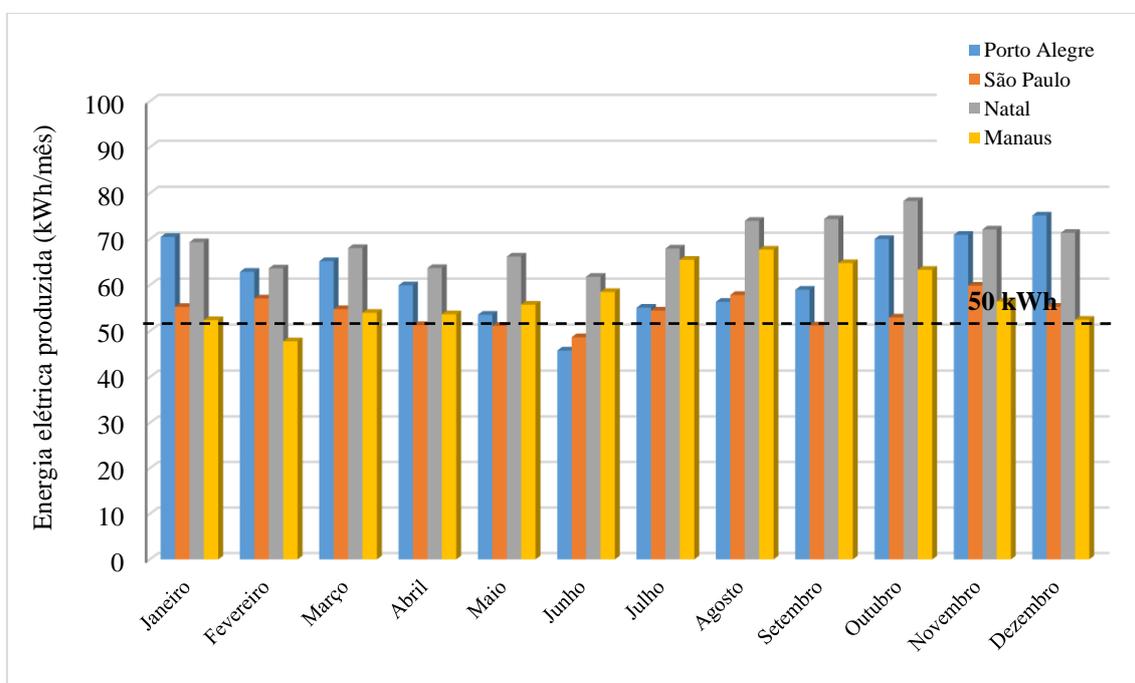


Figura 7 – Energia elétrica média produzida, por mês, em cada cidade para o Caso I (2 módulos de 250 Wp).

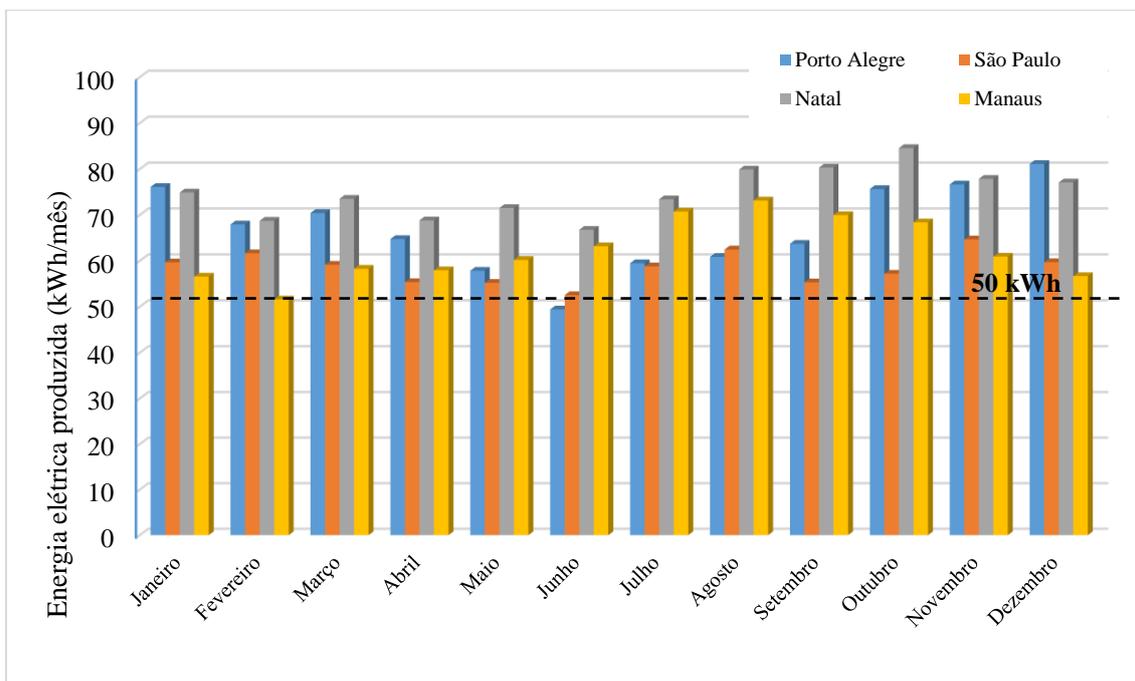


Figura 8 – Energia elétrica média produzida, por mês, em cada cidade para o Caso II (2 módulos de 270 Wp).

Para a situação em questão, cujo consumo médio mensal da unidade é de 100 kWh, o sistema deveria ser projetado para gerar 50kWh/mês ou 600 kWh/ano. Isto é, o consumo médio real menos o valor referente ao custo de disponibilidade. Um sistema maior enviaria a energia excedente para a rede da concessionária, sem ser aproveitada pelo consumidor. Logo, só seria possível abater até 50%, no máximo, do montante anual da fatura de energia elétrica da unidade consumidora.

Para todos os sistemas simulados, a energia total produzida ao longo de um ano ultrapassa o valor de 600 kWh. Para o caso I, Fig. 7, em todas as cidades, as unidades consumidoras enviariam energia excedente para a rede da concessionária. Em um ano, a unidade de Porto Alegre injetaria um excedente de 144,57 kWh, equivalente a 24% da energia anual necessária para pagar apenas a taxa mínima. São Paulo injetaria 49,95 kWh (8%), Natal injetaria 231 kWh (39%) e Manaus injetaria 92,36 kWh (15%).

Consequentemente, numa avaliação anual, todas as unidades pagariam, ao total, apenas o somatório do custo de disponibilidade mensal e ainda injetariam energia na rede. O mesmo comportamento é observado nos casos II, Fig. 8, e III, Fig. 9.

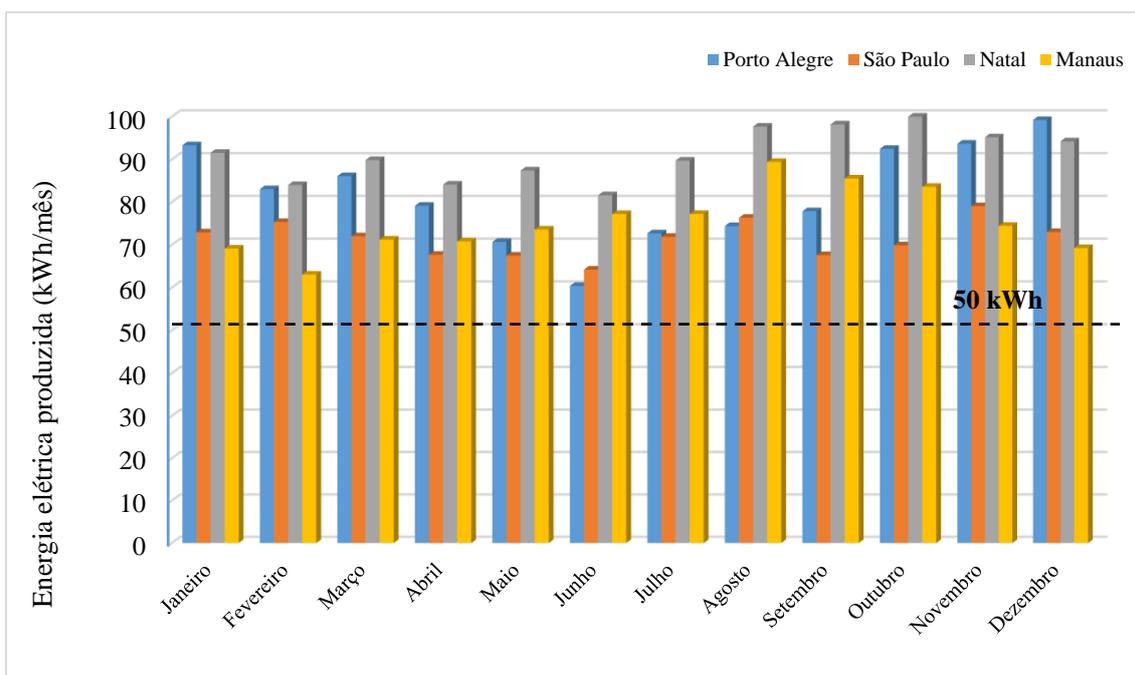


Figura 9 – Dados da energia elétrica média produzida por mês em cada cidade simulada no caso III.

Para o caso II, as cidades de Porto Alegre, São Paulo, Natal e Manaus injetariam na rede 204,07 kWh (34%), 101,94 kWh (17%), 297,47 kWh (50%) e 147,75 kWh (25%), respectivamente. Finalmente, para o caso III, no qual os geradores fotovoltaicos possuem o maior valor de potência nominal, seriam 383,10 kWh (64%), 257,62 kWh (43%), 496,91 kWh (83%) e 304,65 kWh (51%), respectivamente.

No caso II, apenas Porto Alegre não geraria os 50kWh no mês de junho. No caso III, todas as unidades geram acima do necessário para pagar apenas a taxa mínima mensal.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo principal simular o desempenho de SFGRs em quatro cidades brasileiras, Porto Alegre, RS, São Paulo, SP, Natal, RN e Manaus, AM. Foram avaliados três casos, cada um composto por um arranjo contendo dois módulos FV e um microinversor. As potências nominais dos módulos utilizados nos arranjos foram de 250 Wp, 270 Wp e 330 Wp.

Segundo informações de associações e websites de notícias, arranjos dessa natureza seriam utilizados nos próximos projetos do programa social Minha Casa, Minha Vida. Concomitantemente, tramita no Senado Federal um projeto de Lei que versa sobre o mesmo assunto. De acordo com o projeto, os beneficiários do programa receberiam os SFGRs sem nenhum custo adicional. Por outro lado, teriam que abrir mão da tarifa social.

A partir das simulações, utilizando o software RETScreen Expert, foi possível estimar a energia elétrica gerada mensalmente para o período de um ano em cada cidade selecionada e para cada um dos três tipos de arranjo. A maior geração mensal de energia elétrica, 103,37 kWh, ocorre na cidade de Natal, RN, para o arranjo contendo dois módulos de 330 Wp de potência nominal e a menor geração mensal de energia elétrica, 45,77 kWh, ocorre na cidade de Porto Alegre, RS, para o arranjo contendo dois módulos de 250 Wp de potência nominal.

Em todos os casos, a energia elétrica gerada ao longo do ano, excedeu a quantidade necessária para que o consumidor pagasse apenas o custo de disponibilidade. Dessa forma, todos os sistemas injetam energia extra na rede da concessionária à qual estão conectadas. Em todos os três casos, a instalação que gerou o maior montante de energia foi a de Natal, enquanto que o menor montante foi gerado pela instalação de São Paulo.

Agradecimentos

A primeira autora agradece o apoio financeiro, em bolsa de doutorado, por parte da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). O segundo autor agradece o apoio financeiro, em bolsa de iniciação científica, por parte do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil (CNPq). O LABSOL é um laboratório associado ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia (INCT - EREEA).

REFERÊNCIAS

- Agência Brasil (AB). Ministro anuncia para breve portaria sobre energia solar em imóveis populares. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-08/ministro-anuncia-para-breve-portaria-sobre-energia-solar-em-imoveis-populares>. Acesso em 03 de novembro de 2017.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em 14 de novembro de 2017a.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>. Acesso em 14 de novembro de 2017b.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em 14 de novembro de 2017c.
- Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar). Unidades do MCMV terão sistema de produção de energia solar. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/unidades-do-mcmv-terao-sistema-de-producao-de-energia-solar.html>. Acesso em 03 de novembro de 2017.
- Brasil. Senado Federal. Projeto de Lei do Senado nº 224, de 2015. Disponível em: <http://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=583883&disposition=inline>. Acesso em 03 de novembro de 2017a.
- Brasil. Presidência da República. Decreto Nº 5.163 de 30 de julho de 2004. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm. Acesso em 03 de novembro de 2017b.
- Câmara, C. F., 2011. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica, Monografia, DEG, UFPA, Lavras– MG.
- Ely, F., Swart, W., 2014. Energia Solar Fotovoltaica de Terceira Geração, Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos ou Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE), O Setor Elétrico, ed. 105, ano 9, pp. 138-139.

- Junior, J. U., 2010. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência Na Qualidade da Energia Elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar a Conectividade, Tese de Doutorado, PPGEC, UFSC, Florianópolis – SC.
- Oliveira, S. H. F., 2002. Geração Distribuída de Eletricidade; Inserção de Edificações Fotovoltaicas Conectadas à Rede no Estado de São Paulo, Tese de Doutorado, PIPGE, USP, São Paulo – SP.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. J. L., 2017. Atlas Brasileiro de Energia Solar, São José dos Campos - Brasil, 2ª edição.
- Pinho, J. T., Galdino, M. A., 2014. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, CEPEL – CRESESB, Rio de Janeiro.
- RNC. Natural Resources Canada. RETScreen Expert. Disponível em: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>. Acesso em: 01 de agosto de 2017.
- Rüther, R., 2004. Edifícios Solares Fotovoltaicos, O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligadas à Rede Elétrica Pública. LABSOLAR Florianópolis: Editora da UFSC.
- Tolmasquim, M. T., 2014. Nota Técnica DEA 19/14 – Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Rio de Janeiro – RJ.
- Zilles, R., Macêdo, W. N., Galhardo, M. A. B., Oliveira, S. H. F., 2012. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica, Oficina de Textos, São Paulo – SP.

EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FOR RESIDENCIES WITH LOW MONTHLY CONSUMPTION

Abstract. *Senate Bill Nº. 224/2015, currently in progress, provides for the amendment of Law 11,977/2009, in order to oblige the installation of photovoltaic generation equipment within the framework of the program minha casa, minha vida. According to the project, the electric energy generated may be injected, totally or partially, into the electricity grid of concessionaires and permissionaires of energy distribution. In addition, the purchase of the system will be free of charge to the user. However, in contrast, Law 12.212/2010 will also be changed, excluding the beneficiaries, from the consumer units with SFCR, from the Social Electricity Tariff. In this sense, the present work aims to simulate a compact generation system, composed of two photovoltaic modules and a microinverter, in four Brazilian cities, in order to quantify the energy generated by the system. It is assumed that households have an average consumption of 100 kWh per month, biphasic standard. The software used was RETScreen Expert, demo version, available free of charge on the internet. The results show that over a year, all systems would inject surplus energy into the utility grid to which they are connected, and consumers would pay the equivalent of the sum of the monthly minimum rates.*

Key words: *Residences of the program minha casa, minha vida, Social electricity tariff, Grid-connected photovoltaic system*