

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM UNIDADES RESIDENCIAIS: ESTUDO DE CASO

L. A. A. Marques¹; I. C. S. Fernandes² e J. A. Costa³

E-mail: augusto_85415@hotmail.com¹; izabelsimao@yahoo.com.br²; adriano.costa@ifrn.edu.br³

RESUMO

O uso de energia solar fotovoltaica tem surgido como uma possibilidade real em novas construções de unidades residenciais, sendo uma alternativa bastante interessante para aqueles consumidores que buscam uma forma de diminuir os gastos com uso de energia elétrica e, ainda, para aqueles que enxergam nessa alternativa um estímulo à prática da preservação do caráter limpo e renovável da matriz energética de geração de eletricidade. Essa ideia de uso de uma energia alternativa e de diversificar o suprimento da demanda de energia elétrica existente está também alinhada com os programas de eficiência energética, regulamentados pela Agência Reguladora de Energia e propostos pelas empresas distribuidoras de energia, mas agora numa perspectiva diferente, com a visão e as

necessidades da demanda. Todavia, esse mercado de energia elétrica residencial, ainda iniciante no uso de energias alternativas, tem dificuldades e incertezas, quais sejam: o mercado fotovoltaico no Brasil ainda é incipiente e a fabricação de sistemas fotovoltaicos precisa ganhar escala de produção para reduzir seu custo; dúvidas sobre a dimensão do mercado, onde encontrar os equipamentos para instalação do sistema; quais as condições técnicas para a devida instalação de sistemas fotovoltaicos; quais os custos associados e se haverá retorno do investimento. Este trabalho propõe um estudo inicial sobre uma técnica de dimensionamento de sistemas de energia solar fotovoltaica em residências, utilizando o método da insolação, e visão básica do retorno de investimento.

PALAVRAS-CHAVE: microgeração, energia fotovoltaica, energia solar, retorno de investimento.

PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY IN RESIDENTIAL UNITS: CASE STUDY

ABSTRACT

The use of photovoltaic solar energy has emerged as a real possibility in new construction of residential units, and an interesting alternative for those electricity consumers who are seeking a way to reduce spending on electricity usage and also for those who sighted in this alternative a stimulus to the practice of preserving the character of clean and renewable energy sources for electricity generation. This idea of using alternative energy and to diversify the supply of electricity demand is also aligned with existing programs for energy efficiency, regulated by the Regulatory Agency for Energy and suggested by the power distribution companies, but now in a different perspective, with the vision and needs

of the demand. However, this residential electricity market, still beginner in the use of alternative energies, has difficulties and uncertainties, which are: the PV market in Brazil is still incipient and manufacturing of photovoltaic systems need to gain scale production to reduce its cost; doubts about the market size, where to find the equipment for installation of the system, what are the technical conditions for the proper installation of photovoltaic systems, including associated costs and if there will be payback. This paper proposes an initial study on a technique of sizing photovoltaic solar energy systems in residential units, using the method of insolation, and basic view of payback.

KEYWORDS: microgeneration, photovoltaic, solar energy, payback.

1 INTRODUÇÃO

Há muitos pequenos projetos nacionais de geração fotovoltaica (FV) de energia elétrica, principalmente para o suprimento de eletricidade em comunidades rurais e/ou isoladas do Norte e Nordeste do Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008). Isso porque a utilização de fontes de energia renovável se apresenta como uma alternativa viável para os problemas de distribuição de energia presentes em comunidades isoladas, ou seja, em sistemas que se encontram privados da energia elétrica fornecida pela rede da concessionária. De acordo com Hinrichs, Kleinbach e Reis (2010, p. 484), “Embora os custos dos sistemas solares fotovoltaicos ainda não sejam competitivos para aplicação em paralelo com a rede, eles têm diminuído rapidamente com a evolução tecnológica e massificação de uso”. Nessa perspectiva, o uso da energia FV conectada à rede está hoje em crescimento, mas ainda necessita de esclarecimentos quanto às necessidades técnicas para instalação e aos custos totais envolvidos, devendo ser levados em consideração custos de consumo de energia elétrica, custos iniciais de aquisição, custos de manutenção e verificação do tempo de retorno do investimento.

Esse levantamento técnico e econômico se faz necessário devido ao nível relativo de complexidade que exige a instalação de um sistema FV, já que, para ser possível consumir a energia que o painel solar produz, devem-se converter as tensões geradas, pois a corrente produzida é contínua e a corrente pretendida é alternada, a fim de que se tornem compatíveis com os aparelhos domésticos ou industriais. Nesse contexto, este trabalho propõe um estudo inicial, a partir de um caso base, sobre uma das técnicas atualmente utilizadas para o dimensionamento de sistemas de energia solar FV em residências, conectados à rede, utilizando o método da insolação e dentro do que estabelece a recente Resolução nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), sobre a compensação para sistemas de microgeração que utilizem energias alternativas. Uma visão básica do retorno do investimento, vantagens e desvantagens da utilização do sistema também será vista.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A substituição da fonte de energia da distribuidora, nas residências, por uma fonte de geração própria, a partir da geração de energia solar FV individual, é uma realidade hoje e vem na direção de promover maior eficiência das instalações elétricas residenciais, como também de contribuir com a economia familiar. No entanto, de acordo com o Atlas da Agência Nacional de Energia Elétrica (2008, p. 82), “[...] os projetos já implementados para produção de eletricidade a partir da energia solar ainda são restritos e destinados a abastecer localidades isoladas – embora, nos projetos de expansão da fonte, este quadro esteja se alterando”. Os sistemas de geração individual conectados à rede de distribuição que utilizam a energia solar FV já apresentam boa perspectiva de evolução e de crescimento em utilização. Da capacidade mundial instalada de energia FV, boa parte dos sistemas está conectada à rede de distribuição de energia, diferente do que antes ocorria, quando os empreendimentos eram destinados, na maioria das vezes, ao atendimento em regiões isoladas. Essa evolução da forma de utilização dos sistemas FVs leva à

popularização da tecnologia, visto que à medida que sua aplicação é mais disseminada, o custo é menor (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008, p. 84).

2.1 Resolução normativa nº 482 da ANEEL

A ANEEL aprovou, no dia 17 de abril deste ano, a Resolução nº 482, com regras destinadas ao acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Além disso, a resolução cria um sistema de compensação de energia elétrica, no qual a energia gerada pela unidade consumidora, com microgeração ou minigeração distribuída, compense o consumo de energia elétrica ativa. Tais regras são válidas para consumidores que utilizem fontes incentivadas de energia. Conforme define a Resolução nº 482 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012b), a microgeração distribuída (com potência instalada menor ou igual a 100 kW) são centrais geradoras de energia elétrica que podem utilizar, dentre outras, a energia solar FV conectada à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

A partir da Resolução nº 482, o conceito de *Net Metering* foi implantado, no qual um medidor eletrônico registra a energia consumida na residência e a energia injetada na rede da distribuidora. Durante o dia, quando normalmente o consumo residencial de energia elétrica é menor, pode ocorrer o excedente de energia, uma vez que o sistema FV produz mais energia do que a unidade consumidora demanda. Nesse caso, o consumidor residencial pode exportar energia para a rede de distribuição, tornando-se parte da geração distribuída. Como compensação pela exportação de energia, o proprietário do sistema FV pagará apenas a diferença entre o que consumiu e o que gerou, ou receberá créditos pela energia exportada excedente. Esses créditos podem ser utilizados através de desconto na conta de energia elétrica do mês seguinte ou ser utilizados num prazo de até 36 meses.

2.2 Tecnologia de sistemas fotovoltaicos

Um sistema solar FV típico para instalação em residências deve consistir, conforme mostra a Figura 1, de módulos FVs, controlador de carga, baterias, inversor para conversão da tensão CC em CA e outros equipamentos auxiliares, materiais de estrutura e fixação dos módulos, fiação, medidores, softwares de supervisão e serviço de montagem.

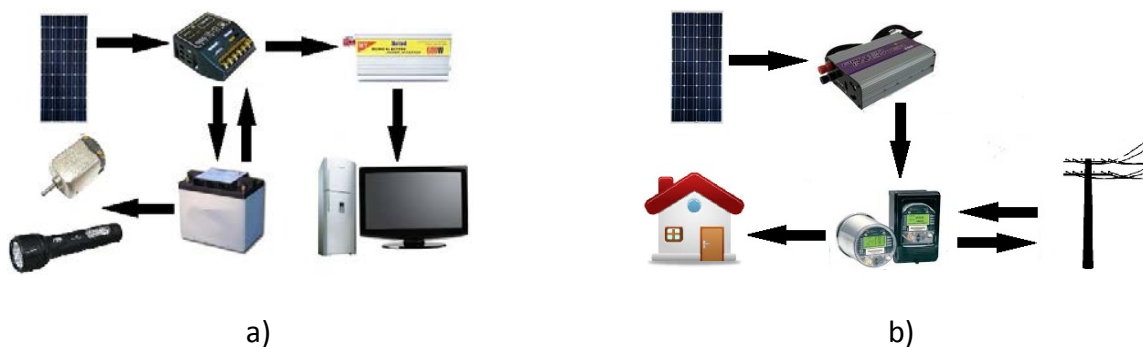


Figura 1: Tipos de sistemas de microgeração FV - a) sistemas isolados; b) conectados à rede.

2.2.1 Painéis Fotovoltaicos

Os painéis FVs são feitos a partir de um conjunto de células de silício, as quais são texturizadas, laminadas e tratadas com materiais específicos que aumentam sua absorção e vida útil. Três tipos de células de silício podem compor esses painéis, sendo as de silício monocristalino as mais utilizadas comercialmente, pois possuem a maior eficiência (entre 15% e 18%) na conversão de luz solar em eletricidade. Além dessas, existem as células de silício policristalino, cuja eficiência (de até 12,5%) é ligeiramente inferior à das primeiras, e as de silício amorfo, também conhecidas por filmes finos, as quais, devido ao processo de fabricação relativamente simples e barato, oferecem melhores preços, porém apresentam eficiência entre 5% e 7%. A potência do módulo é definida a partir da ligação das células, que podem estar em série, em paralelo ou em série-paralelo. A parte frontal do painel é revestida com resina ou vidro temperado de alta transparência com resistência à tempestade, neve, granizo, salinidade, umidade e poeira. A corrente gerada pelo painel é contínua (CC) e pode alimentar diretamente equipamentos que utilizam essa propriedade e carregar baterias.

2.2.2 Inversores

Os inversores CC-CA para conexão de sistemas FVs à rede, também conhecidos como inversores *Grid-Tie*, são utilizados para conversão da corrente contínua (CC), fornecida pelo módulo, em corrente alternada (CA). Assim, os inversores para conexão à rede funcionam como fontes de corrente senoidal na rede de distribuição. Esses inversores possuem características importantes, como faixa de tensão do sistema MPPT (rastreamento do ponto de máxima potência); máxima tensão CC; tensão e frequência da rede CA; potência Wp; potência nominal CC e CA; correntes de entrada (CC) e de saída (CA). Além do recurso de MPPT, um sistema de anti-ilhamento é exigido nos inversores para conexão à rede. Através desse sistema, o inversor detecta a condição de ilhamento, na qual a rede de distribuição está desconectada ou fora de operação (desligada). Esse é um sistema de segurança para equipamentos, instalações e pessoas na condição de interrupção do fornecimento de energia, além de evitar a falta de sincronismo.

2.2.3 Dados característicos de módulos fotovoltaicos

A partir das folhas de dados dos módulos, podem ser observadas informações importantes para apoiar a escolha do módulo, como também o dimensionamento do sistema FV a ser instalado. De maneira geral, as características apresentadas nas folhas de dados são o modelo do módulo, estrutura, dimensões (largura, altura e espessura), materiais empregados, peso, quantidade de células, dados de resistência mecânica, assim como as características elétricas. Essas características elétricas trazem as informações sob Condições Padronizadas de Teste (em inglês, *Standard Test Conditions*). As condições padronizadas consideram irradiância solar de 1000 W/m², temperatura da célula igual a 25°C e trazem as seguintes características:

Pmpp (Wp) – Potência de pico ou Ponto de Máxima Potência que o módulo pode estabelecer sob as condições padronizadas. Pode ser encontrada a partir do produto de Vmpp por Impp.

V_{mpp} (V) – Tensão no ponto de máxima potência, ou seja, é a tensão nos terminais do módulo que fornece a máxima potência nas condições padronizadas.

I_{mpp} (A) – Corrente no ponto de máxima potência, ou seja, é a corrente nos terminais do módulo que fornece a máxima potência nas condições padronizadas.

V_{oc} (V) – Tensão de circuito aberto, ou seja, é a tensão medida nos terminais do módulo sem carga, quando os terminais estão abertos. Essa informação é de grande importância para o dimensionamento e aquisição dos componentes do sistema FV, pois a tensão máxima de trabalho dos dispositivos, como, por exemplo, do inversor, deve ser atendida.

I_{sc} (A) – Corrente de curto-circuito do módulo, ou corrente em *ampères* que o módulo fornece quando seus terminais estão na condição de curto-circuito. A corrente de curto-circuito indica a corrente máxima que o módulo pode fornecer nas condições padronizadas.

Outra grandeza importante é a irradiância, que também quantifica a radiação solar e é dada em W/m^2 (watt por metro quadrado), ou seja, a irradiância expressa potência, em watt, por área, em metro quadrado. É uma grandeza bastante importante, pois a irradiância de $1000 W/m^2$ é utilizada como padrão na indústria FV para especificar características técnicas dos módulos FVs. Assim, com base no valor padrão de irradiância de $1000 W/m^2$, a eficiência das células FVs podem ser comparadas, entre diferentes fabricantes, a partir de uma condição padrão de irradiação solar. Por padrão, com irradiância solar de $1000 W/m^2$ o módulo fornece a corrente máxima especificada no catálogo do fabricante, sob a condição de temperatura padrão de $25^\circ C$.

2.2.4 Eficiência do módulo fotovoltaico (FV)

A eficiência do módulo FV é uma informação importante de avaliação no momento de escolha e dimensionamento do sistema FV. O INMETRO é responsável por avaliar e certificar os módulos no Brasil, os quais recebem também selo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, atestando a eficiência do módulo. A eficiência pode ser obtida diretamente na folha de dados do módulo, fornecida pelo fabricante, ou a partir da seguinte expressão:

$$Eficiência = \frac{Potência\ de\ saída}{Potência\ de\ entrada} = \frac{P_{mpp} / \text{área do módulo}}{1000W / m^2} \quad (1)$$

2.2.5 Arranjos de módulos fotovoltaicos

Os módulos FVs podem ser ligados em série, em paralelo ou em série-paralelo. As formas de se conectarem os módulos são denominadas de “arranjos”. Quando os módulos são ligados em série, podem ser denominados de *strings*. Na ligação em série, os módulos são conectados de tal forma que a tensão de saída do conjunto será a soma das tensões de cada módulo. A corrente de saída, nessa ligação, será igual à corrente de um módulo individual. Na ligação dos módulos em paralelo, a conexão dos módulos fornece tensão de saída igual à tensão de um módulo, mas a

corrente de saída do arranjo será igual à soma das correntes produzidas por cada módulo individualmente, ou seja, $I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + I_3$.

2.2.6 Energia produzida pelos módulos fotovoltaicos

Neste trabalho, estamos focando nos sistemas FVs para conexão à rede. Para esses sistemas, o recurso de MPPT (em português, rastreamento do ponto de máxima potência) deve estar presente no inversor a ser adquirido. Os inversores que trazem a tecnologia MPPT possuem a funcionalidade de maximizar a potência fornecida pelos módulos FVs, buscando que os módulos sempre funcionem no seu máximo ponto de potência (P_{mpp}). Assim, a técnica de cálculo da energia produzida pelos módulos utilizada aqui é o método da insolação. Nesse método, utilizamos a insolação diária expressa em $\text{Wh}/\text{m}^2/\text{dia}$, a partir dos mapas solarimétricos e a energia produzida tem limitação apenas pela eficiência do módulo. A energia produzida pode ser então calculada a partir da seguinte expressão:

$$E_{\text{produzida}} = \text{Insolação (Wh/m}^2/\text{dia)} \times \text{área do módulo (m}^2) \times \text{período (dias)} \times \text{Eficiência} \quad (2)$$

3 METODOLOGIA

Foi utilizado como metodologia de pesquisa o levantamento bibliográfico sobre o tema, assim como sobre as técnicas mais usuais e práticas para dimensionamento básico de arranjos para utilização em unidades residenciais e conexão à rede. Fez-se, também, uma pesquisa documental (projetos técnicos, orçamentos, de mercado) a fim de se obter dados comparativos entre diversos fabricantes de módulos FVs e inversores, quanto aos custos e tecnologia colocada no mercado. Como forma de análise, utilizou-se de estudo de caso particular, a fim de discutir sobre técnica de dimensionamento e levantamento de custos e retorno de investimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Critérios para escolha e dimensionamento do sistema fotovoltaico

Para a devida aquisição de um sistema FV, alguns passos básicos devem ser seguidos e verificados, na busca da qualidade do sistema, adequação tecnológica e de investimento. Assim, os pontos gerais são: levantamento do consumo médio anual de energia elétrica da unidade residencial; quanta energia se deseja produzir com o sistema FV em relação ao consumo médio, parcial ou total; dados solarimétricos disponíveis para o local da instalação; espaço físico, localização e orientação dos módulos FVs; eficiência da célula e material usado na célula; dimensionamento do sistema (especificação do módulo, quantidade de módulos, forma de arranjo dos módulos, especificação do inversor e outros componentes); limite de investimento que o consumidor deseja realizar no sistema FV.

4.2 Radiação solar ou Insolação diária

A insolação diária é a energia recebida do Sol, em Wh, por unidade de área (m²) durante o intervalo de tempo de um dia, sendo sua unidade expressa, portanto, em Wh/m²/dia (watt-hora por metro quadrado por dia). Essa grandeza é bastante importante para o dimensionamento de sistemas FVs. Para a obtenção dos valores de insolação, podem-se utilizar os dados apresentados no mapa de radiação solar global apresentado na 2ª edição do Atlas de Energia Elétrica do Brasil, publicado pela ANEEL, no qual são apresentados os valores de radiação solar divididos em faixas, que expressam a pior e melhor média anual de insolação diária por área do território brasileiro. A Tabela 1 apresenta um resumo, no qual são agrupadas as capitais do Brasil e o Distrito Federal por faixa de insolação.

Tabela 1: Radiação solar global diária ou insolação diária – média anual típica (Wh/m²/dia)

insolação (Wh/m ² /dia)	Capitais do território brasileiro por faixa de insolação
5700 a 5900	Belo Horizonte, Goiânia, Teresina
5500 a 5700	Natal, João Pessoa, Maceió, Fortaleza, Campo Grande, Brasília, Cuiabá, Palmas, Boa Vista
5300 a 5500	Recife, Aracaju, Salvador, Porto Velho, Rio Branco, Manaus, Macapá, Belém, São Luiz
5100 a 5300	Rio de Janeiro, São Paulo
4900 a 5100	Vitória
4700 a 4900	Curitiba, Porto Alegre
4500 a 4700	Florianópolis

4.3 Estudo de caso de dimensionamento de módulos fotovoltaicos para conexão à rede

4.3.1 Levantamento da energia elétrica consumida mensalmente

Verificação do consumo médio dos 12 últimos meses na conta de energia elétrica. Energia média mensal a partir da conta de energia igual a 220 kWh. Supondo que se deseja um percentual de energia a ser gerado pelo sistema FV igual à média anual, deve-se dimensionar, então, sistema para suprir os 220 kWh médios.

4.3.2 Busca da insolação diária da localidade

Supondo a cidade de Natal e usando o valor médio mínimo igual a 5500 Wh/m²/dia.

4.3.3 Escolha do módulo (características do módulo)

Vamos supor a escolha de um módulo do fabricante “Alfa”, de silício monocristalino, com as seguintes características:

Tabela 2: Características do módulo.

Altura (m)	Largura (m)	Pmpp (W)	Vmpp (V)	Impp (A)	Voc (V)	Isc (A)
1,632	0,986	255	30,0	8,5	37,2	8,85

4.3.4 Cálculo da eficiência do módulo

$$\text{Eficiência} = \frac{P_{mpp} / \text{área do módulo}}{1000W / m^2} = \frac{255 / (1,632 \times 0,986)}{1000W / m^2} = 0,158 \quad (3)$$

A eficiência percentual esperada para o módulo será igual a 15,8%.

4.3.5 Cálculo da energia mensal produzida pelo módulo

$$\text{Energia produzida} = 5500 \text{ Wh} / m^2 / \text{dia} \times (1,632 \times 0,986) m^2 \times 30 \text{ dias} \times 0,15 \quad (4)$$

A Energia produzida por um módulo será igual a 41,95 kWh

4.3.6 Cálculo da quantidade de módulos necessária

$$\text{Número de módulos} = \frac{\text{Energia média mensal consumida}}{\text{Energia produzida pelo módulo}} = \frac{220 \text{ kWh}}{41,95 \text{ kWh}} = 5 \text{ módulos} \quad (5)$$

Serão necessários 5 (cinco) módulos para ligar o arranjo do sistema FV.

4.3.7 Escolha do inversor para o sistema

Como já foi dito, o conhecimento da tensão de circuito aberto do módulo é importante para a ligação com segurança do inversor. O inversor escolhido deve, então, suportar a tensão em circuito aberto do arranjo. Assim, nesse exemplo, se ligarmos os módulos em série, a *string* fornece uma tensão em circuito aberto igual a cinco vezes a tensão do módulo ($V_{oc} = 37,2V$), ou seja, a tensão de circuito aberto da *string* será igual a 186 V. Ainda, a potência do inversor escolhido deve atender à potência máxima do arranjo. Como escolhemos 5 módulos de potência máxima de 255W, devemos ter a potência máxima do arranjo igual a 1275 Wp. Escolhido o inversor *Grid-Tie* do fabricante “Beta”, que suporta máxima tensão DC de 400 V e potência máxima DC de 1320 W, para conexão à rede de 220 V / 60 Hz.

4.3.8 Custos de aquisição dos módulos fotovoltaicos e do inversor Grid-Tie

Considerando o preço médio de módulos FVs de silício monocristalino e policristalino praticados atualmente no mercado (em R\$/Wp), com valores de potência máxima de 50Wp a 255Wp, por fabricante, para microgeração, chegou-se aos resultados apresentados na Tabela 3.

Da mesma forma, foi feito levantamento do mercado de inversores *Grid-Tie* para conexão à rede, com valores de potência até 5 kW, por fabricante. Os valores médios em R\$/W estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 3: Custo médio de módulos FVs.

Fabricante (de 50Wp a 255Wp)	Módulos (valores médios em R\$/Wp)
A	6,08
B	6,02
C	5,86
D	5,53
E	6,52
F	6,89
G	6,18

Tabela 4: Custo médio de inversores *Grid-Tie*.

Fabricante (até 5 kW)	Módulos (valores médios em R\$/W)
A	3,76
B	2,20
C	4,00
D	1,87

A partir dos valores da pesquisa de mercado, vamos utilizar aqui os valores médios, tomando-se uma posição mais cuidadosa em relação à aquisição de equipamentos de melhor qualidade. Assim, admitindo um valor médio de 6,15 R\$/W para um módulo, o valor investido no arranjo FV, com 5 módulos de 255Wp, será de R\$ 7.841,25. Para a aquisição do inversor *Grid-Tie*, utilizamos o mesmo princípio de busca da qualidade, investindo em um inversor de preço médio de R\$ 2,95 R\$/W. Assim, o investimento na aquisição do inversor de 1.300W será de R\$ 3.835,00. O investimento total nos módulos FVs e no inversor será de um valor médio igual a R\$ 11.676,25.

4.3.9 Análise da economia média anual com gastos em energia elétrica

Para essa análise, utiliza-se a tarifa paga em uma conta de energia elétrica, valor em R\$ por energia consumida em kWh, incluindo-se, no valor da tarifa, tributos e encargos setoriais. Assim, vamos utilizar como referência valores atualizados de conta de energia elétrica praticada na cidade de Natal, com valor de tarifa de consumo ativo de 0,39 R\$/kWh, já adicionados os tributos. Nesse estudo de caso, foram analisadas contas sem consumo de reativo excedente (kVArh). Assim, o valor anual economizado, supondo a utilização normal do sistema, com a compensação de créditos dos 220 kWh médios mensais (melhor caso), seria igual a R\$ 1.029,60 por ano. O índice de reajuste tarifário médio de energia elétrica, praticado no RN, para clientes de baixa tensão,

levando-se em conta os anos de 2010 a 2013 é de 6,4%. Normalmente, os módulos garantem 90% de potência máxima por 10 anos e 80% por 20 anos. Desse modo, analisando os primeiros 10 (dez) anos, com a aplicação do índice médio de reajuste, o valor economizado pode chegar a R\$ 13.828,59. Nesta análise, está sendo levada em conta a condição ótima de exportação de energia, com compensação de créditos ao longo do período, originando balanço entre energia consumida e exportada.

5 CONCLUSÃO

A taxa de insolação média diária por metro quadrado da maior parte das capitais brasileiras é de 5000 Wh/m²/dia, podendo chegar, no Nordeste, ao valor de 5700 Wh/m²/dia. O dimensionamento de um sistema FV com base na insolação média anual apresenta fácil utilização, mas deve levar em consideração a condição do sistema na falta de energia nos meses de inverno e no excesso de energia nos meses de verão. Uma solução viável seria usar para o cálculo o valor da insolação referente ao pior mês do ano, a fim de garantir o abastecimento da energia elétrica nos meses de menor insolação. Uma residência que tenha instalado um sistema FV conectado à rede de distribuição, na condição do sistema *Net Metering*, estabelecido na Resolução 482/2012 da ANEEL, pode vir a consumir menos ou, no melhor caso, nenhuma energia da rede da distribuidora, diminuindo sua conta de energia elétrica ao final de um ano. No caso estudado, analisou-se uma condição básica de retorno do investimento, para um período de dez anos, no qual se conseguiria a recuperação do investimento para os módulos FVs e para o inversor *Grid-Tie*. Para tanto, seria necessária a condição ótima de operação dos painéis e uso do sistema de compensação de créditos. Uma análise mais sofisticada pode ser utilizada, levando-se em conta critérios melhores de investimento no tempo. No levantamento dos valores de mercado em R\$/Wp, dos módulos e dos inversores, verificou-se que os valores (em R\$) são menores à medida que a potência nominal do equipamento (Wp) é maior.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em <www.aneel.gov.br>. Acesso em 20 fev. 2012.

_____. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2005. Disponível em <www.aneel.gov.br>. Acesso em 06 jul. 2012.

_____. *Resolução normativa nº 482*, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2012.

ELETROBRÁS. *PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica*. Disponível em <www.eletrobras.com>. Acesso em 20 fev. 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Plano Nacional de Energia 2030*. Disponível em <www.epe.gov.br>. Acesso em 20 fev. 2012.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. *Energia e meio ambiente*. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

ROVERE, E. L. La (Coord.). *Subsídios para o planejamento da promoção da energia solar fotovoltaica no Brasil* (Relatório Técnico). Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2011.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. *Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações*. São Paulo: Érica, 2012.