



GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICA – ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA E *PAYBACK*

Leandro Mauricio Rocha Lima¹

Fernando Augusto Baptistini Pestana²

Resumo: O objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade econômica da implementação de um sistema fotovoltaico ligado à rede (*On-Grid*) em uma residência no município de Araraquara (SP) a fim de propor redução do consumo de energia elétrica. Foi realizada comparação entre os módulos fotovoltaicos: monocristalino, policristalino e silício amorfo registrados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), com o propósito de encontrar o melhor e mais econômico tipo de painel solar para a residência, tendo como exigência 3 critérios: custo, tamanho e eficiência. O artigo foi estruturado em 6 etapas para facilitar a compreensão, baseando seus apontamentos em revisão bibliográfica. Os resultados mostram que a residência, com área de painel de 25 metros quadrados e painel com eficiência de 16,5 %, levará aproximadamente 8 anos e 5 meses em condições normais de projeto para reaver todo o gasto realizado com a implementação de energia solar e a partir desse ponto começar a obter retorno do investimento. Conclui-se que não é possível eliminar todos os custos da fatura de energia elétrica em função dos encargos fixados pela concessionária e outros impostos e que embora a energia solar tenha um custo inicial elevado, ela se mostra uma tecnologia viável ao longo dos anos.

Palavras-chave: Energia solar; Implementação de um sistema fotovoltaico conectado à rede (*On-Grid*); Painéis fotovoltaicos.

GENERATION OF PHOTOVOLTAIC ELECTRIC ENERGY – ECONOMIC VIABILITY STUDY AND PAYBACK

Abstract: *The objective of this assignment is to assess the economic viability of the implementation of a photovoltaic system connected to an On-Grid network in an Araraquara municipality residence (SP) in order to propose a reduction in the consumption of electrical power. A comparison has been made between monocrystalline, polycrystalline and amorphous silicon photovoltaic modules registered by Institute National of Metrology, Quality and Technology (INMETRO), with the objective of finding the best and most economical type of solar panel, having 3 mandatory criteria: cost, size and efficiency. The article has been structured in 6 stages in order to facilitate the comprehension, basing its calculations on bibliographic review. The results show that a residence with a panel of 25*

¹ Graduando em Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara - UNIARA - Araraquara – SP.
E-mail: leandro_mauricio2014@outlook.com

² Orientador, Docente do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara - UNIARA - Araraquara – SP. E-mail: fernando@rhafer.com.br

meters squared with solar panels of 16.5 % efficiency will take 8 years and 5 months in normal project conditions, to recover to total amount spent on solar energy and from that point onwards returns on the investment start to be gained. It has been concluded that it is not possible to eliminate all the costs of the electric bill due to the charges set by the dealership and other taxes, and that although solar energy has a high initial cost, it is shown to be a viable technological solution as the years go by.

Key-words: *Solar energy; implementation of a photovoltaic system connected to an (On-Grid) network; photovoltaic panels.*

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o constante aumento da demanda e do preço da energia elétrica faz com que novas fontes alternativas de energia sejam cada vez mais exploradas. No cenário mundial, com o aquecimento global, o desmatamento e a poluição dos rios e dos mares, a geração de energia classificada como “limpa” ou “renovável” está sendo cada vez mais implementada, tais como as energias do tipo eólica, oceânica, biomassa e fotovoltaica (essa última também conhecida popularmente como solar). Esse fato ocorre porque essas fontes de energia não agredem o meio ambiente e também oferecem ao consumidor uma autonomia de escolha por outros tipos de geração de energia, que não sejam apenas a convencional (proveniente de usinas hidrelétricas), a fim de se reduzir gastos.

O território brasileiro, por se localizar geograficamente perto da linha do Equador, recebe grandes quantidades de raios solares e por isso a implementação de energia solar em residências, como fonte alternativa e renovável de geração de energia, torna-se cada vez mais interessante. Essa energia não gera poluição nem ruídos e pode ser utilizada em qualquer lugar em que exista luz solar, o que faz ela ser considerada inesgotável na escala de tempo.

Villalva e Gazoli (2015) acreditam que a participação das energias não-renováveis será cada vez menor no mundo, devido ao esgotamento das reservas de combustíveis fósseis. Em decorrência, amplia-se o espaço para que energias hoje consideradas como alternativas tornem-se as principais fontes para o futuro da humanidade.

O principal objetivo deste artigo é analisar a viabilidade econômica de implementação de um sistema de energia solar, isto é, um sistema fotovoltaico, ligado à rede (*On-Grid*) em uma residência do município de Araraquara (SP), em uma região que apresenta condições ambientais favoráveis para o desenvolvimento deste tipo de instalação. Pretende-se também fazer o estudo comparativo entre módulos fotovoltaicos monocristalino, policristalino e silício amorfo registrados pelo INMETRO para se obter uma boa qualidade pelo menor custo/benefício.

A principal motivação desse trabalho é devido a resolução normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) número 482, de 17/04/2012 e já em vigor. Tal resolução permite que o consumidor produza energia renovável e repasse a sobra dela à rede revendedora, obtendo em troca créditos para serem posteriormente usados nos horários em que não se tem luz solar, fazendo assim com que o consumo de energia seja cada vez menor (ANEEL, 2012).

Inicialmente, foi realizada pesquisa bibliográfica fundamentada em livros e artigos sobre a viabilidade econômica de se implementar esse sistema fotovoltaico em uma residência no município de Araraquara (SP). Depois, foram coletados os dados sobre a irradiação solar da região, a potência média anual da residência e a potência da placa fotovoltaica a ser utilizada, a fim de proceder-se a um estudo comparativo de placas fotovoltaicas com intuito de se obter o melhor tipo de placa e com menor preço. A próxima etapa foi a escolha dos materiais necessários e a partir disso foram apresentados os custos da instalação e o tempo de retorno do investimento.

2 PRINCIPAIS COMPONENTES PARA IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Edmond Becquerel, em 1839, constatou que uma célula eletroquímica tinha em seus terminais uma diferença de potencial quando exposta à radiação solar e tal reação recebeu o nome de “efeito fotovoltaico”. Em 1956 começou a produção industrial, visando sistemas em localidades remotas, porém, o grande impulsionador para o desenvolvimento e pesquisa de células fotovoltaicas foi a utilização delas como fonte de energia no espaço. Nessa época, as placas fotovoltaicas ainda não eram utilizadas em residências devido a seu alto custo, no entanto, a crise do petróleo em 1973 desenvolveu o interesse das pessoas em aplicações terrestres para a energia solar fotovoltaica (PINHO; GALDINO, 2014).

No Brasil, segundo Pinho e Galdino (2014), a energia solar percorreu um longo caminho com relação a sua implementação devido à falta de investimento e incentivo por parte do governo. Somente em 2012 foi criado pela ANEEL a regulamentação para sistemas fotovoltaicos ligados à rede, uma resolução normativa (RN n° 482) que trata da micro e mini geração distribuída a potências iguais ou inferiores 100 kWp e superiores a 100 kWp até 1MWp, respectivamente. Essa norma foi reavaliada e modificada pela ANEEL em 2015 (RN n° 687) com grandes atualizações, impactando diretamente no mercado de energia elétrica para micro e mini geradores distribuídos, pois criou novos nichos de consumidores e

possibilidades de negócios. Além disso, a resolução diminuiu o processo burocrático para a inserção das centrais geradoras junto às concessionárias de energia elétrica, beneficiando também, de forma direta, a mão de obra capacitada, com o surgimento de novos postos de trabalho (ANEEL, 2015).

Isso mostra que a adesão a esse tipo de energia está cada vez mais aumentando no país, além de que existem, nos dias atuais, empresas que trabalham com venda de materiais e outras que fazem toda a instalação de energia fotovoltaica.

Analisando o sistema fotovoltaico em seu princípio de funcionamento, a conversão da irradiação solar para corrente elétrica dá-se em materiais denominados como semicondutores. O semicondutor mais utilizado é o silício, que se caracteriza por possuir quatro elétrons e quatro lacunas. Ao se bombardear o silício com átomos pentavalentes, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que, com pouca energia, poderá caminhar para banda de condução. Diz-se assim, que o fósforo é um dopante do tipo N. Se, por outro lado, introduzem-se átomos trivalentes, como o boro, haverá um excesso de lacunas no silício. Diz-se portanto, que o boro é um dopante tipo P.

A partir de uma junção PN no silício, os elétrons livres do lado N passam para o lado P e se juntam com as lacunas desse lado P. Isso faz com que o lado P se torne negativamente carregado por ter um acúmulo de elétrons e o lado N se torne eletricamente positivo pela redução de elétrons; essas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de elétrons para o lado P. Quando a luz solar toca em uma junção PN, ela libera fótons que transferem energia para junção PN, fazendo com que as cargas sejam aceleradas, gerando assim, uma corrente através da junção. Esse deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial ao qual chamamos de Efeito Fotovoltaico (CRESESB, 2006).

Existem atualmente diversas tecnologias para fabricação de células e módulos fotovoltaicos. As tecnologias de células fotovoltaicas mais comuns encontradas no mercado são a do silício monocristalino, a do silício policristalino e a do filme fino de silício. A seguir serão apresentadas algumas características dessas diferentes tecnologias (VILLALVA; GAZOLI, 2015).

O silício monocristalino é fabricado com blocos de silício ultrapuro que são transformados em lingotes de silício monocristalino por meio do *método de Czochralski*. O lingote de silício monocristalino, formado por uma estrutura cristalina, possui organização molecular homogênea. Esse lingote de silício é serrado e fatiado para produzir *wafers*, que são finas bolachas de silício puro; como os *wafers* não possuem propriedades de uma célula

fotovoltaica, eles têm suas duas faces dopadas, formando semicondutores com lados P e N que constituem a base para o funcionamento da célula fotovoltaica. Por último, a célula recebe, em uma das faces, uma película metálica e na outra face, uma grade metálica além de uma camada de material antirreflexivo na face que vai receber a luz.

As células de silício monocristalino são as mais eficientes produzidas em larga escala e disponíveis comercialmente. Alcançam eficiência de 15 a 18%, mas têm um custo de produção mais elevado do que os outros tipos de células (VILLALVA; GAZOLI, 2015).

Já o processo de fabricação do silício policristalino é mais barato do que aquele empregado na fabricação do monocristalino. O lingote de silício policristalino é formado por um aglomerado de pequenos cristais, com tamanhos e orientações diferentes. Esse lingote policristalino também é serrado para produzir *wafers*, que se transformam em células fotovoltaicas e alcançam eficiência de 13 a 15% (VILLALVA; GAZOLI, 2015).

A terceira tecnologia, que são os filmes finos, surgiram após as tecnologias cristalinas já estarem bem desenvolvidas no mercado. Esses filmes são fabricados pela deposição de finas camadas de materiais (silício e outros) sobre uma base que pode ser rígida ou flexível. Esse processo de deposição pode ocorrer por vaporização ou por outros métodos, permitindo que pequenas quantidades de matéria-prima sejam empregadas para fabricar módulos. Um dos motivos dos filmes finos terem um custo reduzido é o baixo consumo de energia em sua fabricação, bem como a reduzida complexidade de fabricação, o que torna mais simples os processos automatizados, favorecendo a produção em larga escala. Os dispositivos de filmes finos são produzidos em qualquer dimensão e a única restrição é a área da base para fabricação do módulo. Por esta razão, não há distinção entre célula e módulo, sendo formados por uma grande e única célula fabricada na dimensão do módulo.

Apesar de terem um custo bem inferior à tecnologia cristalina, os dispositivos de filmes finos têm baixa eficiência e por isso necessitam de uma área de módulos muito maior para produzir a mesma quantidade de energia que as cristalinas. Uma das principais vantagens desses dispositivos é o melhor aproveitamento da luz solar em baixos níveis de radiação e para radiação difusa. Além disso, os módulos de filmes finos não diminuem a produção de energia com o aumento da temperatura e são menos sensíveis aos efeitos de sombreamento parcial (quando uma parte do módulo tem a luz obstruída por um obstáculo). Porém, eles sofrem grande degradação ao longo dos primeiros meses de implementação (VILLALVA; GAZOLI, 2015).

O silício amorfo é uma tecnologia que vem se mostrando forte para sistemas fotovoltaicos de baixo custo. As suas principais vantagens são: ter um processo de fabricação

relativamente barato e simples, a possibilidade de fabricação de células com grandes áreas e baixo consumo de energia na fabricação. Entretanto, esse silício apresenta duas desvantagens: a baixa eficiência dos módulos e a degradação das células ao longo dos primeiros meses de implementação. Eles alcançam eficiência de 5 a 8% e têm um custo bem menor que as células cristalinas (PORTAL ENERGIA, 2004).

Uma única célula fotovoltaica gera em torno de 0,7 volts e, por ter tensão e corrente muito baixa, as células fotovoltaicas são agrupadas em várias, formando assim um módulo fotovoltaico. O arranjo das células nos módulos pode ser feito conectando-as em série ou paralelo (PINHO; GALDINO, 2014).

Na conexão em série, o terminal positivo de um dispositivo fotovoltaico é conectado ao terminal negativo do outro dispositivo, e assim por diante para dispositivos idênticos e submetidos à mesma irradiância; quando a ligação é em série as tensões são somadas e a corrente elétrica continua a mesma. No caso de associarem-se dispositivos em série com diferentes correntes de curto-circuito, a corrente elétrica da associação será limitada pela menor corrente. Não é recomendável se ter associação de módulos com correntes diferentes, pois pode causar superaquecimento (PINHO; GALDINO, 2014).

Na associação em paralelo, por sua vez, os terminais positivos dos dispositivos são ligados entre si, assim como os terminais negativos. As correntes elétricas são somadas e a tensão permanece a mesma (PINHO; GALDINO, 2014).

Os demais equipamentos e materiais integrantes da instalação fotovoltaica são:

I) Os inversores de frequência que são indispensáveis para sistemas fotovoltaicos conectados à rede, pois são eles que vão transformar a corrente contínua, que é gerada nos módulos fotovoltaicos, em corrente alternada para ser utilizada pelos eletrodomésticos (PINHO; GALDINO, 2014).

II) As *String Box* utilizadas na proteção do seu kit de sistema fotovoltaico em corrente contínua e alternada; nela ficam os fusíveis, a chave seccionadora e o Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS) (ENERGIAPLENA, 2018).

III) O medidor bidirecional, que é um equipamento instalado quando um consumidor adquire o sistema de micro ou mini geração distribuída. Para exemplificar o uso desse medidor, é possível imaginar a própria implementação de energia fotovoltaica em uma residência: nessa hipótese, o proprietário agora tem duas fontes de energia que ele pode utilizar, sendo a da rua e a dos módulos fotovoltaicos e por isso é necessário o medidor bidirecional. Esse medidor faz a leitura da quantidade de energia que os módulos fotovoltaicos produzem e mandam para

a rede da concessionária, bem como faz a leitura da energia fornecida pela concessionária e utilizada em sua residência (FOTAIC, 2018).

3 IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (ON-GRID) EM UMA RESIDÊNCIA

O ambiente de estudo é uma residência localizada no bairro Jardim Del Rei em Araraquara, município do interior do Estado de São Paulo, Brasil. Caracteriza-se por localizar-se em uma região livre de sombreamento. Apresenta uma área de 25 metros quadrados disponível para instalação de painéis fotovoltaicos, que correspondem a parte da cobertura de telhas com orientação para o norte. A residência dispõe de uma rede bifásica 220 V. A Tabela 1 representa uma conta de energia da residência referente ao ano de 2017.

Tabela 1 – Dados da conta de energia elétrica da residência no ano de 2017

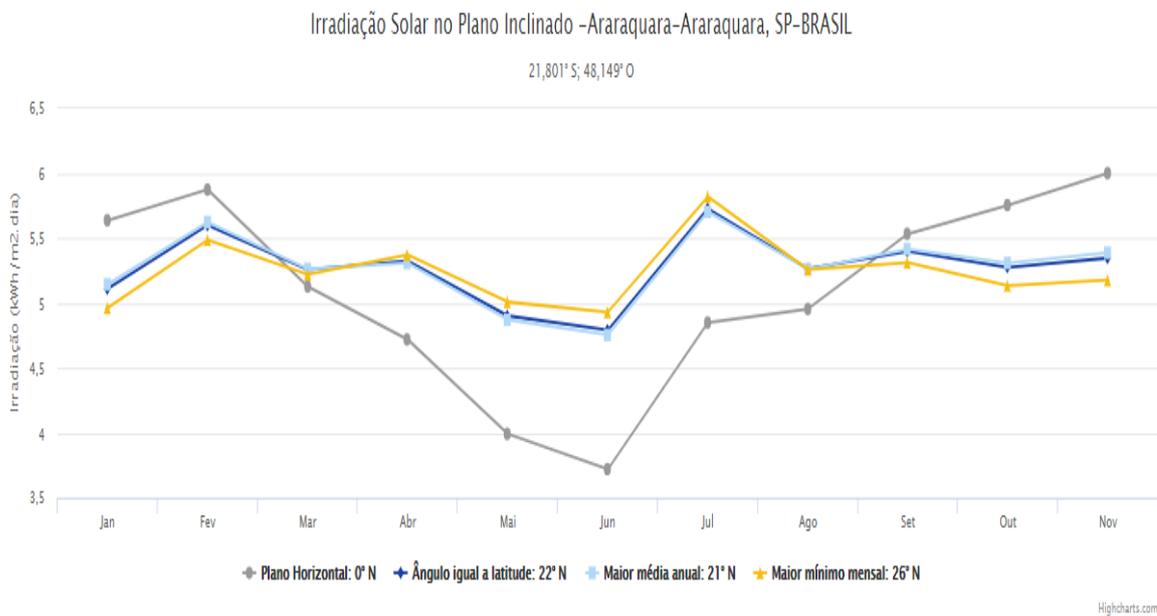
Meses	kWh	Preço
Janeiro	537	R\$ 369,98
Fevereiro	404	R\$ 280,00
Março	506	R\$ 359,00
Abril	375	R\$ 224,45
Maiο	380	R\$ 254,69
Junho	338	R\$ 227,11
Julho	319	R\$ 203,26
Agosto	368	R\$ 248,35
Setembro	454	R\$ 272,37
Outubro	454	R\$ 280,99
Novembro	388	R\$ 253,20
Dezembro	452	R\$ 279,04

Fonte: Própria, 2018

Verificou-se por meio da análise da conta de energia elétrica, o consumo médio mensal para os últimos 12 meses do local de estudo. O valor obtido foi um consumo médio mensal de 414,6 kWh/mês, porém, desse valor foram descontados 50 kWh que correspondem ao consumo mínimo cobrado pela concessionária; dividindo por 30 dias, o novo valor foi de 12,2 kWh/dia e foi esse valor o utilizado, mais a frente, para calcular-se o número de módulos fotovoltaicos necessários para a residência.

Utilizou-se do banco de dados disponibilizado através da ferramenta *SunData* no site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) para encontrar o valor médio de irradiação solar da cidade de Araraquara. Essa ferramenta mostra a irradiação solar para todos os meses do ano e a média anual; ela também mostra a irradiação solar para diferentes ângulos de instalação dos módulos fotovoltaicos, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Irradiação solar no plano inclinado em Araraquara, SP – Brasil



Estação: Araraquara
 Município: Araraquara, SP - BRASIL
 Latitude: 21,801° S
 Longitude: 48,249° O
 Distância do ponto de ref. (21,7946° S; 48,1768° O): 7,5 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,69	5,88	5,11	4,72	3,99	3,72	3,93	4,84	4,95	5,53	5,75	6,05	5,01	2,33
✓	Ângulo igual a latitude	22° N	5,15	5,60	5,24	5,32	4,90	4,79	4,97	5,72	5,26	5,39	5,27	5,39	5,26	,93
✓	Maior média anual	21° N	5,19	5,63	5,24	5,31	4,87	4,75	4,93	5,69	5,26	5,41	5,30	5,43	5,25	,94
✓	Maior mínimo mensal	27° N	4,96	5,46	5,19	5,38	5,03	4,96	5,13	5,83	5,25	5,28	5,08	5,17	5,23	,87

Fonte: CRESESB, 2018

Tais inclinações apresentam-se como sugestão para a instalação dos módulos fotovoltaicos. Em geral, o valor da latitude local é usado como ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos.

Os valores de irradiação solar obtidos pelo *SunData* são apenas orientações para auxiliar no dimensionamento do sistema fotovoltaico, pois são valores obtidos de um histórico de medições que varia ao longo dos anos (CRESESB, 2018).

No projeto, foi utilizado o valor médio referente ao plano horizontal que é 5,01 kWh/(m² x Dia). Escolheu-se considerar o menor dos valores médios a fim de dimensionar um sistema fotovoltaico que consiga suprir a demanda para qual foi projetado e pelo maior tempo possível. Se o maior valor fosse utilizado, ele poderia não ser obtido em determinados períodos do dia.

As perdas de energia em um sistema fotovoltaico agem diretamente no rendimento total, por isso, é essencial que elas sejam consideradas nos cálculos para se diminuir os erros e assim obter maior precisão no objetivo proposto nesse artigo, que é o de reduzir os gastos com energia. A Tabela 2 mostra os principais fatores de perda.

Tabela 2 – Fatores de perda e rendimento do sistema

Perdas por Temperatura	11,0 %
Incompatibilidade Elétrica	2,00 %
Tensão Circuito Aberto	2,00 %
Corrente Curto Circuito	1,50 %
Tensão Máxima Potência	1,50 %
Corrente Máxima Potência	5,00 %
Rendimento	79,0 %

Fonte: (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016)

Os valores apresentados na Tabela 2 são aproximados e podem variar para mais ou para menos, sendo que a definição da porcentagem de erro é dada pela qualidade dos materiais, pela distância entre os componentes e pela área ao redor.

Por meio dos dados colhidos anteriormente, foi calculado a potência total que os painéis precisam gerar de energia:

$$Potência_{painéis} = \frac{Energia_{geração}}{Tempo_{exposição} \times Rendimento} \quad (1)$$

$$Potência_{painéis} = \frac{12,2 \text{ kWh/dia}}{5,01 \text{ h/dia} \times 0,79} \quad (2)$$

$$Potência_{painéis} = 3,08 \text{ kWp} \quad (3)$$

Para calcular a quantidade de painéis solares, é necessário definir o valor da potência de cada uma das placas fotovoltaicas. Como a residência do estudo não dispõe de uma área muito grande para implementação dos painéis, serão utilizadas placas de 320 Watts de potência.

$$Quantidade_{painéis} = \frac{Potência_{painéis}}{Painel} \quad (4)$$

$$Quantidade_{painéis} = \frac{3,08 \text{ kWp}}{320 \text{ Wp}} \quad (5)$$

$$Quantidade_{painéis} = 9,63 \text{ unidades} \quad (6)$$

Como o resultado obtido foi um número quebrado, tem-se a opção de utilizar 9 ou 10 placas, sendo que, independente do valor escolhido, haverá uma pequena perda ou sobra de energia. Como o valor obtido se aproxima mais de 10, foi adotada a quantidade de 10 painéis para residência.

4 ESCOLHA DOS PAINÉIS

A escolha dos painéis para geração de energia foi realizada considerando-se três critérios: custo, tamanho e eficiência. Uma vez que os módulos de filmes finos, por terem uma eficiência muito baixa, precisam de uma área muito grande para implementação de painéis e que a residência de estudo dispõe de uma área limitada de 25 metros quadrados, a tecnologia de filmes finos não satisfaz os critérios, restando as opções de escolher-se entre painel monocristalino e policristalino. Comparando essas duas alternativas disponíveis, foi apresentada a Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação entre painéis monocristalino e policristalino

Painéis	Monocristalino	Policristalino
Potência	300 (W _p)	300 (W _p)
Tensão Circuito Aberto	39,7 (V)	45,7 (V)
Corrente Curto Circuito	9,83 (A)	8,81 (A)
Tensão Máxima Potência	32,5 (V)	37,1 (V)
Corrente Máxima Potência	9,24 (A)	8,09 (A)
Dimensões	1660x992x40 (mm)	1956x990x40 (mm)
Eficiência	18,33 %	15,4 %
Peso	18,2 (kg)	21 (kg)
Preço	R\$ 1064,98	R\$ 848,00

Fonte: NeoSolar, Agosto/2018

Diante dos dados descritos nas Tabela 3, foi possível analisar que o melhor painel para geração de energia neste caso será o policristalino e mesmo que seu tamanho seja maior que o monocristalino, ele não ultrapassa os 25 metros quadrados de área disponível. Além disso, seu custo é aproximadamente 20% menor que o monocristalino. Uma vez definida a utilização de painel de silício policristalino, foi realizada uma ampla pesquisa sobre as marcas e modelos disponíveis no mercado e certificados pelo INMETRO. Dentre os modelos pesquisados, optou-se pela utilização do painel com características específicas apresentadas na Tabela 4 e que atendeu o menor custo.

Tabela 4 – Painel solar escolhido

Painel	Policristalino
Potência	320 (W _p)
Tensão Circuito Aberto	46,0 (V)
Corrente Curto Circuito	9,18 (A)
Tensão Máxima Potência	37,0 (V)
Corrente Máxima Potência	8,64 (A)
Dimensões	1960 x 990 x 40 (mm)
Eficiência	16,5 %
Peso	25,5 Kg

Fonte: NeoSolar, Novembro/2018

No arranjo dos painéis policristalinos, eles foram ligados em série, posicionados com um ângulo de 22° graus voltados para o norte.

O inversor de frequência selecionado para o sistema é apropriado para interligação com a rede da concessionária, conhecido como *Grid-Tie* e com características principais apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Inversor de frequência escolhido

Inversor	Growatt 3000S
Potência Nominal	3000 (W)
Faixa Operação MPPT	70 ~ 550 (V)
Tensão Saída	220 (V)
Máxima Corrente Entrada	13 (A)
Máxima Corrente Saída	14,3 (A)
MPPT	1
Máxima Eficiência	97,6 %

Fonte: NeoSolar, Novembro/2018

A *string box* para corrente alternada (CA) selecionada conta com 1 seccionador FV, 1 DPS FV PRD-DC40r 800PV, chave seccionadora de 32A e 800V, quadro IP40 (instalação interna) - 268 x 228 x 102, equipamentos montados em trilho DIN. Todos os equipamentos e componentes foram escolhidos buscando atender aos critérios técnicos do projeto proposto, bem como custo/benefício.

5 RESULTADOS

Essa seção apresenta o custo estimativo de todos os equipamentos necessários para geração de energia fotovoltaica para o projeto proposto. Optou-se por escolher um kit de energia solar a fim de reduzir o custo contendo: 10 painéis fotovoltaicos (segundo o modelo escolhido e apresentado anteriormente na Tabela 4), 1 inversor de frequência (conforme descrito na Tabela 5), 1 *String box* no inversor para Corrente Contínua (CC), 2 pares de conectores MC4, 25 metros de cabo solar 4 mm preto, 25 metros de cabo solar 4 mm

vermelho e 1 estrutura para telhado cerâmico. A Tabela 6 apresenta o custo total do investimento, incluindo todos os equipamentos escolhidos e a mão de obra envolvida:

Tabela 6 – Custo total

Materiais	Preço
Kit Pannel Solar	R\$ 13.943,3
1 Caixa <i>String Box</i> CA	R\$ 969,0
Mão de Obra	R\$ 900,0
Custos de projeto e comissionamento	R\$ 2.000,00
CAPEX¹	R\$17.812,3

¹CAPEX – *Capital Expenditure* ou capital investido para instalação do sistema.

Fonte: NeoSolar, Novembro/2018

Depois de calculados o total de gastos, foi efetuado uma análise do tempo de retorno do investimento do projeto, em que foram considerados os parâmetros apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros utilizados para cálculo do retorno do investimento

Potência	3,08 kWp
Rendimento	79 %
Perdas	21 %
Horas de Sol Pleno	5,01 h
Período de Geração	365 Dias
Energia Gerada	4449,47118 kWh/ano
Degradação	0,7% a.a
Degradação 1º Ano	2,5 %
Manutenção	0,5 % a.a
<i>OPEX¹</i>	8,0 % a.a
Selic	6,5 % a.a

¹OPEX - *Operational Expenditure* ou valor investido para o bom funcionamento do sistema;

Fonte: Própria, 2018

A fim de considerar o pior cenário, foi utilizado na simulação o preço da tarifa de R\$ 0,567 por kWh, bem como a incidência da tarifa de Custeio de Iluminação Pública (CIP), no valor fixo de R\$ 22,38. Partindo-se de um CAPEX de R\$ 17.812,30 e dos dados apresentados na Tabela 7, foi elaborada a Tabela 8, em que se verifica o tempo de retorno do investimento.

Tabela 8 – Simulação do tempo de retorno do investimento

Ano (1)	Geração (2)	Tarifa (3)	Reembolso (4)	OPEX (5)	Tx. mín. (6)	FC anual (7)	FC acumulado (8)
0	0	R\$ 0,57	R\$ 0,00		-R\$ 608,76	-R\$ 19.812,30	-R\$ 19.812,30
1	4622,8272	R\$ 0,61	R\$ 2.830,83	-R\$ 99,06	-R\$ 635,98	R\$ 2.095,80	-R\$ 19.004,30
2	4507,25652	R\$ 0,66	R\$ 2.980,87	-R\$ 106,99	-R\$ 665,37	R\$ 2.208,51	-R\$ 18.031,07
3	4484,720237	R\$ 0,71	R\$ 3.203,24	-R\$ 115,55	-R\$ 697,11	R\$ 2.390,58	-R\$ 16.812,51
4	4462,296636	R\$ 0,77	R\$ 3.442,20	-R\$ 124,79	-R\$ 731,40	R\$ 2.586,02	-R\$ 15.319,30
5	4439,985153	R\$ 0,83	R\$ 3.698,99	-R\$ 134,77	-R\$ 768,43	R\$ 2.795,79	-R\$ 13.519,26
6	4417,785227	R\$ 0,90	R\$ 3.974,94	-R\$ 145,55	-R\$ 808,41	R\$ 3.020,97	-R\$ 11.377,05
7	4395,696301	R\$ 0,97	R\$ 4.271,47	-R\$ 157,20	-R\$ 851,60	R\$ 3.262,67	-R\$ 8.853,89
8	4373,71782	R\$ 1,05	R\$ 4.590,12	-R\$ 169,77	-R\$ 898,25	R\$ 3.522,10	-R\$ 5.907,30
9	4351,849231	R\$ 1,13	R\$ 4.932,54	-R\$ 183,36	-R\$ 948,62	R\$ 3.800,56	-R\$ 2.490,71
10	4330,089984	R\$ 1,22	R\$ 5.300,51	-R\$ 198,02	-R\$ 1.003,03	R\$ 4.099,46	R\$ 1.446,86
11	4308,439534	R\$ 1,32	R\$ 5.695,93	-R\$ 213,87	-R\$ 1.061,78	R\$ 4.420,28	R\$ 5.961,18
12	4286,897337	R\$ 1,43	R\$ 6.120,84	-R\$ 230,98	-R\$ 1.125,24	R\$ 4.764,63	R\$ 11.113,28
13	4265,46285	R\$ 1,54	R\$ 6.577,46	-R\$ 249,45	-R\$ 1.193,78	R\$ 5.134,23	R\$ 16.969,87
14	4244,135536	R\$ 1,67	R\$ 7.068,14	-R\$ 269,41	-R\$ 1.267,79	R\$ 5.530,93	R\$ 23.603,84
15	4222,914858	R\$ 1,80	R\$ 7.595,42	-R\$ 290,96	-R\$ 1.347,73	R\$ 5.956,72	R\$ 31.094,82
16	4201,800284	R\$ 1,94	R\$ 8.162,04	-R\$ 314,24	-R\$ 1.434,07	R\$ 6.413,73	R\$ 39.529,71
17	4180,791282	R\$ 2,10	R\$ 8.770,92	-R\$ 339,38	-R\$ 1.527,31	R\$ 6.904,24	R\$ 49.003,38
18	4159,887326	R\$ 2,27	R\$ 9.425,24	-R\$ 366,53	-R\$ 1.628,01	R\$ 7.430,70	R\$ 59.619,30
19	4139,087889	R\$ 2,45	R\$ 10.128,36	-R\$ 395,85	-R\$ 1.736,76	R\$ 7.995,75	R\$ 71.490,30
20	4118,39245	R\$ 2,64	R\$ 10.883,93	-R\$ 427,52	-R\$ 1.854,22	R\$ 8.602,20	R\$ 84.739,37
21	4097,800488	R\$ 2,85	R\$ 11.695,88	-R\$ 461,72	-R\$ 1.981,07	R\$ 9.253,08	R\$ 99.500,51
22	4077,311485	R\$ 3,08	R\$ 12.568,39	-R\$ 498,66	-R\$ 2.118,07	R\$ 9.951,66	R\$ 115.919,70
23	4056,924928	R\$ 3,33	R\$ 13.505,99	-R\$ 538,55	-R\$ 2.266,03	R\$ 10.701,41	R\$ 134.155,89
24	4036,640303	R\$ 3,60	R\$ 14.513,54	-R\$ 581,64	-R\$ 2.425,83	R\$ 11.506,07	R\$ 154.382,09
25	4016,457102	R\$ 3,88	R\$ 15.596,25	-R\$ 628,17	-R\$ 2.598,41	R\$ 12.369,67	R\$ 176.786,60

Fonte: Própria, 2018

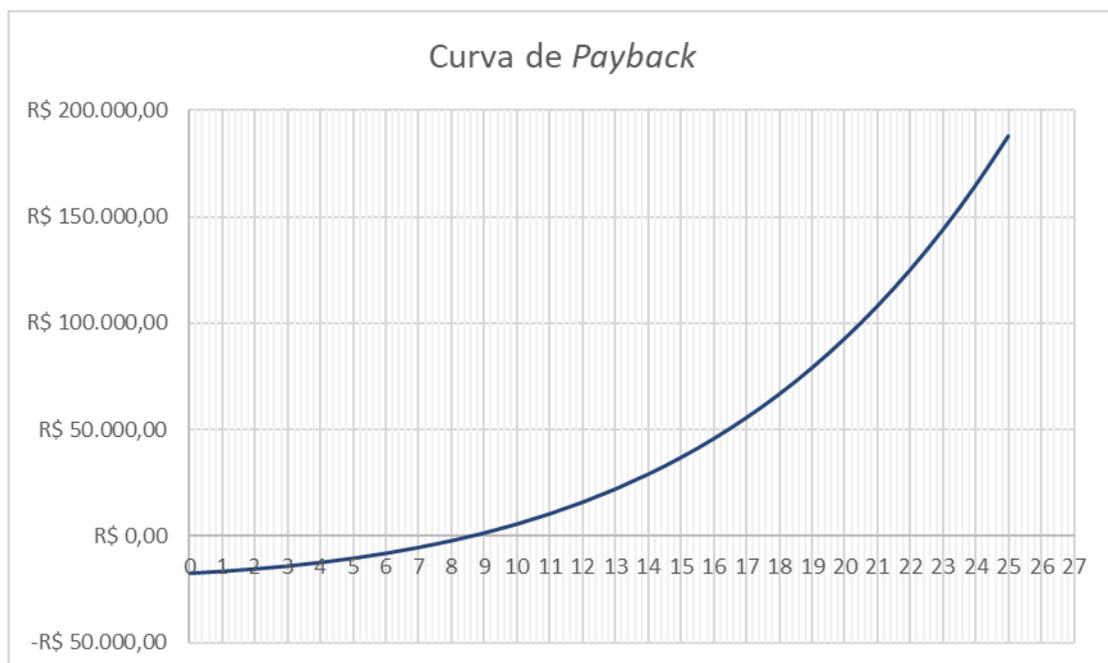
A fim de facilitar o entendimento, as colunas enumeradas da Tabela 8 são explicadas a seguir:

- (1) Ano: refere-se ao período operação do sistema;
- (2) Geração: expressa o valor em kWh que o sistema proposto consegue gerar de energia elétrica, sob as condições preestabelecidas;
- (3) Tarifa: valor considerado para 1kWh, referência à novembro de 2018;

- (4) Reembolso: é o valor da Geração (2) x Tarifa (3);
- (5) OPEX: conforme definido anteriormente, é o valor anual estimado para manter o sistema em bom funcionamento;
- (6) Taxa Mínima (Tx. Min.): representa o valor das taxas mínimas incidentes na fatura de energia, após a operação do sistema. Nesses valores estão incluídos o consumo mínimo e a CIP (incidentes mensalmente na fatura);
- (7) Fluxo de caixa anual (FC anual): corresponde a soma do (4) Reembolso + (5) OPEX + (6) Tx. Min. O FC anual corresponde ao valor líquido anual de retorno do investimento.
- (8) Fluxo de caixa acumulado (FC acumulado): corresponde ao CAPEX investido, à taxa Selic projetada e subtraído (7) FC anual. Esta coluna demonstra o momento em que ocorre o *payback*.

O tempo de retorno do investimento (*payback*) pode ser visualizado graficamente na Figura 2.

Figura 2 – Payback do sistema avaliado



Fonte: Própria, 2018

Após realização da simulação do retorno sobre o investimento apresentados numericamente na Tabela 8 e graficamente na Figura 2, constatou-se um período de retorno de investimento de aproximadamente 8,5 anos.

Tendo em vista que a residência, ao longo de 12 meses, apresenta um desembolso anual com energia de R\$ 3.252,44; com a implementação de energia fotovoltaica será possível obter uma economia de 79,8%, o que resultará em um novo desembolso anual de energia de R\$ 608,76 no primeiro ano.

Os módulos garantem 100% de geração máxima por 10 anos, decaindo para cerca de 80% após 25 anos de utilização. Já o inversor, apresenta vida útil de 15 anos. Percebe-se assim que, em caso de perda irreparável do inversor, resultante na necessidade de substituição dele antes do período de vida útil, o retorno do investimento não ocorrerá, o que o torna inviável. Analogamente, analisando-se a vida útil dos módulos fotovoltaicos com esse mesmo raciocínio, a falha nas placas antes dos períodos de vida útil compromete, em muito, o investimento.

Ademais, é importante ressaltar que foi utilizada uma tarifa de energia elétrica inferior a praticada atualmente, com a finalidade de se buscar uma situação crítica. Apenas como parâmetro, percebe-se que um aumento de 15% no valor da tarifa simulada resultará na antecipação de 1 ano no *payback*.

Com a análise dos pontos elencados, conclui-se que devem ser adotados todos os cuidados na aquisição de um bom projeto, bem como a utilização de materiais e equipamentos de qualidade em um sistema de geração fotovoltaica, complementados também por critérios técnicos de instalação e manutenção, a fim de se obter um *ROI* próximo ao idealizado.

Também, apesar dos resultados apresentarem valores estimados para a simulação proposta, deve-se frisar que a insolação considerada foi conservadora (5,01 kWh/(m² x Dia)), visando garantir a fidelidade do desempenho almejado. Cabe ressaltar que, apesar da obtenção de um tempo de retorno acima do convencionalmente encontrado, caso todas as variáveis se comportem dentro do previsto, o investimento ainda é viável nesse caso.

6 CONCLUSÃO

Baseado nos dados e cálculos apresentados, é possível afirmar que, embora a energia fotovoltaica tenha um custo inicial elevado, a implementação dessa tecnologia ao longo dos anos se mostra viável. No momento em que a residência se torna uma fonte geradora de energia, os gastos com eletricidade podem ser reduzidos em aproximadamente 80%. Também, quanto mais cara for a geração de energia devido à falta de chuvas e utilização de usinas termoeletricas, mais economia se tem, obtendo-se uma antecipação do retorno de

investimento apresentado. É importante salientar que não é possível zerar a conta de energia, porque embora o consumidor esteja produzindo sua própria eletricidade, a concessionária cobra uma taxa mínima dependendo do tipo de rede do proprietário, além da contribuição de custeio de iluminação pública.

Outrossim, desde que seus resíduos sejam reciclados ao final da sua vida útil, a energia solar não polui o meio ambiente, não gera ruídos e pode ser implementada em qualquer lugar onde exista luz solar. Por esse motivo, essa tecnologia vem crescendo e provando cada vez mais que será a fonte de energia mais utilizada no futuro, dado que países como Alemanha, China, Japão e Estados Unidos estão investindo cada vez mais nessa tecnologia. Necessário se faz, porém, adotar cuidados quanto à qualidade dos materiais e serviços utilizados para a implantação de um sistema fotovoltaico, a fim de tornar o investimento interessante. Percebe-se que incrementos de custos não considerados e que possam ocorrer para reparação do sistema podem comprometer o investimento; nesse ponto o Brasil caminha lentamente quando se fala de energia fotovoltaica, devido aos altos preços dos equipamentos e à falta de incentivo por parte do governo.

Estudos complementares merecem ser realizados para tornar mais vantajosa essa importante fonte de geração de energia elétrica para os clientes residenciais. Um bom início seria o incentivo por meio de novas leis, facilitando a implementação dessa tecnologia e disseminação de conteúdo, com intuito de conscientizar e informar corretamente a população.

REFERÊNCIAS

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2018.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2012. Disponível em: <<http://http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2018.
- BALFOUR, J.; SHAW, M.; NASH, N. B. **Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaico**. [S.l.: s.n.], 2016. Acesso em: 19 ago. 2018.
- CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólicas Sérgio de S. Brito. **Energia Solar - Princípios e Aplicações**. 2006. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2018.

- CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólicas Sérgio de S. Brito. 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 22 mar. 2018.
- ENERGIA PLENA. **Kit Painel Solar**. 2018. Disponível em: <<http://www.energiaplenua.com.br/kit-painel-solar>>. Acesso em: 09 out. 2018.
- FOTAIC. **Medidor de Energia Bidirecional**. 2018. Disponível em: <<http://fotaic.com.br/o-medidor-bidirecional/>>. Acesso em: 10 out. 2018.
- NEOSOLAR. 2018. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br>>. Acesso em: 14 nov. 2018.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. [s.n.], 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2018.
- PORTAL ENERGIA. **Energia Fotovoltaica Manual Sobre Tecnologias, Projeto e Instalação**. 2004. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2018.
- VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações Sistemas Isolados e Conectados à Rede**. [S.l.: s.n.], 2015. Acesso em: 12 fev. 2018.