

# MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO DE CONDOMÍNIO

João Luiz Cesarino Ferreira<sup>1</sup>  
Nélio Domingues Pizzolato<sup>2</sup>

## RESUMO

Este projeto consiste em dimensionar um sistema fotovoltaico interligado à rede enquadrado como microgeração conforme a Resolução nº 482 da ANEEL, que visa injetar energia na rede durante o dia onde há insolação para a produção de energia elétrica por meio de módulos fotovoltaicos como sistema de compensação de energia elétrica. O local escolhido foi a laje da cobertura de um prédio localizado na cidade de Juiz de Fora – MG. A metodologia aplicada foi a pesquisa descritiva e exploratória. No desenvolvimento deste trabalho foi feita uma revisão bibliográfica para a fundamentação teórica e posteriormente foi feito um estudo de caso com simulações em programas computacionais para analisar a viabilidade do projeto. Foi utilizado o simulador *PVsyst* para o cálculo de produção de energia. O projeto contém as informações dos dados solarimétricos e o dimensionamento dos equipamentos principais. Os impactos ambientais têm algumas questões sendo abordadas por estudiosos e empresários do ramo, sob o ponto de vista de operação o impacto ambiental é menor do que os impactos causados por fontes convencionais, uma vez que o recurso utilizado na produção é renovável, não emite poluentes líquidos, gasosos e materiais radiativos. Um dos principais obstáculos para maior utilização de painéis fotovoltaicos em unidades consumidoras, principalmente residenciais e comerciais de pequeno porte, consiste no alto investimento inicial associado à aquisição dos sistemas de geração. Seria relevante a criação de incentivos governamentais para a abertura de linhas de crédito com condições favoráveis para financiamento da aquisição de sistemas de geração solar fotovoltaica.

**Palavras-chave:** Microgeração, painel solar, sistema fotovoltaico.

---

<sup>1</sup> FERREIRA, João Luiz Cesarino. Professor Colégio Politécnico PIO XII (atuando na área de eletrônica e segurança do trabalho), Engenheiro de Produção pela UNIVERSO/ JF- MG, Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela UNIVERSO/ JF- MG, Especialista em Engenharia Ambiental e Sanitária Básica pela UNESA/ JF-MG, cursa o MBA em Gestão de Energias Renováveis pela UNESA/ JF-MG e o Mestrado Profissional em Gestão de Sistemas de Engenharia pela Universidade Católica de Petrópolis-UCP/ PE-RJ.

<sup>2</sup> PIZZOLATO, Nélio Domingues. Possui graduação em Engenharia Industrial Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1963), bolsista do governo da Suíça na ETH de Zurique (1966), mestrado em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1971), doutorado em *Business School - University of North Carolina* (1977) e pós-doutorado na *Université de Montréal* (1987). Contratado pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro como professor assistente em outubro 1969, tornou-se professor associado em 1978 e professor emérito em 2015. A partir de 2014 tornou-se professor da Universidade Católica de Petrópolis-UCP/RJ.

## 1. INTRODUÇÃO

O efeito fotovoltaico consiste no aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de um semicondutor, quando esse absorve a luz visível. A luz solar é composta de fótons que contêm quantidades diferentes de energia correspondente aos diferentes comprimentos de onda do espectro solar. Quando os fótons atingem uma célula dos dispositivos fotovoltaicos, podem ser refletidas ou absorvidas. Apenas os fótons absorvidos geram eletricidade, quando acontece, a energia do fóton é transferida para um elétron em um átomo da célula do semicondutor (FADIGAS, 2012).

Existem diferentes tipos de painel solar, e considerando que um sistema fotovoltaico é um investimento de alto valor monetário para um imóvel, é importante saber as características de cada um, assim como suas vantagens e desvantagens (NASCIMENTO, 2004). A tecnologia que domina o mercado de energia solar fotovoltaica é a de silício cristalino. A confiabilidade e eficiência do silício são difíceis de serem superadas. O painel de filme fino é um candidato a concorrência ao silício, é uma tecnologia que tem algumas aplicações, e apresenta algumas vantagens frente aos painéis tradicionais (FADIGAS, 2012).

A eficiência do [painel solar fotovoltaico](#) é analisado a porcentagem de energia do sol que atinge a superfície do [painel fotovoltaico](#) e é transformada em energia elétrica para o consumo. Quanto maior é a eficiência do painel fotovoltaico, mais potência por metro quadrado ( $kW/m^2$ ) o sistema vai gerar e menor é o painel para a mesma produção de energia (NASCIMENTO, 2004). Quase 80% dos painéis fotovoltaicos no mundo hoje são baseados em alguma variação de silício. A eficiência de painéis solares relaciona-se com a pureza do silício ( $Si$ ), mas os processos utilizados para melhorar a pureza do silício e o tratamento dele são caros e impactam diretamente no preço do painel solar. A eficiência não deve ser sua única e principal preocupação, fatores como espaço disponível, garantia e custo dos painéis são também fatores determinantes (WENDLING, 2011).

O objetivo deste artigo é de contribuir com o conhecimento sobre a viabilidade técnica e econômica da microgeração distribuída em condomínios, considerando a Resolução 687 (2015) da ANEEL, tanto para a comunidade acadêmica, quanto para os empresários e investidores do setor de energia.

### 1.1 Tecnologias dos Painéis Fotovoltaicos

No mercado estão disponíveis algumas tecnologias empregadas de painel solar, tais como:

**Silício monocristalino:** são feitos a partir de um único cristal de silício ultra puro, este é fatiado fazendo assim lâminas de silício individuais, que são então tratadas e transformadas em células fotovoltaicas. Cada [célula fotovoltaica](#) circular tem seus “4 lados” cortados fora para otimizar o espaço disponível no painel solar monocristalino e aproveitar melhor a área do painel (ALVES, 2011).

**Película de filme fino:** são depositados uma ou várias camadas finas de material fotovoltaico sobre um substrato que é a essência básica de como os painéis fotovoltaicos de filme fino são fabricados. Os diferentes tipos painéis solares de filme fino podem ser categorizados por material fotovoltaico que é depositado sobre o substrato: silício amorfo (*a-Si*); telureto de cádmio (*CdTe*); cobre, índio e gálio seleneto (*CIS/ CIGS*); células solares fotovoltaicas orgânicas (*OPV*) (ALVES, 2011).

**Híbrido (*HJT*):** é uma tecnologia nova no mercado conhecida por heterojunção, o processo de fabricação, com algumas diferenças, é similar ao dos painéis fotovoltaicos monocristalinos, porém, possuem uma passivação com camada de silício amorfo (*a-Si*), dentre outras diferenças. Colocando de uma forma simples, este painel produz mais energia por metro quadrado e também funciona muito bem com temperaturas mais altas, desta forma, esta tecnologia pela literatura considera ideal para o Brasil (VILLALVA, 2015).

**Silício policristalino:** a principal diferença entre as tecnologias do silício monocristalino e do silício policristalino está no método utilizado na fundição dos cristais. No policristalino, os cristais de silício são fundidos em um bloco, desta forma preservando a formação de múltiplos cristais, quando este bloco é cortado e fatiado, é possível observar esta formação múltipla de cristais (ALVES, 2011). Eles são semelhantes aos monocristalinos tanto no desempenho como na degradação, exceto que as células são ligeiramente menos eficientes.

Como vantagens a quantidade de silício residual gerado durante o processo de corte das células fotovoltaicas é menor em comparação com monocristalino; os painéis policristalinos tendem a ser um pouco mais baratos que os painéis solares monocristalinos; a vida útil dos painéis policristalinos é maior que 30 anos e eles vem com garantia de 25 anos (VILLALVA, 2015). E desvantagens a eficiência de painéis solares policristalinos é tipicamente entre 13% e 18%, devido principalmente, a menor pureza do polisilício; precisa de uma área maior de painéis policristalinos para gerar a mesma quantidade de potência por metro quadrado ( $kW/m^2$ ) que o painel monocristalino (NASCIMENTO, 2004).

A energia solar disponível em uma localidade varia sazonalmente, além de ser afetada pelas condições climatológicas. Com um baixo fluxo de potencial solar requer grande área captadora, para obter maiores potências, a variabilidade da irradiação solar implica no uso de sistemas de armazenamento, que em geral, são pouco eficientes (VILLALVA, 2015). O alto investimento inicial, leva a considerar a viabilidade econômica de um projeto, tendo em conta sua vida útil e todas as vantagens da utilização dessa forma de energia, para fim deste projeto a tecnologia utilizada será a do silício policristalino.

## **2. METODOLOGIA**

A metodologia aplicada foi a pesquisa descritiva e exploratória. No desenvolvimento deste trabalho foi feita uma revisão bibliográfica para a fundamentação teórica a fim de se obter o levantamento do estado da arte do tema, através de coleta de dados em artigos científicos, dissertações, livros técnicos, além de documentos e textos em meio virtual de domínio público, assim como, da fundamentação teórica ou ainda para justificar os limites e contribuições da própria pesquisa. E posteriormente foi feito um estudo de caso considerando um condomínio localizado na cidade de Juiz de Fora e feito simulações em programas computacionais para analisar a viabilidade do projeto.

Foi utilizado o PVSyst que é um *software* para auxílio no dimensionamento e projeto de SFV's (sistemas fotovoltaicos) com recursos de simulação, cálculo, emissão de relatório e documentação técnica de sistemas fotovoltaicos de qualquer porte. Esse software serve como de apoio ao profissional de Energia Solar Fotovoltaica em questões complexas como cálculo de perdas por sombreamento, depreciação dos equipamentos, sujeira nos módulos, qualidade da energia que circula na rede elétrica, análise financeira sob diferentes cenários, produção estimada de energia considerando a eficiência individual de cada equipamento do sistema e vários outros recursos (PVSYST, 2012).

Foi simulado através do portal do CRESESB através do programa *Sundata* a incidência de radiação solar na região para fins de dimensionamento do projeto e custos. E feito simulação no portal NEOSOLAR a geração dos impactos ambientais causados por este tipo de energia.

## **3. DESENVOLVIMENTO**

Tem-se uma gama de motivações e contextos propícios a mudanças de eficiência e as necessidades da evolução do suprimento de energia. Conduzindo a repensar as dinâmicas nas cidades com base em temáticas de redes elétricas inteligentes, de geração distribuída e gerenciamento pela demanda em níveis cada vez mais próximos dos usuários finais, nos diversos setores da sociedade (RUTHER, 2004).

Frente a estas demandas a energia solar se destaca e leva vantagens em centros urbanos pelo seu aproveitamento modular, espaços de integração abundantes, facilidade de instalação, de forma que o seu uso remete ao aproveitamento racional, sustentável e eficaz da energia disponível.

De acordo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) um empreendimento com múltiplas unidades consumidoras: caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento (ANEEL, 2015). Então será realizado um projeto com a viabilidade econômica do mesmo.

### 3.1. Dimensionamento do Painel Fotovoltaico

Será considerado para fim deste projeto um prédio com localizado na cidade de Juiz de Fora- MG com 9 apartamentos, será considerado uma média mensal por apartamento de 350 *kWh* (este consumo médio para fim deste projeto será levado em conta para famílias de 3 a 4 pessoas de cada apartamento) e mais o consumo do condomínio (área comum entre os moradores) com uma média mensal de 210 *kWh*. O consumo médio mensal observado dos últimos 12 meses descontando a custo de disponibilidade (*CD*) de 50 *kWh/ mês* (padrão de sistema bifásico) de acordo com a Resolução Normativa da 414/2010 (ANEEL, 2010), para cada apartamento:

$$C_m = 350 - 50 = 300kWh \quad (1)$$

E a potência consumida no condomínio:

$$C_m = 210 - 50 = 160 \text{ kWh} \quad (2)$$

O consumo diário é dado pela equação para cada apartamento:

$$C_d = 300/30 = 10 \text{ kWh/dia} \quad (3)$$

E o consumo diário do condomínio:

$$C_d = 210/30 = 7 \text{ kWh/dia} \quad (4)$$

Foram levantados os dados de irradiação solar da cidade de Juiz de Fora- MG através do site do CRESESB (2014), para o dimensionamento do sistema, o critério adotado foi de utilizar-se o pior caso de irradiação, que corresponde ao mês de junho. O painel ficará inclinado a 22° de latitude, na coluna do mês de maio escolheu-se o valor de irradiação:

$$I_r = 4,24 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia} \quad (5)$$

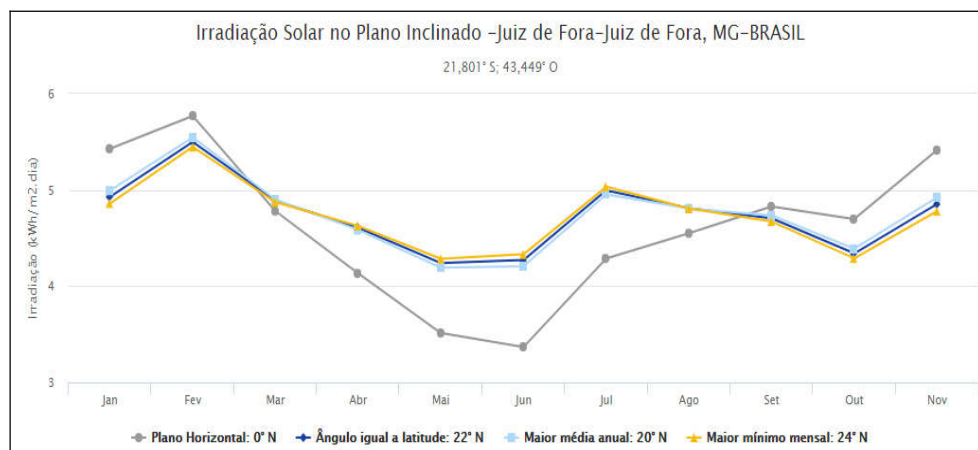
De acordo com Figura 1, a inclinação dos painéis fotovoltaicos pode ser ajustada, objetivando homogeneizar a produção de energia ao longo do ano, otimizando para o inverno.

Estação: Juiz de Fora Município: Juiz de Fora, MG - BRASIL Latitude: 21,801° S Longitude: 43,449° O Distância do ponto de ref. (21,7642° S; 43,3496° O): 11,1 km																
#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,43	5,77	4,78	4,13	3,51	3,37	3,53	4,29	4,55	4,83	4,70	5,42	4,52	2,40
✓	Ângulo igual a latitude	22° N	4,93	5,50	4,89	4,61	4,24	4,27	4,39	5,00	4,81	4,71	4,34	4,85	4,71	1,26
✓	Maior média anual	20° N	4,99	5,55	4,90	4,58	4,19	4,21	4,33	4,95	4,81	4,74	4,39	4,92	4,71	1,36
✓	Maior mínimo mensal	24° N	4,86	5,45	4,87	4,63	4,28	4,33	4,44	5,03	4,81	4,67	4,29	4,78	4,70	1,16

**Figura 1:** Irradiação solar diária média mensal.

Fonte: CRESESB (2019).

O programa *SunData* conforme a Figura 2, destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal é uma ferramenta do site do CRESESB (2014) de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.



**Figura 2:** Gráfico de irradiação solar no plano inclinado em 22°.

Fonte: CRESESB (2019).

O número de horas diárias de sol considerada neste projeto pode ser obtido através da irradiância ( $I_d$ ) padrão de  $1 \text{ kW/m}^2$  e do valor de irradiação ( $I_r$ ):

$$N_{hsol} = I_r / I_d = 4,24h / dia \quad (6)$$

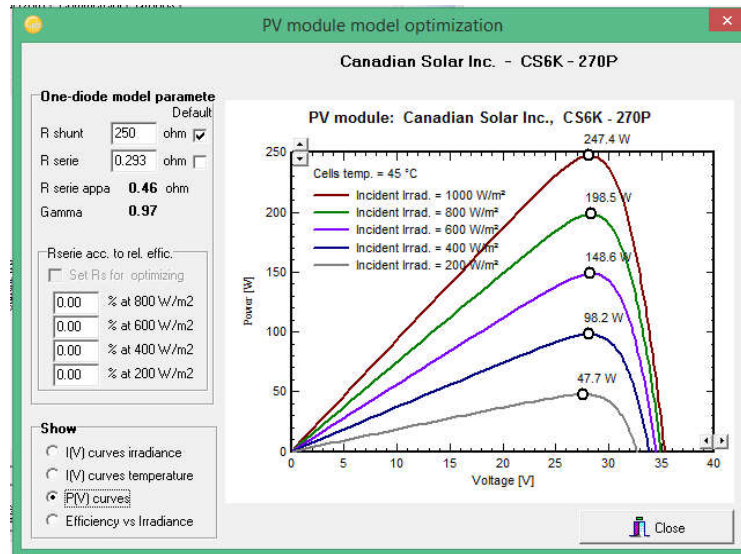
Não significa que haverá apenas  $4,24 \text{ h}$  de sol no dia, mas apenas nos horários entre 11 horas às 13 horas em dias ensolarados que a irradiância alcança níveis próximos a  $1 \text{ kW/m}^2$ , e as placas geram na potência nominal. Assim a demanda prevista para ser atendida pelos painéis é:

$$D = [(10kWh/d * 9) + (7kWh/d)] / 4,24h/d \cong 23kW \quad (7)$$

Assim serão utilizados 90 painéis de  $270 \text{ Wp}$  totalizando uma potência de aproximadamente  $23 \text{ kW}$ . Os painéis devem ser colocados apontados para o norte geográfico, e com inclinação igual a latitude, para otimização do sistema *on-grid*. A potência dimensionada não corresponde a demanda de pico ou a instalada, da instalação elétrica.

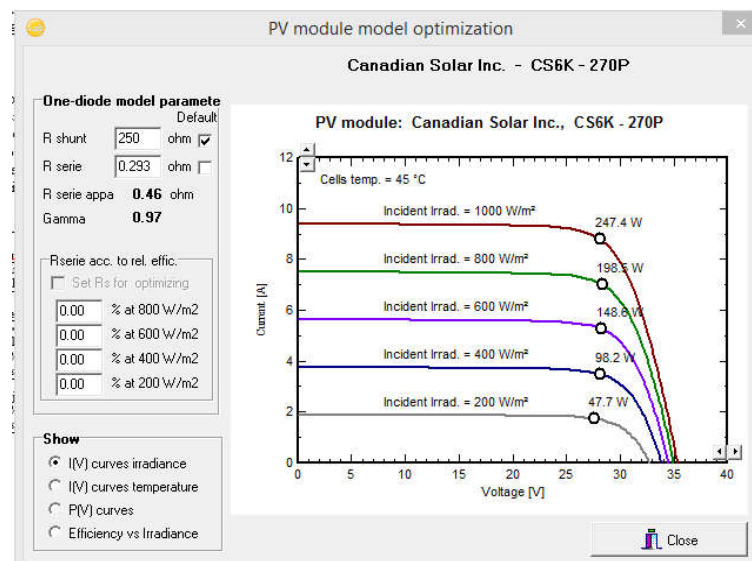
Neste artigo para fins de simulação e análise será utilizado o módulo solar fotovoltaico *Canadian Solar* de  $270 \text{ Wp}$  de uso em sistemas conectados à rede (*grid-tie*), este painel solar fotovoltaico, modelo CS6K-270P, possui estrutura em alumínio anodizado. Este módulo fotovoltaico de acordo com o fabricante é certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) com nota “A”, apresentando eficiência de 16,5% (CANADIAN, 2018). As células fotovoltaicas são protegidas por uma resistente camada de vidro temperado. Condições padrões de teste do painel a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  e irradiância a  $1000 \text{ W/m}^2$ :

- Potência máxima ( $P_{m\acute{a}x}$ ):  $270 \text{ Wp}$ ;
- Tolerância: 0% a +5%;
- Tensão em circuito aberto ( $V_{oc}$ ):  $37,9 \text{ V}$ ;
- Tensão em  $P_{m\acute{a}x}$  ( $V_{mpp}$ ):  $30,8 \text{ V}$ ;
- Corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ):  $9,32 \text{ A}$ ;
- Corrente de Pico ( $I_{mpp}$ ):  $8,75 \text{ A}$ ;
- Voltagem máxima do sistema:  $1000 \text{ V}$ ;
- Tipo de célula: Silício Policristalino;
- Dimensões painel:  $1650 \times 992 \times 40 \text{ [mm]}$ ;
- Moldura: Alumínio;
- Peso:  $18,2 \text{ kg}$ .



**Figura 3:** Gráfico *PVSyst* de potência de acordo com a irradiância solar.  
**Fonte:** Elaborado pelos autores através do *software PVSyst* (2019).

A curva da Figura 3 plotada pelo *software PVSyst* representa o nível de potência elétrica produzida de acordo com a incidência de irradiância solar em  $W/m^2$ , a uma temperatura do painel de  $45^\circ C$  (PVSYST, 2012).



**Figura 4:** Gráfico de corrente elétrica em função da irradiância de acordo com o *PVSyst*.  
**Fonte:** Elaborado pelos autores através do *software PVSyst* (2019).

A Figura 4 está plotando o gráfico da corrente elétrica em função da irradiância de acordo com o *PVSyst* do painel solar CS6K-270P, com a análise de irradiação incidente no painel em uma temperatura de  $45^\circ C$ .

### 3.2. Dimensionamento do Inversor



O inversor adotado para painéis fotovoltaicos em sistemas conectados à rede pública de energia para este projeto foi a *string Fronius Primo 3.0-1* que tem potência nominal de 3000  $W$  na saída e na entrada pode operar arranjos de módulos fotovoltaicos com potência instalada entre 2,5  $kW$  à 4,5  $kW$ . Pesa 21,5  $kg$  e possui um desenho prático, que reduz o tempo de instalação (SOLAR, 2018).

Através de uma conexão sem fio (*Wi-fi*), o inversor pode se conectar a um computador ou smartphone para acesso a informações em tempo real sobre a geração de energia pelo sistema fotovoltaico. É feito o monitoramento constante da rede pública de energia e caso sejam identificados problemas, o inversor desliga automaticamente. Este inversor conta com isolamento galvânico, que evita que problemas no arranjo de módulos ou no inversor sejam transferidos para a rede pública de energia.

De acordo com as características do painel a tensão de operação a plena carga do painel solar é de 30,9  $V$  (SOLAR, 2018). A faixa de valores de tensão admissíveis para geração a plena carga (*MPP*) do inversor compreende entre 80  $V$  à 800  $V$ , assim serão ligados 15 painéis em série totalizando um  $V_{in}$  de 463,5  $V$ . E como 80  $V < 463,5 V < 800 V$  a tensão de plena carga está adequada para este inversor. A tensão de circuito aberto do painel é maior que a plena carga, e também deve ser menor que a máxima permitida de entrada do inversor (80  $V$  à 1000  $V$ ) logo verifica-se:

$$V_{m\acute{a}x} = 15 * V_{oc} = 568,5V \quad (8)$$

Então, 80  $V < 568,5 V < 1000 V$  este critério também estará atendido. A corrente máxima de entrada do inversor é de 12  $A$ , e a corrente de plena carga (*MPP*) dos painéis é de 8,75  $A$ , como os painéis estarão em série a corrente de entrada do inversor será a mesma, portanto estará dentro dos padrões permitidos (SOLAR, 2018).

A Figura 5 demonstra a eficiência do inversor *Fronius Primo 3.0.1* em relação a potência final de acordo com os níveis de tensão elétrica aplicados.

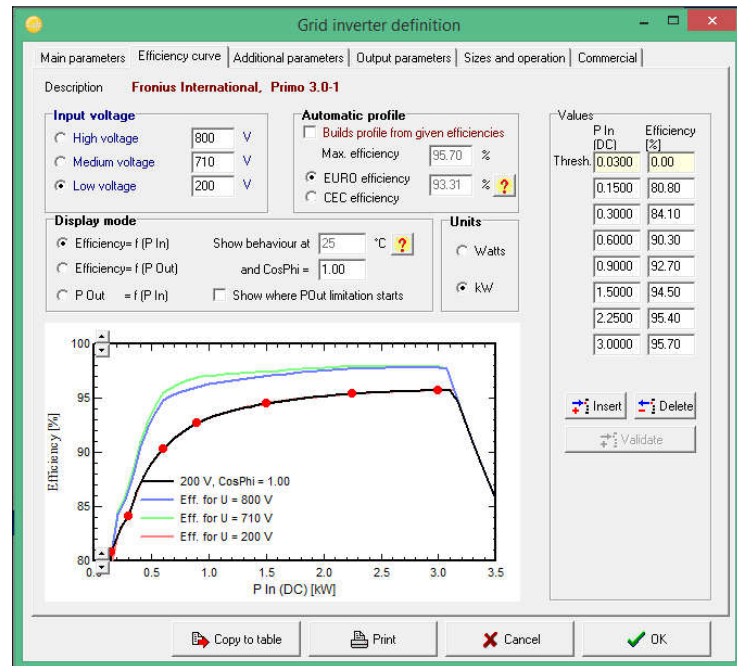


Figura 5: Curva do inversor identificando a eficiência versus a potência final.  
Fonte: Elaborado pelos autores através do *software PVsyst* (2019).

### 3.3. Medição de Energia

A potência ativa consumida ou excedente injetada na rede deve ser mensurada através de um medidor de energia bidirecional, o qual é fornecido e instalado pela concessionária de energia elétrica no momento da vistoria final. O cálculo de potência ativa feito pelo medidor não requer complexidade, a análise de cálculo leva em conta a potência que entra da rede para as cargas, assim como quanto o sistema gerador retorna à rede (ANEEL, 2015).

$$P_{total} = P_{injetada} - P_{consumida} \quad (9)$$

A ANEEL com a Resolução Normativa REN 482/2012, cujo objetivo é estabelecer as exigências, tanto para o acesso a rede de distribuição, para a conexão de micro e minigeradores de energia, quanto ao sistema de compensação de créditos em energia elétrica. Junto com o advento da implementação de novos sistemas microgeradores em todo o país (ANEEL, 2012).

A REN 414/2010 teve ajustes quanto aos custos segundo a REN 482/2012 e por fim um novo ajuste de acordo com a REN no 687/2015, que revisa e regulamenta o tempo de espera para a homologação junto à concessionária e aos procedimentos de acesso a rede de distribuição (PRODIST). A Figura 6 ilustra o medidor bidirecional, que para toda energia ativa excedente injetada à rede de distribuição da concessionária é convertida em créditos

através do sistema de compensação (conhecido também por tarifação *net metering*) (ANEEL, 2018), o saldo é computado pela concessionária local e é válido por 60 meses.

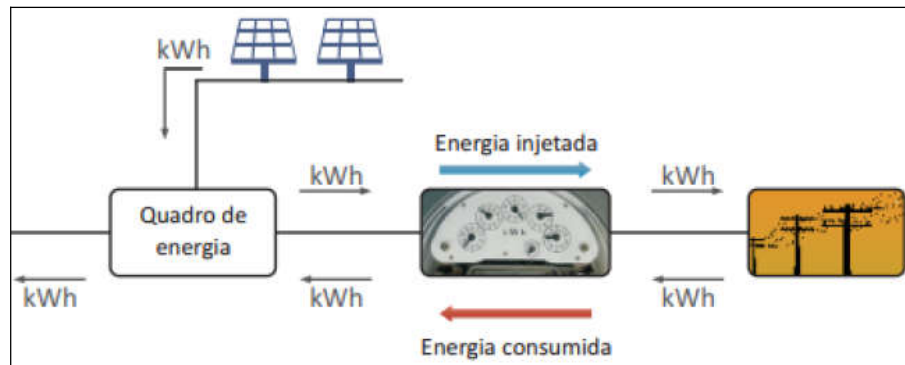


Figura 6: Ilustração do medidor bidirecional de energia elétrica.

Fonte: ANEEL (2018).

### 3.4. Investimentos do Projeto

Conforme a Tabela 1, o investimento do projeto consiste na aquisição dos painéis solares mediante o seu dimensionamento, do inversor de frequência e seus acessórios como os cabos de ligação, disjuntores. Para fim de estimativa de cálculo se utiliza da prática de utilizar um percentual de aproximadamente de 20% dos valores de aquisição do painel solar com a soma dos valores dos inversores de frequência. E para os custos de desenvolvimento do projeto se utiliza da prática de um percentual de aproximadamente de 15% do somatório dos valores do painel solar, mais os valores dos inversores de frequência e com os valores dos acessórios adquiridos.

Tabela 1: Investimentos do projeto

Equipamento	Quantidade	Marca	Modelo	Valor unitário	Subtotal
Painel solar	90	<i>Canadian</i>	CS6K-270P	R\$ 689,00	R\$ 62.010,00
Inversor	6	<i>Fronius</i>	Primo 3.0-1	R\$ 6.880,00	R\$ 41.280,00
Cabos e instalação ~ 20% (do custo do painel e inversor)	1	Não	Não	R\$ 20.658,00	R\$ 20.658,00
Projeto ~ 15% (do custo do painel, inversor e cabos)	1	Não	Não	R\$ 18.592,20	R\$ 18.592,20
<b>Total</b>					<b>R\$ 142.540,20</b>

Fonte: Elaborada pelos autores.

## 4. VIABILIDADE ECONÔMICA

### 4.1. Tarifas de Energia Elétrica

Como a unidade consumidora é do tipo residencial, em baixa tensão, bifásica, com consumo acima de 50 *kWh*, nesta ocasião a tarifa de energia é de 1,01439949 *R\$/ kWh*, sendo o *ICMS* de 30%, e o Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (*PASEP*) 1,26%, a Contribuição para Financiamento de Seguridade Social (*COFINS*) em 5,96% e a Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública (*CCSIP*) da cidade Juiz de Fora no valor atual de *R\$9,77* (CEMIG, 2018). Para este estudo de caso, foi considerado a bandeira verde, não ocorrendo assim aumento na tarifa.

#### 4.2. Análise de Viabilidade Econômica

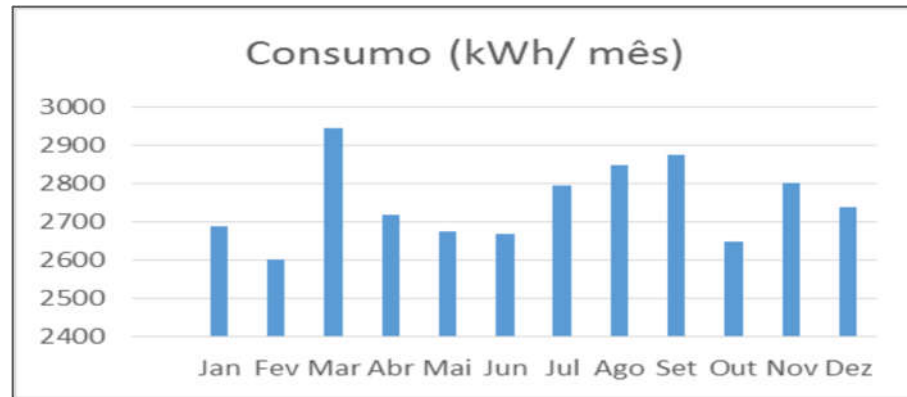
Com as tarifas encontradas, considerando um melhor cenário que foi realizado através de análise aleatória de consumo entre os meses de janeiro e dezembro no *Excel* chegou em um valor para a energia mínima mensal fotovoltaica que é de 150 *kWh/mês* e foi realizado o cálculo da energia líquida mensal, obtendo-se a Tabela 2.

**Tabela 2:** Cálculo da energia líquida mensal.

Mês	Consumo (kWh/ mês)	Energia SFV (kWh/ mês)	Energia Líquida (kWh/ mês)
Janeiro	2688	2620	68
Fevereiro	2603	2615	12
Março	2943	2457	486
Abril	2717	2684	33
Mai	2674	2539	135
Junho	2668	2681	13
Julho	2794	2676	118
Agosto	2847	2555	292
Setembro	2874	2697	177
Outubro	2650	2537	113
Novembro	2803	2363	440
Dezembro	2740	2381	359

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

O histograma da Figura 7 representa o consumo médio mensal compreendendo os meses entre janeiro e dezembro considerando como um ano zero, feito por análise aleatória desenvolvida pelo *Excel*. Sendo base de dados para o desenvolvimento da análise econômica.



**Figura 7:** Histograma de estimativa de consumo de energia no ano zero.

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

Com a energia líquida encontrada, foi efetivada uma estimativa de economia anual na conta de energia elétrica com o sistema fotovoltaico dimensionado de acordo com a Tabela 3:

**Tabela 3:** Cálculo da economia anual.

Mês	CD [R\$]	Impostos [R\$]	Pagamento total com SFV	Pagamento total sem SFV
Janeiro	R\$ 50,72	R\$ 94,85	R\$ 68,15	R\$ 363,46
Fevereiro	R\$ 50,72	R\$ 91,46	R\$ 59,14	R\$ 353,88
Março	R\$ 50,72	R\$ 105,91	R\$ 115,27	R\$ 392,20
Abril	R\$ 50,72	R\$ 95,69	R\$ 64,21	R\$ 366,73
Maio	R\$ 50,72	R\$ 94,69	R\$ 75,71	R\$ 361,88
Junho	R\$ 50,72	R\$ 93,74	R\$ 59,02	R\$ 361,20
Julho	R\$ 50,72	R\$ 98,83	R\$ 73,79	R\$ 375,40
Agosto	R\$ 50,72	R\$ 101,56	R\$ 93,40	R\$ 381,38
Setembro	R\$ 50,72	R\$ 101,93	R\$ 80,44	R\$ 384,42
Outubro	R\$ 50,72	R\$ 93,74	R\$ 73,23	R\$ 359,17
Novembro	R\$ 50,72	R\$ 100,76	R\$ 110,08	R\$ 376,42
Dezembro	R\$ 50,72	R\$ 98,14	R\$ 100,95	R\$ 369,32
<b>Total</b>	<b>R\$ 608,64</b>	<b>R\$ 1.171,29</b>	<b>R\$ 973,39</b>	<b>R\$ 4.445,46</b>
<b>Economia energética anual (R\$/ano)</b>				<b>R\$ 3.472,06</b>

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

Com o valor da economia anual na conta de energia encontrado, efetuou-se o cálculo do tempo de retorno do investimento (*Payback*), como também a taxa interna de retorno (*TIR*) (MONTENEGRO, 2013). Foram consideradas as seguintes informações: vida útil de 25 anos para o sistema fotovoltaico; inflação anual de 2018 é de aproximadamente 4% e a taxa de aumento da energia de 8%. Antes, verificou-se o valor futuro (*VF*) da economia anual, corrigido com a taxa de aumento da energia, de acordo com a seguinte expressão (AZEVEDO, 2016):

$$VF = Veea * (1 + iae)^{(n-1)} \quad (10)$$

Onde “*Veea*” é o valor da economia energética anual, “*iae*” é a taxa de aumento da energia, e “*n*” é o tempo em anos. Com isto, calculou-se o valor presente (*VP*) da economia anual corrigido com a taxa de inflação (*i*), sendo verificado tempo de retorno do investimento de acordo com a seguinte expressão (AZEVEDO, 2016):

$$VP = VF * (1 + i)^{(n-1)} \quad (11)$$

Para a Tabela 4 foi feito a relação do valor de R\$ 142.540,20 que é o total do investimento do sistema fotovoltaico pela quantidade de 9 apartamentos do condomínio, totalizando então em R\$15.837,80, dado como o investimento inicial de cada apartamento.

**Tabela 4:** Valores futuro (*VF*), presente (*VP*) e o saldo.

Ano	VF (R\$)	VP (R\$)	Saldo (R\$)
0	-R\$ 15.837,80	-R\$ 15.837,80	-R\$ 15.837,80
1	R\$ 3.472,06	R\$ 3.472,06	-R\$ 12.365,74
2	R\$ 3.749,83	R\$ 3.605,60	-R\$ 8.760,13
3	R\$ 4.049,82	R\$ 3.744,28	-R\$ 5.015,85
4	R\$ 4.373,80	R\$ 3.888,29	-R\$ 1.127,56
5	R\$ 4.723,70	R\$ 4.037,84	R\$ 2.910,29
6	R\$ 5.101,60	R\$ 4.193,14	R\$ 7.103,43
7	R\$ 5.509,73	R\$ 4.354,42	R\$ 11.457,85
8	R\$ 5.950,51	R\$ 4.521,90	R\$ 15.979,75
9	R\$ 6.426,55	R\$ 4.695,82	R\$ 20.675,56
10	R\$ 6.940,67	R\$ 4.876,42	R\$ 25.551,99
11	R\$ 7.495,93	R\$ 5.063,98	R\$ 30.615,97
12	R\$ 8.095,60	R\$ 5.258,75	R\$ 35.874,71
13	R\$ 8.743,25	R\$ 5.461,01	R\$ 41.335,72
14	R\$ 9.442,71	R\$ 5.671,05	R\$ 47.006,77
15	R\$ 10.198,12	R\$ 5.889,16	R\$ 52.895,93
16	R\$ 11.013,97	R\$ 6.115,67	R\$ 59.011,60
17	R\$ 11.895,09	R\$ 6.350,89	R\$ 65.362,48
18	R\$ 12.846,70	R\$ 6.595,15	R\$ 71.957,64
19	R\$ 13.874,44	R\$ 6.848,81	R\$ 78.806,45
20	R\$ 14.984,39	R\$ 7.112,23	R\$ 85.918,67
21	R\$ 16.183,14	R\$ 7.385,77	R\$ 93.304,45
22	R\$ 17.477,79	R\$ 7.669,84	R\$ 100.974,29
23	R\$ 18.876,02	R\$ 7.964,84	R\$ 108.939,13
24	R\$ 20.386,10	R\$ 8.271,18	R\$ 117.210,31
25	R\$ 22.016,99	R\$ 8.589,30	R\$ 125.799,60

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

Para o condomínio será criado através de reunião uma taxa de fundo obras no valor mensal de R\$25,00, acumulando então a cada ano o valor de R\$300,00, valor este que servirá para dar as manutenções e troca de equipamentos quando necessárias, podendo ser cancelada

por meio de análise de fluxo de caixa. Esta taxa será depositada em banco com sua correção mensal. E para fim de cálculo do valor presente líquido (*VPL*), utilizou a expressão:

$$VPL = \sum_{t=1}^n VP * (1+i)^{-n} \quad (12)$$

Verificou-se que o *VPL* durante a vida útil do sistema fotovoltaico de 25 anos alcançou o valor de R\$ 36.394,14, considerando uma taxa mínima de atratividade (*TMA*) de 8%. Para o cálculo da taxa interna de retorno (*TIR*) para o *VPL* = 0, obteve um valor de aproximadamente de 25,58%, utilizou-se a seguinte expressão (AZEVEDO, 2016):

$$VPL = 0 = 1 + \sum_{t=1}^n VP / (1 + TIR)^{(n-1)} \quad (13)$$

Um critério utilizado de aprovação do projeto, a *TIR* deve ser comparada com a *TMA*, na seguinte condição:  $TIR > TMA$ . O valor do *Payback* de acordo com os dados da Tabela 4 foi de aproximadamente 4 anos e 3 meses de acordo com a expressão (COSTA, 2018):

$$\sum_{t=0}^n Ft = I \quad (14)$$

#### 4.3. Impacto Financeiro Sem a Tarifa de Distribuição

O custo de disponibilidade, ou taxa mínima, é um valor cobrado pelas concessionárias por disponibilizar a energia elétrica no ponto de consumo. Assim, mesmo que não exista qualquer consumo de energia, a disponibilidade de energia precisa ser ressarcida. O Custo de Disponibilidade é regulado pela resolução ANEEL (2010) n°414, que estabelece os seguintes valores mínimos de entrega de energia, conforme padrão de conexão com a rede:

- (I) 30 kWh, se padrão monofásico;
- (II) 50 kWh, se padrão bifásico;
- (III) 100 kWh, se padrão trifásico.

Para a Tabela 5 desconsiderado a tarifa de disponibilidade de energia elétrica, analisando o impacto financeiro, com o mesmo investimento inicial de cada apartamento.

**Tabela 5:** Valores sem a Tarifa de Disponibilidade.

Ano	VF (R\$)	VP (R\$)	Saldo (R\$)
0	-R\$ 15.837,80	-R\$ 15.837,80	-R\$ 15.837,80
1	R\$ 4.188,17	R\$ 4.188,17	-R\$ 11.649,63
2	R\$ 4.523,23	R\$ 4.349,26	-R\$ 7.300,37
3	R\$ 4.885,09	R\$ 4.516,54	-R\$ 2.783,83
4	R\$ 5.275,89	R\$ 4.690,25	R\$ 1.906,42
5	R\$ 5.697,96	R\$ 4.870,64	R\$ 6.777,06

6	R\$ 6.153,80	R\$ 5.057,98	R\$ 11.835,04
7	R\$ 6.646,11	R\$ 5.252,51	R\$ 17.087,55
8	R\$ 7.177,79	R\$ 5.454,53	R\$ 22.542,08
9	R\$ 7.752,02	R\$ 5.664,32	R\$ 28.206,41
10	R\$ 8.372,18	R\$ 5.882,18	R\$ 34.088,59
11	R\$ 9.041,95	R\$ 6.108,42	R\$ 40.197,01
12	R\$ 9.765,31	R\$ 6.343,36	R\$ 46.540,37
13	R\$ 10.546,53	R\$ 6.587,33	R\$ 53.127,70
14	R\$ 11.390,26	R\$ 6.840,69	R\$ 59.968,39
15	R\$ 12.301,48	R\$ 7.103,80	R\$ 67.072,19
16	R\$ 13.285,60	R\$ 7.377,02	R\$ 74.449,21
17	R\$ 14.348,44	R\$ 7.660,75	R\$ 82.109,96
18	R\$ 15.496,32	R\$ 7.955,40	R\$ 90.065,36
19	R\$ 16.736,02	R\$ 8.261,37	R\$ 98.326,73
20	R\$ 18.074,91	R\$ 8.579,12	R\$ 106.905,84
21	R\$ 19.520,90	R\$ 8.909,08	R\$ 115.814,93
22	R\$ 21.082,57	R\$ 9.251,74	R\$ 125.066,67
23	R\$ 22.769,18	R\$ 9.607,58	R\$ 134.674,24
24	R\$ 24.590,71	R\$ 9.977,10	R\$ 144.651,34
25	R\$ 26.557,97	R\$ 10.360,83	R\$ 155.012,18

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para este caso verificou-se que o *VPL* durante a vida útil do sistema fotovoltaico de 25 anos alcançou o valor de R\$ 47.166,93, considerando uma taxa mínima de atratividade (*TMA*) de 8%. Para o cálculo da taxa interna de retorno (*TIR*) para o *VPL* = 0, obteve um valor de aproximadamente de 30,20%. O valor do *Payback* de acordo com os dados da Tabela 5 foi de aproximadamente 3 anos e 5 meses.

#### 4.4. Impacto Financeiro Com a Tarifa Branca

A Tarifa Branca sinaliza aos consumidores a variação do valor da energia conforme o dia e o horário do consumo. O consumidor passa a ter possibilidade de pagar valores diferentes em função da hora e do dia da semana. Se o consumidor adotar hábitos que priorizem o uso da energia elétrica fora do horário de ponta de consumo (horário de pico), a opção pela Tarifa Branca oferece a oportunidade de reduzir o valor da conta. São divididas em três postos (CEMIG, 2018):

- ✓ Posto tarifário ponta: período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão ou permissão, com exceção feita



aos sábados, domingos e feriados nacionais. Também conhecido como horário de pico, na Cemig, esse horário é de 17h às 20h;

- ✓ Posto tarifário intermediário: período de horas conjugado ao posto tarifário ponta, sendo uma hora imediatamente anterior e outra imediatamente posterior, aplicado para o Grupo B. Na Cemig, é de 16h às 17h e de 20h às 21h;
- ✓ Posto tarifário fora da ponta: é o período que compreende os demais horários, incluindo domingos e feriados (CEMIG, 2018).

Para este caso verificou-se que o *VPL* durante a vida útil do sistema fotovoltaico de 25 anos alcançou o valor de R\$ 46.934,42, considerando uma taxa mínima de atratividade (*TMA*) de 8%. Para o cálculo da taxa interna de retorno (*TIR*) para o  $VPL = 0$ , obteve um valor de aproximadamente de 30,10%. O valor do *Payback* de acordo com os dados da Tabela 6 foi de aproximadamente 3 anos e 6 meses.

**Tabela 6:** Valores com o Sistema da Tarifa Branca.

Ano	VF (R\$)	VP (R\$)	Saldo (R\$)
0	-R\$ 15.837,80	-R\$ 15.837,80	-R\$ 15.837,80
1	R\$ 4.172,72	R\$ 4.172,72	-R\$ 11.665,08
2	R\$ 4.506,54	R\$ 4.333,21	-R\$ 7.331,87
3	R\$ 4.867,06	R\$ 4.499,87	-R\$ 2.832,01
4	R\$ 5.256,42	R\$ 4.672,94	R\$ 1.840,94
5	R\$ 5.676,94	R\$ 4.852,67	R\$ 6.693,61
6	R\$ 6.131,09	R\$ 5.039,31	R\$ 11.732,92
7	R\$ 6.621,58	R\$ 5.233,13	R\$ 16.966,05
8	R\$ 7.151,31	R\$ 5.434,40	R\$ 22.400,45
9	R\$ 7.723,41	R\$ 5.643,42	R\$ 28.043,87
10	R\$ 8.341,28	R\$ 5.860,47	R\$ 33.904,35
11	R\$ 9.008,59	R\$ 6.085,88	R\$ 39.990,22
12	R\$ 9.729,27	R\$ 6.319,95	R\$ 46.310,17
13	R\$ 10.507,61	R\$ 6.563,02	R\$ 52.873,20
14	R\$ 11.348,22	R\$ 6.815,45	R\$ 59.688,65
15	R\$ 12.256,08	R\$ 7.077,58	R\$ 66.766,23
16	R\$ 13.236,57	R\$ 7.349,80	R\$ 74.116,02
17	R\$ 14.295,49	R\$ 7.632,48	R\$ 81.748,50
18	R\$ 15.439,13	R\$ 7.926,04	R\$ 89.674,54
19	R\$ 16.674,26	R\$ 8.230,89	R\$ 97.905,43
20	R\$ 18.008,20	R\$ 8.547,46	R\$ 106.452,89
21	R\$ 19.448,86	R\$ 8.876,21	R\$ 115.329,09
22	R\$ 21.004,77	R\$ 9.217,60	R\$ 124.546,69
23	R\$ 22.685,15	R\$ 9.572,12	R\$ 134.118,81
24	R\$ 24.499,96	R\$ 9.940,28	R\$ 144.059,09
25	R\$ 26.459,96	R\$ 10.322,60	R\$ 154.381,69

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

## 5. IMPACTOS AMBIENTAIS

A energia solar fotovoltaica está com um desenvolvimento enorme em todo o mundo, ultrapassando as expectativas de muitos. Os impactos ambientais têm algumas questões sendo abordadas por estudiosos e empresários do ramo. Sob o ponto de vista da operação o impacto ambiental é menor do que os impactos causados por fontes convencionais, uma vez que o recurso utilizado na produção é renovável, não emite poluentes líquidos, gasosos e materiais radiativos.

A emissividade depende praticamente do material de encapsulação dos painéis ou de espelhos solares, usando diferentes espécies de plásticos, vidros e metais, para o projeto há uma estimativa de redução de aproximadamente 468.441 Kg de CO<sub>2</sub> na atmosfera segundo dados do simulador NEOSOLAR (2018). Sob o ponto de vista mecânico é um sistema seguro, desde que o sistema não tenha partes móveis e não emite ruídos.

Com o crescimento dos sistemas fotovoltaicos, algumas preocupações são levantadas. Uma questão de bastante preocupação é o fim da vida dos equipamentos de um sistema fotovoltaico, ou seja, há uma grande estimativa e exponencial do fluxo acumulado de resíduos da indústria de equipamentos fotovoltaicos (GBC BRASIL, 2015).

Considerando que a média de vida útil de um painel solar é 25 anos, quantidades de resíduos anuais são esperadas para o começo da década de 2030. Para 2050, espera-se que o número de equipamentos desativados seja quase que equivalente ao de novos produtos instalados. O resíduo fotovoltaico será um desafio, mas também abre caminho para novas oportunidades de mercado, além de uma iniciativa interessante ao perfil sustentável que os países devem seguir em sua economia nos próximos anos.

## 6. CONCLUSÃO

Através de cálculos de viabilidade econômica há uma redução na conta de energia elétrica. Os resultados indicaram um investimento necessário em torno de R\$15.837,80 para cada apartamento, com provável retorno do investimento em aproximadamente de 4 anos e 3 meses, ganho de R\$125.799,60 no decorrer dos 25 anos de vida útil do sistema, e uma taxa interna de retorno de aproximadamente 25,58%.

Agora entre as duas outras hipóteses: sem a tarifa de distribuição e com a tarifa branca. A hipótese recomendada seria a aquisição da tarifa branca, pois a tarifa de distribuição depende incentivos por meio do governo. Agora a tarifa branca precisa de uma educação do consumidor final para o controle adequado dos seus horários de consumo.

Um dos principais obstáculos para maior utilização de painéis fotovoltaicos em unidades consumidoras, principalmente residenciais e comerciais de pequeno porte, consiste no alto investimento inicial associado à aquisição dos sistemas de geração. Nesse sentido, seria de grande relevância a criação de incentivos por meio do governo para a abertura de linhas de crédito com condições favoráveis para financiamento da aquisição de sistemas de geração solar fotovoltaica.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. **Estudos foto físicos e fotovoltaicos de sistemas polímero fulereno e nano partículas de CdSe**. “Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas”. Campinas, 2011.

ANEEL: **Resolução Normativa N° 414/2010**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>>, 2010. Acesso em: 10 de abril, 2019.

\_\_\_\_\_: **Resolução Normativa N° 482/2012**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>, 2012. Acesso em: 06 de abril, 2019.

\_\_\_\_\_: **Resolução Normativa N° 687/2015**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>, 2015. Acesso em: 15 de março, 2019.

\_\_\_\_\_: **Regulação dos Serviços de Distribuição**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=725&idPerfil=3>>, 2018. Acesso em: 28 de maio, 2019.

AZEVEDO, J. G. de: **Geração Distribuída: Uso de Energia Solar em Condomínios de Edifícios**. Disponível em: <[file:///C:/Users/Marcelo/Downloads/jose-genilson-de-azevedo-editoriado-1125176%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Marcelo/Downloads/jose-genilson-de-azevedo-editoriado-1125176%20(1).pdf)>, 2016. Acesso em: 29 de maio 2019.

CANADIAN, Solar: **Data Sheet – CS6K-270/275/280P**. Disponível em: <[https://www.canadiansolar.com/downloads/datasheets/en/new/Canadian\\_Solar-Datasheet-CS6K-P\\_en.pdf](https://www.canadiansolar.com/downloads/datasheets/en/new/Canadian_Solar-Datasheet-CS6K-P_en.pdf)>, 2018. Acesso em: 10 de maio, 2019.

CEMIG: **Tarifas**. Disponível em: <[http://www.cemig.com.br/pt-br/a\\_cemig/quem\\_somos/Gestao/Paginas/tarifas.aspx](http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/quem_somos/Gestao/Paginas/tarifas.aspx)>, 2018. Acesso em: 30 de maio, 2019.

COSTA, W. U.; Mendes, V. F: **Engenharia Econômica: Avaliação de Projetos de Investimento (Parte II)**. Apostila do curso de Mestrado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2018.

CRESESB: **Potencial Solar Sundata 3.0**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>, 2014. Acesso em: 20 de Março 2019.

FADIGAS, M. A. F. A.: **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade Técnico-Econômica**. Poli USP, GEPEA- Grupo de Energia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

GBC BRASIL, Green Building Council Brasil: **Condomínios verdes**. São Paulo. Disponível em: <[www.gbcbrazil.org.br](http://www.gbcbrazil.org.br)>, 2015. Acesso em: 25 de abril 2019.

MONTENEGRO, A. de A.: **Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, SC, 2013.

NASCIMENTO, C.: **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. *Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras*. Lavras, 2004.

NEOSOLAR: **Simulador solar**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/simulador-solar-calculadora-fotovoltaica-resultado-resultado>>, 2018. Acesso em: 01 de junho de 2019.

PVSYST. **Photovoltaic Software**. Disponível em: < <http://www.pvsyst.com/en/>>, 2012. Acesso em: 27 de fevereiro 2019.

RUTHER, R.: **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas a rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis, SC: Labsolar, 2004.

SOLAR, Minha Casa: **Inversor Grid-Tie 3 kW com Wifi Fronius-Primo 3.0**. Disponível em: <<https://recursos.minhacasasolar.com.br/MediaCenter/Datasheet%20Fronius%20Primo%203.0%20em%20Ingl%C3%AAs.pdf>>, 2018. Acesso em: 15 de maio, 2019.

WENDLING, M.: **Semicondutores: conceitos básicos**. Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/1---semicondutores.pdf>>, 2011. Acesso em: 05 de maio 2019.

VILLALVA, M. G.: **Energia Solar Fotovoltaica - Conceitos e Aplicações: Sistemas Isolados e Conectados à Rede**. 2ª ed., Editora Saraiva, 2015.