

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA - DAELT  
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ELIEL FERREIRA NOGUEIRA  
GABRIELA GARCIA**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA SISTEMAS DE  
GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM CONSTRUÇÕES RESIDENCIAIS DE  
ATÉ 70m<sup>2</sup> NA CIDADE DE CURITIBA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA  
2017**

**ELIEL FERREIRA NOGUEIRA**

**GABRIELA GARCIA**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA SISTEMAS DE  
GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM CONSTRUÇÕES RESIDENCIAIS DE  
ATÉ 70m<sup>2</sup> NA CIDADE DE CURITIBA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – DAELT- da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof.Dr. Roberto Cesar Betini.

**CURITIBA**

**2017**

**ELIEL FERREIRA NOGUEIRA**  
**GABRIELA GARCA**

## **Análise da Viabilidade Econômica para Sistemas de Geração Fotovoltaica em Construções Residenciais de até 70m<sup>2</sup> na Cidade de Curitiba**

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 19 de abril de 2017.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Elétrica

---

Profa. Annemahlen Gehrke Castagna, Ma.  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Elétrica do DAELT

### **ORIENTAÇÃO**

---

Prof. Roberto Cesar Betini, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Roberto Cesar Betini, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Profa. Annemahlen Gehrke Castagna, Ma.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Joaquim Eloir Rocha, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

## RESUMO

NOGUEIRA, Eliel Ferreira; GARCIA, Gabriela. **Análise da Viabilidade Econômica para Sistemas de Geração Fotovoltaica em Construções Residenciais de até 70m<sup>2</sup> na Cidade de Curitiba**. 2017. 108 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

O presente trabalho de conclusão de curso avaliou a viabilidade econômica da aplicação da energia solar para geração de energia elétrica como fonte alternativa de uma unidade de consumo residencial na cidade de Curitiba, através da utilização de sistemas fotovoltaicos. Visto que a energia proveniente do sol é abundante, limpa e renovável e com potencial de competir em produtividade e rentabilidade, é de grande interesse avaliar aplicabilidade destes sistemas em residências e não só em parques industriais. E apresenta um referencial teórico sobre a energia solar, como são compostas as células fotovoltaicas, o funcionamento do efeito fotovoltaico, e como são associados os módulos solares. Em seguida será feito um estudo de caso de uma residência escolhida, fazendo-se levantamento de dados como consumo de energia elétrica, número de moradores e suas rotinas, afim de avaliar o perfil de consumo de energia. Após esta apresentação, será feita a simulação com a utilização do *software* HomerPro, com o objetivo de avaliar a instalação de um sistema fotovoltaico na residência em estudo. Posteriormente serão apresentados orçamentos, fornecidos por diferentes empresas, com a finalidade de analisar a viabilidade econômica da instalação de painéis solares, fazendo com que a energia solar se torne uma alternativa à energia basicamente gerada por hidrelétricas no estado do Paraná e assim incentivar os consumidores a possuírem sistemas fotovoltaicos em suas residências.

Palavras-chaves: Sistemas fotovoltaicos, Energia solar, Energia renováveis, Geração fotovoltaica.

## ABSTRACT

NOGUEIRA, Eliel Ferreira; GARCIA, Gabriela. **Economic Viability Analysis for Photovoltaic Generation Systems in Residential Buildings up to 70m<sup>2</sup> in the City of Curitiba**. 2017. 108 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

The present final paper evaluate the economic viability of the application of solar energy for electric power generation as as alternative supply of an unit of residential consumption in the city of Curitiba, through the use of photovoltaic systems. Since solar energy is abundant, clean, renewable and has the potential to compete in productivity and profitability, it is of great interest to evaluate the applicability of these systems in residences and not just in industrial parks. A theoretical reference will be presented on solar energy, How the photovoltaic cells are composed, the operation of photovoltaic effect and how solar modules are associated. Then the study will be done at a chosen residence, Making data collection as consumption of electric energy, number of residents and their routines, In order to evaluate the energy consumption profile. After this presentation the simulation will be done using the software HomerPro, with the objective of evaluating the installation of a photovoltaic system in the study residence system in the residence under study. Subsequently, budgets will be presented, provided by different companies, with the purpose of analyzing the economic viability of the installation of solar panels, making solar energy an alternative to the energy basically generated by hydroelectric plants in Paraná and thus encourage consumers to have photovoltaic systems in their homes.

Keywords: photovoltaic system, solar energy, renewable energy, photovoltaic generation

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Energia Solar Fotovoltaica. ....	14
Figura 2: Irradiação solar – Alemanha (a) / Brasil (b). Média anual da irradiação solar. ....	15
Figura 3: Imagem do Vanguard I.....	20
Figura 4: Boia marítima operada pela Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA) dos Estados Unidos. ....	20
Figura 5: Radiação Solar.....	24
Figura 6: Camadas que compõem a célula fotovoltaica. ....	25
Figura 7: Célula formada por lâminas de silício monocristalino.....	25
Figura 8: Célula de silício policristalino. ....	26
Figura 9: Exemplo de painel solar de a-Si.....	27
Figura 10: Exemplo de uma célula fotovoltaica. ....	28
Figura 11: Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica. ....	30
Figura 12: Representação de arranjo de Células (Módulo).....	30
Figura 13: Módulos fotovoltaicos conectados em paralelo ( <i>shunt</i> ).....	31
Figura 14: Módulos fotovoltaicos conectados em série ( <i>string</i> ).....	31
Figura 15: Módulos fotovoltaicos conectados em série/paralelo. ....	32
Figura 16: Curva Característica de Corrente <i>versus</i> Tensão (IxV).....	33
Figura 17: Curva Característica de Potência <i>versus</i> Tensão (PxV) ....	34
Figura 18: Parâmetro de potência máxima. ....	34
Figura 19: Efeito da temperatura na curva P <i>versus</i> V.....	35
Figura 20: Variação da potência do módulo com a variação do índice de radiação solar. ....	36
Figura 21: Variação da potência do módulo com a variação da temperatura. ....	37
Figura 22: Inversor Solar Central SIW700.....	39
Figura 23: Sistema fotovoltaico isolado.....	40
Figura 24: Exemplo de sistema híbrido. ....	41
Figura 25: Sistema conectado à rede.....	42
Figura 26: Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná - Global Anual (Plano Horizontal - H <sub>HOR</sub> ). ....	46

Figura 27: Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná - Total Anual (Plano Inclinado - $H_{TOT}$ ).....	47
Figura 28: Residência escolhida para estudo de caso.....	49
Figura 29: Média mensal de radiação solar na região de Curitiba.....	53
Figura 30: Fatura de energia.....	54
Figura 31: Consumo diário de energia elétrica.....	55
Figura 32: Parâmetros da rede elétrica.....	56
Figura 33: Parâmetros do inversor.....	57
Figura 34: Parâmetros do painel solar.....	58
Figura 35: consumo de energia por hora em kW da residência.....	59
Figura 36: Custo de operação e instalação do sistema fotovoltaico.....	60
Figura 37: Consumo e Geração de energia no ano.....	61
Figura 38: Radiação anual retirada da base de dados do HomerPro.....	62
Figura 39: Perfil diário da energia renovável gerada.....	64
Figura 40: Perfil diário da energia consumida da rede.....	66
Figura 41: Perfil diário da energia injetada na rede.....	68
Figura 42: Melhor dia de geração fotovoltaica no ano.....	69
Figura 43: Pior dia de geração fotovoltaica no ano.....	70
Figura 44: Gráfico do rendimento mensal da poupança.....	76
Figura 45: Gráfico de retorno do investimento.....	80
Figura 46: Consumo de energia elétrica por setores em Curitiba.....	86
Figura 47: Placa de advertência.....	108

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais momentos da história da tecnologia fotovoltaica. ....	21
Tabela 2: Consumo mensal de energia elétrica durante um ano. ....	50
Tabela 3: Eletrodomésticos/aparelhos eletrônicos e suas potências. ....	50
Tabela 4: Especificação e orçamento do painel fotovoltaico. ....	71
Tabela 5: Especificação e orçamento do inversor. ....	72
Tabela 6: Sumário do sistema de eletrificação. ....	72
Tabela 7: Estimativa do tempo de retorno. ....	73
Tabela 8: Economia anual com a implantação do sistema fotovoltaico. ....	74
Tabela 9: Comparação entre os orçamentos apresentados. ....	83
Tabela 10: Consumo de energia elétrica no Estado do Paraná. ....	85



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1. TEMA .....	12
1.1.1. DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	12
1.2. PROBLEMAS E PREMISSAS .....	12
1.3.1. Objetivo Geral .....	13
1.3.2. Objetivo específico .....	13
1.4. JUSTIFICATIVA .....	14
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	16
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>27</b>
2.1. HISTÓRIA E ESTADO DA ARTE .....	19
2.2. ENERGIA SOLAR .....	22
2.3. RADIAÇÃO SOLAR .....	23
2.4. DIFERENTES COMPOSIÇÕES DAS FOTOCÉLULAS .....	24
2.5. EFEITO FOTOVOLTAICO .....	27
2.6. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	29
2.6.1. Associação em Paralelo .....	30
2.6.2. Associação em Série.....	31
2.6.3. Associação em Série/Paralelo.....	31
2.7. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	32
2.8. CONVERSORES (INVERSORES).....	38
2.9. CLASSIFICAÇÃO DA INSTALAÇÃO DOS SISTEMAS .....	39

2.9.1. Sistemas Isolados .....	39
2.9.2. Sistemas Híbridos .....	40
2.9.3. Sistemas Conectados à Rede .....	41
2.10. NORMAS PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS LIGADOS À REDE .....	43
2.10.1. Micro e Minigeração .....	43
2.10.2. Compensação de Energia Elétrica .....	44
2.10.3. Conexão com a Rede de Distribuição da Copel.....	44
2.11. POTENCIAL FOTOVOLTAICO DO PARANÁ.....	45
2.11.1. Potencial Fotovoltaico de Curitiba .....	48
2.12. INTRODUÇÃO AO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO HOMERPRO.....	48
<b>3. ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>49</b>
3.1. APRESENTAÇÃO DA RESIDÊNCIA SELECIONADA.....	49
3.2. SIMULAÇÃO UTILIZANDO O SOFTWARE HOMERPRO.....	51
3.2.1. Inserindo Informações na Base de Dados do HomerPro .....	52
3.2.2. Radiação Solar na Região de Curitiba .....	53
3.2.3. Cálculo da Carga da Residência .....	54
3.2.7. Análise dos Resultados Obtidos com o Software HomerPro.....	59
3.2.7.1. Análise de Carga da Residência.....	59
3.2.7.2. Custo de Operação e Instalação pelo Software HomerPro.....	60
3.2.7.3. Energia Gerada pelo Sistema Fotovoltaico.....	60
3.2.7.4. Dados de Radiação Solar da Localidade Escolida Gerados pelo HomerPro....	61
3.2.7.5. Energia Gerada pelo Sistema Fotovoltaico.....	62
3.2.7.6. Energia Consumida da Rede.....	65
3.2.7.7. Energia Injetada na Rede.....	67

3.2.7.8. Melhor Caso de Geração Fotovoltaica.....	69
3.2.7.9. Pior Caso de Geração Fotovoltaica.....	70
3.2.8. Custo de Operação e Instalação Sugeridos pelo <i>Software</i> HomerPro.....	71
3.2.9. Análise do Tempo de Retorno do Investimento.....	73
3.3.COMPARAÇÃO ENTRE RENDIMENTO DO DINHEIRO INVESTIDO NA POUPANÇA AO LONGO DOS VINTE E CINCO ANOS E O INVESTIMENTO TOTAL NO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	75
3.4.ORÇAMENTOS REALIZADOS POR EMPRESAS DO RAMO FOTOVOLTAICO PARA A RESIDÊNCIA EM ESTUDO .....	77
3.4.1. Orçamento fornecido pela TECSULsolar .....	77
3.4.2. Orçamento fornecido pela SolarVolt.....	80
3.5. COMPARAÇÃO ENTRE OS ORÇAMENTOS FORNECIDOS PELAS EMPRESAS E O ORÇAMENTO OBTIDO ATRAVÉS DO <i>SOFTWARE</i> HOMERPRO .....	83
<b>4. ANÁLISE E ESTIMATIVA DO POTÊNCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO NO ESTADO DO PARANÁ.....</b>	<b>85</b>
4.1. IMPACTOS DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO .....	90
<b>5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>92</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO II.....</b>	<b>100</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Na história evolutiva do ser humano, as diferentes formas de energia foram descobertas e exploradas para melhor adaptação do homem ao meio em que vive. Começando pelo uso do fogo e da pele de animais para se obter calor, passando pela invenção do moinho, criada no século II, para obtenção através dos ventos a força para se moer grãos de cereais cultivado, em seguida veio a descoberta da máquina a vapor, no século XVIII na Inglaterra, para se gerar força mecânica. De maneira revolucionária, os segredos da geração e transmissão de energia elétrica foram desvendados em 1880, conhecida como a guerra das correntes, entre Nikola Tesla e Thomas Edison (BURATTINI, 2008).

Com a introdução da energia elétrica como força motriz das máquinas, desde a revolução industrial as inovações tecnológicas estão cada vez mais atreladas à eletricidade, tornando o crescimento econômico dependente desta forma de energia.

“A energia elétrica produzida no Brasil pelas grandes hidrelétricas tem um papel importante no desenvolvimento do país, proporcionando auto-suficiência na geração de energia elétrica a baixos custos. Entre 1975 e 2005, a potência instalada evoluiu de 13.724 MW para quase 69.000 MW” (ABEPRO, 2015).

O consumo de energia elétrica no país está em torno de 624,3TWh (BEN, 2015). Estima-se que em 2030 este consumo estará situado entre 950 e 1250 TWh/ano, demonstrando um crescimento acelerado da utilização da energia elétrica, forçando uma expansão na oferta de eletricidade (ABEPRO, 2015).

O cenário socioeconômico torna evidente a necessidade de uma reformulação na matriz energética tradicional. A degradação do meio ambiente, a previsão da escassez de combustíveis fósseis em um futuro próximo evidencia a importância da geração de energia com o mínimo de impacto ambiental.

A energia elétrica proveniente da radiação solar se apresenta como uma alternativa promissora como fonte de energia renovável. “Os sistemas solares fotovoltaicos, integrados à edificação e interligados à rede elétrica estariam auxiliando.

na redução deste impacto ambiental, causado pela devastação de áreas para a implementação de grandes obras de geração de energia” (SALAMONI, 2004).

## 1.1. TEMA

Avaliar a viabilidade técnica e econômica para a implantação de um sistema de geração fotovoltaico em construções residenciais de classe média na cidade de Curitiba, ou seja, construções com média de 70m<sup>2</sup>.

### 1.1.1. DELIMITAÇÃO DO TEMA

Esta proposta tem como referência específica a o estudo e simulação para instalação de módulos fotovoltaicos em construções residenciais de classe média, visando à geração de energia elétrica para utilização própria e redução no consumo de energia junto à concessionária.

Na pesquisa foi desenvolvida é indicada a utilização da cobertura das residências como o local para a instalação do painel fotovoltaico, por se tratar de uma área disponível e sem utilização, e também devido à melhor incidência dos raios solares, sem a presença de obstáculos que atrapalhem na captação da radiação solar.

## 1.2. PROBLEMAS E PREMISAS

A utilização de painéis solares para a geração de energia elétrica proveniente da radiação solar enfrenta diversos problemas de implantação. Um dos principais fatores seria a inconstante incidência de raios solares e a irregularidade dessa incidência durante o dia. Outro fator, porém não menos importante, é a evolução da tecnologia na fabricação das células fotovoltaicas para a captação de radiação solar. Por isso, deve ser levado em conta antes da instalação de painéis solares fotovoltaicos, um estudo

para verificar a viabilidade técnica e econômica do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica (SFCR).

### 1.3. OBJETIVO

#### 1.3.1. Objetivo Geral

Estudar a viabilidade econômica da instalação de painéis solares fotovoltaicos para a geração de energia elétrica em construções residenciais de classe média, para que o consumo de energia elétrica proveniente da concessionária seja reduzido, assim como promover uma estimativa de geração fotovoltaica no Estado do Paraná.

#### 1.3.2. Objetivo específico

- a) Avaliar a potencialidade na cidade de Curitiba para a instalação dos painéis solares.
- b) Conhecer e avaliar a estrutura onde o sistema fotovoltaico será instalado.
- c) Descrever o funcionamento dos painéis solares fotovoltaicos.
- d) Verificar a carga instalada no sistema.
- e) Analisar o período de funcionamento do sistema.
- f) Avaliar a energia elétrica gerada pelo sistema.
- g) Descrever a ligação do sistema fotovoltaico com a rede elétrica da concessionária.
- h) Elaborar um projeto preliminar para a implantação de sistema fotovoltaico em uma residência de até 70m<sup>2</sup>.
- i) Realizar a análise de viabilidade econômica para a implantação do sistema fotovoltaico proposto.
- j) Propor uma estimativa e perspectivas para geração fotovoltaica no Paraná.

#### 1.4. JUSTIFICATIVA

As atuais matrizes energéticas mundiais são limitadas pela quantidade de reservas de matéria-prima e responsáveis por sérias degradações ao meio ambiente. De maneira alternativa a estas formas de energia, as fontes renováveis ganharam visibilidade e destaque na comunidade internacional, recebendo investimentos e apoio para instalação e pesquisa na área.

O aumento de investimentos na área de geração de energia por módulos fotovoltaicos possibilitou o desenvolvimento de mais pesquisas de células solares mais eficientes e com baixo custo de fabricação, favorecendo assim um aumento no número de instalações de sistemas fotovoltaicos pelo mundo, como mostrado na Figura 1.

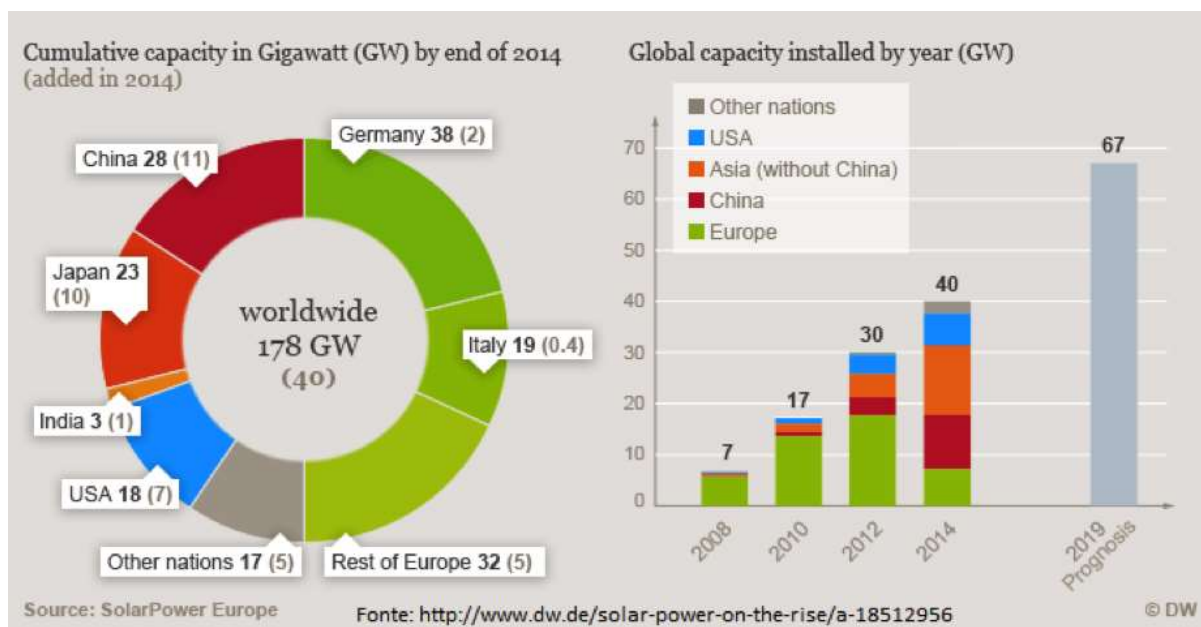


Figura 1: Energia Solar Fotovoltaica.

Fonte: REN21, 2015.

A Figura 1 exemplifica a capacidade de geração de energia elétrica através de módulos fotovoltaicos das potências mundiais. No ano de 2008 praticamente só o continente europeu investia em energia fotovoltaica. Atualmente a figura demonstra um aumento de instalações de painéis fotovoltaicos no nível mundial em países como China, Índia, Japão e EUA.

Apesar do grande potencial brasileiro de radiação solar para produção de energia elétrica através de painéis solares, países como a Alemanha, que tem menor incidência de raios solares, está muito à frente na utilização da energia em questão. O incentivo e financiamento para instalação de painéis fotovoltaicos em construções residenciais são contraditoriamente inexpressivos no Brasil, onde a energia proveniente do Sol poderia suprir grande parte da energia consumida no país e que hoje é gerada principalmente por usinas hidrelétricas (CABRAL, 2012).

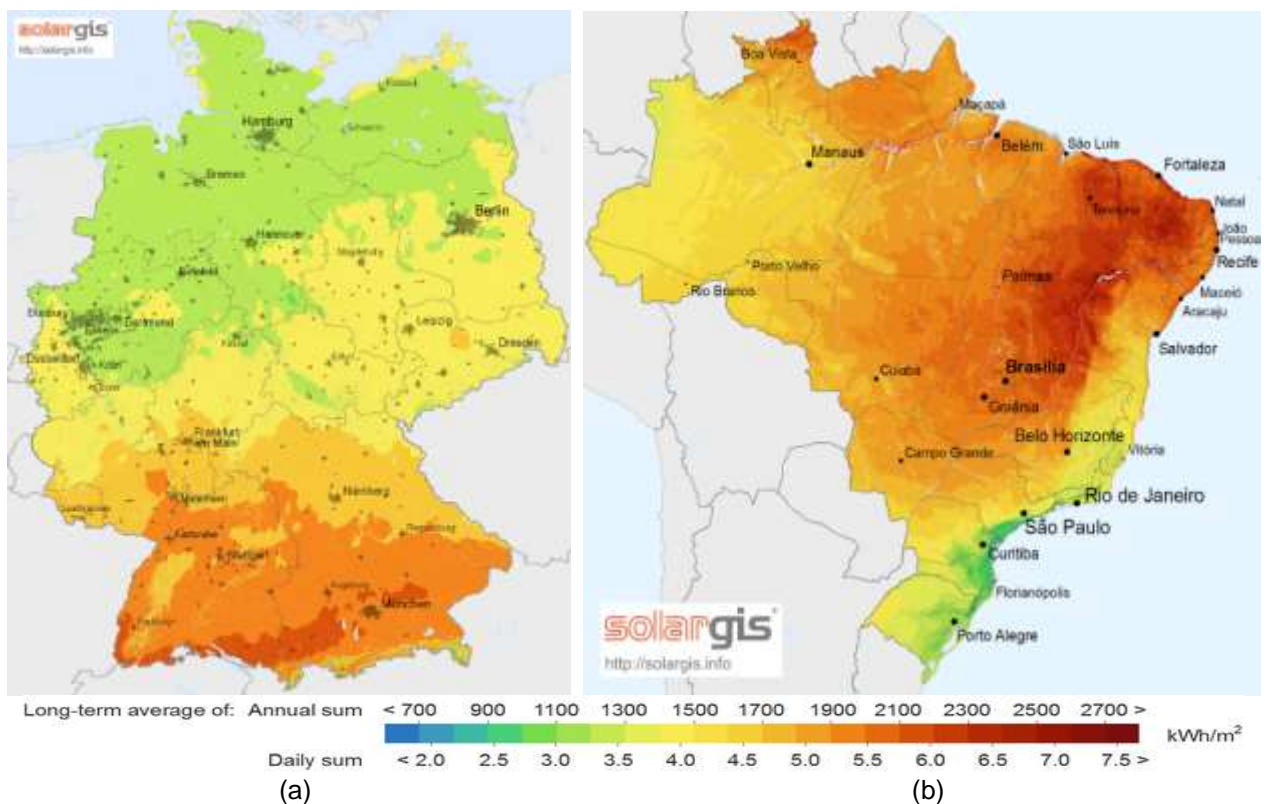


Figura 2: Irradiação solar – Alemanha (a) / Brasil (b). Média anual da irradiação solar.  
Fonte: SOLARGIS, 2015.

A Figura 2 apresenta um comparativo da irradiação solar média anual entre Alemanha e Brasil, evidenciando o grande potencial brasileiro para geração de energia através de módulos fotovoltaicos. Especificamente a cidade de Curitiba é comparável ao norte da Alemanha no quesito irradiação solar, o que demonstra a viabilidade de geração de energia através do sol na capital paranaense, visto que a Alemanha é grande investidora nesta forma de energia apesar do desfavorecimento climático em



relação ao Brasil. Na Figura 2 pode ser visto que enquanto o potencial médio de radiação na Alemanha é de 1200 KWh/m<sup>2</sup>, no Brasil essa média chega a 2200 KWh/m<sup>2</sup>. Apesar de possuir uma menor incidência solar, a Alemanha investe mais em pesquisas e desenvolvimento nessa área do que o Brasil. Para se ter uma ideia enquanto a Alemanha investiu US\$ 41,1 bilhões no ano de 2010 em pesquisa e desenvolvimento de energia renovável, o Brasil investiu apenas US\$ 7 bilhões no mesmo período (REVISTA EXAME, 2011).

Como mostrado no balanço energético nacional 2015, o consumo energético total no Brasil em 2014 foi de 624.3 TWh. Sendo que 21,2% da energia elétrica gerada no país foram consumidas em construções residenciais (BEN, 2015).

Conforme definição dada pelo Gas Reserch Institute em 1999, um órgão criado no estado de Illinois em 1970 para regulamentar e incentivar o processo de pesquisa e desenvolvimento na produção de Gás nos Estados Unidos, em que se refere na importância e nas vantagens da instalação de módulos fotovoltaicos em conjunto com as concessionárias de geração e distribuição de energia elétrica. Esta definição diz que:

“Gerações Distribuídas são tecnologias de geração de pequeno porte, tipicamente inferior a 30MWh/mês estrategicamente localizadas próximas dos consumidores ou centros de carga, proporcionando benefícios aos consumidores e suporte para a operação econômica das redes de distribuição existentes” (GAS RESEARCH INSTITUTE, 1999).

## 1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Primeiramente foi realizada uma pesquisa em referências bibliográficas sobre funcionamento e eficiência de células fotovoltaicas, tendo como base o material de apoio, livros, artigos, dissertações, revistas, sites de empresas, internet e outros.

Durante a etapa de estudo, também serão coletados dados de catálogos de vários fabricantes de equipamentos utilizados em implantação de sistemas fotovoltaicos, análise de radiação solar no local de estudo de implantação do sistema. Estes dados foram analisados com o objetivo de se verificar quais equipamentos farão

parte da planta fotovoltaica. Os dados também foram guardados em um banco de dados.

Em seguida os dados colhidos no estudo inicial foram inseridos no *software* HOMERPRO para simulação do sistema fotovoltaico que foi instalado. Para finalizar foram coletados os dados do *software* utilizado para a simulação, verificação da viabilidade técnica e econômica do sistema fotovoltaico na residência e a integração do sistema com a rede da concessionária.

## 1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi composto dos seguintes capítulos:

### a) Capítulo 1: Introdução

Este tópico além de conter as informações até aqui apresentadas, contém uma breve abordagem sobre a busca do homem por fontes que atendessem sua necessidade energética, a evolução de fontes geradoras de energia elétrica e o atual panorama de fontes alternativa mundial e nacional.

### b) Capítulo 2: Referencial Teórico

Foram apresentados os conceitos básicos envolvidos no estudo de células fotovoltaicas. Iniciando com definições de funcionamento, tipos de fabricação de células e eficiência. Também será abordado um conhecimento básico sobre o estudo de radiação solar como fonte de energia elétrica e o desenvolvimento de equipamentos para geração de energia elétrica através deste conhecimento.

Foram abordadas as diferentes associações dos módulos fotovoltaicos, sendo elas a associação em série, paralelo e série-paralelo. A classificação dos mesmos será explicada, ela se refere à ligação dos sistemas fotovoltaicos à rede ou não.

Também foi apresentado um breve estudo sobre o potencial fotovoltaico do Estado do Paraná e mais especificamente de Curitiba.

c) Capítulo 3: Estudo de Caso

Neste capítulo foi apresentada a residência escolhida para ser estudada no presente trabalho. Posteriormente foram demonstradas as simulações realizadas com o software HomerPro, assim como as análises consideradas importantes para a conclusão do projeto em estudo.

A análise dos orçamentos e viabilidade econômica para instalação do sistema fotovoltaico na residência escolhida também está presente neste capítulo.

d) Capítulo 4: Análise e Estimativa do Potencial Fotovoltaico do Paraná

Neste capítulo foram apresentados dados concretos e estimados sobre o potencial fotovoltaico do estado do Paraná e como ele poderia ser aproveitado nos diversos setores de consumo de energia elétrica.

e) Conclusão e Trabalhos Futuros

Como resultado final desta análise, foi verificada a eficiência da implantação do sistema fotovoltaico e as consequências desta ligação à rede elétrica. Após realizada a análise da viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico na residência estudada, foram sugeridos trabalhos de continuidade para implantação e aprimoramento do sistema, assim como seus benefícios.

f) Referências

Nesta parte serão relacionadas todas as fontes de consulta incluindo livros, revistas, artigos, teses, TCCs, sites de empresas, internet entre outros para a realização do trabalho.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. HISTÓRIA E ESTADO DA ARTE

O estudo da geração de energia elétrica a partir da radiação solar se iniciou em 1839, quando o físico francês Edmond Becquerel observou o surgimento de uma diferença de potencial entre as extremidades de duas placas metálicas, de platina ou prata, mergulhada em um eletrólito quando expostas à luz, este efeito ficou conhecido como efeito fotovoltaico. Somente em 1877, os americanos W.G. Adams e R.E. Day utilizaram as propriedades semicondutoras do selênio para desenvolver o primeiro dispositivo sólido de geração de energia elétrica por exposição à luz solar. Limitada a tecnologia da época para seu crescimento, a energia fotovoltaica teve de esperar o desenvolvimento de grandes trabalhos científicos, como por exemplo, a teoria do efeito fotoelétrico de Einstein em 1905, para então poder dar continuidade ao seu desenvolvimento (VALLÉRA *et al.*, 2006).

Em 1954, Calvin Fuller, químico dos *Bell Laboratories (Bell Labs)* nos EUA, desenvolveu a primeira célula solar moderna com um método de introdução de impurezas no silício, denominado dopagem (SILVA, 2004).

Para solucionar os problemas no desenvolvimento da célula solar como a baixa eficiência e a pouca durabilidade, após diversos ensaios em laboratório chegou-se a uma combinação de elementos com arsênio (substrato tipo N) e seguido por uma difusão de boro (zona tipo P) e uma eficiência de conversão recorde de 6% foi alcançada (VALLÉRA *et al.*, 2006).

Porém, logo ficou claro que os elevados custos para a produção e a baixa eficiência das células impossibilitariam o uso em escala comercial. Inicialmente o desenvolvimento da tecnologia apoiou-se na busca, por empresas do setor de telecomunicações, de fontes de energia para sistemas instalados em localidades remotas.

Com grande relutância, a NASA (National Aeronautics and Space Administration) aceitou instalar células solares em seu satélite Vanguard I mostrado na Figura 3. Contendo um pequeno painel com cerca de 100 cm<sup>2</sup>, que produzia quase 0,1W, o satélite se manteve operando durante oito anos. Depois do ótimo resultado, a NASA

passou a adotar as células solares como fonte de geração de energia em seus projetos (REQUENA, 2009).



Figura 3: Imagem do Vanguard I..  
Fonte: SPACE ROCKET HISTORY, 2013.

No final da década de 1960, o químico industrial americano Elliot Berman pesquisava um novo método para a produção da matéria prima de silício. A companhia petrolífera Exxon se interessou pelo projeto, visto que eles já tinham chegado a conclusão que no ano 2000 a energia elétrica seria bem mais cara. Sendo assim, a energia solar tornou-se a fonte alternativa mais interessante para empresa. O rápido aumento no número de plataformas petrolíferas em alto mar era propício para a *Tideland Signal* apresentar no mercado uma boia alimentada por energia fotovoltaica, exemplificada na Figura 4 (JOHN PERLIN, 2002).



Figura 4: Boia marítima operada pela Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA) dos Estados Unidos.  
Fonte: WIKIPÉDIA, 2005.

No entanto, o pânico criado pela crise petrolífera em 1973, onde o preço do barril de petróleo quadruplicou, somada as preocupações ambientais causadas pelas mudanças climáticas, constatada no mesmo período, levou as potências mundiais a investirem fortemente na tecnologia fotovoltaica e em programas de investigação para reduzir o custo de produção das células solares (NEW SCIENTIST, 1979).

Todos esses avanços tecnológicos aliados à ameaça de uma nova crise energética motivaram a criação do primeiro parque de geração fotovoltaica, em 1982 nos EUA gerando 400KW/h ano, e os telhados solares em 1990 na Alemanha e em 1993 no Japão. A Alemanha é um dos líderes mundiais na instalação de energia fotovoltaica, com uma potência instalada de 38 gigawatts (GW) no começo de 2015. A energia fotovoltaica no Japão expandiu-se rapidamente desde a década de 1990, o país é um dos líderes na fabricação de módulos fotovoltaicos e se encontra entre os primeiros postos em termos de potência instalada, com mais de 23 GW no final de 2014, a maior parte conectada à rede. Os Estados Unidos é desde 2010 um dos países com maior atividade no mercado fotovoltaico. Com numerosas plantas de conexão à rede, superou os 20 GW de capacidade instalada no início de 2015 (ECKERT, 2011). Na Tabela 1 é apresentado um breve histórico com os principais momentos da tecnologia fotovoltaica.

Tabela 1: Principais momentos da história da tecnologia fotovoltaica.  
Fonte: Adaptado de LEOTE, 2013.

<b>ANO</b>	<b>MOMENTO HISTÓRICO</b>
1839	O Francês Edmundo Becquerel descobriu o Efeito Fotovoltaico quando efetuava testes com pilha eletrolítica de dois eletrodos imersos em substâncias eletrolíticas.
1877	Adams e Day descobrem o efeito fotovoltaico no selênio
1883	Charles Fritts, descreveu as primeiras células solares construídas a partir de junções de selênio.
1905	Albert Einstein propôs a idéia do “Quantum de Luz” (os atuais fótons) e a partir dela, ele explicou fenômenos como o efeito fotoelétrico.
1916	Milikan forneceu a prova experimental do efeito fotoelétrico.

Tabela 1: Principais momentos da história da tecnologia fotovoltaica (continuação).  
 Fonte: Adaptado de LEOTE, 2013.

<b>ANO</b>	<b>MOMENTO HISTÓRICO</b>
1940/50	Desenvolve-se o método Czochralski para obtenção de Silício monocristalino, de elevado grau de pureza.
1951	Foi construído um dispositivo que pode ser denominado “Célula Solar”, o qual foi fabricado de Selênio e tinha uma eficiência de 1%.
1954	Realização prática da primeira célula solar de silício monocristalino (Pearson, Fuller, Chapin). Descoberta do efeito fotovoltaico no arsenieto de gálio (GaAS), por Welker, e em cristais de sulfureto de cádmio (CdS), por Reynolds e Leies.
1956	Primeiras aplicações terrestres da conversão fotovoltaica (luzes de flash, boias de navegação, telecomunicações).
1958	Foi lançado ao espaço o primeiro satélite Vanguard I, que utilizava células fotovoltaicas com apenas 0,1W/100cm <sup>2</sup> .
1960	Hoffman Electronics conseguia fabricar uma célula com 14% de eficiência;
1976	Fabricação das primeiras células de silício amorfo (Carlson e Wronski).
1983	A produção mundial fotovoltaica ultrapassou os 9,3 MW.
1990	A década de 90 é marcada pelo aparecimento das células de película fina. A Alemanha inicia neste ano um programa FV com apoio governamental a “100.000 telhados solares”.
1994	Japão inicia o programa FV com apoio governamental a “70.000 telhados solares”.
2004	Os cinco fabricantes – Sharp, Kyocera, Shell Solar, Bp Solar e RWE SCHOTT SOLAR – formam 60 % do mercado fotovoltaico.

## 2.2. ENERGIA SOLAR

De acordo com a lei geral de energia e massa, postulada por Einstein, a qual cita que “a energia de um corpo ou de um sistema de corpos é igual à massa multiplicada pelo quadrado da velocidade da luz”, uma grande quantidade de energia é criada neste processo para compensar a perda de massa. A energia emitida é transportada até a superfície do sol onde é liberada sob as formas de calor e radiação. O fluxo constante da radiação se espalha então através do espaço com uma simetria radial.

Anualmente o planeta Terra recebe  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia solar, valor 10.000 vezes maior que o consumo mundial de energia neste período (CRESESB, 2006). Este fato indica que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar representa uma inesgotável fonte energética, possuindo assim um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão de energia. Uma das possíveis formas de conversão da energia solar é conseguida através do efeito fotovoltaico que ocorre em dispositivos conhecidos como células fotovoltaicas (PRADO JÚNIOR, 2004).

### 2.3. RADIAÇÃO SOLAR

Radiação solar é a designação dada à energia radiante emitida pelo Sol, transmitida sob a forma de radiação eletromagnética. A radiação eletromagnética pode ser considerada como uma oscilação em fase dos campos elétricos e magnéticos que se encontram desacoplados das cargas elétricas que lhe deram origem. As oscilações dos campos magnéticos e elétricos são perpendiculares entre si e perpendicular à direção do movimento da onda, elas podem ser entendidas como a propagação de uma onda transversal, que pode se deslocar através do vácuo com uma velocidade de ( $C=3 \times 10^8$  m/s). Pode ser entendido, ainda, como o deslocamento de pequenas partículas, os fótons.

Dos 174 petawatts (PW) de radiação solar que a Terra recebe na zona superior da atmosfera durante o ano. Cerca de 51% dessa radiação atinge a superfície da Terra, enquanto que 30% é refletido para o espaço e o restante absorvido pelas nuvens (C3N ENERGIA, 2007). O espectro da luz solar na superfície da Terra é mais difundido em toda a gama visível e infravermelho e uma pequena gama de radiação ultravioleta, como representado na Figura 5 (SANCHEZ, 2010).



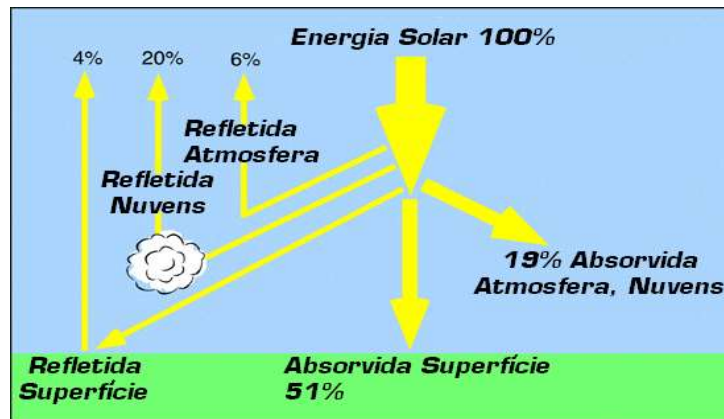


Figura 5: Radiação Solar.  
Fonte: TISST, 2016.

A radiação solar medida é a radiação recebida acima da atmosfera terrestre, esta radiação não é influenciada pelas nuvens existentes na atmosfera. A órbita da Terra em volta do Sol não é uma circunferência, mas sim uma elipse. Isto faz com que a radiação solar não seja constante ao longo do ano, variando conforme as estações do ano (TISST, 2016).

#### 2.4. DIFERENTES COMPOSIÇÕES DAS FOTOCÉLULAS

Células fotovoltaicas ou fotocélulas são fabricadas com material semicondutor, ou seja, material com características intermédias entre um condutor e um isolante. Esses materiais são dopados, isto quer dizer que são incluídas pequenas porcentagens de outros materiais para que suas características sejam melhoradas, e realizado sofisticados processos de produção para que sua eficiência seja elevada. A fotocélula é o elemento transformador que converte energia solar em energia elétrica, produzida através da utilização desses materiais, sendo o Silício o mais utilizado (PINHO *et al.*, 2014). A Figura 6 exemplifica as camadas de uma célula fotovoltaica.

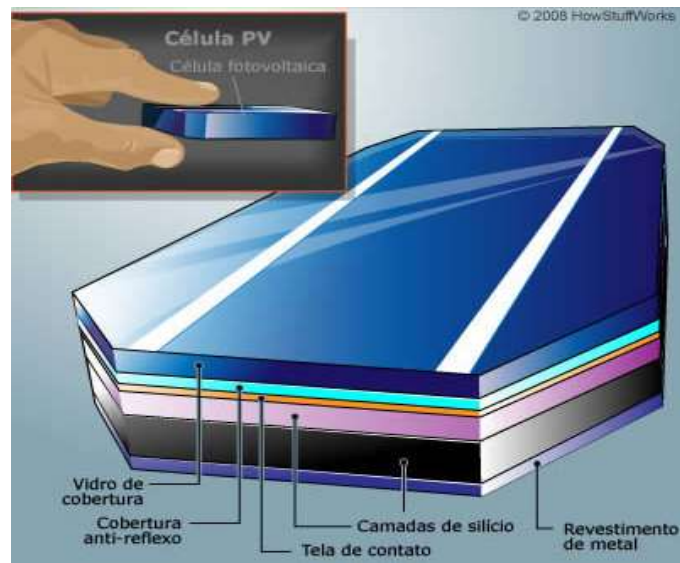


Figura 6: Camadas que compõem a célula fotovoltaica.  
Fonte: HSW, 2006.

As células mais importantes e consolidadas no mercado são as fabricadas a base de silício. Atualmente constituem o grande campo de pesquisas para desenvolvimento de células de menor custo, são as células de filmes finos. A estratégia é usar pouco material, diminuir o consumo de energia na fabricação permitindo a produção em larga escala (NASCIMENTO, 2004).

A Figura 7 demonstra uma célula que é composta pelas finas lâminas de m-Si que depois de dopadas recebem a aplicação de uma camada de material antirreflexo. Posteriormente são impressos os contatos frontais e traseiros, e por fim as células são desbastadas nas laterias para a remoção de possíveis causadores de curto-circuito (BLUE SOL EDUCACIONAL, 2012).

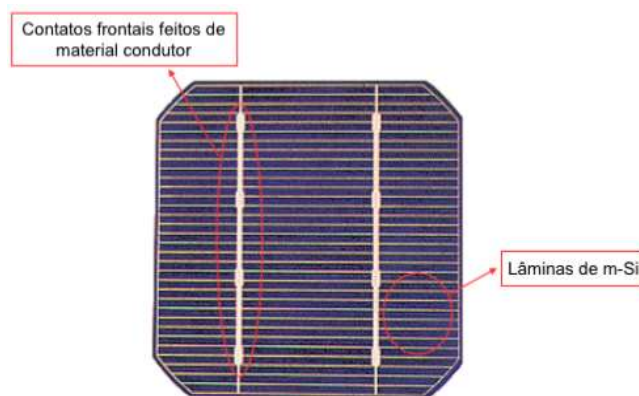


Figura 7: Célula formada por lâminas de silício monocristalino.  
Fonte: Adaptado de CRESESB, 2006.

A Figura 8 expõe as células fotovoltaicas de silício policristalino (p-Si), as quais são produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão de silício puro em moldes especiais. Uma vez nos moldes, o silício esfria lentamente e solidifica-se. Neste processo, os átomos não se organizam num único cristal, formando uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais. Sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade é de 13% e seu processo de produção é mais barato em comparação às células de silício monocristalino (MARTIN, 2012).

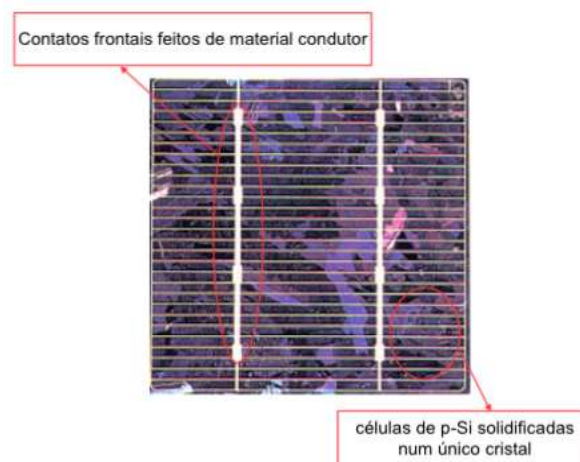


Figura 8: Célula de silício policristalino.  
Fonte: Adaptado de CRESESB, 2006.

Como mostrado na Figura 9, painel solar de silício amorfo é esteticamente mais atraente, logo é encontrado em aplicações arquitetônicas diversas, substituindo materiais de cobertura de telhados e fachadas na construção civil. Mesmo apresentando um custo reduzido na produção e uma variedade de aplicações, o uso de silício amorfo apresenta duas desvantagens: a primeira é a baixa eficiência de conversão chegando a 15%; em segundo, as células são afetadas por um processo de degradação logo nos primeiros meses de operação reduzindo assim sua eficiência de conversão (PORTAL ENERGIA, 2011).



Figura 9: Exemplo de painel solar de a-Si.  
Fonte: TIENDA FOTOVOLTAICA (2016).

## 2.5. EFEITO FOTOVOLTAICO

O efeito fotovoltaico é gerado quando uma superfície metálica dopada de elétrons recebe radiação eletromagnética, devido à incidência de radiação eletromagnética sobre esta, os elétrons são arrancados do metal, recebendo o nome de fotoelétrons. Esta ação que converte energia solar em energia elétrica é produzida através da utilização de semicondutores, sendo o Silício o mais utilizado (PINHO *et al.*, 2014).

“Nos materiais semicondutores, a zero Kelvin, as bandas de valência apresentam-se cheias e as de condução vazias, semelhante aos isolantes, porém com a diferença de estarem separadas por uma banda proibida muito menor (cerca de cinco vezes, por exemplo, entre o silício e o diamante). Como a banda proibida dos semicondutores é relativamente baixa, é possível excitar alguns elétrons da banda de valência para a banda de condução por meios térmicos ou luminosos. Sendo assim, pares elétron-lacuna são gerados, permitindo a condução de corrente. Num semicondutor intrínseco, esses pares elétron-lacuna são os únicos portadores de carga, o que mantém o cristal com uma elevada resistividade” (RAMOS,2006).

Esses materiais semicondutores encontrados na natureza são constituídos de uma faixa de valência totalmente preenchida por elétrons e uma faixa de condução totalmente “vazia”. A separação entre as duas faixas de energia é chamada de (“*gap* de

energia”) é da ordem de 1 eV (elétron-Volt), o que os diferencia dos isolantes onde o *gap* é de vários eVs. Como consequência desse fato, os semicondutores apresentam características interessantes, como o aumento de sua condutividade com a temperatura, devido à excitação térmica de portadores da faixa de valência para a faixa de condução (PRADO JÚNIOR, 2004).

O silício apresenta-se normalmente como areia. Através de métodos adequados obtém-se o silício em forma pura. O cristal de silício puro não possui elétrons livres, portanto, é mau condutor elétrico. Para alterar isto acrescentam-se pequenas porcentagens de outros elementos, com a finalidade de fornecer ao silício a capacidade de gerar elétrons livres. Este processo denomina-se dopagem.

Na dopagem do silício com o fósforo obtém-se um material com elétrons livres ou materiais com portadores de carga negativa (silício tipo N). Realizando o mesmo processo, mas agora acrescentado Boro ao invés de Fósforo, obtém-se um material com características inversas, ou seja, falta de elétrons ou material com cargas positivas livres (silício tipo P). Cada célula solar compõe-se de uma camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P, como pode ser observado na Figura 10 (PINHO *et al.*, 2014).

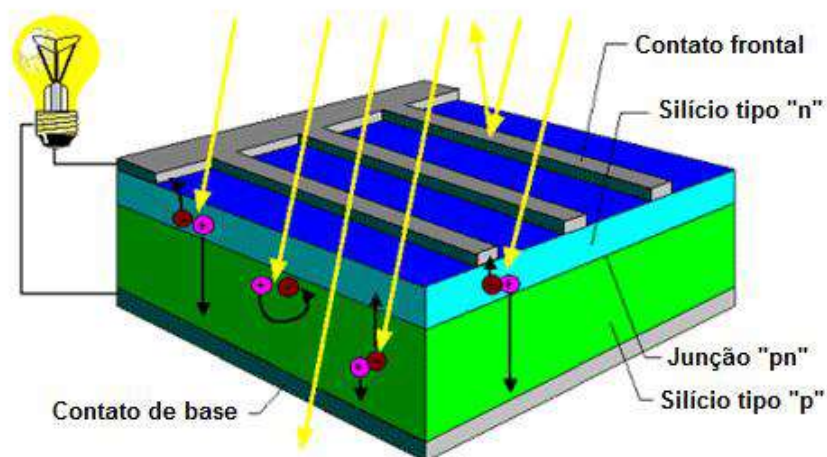


Figura 10: Exemplo de uma célula fotovoltaica.  
Fonte: Adaptado de CRESESB, 2006.

Quando a luz incide sobre a célula, os fótons que a integram, se chocam com os elétrons da estrutura do Silício, gerando energia e os transformando em condutores. É

devido à diferença de potencial entre as camadas, que gera o campo elétrico entre os pólos  $P$  e  $N$ , que faz com que os elétrons fluam da camada  $P$  para a camada  $N$  (PINHO *et al.*, 2014).

Ao conectar um condutor externo nos pólos, é gerado um fluxo de elétrons, que por definição, chama-se de corrente elétrica. Este processo continuará ocorrendo, enquanto a luz incidir na célula. Já a intensidade da corrente gerada variará, proporcionalmente, conforme a intensidade da luz incidente (PINHO *et al.*, 2014).

Dentre os fenômenos observados durante o efeito fotoelétrico, é possível destacar as seguintes características:

- A energia dos elétrons emitidos pela superfície depende da frequência da radiação incidente, e não da sua intensidade.
- O aumento da intensidade da radiação incidente provoca apenas um aumento do número de elétrons emitidos.
- Os elétrons são emitidos instantaneamente pela superfície metálica.

## 2.6. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A conversão de energia solar em energia elétrica se dá por meio de células fotovoltaicas. Esses arranjos de semicondutores são sensíveis à luz, criando um potencial elétrico quando excitados. Uma célula fornece energia quando exposta a uma radiação solar de  $1 \text{ kW/m}^2$  em temperatura de  $25^\circ\text{C}$ , cerca de  $0,6 \text{ Volts}$  e uma densidade de corrente de curto-circuito da ordem de  $150 \text{ mA/cm}^2$  (KRENZINGER *et al.*, 2002).

Sua constituição física gera um conjunto de resistências interna, que dificulta a passagem da corrente influenciando assim na potência final, e depende da junção PN da célula, das impurezas do material e resistência do contato. O circuito equivalente que descreve o funcionamento interno de uma célula fotovoltaica quando submetida à radiação solar é mostrado na Figura 11.

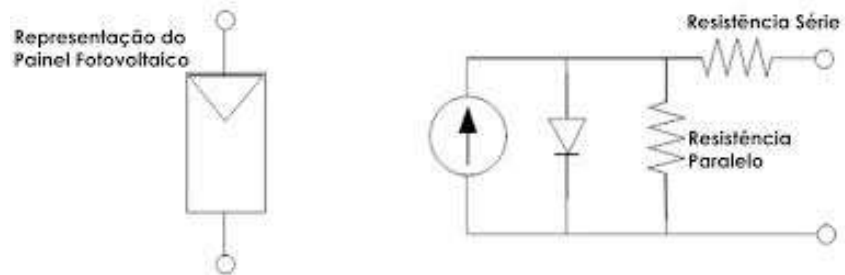


Figura 11: Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica.  
Fonte: SERRÃO, 2010.

Para se conseguir a tensão e corrente suficientes para alimentar um determinado sistema, se faz necessário o agrupamento dessas células em arranjos. Conforme Rüter (1999), a quantidade de células fotovoltaicas conectados em série determina a tensão do sistema, já a corrente é definida pela conexão em paralelo dessas células, a Figura 12 apresenta um exemplo de arranjo das células. O desempenho dos módulos fotovoltaicos é influenciado, principalmente, pela intensidade luminosa na localização dos módulos e temperatura das células (CABRAL II et. al.2004).

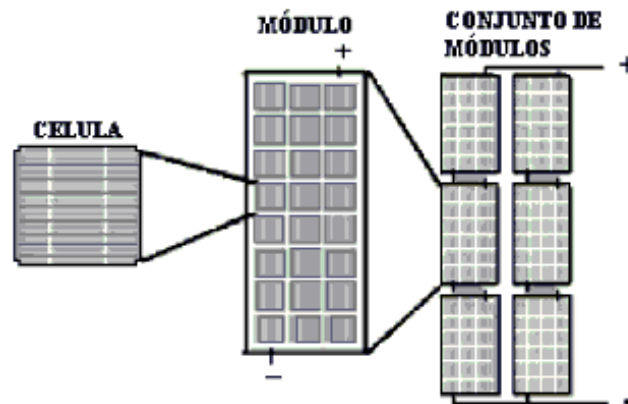


Figura 12: Representação de arranjo de Células (Módulo).  
Fonte: SCIELO, 2004.

### 2.6.1. Associação em Paralelo

O módulo fotovoltaico associado em paralelo apresenta terminais do mesmo pólo ligados a um ponto em comum. Assim sendo, os terminais positivos são todos ligados a um mesmo ponto, enquanto os terminais negativos ligam-se a outro ponto. Embora a

tensão permaneça a mesma, a corrente total é a soma das correntes individuais geradas por cada módulo fotovoltaico. Módulos conectados em paralelo é denominado de *shunt*, como mostra a Figura 13.

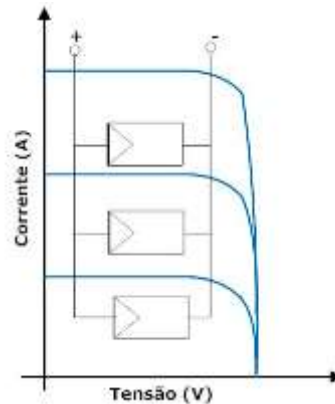


Figura 13: Módulos fotovoltaicos conectados em paralelo (*shunt*).  
Fonte: SERRÃO, 2010.

### 2.6.2. Associação em Série

Na associação em série, o terminal positivo de um módulo é ligado ao terminal negativo de outro módulo. Neste caso a corrente total será igual à corrente individual gerada por cada módulo, mas a tensão total gerada pelos módulos será o resultado do somatório das tensões de cada módulo. Módulos conectados em série é denominado de *string*, como está representado na Figura 14.

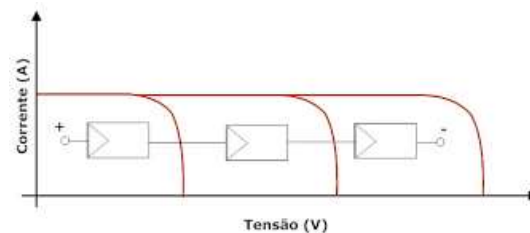


Figura 14: Módulos fotovoltaicos conectados em série (*string*).  
Fonte: SERRÃO, 2010.

### 2.6.3. Associação em Série/Paralelo

A associação série/paralelo é feito da união de uma associação em série com uma associação em paralelo das placas fotovoltaicas, gerando assim uma corrente total



igual a somatória das correntes das placas ligadas em paralelo e uma tensão total igual a somatória das tensões das placas ligadas em série, como podemos ver na Figura 15.

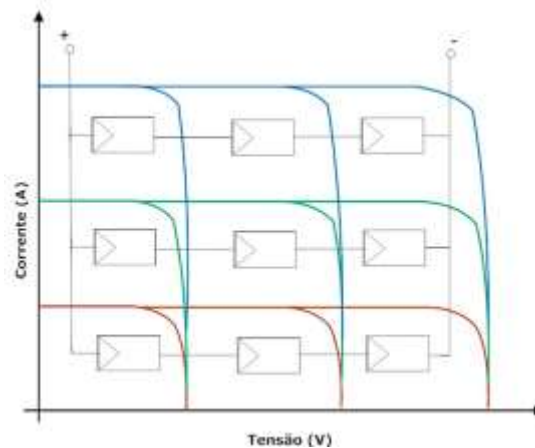


Figura 15: Módulos fotovoltaicos conectados em série/paralelo.  
Fonte: SERRÃO, 2010.

## 2.7. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Em geral, a potência dos módulos é dada pela potência de pico, expressa em watt pico (Wp). Entretanto, existem outras características elétricas que melhor caracterizam a funcionalidade do módulo. As principais são (CRESESB, 2006):

- Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ): máxima tensão que um dispositivo pode entregar sob condições determinadas de radiação e temperatura.
- Potência máxima ( $P_m$ ): é o valor máximo de potência que pode entregar o dispositivo. Corresponde ao ponto da curva no qual o produto  $V \times I$  é máximo.
- Corrente de Curto-Circuito ( $I_{sc}$ ): máxima corrente que pode entregar um dispositivo sob condições determinadas de radiação e temperatura.
- Tensão de máxima potência ( $V_{mp}$ ): é a única tensão para a qual a potência máxima poderá ser extraída.
- Corrente de máxima potência ( $I_{mp}$ ): corrente que o dispositivo entrega para potência máxima sob condições determinadas de radiação e temperatura.

### 2.7.1. Curva Característica IxV (Corrente *Versus* Tensão)

Pode-se dimensionar um sistema fotovoltaico, devemos observar as características elétricas de um painel quando exposta a radiação solar, e a relação de corrente *versus* tensão (I-V) é muito importante neste aspecto. Pois é a curva dessa relação que irá determinar qual será a sua máxima tensão gerada e sua máxima corrente de trabalho. A Figura 16 mostra uma curva I-V típica de uma célula. Para cada condição de carga acoplada aos terminais da célula, obtém-se um par de valores I,V. Unindo-se os pontos traça-se a curva I *versus* V (CRESESB, 2006).

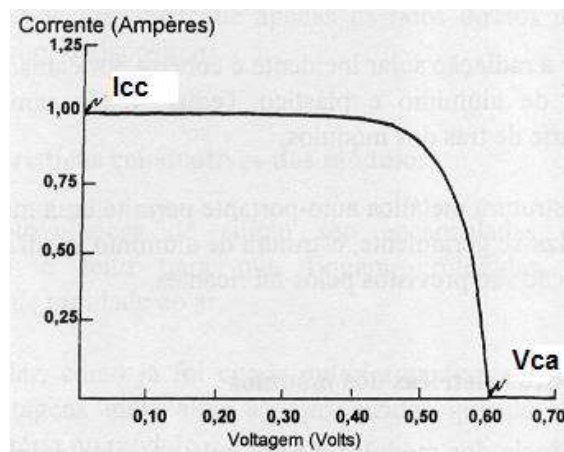


Figura 16: Curva Característica de Corrente *versus* Tensão (IxV).  
Fonte: CRESESB, 2006.

### 2.7.2. Curva Característica PxV (Potência *versus* tensão)

A potência gerada nos terminais de uma célula é obtida pelo produto da tensão *versus* corrente em cada ponto da curva. Este é outro fator importante para determinar um sistema fotovoltaico. A Figura 17 mostra a curva de potência de uma célula em função da tensão nos seus terminais. Note que não há potência gerada quando a tensão e corrente é nula ( $I_{cc}$  e  $V_{ca}$ ). Observando esta curva com mais atenção, verificamos que existe um único valor de tensão correspondente a um único valor de corrente para o qual a potência fornecida na saída da célula ou módulo é máxima, e este valor se encontra no joelho da curva (CRESESB, 2006).

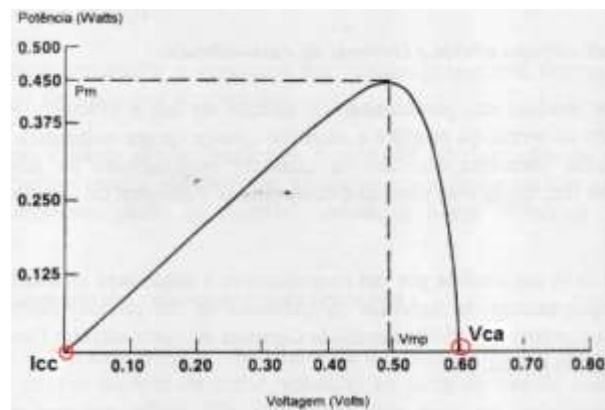


Figura 17: Curva Característica de Potência *versus* Tensão (PxV)  
 Fonte: Adaptado de CRESESB, 2006.

Para melhor compreender a relação de corrente *versus* tensão e potência gerada por uma célula fotovoltaica, sobrepusemos as curvas citadas nas Figuras 19 e 20 e mostramos na Figura 18. A Figura 18 também mostra o ponto de máxima potência.

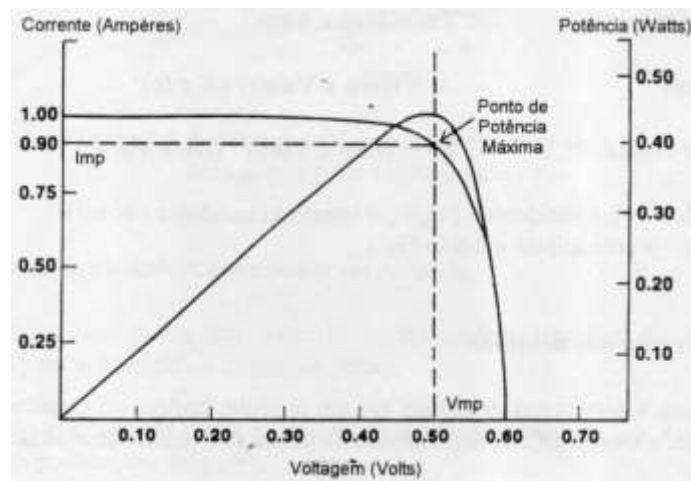


Figura 18: Parâmetro de potência máxima.  
 Fonte: CRESESB, 2006.

### 2.7.3. Temperatura de Operação

As células fotovoltaicas sofrem variações de temperatura em função do nível de radiação solar incidente e temperatura ambiente, alterando assim a eficiência dos módulos. Com o aumento da temperatura da célula, a corrente de curto-circuito ( $I_{cc}$ )

aumenta enquanto a tensão de circuito aberto ( $V_{ca}$ ) diminui, o que provoca uma alteração na potência entregue pelos painéis.

Digamos que  $I_{cc_0}$  e  $V_{ca_0}$  são respectivamente a corrente de curto circuito e tensão de circuito aberto de uma célula na temperatura de referência  $T$ , as constantes  $\alpha$  e  $\beta$  são os respectivos coeficientes de temperatura. Se a temperatura de operação é aumentada de um fator  $\Delta T$ .

Então, a nova corrente e tensão são dadas pelas expressões:

$$I_{cc} = I_{cc_0}(1 + \alpha \Delta T) \quad [A] \quad (1)$$

$$V_{ca} = V_{ca_0}(1 - \beta \Delta T) \quad [V] \quad (2)$$

Visto que a corrente e tensão de operação variam na mesma proporção que  $I_{cc}$  e  $V_{ca}$ , a nova expressão para a potência de saída da célula é:

$$P = V \cdot I = I_{cc_0}(1 + \alpha \Delta T) \cdot V_{ca_0}(1 - \beta \Delta T) \quad [W] \quad (3)$$

$$\text{Que simplificando} \quad P = P_0[1 + (\alpha - \beta) \Delta T] \quad [W] \quad (4)$$

Na Figura 19 podemos observar o efeito da temperatura na curva Potência *versus* Tensão, demonstrando que a célula produz mais potência em baixas temperaturas.

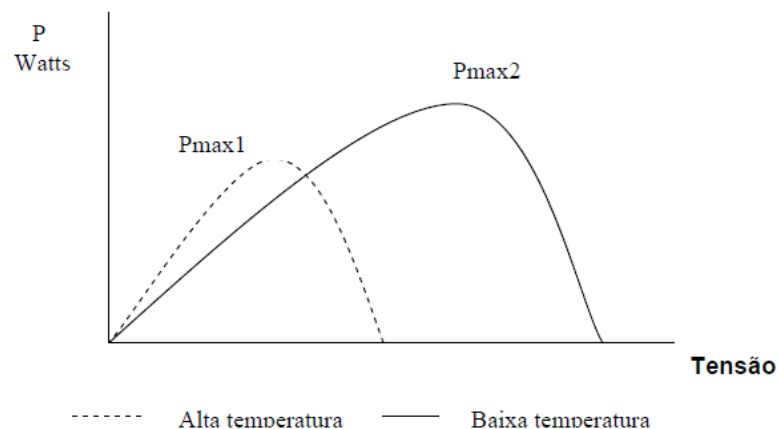


Figura 19: Efeito da temperatura na curva P *versus* V.  
Fonte: GEPEA, 2012.

A condição padrão para o dimensionamento das curvas características dos módulos é definida para uma radiação solar de  $1000\text{W/m}^2$  e temperatura de  $25^\circ\text{C}$  na célula. A corrente gerada nos módulos aumenta linearmente com o aumento da intensidade luminosa, e o aumento da temperatura na célula faz com que a eficiência do módulo caia, baixando assim os valores de operação para potência máxima gerada, devido a corrente permanecer praticamente constante e a tensão diminuir. Como pode-se verificar nas Figuras 20 e 21.

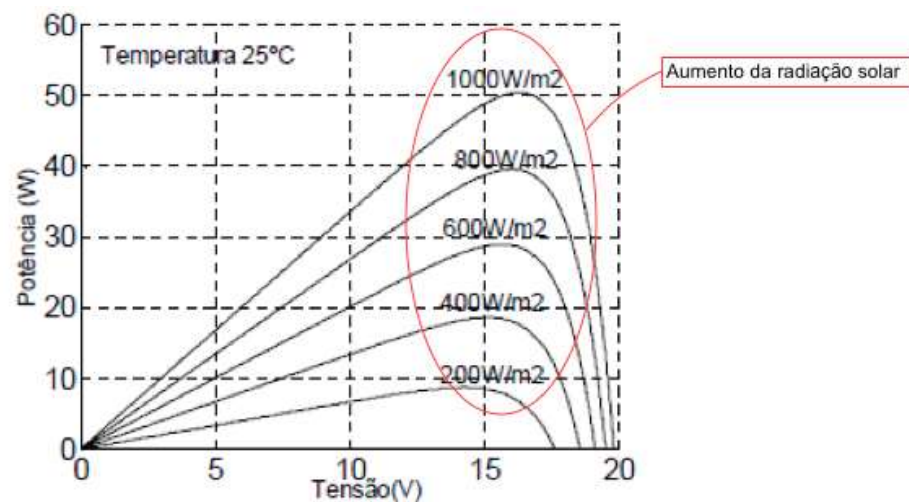


Figura 20: Variação da potência do módulo com a variação do índice de radiação solar.  
Fonte: Adaptado de SCIELO, 2004.

De acordo com a Figura 20, mantendo-se a temperatura constante em  $25^\circ\text{C}$ , a potência das células fotovoltaicas crescem proporcionalmente ao aumento da radiação solar.

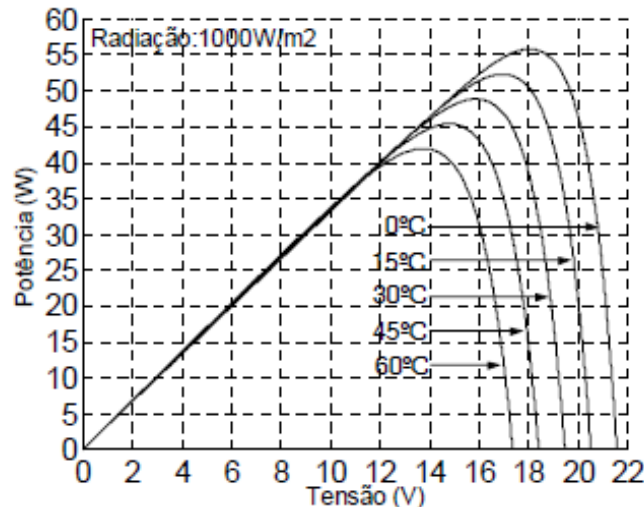


Figura 21: Variação da potência do módulo com a variação da temperatura.  
Fonte: SCIELO, 2004.

A Figura 21 demonstra um gráfico em que a radiação solar é constante em ( $1000\text{W}/\text{m}^2$ ), porém, a célula solar sofre variação da temperatura, isso deixa explícito que o aumento da temperatura na célula influencia na potência.

#### 2.7.4. Cálculo do Rendimento

O rendimento energético de uma célula fotovoltaica é a relação entre a quantidade de energia solar captada pela célula e a energia total que a célula consegue converter em energia elétrica. Se uma célula apresenta um elevado rendimento, isso significa que desperdiça pouca energia nesse processo, enquanto que uma célula com um baixo rendimento desperdiça grande parte da energia nesse processo. O Rendimento energético de uma célula é determinado pela equação:

$$\eta = \frac{P_m}{E \cdot S} \quad (5)$$

Sendo  $E$  a luminosidade [ $\text{W}/\text{m}^2$ ],  $S$  a superfície ativa dos painéis [ $\text{m}^2$ ] e  $P_m$  representa a potência máxima medida nas condições STC (*Standard Test Conditions*), isto é, a uma temperatura de  $25^\circ\text{C}$ , e uma incidência de  $1000\text{W}/\text{m}^2$ .

## 2.8. CONVERSORES (INVERSORES)

A energia produzida pelos painéis fotovoltaicos gera um sinal elétrico CC (corrente contínua). Porém os equipamentos elétricos conectados nesse sistema são alimentados com sinal elétrico CA (corrente alternada), assim como a rede de distribuição de energia, caso este sistema seja integrado e ela. Então para atender essas necessidades este sistema precisará converter o sinal elétrico CC para CA. O inversor CC/CA é o equipamento que realiza este trabalho (Figura 22). Para obtenção da corrente CA, existe um dispositivo no inversor que se chama comutador e cujo papel é o de “quebrar” a corrente contínua em pulsos. Estas deformações que são provocados na onda devido às comutações dos interruptores do inversor, podem produzir perturbações importantes nas células fotovoltaicas (Distorções Harmônicas) (BRAGA, 2008).

Os inversores podem ser divididos em três categorias:

- Onda quadrada: uso não recomendado em sistemas fotovoltaicos.
- Onda senoidal modificada: não produz energia com alta qualidade, por isso não é aceito em sistemas conectado à rede elétrica. Assim seu uso fica restrito nas aplicações independentes.
- Onda senoidal pura: para aplicações especiais com distorção menor que 5%, este conversor é o mais indicado para sistemas conectado à rede.

Os valores de potência em watts apresentados nos inversores referem-se a potência máxima do inversor, caso alimentando uma carga puramente resistiva. Assim será utilizada sempre a potência aparente para o seu dimensionamento. Afim de que os inversores trabalhem o máximo possível de eficiência, deve-se dimensioná-lo de modo que ele trabalhe com no máximo 80% da sua potência nominal. O que garante uma confortável eficiência de conversão e uma reserva estratégica, caso novas cargas venham a ser ligadas (NEVES, 2011).



Figura 22: Inversor Solar Central SIW700.  
Fonte: WEG, 2016.

## 2.9. CLASSIFICAÇÃO DA INSTALAÇÃO DOS SISTEMAS

O sistema fotovoltaico é classificado de acordo com sua configuração de instalação, que pode ser dividida em três categorias: sistemas isolados, híbridos e conectados à rede (CRESESB, 2006).

### 2.9.1. Sistemas Isolados

O sistema isolado é aquele em que não se encontra ligado a outros sistemas de fornecimento de energia. Esse sistema pode ou não depender de armazenamento de energia em baterias, isso vai depender do seu uso final. O controlador de carga é usado em sistemas pequenos onde os aparelhos utilizados são de baixa tensão e corrente contínua (CC). Para alimentação de equipamentos de corrente alternada (CA) é necessário um inversor. Este dispositivo geralmente incorpora um seguidor de ponto de máxima potência necessário para otimização da potência final produzida (CRESESB, 2006).



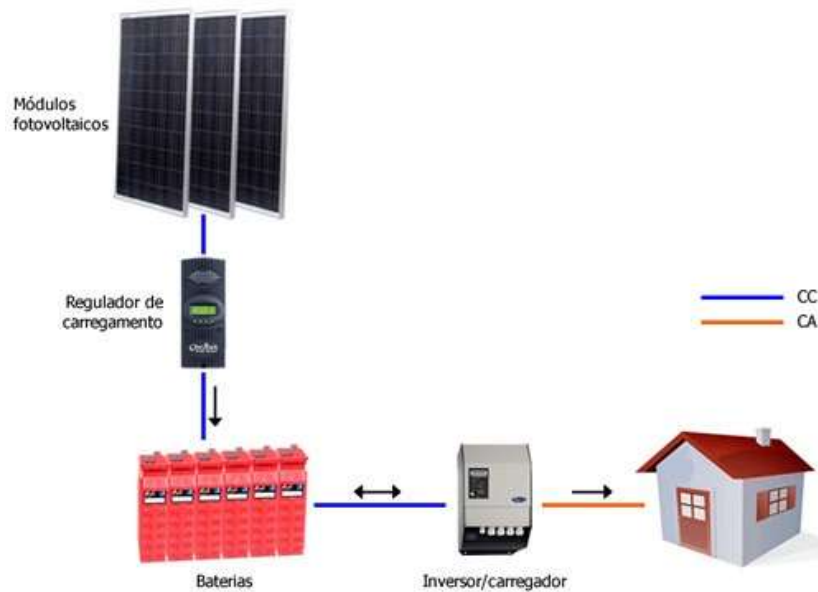


Figura 23: Sistema fotovoltaico isolado.  
Fonte: Adaptado de FFSOLAR, 2016.

A Figura 23 representa um sistema fotovoltaico isolado, ou seja, não conectado à rede. Este modelo de instalação é bastante utilizado em lugares remotos, visto que muitas vezes é o método mais econômico para obtenção de energia elétrica. Este tipo de sistema é formado basicamente por quatro componentes: módulos fotovoltaicos, controlador de carga, inversor e baterias.

### 2.9.2. Sistemas Híbridos

Esse sistema apresenta várias fontes de geração de energia em uma mesma instalação, geralmente o sistema híbrido se encontra desconectado da rede local de transmissão de energia, mas isso não é obrigatoriedade. Com uma interligação entre as fontes de geração de energia ele busca o aproveitamento racional e a melhor situação para cada caso, como mostrado na Figura 27 (CRESESB, 2006).

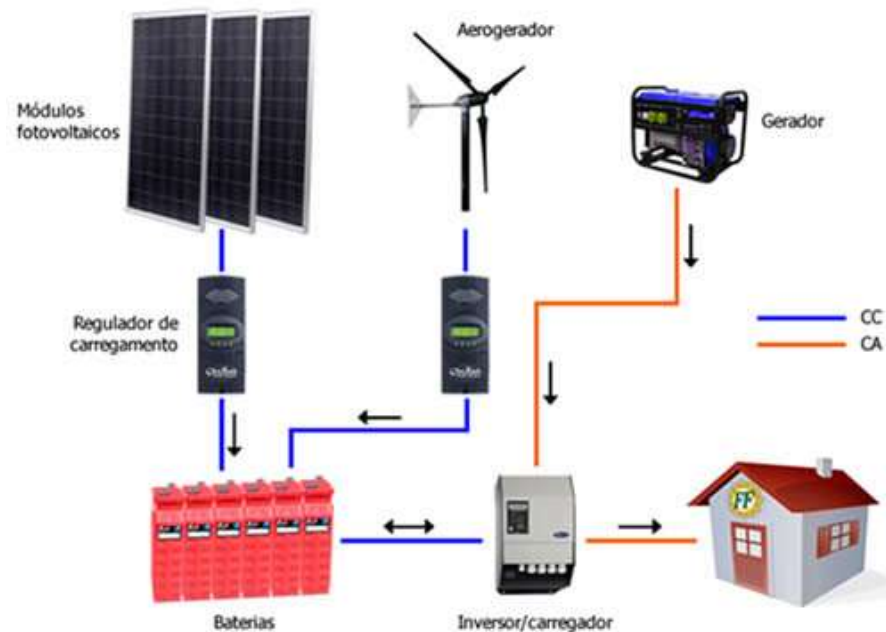


Figura 24: Exemplo de sistema híbrido.  
Fonte: FFSOLAR, 2016.

Na Figura 24 observa-se um sistema híbrido de geração de energia, utilizando a energia fotovoltaica e eólica numa mesma residência. Este modelo de instalação geralmente traz maior rendimento e retorno econômico do que sistemas independentes de geração, pois no verão e durante o dia, os painéis fotovoltaicos geram mais energia, enquanto a turbina eólica terá seu pico de produção no inverno, ou durante a noite, por exemplo. Composto assim um sistema de compensação de geração de energia, ou seja, um sistema complementar o outro.

### 2.9.3. Sistemas Conectados à Rede

Neste sistema não há necessidade de armazenar energia, porque toda a energia que é gerada vai direto para a rede. Neste caso a geração é utilizada como forma de compensação pela energia absorvida da rede ou como uma planta geradora de energia para a rede. O sistema fotovoltaico é ligado a inversores, que é ligado diretamente na rede (CRESESB, 2006).

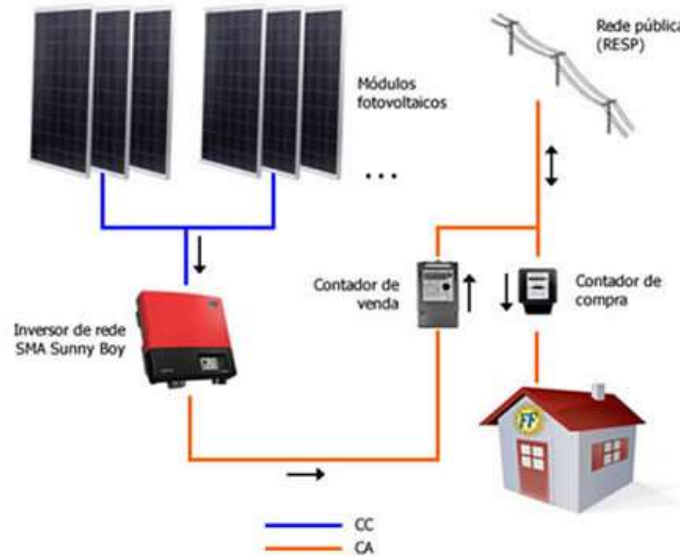


Figura 25: Sistema conectado à rede.  
Fonte: FFSOLAR, 2016.

Na Figura 25 é exemplificado um sistema de geração fotovoltaica conectado à rede. Neste tipo de conexão não há necessidade de acumuladores de energia (baterias), pois quando se tem um consumo elétrico maior que a eletricidade produzida pelos módulos fotovoltaicos (isto ocorre normalmente ao amanhecer, durante a noite e nos dias sem ou com baixa radiação solar), a rede irá fornecer a energia necessária para o perfeito funcionamento da residência. Ao contrário, quando se tem um consumo elétrico baixo ou quando os módulos produzem eletricidade acima do que está sendo consumido pela edificação, o excesso de energia elétrica é injetado na rede de distribuição da concessionária.

Segundo a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) o número de sistemas conectado à rede no Brasil, passou de 8 (em janeiro de 2013) para 1125 (em dezembro de 2015) com capacidade instalada de 13,1MW. Deste total, 1074 são sistemas fotovoltaicos. O relatório REN21 (*Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*) aponta um crescimento em investimentos na geração de energia renovável, a forte tendência do mercado está voltada para os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Os avanços da indústria fotovoltaica e seu crescimento vertiginoso, a partir da década de 90, devem-se as políticas públicas implementadas por vários países (JANNUZZI, 2009).

## 2.10. NORMAS PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS LIGADOS À REDE

Ao longo dos anos o Brasil vem tentando introduzir o uso da energia solar fotovoltaica através de programas de financiamento dos sistemas fotovoltaicos, por exemplo. Porém, infelizmente o que foi feito até o momento não foi suficiente para garantir o desenvolvimento de um mercado para este tipo de aplicação, pois a energia solar fotovoltaica não tem sido contemplada efetivamente por políticas públicas específicas de longo prazo e pela legislação em vigor, apesar do país já ter iniciado incentivos a outras fontes renováveis de energia e de possuir um vasto potencial para a aplicação dessas fontes (JANNUZZI, 2009).

### 2.10.1. Micro e Minigeração

Com o intuito de reduzir barreiras para a criação e conexão de pequenas centrais geradoras na rede de distribuição (desde que utilizem fontes renováveis de energia ou cogeração com elevada eficiência energética), a ANEEL publicou em 17 de abril de 2012 a Resolução Normativa nº 482/2012. E, complementarmente, na seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST foram estabelecidas normas, condições técnicas e comerciais para a conexão de micro e minigeradores ao sistema de distribuição da rede elétrica (ANEEL, 2014).

Conforme disposto nesses regulamentos, a micro e a minigeração distribuída consistem na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Em relação a resolução normativa 482/2012, a microgeração distribuída refere-se a uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 quilowatts (kW), enquanto que a minigeração distribuída diz respeito às centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 1 megawatt (MW) (ANEEL, 2014).

### 2.10.2. Compensação de Energia Elétrica

A Resolução Normativa 687/2015 da ANEEL estabeleceu as condições gerais para a conexão de microgeração e minigeração à rede distribuída no Brasil e criou o Sistema de Compensação de Energia. Este permite que sistemas fotovoltaicos e outras formas de geração de energia a partir de fontes renováveis com até 1MW de potência se conectem à rede elétrica de forma simplificada, atendendo o consumo local e injetando o excedente na rede, gerando créditos de energia. Desta forma, é possível praticamente zerar a conta de luz com o uso da energia solar, pagando apenas o custo de disponibilidade da rede.

Quando um sistema fotovoltaico estiver gerando eletricidade, esta será consumida no local. Caso a geração seja maior que o consumo, o excedente é injetado na rede elétrica, gerando créditos de energia. Quando a geração for menor do que o consumo, será utilizada a energia da própria rede elétrica. Os créditos de energia possuem o mesmo valor da eletricidade da rede e podem ser utilizados para abater o consumo, diminuindo assim o valor da conta de energia. Ao final do mês, é realizado o balanço de quanto foi injetado e quanto foi consumido. Caso em um mês a geração tenha sido maior que o consumo, os créditos de energia podem ser utilizados nos meses seguintes com validade de 36 meses. Esses créditos também podem ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades previamente cadastradas para este fim e atendidas pela mesma distribuidora (COPEL, 2016).

### 2.10.3. Conexão com a Rede de Distribuição da Copel

A Companhia Paranaense de Energia - COPEL, estabeleceu normas técnicas para o acesso de geração distribuída em sistema elétrico, as quais estabelecem padrões que buscam a padronização e procedimentos técnicos, de acordo com as exigências técnicas e de segurança recomendadas, em conformidade com as prescrições vigentes nos Procedimentos de Distribuição – PRODIST, nas Resoluções Normativas da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e Normas Técnicas da ABNT (COPEL, 2016).

### 2.10.3.1. Norma Técnica Copel – NTC 905200

A Norma Técnica NTC 905200 tem como objetivo padronizar requisitos para o acesso de centrais geradoras de energia elétrica com potência instalada até 3 MW conectadas através de unidades consumidoras cadastradas no Sistema de Compensação de Energia Elétrica, instituído pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 (COPEL II, 2014).

Para conectar qualquer gerador em paralelo com o sistema elétrico da Copel é necessário solicitar o acesso e seguir os procedimentos previstos nas normas relacionadas. Conforme regras do sistema de compensação de energia ativa, não existe cobrança de tarifa pela injeção de potência no sistema de distribuição. A energia injetada na rede de distribuição pela unidade geradora classificada como micro ou minigeração não será comprada pela COPEL (COPEL II, 2014).

## 2.11. POTENCIAL FOTOVOLTAICO DO PARANÁ

O Estado do Paraná está localizado no sul do Brasil, ocupa uma área de 199.880 km<sup>2</sup>. O seu clima apresenta grandes diferenças dependendo da região, tropical úmido ao norte a temperado úmido ao sul. A economia do estado é a quinta maior do país, atualmente a economia paranaense representa 5,60% do PIB (Produto Interno Bruto) nacional (IPARDES, 2015).

Diante desse grande crescimento econômico do estado a necessidade da expansão da matriz elétrica fica evidenciada. Embora o estado apresenta um grande potencial hidráulico, a estimativa é que em torno de 70% desse potencial tenha sido explorado, o que impossibilita a expansão nesse setor e gera a necessidade de investimentos em outras fontes de geração de energia elétrica, o que deixa em destaque fontes renováveis como eólica e solar (TIEPOLO, et al., 2014).

De acordo Tiepolo 2015, o potencial do Paraná é muito superior ao da Alemanha, a qual é uns dos países que mais investe em energia solar, na Figura 29 mostra o mapa fotovoltaico do estado do Paraná - Global Anual, ele foi elaborado com

uma sequência de cores mostrando de forma clara o comportamento de cada região, apresentando valores diários de energia elétrica gerada estimada para um sistema de 1kWp.

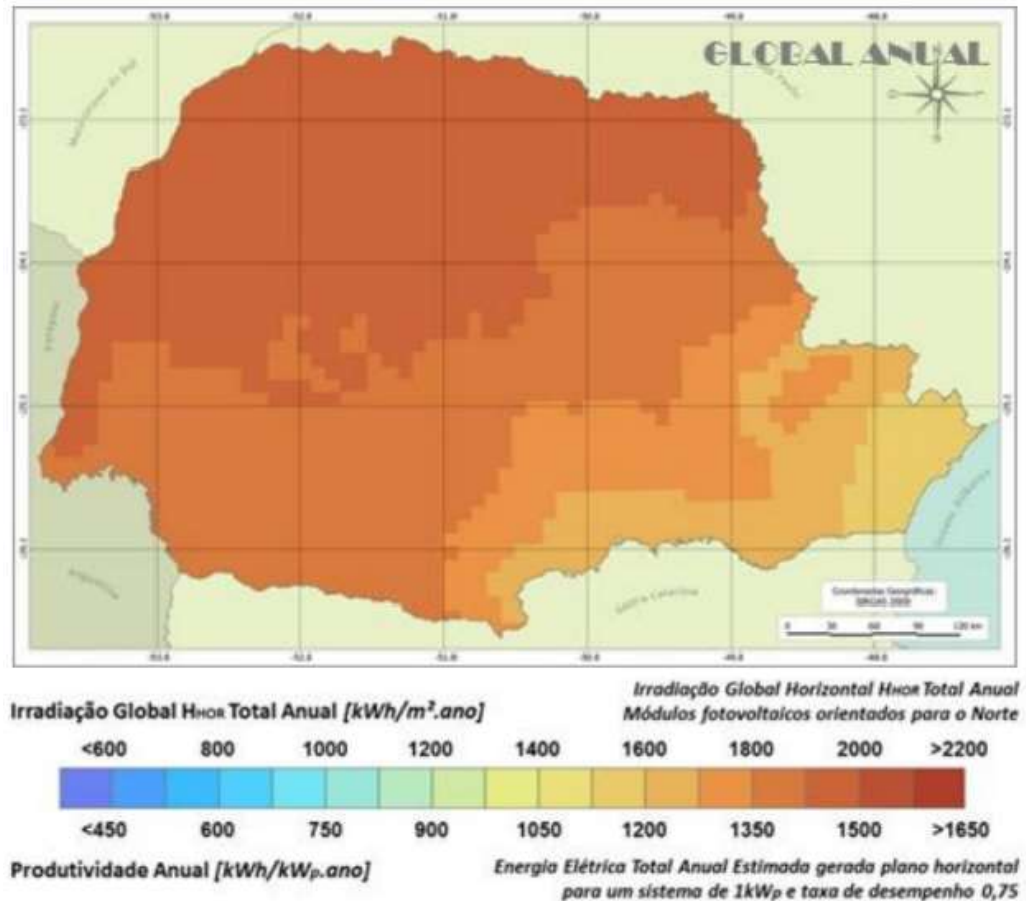


Figura 26: Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná - Global Anual (Plano Horizontal -  $H_{HOR}$ ).  
 FONTE: Adaptado de TIEPOLO et al. (2014).

Com as informações fornecidas pelo mapa da Figura 26 é possível estimar os valores gerados de energia elétrica para qualquer sistema fotovoltaico que será implantado, em qualquer região do Estado do Paraná. Em ambientes urbanos, principalmente por questões de estética, os SFVCR (Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede) normalmente seguem a inclinação do telhado da edificação, de forma aplicada ou integrada (do inglês BAPV – *Building-applied photovoltaic system* e BIPV - *Buildingintegrated photovoltaic system*), sendo que a sua produtividade dependerá de fatores como inclinação, orientação e sombreamento, sendo como opção ideal que o projeto da edificação já contemple a instalação de um SFVCR

preferencialmente nas condições ideais de geração de energia elétrica (TIEPOLO, 2015).

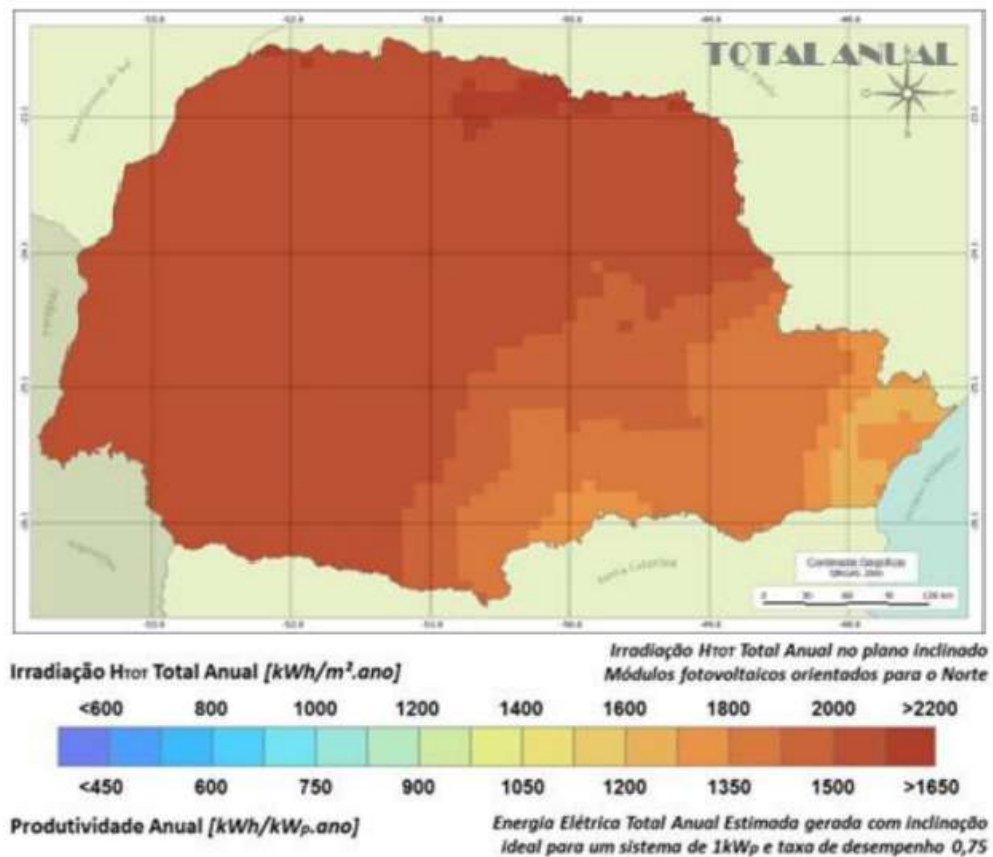


Figura 27: Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná - Total Anual (Plano Inclinado -  $H_{TOT}$ ).  
Fonte: Adaptado de TIEPOLO et al. (2014).

Comparando-se as Figuras 26 e 27, os valores de irradiação e produtividade apresentados no plano inclinado variam entre 1600 a  $>2200 kWh/m^2 \cdot ano$  e 1200 a  $>1650 kWh/kW_p$ , enquanto que os valores apresentados no plano horizontal variam entre 1500 a  $2000 kWh/m^2 \cdot ano$  e 1200 a  $1.500 kWh/kW_p$ , mostrando o maior potencial anual de geração quando o sistema fotovoltaico possui inclinação igual a latitude e orientação igual ao norte geográfico para uma mesma taxa de desempenho (TIEPOLO, 2015).



### 2.11.1. Potencial Fotovoltaico de Curitiba

De acordo com os dados descritos no item anterior, o estado do Paraná apresenta um alto potencial fotovoltaico, portanto a cidade de Curitiba, situada ao Leste do Paraná, também é possui boa capacidade de produzir energia fotovoltaica.

Sabendo a localização exata do município, o potencial fotovoltaico pode ser determinado. Conforme Tiepolo (2015), a cidade de Curitiba apresenta uma irradiação total anual média em 1.829 kWh/m<sup>2</sup>.ano e produtividade total anual média de 1.372 kWh/kWp.ano para SFVCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede) com inclinação igual a latitude, orientação norte e taxa de desempenho de 75%.

## 2.12. INTRODUÇÃO AO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO HOMERPRO

O HOMERPRO é um *software* de modelagem com a função de projetar e analisar sistemas híbridos, isolado ou conectado à rede e assim auxiliar os usuários nas configurações, simulações e avaliações para direcionar o melhor sistema de eletrificação para unidades de consumo. É um programa de modelagem disponibilizado gratuitamente na versão 3.1 e acessível no endereço [www.homerenergy.com](http://www.homerenergy.com) (ROCHA, 2010).

O *software* faz várias simulações de instalação e custo comparando os resultados e obtendo uma estimativa do capital de investimento e das despesas operacionais. Determina a viabilidade econômica de um sistema híbrido de energia e apresenta a alternativa financeira mais vantajosa dentre as várias fontes de energia em relação à rede elétrica de distribuição, aqui representada pela concessionária Companhia Paranaense de Energia (COPEL, 2016).

Possibilitando ainda atentar para os impactos ambientais mediante a estimativa de emissões de gases de efeito estufa relacionados a cada processo produtivo de eletricidade. Tem por objetivo principal a identificação do sistema de menor custo e melhor viabilidade financeira e que seja capaz de suprir a demanda de eletricidade de uma determinada unidade consumidora, seja ela de qualquer natureza (ROCHA, 2010).

### 3. ESTUDO DE CASO

#### 3.1. APRESENTAÇÃO DA RESIDÊNCIA SELECIONADA

Com o objetivo de analisar a viabilidade econômica de instalação de um sistema fotovoltaico, foi selecionada uma residência situada no bairro Santa Felicidade, pertencente a região Noroeste de Curitiba. A casa localiza-se na esquina das ruas Doutor Leão Mocellin e Auguste Comte. O telhado da residência é composto por quatro águas, proporcionando uma área interessante para instalação do sistema fotovoltaico, como pode ser observado na Figura 28.



Figura 28: Residência escolhida para estudo de caso.  
Fonte: GOOGLE MAPS, 2017.

A residência escolhida é típica de uma família de classe média, composta por quatro pessoas. Ela possui três quartos, dois banheiros, uma sala e uma cozinha, totalizando não mais que 70m<sup>2</sup> de área construída. Ambos chuveiros são elétricos, ou seja, grandes consumidores de energia. Os moradores da casa ficam fora durante o dia, portanto os picos de consumo se concentram entre 7 e 8 horas e a partir das 18 até as 22 horas. A fatura de energia elétrica foi obtida para que a análise do consumo

mensal fosse realizada. A Tabela 2 apresenta os consumos mensais da residência durante um ano.

Tabela 2: Consumo mensal de energia elétrica durante um ano.  
Fonte: Própria, 2017.

<b>Mês/Ano</b>	<b>Consumo em kWh</b>
10/16	307
09/16	351
08/16	297
07/16	362
06/16	295
05/16	275
04/16	320
03/16	277
02/16	279
01/16	295
12/15	293
11/15	278
	Média = 302

A fim de esclarecimento, foi elaborada uma lista de aparelhos eletrônicos e eletrodomésticos existentes na residência, os quais são utilizados diariamente pelos moradores. Na Tabela 3, os itens são discriminados de acordo com suas potências.

Tabela 3: Eletrodomésticos/aparelhos eletrônicos e suas potências.  
Fonte: Própria, 2017.

<b>Cômodo</b>	<b>Aparelho Eletrônico/Eletrodoméstico</b>	<b>Potência aproximada (Watts)</b>
Quarto 1	1 Lâmpada	25
	Abajur com 1 lâmpada	15
	Televisão 32"	150
Quarto 2	1 Lâmpada	25
	Abajur com 1 lâmpada	15
	Televisão 32"	150
	Notebook	90
Quarto 3	1 Lâmpada	25
	Televisão 32"	150

Sala	3 Lâmpadas	25 cada
	Computador	200
	Impressora	50
	Televisão 32"	150
Banheiro 1	2 Lâmpadas	25 cada
	Chuveiro elétrico	5500
	Aquecedor elétrico	1500
	Secador de cabelo	1800
Banheiro 2	2 Lâmpadas	25 cada
	Chuveiro elétrico	5500
	Aquecedor elétrico	1500
Cozinha	2 Lâmpadas	25 cada
	Refrigerador 2 portas	500
	Fogão a gás com acendimento elétrico	60
	Micro-ondas	1000
	Cafeteira	800
	Sanduicheira	750
	Liquidificador	550
	Espremedor de Frutas	25
	Batedeira	100
Lavanderia	2 Lâmpadas	25 cada
	Máquina de lavar roupas	1000
	Ferro elétrico	1000
Área externa	4 Lâmpadas	25 cada

### 3.2. SIMULAÇÃO UTILIZANDO O SOFTWARE HOMERPRO

O *software* HomerPro pode ser obtido no site da Homer Energy. Primeiramente recomenda-se que ele seja feito um teste com a versão demo que tem duração de 30 dias e após explorar o *software*, torna-se mais simples a escolha do licenciamento mais

adequado. Neste presente trabalho foi utilizada a versão de teste do programa, com duração de um mês.

Este programa computacional é utilizado para modelagem e avaliações técnicas e financeiras em sistemas de instalação *off-grid* e *on-grid* de energia, sejam eles sistemas integrados, isolados ou em aplicações de geração distribuída. O *software* permite que você considere um grande número de opções tecnológicas de fontes renováveis de energia e outras variáveis do sistema. Homer foi o primeiro programa desenvolvido pelo DOE (Departamento de Energia dos Estados Unidos da América) usado para estudar e entender as compensações entre diferentes configurações das plantas na geração de energia (HOMER ENERGY, 2015).

O *software* HomerPro, tem como objetivo modelar as estações de geração de energia renovável e não renovável. O *software* traz uma variedade de elementos mais detalhados para inserir no sistema e assim auxiliar em resultados mais profundos e exatos.

Os dados do potencial solar e a localização da instalação do seu sistema fotovoltaico são introduzidos no *software* Homer, como dados de entrada para se especificar o recurso. E através da adequação dos parâmetros necessária como, característica da carga da residência, tipos de painéis, modelo de ligação do sistema fotovoltaico e outros equipamentos utilizados para estudo, com essas informações inseridas no *software*, são feitas simulações para possíveis configurações do sistema.

Com o resultado do consumo mensal obtido, foi feita uma pesquisa no mercado nacional, onde foi obtido um orçamento de um sistema que suprisse a demanda energética da residência, que é de aproximadamente 300 kWh/mês, então, para essa demanda foi escolhido um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica de distribuição.

### 3.2.1. Inserindo Informações na Base de Dados do HomerPro

Esta seção tem como objetivo esclarecer como são inseridos os dados no *software* HomerPro, assim como demonstrar através de imagens a interface do programa e como ele funciona.

### 3.2.2. Radiação Solar na Região de Curitiba

Os dados de radiação solar mensal na região de Curitiba que o *software* utilizou para os cálculos da simulação estão representados abaixo e foram retirados da NASA *Surface Meteorology and Solar Energy Database* tendo como período de coleta de julho de 1983 a junho 2005, conforme mostrado na Figura 29 (C). Observa-se na mesma Figura o índice de radiação solar durante o ano em forma de uma tabela mês a mês (A), e a partir destes números obtidos na base de dados, o *software* traça o gráfico do índice de radiação (B).



Figura 29: Média mensal de radiação solar na região de Curitiba.  
Fonte: Adaptado do software Homer Pro (2017).

### 3.2.3. Cálculo da Carga da Residência

Portando a fatura de energia da residência é possível parametrizar o *software* HomerPro, colocando como dados de entrada o consumo mensal de energia em kWh durante doze meses. A Figura 30 mostra a fatura de energia da residência em estudo, os valores de consumo médio/dia (A) e consumo mensal (B) serão inseridos no *software*, como é mostrado na Figura 31.

Informações Técnicas							Mes Referência: 11/2016					
Leitura Anterior	Leitura Atual	Medido	Constante de Multiplicação	Total Faturado	Consumo Médio/Dia	Data Apresentação						
19/10/2016	17/11/2016	29 dias	1,00	278 kWh	9,59 kWh	17/11/2016						
78092	78370	278 kWh										
Proxima Leitura Prevista: 16/12/2016				RESIDE/RESIDENCIAL		A						
							FS [1.7.68.1]					
Indicadores de Qualidade							Tensão Contratada:					
Conjunto SANTA FELICIDADE Mes 09/2016							127 / 220 volts					
Realizado Mensal	DIC	FIC	DMIC	EUSD (R\$)	Limite faixa adequada de Tensão:							
0,00 h	0,00	0,00 h	0,00 h	68,62	117 - 133 / 202 - 231 volts							
Limite Mensal	5,07 h	3,17	2,86 h									
Limite Trimestral	10,15 h	6,36										
Limite Anual	20,30 h	12,70										
MES	10/16	09/16	08/16	07/16	06/16	05/16	04/16	03/16	02/16	01/16	12/15	11/15
CONS	307	361	297	362	295	275	320	277	279	295	293	278
PGTO	09/11	10/10	09/09	09/08	11/07	09/06	09/05	11/04	09/03	10/02	11/01	09/12
B												
NOTA FISCAL CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA no 2733096 Serie B												
Emitida em 17/11/2016												
Produto Descrição	Un.	Consumo	Valor Unitário	Valor Total	Base de Cálculo	Aliq. ICMS						
01 ENERGIA ELÉTRICA CONSUMO	kWh	278	0,635287	176,61	176,61	29,00%						
02 ENERGIA CONS. B. AMARELA	kWh			3,76	3,76	29,00%						
03 CONT. ILLUMIN. PÚBLICA MUNICIPI				15,40								
Base de Cálculo do ICMS:		180,37	Valor ICMS:		52,31	Valor Total da Nota Fiscal:		195,77				
Composição dos valores		Reservado ao Fisco										
Energia	66,82											
Distribuição	36,69											
Transmissão	2,72											
Tributos	60,71											
Encargos	13,43											
TOTAL	180,37											
FF0C.B940.1A7F.E6ED.52DE.2FF9.7893.7605												
INCLUSO NA FATURA PIS R\$ 1,50 E COFINS R\$ 6,90 CONFORME RES. ANEEL 130/2005.												

Figura 30: Fatura de energia.  
Fonte: Fonte própria.

Sabendo-se o perfil dos moradores, os horários que permanecem na residência consumindo energia, o consumo médio/dia e o consumo mensal, é possível dar entrada no programa com estes dados e se obter os gráficos apresentados na Figura 31.



Figura 31: Consumo diário de energia elétrica.  
Fonte: Adaptado do software Homer Pro (2017).

Na letra (A) da Figura 31 observa-se a composição do sistema fotovoltaico de maneira simplificada, no qual os módulos solares são representados pelo modelo Shar250, a carga da residência é simbolizada por uma lâmpada, o inversor está abaixo da carga e a conexão com a rede de distribuição (*grid*) é representada por uma torre. A letra (B) apresenta a estimativa do consumo da residência em cada hora do dia. O gráfico da letra (C) mostra o perfil diário de consumo de energia da residência. A letra (D) faz referência ao valor do consumo médio/dia, o qual também é apresentado na fatura da Figura 32 (A). Na letra (E) observe o gráfico com o perfil sazonal de consumo de energia, já na letra (F) mostra o gráfico do consumo anual de energia.



### 3.2.4. Características da Rede Elétrica no *Software* HomerPro

Em relação às características da rede elétrica, é necessário adicionar como dados de entrada o custo de compra e venda da energia, assim como as emissões de gases de efeito estufa, os quais são gerados na produção de energia. O preço para compra de energia foi obtido através da fatura fornecida pela COPEL, sendo R\$ 0.6356 por kWh, o mesmo valor foi considerado para venda de energia. Na Figura 32 está representado as características da rede elétrica que foram utilizados na simulação do *software* HomerPro.

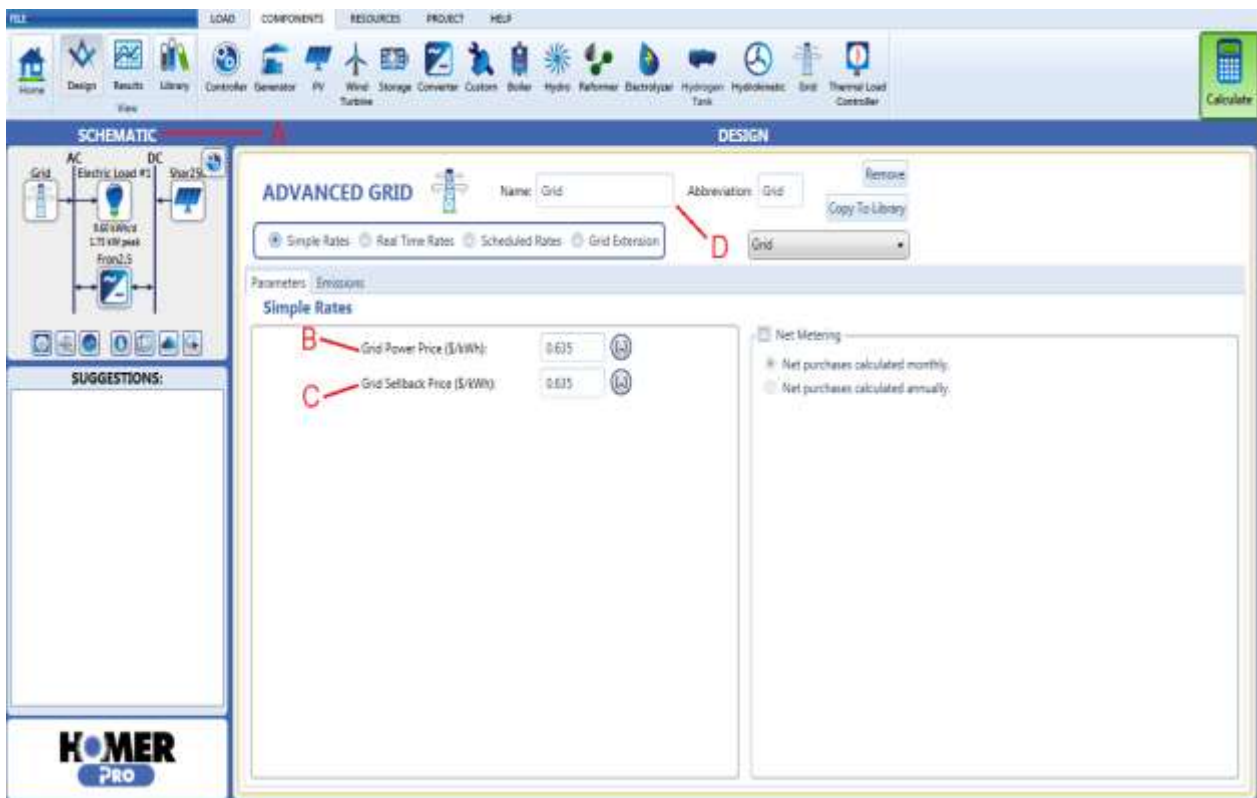


Figura 32: Parâmetros da rede elétrica.  
Fonte: Adaptado do software Homer Pro (2017).

Na Figura 20 (A) é apresentado novamente a composição do sistema fotovoltaico simplificado, anteriormente descrito na Figura 31 (A). A letra (B) representa o valor de compra da energia, enquanto a letra (C) é referente ao valor de venda. No campo apontado pela letra (D) é feita a nomeação da rede, no caso chamada de *Grid*.

### 3.2.5. Características do Inversor no Software HomerPro

O software HomerPro possui uma base de dados com diversos modelos de inversores. Para o projeto do sistema fotovoltaico simulado, observa-se na Figura 33 (B) foi sugerido o modelo Fronius Galvo 2.5-1.

The screenshot displays the 'CONVERTER' configuration window in HomerPro. The 'Name' field (B) is set to 'Fronius Galvo 2.5-1'. The 'Properties' section (C) lists technical data for the Fronius Galvo 2.5-1, including notes about grid-following and PV-dedicated inverters. The 'Costs' table (D, E, F, G) is as follows:

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	OMW (\$/year)
2.5	\$5,000.00	\$5,000.00	\$50.00

The 'Inverter Input' section (H, I) shows a lifetime of 10.00 years and an efficiency of 95.00%. The 'Rectifier Input' section shows a relative capacity of 0.00 and an efficiency of 0.00%. A 'SUGGESTIONS' panel is visible on the left, and a 'Calculate' button is in the top right corner.

Figura 33: Parâmetros do inversor.  
Fonte: Adaptado do software HomerPro (2017).

A Figura 33 mostra as características técnicas do inversor especificado (C), a capacidade de conversão (D), custo de aquisição (E), custo de reposição (F), custo de manutenção e operação (G), tempo de vida útil (H) e máxima eficiência (I).

### 3.2.6. Características no Módulo Solar no *Software HomerPro*

O software HomerPro possui uma base de dados com diversos modelos de módulos solares. Para o projeto do sistema fotovoltaico simulado, foi sugerido o modelo Sharp ND-250QCS, como mostrado no campo da (B) da Figura 34, baseando-se na necessidade de geração fotovoltaica da residência em estudo.

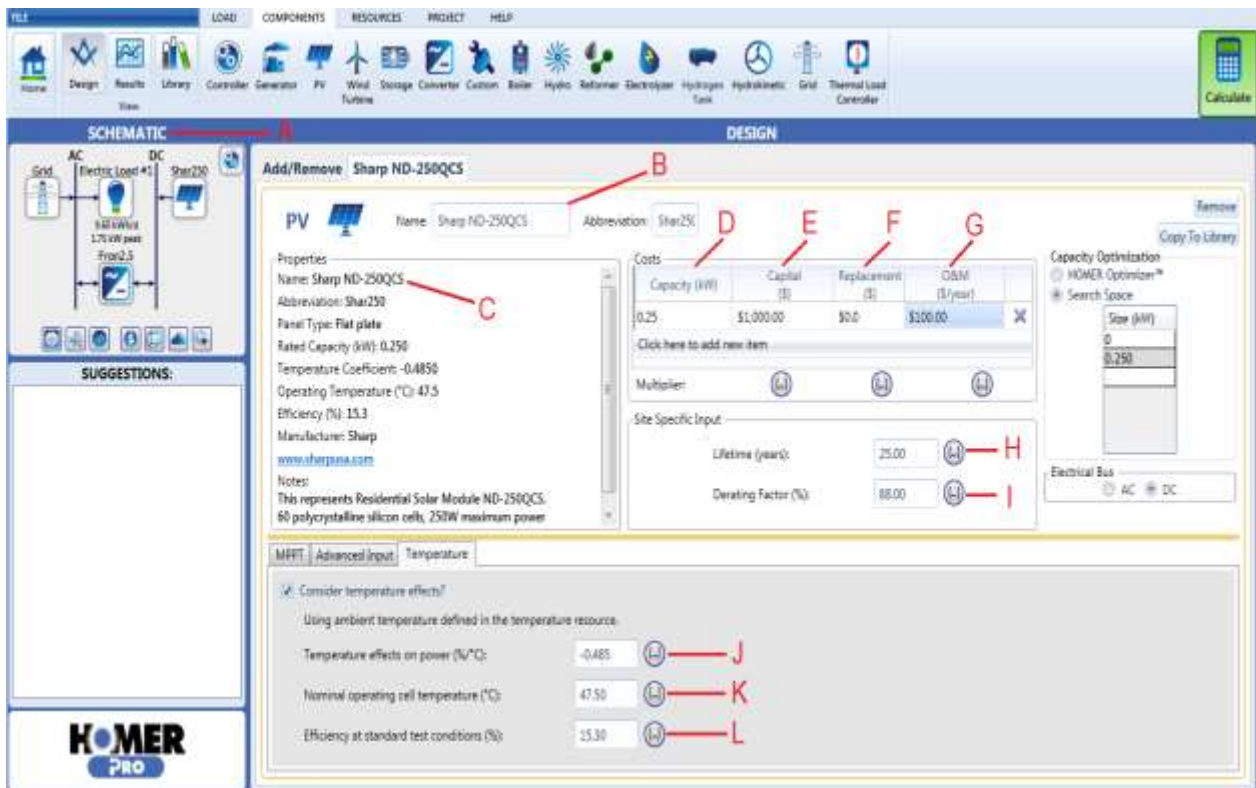


Figura 34: Parâmetros do painel solar.  
Fonte: Adaptado do software Homer Pro (2017).

A Figura 34 mostra as características técnicas do módulo especificado (C), a capacidade de conversão (D), custo de aquisição (E), custo de reposição (F) custo de operação e manutenção (G), tempo de vida útil (H), máxima eficiência (I), perda de eficiência do módulo em relação à temperatura de operação (J), temperatura de operação (K) e eficiência (L).

### 3.2.7. Análise dos Resultados Obtidos com o *Software* HomerPro

Após realizada a descrição do funcionamento do software nas seções anteriores, na atual seção serão apresentados os resultados obtidos através das simulações no programa computacional.

#### 3.2.7.1. Análise da Carga da Residência

Conforme descrito na seção 3.2.3, é necessário colocar os dados de consumo mensais de energia como dados de entrada no *software*, como mostrado anteriormente na Figura 30. A partir daí o programa é capaz de traçar a curva de carga na residência em questão.

Na Figura 35 pode-se observar a representação do consumo energético no período de 24 horas, nesse gráfico é demonstrado a grande variação nos picos de consumo durante as horas, com um consumo mínimo de 0,095 kWh por hora e chegando a um consumo máximo de 1,2 kWh por hora.

Com uma operação básica, somando todos os consumos registrados no gráfico da Figura 35, o valor final é de 9,960 kWh/dia e em seguida multiplica por 30 dias, obtém-se a energia consumida no mês, que é de 298 kWh/mês

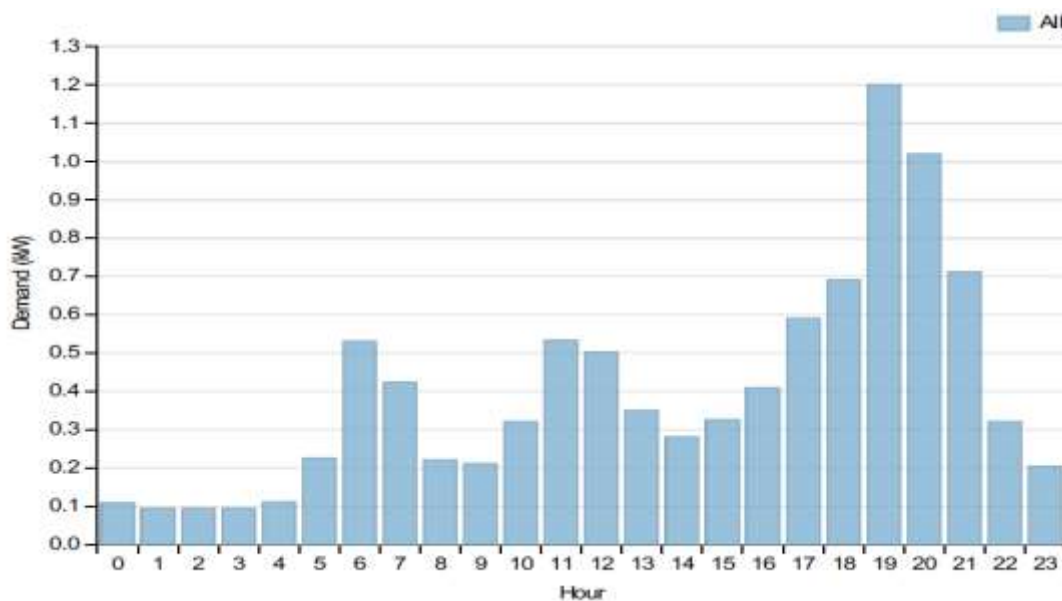


Figura 35: consumo de energia por hora em kW da residência.  
Fonte: Adaptado do *software* HomerPro, 2017.

### 3.2.7.2. Custo de Operação e Instalação pelo *Software* HomerPro

A análise do custo de operação e instalação é extremamente importante para a elaboração do orçamento do sistema fotovoltaico. A Figura 36 mostra o custo inicial para a instalação do sistema fotovoltaico, assim como, o custo de operação e manutenção anual do sistema, fornecendo um valor salvo no final de 25 anos que é o tempo útil de vida das placas solares, mas lembrando que após o tempo de vida útil das placas solares, elas ainda continuam gerando energia com uma redução de 80% de eficiência em relação ao início de operação.

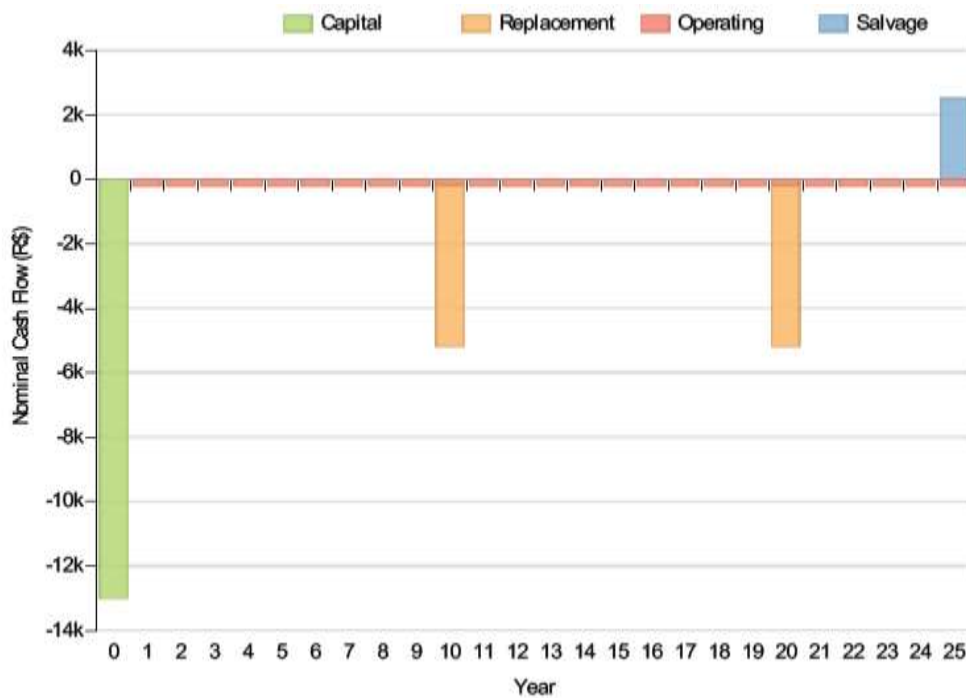


Figura 36: Custo de operação e instalação do sistema fotovoltaico.  
Fonte: Adaptado do software Homer Pro (2017).

### 3.2.7.3. Energia Gerada pelo Sistema Fotovoltaico

A Figura 37 representa a geração mensal de energia fotovoltaica produzida pelos módulos solares (Shar250) e o consumo de energia elétrica da residência sendo atendido pela rede de distribuição no mesmo período (Grid).

Nota-se que a energia fornecida pelas placas é a mesma que a energia consumida pela residência vinda da rede. Como o consumo de energia da residência não se dá no mesmo período de geração de energia pelas placas solares, nesse momento essa energia é consumida da rede. Ou seja, no momento em que se gera a própria energia ela está sendo totalmente injetada na rede, e no horário em que a energia é consumida, não é gerada energia suficiente, então é necessário consumir da rede de distribuição.

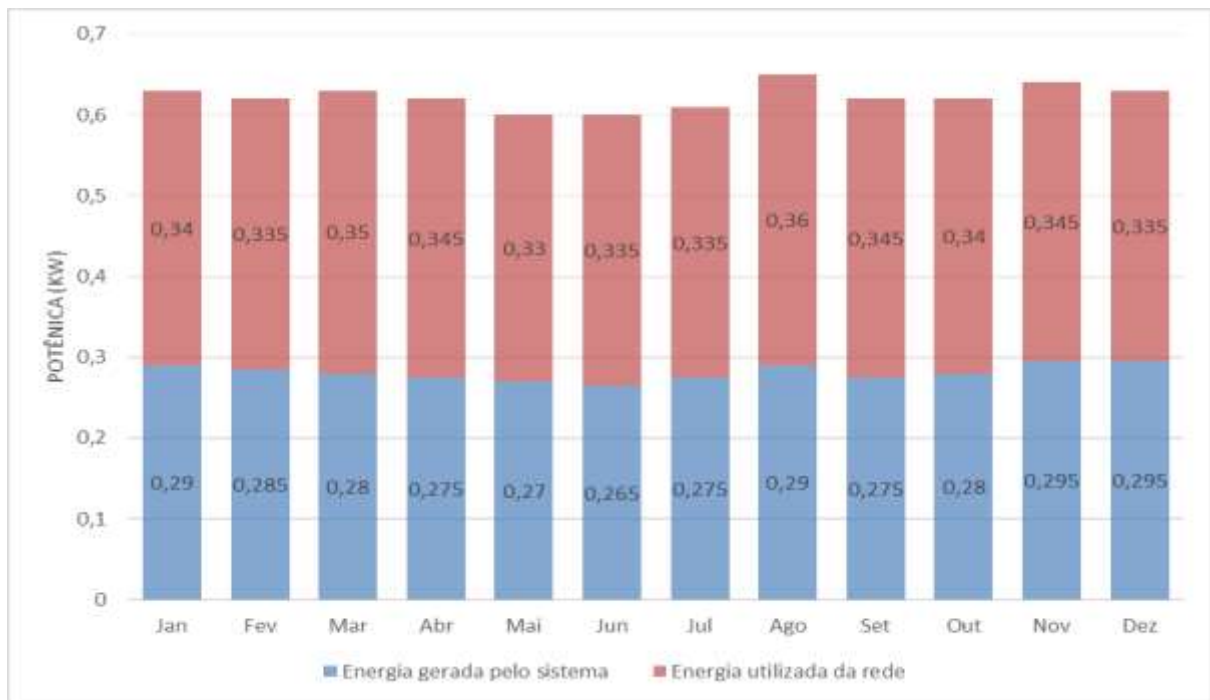


Figura 37: Consumo e Geração de energia no ano.  
Fonte: Adaptado do *software* HomerPro, 2017.

#### 3.2.7.4. Dados de Radiação Solar da Localidade Escolhida Gerados pelo HomerPro

A radiação solar é um ponto importante para avaliar o futuro desempenho do sistema fotovoltaico. Para isso o *software* HomerPro utiliza uma base de dados citada na seção 3.2.2.

Foram verificados os dados da localização geográfica, como o ponto de latitude 25°25'06.55" ao Sul e de Longitude 49°20'03.17" ao Oeste. Com esses dados, o

*software* HOMER calcula através de uma pesquisa via internet quais os índices de radiação da localização geográfica definida pelo usuário do *software*.

Os dados obtidos através do *software* HOMER, mostrados na Figura 29, tiveram como índice de radiação solar máximo, um valor de 5,83 Wh/m<sup>2</sup>/dia, no mês de setembro e um valor mínimo de 5,30 kWh/m<sup>2</sup>/dia, no mês de dezembro, tendo uma média de 4,31 kWh/m<sup>2</sup>/ano, como pode ser visto na Figura 38.

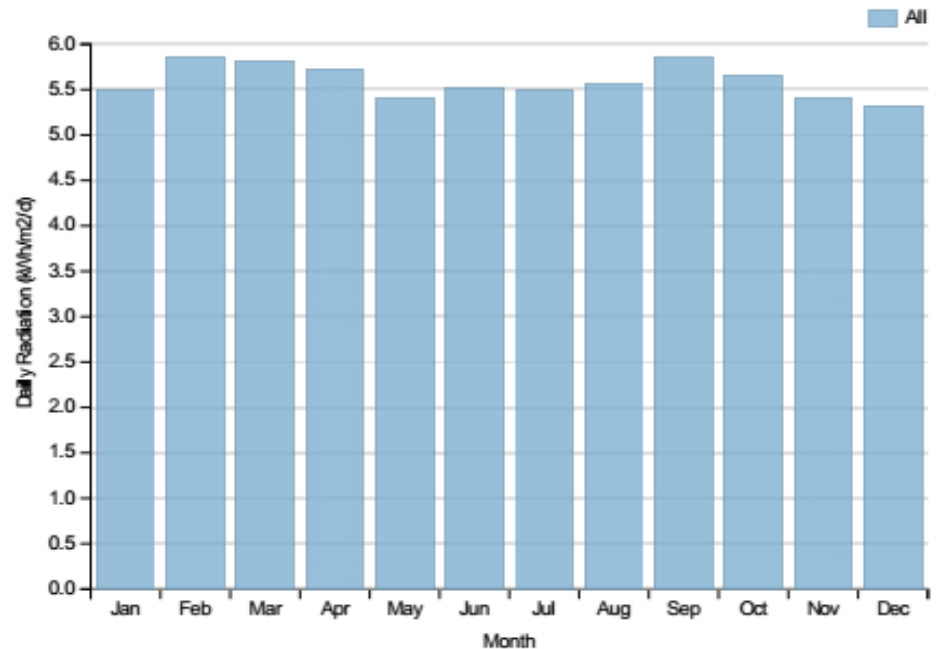


Figura 38: Radiação anual retirada da base de dados do HomerPro.  
Fonte: Adaptado do *software* HomerPro, 2017.

### 3.2.7.5. Energia Gerada pelo Sistema Fotovoltaico

O *software* HomerPro é capaz de traçar o perfil diário da energia gerada pelo sistema fotovoltaico. Isto é possível adicionando-se os valores da energia consumida por mês na residência durante um ano, os quais foram obtidos através da fatura da COPEL, e especificando-se a localidade escolhida. Então os dados são cruzados e geram-se os gráficos apresentados na Figura 39.

A curva traçada mês a mês demonstra uma média do total da energia gerada no eixo das ordenadas, enquanto o eixo das abcissas representa os horários. Ou seja, o *software* HomerPro faz uma simulação da geração de energia durante o mês inteiro, mas tem a opção de traçar o perfil hora a hora da produção de energia, o qual foi

considerado mais interessante para análise. É importante ressaltar que o *software* utilizado no estudo não leva em consideração em suas simulações as possíveis intermitências que podem ocorrer na rede, portanto os gráficos gerados podem ser considerados estáveis, ou seja, sem ocorrência de perturbações.

Começando pelo mês de janeiro, a curva traçada é quase simétrica com um pico de geração perto do meio-dia, alcançando cerca de 100kW. Antes das seis horas da manhã é mínima produção de energia, assim como após as dezoito horas. Este perfil de curva segue durante os meses de fevereiro e março. Existem pequenas diferenças nos horários de pico, assim como algumas quedas na geração, mas numa análise geral as três curvas representam comportamentos semelhantes.

A partir do mês de abril até o mês de agosto é possível notar que a geração de energia é nula antes das seis e depois das dezoito horas. Esta conduta deve-se a chegada do outono e inverno respectivamente. Fazendo com que o sol nasça mais tarde e se ponha mais cedo, diminuído o intervalo de irradiação solar e conseqüentemente de produção energética.

No mês de setembro o sistema fotovoltaico volta a gerar pequena quantidade de energia antes das seis e após as dezoito horas. Este perfil de geração se estende até dezembro. É possível notar que principalmente durante os meses de novembro e dezembro não há um horário de pico de produção bem definido. Este comportamento ocorre, pois a incidência solar nestes meses é maior e com maior constância, portanto não há apenas um horário de pico da produção energética, e sim um intervalo no qual esta produção é maior, geralmente entre as 10 e 16 horas como é observado na Figura 39.

A análise dos gráficos da Figura 39 é de grande importância para que sejam evidenciados os horários de maior geração fotovoltaica, assim como os momentos em que o sistema não suprirá o consumo da residência. Para que a pesquisa se torne mais completa, posteriormente nas Figuras 40 e 41 serão apresentados gráficos complementares à Figura 39, que demonstrarão os horários em que é necessário comprar energia da concessionária, assim como quando é possível injetar a energia excedente gerada pelo sistema fotovoltaico da rede.



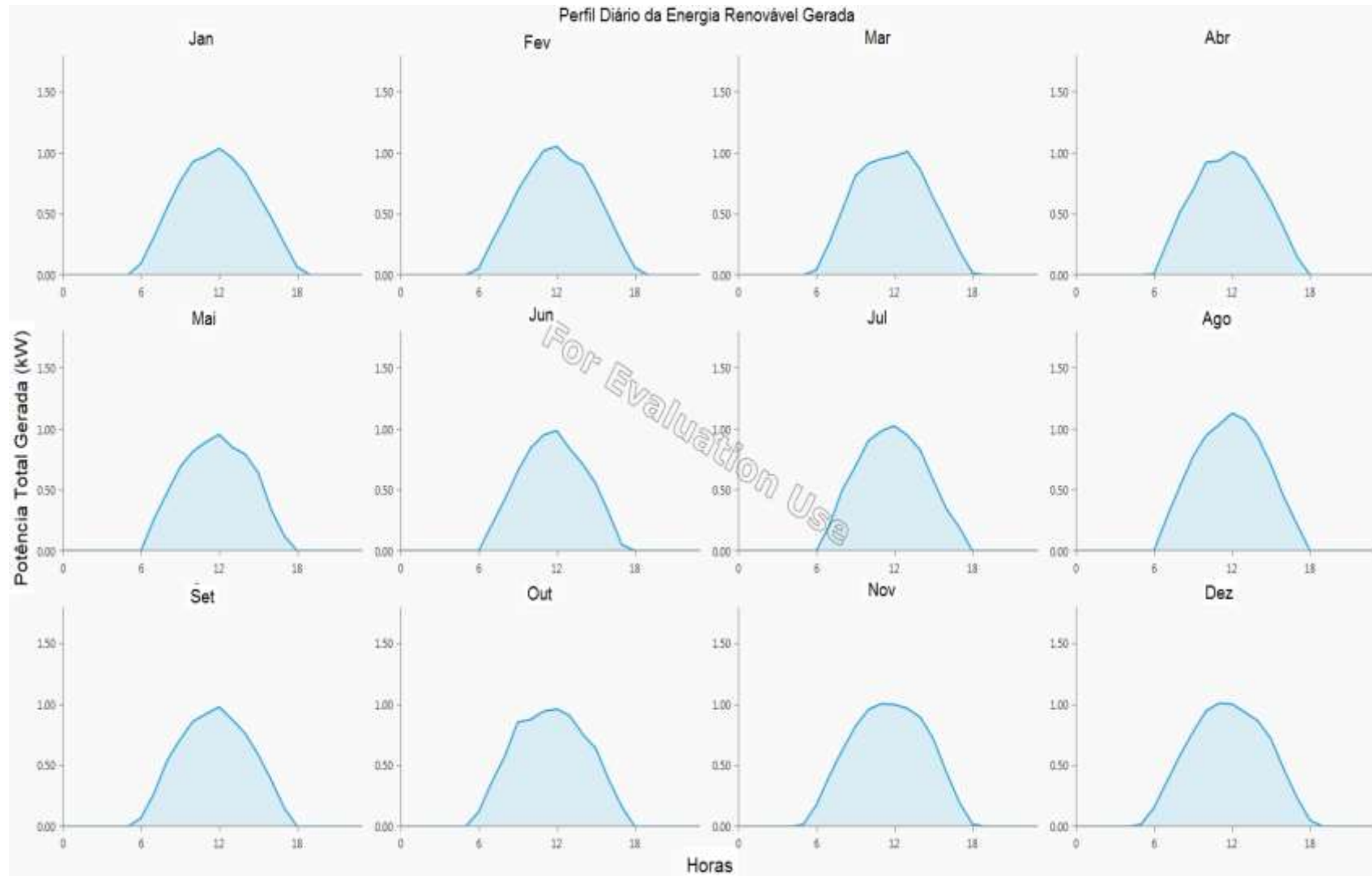


Figura 39: Perfil diário da energia renovável gerada.  
Fonte: Adaptado do software HomerPro, 2017.

#### 3.2.7.6. Energia Consumida da Rede

O sistema fotovoltaico proposto é conectado à rede de distribuição da Copel, portanto se não há microgeração suficiente para suprir as necessidades dos moradores da residência, existe a opção de consumir energia fornecida pela rede. Na Figura 4 são mostrados gráficos de cada mês durante o ano analisado, e cada um representa a quantidade de energia comprada da rede de distribuição em kW no eixo das ordenadas, e no eixo das abcissas encontram-se os horários. Assim como foi apresentado na Figura 38, o *software* HomerPro tem a opção de traçar o perfil das curvas em função dos horários, tornando a análise mais esclarecedora.

Avaliando as curvas de maneira geral, o comportamento demonstrado em cada mês pode ser considerado muito semelhante. Para compreender os picos de compra de energia da rede, faz-se necessário citar a rotina dos quatro moradores da casa. Cerca de seis horas da manhã, três moradores se levantam e por isso há maior demanda de energia, visto que o chuveiro elétrico é ligado, assim como os utensílios da cozinha. Após as oito horas apenas um morador permanece na casa, e este vem a consumir mais energia elétrica perto do meio dia, horário em que prepara sua refeição e geralmente liga a televisão. Perto das dezessete horas, os três moradores retornam à residência, demandando mais energia da rede. O pico de consumo de energia da rede de distribuição Copel ocorre geralmente perto das dezenove horas, como é mostrado na Figura 4.

Outro ponto a ser observado na Figura 40, é que a compra de energia da concessionária perto do meio dia é reduzida de acordo com o crescimento da geração do sistema fotovoltaico. Faz-se uma analogia com a Figura 39, no mês de dezembro, por exemplo, há uma maior produção de energia pelo sistema microgerador, logo a energia comprada da rede é menor.

O sistema fotovoltaico é dimensionado para que possa suprir o consumo da residência, portanto nos horários de pico de geração de energia a residência pode ser considerada autônoma, não depende da rede para obter energia. Os valores de pico de energia consumida da concessionária são análogos e complementares aos picos de geração, eles podem ser observados nas Figuras 39 e 40.

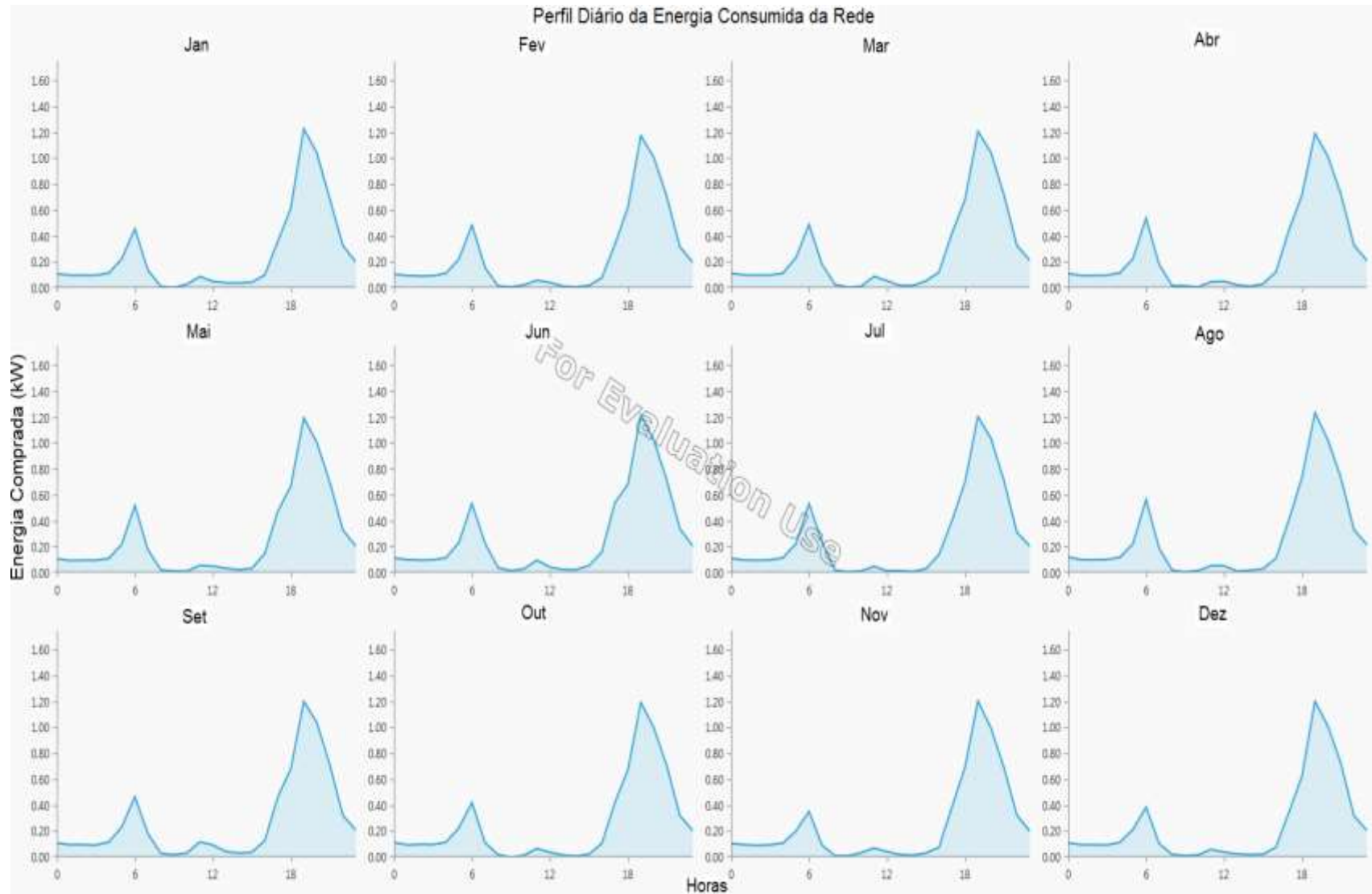


Figura 40: Perfil diário da energia consumida da rede.  
Fonte: Adaptado do software HomerPro, 2017.

### 3.2.7.7. Energia Injetada na Rede

Assim como há a possibilidade de consumir energia da rede de distribuição Copel, a compensação de energia excedente gerada pelo sistema fotovoltaico para a concessionária também, é possível. Ou seja, se a unidade de microgeração gerar mais energia do que ela consome, a Copel utilizará esta energia sobressalente e retornará ao cliente os créditos para desconto em sua fatura. Por isso é imprescindível a instalação de um medidor bidirecional no sistema fotovoltaico, pois ele será responsável por fazer as medições e a partir daí é feita a tomada de decisão para compra/venda de energia entre o microgerador e a rede de distribuição.

Portanto a Figura 41 é complementar a Figura 40, pois quando não há consumo de energia da rede, é porque o sistema fotovoltaico está produzindo energia suficiente para abastecer a residência, ou ele até possui energia excedente para injetar na rede da concessionária.

Analisando-se a Figura 41 de uma maneira geral, os gráficos de cada mês possuem comportamentos semelhantes. No mês de junho, por exemplo, pouca energia é injetada na rede Copel, pois a geração através dos módulos fotovoltaicos não possui excedente nesta época do ano. Perto do meio dia há uma queda ainda mais acentuada na venda, apesar de ser um horário de grande produção energética, há um morador na casa consumindo esta energia, o que justifica o perfil das curvas traçadas.

É importante ressaltar que só é observada injeção de energia para a rede durante o intervalo de maior microgeração, ou seja, entre sete e dezessete horas. Fora destes horários a compra de energia é evidenciada na Figura 40. Nestes mesmos horários em que é comprada energia da concessionária, a injeção de energia torna-se nula, como mostra a Figura 41. Pois além de serem horários de grande consumo energético dos moradores, a incidência solar é muito reduzida e conseqüentemente a produção também sofre redução.

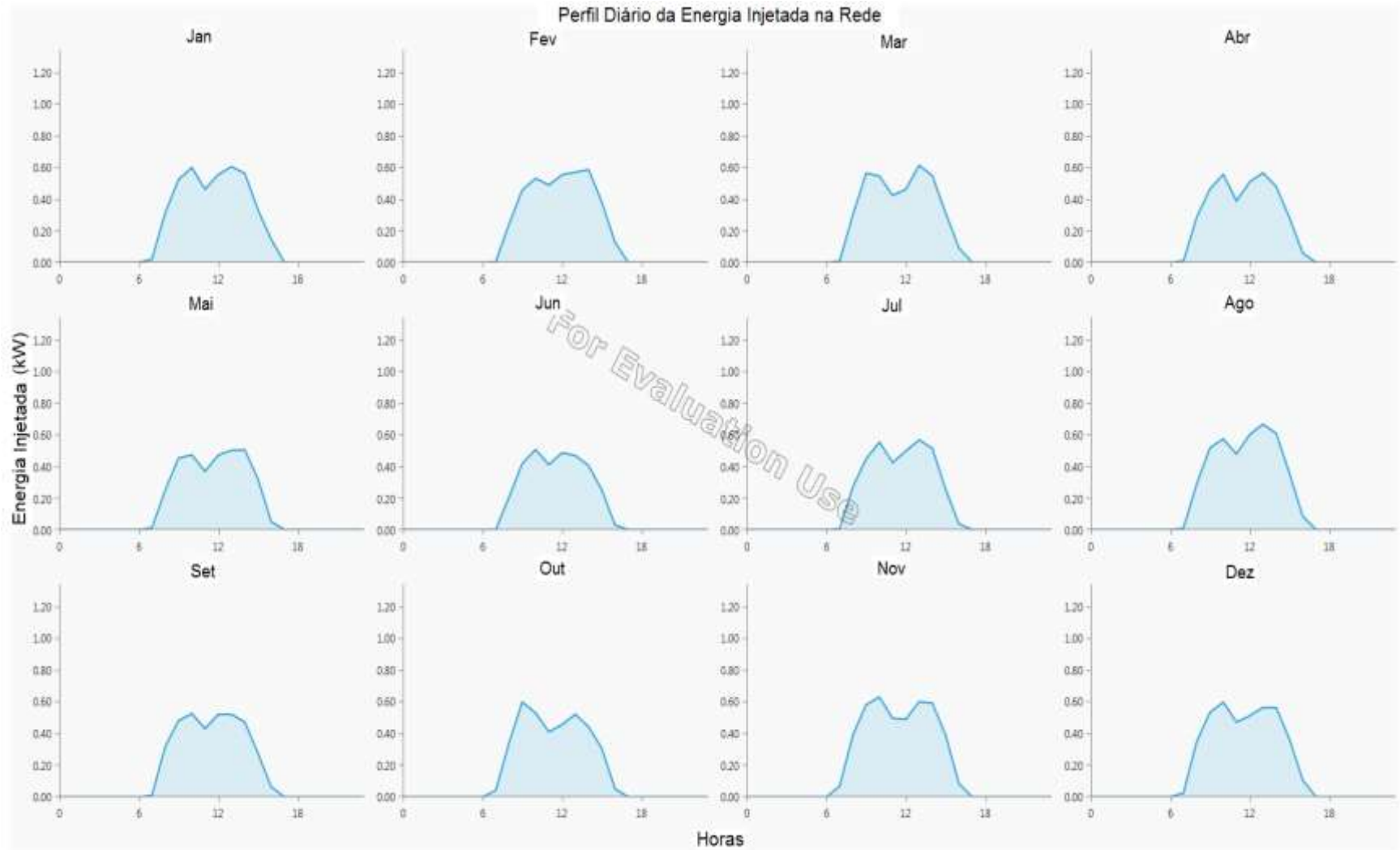


Figura 41: Perfil diário da energia injetada na rede.  
 Fonte: Adaptado do *software* HomerPro, 2017.

### 3.2.7.8. Melhor Caso de Geração Fotovoltaica

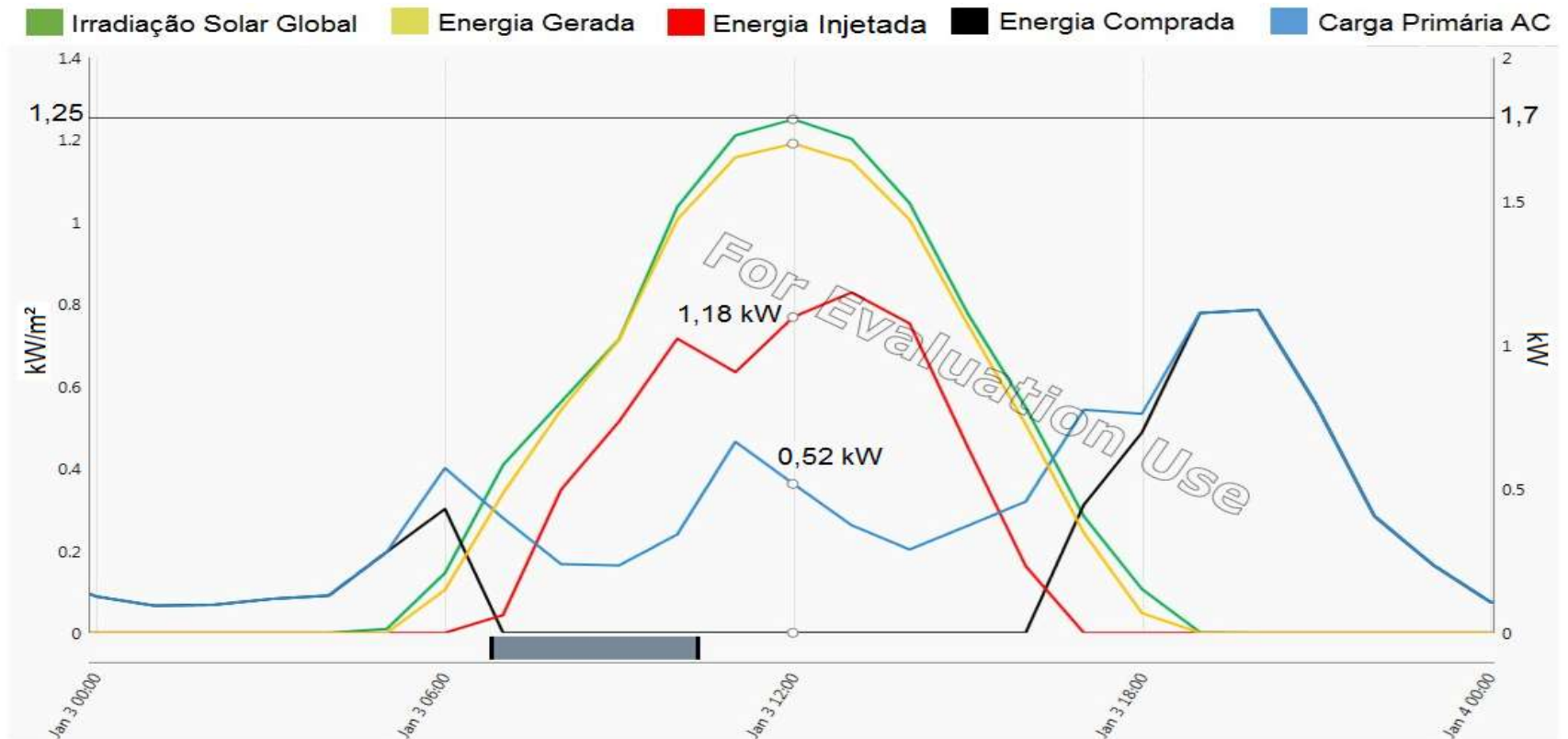


Figura 42: Melhor dia de geração fotovoltaica no ano.  
Fonte: Adaptado do *software* HomerPro, 2017.

Pode-se observar na Figura 42, a qual mostra o melhor dia de radiação solar no mês de janeiro, a incidência solar nos módulos solares foi de 1,25 kW/m<sup>2</sup> no melhor horário, sua geração de energia foi em torno de 1,70 kW, enquanto que o consumo nesse mesmo horário foi de 0,52 kW, ou seja foi injetado na rede 1,18 kW de energia elétrica nesse momento analisado.

### 3.2.7.9. Pior Caso de Geração Fotovoltaica

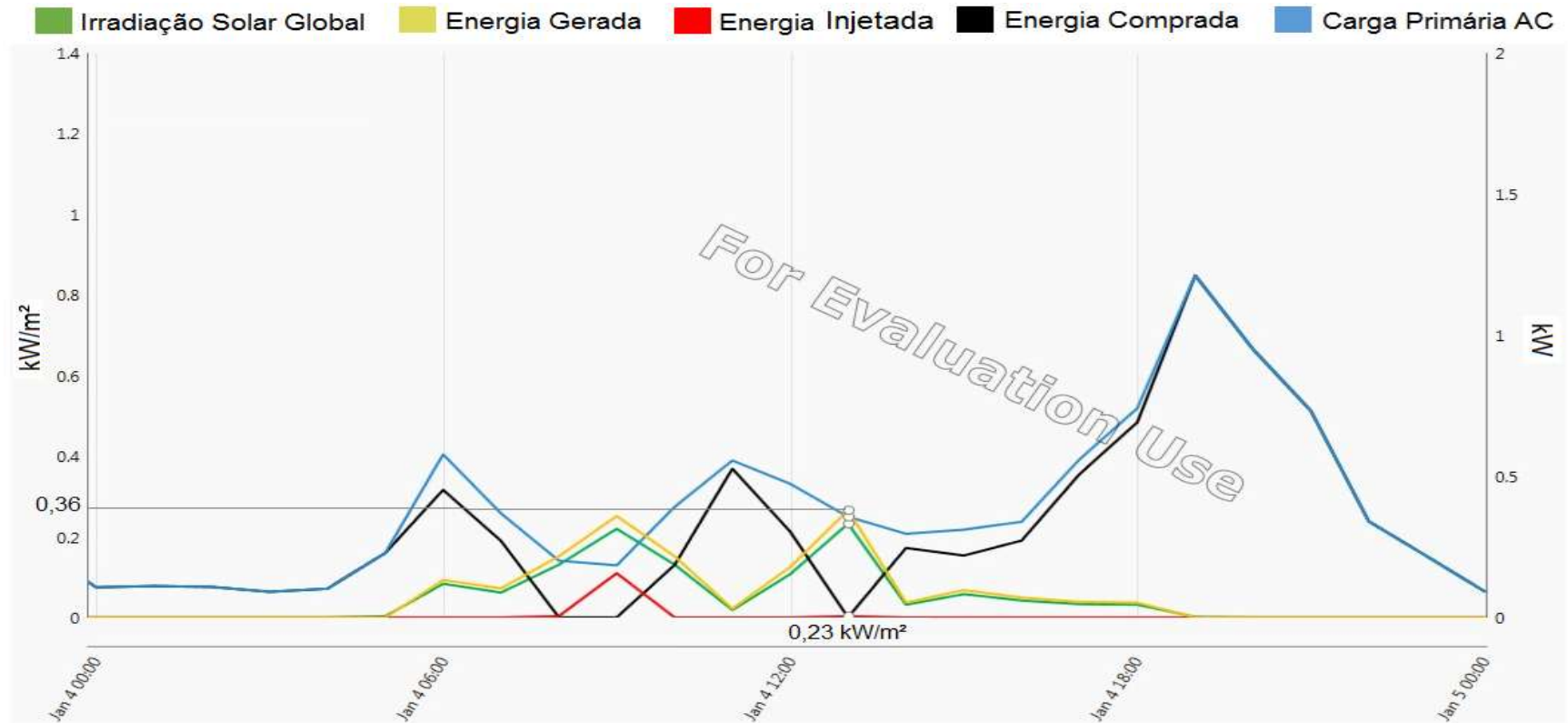


Figura 43: Pior dia de geração fotovoltaica no ano.

Fonte: Adaptado do software HomerPro, 2017.

Ao contrário da Figura 42, a Figura 43 demonstra o pior dia de radiação solar no mês de janeiro, a incidência solar nos módulos solares foi de 0,23 kW/m<sup>2</sup> no melhor horário, sua geração de energia foi em torno de 0,36 kW, enquanto que o consume nesse mesmo horário foi de 0,38 kW, ou seja foi consumido da rede 0,02 kW de energia elétrica nesse momento analisado.

### 3.2.8. Custo de Operação e Instalação Sugeridos pelo *Software* HomerPro

Através da pesquisa de mercado dos equipamentos necessários foi dimensionado um sistema fotovoltaico que suprisse a demanda energética da residência, parcialmente, de forma que a tarifa da energia gerada pelo sistema fosse a mais vantajosa possível. Na Tabela 4 é apresentado o orçamento com suas especificações.

Tabela 4: Especificação e orçamento do painel fotovoltaico.  
Fonte própria, 2017

<b>Especificação e custos de painéis fotovoltaicos</b>	
Quantidade	8
Potência total (KWp)	2
Custo total de aquisição (R\$)	8.000
Custo de reposição (R\$)	-
Custo de manutenção (R\$/ano)	100
Total	10.500

O *software* HomerPro dimensionou um sistema com 8 painéis do modelo Sharp ND-250QCS, como observa-se na Figura 34, a partir daí foi realizada uma pesquisa de mercado e foram encontrados os módulos solares do modelo especificado por mil reais cada, totalizando um custo de aquisição de oito mil reais. Considerando que a vida útil do sistema fotovoltaico é de 25 anos, não foram consideradas reposições dos módulos solares. Com o passar no tempo os painéis precisam ser limpos, esta despesa foi considerada como custo de manutenção. Para obter o total de 10.500 reais, somou-se os oito mil reais do custo de aquisição com o custo de manutenção de cem reais multiplicado por 25, referente a vida útil do sistema.

Na Tabela 5 é especificado o inversor de corrente contínua para corrente alternada com o orçamento. Para o sistema fotovoltaico dimensionado pelo *software* é necessário um inversor de 2,5 kW de potência, mostrado na Figura 33, fazendo-se uma pesquisa de mercado, foi obtido um custo de cinco mil reais pelo equipamento especificado. A realização da reposição do inversor é necessária a cada dez anos, portanto consideram-se três inversores ao longo de 25 anos de operação. O custo de manutenção também é um dos dados de entrada necessários para conclusão do



orçamento. Para obtenção do valor total foi somado o custo de aquisição do inversor, com o custo de reposição multiplicado por dois e com a despesa de manutenção multiplicada por 25, referente aos anos de operação do sistema, obtendo-se assim 16.250 reais.

Tabela 5: Especificação e orçamento do inversor.  
Fonte própria, 2017

<b>Especificação e custo do inversor</b>	
Quantidade	1
Potência (KW)	2,5
Custo de aquisição (R\$)	5.000
Custo de reposição (R\$)	5.000
Custo de manutenção (R\$/ano)	50
Total	16.250

Os custos do sistema fotovoltaico, da tarifa e da manutenção do sistema, de acordo com os parâmetros inseridos no *software* HomerPro, como foi descrito nos procedimentos das seções 3.2.3. a 3.2.6., podem ser vistos na Tabela 6. A Geração média de energia, a energia comprada e vendida para a rede são dados obtidos através da simulação realizada e mostrados também nas Figuras 39, 40 e 41.

Tabela 6: Sumário do sistema de eletrificação.  
Fonte: Adaptado do *software* HomerPro, 2017

<b>Sumário do sistema de eletrificação</b>	
Consumo médio de energia da casa (kWh/ano)	3.639
Geração média de energia fotovoltaica (kWh/ano)	3.627
Energia comprada da rede (kWh/ano)	2.161
Energia vendida para rede (kWh/ano)	2.103

A partir dos custos do sistema fotovoltaico, instalação, manutenção e operação e o valor do kWh da energia elétrica gerada pelo sistema é possível estimar o tempo de retorno simples, do que foi investido no projeto, como observado na Tabela 7.

O custo total (R\$26.750) foi obtido somando-se os valores totais dos módulos fotovoltaicos (R\$10.500) e dos inversores (R\$16.250), discriminados e apresentados

nas Tabelas 4 e 5. Já o custo de operação e manutenção engloba as duas trocas de inversores ( $R\$5.000 \times 2 = R\$10.000$ ), a despesa com manutenção dos módulos fotovoltaicos ( $R\$100$  multiplicados por 25 anos =  $R\$2.500$ ) e o custo de manutenção dos inversores ( $R\$50$  multiplicados por 25 anos =  $R\$1.250$ ), totalizando  $R\$3.750$ .

Tabela 7: Estimativa do tempo de retorno.  
Fonte: Adaptado do *software* HomerPro, 2017

<b>Tempo de retorno do investimento</b>	<b>Custos</b>
Custo do sistema (R\$)	26.750
Custo de operação e manutenção (R\$)	3.750
Custo de energia produzido (R\$/kWh)	0,295
Geração média de energia fotovoltaica (kWh/ano)	3.627
Tempo de retorno – (anos)	8,22

O sistema fotovoltaico, nesse caso, tem um tempo de retorno de aproximadamente 8 anos, conforme estimativa mostrada na Tabela 7. Comparado a vida útil dos painéis fotovoltaicos, que é de 25 anos, mostrado na Figura 34, o usuário teria aproximadamente 12 anos de energia gerada considerada de baixo custo, ou seja, quase gratuita.

### 3.2.9. Análise do Tempo de Retorno do Investimento

Considerando o custo do sistema fotovoltaico durante vinte e cinco anos, ou seja, somando os valores do custo de investimento inicial, custo de reposição dos inversores durante a vida útil, custo de operação e manutenção do sistema, o custo total será de  $R\$26.750$ , como discriminado na tabela 7.

Para calcular a economia que o sistema gerou ao ser instalado, calcula-se o custo evitado, ou seja, a soma das faturas de energia elétrica que se deixarão de pagar ao longo dos anos por ter o sistema fotovoltaico instalado, considerando a perda de eficiência do módulo fotovoltaico de 0,65% ao ano. Os custos da tarifa se baseiam na

tarifa aplicada pela Copel e previsão de reajuste de 8,5% anualmente. A estimativa de economia total é mostrada na Tabela 8.

Tabela 8: Economia anual com a implantação do sistema fotovoltaico.

Fonte: própria, 2017

Ano	Geração FV em kWh/ ano (considerando a perda de eficiência de 0,65% por ano)	Custo tarifa (reajuste anual de 8,5%)	Economia anual (R\$)
2016	3.639	0,55867	2033,00013
2017	3.615,3465	0,60615695	2191,467408
2018	3.591,846748	0,657680291	2362,286813
2019	3.568,499744	0,713583115	2546,421165
2020	3.545,304496	0,77423768	2744,908329
2021	3.522,260016	0,840047883	2958,86707
2022	3.499,365326	0,911451953	3189,503361
2023	3.476,619452	0,988925369	3438,117175
2024	3.454,021425	1,072984026	3706,109813
2025	3.431,570286	1,164187668	3994,991808
2026	3.409,265079	1,263143619	4306,391432
2027	3.387,104856	1,370510827	4642,063878
2028	3.365,088674	1,487004247	5003,901152
2029	3.343,215598	1,613399608	5393,942737
2030	3.321,484697	1,750538575	5814,387089
2031	3.299,895046	1,899334354	6267,604026
2032	3.278,445728	2,060777774	6756,148091
2033	3.257,135831	2,235943885	7282,772944
2034	3.235,964448	2,425999115	7850,446888
2035	3.214,930679	2,63220904	8462,369597
2036	3.194,03363	2,855946808	9121,990151
2037	3.173,272411	3,098702287	9833,026479
2038	3.152,646141	3,362091982	10599,48631
2039	3.132,153941	3,6478698	11425,68977
2040	3.111,79494	3,957938733	12316,29372
2041	3.091,568273	4,294363525	13276,31803
<b>Economia Total</b>			<b>157.518,5054</b>

Para efeito de cálculo do retorno de investimento, deve-se considerar o investimento total da implantação do sistema fotovoltaico mencionado anteriormente e a economia em anos gerada pela geração fotovoltaica. Com essas informações é possível estimar em anos o tempo de retorno do investimento. Para o investimento de instalação do sistema, o tempo de retorno é estimado em pouco mais de oito anos, como é observado na Tabela 8, no ano de 2024.

#### 3.2.10. Análise dos Resultados de Economia Total e Economia Efetiva

A economia total gerada pelo sistema fotovoltaico é estimada em R\$157.518,5054, deduzindo o custo total da implantação do sistema (R\$26.750) da economia total, encontra-se a economia efetiva do sistema fotovoltaico implantado, a qual é estimada em R\$130.768,50.

### 3.3. COMPARAÇÃO ENTRE RENDIMENTO DO DINHEIRO INVESTIDO NA POUPANÇA AO LONGO DOS VINTE E CINCO ANOS E O INVESTIMENTO TOTAL NO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Utilizou-se o valor de investimento inicial de R\$26.750,00, obtido através da simulação com o *software* HomerPro, a fim de analisar as vantagens entre o rendimento da poupança e a lucratividade da instalação do sistema fotovoltaico. Se o valor citado anteriormente fosse aplicado em uma poupança, cuja taxa de correção é de 0,65% ao mês, ao final de 25 anos (trezentos meses) o montante total será de R\$185.628,10. Conforme pode ser visto a evolução do investimento pelo gráfico na Figura 44. O montante acumulado durante os vinte e cinco anos de aplicação na poupança estaria próximo a economia total acumulada durante a vida útil do sistema fotovoltaico.

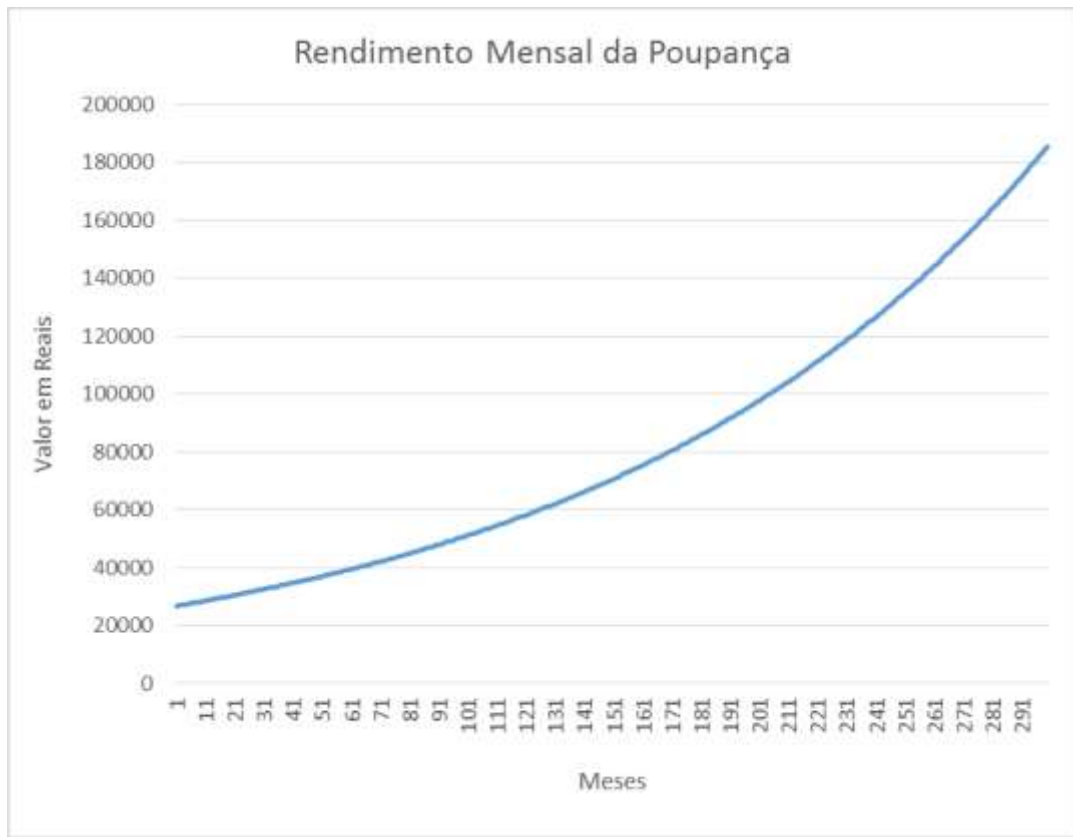


Figura 44: Gráfico do rendimento mensal da poupança.  
Fonte: própria 2017.

Com os números apresentados, evidencia-se o fato de que investir na implantação de um sistema fotovoltaico é uma aplicação cara ao ser comparado com o rendimento da poupança no mesmo tempo de vida útil. Lembrando que os números comparados em questão são a economia total (R\$157.518,5054) e o montante acumulado na poupança (R\$185.628,10) durante 25 anos. Com essa demonstração, é visível a oportunidade de investir com consciência, pensando não somente no retorno financeiro, mas também no conceito de sustentabilidade e poder de gerar sua própria energia.

### 3.4. ORÇAMENTOS REALIZADOS POR EMPRESAS DO RAMO FOTOVOLTAICO PARA A RESIDÊNCIA EM ESTUDO

Com os valores obtidos na fatura de energia da residência, entrou-se em contato com duas empresas do ramo de instalações fotovoltaicas para obtenção de diferentes orçamentos com a finalidade de ter um padrão de comparação entre ambos e o orçamento sugerido pelo *software* HomerPro, a fim de comprovar os estudos e simulações realizados.

#### 3.4.1. Orçamento fornecido pela TECSULsolar

A TECSULsolar é uma empresa de engenharia que surgiu com objetivo de atender a demanda crescente do mercado quanto a necessidade de empresas especializadas no dimensionamento, fornecimento e instalação de sistemas solares fotovoltaicos, para residências, comércios e indústrias (TECSULsolar, 2017). Ela está localizada na cidade de Curitiba no bairro Mossunguê. O contato com a empresa foi realizado por e-mail, no qual a mesma solicitou o envio da fatura de energia para que pudesse dimensionar o sistema fotovoltaico e enviar o orçamento descrito a seguir.

##### 3.4.1.1. Escopo das atividades

- a) Elaboração dos documentos necessários para apresentação junto à concessionária de energia elétrica, contendo memorial descritivo / solicitação de acesso e demais projetos para obtenção do parecer de acesso da concessionária de energia;
- b) Frete dos equipamentos;
- c) Fornecimento e instalação do sistema de monitoramento do sistema fotovoltaico, possibilitando visualização da produção instantânea e histórica através de tablet, celulares e computadores;
- d) Instalação e teste do sistema fotovoltaico;

e) Faturamento direto dos equipamentos e materiais.

#### 3.4.1.2. Características do Sistemas Fotovoltaico Proposto

Com base no consumo e na radiação solar do local, dimensionou-se o sistema fotovoltaico com as seguintes características:

- a) Sistema fotovoltaico: 2,24kWp;
- b) Quantidade de módulos FV: 7 x 320W;
- c) Inversor (W): 1 x 2000W;
- d) Geração FV média mensal (kWh): 250 kWh.

Equipamentos previstos neste orçamento:

- a) 7 Módulos Fotovoltaicos de 320 W;
- b) 1 Inversor para conversão corrente DC/AC – ABB ou similar;
- c) Estrutura de suporte e fixação no telhado;
- d) Cabeamento solar especial com condutores e conectores;
- e) Sistema de proteção elétrica contra surto (*StringBox*);
- f) Sistema de Monitoramento para acesso via internet (PC/Celular).

#### 3.4.1.3. Garantias

- a) Inversor: 5 anos;
- b) Defeitos de fabricação dos módulos FV: 10 anos;
- c) Performance dos módulos FV (80%): 25 anos.

#### 3.4.1.4. Exclusões da Proposta

As seguintes atividades estão excluídas do contrato:

- a) Não está considerada execução de escopo além do especificado anteriormente;

- b) Não está considerado nesta oferta necessidade de adequações em obra civil, infraestrutura mecânica ou infraestrutura elétrica no local da instalação do sistema fotovoltaico;
- c) Não está considerado nesta oferta necessidade de realização de limpeza para início dos trabalhos. O cliente deve deixar a frente de serviço livre, em condições para início dos serviços;
- d) Não está considerado nesta oferta necessidade de adequação no padrão de entrada de energia elétrica do contratante;
- e) Não está considerado nesta oferta necessidade de execução de aterramento adicional ao existente na instalação do contratante. Este item será avaliado quando da visita técnica.

#### 3.4.1.5. Condições Comerciais

O preço total da proposta, para o escopo acima citado, é de:  
R\$ 18.500,00 (Dezoito mil e quinhentos reais)

#### 3.4.1.6. Investimento

- a) Investimento inicial: 18.500,00;
- b) % Reajuste de tarifa considerado: 10%;
- c) Prazo de retorno do investimento: 7 anos;
- d) Lucro acumulado após 25 anos: 144 mil reais.

A Figura 45 mostra o retorno de investimento com a instalação do sistema fotovoltaico proposto. Inicialmente está negativado, representando o preço a ser pago pelo sistema FV. Com o passar dos anos, os valores das faturas começam a ser abatidos do investimento inicial. Lembrando que foram levados em conta para a construção do gráfico os custos anuais acumulados da tarifa de energia.





Figura 45: Gráfico de retorno do investimento.  
 Fonte: orçamento fornecido pela Teculsolar, 2017.

### 3.4.2. Orçamento fornecido pela SolarVolt

A SolarVolt é uma empresa especializada em projetos de sistemas fotovoltaicos, localizada na cidade de Nova Lima em Minas Gerais. O contato foi realizado via e-mail e a fatura de energia da residência foi enviada para que a empresa pudesse fornecer o orçamento que atendesse a casa em estudo.

#### 3.4.2.1. Dimensionamento

- a) O sistema em questão foi dimensionado a partir do histórico de consumo de energia elétrica enviado. A área total a ser utilizada no projeto é de cerca de 16 m<sup>2</sup>. O sistema será instalado no telhado do cliente;
- b) O sistema fotovoltaico será composto por 8 módulos com potência unitária de 0,275 kWp conforme detalhamento desta proposta;
- c) As perdas com inclinação e orientação (desvio do norte verdadeiro) serão posteriormente (após visita) calculadas por um *software* de engenharia

especializado. Todas as demais perdas já foram consideradas no dimensionamento do sistema fotovoltaico;

- d) O sistema deverá gerar em média 240 kWh de energia por mês, cerca de 67% do consumo médio anual.

#### 3.4.2.2. Escopo

##### a) Fornecimento dos equipamentos

O sistema fotovoltaico será constituído pelos seguintes equipamentos:

- 8 módulos fotovoltaicos da marca Canadian (2,2kWp);
- 1 inversor da marca ABB (5kW);
- Cabos.

##### b) Exclusões

- Qualquer item que não esteja claramente descrito na presente proposta;
- Obras civis no padrão de entrada relacionadas à adequação;
- Medidor de energia (fornecido pela concessionária).

##### c) Garantias

###### • Módulos

Os módulos terão até 90% da potência no 12º ano e 80% da potência no 25º ano. Eles estarão livres de defeitos em materiais e de fabricação em condições normais de aplicação, uso e serviço a partir da data de compra pelo consumidor ou a partir de 1 ano da data de despacho da fábrica (a “Data de Início da Garantia”) até 10 anos da “Data de Início de Garantia”.

###### • Inversores

Os inversores monofásicos estão garantidos contra defeitos, inclusive defeitos ocultos, de projeto, material e mão-de-obra, que ocorram no período

de 60 (sessenta) meses a partir da data de aviso de disponibilidade de entrega pela fabricante do inversor.

- Demais equipamentos

As garantias dos demais equipamentos estão asseguradas pelos respectivos fabricantes.

#### 3.4.2.3. Responsabilidades da SolarVolt Energia

- a) Projeto básico do sistema;
- b) Instalação;
- c) Supervisão da construção/ Acompanhamento do comissionamento e startup;
- d) Gerenciamento do projeto e instalação;
- e) Memorial descritivo da instalação com as especificações técnicas dos equipamentos a serem utilizados;
- f) Diagrama Unifilar Básico;
- g) Documentação e registro do projeto junto a concessionária de energia responsável;
- h) ART do projeto.

#### 3.4.2.4. Responsabilidades do Cliente

- a) Fornecer todas as informações necessárias e disponíveis para execução do projeto em meio digital;
- b) Contas de energia, plantas e projeto do local de instalação, levantamento planialtimétrico, etc;
- c) Indicar uma pessoa responsável pelo gerenciamento do projeto que possa tomar todas as decisões relativas ao mesmo;
- d) Efetuar os pagamentos em dia conforme acordado em contrato.

### 3.4.2.5. Condições Comerciais

Abaixo as condições de pagamento do sistema descrito:

Equipamentos - Sistema Fotovoltaico / Instalação / Wi-fi Logger - Monitoramento online da geração de energia = R\$22.500 (vinte e dois mil e quinhentos reais).

### 3.5. COMPARAÇÃO ENTRE OS ORÇAMENTOS FORNECIDOS PELAS EMPRESAS E O ORÇAMENTO OBTIDO ATRAVÉS DO SOFTWARE HOMERPRO

Após apresentação e análise do orçamento sugerido através da simulação no HomerPro, é possível compará-lo às cotações feitas pelas empresas TECSULsolar e SolarVolt e apontar algumas diferenças presentes.

Tabela 9: Comparação entre os orçamentos apresentados.  
Fonte: Própria, 2017.

	<b>TECSULsolar</b>	<b>SolarVolt</b>	<b>HomerPro</b>
<b>Módulos FV</b>	7 x 320 W	8 x 275 W	8 x 250 W
<b>Potência instalada</b>	2,24 kWp	2,2 kWp	2,0 kWp
<b>Inversor</b>	2000 W	5000 W	2500 W
<b>Custo</b>	R\$ 18.500,00	R\$ 22.500,00	R\$ 26.750,00

A Tabela 9 discrimina pontos divergentes de cada orçamento. As potências instaladas possuem pouca divergência, cerca de 0,2kWp, isto deve-se a escolha dos módulos fotovoltaicos a serem instalados. Muitas vezes a escolha dos módulos possui influência dos fornecedores de cada empresa, ou seja, cada uma propõe o dimensionamento que lhe é mais confortável de negociar, para adquirir os

equipamentos e instalá-los. Portanto há divergência no número de módulos solares, assim como suas potências. A SolarVolt e o HomerPro optaram por uma instalação de 8 módulos fotovoltaicos, enquanto a TECSULsolar sugeriu apenas 7, mas com maior potência individual de cada módulo. O inversor é um importante equipamento do sistema e é classificado por sua potência. O custo deste dispositivo é elevado, logo é fundamental para avaliação do orçamento. Acredita-se que o preço final apresentado pela SolarVolt foi mais elevado, justamente pela potência de seu inversor escolhido ser bem mais elevada do que a da TECSULsolar.

O orçamento detalhado pelo *software* HomerPro possui valor bem superior do que os valores sugeridos pelas duas empresas, mas isto é justificável, pois o *software* além de acrescentar o custo de duas trocas de inversor (R\$5.000,00 cada), também adiciona custos como de operação e manutenção anual necessária nos módulos fotovoltaicos e demais equipamentos do sistema.

Interessante ressaltar que o tempo de retorno varia entre sete e oito anos, o que confirma que os sistemas fotovoltaicos são uma ótima opção de investimento, já que com cerca de um terço de sua vida útil (25 anos) ele já passa a ser rentável.

Outro ponto a ser questionado são os possíveis custos adicionais para implantação do sistema fotovoltaico, os quais não são enumerados pelas empresas contatadas, nem na simulação realizada pelo software. Dentre eles podem ser citados o medidor bidirecional exigido pela concessionária de energia, um armário adequado para abrigar os equipamentos necessários, assim como algumas reformas e adaptações do sistema de aterramento da residência, por exemplo. Todas estas adaptações, necessárias para aprovação do projeto, geram custos a serem cobertos pelo acessante. Ou seja, os orçamentos apresentados da Tabela 9 não refletem em sua totalidade valores efetivos para instalação do sistema fotovoltaico, apenas custos considerados iniciais para sua implantação.

#### 4. ANÁLISE E ESTIMATIVA DO POTÊNÇAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO NO ESTADO DO PARANÁ

Após apresentar a viabilidade econômica para instalação de sistemas fotovoltaicos em residências de até 70m<sup>2</sup>, pode-se realizar uma análise mais profunda da implantação destes sistemas, com o objetivo de averiguar o potencial da geração fotovoltaica de maneira estimativa no Estado do Paraná em sua totalidade e buscar alternativas a partir da possibilidade de expandir o mercado fotovoltaico a ponto dele assumir um papel mais importante na matriz energética do Estado.

A Tabela 10 apresenta um comparativo de consumo de energia elétrica no Estado do Paraná entre os anos de 2010 e 2014, discriminando o quanto cada setor consome individualmente. O consumo total de energia no Estado cresceu cerca de 20% de 2010 a 2014. O maior consumidor de energia é o setor industrial, seguido pelo residencial e comercial.

Tabela 10: Consumo de energia elétrica no Estado do Paraná.  
Fonte: EPE, 2015.

	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Consumo (GWh)</b>	<b>25.355</b>	<b>26.554</b>	<b>27.790</b>	<b>29.029</b>	<b>30.387</b>
Residencial	6.019	6.315	6.654	6.986	7.363
Industrial	10.649	11.058	11.356	11.879	12.108
Comercial	4.569	4.912	5.262	5.494	5.953
Rural	1.805	1.898	2.062	2.119	2.290
Poder público	626	646	672	684	711
Iluminação pública	829	858	892	935	981
Serviço público	629	657	690	702	736
Consumo próprio	230	209	203	229	245

De acordo com os dados apresentados no censo demográfico realizado pelo IBGE, o Paraná possui 3.298.304 domicílios permanentes. Em suas pesquisas o instituto Brasileiro de Geografia e Estatística divide estes domicílios por classes de rendimento nominal mensal, dentre elas destaca-se a classe de domicílios que possui renda de dois a cinco salários mínimos por mês, totalizando 1.310.059 domicílios (IBGE, 2010). Esta classe foi escolhida como foco da análise por ser a mais expressiva numericamente, por possivelmente ter características semelhantes à da residência

estudada neste presente trabalho e também por possuir um rendimento favorável para um possível interesse em aderir a implantação de módulos fotovoltaicos.

Se todos os domicílios da classe escolhida para o estudo possuísem seus próprios sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição, e estimando-se uma geração de 250 kWh/mês por domicílio, totalizando cerca de 3MWh/ano por domicílio, o Paraná estaria produzindo cerca de 3.930.177 MWh/ano através de sistemas fotovoltaicos, sendo que o Estado em questão produziu 1.002.674.506 MWh no ano de 2015 (ONS, 2015). Se for levado em conta que a cidade de Curitiba consome cerca de 4.951.764 MWh/ano (IPARDES II, 2012), esta geração fotovoltaica estimada seria capaz de abastecer quase 80% da capital paranaense. Conforme a Tabela 10, o consumo de energia elétrica em residências paranaenses em 2014 foi de 7.363 GWh, portanto se os domicílios da classe escolhida aderissem à geração fotovoltaica, este modelo de microgeração seria capaz de abastecer mais de 53% das residências do estado.

A Figura 46 mostra o consumo de energia elétrica em Curitiba dividida pelos diferentes consumidores.

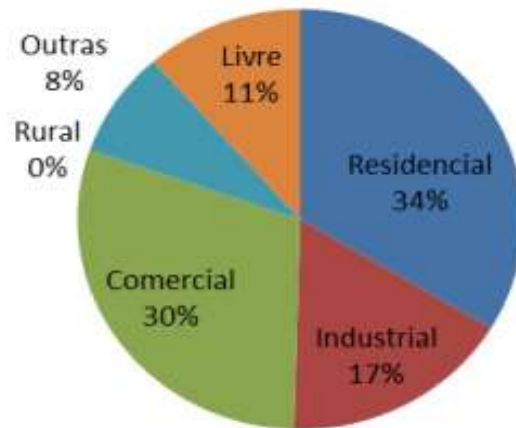


Figura 46: Consumo de energia elétrica por setores em Curitiba.  
Fonte: IPARDES II, 2012

O consumo residencial, industrial e comercial somados representam 81% do total da energia elétrica consumida na cidade. Portanto se os domicílios da classe em estudo aderissem à geração fotovoltaica, eles praticamente teriam capacidade de suprir a necessidade energética desses três setores em Curitiba.

Estes números apresentados são apenas estimativas, eles não representam exatamente o potencial de geração fotovoltaica do Paraná, mas servem de base para uma análise do quão representativa pode se tornar a geração fotovoltaica para o Estado. Ela ainda é considerada uma fonte de energia cara, devido ao preço do investimento inicial, mas como demonstrado nas seções anteriores, a médio e longo prazo ela traz um retorno muito satisfatório. A geração fotovoltaica ainda não é muito difundida no mercado, portanto em grande parte das vezes a população possui o conceito de microgeração apenas como uma utopia ou que só pessoas com grande poder aquisitivo podem desfrutar. Mas segundo as pesquisas e averiguações realizadas e apresentadas no presente trabalho, deixa-se claro que a energia solar pode fazer parte da matriz energética não só do Estado do Paraná, mas também do Brasil.

Sabe-se que em um país em desenvolvimento, como o Brasil, existem áreas a serem priorizadas, como a saúde pública, educação, saneamento básico e etc. Mas em relação à microgeração seria interessante a criação de programas de iniciativa governamental, ou até mesmo privada, para que os cidadãos possam conhecer o funcionamento dos sistemas de geração fotovoltaica conectados à rede, as vantagens que eles proporcionam, assim como as dificuldades que possam existir. E além de transmitir o conhecimento, seria de grande importância a existência de programas de financiamento para a população interessada em ter suas centrais de microgeração. Hoje a Caixa Econômica Federal, o BNDES e o Santander, por exemplo, possuem programas de empréstimo e parcelamento para projetos fotovoltaicos. A exemplo de São Paulo, onde foi criada a “Linha de Financiamento Economia Verde”, que tem como objetivo reduzir 20% das emissões de CO<sub>2</sub> do Estado até 2020, e financia inclusive os projetos de geração solar, a criação de um programa de nível federal com o intuito de introduzir a energia fotovoltaica não só em residências, mas também em empresas, traria prosperidade para o país. Outra alternativa seria aumentar o incentivo para produção nacional de módulos fotovoltaicos, por exemplo, que hoje em sua maioria são importados, o que encarece o investimento total neste tipo de sistema.

A energia fotovoltaica não é a única solução para diversificação da matriz energética brasileira. O incentivo à criação de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) também é de grande importância. Ao contrário de uma usina hidrelétrica de grande



porte, as PCHs não necessitam de grandes reservatórios para armazenagem de volumes de água, mas operam a fio d'água, ou seja, permitem a passagem contínua da água com uma capacidade nominal mais estável. As PCHs aproveitam a força da gravidade, ou seja, do desnível dos níveis de água aproveitando ao máximo a vazão natural e histórica dos rios sem precisar estocar água e requerem somente uma pequena área inundável, muitas vezes equivalente ao nível das cheias do rio. Com o atual cenário de ampliação do consumo de energia elétrica aliada a uma grande estiagem em várias regiões do país, as PCHs se tornaram uma alternativa à geração de energia.

Abrindo-se um parêntese na presente análise, a fim de enriquecê-la, é interessante citar a Alemanha, que é um grande ícone quando se trate de energia renovável. Após o desastre de Fukushima, o país decidiu abandonar a energia nuclear e fechou imediatamente oito usinas — outras nove terão as atividades encerradas até 2022. Todas estas usinas nucleares serão substituídas por usinas de energia renovável, que utilizarão fontes como biomassa, vento e luz solar. Há mais de 10 anos, a Alemanha lançou um audacioso plano de apoio à expansão da produção e integração das energias renováveis em sua matriz energética, no qual a eletricidade de origem solar fotovoltaica recebeu atenção especial. Em realidade, a Alemanha não esperava que fosse haver uma adesão tão expressiva da população. O país ultrapassou constantemente suas metas de expansão da capacidade instalada de geração solar fotovoltaica. Diante das altas tarifas remunerando essa fonte de geração, e face a uma redução radical dos custos dos sistemas fotovoltaicos, milhares de cidadãos resolveram se tornar produtores de eletricidade e assim aumentar sua renda. Atualmente o parlamento Alemão discute a adoção de medidas mais radicais para frear a expansão da geração de eletricidade de origem solar fotovoltaica. Outra questão a ser levada em consideração em relação à Alemanha, é a dependência da importação do gás natural da Rússia, o que pode ser considerado um problema de segurança nacional. Ser dependente de um país instável politicamente é um risco que os países da Europa não podem correr. Portanto, a Alemanha possui boa parte de sua matriz energética baseada em energias renováveis, enquanto a França possui suas usinas nucleares, por exemplo, a fim de possuírem estabilidade e independência energética.

Voltando o foco para o Estado do Paraná, se os domicílios citados anteriormente realmente aderissem à geração fotovoltaica, o panorama energético e econômico do Estado seria alterado. Com a microgeração em residências, a demanda por energia gerada por outras fontes, as quais a COPEL possui o controle, aos poucos se tornaria menor, ao passo a energia injetada na rede por essas centrais de geração iria aumentar. Seria providencial a redução da importação de energia de outros países como o Paraguai, por exemplo. Tudo isso contribuiria para a redução do custo da energia fornecida pela concessionária, o que causaria uma reação em cadeia para a economia do Estado.

Possuir energia mais barata é atrativo para grandes empresas, logo o parque industrial do Paraná poderia crescer, e como consequência a arrecadação de impostos aumentaria, o que deveria implicar num retorno para a população através de melhoria nos serviços prestados pelo governo. Outra vantagem acarretada pela atração de indústrias para o Estado, seria a maior oferta de emprego. Quando o cidadão passa a ganhar um melhor salário, ele busca prover melhores condições de vida para sua família, isso implica em aquisição de bens materiais que antes não poderiam ser comprados, logo o consumo de energia elétrica nas residências aumentaria e assim seguiria o ciclo de investimento na geração e consumo de energia.

Como o estudo de caso se concentrou na cidade de Curitiba, as análises e estimativas foram realizadas no Estado do Paraná. Numericamente os resultados calculados provam que a energia fotovoltaica pode ser uma das alternativas para a descentralização da geração de energia, colaborando para a diversificação da matriz energética do Estado.

#### 4.1. IMPACTOS DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Embora a geração distribuída beneficie em muitos aspectos a rede elétrica, é necessário ter em atenção alguns aspectos intrínsecos à sua utilização. Questões quanto ao controle, nível de penetração das instalações de geração fotovoltaica, os tipos de tecnologias utilizadas, a própria configuração da rede de distribuição, as proteções da rede, capacidade de a rede elétrica operar com fluxos de potência bidirecionais, entre outros aspectos, podem interferir na integração de unidades geradoras. Algumas das limitações encontradas apresentam-se descritas a seguir:

- a) Fluxo de potência inverso: a rede elétrica tradicional foi projetada para operar com um fluxo de potência unidirecional. Assim, a conexão de geração fotovoltaica à rede elétrica pode provocar o mau funcionamento dos circuitos de proteção, uma vez que não estão preparados para esta situação.
- b) Frequência do sistema: os desequilíbrios entre a energia que é requerida e a que é produzida têm como efeito desvios na frequência nominal da rede. Embora a implementação de pequenas unidades de geração auxiliem a evitar estes desequilíbrios, um mais exigente e complexo controle dos sistemas também é necessário.
- c) Níveis de tensão: a instalação de unidades de geração distribuída altera o perfil de tensão da rede de distribuição, provocadas por variações no fluxo de potência. Usualmente a tensão tende a aumentar ligeiramente, o que pode até ajudar em redes congestionadas com problemas de baixa tensão, porém a situação contrária afeta drasticamente os consumidores.
- d) Sistemas de proteção: grande parte da rede de distribuição está configurada segundo a forma radial e com proteções adequadas somente a fluxos de potência unidirecionais. A introdução de unidades de pequena geração provoca alterações no fluxo de potência (bidirecional), implicando isto novo equipamento

de segurança e proteção e um redimensionamento da rede elétrica (terra, curto-circuito, capacidade corte).

- e) Conversores de energia: o uso de inversores em algumas unidades pode levar à injeção de harmônicos indesejados na rede.
- f) Qualidade da energia: o pouco desenvolvimento de algumas tecnologias pode resultar em problemas na qualidade da energia e na estabilidade do sistema. A errada localização de unidades de geração pode inclusive levar ao aumento das falhas de corrente. Um dos problemas que tem requerido mais atenção tem sido as sobretensões, resultado da instalação de unidades de geração distribuída na rede elétrica, podendo estas danificar gravemente todo o sistema.

## 5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A partir das pesquisas bibliográficas realizadas, pode-se afirmar que a energia fotovoltaica vem sendo foco de estudos e tem ganhado espaço no mercado energético nacional, visto que seu potencial de geração é significativo. Além de ser uma fonte de energia renovável e totalmente limpa, a utilização de painéis fotovoltaicos pode se tornar uma aliada interessante da população que busca uma maneira de gerar sua própria energia. Sabendo que o potencial hidrelétrico do Brasil já foi explorado como um todo, é importante o surgimento de fontes alternativas de geração energética como forma de complementar a matriz energética do país.

Outro ponto a ser considerado é a autonomia deste sistema de geração, sendo conectado à rede distribuição ele passa a avaliar a necessidade da utilização ou não da energia fornecida pelas concessionárias, assim como a venda da energia microgerada para as mesmas. Esta possibilidade bidirecional é um grande atrativo para a população interessada em produzir sua própria energia.

Analisando-se o investimento necessário para implantação do sistema de geração fotovoltaica em residências de até 70m<sup>2</sup> e com perfis de consumo semelhantes com a residência estudada no presente trabalho, conclui-se que é uma fonte energética totalmente viável. Posto que a vida útil dos módulos solares é de 25 anos em média, possuir um retorno financeiro em cerca de 7 ou 8 anos é a prova de que o sistema é rentável para as pessoas que o possuem em suas residências.

Como forma de dar continuidade ao estudo realizado, sugere-se que a implantação de coletores solares possa ser avaliada, de forma que o sistema de geração passa a ser híbrido, combinando os módulos fotovoltaicos com os coletores solares. Assim futuramente poderá ser considerada e comparada a viabilidade econômica de ambos os sistemas em residências de mesmo padrão do atual trabalho.

Outra sugestão de trabalho futuro, é coletar dados precisos com a Companhia Paranaense de Energia, tais como: quantas residências (de padrão semelhante da estudada neste trabalho) possuem sistemas fotovoltaicos conectados à rede atualmente e o quanta energia elétrica elas geram em sua totalidade. A fim de realizar um estudo de como poderia ser aplicada esta energia excedente produzida pelos microgeradores, ou para onde a concessionária poderia despachá-la, por exemplo.

## REFERÊNCIAS

- ABEPRO – **Matrizes Energéticas No Brasil: Cenário 2010-2030**. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008\\_TN\\_STO\\_077\\_541\\_11890.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_077_541_11890.pdf)>. Acesso em: Outubro de 2015.
- ANEEL – **Cadernos Temáticos de Energia: Micro e Minigeração Distribuída, Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. Brasília – DF. 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/caderno-tematico-microeminigeracao.pdf/>>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2016.
- BEN 2015 – **Relatório Final do Balanço Energético Nacional de 2015**. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2015.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf)>. Acesso em: setembro de 2015.
- BLUE SOL EDUCACIONAL – **Energia solar, como funciona?** Publicado em janeiro de 2012. Disponível em: <<http://www.blue-sol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-tipos-de-celulas-fotovoltaicas/>>. Acesso em 17 de fevereiro de 2016.
- BRAGA, Renata P – **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamento e Aplicações**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ. 2008.
- BURATTINI, Maria de Paula T. de Castro – **Energia: Uma abordagem Multidisciplinar**. Editora Livraria da Física, 2008.
- C3N ENERGIA – **Energia Solar**, 2007. Disponível em: <[http://www.c3nenergia.com.br/?page\\_id=85](http://www.c3nenergia.com.br/?page_id=85)>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2016.
- CABRAL, de Souza Isabelle – **Energia Solar: Estudo Comparativo entre Brasil e Alemanha**. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental, Faculdade de Educação e Tecnológica do Estado do Rio de Janeiro, Paracambi, 2012.
- CABRAL II, Cláudia. V. T.; NETO, Lauro V. B. M.; FILHO, Delly O.; DINIZ, Antônia S. A.C. – **Modelagem e simulação de gerador fotovoltaico**. CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUIDA E ENERGIA NO MEIO RURAL 5, 2004, Campinas.
- COPEL (Companhia Paranaense de Energia Elétrica) – **Geração Distribuída**, 2016. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FA3C753509472FD030325781000637369>>.

Acesso em: 17 de fevereiro de 2016.

COPEL II (Companhia Paranaense de Energia) – **Normas Técnicas Copel – NTC 905200, 2014**. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/ntcarquivos.nsf/DEE0C6F8CB4D20F403257C9B005C6712/\\$FILE/905200.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/ntcarquivos.nsf/DEE0C6F8CB4D20F403257C9B005C6712/$FILE/905200.pdf)>. Acesso em: 29 de maio de 2016.

CRESESB, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito – **Energia Solar Princípios e Aplicações**, 2006. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_solar\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf)>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2016.

ECKERT, Vera – **German solar power output up 60 pct in 2011**. Disponível em: <<http://www.reuters.com/article/germany-solar-idAFL6E7NT1WK20111229>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2016.

Empresa de pesquisa energética (EPE) – **Anuário Estatístico de Energia Elétrica, 2015**. Disponível em: <[www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202015.xls](http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202015.xls)>. Acesso em: 11 de abril de 2017.

FFSOLAR – **Sistemas autônomos**, 2016. Disponível em: <<http://www.ffiolar.com/index.php?lang=PT&page=sistemas-autonomos>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2016.

GAS RESEARCH INSTITUTE – **The Role of Distributed Generation in Competitive Energy Markets**, Distributed Generation Forum, 1999.

GEPEA (Grupo de energia Universidade Politécnica de São Paulo) – **Energia solar fotovoltaica: Fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica**, 2012. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/alvferreira/apostila-energia-solar-fotovoltaica-fundamentos-converso-e-viabilidade-tnicoeconmica>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2016.

GOOGLE MAPS – **Rua Doutor Leão Mocellin, 485 – Santa Felicidade, Curitiba-PR**, 2017. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Rua+Dr.+Le%C3%A3o+Mocellin,+485+-+Santa+Felicidade,+Curitiba+-+PR/@-25.3993413,-49.3218157,105m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x94dce1089a974a1d:0xbcf80455ca4a73d5!8m2!3d-25.3992051!4d-49.3217695>>. Acesso em 11 de janeiro de 2017.

HOMER ENERGY – **Software HomerPro**. Disponível em: <[http://www.homerenergy.com/HOMER\\_pro.html](http://www.homerenergy.com/HOMER_pro.html)>. Acesso em: outubro de 2015.

HOMER PRO – **Standard License**. Disponível em: <<http://homerenergy.com/pro-pricing.html>>. Acesso em: outubro de 2015.

HSW (How stuff Works) – **Como funcionam as células solares de película fina, 2006**. Disponível em: <<http://ambiente.hsw.uol.com.br/pelicula-de-celula-solar.htm>>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2016.

IBGE – **Censo Demográfico 2010: Rendimento – Amostra (Paraná)**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=pr&tema=censodemog2010\\_rend](http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=pr&tema=censodemog2010_rend)>. Acesso em: 10 de abril de 2017.

IPARDES (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social) – **Paraná em números, 2015**. Disponível em: <[http://www.ipardes.gov.br/index.php?pg\\_conteudo=1&cod\\_conteudo=1](http://www.ipardes.gov.br/index.php?pg_conteudo=1&cod_conteudo=1)>. Acesso em: 29 de maio de 2016.

IPARDES II - **Anuário Estatístico do Estado do Paraná - Infraestrutura: energia, 2012**. Disponível em: <[http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario\\_2012/index.html](http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2012/index.html)>. Acesso em: 11 de abril de 2017.

JANNUZZI, G. de M. – **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação**. Artigo publicado em 2012. International Energy Initiative. Outubro, 2009. Disponível em: <[www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/RELATORIO\\_PROJETO\\_2\\_FINAL.pdf](http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/RELATORIO_PROJETO_2_FINAL.pdf)>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2016.

JOHN, Perlin – **From Space to Earth: The Story of Solar Electricity**. Harvard University Press, 2002. ISBN 978-0-937948-14-9.

KRENZINGER, A.; BLAUTH, Y. B.; WISBECK, J. O. – **Seguidor Dinâmico de Máxima Potência para Painéis Solares**. Apresentado no XIV Congresso Brasileiro de Automática, pp. 985-990, 2002.

LEOTE, Dias Ricardo – **Eletrificação de Serviços Primários em Povoados Remotos Africanos Recorrendo a Sistemas Solares Fotovoltaicos, 2013**. Trabalho de mestrado em engenharia eletrotécnica e de computadores da Universidade Nova de Lisboa. Disponível em <[http://run.unl.pt/bitstream/10362/2228/1/Leote\\_2009.pdf](http://run.unl.pt/bitstream/10362/2228/1/Leote_2009.pdf)>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2016.



MARTIN, J. **Monocrystalline vs Polycrystalline Solar Panels: Busting Myths**. Solar Choice, 2012. Disponível em: <<http://www.solarchoice.net.au/blog/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels-busting-myths/>>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2016.

NASCIMENTO, A. Cássio – **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. Monografia apresentada a Universidade Federal de Lavras para obtenção do título de especialização no ano de 2004. Disponível em: <[www.solenerg.com.br/files/monografia\\_cassio.pdf](http://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf)>. Acesso em: 19 de maio de 2016.

NEVES, André A. – **Estudo da viabilidade econômica da instalação de coletores solares fotovoltaicos em edifícios residenciais**. Monografia de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Coimbra – Portugal. 2011.

NEW SCIENTIST – **The multinational connections-who does what where**, 18 de outubro de 1979, pg. 177. Disponível em <[https://books.google.ca/books?id=x3w5ZfGUS\\_0C&pg=PA177](https://books.google.ca/books?id=x3w5ZfGUS_0C&pg=PA177)>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2016.

ONS – **Boletim mensal de geração por estado**. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/resultados\\_operacao/boletim\\_mensal\\_geracao\\_estado/index.aspx](http://www.ons.org.br/resultados_operacao/boletim_mensal_geracao_estado/index.aspx)>. Acesso em: 10 de abril de 2017.

PINHO, J. T., GALDINO, M.A. – **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). Rio de Janeiro, 2014.

PORTAL ENERGIA – **Principais tipos de Células Fotovoltaicas Constituintes de Painéis Solares**. Portal Energia, 2011. Disponível em: <<http://www.portalenergia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituientes-de-paineissolares/>>. Acesso em: 7 de março de 2016.

PRADO JÚNIOR, F. A. A. – **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 1ª Edição, Editora Ediouro, 2004.

RAMOS, Cristina de Moura – **Procedimentos para caracterização e qualificação de módulos fotovoltaicos**. Dissertação do programa de interunidades de pós-graduação em energia da Universidade de São Paulo, 2006.

REN 21. **Press Release - Renewables Global Futures Report**. Disponível em: <[http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/Regional%20Reports/ECOWAS\\_PT.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/Regional%20Reports/ECOWAS_PT.pdf)>. Acesso em: Setembro de 2015.

REQUENA, M. B. – **Células Solares: Fundamentos e Aplicações**. Universidade Estadual de São Paulo – UNESP. 2009. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/showdefisica/ensino/CelulasSolares.pdf>>. Acesso em: 13 de Fevereiro de 2016.

REVISTA EXAME – **Brasil não Investe o Suficiente em Energia Solar e Eólica**. Matéria publicada em dezembro de 2011. Disponível em <<http://exame.abril.com.br/mundo/noticias/brasil-nao-investe-o-suficiente-em-energia-solar-e-eolica>>. Acesso em: Outubro de 2015.

ROCHA, José Stênio – **Análise do potencial de aplicação de sistemas híbridos como alternativa para eletrificação do meio rural: estudo de caso para Pentecoste-CE**, p. 59, 61, 82 Dissertação de mestrado, MACFA/UECE, 2010.

RÜTHER, Ricardo. **Panorama Atual da Utilização da Energia Solar Fotovoltaica e o Trabalho do Labsolar nesta Área**, p. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Florianópolis-SC – 1999.

SALAMONI, Isabel Tourinho – **Metodologia para Cálculo de Geração Fotovoltaica em Áreas Urbanas Aplicadas a Florianópolis e Belo Horizonte**. 2004. 155f. (Dissertação de Mestrado) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SANCHEZ, H. **Energia do Sol**. Ecoenergias, 2010. Disponível em: <<http://www.ecoenergias.wordpress.com/tag/energia-solar/>>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2016.

SCIELO – **5º Encontro de Energia: Modelo de um projeto de um modelo fotovoltaico**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia – SP. 2004. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000200020&script=sci\\_arttext/](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000200020&script=sci_arttext/)>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2016.

SERRÃO, S. A. Marcos – **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma casa de veraneio em pouso da Cajaíba (Paraty)**. Trabalho de conclusão de curso apresentado na Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2010. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000620.pdf>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2016.

SILVA, P. F. **A Breve História da Energia Solar**. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2004. Disponível em: <[www.web.ist.utl.pt/palmira/solar.html](http://www.web.ist.utl.pt/palmira/solar.html)>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2016.

SOLARGIS – **Free Solar Radiation Maps**. Disponível em: <<http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps>>. Acesso em: Outubro de 2015.

SPACE ROCKET HISTORY – **US Space 1958 – Explorer, Vanguard, Pioneer, and NASA (2013)**. Disponível em: <<http://spacerockethistory.com/?p=317>>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2016.

TECSULsolar – **Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: <<http://www.tecsulsolar.com.br/>>. Acesso em 10 de abril de 2017.

TIENDA FOTOVOLTAICA – **Módulo solar 12V/4W silício amorfo con marco alumínio**, 2016. Disponível em: <<http://www.tiendafotovoltaica.es/Modulo-solar-12V/4W-silicio-amorfo-con-marco-aluminio>>. Acesso em 02 de junho de 2016.

TIEPOLO, G. M.; CANGIOLIERI JR, O; URBANETZ JR, J. **Estudo do Potencial de Participação das Fontes Renováveis de Energia na Matriz Elétrica do Estado do Paraná**. IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2014.

TIEPOLO, Gerson. **Estudo do potencial de Geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Estado do Paraná**. Curitiba: SIBI/PUCPR, 2015.

TISST, Energia Solar Térmica – **Energia Solar**, 2016 Disponível em: <<http://www.tisst.net/documentos/sistemas-solares-termicos/>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2016.

VALLÊRA, António M.; BRITO, Miguel C. – **Meio Século de História de Célula Fotovoltaica**. FCUL, 2006. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2016.

WEG – **Drives inversores de frequência**, 2016. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/Inversores-de-Frequencia/CFW700>> Acesso em: 15 de fevereiro.

WIKIPÉDIA – **Energia solar fotovoltaica**. Imagem publicada em 2005. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia\\_solar\\_fotovoltaica](https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_solar_fotovoltaica)>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2016.

## ANEXO I

1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC		
Código da UC:	Classe:	
Titular da UC:		
Rua/Av.:	Nº:	CEP:
Bairro:	Cidade:	
E-mail:		
Telefone:	Celular:	
CNPJ/CPF:		
2- Dados da Unidade Consumidora		
Carga instalada (kW):	Tensão de atendimento (V):	
Tipo de conexão:	monofásica	bifásica      trifásica
3 - Dados da Geração		
Potência instalada de geração (kW):		
Tipo da Fonte de Geração:		
Hidráulica	Solar	Eólica      Biomassa      Cogeração Qualificada
Outra (especificar):		
4 - Documentação a Ser Anexada		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração</li> <li>2. Diagrama unifilar contemplando Geração/Proteção(Inversor, se for o caso)/Medição e memorial descritivo da instalação,</li> <li>3. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede,</li> <li>4. Dados necessários para registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: <a href="http://www.aneel.gov.br/scg">www.aneel.gov.br/scg</a></li> <li>5. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012</li> <li>6. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver)</li> <li>7. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)</li> </ol>		
5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)		
Responsável/Área:		
Endereço:		
Telefone:		
E-mail:		
6 - Solicitante		
Nome/Procurador Legal:		
Telefone:		
E-mail:		
_____	/ /	_____
Local	Data	Assinatura do Responsável

Anexo I: Formulário de solicitação de acesso para microgeração distribuída com potência Igual ou inferior a 10kW.

Fonte: COPEL II, 2014.

## ANEXO II

### 1. NORMA TÉCNICA COPEL NTC 905200: ACESSO DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA AO SISTEMA DA COPEL

Publicada em fevereiro de 2014 e revisada em março de 2016, A NTC 905200 diz respeito a ligação de sistemas de micro e minigeração distribuídas a rede Copel. Esta norma estabelece padrões que visam à uniformização e à adoção de procedimentos, observando as exigências técnicas e de segurança recomendadas.

#### 1.1. Solicitação de Acesso

As centrais geradoras classificadas como micro ou minigeração estão dispensadas de cumprir as etapas de consulta de acesso e informação de acesso, sendo recomendado iniciar diretamente na etapa de Solicitação de Acesso. A solicitação de acesso, conforme o Anexo I, é o requerimento que deve ser preenchido pelo acessante que, uma vez entregue à Copel, implica a prioridade de atendimento, de acordo com a ordem cronológica de protocolo. Esta solicitação deverá ser enviada através do email ([medicao.projetos@copel.com](mailto:medicao.projetos@copel.com)).

#### 1.2. Parecer de Acesso

É o documento formal apresentado pela Copel, sem ônus para o acessante, no qual são informadas as condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso, e os requisitos técnicos para a conexão das instalações do acessante ao sistema elétrico de distribuição. O prazo para a emissão do Parecer de Acesso pela Copel é de 15 dias para microgeração.

### 1.3. Vistoria e Liberação para Operação

Depois de concluídas as obras, se forem necessárias, o acessante deve solicitar vistoria à Copel em até 120 (cento e vinte) dias após a emissão do parecer de acesso, que será realizada pela Copel em até 7 (sete) dias contados da data da solicitação formal. Caso sejam detectadas pendências nas instalações da unidade consumidora com microgeração (até 75 kW) ou minigeração (de 75kW a 5MW) distribuída que impeçam sua conexão à rede, a Copel encaminhará ao interessado, por escrito, em até 5 (cinco) dias, sendo permitido o envio por meio eletrônico, relatório contendo os respectivos motivos e uma lista exaustiva com todas as providências corretivas necessárias.

A Copel poderá solicitar o acompanhamento dos testes e ensaios no sistema que serão executados pelos profissionais contratados pelo acessante. Serão verificadas questões relacionadas à segurança, às condições operacionais da unidade geradora, ao atendimento dos requisitos mínimos de qualidade de uma instalação elétrica e à funcionalidade dos esquemas de proteção, controle, sinalização e sistema de aterramento.

A vistoria e a liberação para a operação das instalações de entrada de serviço e do sistema de geração terão como base as condições estabelecidas no Parecer de Acesso e o projeto das instalações. A aceitação do ponto de conexão liberando-o para sua efetiva conexão se dará por meio do relatório de vistoria.

### 1.4. Liberação de Inversores

Os procedimentos para liberação e os modelos aceitos para instalação constam no site da Copel, no caminho: [www.copel.com/normas](http://www.copel.com/normas) > Geração Distribuída (menu lateral Normas) > Micro e Minigeração (link no texto central). A Companhia Paranaense de Energia deixa claro que serão aceitos somente inversores conforme lista de modelos etiquetados no INMETRO, sendo necessário apresentar o número do registro no momento da Solicitação de Acesso.

### 1.5. Contratos para Acesso

Fica dispensada a assinatura de contratos de uso (CUSD) e conexão (CCD) na qualidade de central geradora para a microgeração ou minigeração distribuída que participe do sistema de compensação de energia elétrica.

Os microgeradores receberão um documento denominado Relacionamento Operacional, que contém as principais condições referentes ao relacionamento operacional entre a Copel e o proprietário da microgeração distribuída (responsável pela unidade consumidora que adere ao Sistema de Compensação de Energia). Esse documento prevê a operação segura e ordenada das instalações elétricas interligando a instalação de microgeração ao sistema de distribuição de energia elétrica da Copel. O Relacionamento Operacional será enviado juntamente com o Parecer de Acesso.

### 1.6. Conexão ao Sistema de Distribuição

Nos sistemas que se conectam à rede através de inversores, as proteções necessárias podem estar inseridas nos referidos equipamentos, sendo desnecessária a redundância de proteções.

O inversor utilizado na instalação será conferido no momento da vistoria, devendo obedecer exatamente às características informadas na etapa de Solicitação de Acesso, sob pena de recusa do equipamento substituto. Após a regularização, nova data de vistoria deverá ser solicitada para a conexão da central geradora. O prazo para realização de nova vistoria é de 7 dias.

A conexão deve ser realizada em corrente alternada com frequência de 60 (sessenta) Hz.

O acessante deverá prever o controle de reativos dos geradores síncronos. Os sistemas com geradores assíncronos e conversores CC/CA deverão ter fator de potência mínimo de 0,92 no ponto de conexão.

### 1.7. Requisitos de Conexão

- a) O acessante deve estar ciente de que, nas situações a seguir, o sistema de proteção de suas instalações deverá atuar, retirando de operação a geração própria:
- Abertura manual do circuito alimentador na subestação da Copel;
  - Abertura do circuito alimentador na subestação da Copel por defeitos monofásicos, bifásicos e trifásicos, envolvendo ou não a terra;
  - Falta de fase(s) nas instalações do acessante ou na rede elétrica da Copel;
  - Religamentos automáticos provenientes de equipamentos com dispositivos de recomposição automática do sistema elétrico da Copel.
- b) O acessante não pode reduzir a flexibilidade de recomposição do sistema elétrico de distribuição, seja em função de limitações de equipamentos ou por tempo de recomposição;
- c) A entrada de serviço da instalação do acessante deve ser compatível com a máxima corrente gerada ou consumida;
- d) As instalações do acessante de geração deverão dispor de equipamentos adequados para a supervisão das condições de sincronismo de forma a possibilitar o paralelismo entre a central geradora e a Copel.
- e) Os geradores poderão ser assíncronos para potências máximas de até 300 kW (a somatória das potências das máquinas não pode ultrapassar 300 kW), mediante consulta prévia à Copel. Acima deste valor os geradores deverão ser síncronos;
- f) O fator de potência nominal dos geradores será definido pela Copel através de estudos específicos, respeitando-se o limite de 0,92 capacitivo a 0,92 indutivo.



- g) A operação em paralelo com a Copel não deverá provocar, no ponto de conexão, potência de curto-circuito simétrico superior a 250 MVA para 13,8 kV;
- h) A proteção anti-ilhamento deve desconectar o gerador da rede, sem qualquer retardo intencional, em caso de falta de tensão oriunda da rede de distribuição. O gerador não poderá injetar energia na rede se esta não estiver com sua tensão adequada em todas as fases. O circuito de sincronismo do gerador só deve permitir nova sincronização num tempo maior ou igual a 2 minutos do retorno da energia;
- i) Todos os esquemas e equipamentos de proteção do acessante envolvidos na conexão deverão ser comissionados, observando as tolerâncias das normas vigentes para cada função.
- j) À Copel é reservado o direito de efetuar a qualquer momento, por meio de notificação prévia, inspeções nas instalações do acessante para averiguação das condições dos sistemas de medição, proteção, operação, geração, controle e automação, assim como testes no sistema de distribuição onde estará conectada a geração para averiguações do perfeito funcionamento dos sistemas. Em caso de não conformidades, o gerador ficará impedido de ser conectado ao sistema de distribuição, até a devida normalização;
- k) É recomendado que o acessante possua equipamentos de proteção de reserva para substituição imediata, caso ocorram problemas com os equipamentos instalados;
- l) Alterações nas instalações do acessante, posteriores à liberação da conexão, devem ser previamente comunicadas à Copel.

## 1.8. Requisitos Gerais de Proteção

O sistema de proteção da rede de distribuição foi concebido para um sistema radial, ou seja, com apenas uma fonte de contribuição de curto-circuito, com base na premissa de que os equipamentos de proteção, religadores, fusíveis e chaves repetidoras são dimensionados e ajustados para atender aos requisitos de suportabilidade, sensibilidade, seletividade, rapidez e confiabilidade operativa, de forma a não deteriorar o desempenho do sistema durante condições de regime e de distúrbios no mesmo. Ou seja, em caso de curto-circuito, a região afetada deverá ser a menor possível;

Os equipamentos do sistema de proteção precisam ser adequados para operar em paralelismo permanente;

Todos os sinais de corrente e tensão provenientes dos transformadores de corrente e de potencial de proteção deverão primeiramente passar por chaves de aferição dotadas de tampa transparente com possibilidade de lacre pela Copel. Tais chaves deverão estar instaladas no interior da caixa que contenha todos os relés de proteção.

## 1.9. Equipamentos e Funções de Proteção

São exigidos os requisitos mínimos de proteção para a central geradora, dependendo da potência instalada, tensão de conexão e forma de acoplamento (com ou sem inversor). A lista de funções solicitadas segue abaixo:

- a) Inversor: É um componente do sistema de geração que converte em corrente alternada (compatível com a rede elétrica) a energia produzida em corrente contínua pelas unidades geradoras, sendo geralmente utilizado em sistemas de geração cuja fonte é solar ou eólica. Nem todos os sistemas de geração necessitam de inversor.

- b) Baterias e carregadores de baterias: Os sistemas de geração caracterizados como microgeradores e que utilizam-se de inversores, possuem disjuntores termomagnéticos de caixa moldada convencionais já disponíveis na unidade consumidora, dispensam o uso de fonte auxiliar.

#### 1.10. Funções de Proteção no Ponto de Conexão

- a) Relé direcional de corrente (67-67N): Proteção de sobrecorrente com filtro direcional, sentido Copel → central geradora e central geradora → Copel, dependendo da necessidade;
- b) Sistema check de sincronismo (25): Monitoramento das grandezas no lado do consumidor e no lado da concessionária visando o sincronismo das mesmas para possibilitar o paralelismo entre a unidade geradora e a COPEL;
- c) Sistema linha viva / barra morta: entenda-se como “linha” o lado da Copel e como “barra” a parte interna das instalações da unidade consumidora. Assim sendo, o acessante deverá instalar um sistema de linha viva / barra morta com 3 (três) transformadores de potencial monofásicos ligados em estrela-aterrada no lado “barra” e mais 3 (três) transformadores de potencial monofásicos ligados em estrela-aterrada no lado “barra” do elemento de interrupção;
- d) Relé de sub e sobretensão (27/59): Monitoram os valores eficazes de tensão no ponto de instalação, atuando quando os valores limites forem ultrapassados.
- e) Relé de sobre e subfrequência (81O/U): Monitoram a frequência no local onde estão instalados, considerando a medição de tensão em uma janela de amostragem de no mínimo 1(um) ciclo;

- f) Relé de reversão ou desbalanceamento de tensão (47): Para evitar aberturas indevidas nos equipamentos de proteção, por motivos de desequilíbrio de tensão, ou inversão de sequência de fases;
- g) Relé de desbalanço de corrente – sequência negativa (46 + 37): deve ser instalado para evitar aberturas indevidas nos equipamentos, aumentar a segurança na linha de propriedade do acessante e evitar o aquecimento do rotor das máquinas;
- h) Relé de sobrecorrente com restrição por tensão (51V): Utilizado para melhorar a sensibilidade do disjuntor devido aos baixos valores de corrente durante curtos-circuitos na rede de distribuição distantes da usina;
- i) Relé derivada de frequência (81df/dt): Consiste na função da taxa de variação da frequência no tempo;
- j) Relé salto de vetor (78): Relés que indicam deslocamento de fase (graus elétricos) de tensão;
- k) Relé de sobretensão de neutro (59N): Utilizado caso o acessante seja conectado na tensão de 13,8 kV, onde há o fechamento em delta no lado de alta;
- l) Relé de falha de disjuntor (50 BF): Esta função deverá atuar quando ocorrer falha do disjuntor do gerador, abrindo o elemento de interrupção adjacente ao que falhou.

#### 1.11. Requisitos de Qualidade

- a) A Copel reserva-se o direito de realizar medições no ponto de conexão vislumbrando quantificar os impactos da operação das instalações do acessante sobre os parâmetros de qualidade de energia. Caso a conexão do acessante

provoque a violação de quaisquer dos indicadores regulamentados, o mesmo fica responsável pelas medidas mitigadoras que se fizerem necessárias;

- b) A medição de qualidade de energia, facultativamente, poderá ser realizada juntamente com o medidor de faturamento ou em equipamento independente.

### 1.12. Requisitos Gerais de Projeto

Todo aquele que pretender utilizar geração própria estará condicionado à apresentação de projeto elétrico, não sendo permitida, em hipótese alguma, a energização das instalações sem a análise de conformidade e a devida liberação do projeto pela Copel, bem como o cumprimento de todas as condições contratuais.

O projeto elétrico deve contemplar aspectos técnicos e de segurança de acordo com os requisitos de qualidade, medição e proteção.

Na entrada de serviço, junto às caixas de medição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência, conforme Figura 47.



Figura 47: Placa de advertência.  
Fonte: COPEL II, 2014.

### 1.13. Equipamentos do Sistema de Medição

Os equipamentos de medição deverão atender às mesmas especificações exigidas para unidades consumidoras conectadas no mesmo nível de tensão da central geradora. Nas unidades consumidoras de baixa tensão será acrescido do uso de medidor bidirecional, o qual deverá possuir, no mínimo, dois registradores de forma a diferenciar a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica ativa injetada na rede.