

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA**

**VITOR HENRIQUE SEIJI YAMAO**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UMA MICROGERAÇÃO  
SOLAR RESIDENCIAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CAMPO MOURÃO**

**2018**

**VITOR HENRIQUE SEIJI YAMAO**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UMA  
MICROGERAÇÃO SOLAR RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do curso superior em Engenharia Eletrônica do Departamento Acadêmico de Eletrônica - DAELN - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito final para obtenção do título de Engenheiro em Eletrônica.

**Orientador: Prof. Dr. Gilson Junior Schiavon**

**CAMPO MOURÃO**

**2018**

**TERMO DE APROVAÇÃO**  
**DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO INTITULADO**  
**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UMA MICROGERAÇÃO**  
**SOLAR RESIDENCIAL**

por

Vitor Henrique Seiji Yamao

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 20 de Junho de 2018 ao Curso Superior de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. André Luis Regis Monteiro  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. Marcio Rodrigues da Cunha  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. Gilson Junior Schiavon  
(UTFPR)  
Orientador

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais, Valter e Maze, e meus irmãos, Eduardo e Natalia por serem a base da minha formação pessoal e acadêmica, e por sempre me darem força e entusiasmo nas horas de dificuldade.

Agradeço a todos os amigos feitos durante a graduação, e em especial a Manuella Ferreira Siqueira pelo companheirismo e suporte no decorrer do curso.

Agradeço também ao meu orientador Gilson Junior Schiavon, por ter me orientado e sempre se colocando à disposição para ajudar.

O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo.

(Winston Churchill)

## RESUMO

YAMAOKA, Vitor Henrique Seiji. ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UMA MICROGERAÇÃO SOLAR RESIDENCIAL. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharel em Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018.

Com o atual cenário global de energia, levanta-se a preocupação para buscar fontes alternativas de geração. Visto que, o Brasil recebe uma alta carga de radiação, apresenta-se neste trabalho o dimensionamento e análise da viabilidade técnico e econômica de uma microgeração solar residencial para as duas metodologias existentes (*Grid-Tie* e *Off-Grid*). Inicialmente foram expostos de forma detalhada o conteúdo sobre a energia solar fotovoltaica, juntamente com a estrutura tarifária e econômica do Brasil. Após foi descrito o local de implementação do estudo proposto, com as informações necessárias para desenvolver o dimensionamento para as duas metodologias. Com as informações do dimensionamento, foi realizado um levantamento do preço atual dos componentes necessários para o estudo. Por fim, unindo a informação do custo, com o perfil energético da residência, foram utilizadas três técnicas, *Payback*, VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Rentabilidade), para detectar se o projeto é viável ou não.

Palavras-chave: *Payback*, Fotovoltaica, *Grid-Tie*, *Off-Grid*.

## ABSTRACT

YAMAOKA, Vitor Henrique Seiji. TECHNICAL-ECONOMIC VIABILITY STUDY OF A RESIDENTIAL SOLAR MICROGENERATION. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharel em Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018.

With the presently energy global scene, it is necessary to search about new alternatives of power generation. Brazil receives high incidence of radiation and that's why this article presents a technical economic viability study of a residential solar microgeneration to the currently methodology (*Grid-Tie* and *Off-Grid*). It shows from technical analysis that the photovoltaic energy is payable despite the high initial investment. The contents of solar photovoltaic energy, together with the tariff and economic structure of Brazil, will be presented in a detailed way. Afterwards the place of implementation of the proposed study will be described, with the necessary information to develop the design for the two methodologies. With the sizing information, a survey of the current price of the components required for the study will be carried out. Finally, by combining the cost information with the energy profile of the residence, three techniques, *Payback*, VPL (Net Present Value) and TIR (Internal Profitability Rate) will be used to detect whether the project is viable or not.

Palavras-chave: *Payback*, Energy, *Grid-Tie*, *Off-Grid*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Usina Solar de Tauá no Ceará.....	15
Figura 2 - Movimento da Terra .....	26
Figura 3 - Radiação Solar Global Horizontal Anual .....	26
Figura 4 - Efeito Fotovoltaico .....	27
Figura 5 - Painel com Células de Silício Monocristalino.....	28
Figura 6 - Painel com Células de Silício Policristalino.....	29
Figura 7 - Painel com Células de Silício Amorfo.....	29
Figura 8 - Componente de um Módulo Fotovoltaico .....	30
Figura 9 - Conexão de Células em Paralelo .....	31
Figura 10 - Conexão de Células em Série .....	31
Figura 11 - Tabela de Eficiência Energética .....	32
Figura 12 – Modelo <i>Grid-Tie</i> .....	33
Figura 13 – Modelo <i>Off-Grid</i> .....	34
Figura 14 - Figura Inmetro .....	35
Figura 15 - Diagrama em blocos do Projeto .....	39
Figura 16 - Seleção da Residência .....	39
Figura 17 - Planta Baixa da Residência .....	40
Figura 18 - Telhado .....	41
Figura 19 - Seleção do Tipo e Dimensionamento .....	42
Figura 20 - Irradiação Campo Mourão.....	43
Figura 21 - Painel Solar Canadian Solar .....	44
Figura 22 - Inversor Fronius Primo 3.0 .....	46
Figura 23 - Inversor <i>Off-Grid</i> Hayonik .....	47
Figura 24 - Quadro de Consumo de Eletrodoméstico .....	49
Figura 25 - Bateria Estacionária Freedom DF4001.....	51
Figura 26 - Controlador de Carga Sunergy MPPT60.....	52
Figura 27 - Viabilidade.....	53



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Conversão e Eficiência.....	30
Tabela 2 - Consumo Mensal de 2017.....	41
Tabela 3 - Levantamento de Carga.....	48
Tabela 4 - Descrição Custo <i>Grid-Tie</i> .....	52
Tabela 5 - Descrição Custo <i>Off-Grid</i> .....	53
Tabela 6 - Fluxo de Caixa e Payback <i>Grid-Tie</i> .....	53
Tabela 7 - Fluxo de Caixa e <i>Payback Off-Grid</i> .....	54

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Período de Tarifamento.....	18
Quadro 2 - Sistema de Bandeira Tarifário.....	20
Quadro 3 - Incentivos .....	21
Quadro 4 - Critérios de Qualidade do Inversor .....	35

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1.1 Regulamentação .....	15
1.1.1.1 Normativa N482 .....	15
1.1.2 Tarifamento .....	17
1.1.2.1 Bandeiras Tarifárias.....	18
1.1.3 Incentivos .....	19
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS .....	21
1.3 JUSTIFICATIVA .....	21
1.4 OBJETIVOS .....	21
1.4.1 Objetivo Geral .....	22
1.4.2 Objetivos Específicos .....	22
1.5 METODOLOGIA.....	22
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	23
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>24</b>
2.1 RADIAÇÃO SOLAR.....	24
2.2 EFEITO FOTOVOLTAICO .....	26
2.3 CÉLULA FOTOVOLTAICA .....	26
2.3.1 Tipos de Células .....	27
2.4 MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	29
2.4.1 Escolha do Pannel .....	30
2.5 INVERSORES .....	31
2.5.1 Escolha do Inversor .....	33
2.6 Método de Análise Financeira.....	34
2.6.1 <i>Payback</i> .....	35
2.6.2 Valor Presente Líquido (VPL).....	35
2.6.3 Taxa Interna de Retorno (TIR).....	36
<b>3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....</b>	<b>38</b>
3.1 Seleção da Residência .....	38
3.1.1 Identificação da Posição Geográfica .....	39
3.1.2 Perfil Energético de Consumo.....	39
3.1.3 Área Disponível para Instalação.....	40

3.2 SELEÇÃO DO TIPO DE DIMENSIONAMENTO DESENVOLVIMENTO .....	41
3.2.1 Dimensionamento - <i>Grid-Tie</i> .....	41
3.2.1.1 Módulos .....	41
3.2.1.2 Inversor .....	44
3.2.1.3 Condutores .....	45
3.2.2 Dimensionamento - <i>Off-Grid</i> .....	46
3.2.2.1 Módulos .....	46
3.2.2.2 Inversor .....	46
3.2.2.3 Bateria .....	46
3.2.2.4 Controlador de carga .....	50
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
4.1 VIABILIDADE .....	52
4.1.1 Investimento em Equipamentos .....	52
4.1.2 Análise <i>Payback</i> .....	53
4.1.3 Valor Presente Líquido (VPL) .....	55
4.1.3.1 VPL <i>Grid-Tie</i> .....	55
4.1.3.2 VPL <i>Off-Grid</i> .....	55
4.1.4 Taxa Interna de Retorno (TIR) .....	56
4.1.4.1 TIR <i>Grid-Tie</i> .....	56
4.1.4.2 TIR <i>Off-Grid</i> .....	56
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>57</b>
5.1 CONCLUSÃO .....	57
5.2 TRABALHOS FUTUROS .....	58
REFERÊNCIAS .....	59

## 1 INTRODUÇÃO

Questões de cunho energético estão sendo discutidas com maior intensidade, caracterizando-se como uma preocupação mundial (RAIANE *et al*, 2015). Tendo em vista o aquecimento global e as mudanças climáticas que a terra vem sofrendo, chama-se atenção para o uso dos recursos naturais junto com a utilização de fontes de energia que produzem menor impacto ambiental (BARRA, 2011-?).

O crescente aumento da demanda de energia é um problema recorrente que vem sobrecarregando as unidades geradoras, linhas de transmissão e diversos equipamentos do Sistema Elétrico de Potência (SEP) (FERNANDES, 2012). Para solucionar este problema verifica-se como uma possibilidade que vem ao encontro com as tendências mundiais de sustentabilidade, a geração distribuída (GD). A GD tem como característica aproximar a unidades geradoras das cargas podendo alimentá-las diretamente aos clientes ou às subestações (SOCCOL *et al*, 2016). Desta forma, evita-se a construção de usinas de grande porte, que necessitam de grandes reservatórios e assim acabam gerando diversos problemas ambientais, e usinas movidas a combustíveis fósseis, que têm como desvantagem a emissão de poluentes. Ambas as gerações são classificadas como usinas de base, por garantirem uma parcela significativa da geração nacional (RIBEIRO *et al.*, 2016).

Junto com as fontes alternativas de energia (FAE) e fontes renováveis (FR), a geração distribuída se tornou uma opção viável e tem ganhado destaque no cenário nacional. Dentre as fontes alternativas encontra-se a geração solar que se destaca devido ao potencial de incidência solar encontrado no Brasil. Em 2018, o custo da geração solar está no mesmo patamar das usinas de base brasileiras, sendo uma importante fonte de energia sem impacto ambiental (CALABRO, 2013).

Segundo a Lei 10.848, o programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica (PROINFA) previa que até 2014 elas alimentarem 10% do consumo total e em sua segunda fase era prevista a instalação de 3300 MW de energia solar, em um prazo de 20 anos (BRASIL, 2004).

O Brasil possui características como condições climáticas, território, nível de radiação solar que mostram que essa geração possui um potencial energético a ser

explorado. A condição de insolação, que consiste no número de horas de brilho(luz), durante todo o ano torna o Brasil um potencial país no cenário das energias renováveis mundial. Levando em consideração todos os tipos de usinas que geram energia elétrica tem-se uma produção de cerca de 132 GW (RELLA, 2017). Desse montante, apenas 0,0008% é produzida com sistemas solares fotovoltaicos (COSTA, 2011).

Esta pequena parcela na geração nacional se deve a falta de apoio e estímulo (RAGNINI, 2016). Segundo Scalabrini (2015), a política energética de geração relega esta fonte energética. Por isso, em pleno século XXI, a contribuição da eletricidade solar na matriz elétrica brasileira é pífia, praticamente inexistente quando comparada as gerações provenientes de hidrelétricas e termelétricas. Apesar da baixa representatividade nacional existem alguns projetos em fase de andamento e em fase final como a Usina Solar de Tauá, geradora de grande porte instalada na região Nordeste, no estado do Ceará, que é conectada ao sistema nacional de energia, apresentada na Figura 1 (PAMPLONA, 2017).

**FIGURA 1 - USINA SOLAR DE TAUÁ**



Fonte: Portal Solar (2016)

O uso da geração solar fotovoltaica com a geração distribuída pode otimizar o processo de aproximação entre a geração e as unidades consumidoras. Pode-se destacar duas vertentes, a micro e a minigeração distribuída. A microgeração distribuída é uma central geradora com potência instalada menor ou igual a 100 kW, enquanto que a minigeração distribuída são centrais geradoras com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW (ANEEL, 2014). O presente

trabalho visa o estudo e análise de centrais geradoras classificadas como microgeração.

Os estímulos à geração distribuída, geralmente localizada próxima aos centros de carga, têm as seguintes justificativas pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico (ANEEL, 2014):

- A postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão;
- O baixo impacto ambiental;
- A redução no carregamento das redes;
- A redução de perdas e a diversificação da matriz energética.

A geração de energia elétrica proveniente da energia solar visa atender a demanda com uma geração próxima aos consumidores, sendo que parte da demanda será localmente suprida. Caso haja um excedente de geração, a energia será direcionada para a rede da concessionária local em forma de crédito, sendo uma reserva para complementar a demanda da região (ANEEL, 2014).

### 1.1.1 Regulamentação

Segundo REGRAS (2016), a partir do dia 1º de março de 2016 entraram em vigor as novas regras para a geração de energia elétrica distribuída. Com elas cada casa, edifício comercial ou residencial, bem como comércio e indústria ganham incentivos adicionais para gerar energia elétrica.

Dentre as resoluções normativas publicadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) existe a N482 que promove a GD.

#### 1.1.1.1 Normativa N482

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou a resolução normativa 482 em 17 de Abril de 2012. Nela é viabilizada a geração distribuída, estabelecendo parâmetros de regulamentação para microgeração e minigeração,

para sistemas conectados à rede de sua concessionária. (DISTRIBUIDA, 2015)

Essa normativa esclareceu todos os parâmetros necessários, para permitir o desenvolvimento da produção energética (micro e minigeração), de forma que, exista um sistema de compensação sob o excedente produzido a partir de cada unidade consumidora. A esse respeito ANEEL (2012) declara:

VII – geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada (ANEEL, 2012, p.2).

O sistema de compensação é estabelecido a partir do excedente de energia produzida. É considerada a diferença entre a energia injetada e a consumida. É uma conta simples, se o consumidor produzir mais energia do que gastou, essa diferença retorna em créditos. Já no caso contrário, ao produzir menos energia que a utilizada, o consumidor pagará a diferença em quilowatt-hora. Essas informações são descritas na fatura para maior controle sobre os créditos. (COMPENSAÇÃO, 2016)

IV – o excedente de energia é a diferença positiva entre a energia injetada e a consumida, exceto para o caso de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras, em que o excedente é igual à energia injetada (ANEEL, 2012, p.2).

Outro ponto a ser observado da normativa N482 é o autoconsumo remoto que consiste no remanejamento dos créditos provenientes do excedente produzido. Para SISTEMA (2018), se o consumidor possuir outro imóvel pode pegar os créditos e abater diretamente na fatura. O proprietário deverá indicar de forma escrita o percentual do excedente desejado com antecedência mínima de 60 dias.

VI - o excedente de energia que não tenha sido compensado na própria unidade consumidora pode ser utilizado para compensar o consumo de outras unidades consumidoras, observando o enquadramento como empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada ou autoconsumo remoto (ANEEL, 2012, p.3).

A normativa N482 é direcionada apenas aos geradores que utilizam energias renováveis para produção energética. Com essas diretrizes, a ANEEL conseguiu uma forma de adequar e incentivar o desenvolvimento sustentável brasileiro.



### 1.1.2 – Tarifamento

Segundo a ANEEL (2016), estrutura tarifária é o conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativas de acordo com a modalidade de fornecimento. Consiste em duas categorias, a convencional e a horossazonal.

A estrutura tarifária convencional independe da hora do dia em que foi utilizada e é caracterizada pela cobrança da tarifa de consumo e/ou demanda de potência. Já para a estrutura tarifária horossazonal a cobrança é realizada sobre o consumo durante o dia.

Conforme mostra o Quadro 1, as taxas são empregadas de acordo com a concessionária local do seu estado. A concessionária Copel (Companhia Paranaense de Eletricidade), presente no Paraná, tem a seguinte definição:

**QUADRO 1 - PERÍODO DE TARIFAMENTO**

<b>Horário de ponta (P)</b>	Das 18h às 21h (fora do Horário de verão) e das 19h às 22h (durante Horário de verão).
<b>Horário fora de ponta (F)</b>	Demais horas do dia, finais de semana.
<b>Período Úmido (U)</b>	Dezembro a abril.
<b>Período Seco (S)</b>	Maió a novembro.

Fonte: TAXAS (2018)

As tarifas no Brasil estão divididas em dois grupos de consumidores: grupo A e grupo B. Categoricalizá-los depende da capacidade da residência ou indústria e será enquadrado em subgrupos como pode ser observado a seguir (TARIFAS, 2017).

Grupo “A”: composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou, ainda, atendidas em tensão inferior a partir de sistema subterrâneo de distribuição e faturadas neste Grupo nos termos definidos no art. 82, caracterizado pela estruturação tarifária binômia e subdividido nos seguintes subgrupos:

- a) Subgrupo A1 - tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- b) Subgrupo A2 - tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;

c) Subgrupo A3 - tensão de fornecimento de 69 kV;

d) Subgrupo A3a - tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;

e) Subgrupo A4 - tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV;

f) Subgrupo A5 - tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição e faturadas neste Grupo em caráter opcional.

Grupo "B": grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela estruturação tarifária monômnia e subdividido nos seguintes subgrupos:

a) Subgrupo B1 - residencial;

b) Subgrupo B1 - residencial baixa renda;

c) Subgrupo B2 - rural;

d) Subgrupo B2 - cooperativa de eletrificação rural;

e) Subgrupo B2 - serviço público de irrigação;

f) Subgrupo B3 - demais classes;

g) Subgrupo B4 - iluminação pública.

#### 1.1.2.1 – Bandeiras Tarifárias

A energia elétrica no Brasil é gerada predominantemente por usinas hidrelétricas e, estas, dependem das chuvas e do nível de água em seus reservatórios (HIDRELETRICA, 2018).

Quando há pouca água armazenada, as usinas termelétricas podem ser ligadas com a finalidade de poupar água nos reservatórios das usinas hidrelétricas. Com isso, o custo de geração aumenta pois elas são movidas a combustíveis como gás natural, carvão, óleo combustível e diesel. Por outro lado, quando há muita água

armazenada, as térmicas não precisam ser ligadas e o custo de geração se torna menor (TARIFAS, 2018).

De acordo com BANDEIRAS (2015), em janeiro de 2015 passou a vigorar o Sistema de Bandeiras Tarifárias. Este sistema consiste na aplicação de tarifas diferenciadas de acordo com o custo de geração de energia elétrica no período. Ele dispõe de três bandeiras: verde, amarela e vermelha. A definição de cada bandeira, para o estado do Paraná, de acordo a COPEL (2018) é apresentada no Quadro 2 a seguir:

**QUADRO 2 - SISTEMA DE BANDEIRA TARIFÁRIO**

<b>BANDEIRA</b>	<b>CONDIÇÕES</b>	<b>CUSTO</b>
Bandeira Verde	Condições favoráveis para a Geração de Energia	Não há acréscimo na tarifa
Bandeira Amarela	Condições menos favoráveis para a Geração de Energia	Acréscimo de R\$ 2,00 para cada 100 quilowatts-hora (kWh)
Bandeira Vermelha	Condições mais custosas de Geração de Energia	Patamar 01 - Acréscimo de R\$ 3,00 para cada 100 quilowatts-hora (kWh)
		Patamar 02 - Acréscimo de R\$ 3,50 para cada 100 quilowatts-hora (kWh)

Fonte: COPEL (2018)

### 1.1.3 – Incentivos

O governo brasileiro se depara com uma urgente crise energética estabelecida. Assim, criou-se em dezembro de 2015 o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (PROGD). O PROGD foi criado com intenção de expandir a geração de energia elétrica pelo consumidor, dando um destaque significativo na energia solar fotovoltaica (PROGRAMA,2015).

Em paralelo às medidas criadas pelo governo brasileiro, os bancos também impulsionam o desenvolvimento do setor energético criando financiamentos com taxas menores para o correntista investir em energia solar. A esse respeito, LINHA DE CRÉDITO (2016) declara: A Caixa Econômica Federal oferece facilidades de financiamento dos aparelhos a partir do Construcard, cartão magnético exclusivo para

utilização em lojas de materiais de construção conveniadas. Dependendo do cliente, a taxa de juros pode variar de 1,96% a 2,35% ao mês no ano de 2016. Já o Banco do Brasil apresenta a linha de financiamento BB Crédito Material Construção para pessoa física que tiver interesse em adaptar um sistema alternativo de geração de energia. A Linha BB Material de Construção, está disponível para correntistas do banco, com taxas de 1,53% a 2,02% ao mês no ano de 2016.

O Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) criou duas linhas de crédito para projetos de energia solar: Linha de Energias Alternativas e o Programa Fundo Clima. Para esses produtos de crédito é importante que as empresas estruturem planos de negócios junto aos consumidores finais que desejem instalar painéis solares em suas residências (LINHA DE CREDITO, 2016).

Foram criados incentivos voltados para a Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), como pode ser observado no Quadro 3:

**QUADRO 3 - INCENTIVOS**

Chamada de Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) Estratégico 013/2011 – Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Foram apresentados 18 projetos, 17 aprovados, correspondentes a 24,578 MWp (ou 24.578 kWp), que deverão custar R\$ 395 milhões;</li> <li>- Conforme EPE (2014), o projeto envolve diretamente, 96 empresas, 62 instituições e 584 pesquisadores nos projetos.</li> </ul>
Laboratório de Energia Fotovoltaica Richard Louis Anderson	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inaugurado, em agosto de 2014, em Campinas;</li> <li>- Voltado à pesquisa e desenvolvimento de módulos fotovoltaicos customizados;</li> <li>- Segundo EPE (2014), deve ajudar a disseminação do conceito de edifícios integrados e na difusão da microgeração fotovoltaica.</li> </ul>
Fundo Solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lançado em 2013 pelo Instituto Ideal e pelo GrünerStromLabel (Selo de Eletricidade Verde da Alemanha);</li> <li>- Oferece apoio financeiro no valor de R\$ 1.000,00 a R\$ 5.000,00 por projeto de microgeração fotovoltaica conectada à rede.</li> </ul>

Fonte: SILVA (2015)

Com todos os incentivos citados anteriormente, acredita-se que até 2030 cerca de 2,7 milhões de unidades consumidoras terão energia gerada por elas mesmas. Isso resulta em 23.500 MW (48 TWh produzidos) de energia limpa e renovável, o equivalente à metade da geração da Usina Hidrelétrica de Itaipu. Desta forma, o Brasil evitará a emissão de 29 milhões de toneladas de  $CO_2$  na atmosfera (REGISTRO, 2016).

### 1.1 PROBLEMAS E PREMISAS

O Brasil se categoriza como um país com baixa utilização de energia fotovoltaica. Com receio em relação ao não retorno do investimento inicial, muitos deixam de utilizá-la. Seu alto custo é caracterizado pela atual necessidade de importação de vários materiais e alta carga de impostos aplicados.

Porém, em contrapartida, a crescente conscientização ambiental faz com que o governo e bancos aumentem os incentivos para crescimento desta modalidade no país. Conseqüentemente cada dia mais, há investimentos e implantações de energia fotovoltaica em residências e indústrias.

### 1.2 JUSTIFICATIVA

O estudo sobre microgeração utilizando geração solar fotovoltaica será apresentado de forma didática e clara, o procedimento para a realização da interligação de um sistema de geração solar a rede elétrica (*Grid-tie*) e um sistema autônomo, utilizando banco de baterias (*Off-Grid*). A partir de uma abordagem técnico-econômica, será apresentada de forma detalhada a viabilidade da implantação, levando em conta o investimento em equipamentos, legislação e o retorno para o proprietário (*Payback*).

### 1.3 OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é o dimensionamento técnico e a análise da viabilidade econômica da instalação de um sistema para microgeração distribuída baseada em painéis solares fotovoltaicos em uma residência com demanda de 438 kWh.

### 1.3.1 Objetivo Geral

Criar um documento para auxiliar na compreensão a respeito do funcionamento dos processos utilizados em um sistema de geração solar fotovoltaica. Dimensionar as duas metodologias de funcionamento, armazenamento através de um banco de baterias (*Off-Grid*) e de interligação com a rede (*Grid-tie*), visando o escoamento da geração excedente para a rede de distribuição local.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Levantar os dados da residência em estudo;
- Descrever os materiais necessários;
- Apresentar a tecnologia empregada;
- Dimensionar sistema fotovoltaico conectado à rede (*Grid-tie*);
- Dimensionar sistema fotovoltaico ligado ao banco de bateria (*Off-Grid*);
- Realizar a viabilidade técnico-econômica dos dois sistemas.

## 1.4 Metodologia

A metodologia aplicada a este trabalho foi iniciada com uma pesquisa bibliográfica, relacionada ao contexto da energia elétrica no Brasil com foco na geração solar.

Visando agregar mais informação ao trabalho, foi realizado um estudo a respeito dos principais tópicos como sistemas de energia solar fotovoltaica, energia renovável, energia solar, painéis fotovoltaicos, inversores de tensão, baterias, rede elétrica/concessionária que abrangem todos os assuntos realizados ao objetivo geral.

Além disso dar-se-á continuidade com a elaboração de um projeto para uma residência de forma detalhada, dimensionamento de materiais, e execução foi realizada.

Por fim, foi feita uma análise financeira para aquisição e implementação do

projeto a ser desenvolvido, juntamente com uma análise econômica a fim de demonstrar o retorno do investimento.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho final é composto por cinco capítulos, sendo o primeiro responsável pela definição dos objetivos, metodologia e justificativa.

O segundo capítulo aborda os fundamentos teóricos referentes a energia solar fotovoltaica, geração distribuída e legislações para microgeração. Posteriormente, haverá o detalhamento do projeto técnico necessário para uma microgeração conectada ao sistema de distribuição.

O terceiro capítulo refere-se ao desenvolvimento do trabalho, com todos os dados necessários para a elaboração de cada dimensionamento.

O estudo de viabilidade técnico-econômica do projeto é apresentado no quarto capítulo utilizando critérios como custo de implantação e conexão com a concessionária (*Grid-tie*), e ao banco de baterias (*Off-Grid*).

Por fim, os resultados obtidos são avaliados juntamente com a análise da legislação para conexão com o sistema de distribuição da concessionária para que as devidas conclusões a respeito da microgeração com painéis fotovoltaicos conectada ao sistema de distribuição sejam realizadas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta etapa, são apresentados de forma individual e detalhada alguns dos componentes fundamentais que compõe os sistemas de geração solar.

### 2.1 RADIAÇÃO SOLAR

O sol é considerado uma estrela de quinta grandeza, constituída por uma massa gasosa, contendo aproximadamente 71% de hidrogênio e 26% de hélio. A superfície aparente do sol é denominada de fotosfera, cujo diâmetro aproximado é cerca de  $1,3914 \cdot 10^6 \text{ km}$ . Possui uma massa aproximada de  $1,99 \cdot 10^{35} \text{ kg}$ , sendo que cerca de 90% concentra-se na metade interna do seu raio (MOREIRA; MAURICIO, 2001).

A temperatura no centro solar chega a  $4 \cdot 10^4 \text{ K}$ . Essa altíssima temperatura promove o desencadeamento de reações nucleares, transformando o hidrogênio em hélio, através da fusão de núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio com perda de massa que é compensada por emissão de energia. Por ser reação que ocorre no núcleo do átomo de hidrogênio, ela é denominada de “radiação”. A radiação em geral, é classificada por letras do alfabeto grego (alfa, beta, gama.), que pode ser ou não radioativa. A radiação solar é uma radiação do tipo beta (MOREIRA, MAURICIO, 2001).

O que determina a quantidade de radiação recebida em uma determinada área é sua posição geográfica e o horário do dia do ano em que se encontra. A diferença de níveis de radiação recebidos existe devido a inclinação do eixo em que a terra gira (rotação) e movimento ao redor do sol (translação), apresentada na Figura 2 (CIÊNCIA VIVA, 2015).



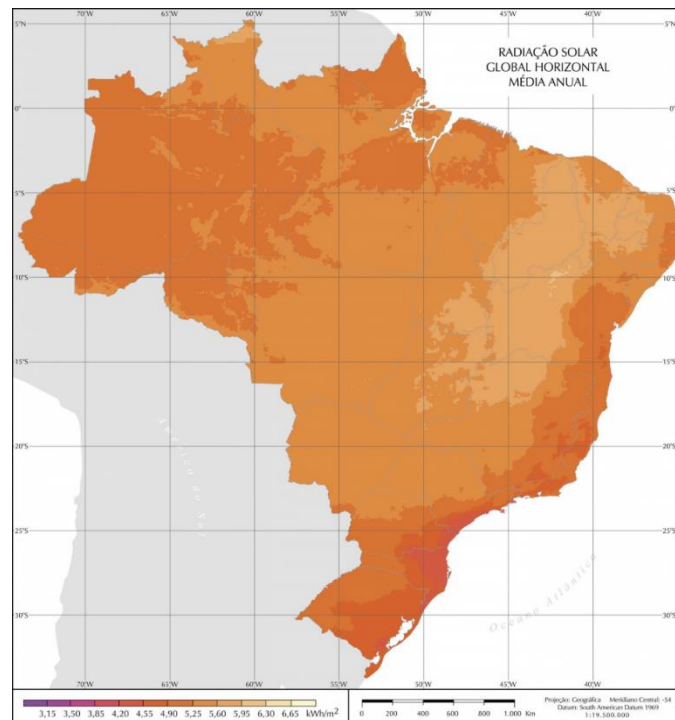
**FIGURA 2 - MOVIMENTO DA TERRA**



Fonte: Ciência Viva (2015)

No Brasil, a radiação média anual varia entre 1.200 e 2.400 kWh/m<sup>2</sup> ano, mostrando um alto potencial energético solar. Como é apresentado no gráfico Radiação Solar Global Horizontal Anual, Figura 3, destaque no Paraná, onde existe uma incidência significativa (SOLARLIGHT, 2016).

**FIGURA 3 - RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL HORIZONTAL ANUAL**



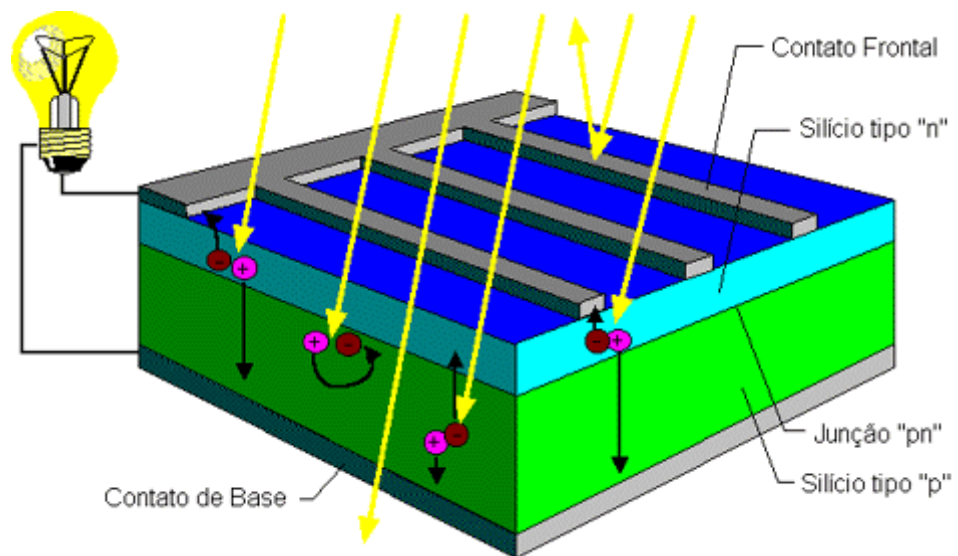
Fonte: SolarLight (2016)

## 2.2 EFEITO FOTOVOLTAICO

Em 1839, o efeito fotovoltaico foi descoberto por Edmond Becquerel mas, somente em 1883, as primeiras células foram construídas por Charles Fritts, que cobriu o selênio semicondutor com uma camada fina de ouro para formar as junções (PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICA, 2016).

O efeito fotovoltaico observado na Figura 4 decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar (ou outras formas apropriadas de energia). Entre os materiais mais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica (ENERGIA, 2017).

FIGURA 4 - EFEITO FOTOVOLTAICO



Fonte: Blue Sol (2011)

## 2.3 CÉLULA FOTOVOLTAICA

A célula solar, também conhecida como fotovoltaica, é um dispositivo elétrico que converte a energia da luz do sol diretamente em energia elétrica através do efeito fotovoltaico (CELULA, 2016).

### 2.3.1 Tipos de Células

As células fotovoltaicas mais comuns existentes nos painéis solares são fabricadas usando o silício (Si), podendo ser constituídas de cristais Monocristalinos, Policristalinos ou de silício amorfo (PAINES, 2017).

As células de silício Monocristalinos, Figura 5, são as mais comercializadas como conversor direto de energia solar em eletricidade. Para fabricação é exigido um alto grau de pureza no silício (98 e 99%) e, para funcionar como células fotovoltaicas, existe a necessidade de outro dispositivo semicondutor próximo a faixa de 99,99% do seu grau de pureza. Para adquirir o silício com grande grau de pureza é necessário um processo químico envolvendo altas temperaturas, para assim ser purificado e solidificado (GERAÇÃO, 2015).

**FIGURA 5 - ETAPAS DA FABRICAÇÃO DO PAINEL COM CÉLULAS DE SILÍCIO MONOCRISTALINO**



Fonte: Portal Solar (2016)

Entre as células de silício Monocristalino e as Policristalino, Figura 6, existe uma diferença de preço significativa. Com essa diferença um se torna mais viável financeiramente, pois exige um processo de preparação das células menos rigoroso, porém a eficiência é inferior (FOTOVOLTAICAS, 2017).

**FIGURA 6 - ETAPAS DA FABRICAÇÃO DO PAINEL COM CÉLULA DE SILÍCIO POLICRISTALINO**



Fonte: Portal Solar (2016)

O silício amorfo, Figura 7 se destaca por apresentar vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação. Possui como principal vantagem a deposição em diversos tipos de substratos. Dessa forma o silício amorfo vem se destacando como uma promissora tecnologia de baixo custo e tornando-se uma vantagem no mercado. Como desvantagem deve-se levar em consideração a baixa frequência de utilização quando comparada as células Mono e Policristalino de silício e o processo de degradação logo nos primeiros meses de operação, reduzindo a sua vida útil (AMORFO, 2015).

**FIGURA 7 - PAINEL COM CÉLULA DE SILÍCIO AMORFO**



Fonte: TecSolar (2016)

A tabela 1 apresenta o demonstrativo da conversão entre as tecnologias.

Tabela 1 - Conversão e Eficiência

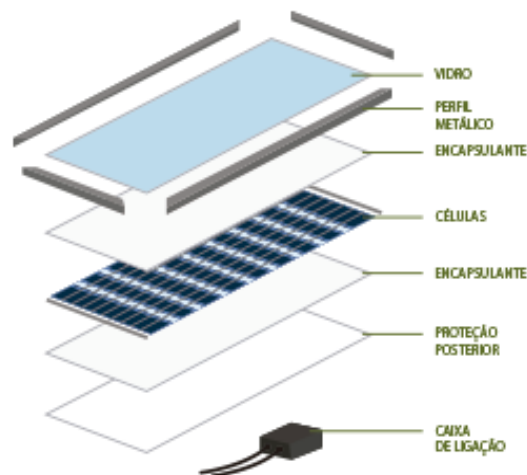
Tecnologia	Eficiência Máxima feita em laboratório (Placa)	Eficiência Máxima feita em laboratório (Módulo)	Fabricação/Indústria
Mono	24,7%	22,7%	12 a 16%
Poli	19,8%	15,3%	11 a 14%
Amorfo	12,7%	-	5 a 8 %

Fonte: Ciência Viva (2015)

## 2.4 MÓDULO FOTOVOLTAICO

Os módulos fotovoltaicos são um conjunto de células fotovoltaicas unidas formando arranjos para aumentar o nível de tensão, como apresentado na Figura 8. (ALVARENGA, 2017)

FIGURA 8 - COMPONENTE DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO

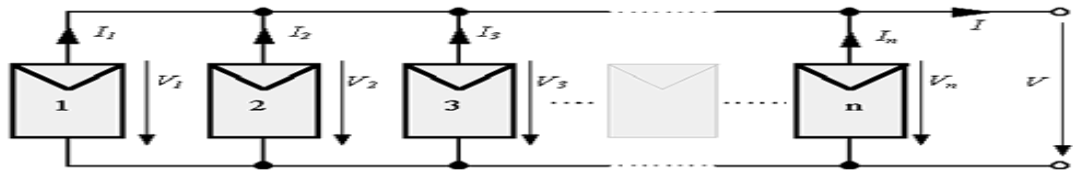


Fonte: PINHO (2013)

Como as células fotovoltaicas são extremamente quebradiças, é necessária uma proteção extra contra choques mecânicos, garantindo a integridade física da mesma. A partir de um arranjo de células fotovoltaicas pode-se utilizar dois tipos de associações, em série ou em paralelo (ASSOCIAÇÃO, 2016).

Conectando as células em paralelo, Figura 9, é possível somar as correntes de cada módulo mantendo a tensão do módulo igual à da célula. Dessa forma a corrente produzida pelo efeito fotovoltaico é contínua.

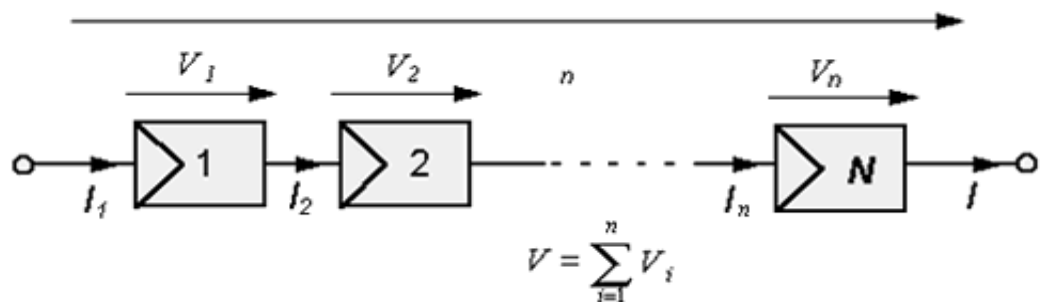
FIGURA 9 - CONEXÃO DE CÉLULAS EM PARALELO



Fonte: PINHO; GALDINO (2014)

A conexão mais comum de células fotovoltaicas em módulos é o arranjo em série, Figura 10. Este consiste em agrupar o maior número de células em série onde somam-se as tensões das células chegando a um valor final de doze volts, possibilitando a conexão com acumuladores de energia como baterias estacionárias, que possuem tensão de operação na faixa de 12 V (PINHO; GALDINO, 2014).

FIGURA 10 - CONEXÃO EM CÉLULAS EM SÉRIE



Fonte: PINHO; GALDINO (2014)

#### 2.4.1 Escolha do Painel

Antes de escolher um painel fotovoltaico, se faz necessário analisar alguns pontos para assim tomar a melhor decisão (PORTALSOLAR, 2018). Esses pontos são:

- Garantia do Painel – Para saber em que período, você tem o amparo caso o produto apresente defeito;
- Eficiência - Quanto maior a eficiência do painel, mais watts por  $m^2$  vai gerar;
- Fabricante bem-conceituada no mercado;

- Tipo de Pannel – Para cada aplicação um tipo de pannel;
- Tolerância da Potência – É a variação entre a potência indicada e a energia gerada, normalmente indicada como +/- 5%;

Considerando que a área para implantação é limitada, escolha-se o menor pannel com a maior eficiência.

Para painéis fotovoltaicos de Silício cristalino (os painéis mais utilizados no mercado), a eficiência comercial vai de 13% a 16%, sendo que quando a eficiência indicada for maior que 16% ele é considerado um pannel solar fotovoltaico (placa fotovoltaica) “premium”. (<https://www.portalsolar.com.br/escolhendo-o-pannel-fotovoltaico--10-coisas-para-saber.html>)

A seleção da placa solar foi realizada de acordo a tabela de eficiência energética do INMETRO. O pannel selecionado é da fabricante Canadian Solar, modelo CS6X-335M, devido possuir uma eficiência de 17,2% sendo líder de mercado entre os modelos *Premium*.

**FIGURA 11 - TABELA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INMETRO**

<i>Empresa</i>	CANADIAN SOLAR BRASIL COMERCIALIZAÇÃO, IMPORTAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE
<i>Marca</i>	Canadian Solar
<i>Modelo</i>	CS6X-335M
<i>Material</i>	Si-Mono
<i>Comprimento</i>	1968
<i>Largura</i>	996
<i>Área</i>	1,96
<i>Peso</i>	27,5
<i>Potência</i>	335W
<i>Eficiência</i>	17,2
<i>Classificação Energética</i>	A

Fonte: INMETRO (2016).

O modelo escolhido de acordo o fabricante tem uma potência nominal de 335 W, tolerância de 2%.

## 2.5 INVERSORES

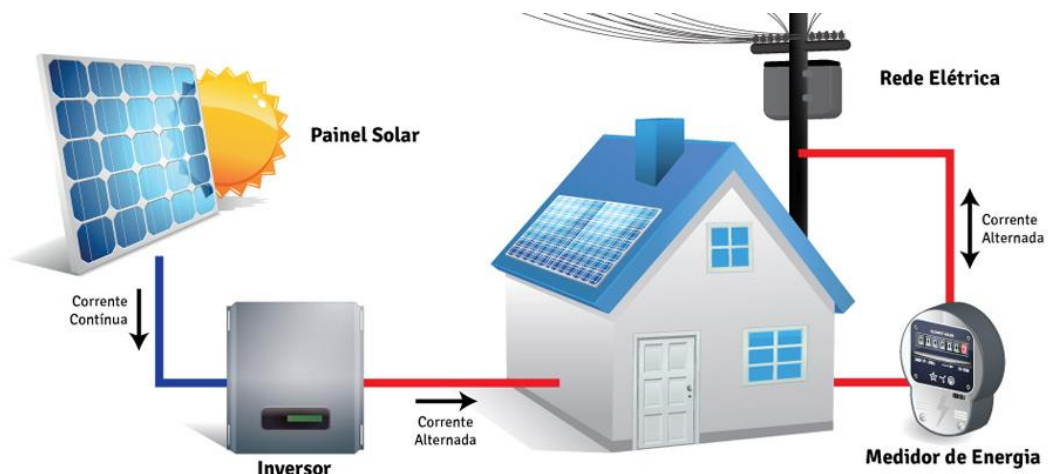
Os inversores são importantes equipamentos utilizados em sistemas fotovoltaicos. Ele é responsável por converter a corrente contínua do pannel

fotovoltaico em corrente alternada, que deve corresponder ao sistema elétrico local (PINHO, GALDINO, 2014).

No mercado existe uma vasta gama de modelos visando atender as especificações de projetos de diversas áreas. O inversor pode ter uma ferramenta de comunicação entre o usuário e a aplicação, de forma que é possível monitorar as condições de funcionamento, gerando relatórios para uma análise posterior.

Para SOUZA (2012), existem dois tipos de inversores para a geração solar: *Grid-tie* e *Off-Grid*. O mais utilizado é o *Grid-tie* (traduzido como “conectado à rede”) que conecta o sistema fotovoltaico diretamente a rede de distribuição, de acordo a Figura 12.

**FIGURA 12 - MODELO GRIDE-TIE**

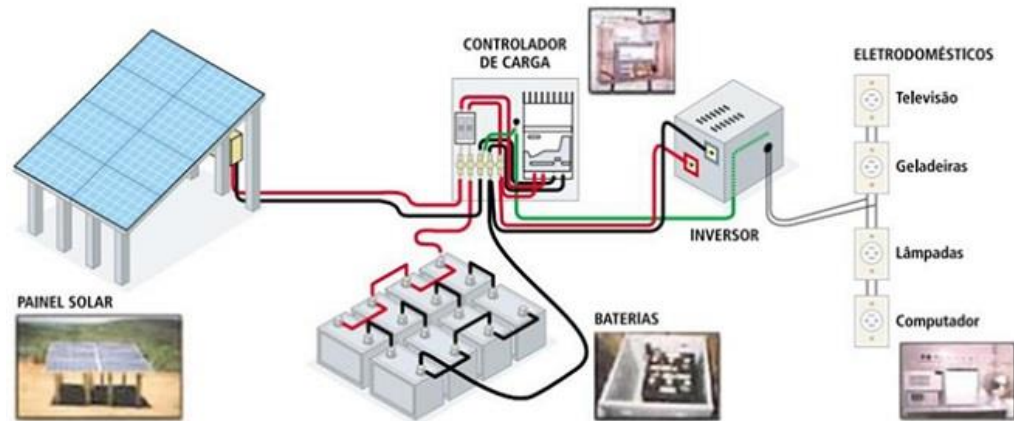


Fonte: T8M (2016)

O *Off-Grid* (traduzido como “fora da rede”) se difere por trabalhar desconectado da rede de distribuição, operando no modo conectado a um banco de baterias, de acordoa Figura 13.



**FIGURA 13 - MODELO OFF-GRID**



Fonte: PINHO; GALDINO (2014)

### 2.5.1 Escolha do Inversor

O inversor é um dispositivo eletrônico que fornece energia elétrica e corrente alternada a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua. A energia CC pode ser proveniente de baterias, células a combustível, módulos fotovoltaicos, entre outros. A tensão CA de saída deve ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequado às cargas a serem alimentadas. Adicionalmente, no caso de sistemas conectados à rede elétrica a tensão de saída do inversor deve ser sincronizada com a tensão da rede (JOAO TAVARES PINHO, MARCO ANTONIO GALDINO, 2014).

No manual de engenharia para Sistema Fotovoltaico (2014), é pontuado em relação a eficiência dos inversores que, segundo os critérios no RAC (Requisito de Avaliação da Conformidade), para equipamentos fotovoltaicos a eficiência do inversor deverá ser superior a 80% na faixa de operação entre 10% e 50% da potência nominal e igual ou superior a 85% na faixa entre 50% e 100% da potência nominal. Dentre os inversores atuais, já existem inversores com especificações que podem chegar de 85% a 90%. É necessário, portanto, observar critérios de qualidade para o inversor. O Quadro 4 apresenta tais critérios:

#### QUADRO 4- CRITÉRIOS DE QUALIDADE DO INVERSOR

Alta frequência de conversão
Alta confiabilidade e baixa manutenção
Operação em uma faixa ampla de tensão de entrada
Boa regulação na tensão da saída
Forma de onda senoidal com baixo conteúdo harmônico
Baixa emissão de ruído audível
Baixa emissão de interferência eletromagnética
Segurança tanto para as pessoas quanto para a instalação
Garantia de fábrica de pelo menos 2 anos

Fonte: SOLAR (2017)

O inversor deve ter a etiqueta do registro do INMETRO, com isso sabe-se que o equipamento passou por ensaios e foi aprovado de acordo as condições nominais, autoconsumo, eficiência, distorção harmônica, e sobrecarga em ambiente controlado, como exemplificado na Figura 14.

FIGURA 14 - ETIQUETA INMETRO

 <b>Multivisi Distribuidora de Mercadoria Eirele-ME</b> CNPJ: 15.870.823/0001-45 RUA. TUPACIGUARA, Nº 140- NOSSA SENHORA APARECIDA - UBERLÂNDIA - MG - CEP: 38.400-618 - SAC: (34) 3257-0840 PRODUTO DEVIDAMENTE REGISTRADO NO INMETRO NÚMERO DE REGISTRO <b>003301/2017</b>	
TIPO (Tecnologia da Bateria)	INVERSOR SOLAR CONECTADA À REDE
MODELO (Código comercial)	KSG-3K-SM
TENSÃO NOMINAL	220 V
Requisitos de Avaliação de Conformidade para Sistemas e equipamentos para Energia Fotovoltaica - Portaria Inmetro nº 0004/2011 Instruções de instalação e recomendações de uso, leia o manual do aparelho	
 <b>PROCEL</b>	PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
<b>ESTE PRODUTO TEM SEU DESEMPENHO APROVADO PELO INMETRO E ESTÁ EM CONFORMIDADE COM O PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM</b>	
	

Fonte: SOLAR (2018)

## 2.6 MÉTODO DE ANÁLISE FINANCEIRA

Buscar um retorno lucrativo e sustentável é a essência das razões para a execução de investimentos como geração de dinheiro. Para que haja a criação de valor, os custos dos capitais devem ser menores que os retornos destes

investimentos, fazendo com que os valores líquidos dos resultados sejam positivos, somando capital para o investidor e para o próprio investimento (MARQUEZAN, 2006).

A avaliação básica de um projeto de investimento envolve um conjunto de técnicas, sendo necessária a análise criteriosa dos métodos para que se possam compreender os reflexos nos resultados financeiros. Braga (1995), Motta e Calôba (2002), Souza e Clemente, (2004), Casarotto e Kopittke (2008) e Hoji (2010) citam como métodos de análise o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Prazo de Retorno do Investimento Inicial (*Payback*) (LIZOTE, *et al.*, 2014).

### 2.6.1 Payback

De acordo Motta (2009), o *Payback* é denominado como o tempo de retorno do investimento, ou seja, o período que se leva para recuperar o investimento.

O *Payback* (ou período de *Payback*) é o método mais simples para se analisar a viabilidade de um investimento. Para calcular o período de *Payback* de um projeto basta somar os valores dos fluxos de caixa auferidos, período a período, até que essa soma se iguale ao valor do investimento inicial (PAYBACK, 2016).

### 2.6.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Segundo Souza e Clemente (2009), o VPL (Valor Presente Líquido) é a concentração de todos os valores na data zero de um fluxo de caixa e, para BANGS (2000), é uma técnica que transmite os valores monetários do investimento mensurado pela diferença entre o valor presente da entrada e o valor presente da saída, a uma determinada taxa.

As etapas para calcular o VPL são as seguintes:

- Calcular o valor presente de cada fluxo de caixa – fluxos positivos e negativos – descontado pelo custo de capital do projeto.
- Somar estes fluxos de caixa descontados. O resultado é o VPL do projeto.

- Se o VPL for positivo, o projeto é aceitável. Se for negativo, deve ser rejeitado. Entre projetos mutuamente excludentes de VPL positivo, o de VPL mais elevado deve ser escolhido.

Para encontrar o VPL, usa-se segundo Motta e Calôba (2002) a fórmula:

$$VPL = -CF_0 + \sum \frac{CF_j}{(1+i)^n} \quad \text{Equação 1}$$

Onde :

$CF_0 =$  Investimento Inicial

$CF_j =$  Fluxo de caixa

$i =$  Taxa Mínima de Atratividade

$n =$  Período

De acordo Casarotto e Koppitke (2000), a TMA representa a taxa mínima atrativa que os investidores esperam alcançar de um projeto. Espera-se que seja proporcional à rentabilidade de outras aplicações realizadas e de pouco risco.

### 2.6.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Para Gitman (2007), a Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de desconto que iguala o valor presente líquido (VPL) de um investimento a zero pois o valor presente das entradas se iguala ao investimento inicial.

Para análise da TIR, Motta e Calôba (2002) apresentam a equação da seguinte maneira:

$$CF_0 + \sum \frac{CF_n}{(1 + TIR)^n} = 0$$

*Equação 2*

Onde:

$CF_0 =$  Fluxo de caixa inicial

$CF_j =$  Fluxo de caixa de entradas

$n =$  Período

$TIR =$  Taxa Interna de Retorno

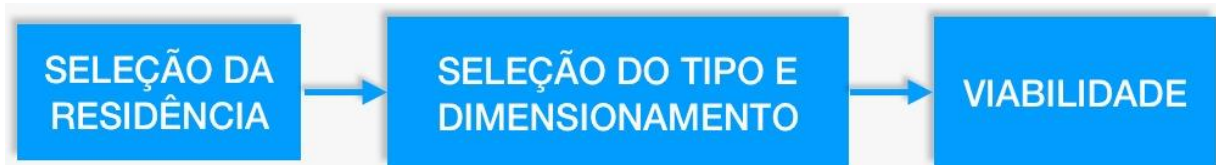
Para Casarotto e Kopittke (2000), a regra do método TIR consiste em:

- $TIR > TMA$  – investimento deve ser aceito.
- $TIR = TMA$  – é indiferente investir.
- $TIR < TMA$  – investimento deve ser recusado.

### 3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O presente trabalho utiliza em sua execução a linha de raciocínio presente no diagrama em blocos apresentado na Figura 15.

**FIGURA 15 – DIAGRAMA EM BLOCOS DO PROJETO**



Fonte: Autoria Própria

O primeiro bloco trata da identificação dos parâmetros referentes ao local selecionado para instalação do projeto. No segundo bloco, é identificado a seleção do tipo e dimensionamento e como realizá-lo. O terceiro bloco consiste na análise da viabilidade financeira do projeto resultante, que será apresentada no capítulo 4.

Os blocos 1 e 2 apresentados na Figura 15 serão apresentados de forma detalhada nas próximas seções.

#### 3.1 SELEÇÃO DA RESIDÊNCIA

Nesta seção são explanados os detalhes e peculiaridades da residência escolhida para o estudo. São analisados fatores como posição geográfica e perfil de consumo energético em paralelo com a área disponível para instalação do projeto, conforme diagrama da Figura 16.

**FIGURA 16 – Seleção da residência**



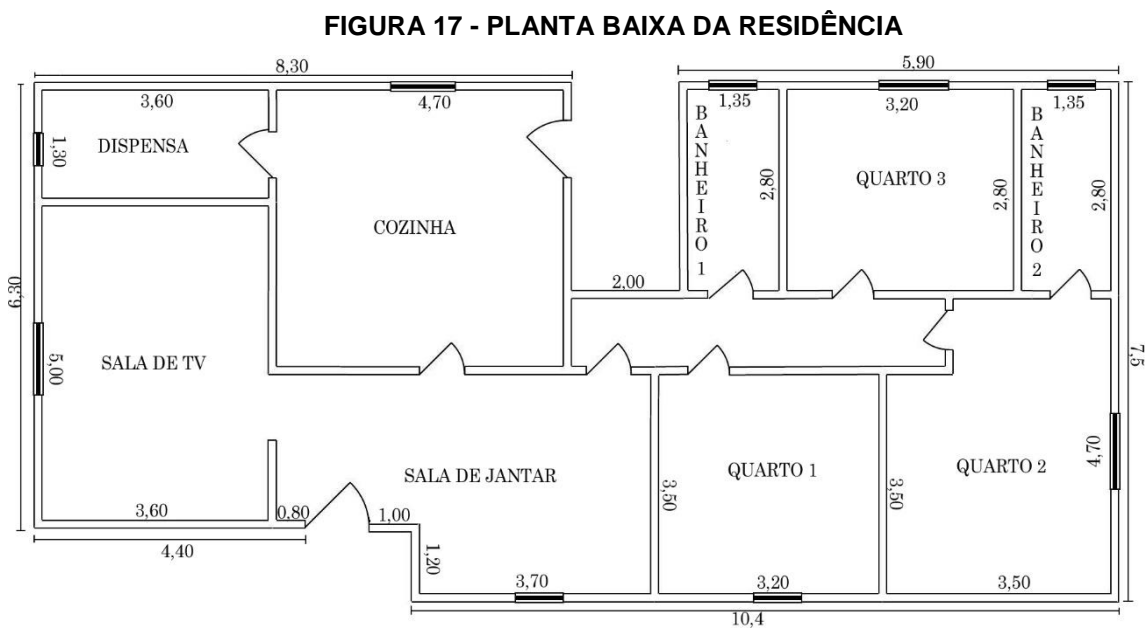
Fonte: Autoria Própria

### 3.1.1 – Identificação da Posição Geográfica

Para a instalação da microgeração distribuída, foi selecionada uma residência de 121 m<sup>2</sup> localizada em Campo Mourão/PR e habitada por quatro integrantes. Com o auxílio de um software que apresenta o globo terrestre em um modelo tridimensional (*Google Earth*), foi obtido a posição geográfica aproximada da residência, sendo a latitude 24,03° S e a longitude 52,37° W.

### 3.1.2 – Perfil Energético de Consumo

A residência selecionada contém três quartos, dois banheiros, uma cozinha, uma sala de televisão, uma sala de jantar e uma dispensa. Esta pode ser observada na Figura 17 da planta baixa a seguir:



Fonte: Autoria Própria

A residência tem um perfil energético atípico e oscilatório em seu consumo. De acordo a tabela 2, é possível constatar tal oscilação.

TABELA 2 – CONSUMO MENSAL DE 2017

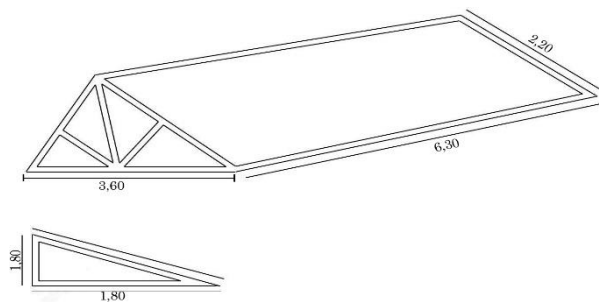
MÊS	CONSUMO
12/2017	559 kWh
11/2017	424 kWh
10/2017	428 kWh
09/2017	543 kWh
08/2017	237 kWh
07/2017	231 kWh
06/2017	256 kWh
05/2017	231 kWh
04/2017	352 kWh
03/2017	577 kWh
02/2017	633 kWh
01/2017	793 kWh
MÉDIA	438 kWh

Fonte: Autoria Própria

### 3.1.3 Área Disponível Para Instalação

O material utilizado no telhado consiste em fibrocimento Eternit 3,66 x 8 mm, com as dimensões de acordo a Figura 18.

**FIGURA 18 - TELHADO**



Fonte: Autoria Própria

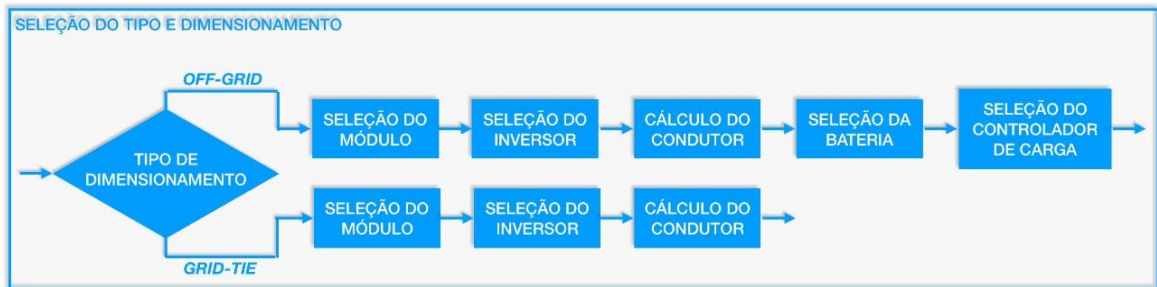
A área tem um total de 17 m<sup>2</sup> para instalação das placas fotovoltaicas.



## 3.2 SELEÇÃO DO TIPO DE DIMENSIONAMENTO E DESENVOLVIMENTO

Apresenta-se, nesta seção, a estratégia utilizada para desenvolvimento técnico do projeto para o dimensionamento *Grid-Tie* e *Off-Grid*. Uma breve abordagem sobre a lógica de como se dará o desenvolvimento é apresentada na Figura 19.

**FIGURA 19 – Seleção do tipo e dimensionamento**



Fonte: Autoria Própria

### 3.2.1 Dimensionamento - *Grid-tie*

#### 3.2.1.1 Módulos

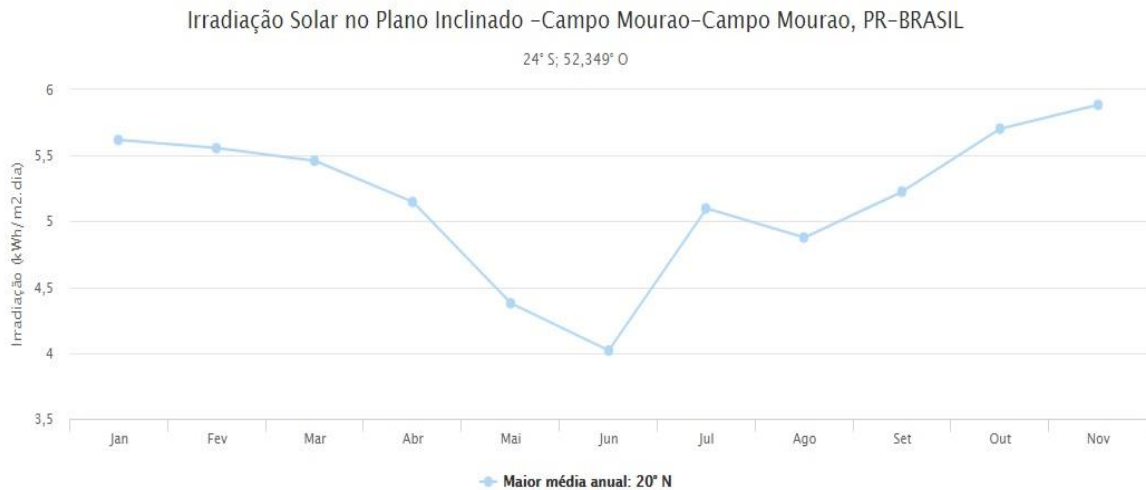
Para começar o dimensionamento dos módulos, precisa-se fazer o levantamento da demanda de energia elétrica na residência nos últimos 12 meses. De acordo a tabela 1, observamos a demanda com uma média mensal de 438 kWh/mês.

Utilizando o “Potencial Solar - SunData v 3.0” da CRESESB, que é um software destinado ao cálculo da irradiação solar diária, em qualquer ponto do território nacional, busca-se o histórico de medições de irradiação solar para a posição geográfica da nossa residência. A partir do banco de dados conforme, Figura 20, temos a irradiação para cidade de Campo Mourão:

**FIGURA 20 - IRRADIAÇÃO CAMPO MOURÃO**

Estação: Campo Mourao  
 Município: Campo Mourao , PR - BRASIL  
 Latitude: 24° S  
 Longitude: 52,349° O  
 Distância do ponto de ref. ( 24,027° S; 52,369° O ):3,6 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	6,09	5,73	5,26	4,54	3,58	3,16	3,40	4,33	4,56	5,28	6,11	6,47	4,88	3,31
<input type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	24° N	5,47	5,47	5,44	5,21	4,49	4,15	4,37	5,20	4,89	5,16	5,57	5,71	5,09	1,57
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	20° N	5,62	5,56	5,46	5,15	4,38	4,02	4,25	5,10	4,88	5,23	5,70	5,88	5,10	1,87
<input type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	43° N	4,58	4,80	5,09	5,26	4,78	4,53	4,73	5,38	4,70	4,63	4,71	4,70	4,82	,85



Fonte: POTENCIAL (2018)

Com a latitude e longitude, informa-se os valores, para uma angulação de 20°, que resultou uma média de irradiação de 5,10 kWh/m<sup>2</sup> dia.

Villalva (2012) , cita a equação para calcular a potência do painel fotovoltaico, de acordo a especificação do projeto.

$$P_{FV} = \frac{E.G}{H_{TOT.PR}}$$

Equação 3

Sendo:

$P_{FV}$  = Potência do painel fotovoltaico

$E$  = Energia elétrica diária média

$G$  = É a irradiação no padrão de teste

$H_{TOT}$  = Irradiação diária média

*PR = Corresponde ao performanceratio, que é o desempenho global do sistema fotovoltaico*

Para encontrar a energia diária média que um painel fotovoltaico deve produzir tem:

$$Energia_{Diária} = \frac{438 - 100}{30} = 11,27 \text{ kWh/dia} \quad \text{Equação 4}$$

$$P_{FV} = \frac{11,27.1}{5,10.0,75} = \frac{11,27}{3,825} = 2,946 \text{ kWp} \quad \text{Equação 5}$$

Nosso conjunto de painel fotovoltaicos é denominado módulo, e para o projeto existe a necessidade de um módulo de 2,946 kWp, como demonstrado nos cálculos acima.

Para atender o projeto em questão foi escolhido o painel solar CS6X-335M da Canadian Solar, do tipo Policristalino de 260 W. O módulo será formado por 12 painéis fotovoltaicos ligados em paralelo. Dessa maneira o módulo terá uma potência de 3120 Wp atendendo 100% a demanda calculada.

O painel fotovoltaico escolhido tem o selo de qualidade internacional, com a certificação do INMETRO possuindo a nota A. A fabricante disponibiliza garantia de 10 anos para defeitos de fabricação e até 20 anos para geração de energia, vide Figura 21.

A Canadian Solar é líder mundial na fabricação de painéis, se destacando na qualidade e eficiência de seus produtos. O CS6X-335M em condições de insolação ideais produz 260 W, 8,39 A e 31 V. Ele apenas foi aprovado para comercialização depois de passar por testes exigentes de qualidade, como teste de impacto de granizo, resistência mecânica, vento e torção. Além da eficiência um outro diferencial para os demais modelos é a espessura de 4,6 cm, pesando 20 kg com dimensões de 1662 x 990 x 46 mm.

### 3.2.1.2 Inversor

De acordo Villalva (2012), a potência dos módulos deve ser maior do que a potência do inversor. Para o projeto foi adotado que a potência dos painéis é 115% a potência do inversor.

Sendo assim, tem-se que a potência dos painéis é 3120 W logo a potência do inversor será igual ou maior que 2713 W. Não existe nenhuma norma dizendo que é preciso ter apenas um inversor para atender toda a potência do projeto, pode acontecer a divisão dos módulos com inversores.

Foi escolhido o inversor *string Fronius Primo 3.0-1* com potência de 3000 W, da empresa austríaca *Fronius* que está no mercado brasileiro a mais de 15 anos sendo uma referência em inversor solar.

O *Fronius primo 3.0-1*, Figura 22, é um dos inversores mais modernos existentes na atualidade contendo a opção de conexão sem fio, que é capaz de transmitir informações para computador ou *smartphone* em tempo real sobre a energia gerada. É um inversor que pesa 21,5 Kg, tendo o uso exclusivo apenas para sistemas conectados à rede da concessionária. É um inversor com dimensões (AxLxC) : 64,5 cm x 43,1 cm x 20,4 cm , apresentando um IP (Grau de proteção) 65 e uma eficiência de 97,6% , podendo ser instalado tanto na parte interna ou externa da residência.

A empresa austríaca oferece em seus produtos 2 anos de garantia contra defeitos de fabricação, que podem ser prolongados até 7 anos. Esse prolongamento é disponibilizado se o usuário registrar o inversor com seu número de série no site da solarweb ( [www.solarweb.com](http://www.solarweb.com)).

**FIGURA 22 - INVERSOR FRONIUS PRIMO 3.0**



Fonte: FRONIUS (2018)

### 3.2.1.3 Condutores

Para calcular a corrente que o inversor vai entregar é necessário fazer um cálculo de acordo a formula a seguir:

$$P_{inv} = V_f \times I \times 3$$

*Equação 6*

$$P_{inv} = V_f I = \frac{3000}{127 \times 3}$$

$$I = \frac{3000}{127 \times 3}$$

$$I = 7,8 A$$

*P<sub>inv</sub> = Potência do Inversor*

*V<sub>f</sub> = Tensão entre fase e neutro*

*I = Corrente*

Os condutores escolhidos para o projeto são de cobre, com isolamento de PVC, bitola de 1,5 mm<sup>2</sup> com uma temperatura máxima de 70°C, dimensionados de acordo com a tabela 36 da norma NBR 5410 (pág 101).

### 3.2.2 Dimensionamento - *Off-Grid*

#### 3.2.2.1 Módulos

Será utilizado o mesmo módulo de acordo o dimensionamento *Grid-Tie*. Pois o dimensionamento é para 100% da demanda, já calculado no item 3.2.1.1.

#### 3.2.2.2 Inversor

O inversor *Off-Grid* escolhido é da fabricante Hayonik de 3000 W, Figura23. Moderno e seguro, ele contém dispositivo de desligamento automático quando houver um curto-circuito na saída e quando a bateria está muito descarregada, aviso sonoro e indicador de funcionamento com LED. A escolha foi decidida a partir da especificação do inversor encaixar diretamente no dimensionamento além de uma alta eficiência.

Um equipamento com dimensões (C x L x A) 250 x 230 x 410 mm, pesando 6 kg, com uma eficiência superior a 80%.

A Hayonik é uma empresa brasileira com forte atuação em inversores, disponibilizando 3 meses de garantia e assistência técnica no Brasil (HAYONIK, 2018).

**FIGURA 23 - INVERSOR OFFGRID 3000W – HAYONIK**



Fonte: HAYONIK (2018)

#### 3.2.2.3 Bateria

Para sistemas fotovoltaicos não conectados à rede se faz necessário uma

fonte alternativa para períodos que tenha pouca ou nenhuma energia solar. No caso do sistema *Off-Grid*, a alternativa são as baterias.

São baterias chamadas estacionárias ou de ciclo profundo, pois suportam grandes descargas de energia que uma bateria comum não suportaria (BATERIA, 2018).

Para Pinho e Galdino (2014), uma bateria estacionária usada em um sistema *Off-Grid*, deve atender a dois tipos de ciclos:

- Ciclos rasos a cada dia;
- Ciclos profundos por vários dias (tempo nublado) ou semanas (durante o inverno).

Os ciclos profundos devem ocorrer se o carregamento não for suficiente para repor a quantidade de carga usada durante todo o dia. Dessa maneira, o estado de carga depois de cada ciclo diário é reduzido e, se isso acontecer consecutivamente, levará a um ciclo profundo. Quando as condições meteorológicas voltarem a ser favoráveis, volta a acontecer o carregamento extra, aumentando o estado de carga depois de cada ciclo diário.

Para fazer o dimensionamento da bateria, se faz necessário o levantamento das cargas da residência, somando os valores de consumo, de acordo a Figura 24, de cada aparelho e assim descobrir a demanda diária de energia.

FIGURA 24 - QUADRO DE CONSUMO

Aparelho	Potência (W)	Uso Diário Médio (h)	Consumo Diário (Wh/dia)	Aparelho	Potência (W)	Uso Diário Médio (h)	Consumo Diário (Wh/dia)
Lâmpada LED 	10	4,0	40	Geladeira Simples 	200	24,0	1.920
Lâmpada FL. 	20	4,0	80	Geladeira Duplex 	300	24,0	2.880
Chuveiro Elétrico	4.500	0,5	2.250	Freezer Horizontal 	500	24,0	4.800
Computador 	300	2,0	300	Freezer Vertical 	300	24,0	2.880
Ar Condicionado 	1.400	3,0	1.680	Forno Microondas 	1.300	0,5	650
Aquecedor de ar 	1.000	3,0	1.500	Forno Elétrico 	4.500	0,5	2.250
Televisor 21" 	90	3,0	270	Boiler (res. termic) 	2.000	12,0	9.600
Ventilador 	100	3,0	300	Ferro Elétrico 	1.000	0,5	500
Rádio Relógio 	10	3,0	30	Fogão Elétrico G. 	6.000	0,5	3.000
Aparelho de som 	40	3,0	120	Secador de Cabelo 	1.000	0,5	500
Cafeteira Elétrica 	600	0,5	300	Impressora 	45	0,3	11
Churrasqueira Elétrica 	3.000	0,5	1.500	Liquidificador 	200	0,3	50
Aspirador de Pó 	600	0,5	300	Máquina de Lavar Roupa 	1.000	0,5	500
Bomba de Água 	400	2,0	800	Secadora de Roupas 	3.500	0,5	1.750
Cortador de Grama 	1.300	0,5	650	Torneira Elétrica 	2.500	0,5	1.250
Exaustor 	150	2,0	300	Vídeo Game 	20	0,5	10

Fonte: CONSUMO (2018)

A residência tem as cargas apresentadas na Tabela 3.

TABELA 3 – LEVANTAMENTO DE CARGA

APARELHO	QUANTIDADE	CONSUMO DIÁRIO (Wh/dia)	QUANTIDADE CONSUMO
LAMPADA LED	15	40	600
COMPUTADOR	4	300	1200
AR CONDICIONADO	2	1680	3360
TELEVISÃO	3	270	810
VENTILADOR	2	300	600
GELADEIRA SIMPLES	1	1920	1920
FREEZER	1	2880	2880
FERRO	1	500	500
SECADOR DE CABELO	1	500	500
IMPRESSORA	1	11	11
LIQUIDIFICADOR	1	50	50
MÁQUINA DE LAVAR	1	500	500
VIDEO GAME	1	10	10
MICROONDAS	1	650	650
EXAUSTOR	1	300	300
TOTAL	1	300	13891Wh/dia

Fonte: Autoria Própria

Em cima do consumo diário, podemos dimensionar o banco de bateria de acordo com a quantidade de dias de *back-up* desejado. Esse período consiste, em quantos dias o sistema continuará operando mesmo sem sol.



Para continuar, temos que seguir os seguintes passos propostos por SOUZA (2016):

- Escolher quantos dias de *back-up*;
- Encontrar o fluxo a quantidade do fluxo de corrente, dividindo o consumo diário pela tensão do banco de bateria;
- Multiplicar o fluxo de corrente pela quantidade de dias do *back-up*;
- Considerar o limite de descarga máxima de até 70% da carga da bateria;
- Tomar a capacidade de fluxo de corrente necessária e dividir por 70% para encontrar a capacidade nominal do banco de bateria;

Seguindo os passos tem-se que:

- Escolher quantos dias de *back-up*: 2 dias;
- Encontrar o fluxo da quantidade de corrente, dividindo o consumo diário pela tensão do banco de bateria:

$$Fluxo = \frac{13891}{12} = 1157 \text{ Ah/dia}$$

- Multiplicar o fluxo de corrente pela quantidade de dias do *back-up*:

$$Fluxo * back - up = 1157 * 2 = 2314Ah$$

- Tomar a capacidade de fluxo de corrente necessária e dividir por 70% para encontrar a capacidade nominal do banco de bateria:

$$\frac{Fluxo * back - up}{70\%} = \frac{2314}{70\%} = 3305Ah$$

Desse modo, a capacidade conjunta do banco de baterias deve ser de 3305 Ah (DIMENSIONAR, 2016).

Para o projeto foi escolhido a bateria Freedom DF4001, Figura 25, com capacidade  $C_{20} = 220Ah$ , assim serão necessárias 15 baterias para atender à necessidade.

**FIGURA 25 - BATERIA FREEDOM**

Fonte: ESTACIONÁRIA (2018)

As baterias estacionárias Freedom, são homologadas pela Anatel (homologação 1216-07-3962) com certificação ISO 9002, 14000, 16949.

A fabricante disponibiliza uma garantia de 2 anos, e a bateria tem dimensão de (C x L x A) = 525 mm X 275 mm x 250 mm com peso de 60,3 kg.

#### 3.2.2.4 Controlador de Carga

De acordo Pinho e Galdino (2014), controlares de carga são incluídos na maioria dos SFI (Sistema Fotovoltaicos Isolados) com o objetivo de proteger a bateria (ou banco de baterias) contra cargas e descargas excessivas, aumentando a sua vida útil. Eles são essenciais na sua utilização, pois eles devem desconectar o sistema fotovoltaico quando a bateria atingir a carga plena e interromper o fornecimento quando o estado de carga da bateria atingir um nível mínimo de segurança.

Para dimensionar o controlador é necessário levantar a informação do consumo diário por hora (Wh).

De acordo com a tabela 3 temos o total 13891 Wh por dia, dividindo por 24 horas temos 580 Wh. Agora divide-se este valor pela tensão do sistema obtendo a corrente que será necessária para escolher o controlador (DIMENSIONAMENTO, 2018).

$$\frac{580}{12} = 48 A$$

Foi escolhido para o projeto o controlador de carga da fabricante SUNERGY, modelo WS-MPPT60, Figura 26, com garantia de 180 dias.

**FIGURA 26 - CONTROLADOR SUNERGY MPPT60**



Fonte: CONTROLADOR (2018)

## 4. RESULTADOS

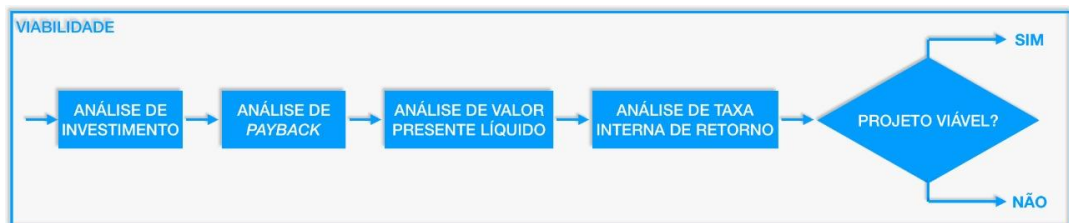
Apresenta-se, neste capítulo, uma análise sobre a viabilidade financeira do projeto em questão.

### 4.1 VIABILIDADE

De acordo CONCEITO (2011), a análise de viabilidade é o estudo que procura analisar o possível êxito ou fracasso de um projeto.

Para o presente trabalho será seguido uma ordem de processo para caracterizar se o projeto é viável ou não, de acordo a Figura 27, a seguir:

**FIGURA 27 – Viabilidade**



Fonte: Autoria Própria

#### 4.1.1 Investimento em equipamento

As tabelas 4 e 5 apresentam as descrições e especificam o custo de cada equipamento e da instalação do sistema fotovoltaico.

**TABELA 4 - DESCRIÇÃO CUSTO GRID-TIE**

Fabricante	Modelo	Descrição	Preço	Unidade	Custo Total
Canadian Solar	CS6X-335M	Painel Fotovoltaico	R\$755,00	12	R\$9.060,00
Fronius	Primo 3.0-1	Inversor	R\$8.690,00	1	R\$8.690,00
-	-	Materiais Elétricos (estimativa)	-	-	R\$1.000,00
-	-	Mão de Obra (estimativa)	-	-	R\$1.500,00
		<b>Total</b>			<b>R\$20.250,00</b>

Fonte: Autoria Própria

**TABELA 5 - DESCRIÇÃO CUSTO OFF-GRID**

Fabricante	Modelo	Descrição	Preço	Unidade	Custo Total
Canadian Solar	CS6X-335M	Painel Fotovoltaico	R\$755,00	12	R\$9.060,00
Hayonik	3000W	Inversor	R\$1.399,00	1	R\$1.399,00
Freedom	DF4001	Bateria	R\$1.419,00	15	R\$21.285,00
Sunergy	MPPT60	Controlador	R\$699,00	1	R\$699,00
-	-	Instalação Elétrica (estimativa)	-	-	R\$1.000,00
-	-	Mão de obra (estimativa)	-	-	R\$1.500,00
		Total			R\$34.943,00

Fonte: Autoria Própria

#### 4.1.2 Análise *Payback*

Para fazer a análise do *Payback*, vamos levar em consideração o período de 25 anos que é o maior tempo de garantia dado pelo fabricante. O fluxo de caixa de cada ano será o valor do somatório gasto com o fornecimento de energia no decorrer de um ano (R\$3.755,36).

Para o Sistema *Grid-Tie* temos um investimento de R\$20.250,00 e para o *Off-Grid* R\$34.943,00. De acordo Villalva (2016), em ambos os sistemas, se faz necessário um acréscimo de uma margem de manutenção de R\$6.000,00 para os 25 anos de funcionamento, Tabela 6.

**Tabela 6 - FLUXO DE CAIXA E PAYBACK GRID-TIE**

Ano	Valor Investimento (25anos)	Fluxo de Caixa	Payback
0	-R\$26,250,00		
1		R\$3.755,36	-R\$ 22.494,64
2		R\$3.755,36	-R\$ 18.739,28
3		R\$3.755,36	-R\$ 14.983,92
4		R\$3.755,36	-R\$ 11.228,56
5		R\$3.755,36	-R\$ 7.473,20
6		R\$3.755,36	-R\$ 3.717,84
7		R\$3.755,36	-R\$ 37,52
8		R\$3.755,36	R\$ 3.717,84
9		R\$3.755,36	R\$ 7.473,20
10		R\$3.755,36	R\$ 11.228,56

Ano	Valor Investimento (25anos)	Fluxo de Caixa	Payback
11		R\$3.755,36	R\$ 14.983,92
12		R\$3.755,36	R\$ 18.739,28
13		R\$3.755,36	R\$ 22.494,64
14		R\$3.755,36	R\$ 26.250,00
15		R\$3.755,36	R\$ 30.005,36
16		R\$3.755,36	R\$ 33.760,72
17		R\$3.755,36	R\$ 37.516,08
18		R\$3.755,36	R\$ 41.271,44
19		R\$3.755,36	R\$ 45.026,80
20		R\$3.755,36	R\$ 48.782,16
21		R\$3.755,36	R\$ 52.537,52
22		R\$3.755,36	R\$ 56.292,88
23		R\$3.755,36	R\$ 60.048,24
24		R\$3.755,36	R\$ 63.803,60
25		R\$3.755,36	R\$ 67.558,96

Fonte: Autoria Própria

Verifica-se a tabela 6, que o Payback do projeto acontece no ano 8, o que significa que o retorno começa a partir do oitavo ano.

A partir do ano 8, até o ano 25 a implantação retornará R\$67.558,96.

**TABELA 7 - FLUXO DE CAIXA E PAYBACK OFF-GRID**

Ano	Valor Investimento (25anos)	Fluxo de Caixa	Payback
0	-R\$40.943,00		
1		R\$3.755,36	-R\$ 37.187,64
2		R\$3.755,36	-R\$ 33.432,28
3		R\$3.755,36	-R\$ 29.676,92
4		R\$3.755,36	-R\$ 25.921,56
5		R\$3.755,36	-R\$ 22.166,20
6		R\$3.755,36	-R\$ 18.410,84
7		R\$3.755,36	-R\$ 14.655,48
8		R\$3.755,36	-R\$ 10.900,12
9		R\$3.755,36	-R\$ 7.144,76
10		R\$3.755,36	-R\$ 3.389,40
11		R\$3.755,36	R\$ 365,96
12		R\$3.755,36	R\$ 4.121,32
13		R\$3.755,36	R\$ 7.876,68
14		R\$3.755,36	R\$ 11.632,04
15		R\$3.755,36	R\$ 15.387,40
16		R\$3.755,36	R\$ 19.142,76
17		R\$3.755,36	R\$ 22.898,12
18		R\$3.755,36	R\$ 26.653,48
19		R\$3.755,36	R\$ 30.408,84
20		R\$3.755,36	R\$ 34.164,20
21		R\$3.755,36	R\$ 37.919,56
22		R\$3.755,36	R\$ 41.674,92

Ano	Valor Investimento (25anos)	Fluxo de Caixa	Payback
23		R\$3.755,36	R\$ 45.430,28
24		R\$3.755,36	R\$ 49.185,64
25		R\$3.755,36	R\$ 52.941,00

Fonte: Autoria Propria

De acordo a tabela 7, tem-se o *Payback* acontecendo no ano 11, o que resulta que a partir desse ano acarretará o retorno do investimento, e ao final dos 25 anos a implantação do sistema retornará R\$52.941,00.

#### 4.1.3 Valor Presente Líquido (VPL)

Para os cálculos foi escolhido uma taxa de aplicação da poupança, pois é segura e de baixo risco e a rentabilidade é garantida mesmo que baixa, SEABRA (2018). A taxa da poupança é 0,66%, multiplicando por 12 meses, portanto a TMA é 7,92%.

##### 4.1.3.1 VPL *Grid-Tie*

Na equação do VPL, temos que o investimento inicial -R\$26.250,00, mais o somatório de R\$3.755,36 abatido da taxa de 7,92% por um período de 25 anos. Desenvolvendo a equação 1, temos:

$$VPL = -26.250,00 + 40.359,22$$

$$VPL = 14.109,22$$

Depois do cálculo, o VPL obteve o valor de +R\$14.109,22, mostrando que o projeto é viável, pois levando em conta que para o projeto ser aprovado, o VPL teria que ser positivo.

##### 4.1.3.2 VPL *Off-Grid*

Para o sistema *Off-Grid*, a única mudança dos cálculos é o valor do investimento inicial que é -R\$40.943,00. Assim, tem-se:

$$VPL = -40.943,00 + 40.359,22$$

$$VPL = -583,78$$

Em comparação ao VPL *Grid-Tie*, o VPL *Off-Grid* atingiu o valor negativo de -R\$583,78 representando que o projeto não é viável.

#### 4.1.4 Taxa Interna de Retorno (TIR)

As seções a seguir, descrevem a análise desenvolvida para o método TIR.

##### 4.1.4.1 TIR *Grid-Tie*

Para o cálculo da TIR, o  $CF_0$  será de -26.250,00 acompanhado pelo  $CF_j$  de R\$3.755,36 durante um período de 25 anos. Conforme equação 2, tem-se:

Após os cálculos, o valor da TIR é 13,215% consequentemente é maior do que a taxa de atratividade de 7,92%, ocasionando a aprovação do projeto.

##### 4.1.4.2 TIR *Off-Grid*

Agora para a TIR *Off-Grid* o  $CF_0$  é -R\$40.943,00 e os demais dados são idêntico a TIR *Grid-Tie*. Por fim, a TIR resulta um valor de 7,502% que é menor do que a TMA, logo acarretará na reprovação do projeto.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As seções a seguir descrevem os resultados e problemas do desenvolvimento do projeto. Apresenta também uma seção com sugestões para trabalhos futuros.

### 5.1 CONCLUSÃO

No trabalho foram apresentadas duas metodologias de sistema: o *Grid-Tie* que é conectado à rede e o *Off-Grid* que é isolado da rede. Nas duas metodologias foram encontrados resultados opostos.

Para determinar a viabilidade dos projetos, foram utilizadas as técnicas de *Payback*, VPL e TIR, que de acordo o PLANO DE NEGOCIOS (2018), são os principais métodos de análise de investimentos.

Para o sistema *Grid-Tie*, tem-se um investimento inicial de R\$26.250,00. A análise econômica resultou que demorariam 8 anos para se ter o retorno do investimento. Com o VPL calculado de +R\$14.109,22 e a TIR de 13,21%, o investimento se torna viável.

A análise do sistema *Off-Grid*, demonstrou que com um investimento inicial de R\$40.943,00, demorariam 11 anos para acontecer o retorno financeiro. O sistema apresentou um VPL de -R\$583,78 e uma TIR de 7,50%, tornando o investimento inviável. Uma opção para esta problemática seria utilizar a energia fotovoltaica em união com outra fonte de energia. Assim o investimento inicial diminuiria e o resultado passaria a ser viável.

É importante destacar que a energia fotovoltaica é um sistema plausível para o consumidor comum. Além de rentável, auxilia na diversificação da matriz energética existente, diminuindo a dependência de recursos proveniente de hidrelétricas e termoelétricas.

Como foi exposto no presente trabalho o sistema *Off-Grid* não é viável para a proposta da residência, porém para aplicações em lugares remotos como por exemplo, bombeamento de água, eletrificação de cercas se torna viável e é bastante usado para essa finalidade, pois a carga utilizada é pequena.

## 5.2 TRABALHOS FUTUROS

No decorrer do desenvolvimento deste trabalho, foram observados aspectos que podem vir a ser aprimorados, tais como:

- Diversificar o estudo para suprir quantidades como 25%, 50% e 75% da demanda;
- Inserção do estudo para empresas e universidades com diferentes perfis energéticos;
- Implementação de outros sistemas de energia renováveis em paralelo.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 1 ed. Brasília, 2014.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 1 ed. Brasília, 2002. Acesso em 28 de maio de 2016, disponível em ANEEL: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro\\_atlas.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf)>.

ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. Acesso em 09 de maio de 2016, disponível em Solenerg:<<http://www.solenerg.com.br/blog/wp-content/uploads/2012/06/Proposta-ABINEE-PV-no-Brasil-2012.pdf>>.

ALVARENGA, C. A.(2017). **O Módulo fotovoltaico para gerador solar de eletricidade**. Acesso em: 10 de setembro de 2017, disponível em Solenerg :<<http://www.solenerg.com.br/files/Modulo-Fotovoltaico-Solenerg.pdf>>.

ASSOCIAÇÃO - **Associação de painéis solares**. (2016). Acesso em : 10 de maio de 2017, disponível em Leiaudicas :< <https://www.leiaudicas.com/2016/01/3ocapitulo-associacao-de-paineis-solares/>>.

AMORFO - **Painel solar de filme fino**.( 2015) . Acesso em :20 de novembro de 2017, disponível em SolarVolt : <<http://www.solarvoltenergia.com.br/tipos-de-painel-fotovoltaico/>>.

A ENERGIA SOLAR no Brasil e seus Benefícios. (09 de agosto de 2013). **Autossustentável**. Acesso em 13 de maio 2016, disponível em Autossustentável: <<http://www.autossustentavel.com/2013/08/beneficios-energia-solar-brasil.html>>.

BANDEIRAS - **Bandeiras tarifarias**. (2015). Acesso em : 3 de abril de 2017, disponível em Gebras :<<http://www.gebras.com/site/informativos/bandeiras-tarifarias>>.

BARRA, Felipe. [201-?]. **Energias Renováveis Contra o Aquecimento Global**. Acesso em: 05 de maio de 2018, disponível em Greenpeace: <<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/O-que-fazemos/Clima-e-Energia/>>.

BAGNS Jr, David H. **Planejamento de Negócios**. São Paulo: Nobel, 2000.

BATERIA - **Bateria para energia solar:o pulmão do sistema fotovoltaico**. (2018). Acessado em 5 de março de 2018, disponível em Ecycle:<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/69-energia/3405-baterias-corrente-solar-termica-fotovoltaicas-como-funciona-captacao-kit-geracao-energia-eletrica-eletricidade-vantagem-fontes-renovavel-limpa-meio-ambiente-sustentavel-onde-comprar-custo-investimento-instalacao-residencias-casa-rede.html>.

BRASIL. Decreto n. 10.848, de 20 de março de 2004. |P| **Comercialização de Energia Elétrica**, Brasília, DF, mar 2004.

CALABRO, Leonardo. **Geração Distribuída**. COGEN, 2013. 30 p.

CASAROTTO FILHO, Nelson.; KOPITCKE, Bruno Harmut. **Análise de Investimentos**. 9.ed. São Paulo: Atlas.2000.

CELULA - **O que é célula fotovoltaica?** (2016). Acesso em: 3 de outubro de 2017, disponível em Portal Solar: <<https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>>.

COSTA, Heitor Scalabrini. (2011). **Por que a Energia Solar Não Deslança no Brasil**. Acesso em: 05 de maio de 2018, disponível em: <<https://www.cartacapital.com.br/blogs/outras-palavras/por-que-a-energia-solar-nao-deslanca-no-brasil-3402.html>>.

**COMPENSAÇÃO - Entenda como funciona o sistema de compensação de energia elétrica.** (2016) . Acesso em: 9 de maio de 2017, disponível em Cosol :<<https://www.cosol.com.br>>.

**CONCEITO - Conceito de viabilidade.** (2011). Acessado em 21 de março de 2018, disponível em Conceito: <<https://conceito.de/viabilidade>>.

**CONSUMO - Quadro de consumo de eletrodoméstico para cálculo de energia solar Off-grid.** (2018). Acessado em 17 de março de 2018, disponível em Energystore: <<https://www.energystore.com.br/duvidas-frequentes>>.

**COPEL. Manual de Acesso de Geração Distribuída ao Sistema da Copel. NTC 905100:** Informação e documentação: referência: elaboração. Curitiba, 2013.

**CONVERSÃO Fotovoltaica da Energia Solar. Guia da Energia Solar.** Acesso em 07 de abril 2016, disponível em Ciência Viva: <<http://www.cienciaviva.pt/rede/energia/himalaya2005/home/guia4.pdf>>.

**DISTRIBUÍDA - Geração Distribuída.** (2015). Acesso em 20 de dezembro de 2017, disponível em Aneel: < [http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_assetEntryId=14461914&\\_101\\_type=content&\\_101\\_groupId=656827&\\_101\\_urlTitle=geracao-distribuida-introducao-1&inheritRedirect=true](http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=14461914&_101_type=content&_101_groupId=656827&_101_urlTitle=geracao-distribuida-introducao-1&inheritRedirect=true)>.

**ENERGIA Solar: Como Funciona? – O Efeito Fotovoltaico. BlueSol Educacional.** (23 de dezembro de 2011). Acesso em 19 de abril de 2016, disponível em BlueSol Educacional: <<http://www.blue-sol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-o-efeito-fotovoltaico/>>.

**ENERGIA Solar: Por que não deslança?.** **Coluna do Scalabrini.** (2 de setembro de 2015). Acesso em 23 de maio de 2016, disponível em :<<http://www.luizberto.com/coluna/coluna-do-scalabrini-heitor-scalabrini-costa>>.

ESTACIONÁRIA - **Bateria estacionária Freedom DF4100. (2018).** Acessado em 20 de março de 2018, disponível em Neosolar : < <https://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria-freedom-df4001-240ah-220ah.html>>.

ESTUDOS Técnicos Radiação Solar. **SolarLight.** Acesso em 15 de maio de 2016, disponível em SolarLight: <<http://solarlight.com.br/estudos-tecnicos/>>.

FERNANDES, Daniela. (2012). **Brasil é o 10º Maior Consumidor Mundial de Energia Elétrica.** Acesso em: 05 de maio de 2017, disponível em BBC: < [http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2012/03/120331\\_brasil\\_ranking\\_consumo\\_energia\\_df\\_rw](http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2012/03/120331_brasil_ranking_consumo_energia_df_rw)>.

FOTOVOLTAICAS - **Células Fotovoltaicas.** (2016). Acesso em: 5 de julho de 2017, disponível em Strom : < <http://www.strombrasil.com.br/celulas-fotovoltaicas/>>

FRONIUS - **O inversor comunicativo para gestão otimizada de energia.** (2018). Acessado em 8 de fevereiro de 2018, disponível em Fronius: <<https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar/produtos/residencial/inversor/fronius-primo/fronius-primo-3-0-1>>.

GERAÇÃO - **Geração de energia solar fotovoltaica .** (2015). Acesso em: 25 de junho de 2017, disponível em Famicalli : <<http://www.famicalli.com.br/index.php/prestacao/2015-05-13-18-10-09/geracao-solar/36-informacoes/publicas>> .

HAYONIK - **Inversor de voltagem Hayonik 3000W 12V para 127V.** (2018). Acessado em 15 de fevereiro de 2018, disponível em Connectparts: <[https://www.connectparts.com.br/inversor-3000w-transformador-12v-p--110-127-veicular-hayonik-39637/p?idsku=2001412&gclid=Cj0KCQjw5fDWBRDaARIsAA5uWTh0za57F77z6JQSE2JsUtSrsBxmDkPShEB0Jb2XPdZmYsbWduqnYrQaAsXmEALw\\_wcB#detalhes-do-produto](https://www.connectparts.com.br/inversor-3000w-transformador-12v-p--110-127-veicular-hayonik-39637/p?idsku=2001412&gclid=Cj0KCQjw5fDWBRDaARIsAA5uWTh0za57F77z6JQSE2JsUtSrsBxmDkPShEB0Jb2XPdZmYsbWduqnYrQaAsXmEALw_wcB#detalhes-do-produto)>.

HIDRELÉTRICA - **O que é energia hidrelétrica?** (2018). Acesso em : 3 de dezembro de 2017, disponível em Ecycle :< <https://www.ecycle.com.br/2906-energia-hidreletrica>>.

INMETRO – **Inmetro / 3T solar : Confira na tabela PBR.** (2016). Acesso em : 6 de novembro de 2017, disponível em 3tsolar : < <http://www.3tsolar.eco.br/single-post/2016/05/13/Inmetro3T-Solar-Confira-nossa-posição-na-tabela-PBE>>.

KYOCERA - **Painel solar 260W Kyocera solarKB260.** (2018). Acessado em 7 de fevereiro de 2018, disponível em Minha casa solar: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-260w-kyocera-solar-kb260-79225>>.

LINHA DE CRÉDITO - **Bancos oferecem linhas de crédito para quem optar por energia limpa.** (2016). Acesso em : 30 de março de 2017 , disponível em ABDI : <[http://www.abdi.com.br/Paginas/noticia\\_detalhe.aspx?i=3598](http://www.abdi.com.br/Paginas/noticia_detalhe.aspx?i=3598)>.

LIZOTE, Suzete Antonieta *et al.* **Análise de Investimentos: um Estudo Aplicado em uma Empresa do Ramo Alimentício.** Resende: SEGET, 2014. 4 p.

MARQUEZAN, L. H. F. **Análise de Investimentos.** Revista Eletrônica de Contabilidade Curso de Ciências Contábeis,2006. Acessado em: 15 de fevereiro de 2018,disponível em:<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs2.2.2/index.php/contabilidade/article/view/21>.

MOTTA, Regis da Rocha & CALÔBA, Guilherme Marques. **Análise de Investimentos: Tomada de Decisão em Projetos Industriais.** São Paulo: Atlas, 2002.

MOTTA, Regis da Rocha. **Engenharia Econômica e Finanças** – Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

MOREIRA, Mauricio Alves. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologia da Aplicação.** 1 ed. Viçosa: UFV.

O SISTEMA solar integrado à rede. **T8m Energia Solar**. Acesso em 29 de maio de 2016, disponível em T8m Energia Solar: <<http://t8menergiasolar.com.br/sistemas-conectados-a-rede-grid-tie>>.

**PAINÉIS - Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares.** (2017). Acesso em :10 de dezembro de 2017, disponível em Portal energia:<<https://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/>>.

PAINEL Solar Energia Fotovoltaica. **Energia Tec Solar**. Acesso em 29 de maio de 2016, disponível em Energia Tec Solar: <<http://energiatecsolar.com.br/painel-solar-fotovoltaico-energia>>.

PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICA. (2016). Acesso em: 25 de outubro 2016, disponível em Brasolar :< <http://www.brassolar.com.br/areadoestudante.php>>.

PAMPLONA, Nicola. (2017). **Enel Inaugura no Piauí Maior Usina Solar do País.** Acesso em: 05 de maio de 2018, disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2017/11/1938898-enel-inaugura-no-piaui-maior-usina-solar-do-pais.shtml>>.

**PAYBACK - Qual a diferença entre payback simples e descontado?.** (2016). Acessado em 10 de abril de 2018, disponível em Wrrprates: <[http://www.wrrprates.com/qual-e-a-diferenca-entre-payback-simples-e-descontado/#O\\_que\\_e\\_payback\\_simples](http://www.wrrprates.com/qual-e-a-diferenca-entre-payback-simples-e-descontado/#O_que_e_payback_simples)>.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistema Fotovoltaicos.** 1 ed. Rio de Janeiro, 2014. Acesso em 23 de abril 2016, disponível em CRESESB: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf)>.

PINHO, Prof. **Introdução as Energias Renováveis.** (07 de outubro de 2013). Notas de Aula. Aula12.



POTENCIAL - **Potencial Solar SunData v 3.0.** (2018). Acessado em 19 de janeiro de 2018, disponível em Cresesb: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>.

PLANO – **Plano de negócios.** (2018). Acesso em 22 de fevereiro de 2018, disponível em Carlos martins:<[http://www.carlosmartins.com.br/\\_bizplan/bizplan24.htm/](http://www.carlosmartins.com.br/_bizplan/bizplan24.htm/)>.

PROGRAMA - **Brasil lança programa de geração distribuída com destaque para energia solar.** (2015). Acesso em : 5 de maio de 2017, disponível em MME : <[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030)>.

RAIANE, Mickaelly; CARVALHO, Jô. (2015). **Cultura de Eficiência Energética Deve Ser Preocupação Constante de Gestores e Cidadãos.** Acesso em: 05 de maio de 2018, disponível em Portal de Meio Ambiente: <<http://www.meioambiente.ufrn.br/?p=32521>>.

RAGNINI, Marina Fernanda. **A Utilização da Energia Solar: Perspectivas do Ponto de Vista Ambiental.** (2016). 78 p. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Fundação Universidade Federal de Rondônia, Cacoal, 2016.

REGISTRO - **5 mil conexões de geração distribuída no brasil.**(2016) . Acesso em: 15 de fevereiro de 2017, disponível em Canalbioenergia :<<http://www.canalbioenergia.com.br/aneel-registra-5-mil-conexoes-de-geracao-distribuida-no-brasil/>>.

REGRAS - **Novas regras para geração distribuída entram em vigor .** (2016). Acesso em 16 de abril de 2017, disponível em Aneel :<[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=9086&id\\_area=90](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=9086&id_area=90)>.

RELLA, Ricardo. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil.** Criciúma: Revista de Iniciação Científica, 2017. 11 p.

RUTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. 1 ed. Florianópolis, 2004 .112p.

SEABRA, Rafael. **Poupança**. (2018). Acesso em 17 de fevereiro de 2018 em blog: <<https://queroficarrico.com/blog/poupanca>>.

SILVA, R. M. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. Brasília: **Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado**.(2015) (Texto para Discussão nº 166). Acesso em :15 de fevereiro, disponível em: <[www.senado.leg.br/estudos](http://www.senado.leg.br/estudos). Acesso em 3 de fevereiro de 2015>.

SISTEMA - **Micro e minigeração- Sistema de compensação de energia**. (2018). Acesso em 3 de março de 2018 em Copel :<<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FB57635122BA32D4B03257B630044F656>>.

SOCCOL, Francisco Junior *et al.* **Desafios Para Implementação da Geração Distribuída de Energia no Brasil: Uma Revisão Integrativa da Literatura**. São Mateus: CEUNES/DETEC, 2016. 13 p.

SOUZA, R. D. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaicas**: Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares. 2012.

SOLAR - **Painel Solar**. (2018). Acessado em 5 de março de 2018, disponível em O solar: <<https://www.osolarbrasil.com.br/produto>>.

TARIFAS - **Entenda o que são bandeiras tarifárias** (2018) . Acesso em: 2 de fevereiro de 2018, disponível em Abrenergia :<http://www.abrenergias.com.br/index.php/noticias/item/1-entenda-o-que-sao-bandeiras-tarifarias>

TAXAS – **Taxas e tarifas.** (2018). Acesso em 10 de dezembro de 2017 em Copel :<  
<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Facopel%2Fpagcopel2.nsf%2Fverdocatual%2F5BAFDCF77F92F5A5032573EC006C3074>>.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações.** São Paulo: Érica, 2012.