

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO ESTADO DO PARÁ**  
**ÁREA DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**Gabriel Lopes de Barros Figueiredo**

**PROJETO DE GERAÇÃO DE ENERGIA BASEADO EM SISTEMAS  
FOTOVOLTAICOS PARA AMBIENTE RESIDENCIAL**

**Belém**

**2017**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO ESTADO DO PARÁ**  
**ÁREA DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**Gabriel Lopes de Barros Figueiredo**

**PROJETO DE GERAÇÃO DE ENERGIA BASEADO EM SISTEMAS  
FOTOVOLTAICOS PARA AMBIENTE RESIDENCIAL**

Trabalho de conclusão de curso de graduação na modalidade monografia apresentado ao Centro Universitário do Estado Pará como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação, sob orientação do MSc. Johnny Marcus Gomes Rocha.

**Belém**

**2017**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)**  
**Biblioteca do Cesupa, Belém - PA**

---

Figueiredo, Gabriel Lopes de Barros.

Projeto de geração de energia baseado em sistemas fotovoltaicos para ambiente residencial / Gabriel Lopes de Barros Figueiredo; orientação de Johnny Marcus Gomes Rocha, 2017.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia da Computação) – Centro Universitário do Pará, Belém, 2017.

1. Automação residencial. 2. Energia – Fontes alternativas. 3. Sistema de energia voltaica. I. Rocha, Johnny Marcus Gomes (orient.). II. Título.

---

CDD. 23º ed. 005.1

**Gabriel Lopes de Barros Figueiredo**

**PROJETO DE GERAÇÃO DE ENERGIA BASEADO EM SISTEMAS  
FOTOVOLTAICOS PARA AMBIENTE RESIDENCIAL**

**Trabalho de Curso apresentado na modalidade monografia**, como requisito parcial para obtenção do grau em Bacharelado em Engenharia da Computação do Centro Universitário do Estado do Pará – CESUPA.

**Data da Defesa: 14/06/2017**

Banca Examinadora:

---

**Prof. Orientador MSc. Johnny Marcus Gomes Rocha – CESUPA**

---

**Prof. Dr. Manoel Jacinto Lopes Alves – CESUPA**

---

**Prof. Dr. Cláudio Luciano da Rocha Conde – CESUPA**

**Belém**

**2017**

À minha mãe, pessoa esta, que sempre me apoiou e esteve ao meu lado em todos o momento e me deu força e todos os recursos necessários para chegar onde cheguei.

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família que sempre foi presente e me apoiou em cada etapa de minha vida, e auxiliou, com seus conhecimentos e experiências, a construir minha vida. Em especial a minha mãe que não mediu esforços, em momento algum de sua vida, para me dar todas as oportunidades nesta vida, que sempre me incentivou e acreditou em meus sonhos e projetos.

Meus mestres e professores que, dentro e fora, da sala de aula, sempre esclareceram e sanaram qualquer dúvida, e passaram seus conhecimentos inclusive criticando nas vezes em que meu desempenho não era o esperado.

Ao meu orientador pela sua calma e paciência em todos meus momentos de dúvida, que sempre me auxiliou e me mostrou o caminho certo a ser seguido.

Aos meus amigos e colegas, os quais puderam dividir comigo o desbravamento de novos conhecimentos, realização de projetos e debates sobre assuntos que não consegui compreender.

Ao meu tio, Daniel Sobrinho, que me auxiliou no capítulo de projeto e nunca me negou informação e sempre encontrou tempo para explicações.

“O sucesso é uma consequência e não um objetivo”.

Gustave Flaubert

## RESUMO

Diante da crise ambiental e energética que afeta todo o planeta, novos meios para obtenção de energia elétrica, que sejam menos poluentes, se fazem necessários. As chamadas energias, ou fontes, renováveis em pouco tempo se tornaram alternativas para geração de energia elétrica, podendo reduzir nossa dependência das fontes tradicionais de geração de energia. A energia fotovoltaica, ou solar, é uma destas fontes. O sistema fotovoltaico, responsável pela captação da luz do sol e sua conversão para energia elétrica, pode ser instalado em residências, comércios e indústrias, trazendo consigo diversas vantagens, entre elas redução do impacto ambiental e um retorno financeiro. Esse trabalho tem como objetivo demonstrar as etapas de um projeto de sistema fotovoltaico, usando como referência uma residência. Demonstrando que sistema fotovoltaico pode suprir a demanda energética da mesma e ainda prover um retorno financeiro a médio e longo prazo. Dessa forma, nota-se que é possível utilizar meios alternativos de geração energética afim de reduzir a dependências das demais fontes, obter um retorno financeiro do investimento e ainda reduzir impacto ambiental provenientes de outras formas de geração mais poluentes, como por exemplo, usinas hidrelétricas.

**Palavras-chave:** Crise Ambiental. Fontes Renováveis. Energia Solar. Sistema Fotovoltaico.

## **ABSTRACT**

Faced with an environmental and energy crisis that affects the entire planet, new ways of energy obtainment, which are less polluting, are needed. The renewable energy, also called alternative sources, in a short time became an alternative way of energy generation, being able to reduce our dependence on traditional sources of energy generation. Photovoltaic or solar energy is one of these sources. The photovoltaic system, responsible for the capture of sunlight and conversion to electric energy, allows to be installed in homes, commerce and industries, bringing with it several advantages, between them the reduction of environmental impact and financial returns. The goal of this work is show the stages of a photovoltaic system project, using as reference a residence. Showing the photovoltaic system can supply the demand of house energy and provide a medium and long term financial return. Thus, it's noted that's possible to use alternative means of energy generation in order to reduce the dependencies of the other sources, obtain a financial return of the investment and reduce the impact descendant of other ways more polluting, as example, hydroelectric plants.

**Keywords:** Environmental Crisis. Renewable Sources. Solar Energy. Photovoltaic System.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico do aumento da conta de luz em 20 anos .....	17
Figura 2 - Atlas brasileiro de radiação solar .....	18
Figura 3 – Células fotovoltaicas de (da esquerda para a direita) silício monocristalino, silício policristalino e o chamado de filmes finos .....	22
Figura 4 – Funcionamento de uma célula solar .....	23
Figura 5 – Componentes de um sistema fotovoltaico.....	27
Figura 6 – Painel Fotovoltaico All-Black da empresa Canadian Solar .....	28
Figura 7 - Estrutura de fixação para telhados metálicos inclinados .....	29
Figura 8 – Estrutura de Fixação em telhados de barro inclinados.....	29
Figura 9 – Fixação interna para fixador em telhados de barro inclinados.....	30
Figura 10 - Estrutura de Fixação em lajes planas .....	30
Figura 11 – Inversor da empresa Canadian Solar.....	32
Figura 12 - Inversor Primo 3.0-1 da empresa Fronius.....	32
Figura 13 – Quadro de distribuição elétrica .....	33
Figura 14 – Medidor eletrônico unidirecional .....	34
Figura 15 – Medidor eletrônico bidirecional.....	34
Figura 16 – Percentual de energias renováveis produzidas em 2015 .....	36
Figura 17 – Estudo da inclinação dos painéis fotovoltaicos.....	37
Figura 18 – Sentidos da corrente elétrica .....	39
Figura 19 – Faturas de energia elétrica.....	42
Figura 20 – Telhado a ser instalado os painéis fotovoltaicos .....	44
Figura 21 – Simulação da posição solar às 6h (superior) e às 10h (inferior) .....	45
Figura 22– Simulação da posição solar às 14h (superior) e às 18h (inferior) .....	46
Figura 23– Localização do QGBT.....	46
Figura 24 – Simulação do posicionamento do inversor .....	47
Figura 25 – Componentes do inversor PVI 3.6-TL-OUTD-S .....	48
Figura 26 – Regiões disponíveis para instalação dos painéis fotovoltaicos .....	50
Figura 27 – Simulação do posicionamento dos painéis fotovoltaicos.....	51

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Simulação do custo de implementação de um sistema fotovoltaico a partir do consumo médio mensal .....	43
Tabela 2 - Custo Total do Projeto.....	52
Tabela 3 – Relação de economia acumulativa com passar dos anos do sistema fotovoltaico .	53

## LISTA DE SIGLAS

ABB	Asea Brown Boveri
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA/AC	Corrente Alternada
CC/DC	Corrente Contínua
CELPA	Centrais Elétricas do Pará
CPF	Cadastro de Pessoa Física
CPV	Célula Fotovoltaica para Concentração
FV	Fotovoltaico(a)
GE	Gerenevable Energy
GFS	Green Frog System
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
MPPT	Rastreamento do Ponto Máximo de Potencia
NBR	Norma Brasileira
NT	Norma Técnica
SI	Sistema Internacional
UC	Unidade Consumidora

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
'	Minutos
''	Segundos
h	Horas
km <sup>2</sup>	Quilômetros quadrados
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
m <sup>2</sup>	Metros quadrados
MW	Megawatt
n°	Número
°	Graus
°C	Graus Celsius
R\$	Reais
W	Watt
$\beta$	Beta - angulação
$\varphi$	Fi – longitude

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>20</b>
2.1	ENERGIA SOLAR .....	20
2.1.1	Efeito Fotovoltaico.....	21
2.2	VANTAGENS .....	25
2.3	PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	26
2.3.1	Módulos Fotovoltaicos .....	27
2.3.2	Inversor .....	31
2.3.3	Quadro de Distribuição Elétrica .....	32
2.3.4	Medidor de Consumo Elétrico .....	33
2.3.4.1	Unidirecional .....	33
2.3.4.2	Bidirecional .....	34
2.3.5	Rede de Distribuição Elétrica.....	35
2.4	COMPARAÇÕES COM OUTRAS FONTES DE ENERGIA .....	35
2.5	INCLINAÇÃO DOS PAINÉIS .....	36
2.6	LEGISLAÇÃO .....	37
2.7	GRANDEZAS FÍSICAS TRABALHADAS.....	38
2.7.1	Tensão.....	38
2.7.2	Corrente .....	39
2.7.2.1	Corrente Alternada e Corrente Contínua .....	39
2.7.3	Potência .....	39
<b>3</b>	<b>PROJETO</b> .....	<b>41</b>
3.1	ANALISAR CONDIÇÕES LEGAIS PARA O PROJETO .....	41
3.2	ELABORAR ANÁLISE PRELIMINAR ATRAVÉS DE INFORMAÇÕES DA FATURA DE ENERGIA.....	42
3.3	LEVANTAMENTO TÉCNICO .....	43
3.4	ELABORAR UM PROJETO DESCRITIVO.....	48
3.4.1	Custo do Projeto.....	52
3.4.2	Amortização .....	52
3.5	INSTALAÇÃO DO SISTEMA .....	54

3.6 ACOMPANHAR O DESEMPENHO DO SISTEMA E REDUÇÃO/COMPENSAÇÃO DE CRÉDITOS NA CONTA DE ENERGIA .....	54
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>55</b>
<b>5 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>
<b>6 ANEXOS .....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O planeta atravessa uma crise ambiental, com o derretimento das calotas polares, resultado do aumento da temperatura média em todo o globo. Esta degradação ambiental é real e preocupa muitos estudiosos. “Modelos matemáticos climáticos projetam que as temperaturas globais de superfície provavelmente aumentarão no intervalo entre 1,1 e 6,4°C” (SILVA; PAULA, 2016, p. 3).

Atualmente há uma busca por fontes energéticas que sejam menos poluentes ao ambiente, e conseqüentemente ajudem a reduzir a queima de combustíveis fósseis, um dos principais responsáveis pela crise ambiental. Além de termoelétricas, outras fontes geradoras de energia tradicionais que produzem muitos impactos ambientais e alto custo para sua implantação, como exemplo podemos citar as usinas hidrelétricas, que é a principal fonte energética do nosso país.

Durante toda a história diversas formas e técnicas foram estudadas e experimentadas para a obtenção de energia. Hoje existem diferentes meios da obtenção da energia elétrica, como nuclear, térmica e, a mais utilizada no Brasil, como já citado, a hidrelétrica, no entanto, acabam causando um impacto ambiental degradante, como por exemplo a Hidrelétrica de Tucuruí que, em apenas dois meses, teve, como consequência do seu represamento para criação do lago, uma área inundada de aproximadamente 2.430 km<sup>2</sup> de extensão (FEARNSIDE, 2002). Entre os impactos de sua criação, pode-se citar, a fuga de várias espécies e comunidades que habitavam aquele entorno. Por conta destes danos fez-se necessário a busca outras maneiras de produção de energia, as chamadas energias alternativas. Estas consistem na obtenção de energia elétrica por meio de recursos renováveis, de forma que o processo para a transformação em energia não cause um impacto ambiental considerável ou, até mesmo, que não haja impacto algum. No mundo, cerca de 40% da energia gerada é por meio de fontes minerais.

Bermann (2003) afirma que as energias alternativas são a saída para o problema energético no mundo. Uma destas alternativas é a energia fotovoltaica, ou energia solar, que é uma forma de obtenção de energia pela conversão da luz solar em energia elétrica. Segundo Pecani (2014, online) “a energia solar, além de caracterizar-se como fonte inesgotável, apresenta seu conceito de bem público com maior nitidez à população, já que sua conversão em energia térmica ou elétrica pode ser individualizada”.

A energia fotovoltaica é considerada uma ‘energia limpa’ pois possui baixa emissão de poluição na fase de operação, podendo ser uma excelente alternativa para a produção energética

e, conseqüentemente, a redução dos poluentes provindos de outras fontes energéticas, além de ser possível obter certificações de geração de energia limpa, créditos de carbono e selos ‘verdes’.

Quando se fala em energia fotovoltaica um tema que sempre é posto em pauta é a economia financeira a médio e a longo prazo. Segundo o Globo (2016), no ano de 2015 no período de janeiro a setembro houve um aumento de 47,74% na conta de energia elétrica no Brasil como mostra a Figura 1.

**Figura 1 - Gráfico do aumento da conta de luz em 20 anos**



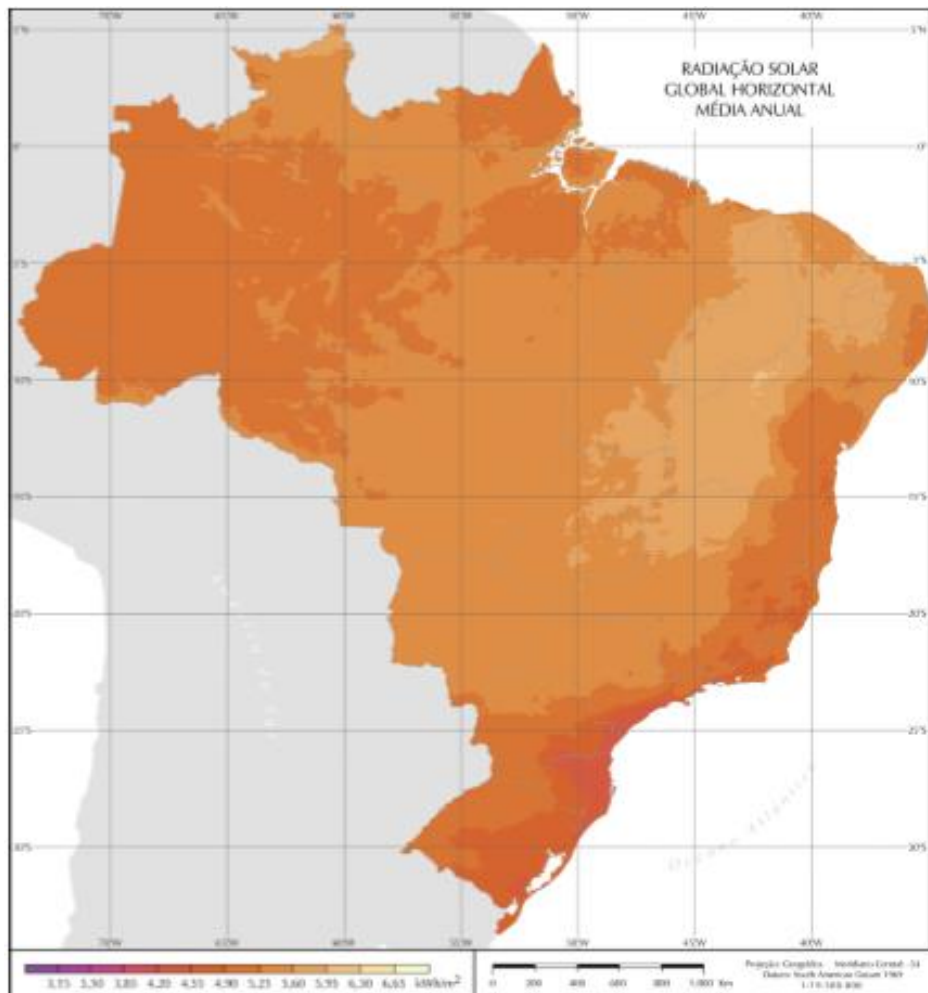
Fonte: IBGE (2015, online)

Em 2016 houve aumentos de até 50% em alguns estados brasileiros. Já em 2017, houve uma previsão feita pelo G1(2017) de que em fevereiro haja um aumento de 7%. A instalação dos painéis fotovoltaicos permite alcançar uma economia de, em média, 85% da fatura da conta de energia elétrica (PINHO; GALDINO, 2014).

Outra vantagem desse tipo de geração de energia é que, além de ser um meio inesgotável, o Brasil possui um dos maiores níveis de radiação solar do mundo, ressaltando-se que na região Norte há alta incidência, se comparado com a região sul (Figura 2), o que resulta em um aumento no rendimento dos painéis e “[...]para maximizar o aproveitamento da radiação

solar, pode-se ajustar a posição do painel fotovoltaico de acordo com a latitude local e o período do ano em que se requer mais energia” (ANEEL, 2003, online).

**Figura 2 - Atlas brasileiro de radiação solar**



Fonte: Pereira et al (2006, p.34)

Considerando que o uso de energia fotovoltaica, permite a produção de energia própria, impactando em uma redução parcial na fatura de energia e da poluição gerada por outras fontes, esta monografia visa desenvolver um projeto de geração de energia, baseado em sistemas fotovoltaicos usando como referência um ambiente residencial. Como objetivo principal, temos:

- Projetar um sistema fotovoltaico de geração de energia para um ambiente residencial.

E objetivos secundários:

- Realizar o levantamento do potencial elétrico a partir das faturas de conta energia elétrica;
- Dimensionar os painéis em relação à área de instalação;
- Selecionar os melhores fabricantes dos painéis e do inversor;
- Entrar com processo na concessionária para ligação do ponto;
- Instalar o sistema.

Este trabalho será dividido da seguinte forma:

No Capítulo 2 – é descrito os principais conceitos, características e componentes necessários para entendimento sobre sistemas fotovoltaicos. São apresentadas também comparações com outras fontes de energia.

No Capítulo 3 – é demonstrado detalhadamente a metodologia do projeto, evidenciando os passos necessários para a elaboração do mesmo. Realizando comparações, simulações e projeções, visando esclarecer os benefícios de se implementar sistemas fotovoltaicos.

No Capítulo 4 – são apresentadas as conclusões referentes ao trabalho, dificuldades encontradas na elaboração do trabalho e propostas para trabalhos futuros.

No Capítulo 5 – são apresentadas as principais referências técnicas utilizadas para estudo e elaboração do trabalho.

No Capítulo 6 – estão expostos os anexos que são complementares a este trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ENERGIA SOLAR

O sol é uma fonte energética que se encontra em todos os pontos do mundo, a única diferença é que em algumas regiões há uma maior incidência do que outras, o que permite maiores benefícios na geração de energia e menos custos de implementação do mesmo. Segundo Pereira et al (2006, p. 09):

O aumento da demanda e consumo de energia decorrente do progresso tecnológico e do avanço no desenvolvimento humano (caracterizado por parâmetros socioeconômicos) são apontados como os fatores mais importantes na aceleração das alterações climáticas e ambientais observadas e descritas pela comunidade científica.

Ainda segundo Pereira et.al (2006) há um aumento na demanda energética e na preocupação com o meio ambiente, em consequência, criou-se um aumento de pesquisas científicas em busca de fontes energéticas alternativas que sejam menos poluentes, renováveis e causem pouco impacto ambiental.

“A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão” (PINHO; GALDINO, 2006, p. 50).

Com o intuito de ser uma fonte alternativa de energia, auxiliando na demanda energética, reduzindo a dependência da energia de materiais fósseis que são poluentes ao meio ambiente, a energia solar tem a capacidade de gerar energia elétrica a partir da luz solar, como citado anteriormente, sem a emissão de gases, ruídos ou qualquer poluição. Baseado nessa linha de raciocínio, Nascimento (2004, p. 13) conclui que:

A energia solar fotovoltaica tem como “vocação” a utilização em pequenas instalações (pequenas cargas) que a torna, econômica, eficiente e segura. O Brasil dispõe de um dos maiores potenciais do mundo para o aproveitamento de energias renováveis principalmente a energia solar, e além de ecologicamente correto, é uma fonte inesgotável de energia.

Uma das vantagens da utilização de um sistema fotovoltaico (FV) é não necessitar transmitir energia entre o local de geração e o de consumo, através de longas linhas de transmissão. Isso é explicitado por Shayani et al (2006 apud OLIVEIRA; GONDIM; RODRIGUES, 2000, p. 2) quando afirma que para gerar energia provinda do sol, ela não necessita ser extraída e nem transportada para que possa ser distribuída, pois sua geração é, em maior parte das vezes, encontra-se próximo à carga. Com isso, evita-se a os custos com a transmissão em alta tensão, como acontece no caso de usinas hidrelétricas.

Existem dois tipos de painéis fotovoltaicos: os *off-grid*, também chamados como autônomos, que necessitam de bateria armazenadoras e os *on-grid*, também conhecidos como *grid tie*. O tipo que será utilizado no projeto é o *on-grid*. Este é aquele que permite que a geração de energia seja ligada diretamente na rede elétrica, necessitando apenas de um inversor entre esses (SOUZA, 2014).

Segundo a resolução normativa nº 482 da ANEEL<sup>1</sup> (2012), que entrou em vigor em março de 2016, define-se que a geração de energia a partir de fontes renováveis de energia elétrica conectadas à rede de distribuição, divididas em 2 modalidades: microgeração e minigeração. A microgeração são instalações que possuem potência instalada menor ou igual a 75kW. A minigeração é definida por instalações com potência instalada superior a 75kW e menor ou igual a 5MW.

A energia solar pode ser aplicada em diversos setores, sendo utilizada primeiramente pelo setor industrial, na tentativa de suprir sua demanda energética e reduzir custos de produção. Atualmente, com o avanço na tecnologia de fabricação dos painéis solares, em especial das células fotovoltaicas, tema abordado no capítulo seguinte, a energia fotovoltaica já tem custos mais acessíveis para residências e comércios. Assim, estes setores deixam de ser simples consumidores e passam a ser produtores de energia, possibilitando a venda do excedente para concessionária de energia, reduzindo o tempo de amortização dos custos de instalação. Outro benefício, é que a concessionária pode disponibilizar este excedente para outros clientes, deixando assim de adquirir esta energia de fontes mais poluentes.

### 2.1.1 Efeito Fotovoltaico

É por meio do fenômeno chamado efeito fotovoltaico que é possível realizar a conversão da energia solar em energia elétrica, “sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, unidade fundamental desse processo de conversão” (PINHO, GALDINO, 2014, p. 50). Um material semicondutor é um material que possui características intermediárias entre um condutor e um isolante.

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 por Edmund Becquerel, que produziu uma corrente elétrica ao expor à luz dois eléctrodos de prata num electrólito. Em 1877, W.G. Adams e R.E. Day construíram a primeira célula solar baseada em dois eléctrodos de selénio que produziam uma corrente eléctrica quando

---

<sup>1</sup> Aprimorada pela resolução normativa nº 687 da ANEEL (2015) que que consumidores instalassem pequenas usinas geradoras, como as de energia solar fotovoltaica. Além disso, criou também a geração distribuída, que permite que diferentes consumidores se unam em consórcio ou cooperativa, instalem um micro ou minigerador e utilizem a energia gerada para reduzir as suas contas de energia elétrica.

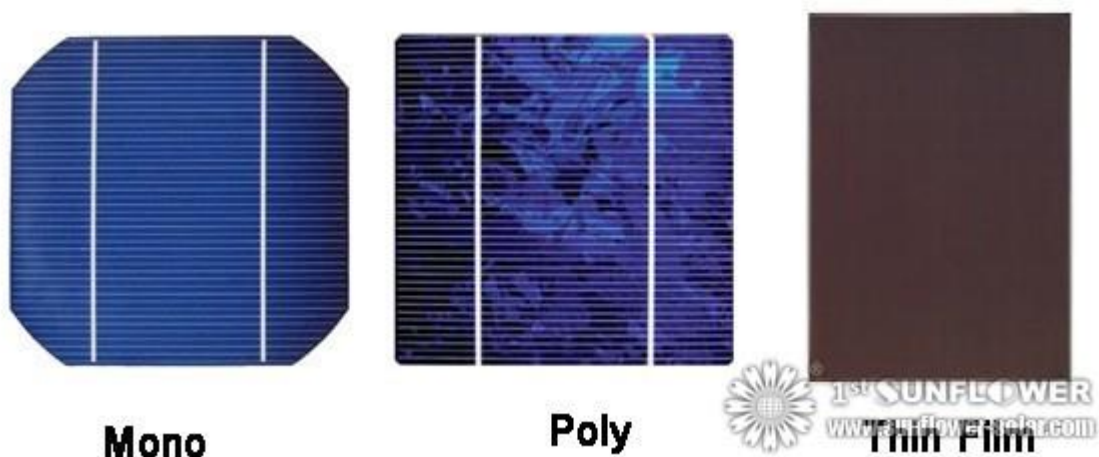
expostos à radiação, mas a eficiência destes sistemas era tão reduzida que o desenvolvimento de células solares realmente interessantes teve que esperar por uma compreensão mais completa dos materiais semicondutores. (BRITO; SILVA, 2006, p. 1)

Segundo Pinho e Galdino (2014), é possível afirmar que três gerações classificam as tecnologias aplicadas na fabricação das células e módulos. Cada geração com implementação de novas tecnologias que buscavam aprimorar a eficiência das células.

Na primeira geração das células houve uma classificação dividindo o silício monocristalino e silício policristalino, como mostra as Figura 3, que representam 85% do mercado por ser considerada uma tecnologia de confiança e por sua solidez, também por possuir a melhor eficiência disponível no mercado (PINHO; GALDINO, 2014).

A segunda geração é conhecida pelo nome de filmes finos (Figura 3), dividida em três cadeias produtivas: silício amorfo, disseleneto de cobre e índio ou disseleneto de cobre, índio e gálio e telureto de cádmio. Essa geração possui menor eficiência se comparado à primeira, possuindo uma baixa participação no mercado, por possuir dificuldades relacionadas a disponibilidade dos materiais, além de possuir uma vida útil e rendimento menor que as demais, sendo esta geração uma produção afim de validar materiais para produção, o que foi comprovado não possuir vantagens em relação aos demais materiais utilizados para produção.

**Figura 3 – Células fotovoltaicas de (da esquerda para a direita) silício monocristalino, silício policristalino e o chamado de filmes finos**



Fonte: Sunflower Solar ([1998-2017], online)

Ainda segundo Pinho e Galdino (2014), a terceira geração, ainda em curso, é dividida em três cadeias produtivas: célula fotovoltaica multijunção e célula fotovoltaica para concentração, células sensibilizadas por corante e células orgânicas ou poliméricas. Dentre

estas, existe uma com potencial para produção de módulos com alta eficiência, o CPV (célula fotovoltaica para concentração), porém seus custos não são competitivos em comparação às outras tecnologias que se encontram no mercado atualmente.

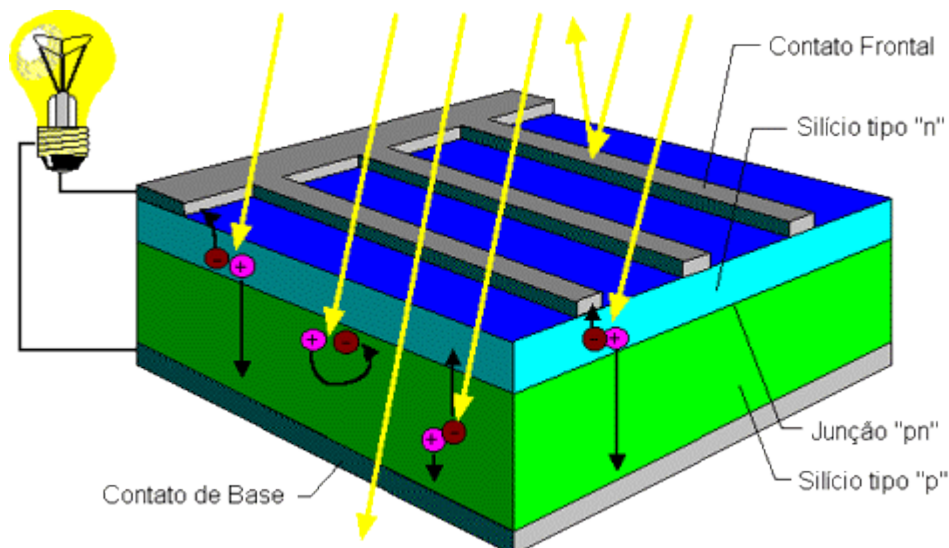
Como afirma Câmara (2011), o principal semiconductor utilizado atualmente é o silício. Tratando-se do silício Câmara (2011, p 19) diz que:

Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Ao adicionarem-se átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e que ficará "sobrando", fracamente ligado a seu átomo de origem. Isto faz com que, com pouca energia térmica, este elétron se livre, indo para a banda de condução.

Como citado anteriormente, o silício não possui elétrons livres, é necessário que haja a adição de outro elemento químico para que o silício passa a ter seus elétrons soltos de sua camada de valência. Segundo Nascimento (2004), quando a dopagem - acréscimo de outros elementos - do silício é realizada com fósforo obtêm-se os elétrons livres, tornando-o um silício tipo N, já quando o silício é dopado com boro se tem um material com a necessidade de elétrons, ou seja, cargas positivas livres, tornando-o um silício tipo P.

Os painéis fotovoltaicos são compostos por células que são compostas por uma pequena camada tipo N e outra camada maior de tipo P como mostra a Figura 4.

**Figura 4 – Funcionamento de uma célula solar**



Fonte: Cresesb (2008, online)

As células fotovoltaicas possuem parâmetros elétricos que as caracterizam, algumas destas são: tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ), corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ), eficiência do módulo, fator de forma, entre outros (SOLENERG, [201-?]).

A tensão de circuito aberto é a máxima tensão que o módulo pode produzir sob determinadas condições de insolação e temperatura e acontece quando seus terminais estão abertos. Como não há corrente elétrica, a potência elétrica fornecida pelo módulo é zero (SOUZA, 2014).

Corrente de curto circuito é a máxima corrente que o módulo pode produzir sob determinadas condições de insolação e temperatura, quando seus terminais são curto circuitados. Como não há tensão, a potência elétrica é zero (SOUZA, 2014).

O fator de forma é outra maneira de avaliar a qualidade das células que compõem o módulo fotovoltaico. Quanto mais a curva característica se aproxima da forma retangular, melhor é a qualidade da célula. Pode-se definir o fator de forma pela expressão a seguir:

$$\text{Fator de forma} = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}} .$$

Onde  $I_{mp}$  é corrente de potência máxima,  $V_{mp}$  tensão de potência máxima,  $I_{sc}$  e  $V_{oc}$  representam os mesmos apresentados anteriormente.

A eficiência é uma das maneiras de se avaliar a qualidade de um módulo fotovoltaico. Mas, é preciso analisá-la dentro de um contexto global, considerando as outras variáveis envolvidas. Ela é definida pela relação entre a quantidade de energia elétrica que é produzida no ponto de máxima potência (W) e a quantidade de energia solar que chega ao módulo. E se dá pela seguinte fórmula:

$$\text{Eficiência} = P_{max} / (\text{Radiação} \times \text{área}).$$

Onde  $P_{max}$  é a potência máxima.

Existem fatores que podem influenciar no comportamento do sistema, como temperatura e intensidade da radiação solar.

“Quando o nível de radiação solar que incide sobre o módulo decresce, o desempenho do módulo também decresce. [...] A corrente produzida varia, praticamente, linearmente com o nível de insolação que incide perpendicularmente no módulo. Em períodos nublados, a geração de corrente elétrica pelo módulo decresce muito” (SOLENERG, [201-?], p. 7).

A temperatura tem influência nas células de forma que quando há um aumento da temperatura da célula, a potência máxima decai. O principal efeito do aumento de temperatura é o decréscimo da tensão produzida. Essa ‘perda’ de tensão é de cerca 0,37% para cada grau centígrado de aumento. Isso resulta numa redução da potência máxima que o módulo pode fornecer, de aproximadamente 0,45% para cada grau centígrado de aumento da temperatura (SOLENERG, [201-?]).

## 2.2 VANTAGENS

Como citado anteriormente, uma das principais vantagens se deve ao fato de que, ao se adquirir os equipamentos para geração de energia através dos painéis fotovoltaicos, o usuário deixa de ser um mero consumidor e passa a ser um produtor energético. Com isto, abre-se a possibilidade de ‘venda’ de energia para a concessionária, criando-se assim ‘crédito’ energético, o novo produtor passa a ter um saldo com a concessionária, podendo gerar redução na fatura de qualquer conta elétrica, necessitando apenas possuir o mesmo CPF nas demais contas. Se o usuário não desejar utilizar o ‘crédito’, pode simplesmente vender para a concessionária a energia excedida do seu consumo.

A ANEEL regulamenta a possibilidade da formação de geração compartilhada que se caracteriza pela “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. 15).

Outra vantagem é o crédito de carbono, segundo o Portal Brasil ([201-?]) esse crédito é uma unidade comercial. O valor deste crédito varia diariamente, como se fosse uma bolsa de valores, e pode ser vendido em leilões promovidos pela BM&FBOVESPA, solicitado por entidades públicas ou privadas.

Outro ponto muito importante, é a redução do impacto ambiental, haja vista que esta forma de geração de energia não causa nenhum dano à natureza, não emite nenhum gás, ruído ou resíduo, reduzindo a dependência das outras fontes energéticas convencionais que, em sua maioria, poluem o meio ambiente, direta ou indiretamente.

Um aspecto a ser levado em consideração é a elevada incidência de radiação solar em nosso país, principalmente na Região Norte, como afirma Pereira et al (2006, p. 10) “o Brasil, por ser um país localizado na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo ano”. Desta forma pode-se obter um melhor rendimento dos painéis, conseqüentemente, gerando mais energia.

A instalação de painéis fotovoltaicos é um alto investimento que, em média, trará um retorno financeiro, só depois dos 6 anos. Durante esse período inicial a redução da conta irá pagar os equipamentos e a instalação, após essa fase, o desconto obtido na conta será lucro para o usuário, podendo ser aplicado em outros bens e investimentos de maior rentabilidade.

Segundo as empresas, sua vida útil de painel fotovoltaico pode chegar a 25 anos em média, além do seu rendimento ser de até 80% após 20 anos (SOBRINHO, 2017). Com isto o tempo de lucro ao usuário pelo investimento pode ultrapassar os 12 anos, antes que seja necessário a trocar dos painéis.

Existe a possibilidade do aumento do número de painéis após a instalação, caso haja aumento no consumo no local ou se queira ter maior débito para creditar em outras localidades. Isso é possível sem a necessidade de um novo projeto, apenas a aquisição de novos painéis e sua instalação, no modelo de sistema *plug and play*. Esse sistema permite a adição de um novo módulo fotovoltaico aos antigos, sem a necessidade de grandes alterações, no máximo a troca do Inversor por outro de maior capacidade, caso a demanda seja superior ao do previamente instalado.

Sua facilidade na manutenção também é um ponto positivo, pois não há necessidade da contratação de mão de obra especializada, afinal basta realizar uma limpeza periódica, que consiste em passar um pano úmido ou lavar com água a superfície das placas para remoção de poeira ou qualquer impureza que ali se encontre. A própria chuva auxilia nesse processo de limpeza, até porque, na maioria dos casos, existe apenas poeira, o que acaba sendo outro benefício da nossa região. Este processo de remoção das impurezas é necessário pois com a presença dela reduz o rendimento da placa fotovoltaica, já que os raios solares não incidem com toda intensidade na superfície dos painéis.

### 2.3 PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para a instalação de um sistema fotovoltaico, independentemente de qual setor ele será instalado, residencial, comercial ou industrial, existem alguns componentes indispensáveis para o funcionamento correto do sistema.

Os componentes de um sistema fotovoltaico *on-grid* são: os painéis (ou módulos) fotovoltaicos, o inversor, quadro geral de baixa tensão (quadro de distribuição), medidor de consumo e rede de distribuição da concessionária de energia, como mostra a Figura 5.

**Figura 5 – Componentes de um sistema fotovoltaico**



Fonte: PUCRS ([201-?], online)

Em alguns casos existe a presença de um interruptor de segurança, também chamado de botão de emergência, que quando acionado, realiza o bloqueio de corrente do inversor para o QGBT (Quadro Geral de Baixa Tensão).

### 2.3.1 Módulos Fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são o ‘coração’ do sistema, eles são os responsáveis pela captação dos raios solares e conversão em energia elétrica. Como afirma Pereira e Gonçalves (2008, p. 29) “agrupados, correspondem à unidade de geração de energia, que converte a energia incidente do Sol diretamente em eletricidade”. Existem diversos modelos e tipos, de diferentes materiais, como citado do capítulo 2.1.1.

Existem diversos fornecedores de módulos fotovoltaicos espalhados pelo mundo, sendo China, Estados Unidos da América (EUA), Canadá, Japão e Malásia os países em que há uma maior concentração de fabricantes. Segundo o site PVTECH (2017) existem pelos menos 10 grandes fabricantes de painéis fotovoltaicos no mundo, os 3 mais populares foram escolhidos para serem detalhados.

A Yingli Solar é uma empresa chinesa produtora de painéis de 275W até 300W (Yingli Solar, 2017), garantindo um rendimento de 80% por até 25 anos, com tendência linear de potência. Além de possuir uma eficiência de até 20,1% por módulo.

Outra fornecedora é a Kyocera Solar, esta disponibiliza painéis de 255W até 270W (Kyocera Solar, [2012-2017]), com garantia de rendimento em 90% até 10 anos, e 80% até os 25 anos. Com eficiência acima de 14% por módulo.

A Canadian Solar, não possui fábrica no Brasil, porém é um dos maiores fornecedores do mundo. Possuindo painéis de 260W até 340W, garantindo 83% de rendimento em até 30 anos e eficiência de até 18,3% (Canadian Solar, [2001-2017]). Um exemplo de seus painéis é o da Figura 6.

**Figura 6 – Painel Fotovoltaico All-Black da empresa Canadian Solar**



Fonte: Canadian Solar ([entre 2001 e 2017], online)

O site Prêmio Brasil Solar ([2015-2017]) premiou a Canadian Solar com o ‘Prêmio de melhor Fabricante de Módulos Fotovoltaicos’.

Para melhor rendimento, os painéis têm que ficar posicionados, obrigatoriamente, no exterior do local de instalação, com incidência, se possível, total da luz solar, sem que nenhum objeto atrapalhe a incidência do sol. Para a instalação destes módulos são necessários suportes para fixação dos mesmos. Existem diversas formas de fixação, em telhados metálicos inclinados, por exemplo, como mostra a Figura 7. A estrutura de fixação para telhados metálicos inclinados, parece-se muito com os de telhados de barro inclinados (Figura 8), ambos usam fixadores de metal, a diferença é que as estruturas para telhados de barro possuem fixação interna, como mostra a Figura 9.

**Figura 7 - Estrutura de fixação para telhados metálicos inclinados**



Fonte: Portal Solar ([201-?], online)

**Figura 8 – Estrutura de Fixação em telhados de barro inclinados**



Fonte: VivaSolaris ([201-?], online)

**Figura 9 – Fixação interna para fixador em telhados de barro inclinados**



Fonte: Portal Solar ([201-?], online)

No caso de edificação com teto de laje plano a estrutura de fixação costuma ser mais simples nesses casos. Apenas é necessário o ajuste da inclinação dos painéis, como mostra a Figura 10.

**Figura 10 - Estrutura de Fixação em lajes planas**



Fonte: Portal Solar ([201-?], online)

Em cada situação, têm-se a necessidade da instalação dos módulos em diferentes arranjo, necessitando que haja um ganho de tensão ou corrente, devido isto, os módulos podem ser arranjados de duas maneiras: módulos em série e módulos em paralelo.

“Ao conectar as células em paralelo, soma-se as correntes de cada módulo e a tensão do módulo é exatamente a tensão da célula. A corrente produzida pelo efeito fotovoltaico é contínua” (CRESESB, 2008).

Na associação em série, chamada de fileira, os módulos terão suas tensões somadas, e a tensão do painel será a soma das tensões individuais de cada módulo. A corrente

será a média das correntes de cada módulo, por isso não é aconselhável a associação de módulos de capacidades distintas (SOUZA, 2014, p. 49).

Ou seja, para obter-se um ganho de corrente, os módulos devem estar arranados paralelamente, e para ter-se um ganho da tensão, os módulos deveram estar conectados em série.

### 2.3.2 Inversor

O inversor é o equipamento responsável pela transformação da corrente elétrica contínua (DC) gerada pelos módulos em corrente alternada (AC). Como afirma Pereira e Gonçalves (2008), o inversor, em um sistema fotovoltaico, serve para adequar a energia gerada pelos módulos às características da rede onde o sistema será instalado.

Além da sua principal função de realizar a conversão da corrente continua em corrente alternada, os inversores têm outras funções dentro do sistema, como:

Rastreamento do Ponto de Máximo de Potência (MPPT – *Maximum Power Point Tracking*) – Através do controle da corrente e tensão, esse sistema é capaz de fazer ajustes para manter os módulos FV operando perto do seu ponto de maior potência, que varia de acordo com a radiação solar incidente. [...]

Desconexão e isolamento: O inversor deve desconectar o arranjo fotovoltaico da rede caso os níveis de corrente, tensão e frequência não estejam dentro da faixa aceitável dos padrões da rede elétrica ou também do lado CC. O inversor deve ainda isolar o gerador FV da rede quando a mesma não estiver energizada, seja por falhas ou operações de manutenção, evitando possíveis acidentes com operadores.

Relatório de Status – Os inversores podem apresentar um painel de informação (display) com parâmetros de entrada e armazenamento das informações em *data-logger* ou envio para um computador. (PEREIRA; GONÇALVES, 2008, p. 31-32).

Este equipamento possui diversos modelos e marcas, e o que os difere são sua potência e tipo de onda. Existem inversores dedicados que operam com onda senoidal pura, exigência de determinadas equipamentos, como por exemplo, refrigeradores.

Os principais fabricantes do mercado segundo o site Ambiente Energia (2016) são: ABB, GE, GFS (Greenpower), Irizar, SINdustrial (Vacon), WEG, Friem. A página digital Prêmio Brasil Solar ([2015-2017]), premiou a ABB com o ‘Prêmio de melhor Fabricante de Inversores Fotovoltaicos’.

É valido citar a Canadian Solar, que também possui inversores (Figura 11) utilizados no mercado, assim como a Fronius Brasil, possuindo inversores de várias potências podendo atender diversos sistemas. Um de seus inversores é o Fronius Primo 3.0-1 (Figura 12), com potência de 3kW, com eficiência de 97,6% (FRONIUS BRASIL, 2017).

**Figura 11 – Inversor da empresa Canadian Solar**



Fonte: Canadian Solar ([entre 2001 e 2017], online)

**Figura 12 - Inversor Primo 3.0-1 da empresa Fronius**



Fonte: Fronius Brasil (2017, online)

O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) apresentou a Portaria INMETRO nº 17 de 14 de janeiro de 2016, afirmando que serão aceitos somente os inversores conforme a lista de modelos etiquetados no INMETRO. No ANEXO A há uma lista com principais inversores homologados até janeiro/2017.

### **2.3.3 Quadro de Distribuição Elétrica**

O QGBT (Quadro Geral de Baixa Tensão) é responsável pela distribuição -via cabos elétricos- da energia para os diferentes cômodos ou áreas de uma residência ou comércio.

**Figura 13 – Quadro de distribuição elétrica**



Fonte: MCEIG ([entre 2001 e 2017], online)

É neste equipamento (Figura 13) que se conecta o inversor, com objetivo de distribuir a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos aos circuitos da residência e o excedente a rede de distribuição da concessionária. Entre o QGBT e Inversor pode haver um botão de emergência, que tem o objetivo de impedir a passagem da corrente vinda do sistema fotovoltaico.

### **2.3.4 Medidor de Consumo Elétrico**

O medidor de consumo elétrico é um equipamento responsável pela medição da quantidade de energia, medida em watts, utilizada pelo usuário na sua unidade consumidora (UC), como afirma a Portaria nº 587 do INMETRO: “instrumento destinado a medir a energia elétrica através da integração da potência em relação ao tempo”. É nesse equipamento que é efetuada a leitura para realização da cobrança ao usuário.

Existem duas categorias principais de medidores: o unidirecional e o bidirecional.

#### **2.3.4.1 Unidirecional**

A Portaria INMETRO nº 587 de 05/11/2012º define que o medidor unidirecional é um dispositivo eletrônico “capaz de medir somente no sentido do fluxo direto” (INMETRO, 2012, p. 6), ou seja, é sensível à potência em um único sentido, no caso, a entrada da corrente na UC, um exemplo de medidor é o da Figura 14.

**Figura 14 – Medidor eletrônico unidirecional**



Fonte: NANSEN ([201-], online)

#### 2.3.4.2 Bidirecional

O medidor bidirecional, segundo a portaria INMETRO (2012), é capaz de medir a energia em ambos sentidos do fluxo. Esse é capaz de medir a energia consumida e a energia gerada. Com esse equipamento é possível saber quanto de energia foi gerada por um sistema fotovoltaico. Estes também são chamados de medidores inteligentes (Figura 15).

**Figura 15 – Medidor eletrônico bidirecional**



Fonte: WEG (2017, online)

### 2.3.5 Rede de Distribuição Elétrica

É a rede de distribuição elétrica da concessionária de energia, responsável por transportar a energia provinda da concessionária elétrica da região às residências, comércios, indústrias e qualquer outra construção que demande energia elétrica.

A energia excedente da produção do sistema fotovoltaico é devolvida à rede de distribuição, podendo ser utilizada por outros consumidores.

## 2.4 COMPARAÇÕES COM OUTRAS FONTES DE ENERGIA

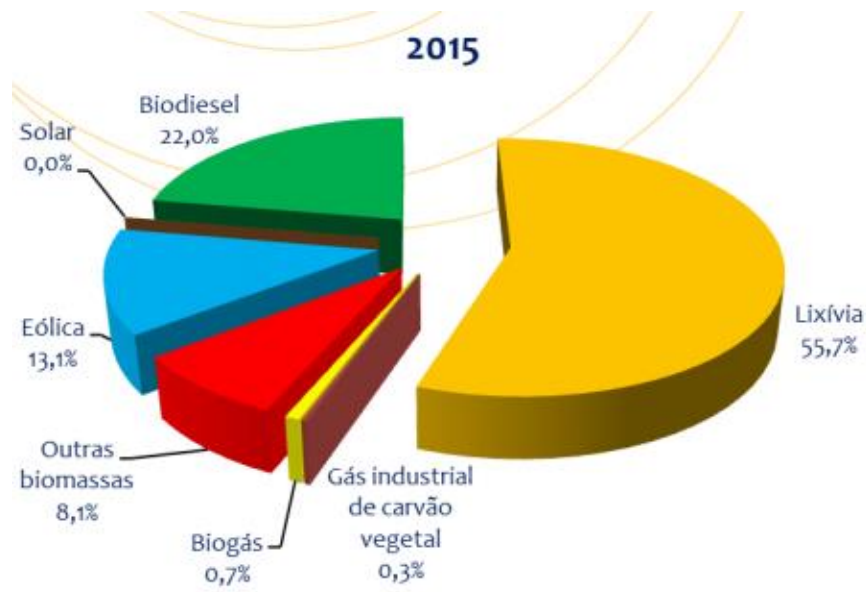
As energias renováveis podem ajudar a promover um desenvolvimento sustentável para o país, porém por questões sócio-políticas não recebem investimentos como outras fontes de energia.

A evidente necessidade da diminuição da poluição ambiental põe as fontes de energia convencionais, como a baseado em combustíveis fósseis, que são conhecidas por serem danosas ao meio ambiente, numa situação de necessidade de substituição. Os recursos fósseis necessitam de um processo complexo para que por fim seja gerada energia a partir deles. É necessário extrair, transportar para refinaria, preparar para queima, transportar para usina, gerar energia e por fim distribuir, ainda gerando resíduos que necessitarão ser descartados (SHAYANI; OLIVEIRA; CAMARGO, 2006).

Assim como nos recursos fósseis, há um gasto elevado no processo de geração de energia por meio de máquinas rotativas, como geradores e turbinas. A causa do gasto elevado nestes casos é devido ao impacto para construção dos reservatórios e custo de manutenção dos geradores e turbinas, demandando uma manutenção mais complexa (SHAYANI; OLIVEIRA; CAMARGO, 2006).

A energia solar, por outro lado, não necessita ser extraída, refinada e nem transportada para o local da geração, o qual é próximo à carga, evitando também os custos com a transmissão em alta tensão. [...] Este processo é mais simples, sem emissão de gases poluentes ou ruídos e com necessidade mínima de manutenção (SHAYANI; OLIVEIRA; CAMARGO, 2006, p. 6).

**Figura 16 – Percentual de energias renováveis produzidas em 2015**



Fonte: BEN (2016, p. 16)

A Figura 16 mostra como as energias renováveis alternativas estavam dispostas no Brasil ao fim do ano de 2015, com um uso muito pequeno da energia solar em relação as demais. O baixo investimento em pesquisa e o alto valor dos painéis, influenciaram esse percentual baixo (BEN, 2016). Porém, com o aumento no custo das tarifas, a redução do preço dos painéis e a adesão das concessionárias a Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015, uma atualização da Resolução Normativa nº 482/2012 o uso de sistemas fotovoltaicos tem se tornado mais atrativos aos consumidores residenciais e comerciais.

## 2.5 INCLINAÇÃO DOS PAINÉIS

Para que haja um melhor rendimento dos painéis é necessário que os mesmos sejam instalados em uma inclinação que seja favorável ao movimento do sol.

Sabe-se que a terra possui dois movimentos principais: translação e rotação, o movimento da terra ao redor do sol e rotação entorno do seu próprio eixo, respectivamente. Devido esse movimento da terra a incidência do sol irá depender do horário do dia.

A inclinação ideal dos painéis fotovoltaicos varia de acordo à latitude da localidade, e também quanto ao tipo de sistema fotovoltaico. [...] Para os sistemas conectados à rede, inclinações menores propiciam maior captação nos períodos próximos ao solstício de verão, o que gera mais energia e, nos países com tarifas diferenciadas, maiores ganhos financeiros. (SOUZA, 2015, p. 59).

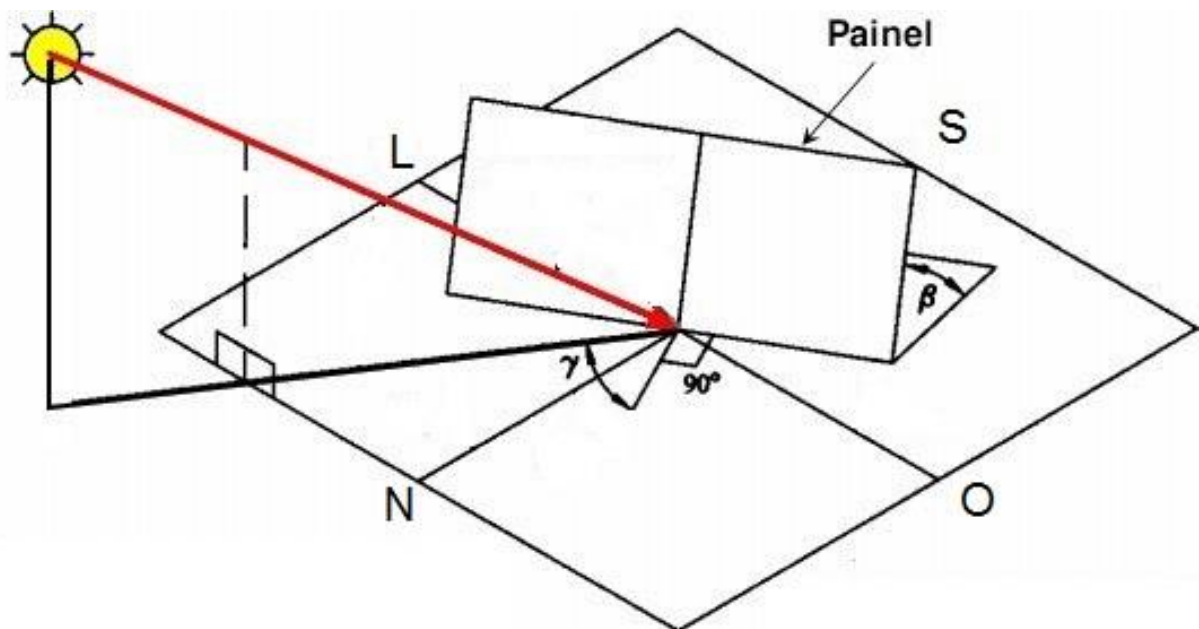
É possível calcular a melhor inclinação dos painéis pela fórmula:  $\beta = \varphi + (\varphi/4)$ . Onde  $\beta$  é a inclinação do painel em relação ao plano horizontal (chão) e o  $\varphi$  representa a

latitude da localidade. Para os sistemas conectados à rede, podemos utilizar a seguinte equação:  
 $\beta = 3,7 + 0,69\varphi$  (SOUZA, 2014).

Outro dado importante para se obter é o ângulo de incidência ( $\gamma$ ) que é o ângulo “formado entre os raios solares e a normal à superfície de captação. Quanto menor esse ângulo, mais energia será captada” (SOUZA, 2014, p. 22).

A partir destas informações é possível calcular a melhor angulação dos painéis para que eles possuam um melhor rendimento, em cada local de instalação. A Figura 17 representa os dados citados anteriormente e evidenciando onde e o que os mesmos impactam.

**Figura 17 – Estudo da inclinação dos painéis fotovoltaicos**



Fonte: Eletrônica (2017, online)

## 2.6 LEGISLAÇÃO

São necessárias algumas documentações para que o sistema fotovoltaico seja conectado à rede de distribuição. A agência reguladora, ANEEL, disponibiliza documentos para a requisição de ligamento do sistema com a rede, como mostra o ANEXO B. E a concessionária de energia da região tem que adotar os procedimentos descritos na Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012.

As principais diferenças no que se refere a propriedades residenciais, comerciais e industriais são a potência instalada, que são classificadas como microgeração ou minigeração, previamente explicados, e se a geração distribuída será por meio de consórcio ou cooperativa, podendo ser pessoa física ou jurídica.

Existem normas que também regulam as instalações de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, como por exemplo a NBR 16274, que trata a respeito dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede e seus requisitos mínimos de documentação, avaliação de desempenho, etc. Outras NBR's que valem a pena serem citadas, são as 16150, 16149, 10899, 11704, 14200. Estas normas regulamentam as características, procedimentos, entre demais fatores referentes aos sistemas fotovoltaicos.

## 2.7 GRANDEZAS FÍSICAS TRABALHADAS

As grandezas físicas estão em todas as partes de nosso cotidiano e em diversos estados físicos, algumas dessas grandezas não são notadas por nossos sentidos, mas ainda assim é possível serem mensuradas. Para a execução desde projeto faz-se necessário o entendimento de algumas grandezas físicas: tensão, corrente, tipos de corrente (alternada e contínua) e potência.

### 2.7.1 Tensão

“Quando, entre dois pontos de um condutor, diz-se que existe uma diferença entre as concentrações de elétron, isto é, de carga elétrica, diz-se que existe um potencial elétrico ou uma tensão elétrica entre esses dois pontos” (NISKIER, 2015, p. 2).

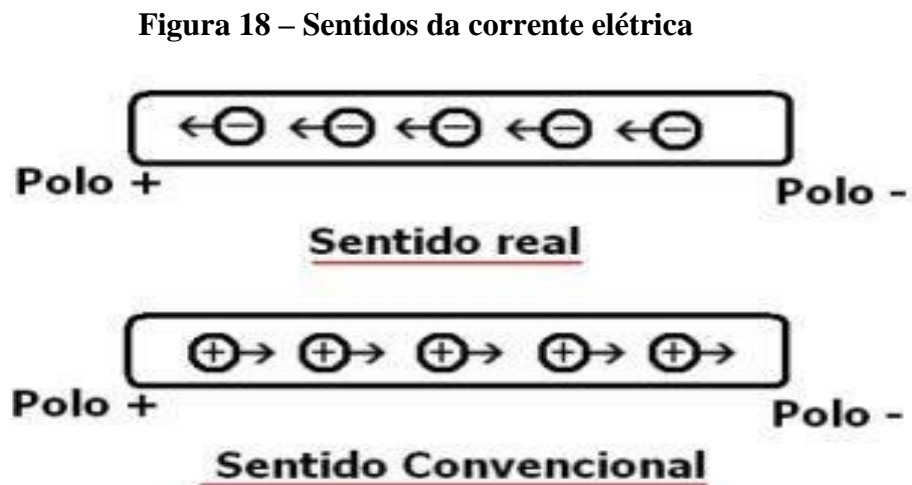
Também chamado de diferença de potencial, a tensão, segundo Creder (2007), é a diferença de potencial em um condutor, a qual resulta na geração de corrente. Existem dois polos em um circuito, positivo e negativo. Como afirma Niskier (2015, p.2) o “sentido é definido por convenção (do polo positivo para o negativo, no circuito externo), [...] embora se saiba que o sentido real da corrente é do polo negativo para o polo positivo”.

“No sistema internacional (SI), a unidade da tensão elétrica é o volt (V)” (MENDES, 2010, p.14), mas também é utilizada a letra U por alguns autores.

## 2.7.2 Corrente

Como mencionado anteriormente, a corrente surge quando há a diferença de potencial em um condutor.

A Figura 18 representa os sentidos da corrente, quando há presença de tensão em um condutor.



Fonte: InfoEscola ([2006-2017], online)

A corrente ainda é subdividida em duas: corrente alternada e corrente contínua.

### 2.7.2.1 Corrente Alternada e Corrente Contínua

O que explica essa classificação é o tempo. Na corrente alternada (CA ou, do inglês, AC) a onda oscila com o passar do tempo, aumentando e diminuindo seu valor. Este é o tipo de corrente nas tomadas elétricas brasileiras como é definido pela NBR 5410.

A corrente contínua (CC ou, do inglês DC) é gerada, usualmente, por bateria e geradores. Na corrente DC não há variação da sua intensidade com o passar do tempo.

## 2.7.3 Potência

“A energia aplicada por segundo [...] chamamos de potência. Em eletricidade, a potência é o produto da tensão pela corrente” (CREDER, 2007, p. 23).

A potência (P) será importante para realização do estudo da energia necessária para ser gerada pelos painéis, baseado na energia consumida pela residência.

No próximo capítulo será abordado uma metodologia para o projeto de sistemas fotovoltaicos para uma residência.

### 3 PROJETO

Neste capítulo será apresentado uma metodologia para o projeto e instalação de Sistema Fotovoltaico. O objetivo é definir as principais etapas para dimensionar um sistema fotovoltaico residencial, visando suprir a demanda energética de uma UC.

O local definido para a instalação do sistema fotovoltaico é uma residência localizada na cidade de Belém, capital do Estado do Pará, em um condomínio fechado de casas, sendo que a propriedade é composta por 2 andares, possuindo 7 cômodos. A latitude e longitude foram retiradas do site *Google Maps*, que são, respectivamente, 1°20'48.0"S e 48°27'14.8"W.

Esta metodologia divide o projeto em etapas descritas a seguir, e que devem ser seguidas de forma sequencial:

1. Analisar condições legais para o projeto;
2. Elaborar análise preliminar através de informações da fatura de energia;
3. Realizar visitas técnica (Levantamento Técnico);
4. Elaborar um projeto descritivo;
5. Instalar o sistema;
  - a. Entrar com processo na concessionária de energia para aprovação do ponto de conexão e ligação;
  - b. Energizar o sistema;
  - c. Executar testes de funcionamento;
6. Acompanhar o desempenho do sistema e redução/compensação de créditos na conta de energia (SOBRINHO, 2017).

#### 3.1 ANALISAR CONDIÇÕES LEGAIS PARA O PROJETO

A agência reguladora de energia elétrica (ANEEL) por meio da Resolução Normativa nº 482/2012 permite a conexão de energias de fontes renováveis de energia elétrica conectadas à rede de distribuição (ANEEL, 2012).

Para instalar um sistema fotovoltaico em sua residência ou que tenha interesse em fazer consórcio ou cooperativa, deve-se procurar a concessionária elétrica da região, neste caso a CELPA, afim de obter informações e as documentações necessárias referente ao uso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição.

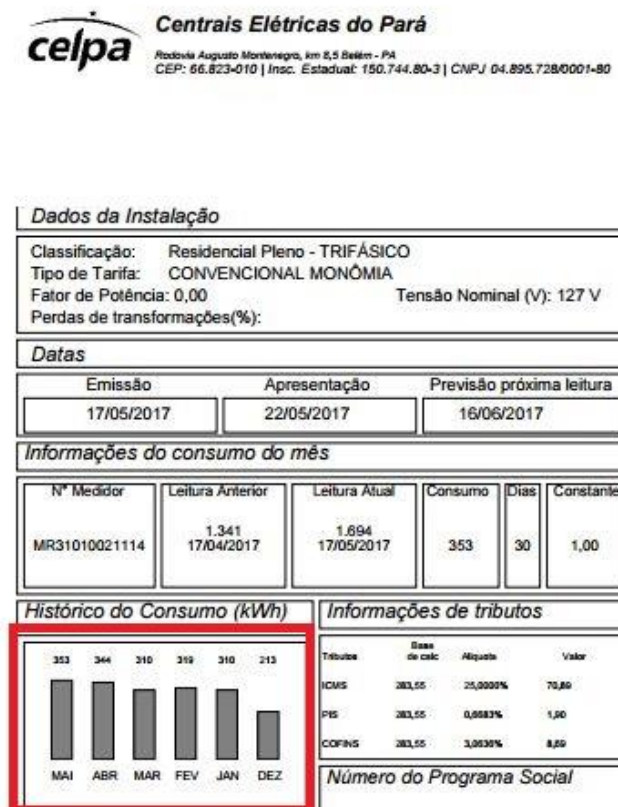
Os dados podem ser obtidos na página digital da concessionária, <http://www.celpa.com.br/home>, no setor de serviços existe um ícone que trata da mini e microgeração. Nessa seção a CELPA explicita que a mesma disponibiliza a conexão do sistema à rede, mediante a vistoria (CELPA, 2017).

No mesmo site se encontram as normas técnicas (NT.31.020) que regulamentam as instalações, além do formulário de solicitação (ANEXO) B) de aprovação da conexão de ponto.

### 3.2 ELABORAR ANÁLISE PRELIMINAR ATRAVÉS DE INFORMAÇÕES DA FATURA DE ENERGIA

É necessário reunir, pelo menos, o valor do consumo das 6 últimas contas de energia elétrica do local de instalação (Figura 19). A partir destas realizar uma média aritmética do consumo elétrico utilizado nesses meses.

**Figura 19 – Faturas de energia elétrica**



Fonte: Autor (2017)

Na região destacada, pode-se observar que há um histórico de consumo. Serão estes valores os utilizados para realização do levantamento do potencial. Fazendo o cálculo da média do consumo (MC) utilizando o histórico de consumo da Figura 18, obteve-se o valor de:

$$MC = (353 + 344 + 310 + 319 + 310 + 213) / 6 \approx 308\text{kWh (mês)}. 308\text{kWh} / 30 \text{ (dia)} = 10,266\text{Wh (dia)}.$$

Há vários sites que apresentam simuladores, mas o utilizado foi do site Portal Solar ([201-?]) que disponibiliza um simulador que torna possível representar gastos com a implantação do sistema em diferentes cenários de consumo, como mostra a Tabela 1:

**Tabela 1 - Simulação do custo de implementação de um sistema fotovoltaico a partir do consumo médio mensal**

Consumo Médio (kWh)	Custo de Instalação (R\$)
200	13.855 a 15.974
350	17.670 a 21.375
500	22.792 a 28.897
600	27.384 a 34.719
750	30.550 a 37.882
900	35.184 a 42.514

Fonte: Autor (2017)

Os valores utilizados na coluna de consumo médio da Tabela 1 foram aleatórios, sem que os mesmos exorbitassem dos valores reais de consumo.

Baseando-se na Tabela 1, é possível dizer que, a priori, o custo de material (painéis fotovoltaicos e inversor) para a residência do projeto que possui um consumo médio de 308kWh, seria em torno de R\$16.500,00.

### 3.3 LEVANTAMENTO TÉCNICO

Esta etapa do projeto visa obter dados técnicos do local da futura instalação do sistema. Possuindo alguns pontos a serem observados:

- Direção do Norte;
- Tamanho e tipo do telhado;
- Condições do telhado;
- Simulação das condições de incidência solar sobre o telhado.
- Local a ser instalado o inversor;
- Localização do Quadro de Geral de Baixa Tensão (QGBT);

- Tipo do padrão de atendimento (Monofásico, Bifásico ou Trifásico);
- Necessidade de alteração do padrão de ligação;
- Ponto de conexão do inversor com a rede;

**Figura 20 – Telhado a ser instalado os painéis fotovoltaicos**



Fonte: Autor (2017)

O primeiro dado a ser obtido no local é a posição do Norte em relação ao telhado. Afim de obter um melhor aproveitamento do movimento do sol, os painéis devem ser posicionados à direção Norte, sabendo que o sol realiza um movimento do Leste para Oeste. A letra M que aparece na Figura 20, indica a posição do Norte, então sabe-se que os painéis deverão ficar perpendiculares àquela parede.

A importância em saber qual o tipo de telhado, e se o mesmo está em condições de receber os painéis, se dá pelo fato da escolha do tipo de suporte, afinal cada telhado necessita de um tipo de estrutura de fixação própria.

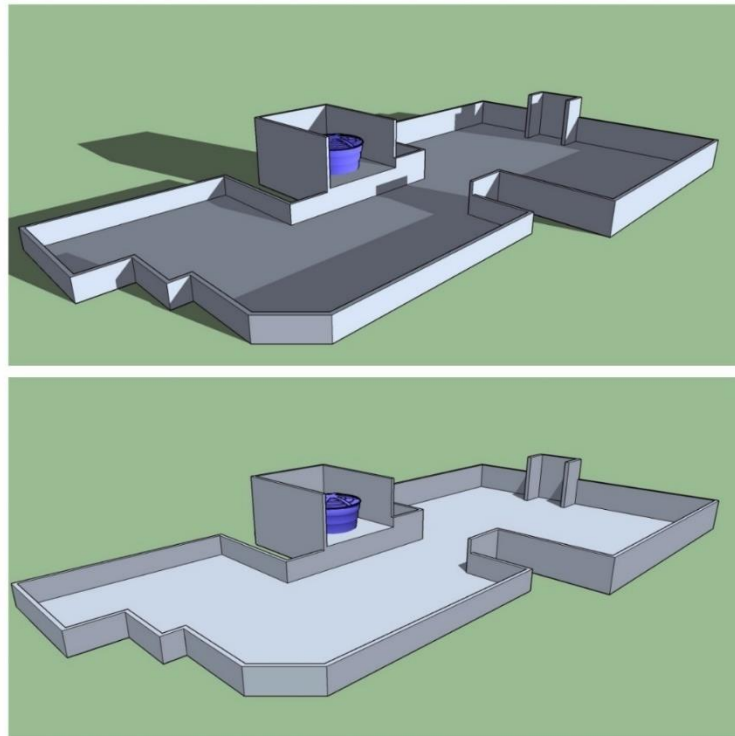
Como mostra a Figura 20 o telhado é de laje plana, o que caracteriza utilizar o tipo de estrutura de fixação dos painéis, citado no capítulo 2.4.1, estrutura esta que permite o ajuste na angulação dos painéis.

É fundamental saber a área disponível para poder calcular a quantidade de painéis que podem ser instalados. Deve-se evitar a instalação dos mesmos onde há região de sombreamento,

pois isto causará a diminuição do seu rendimento. O projeto será baseado no telhado da Figura 20, o qual possui uma área de 110,41m<sup>2</sup>.

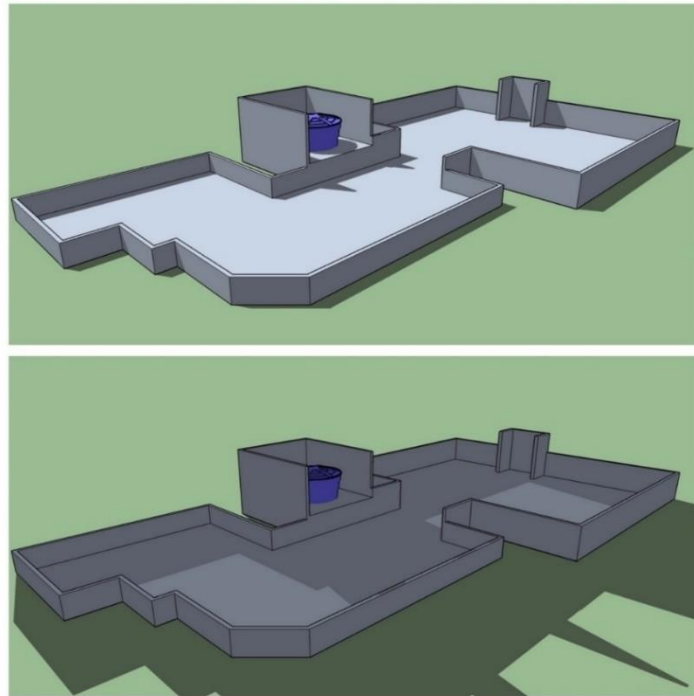
As Figura 21 e 22, simulam o movimento do sol com o passar do dia. A simulação foi realizada no programa *Google Sketchup*, no intervalo de 6 horas às 18 horas, dividido em 4 momento: 6h, 10h, 14h e 18h. Nessas figuras é possível observar as regiões de sombreamento que devem ser evitadas.

**Figura 21 – Simulação da posição solar às 6h (superior) e às 10h (inferior)**



Fonte: Autor (2017)

**Figura 22– Simulação da posição solar às 14h (superior) e às 18h (inferior)**



Fonte: Autor (2017)

O inversor, de preferência deve ser instalado próximo ao QGBT devido as ligações que deverão ser feitas. O QGBT encontra-se à sudeste do telhado, próximo de onde foi capturada a Figura 20.

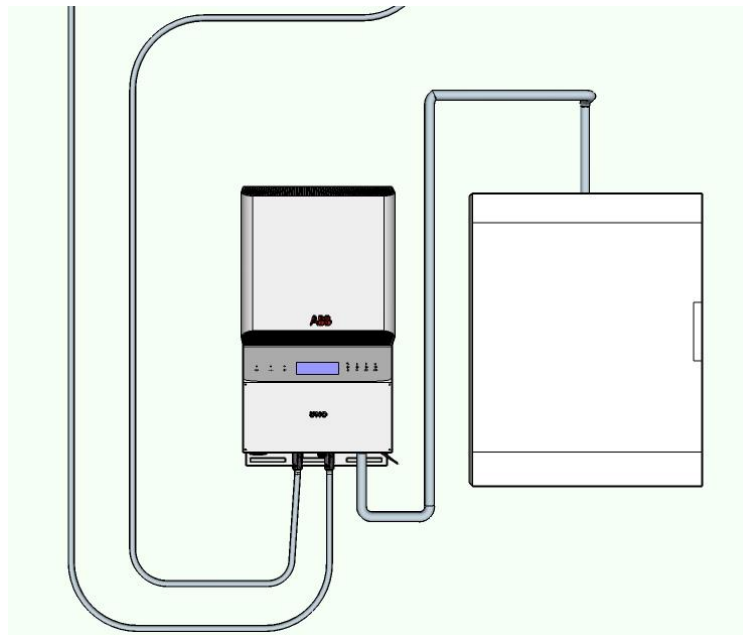
**Figura 23– Localização do QGBT**



Fonte: Autor (2017)

O inversor deverá ser instalado ao lado do QGBT (Figura 23), pois o mesmo ficará protegido de poeira, chuva, sol e qualquer outra impureza que possa danificá-lo, além de que, como mencionado anteriormente, ele irá se conectar ao QGBT.

**Figura 24 – Simulação do posicionamento do inversor**

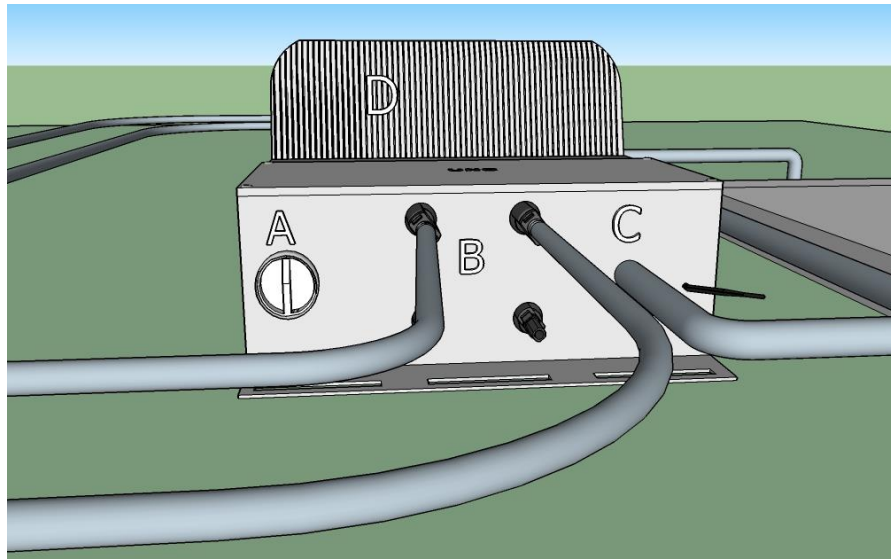


Fonte: Autor (2017)

O desenho (Figura 24) simula como seria instalado o inversor e suas conexões com o QGBT. O modelo de inversor utilizado no desenho é o PVI 3.6-TL-OUTD-S da ABB (61,8 cm x 32,5 cm x 22,2 cm), obtido no site *3D Warehouse*, do software *Google Sketchup* e o modelo do QGBT é um exemplo padrão.

Para melhor visualizar as conexões do inversor, foi feito o desenho da Figura 25, o qual mostra-se os 4 principais componentes do inversor.

**Figura 25 – Componentes do inversor PVI 3.6-TL-OUTD-S**



Fonte: Autor (2017)

É possível verificar na Figura 25 que existem 4 componentes de ligação da parte inferior do inversor, sendo o componente A a chave de segurança que permite o impedimento da passagem de corrente. O elemento B são os conectores que vem dos painéis fotovoltaicos, C é o contato de saída da corrente, já convertida de DC para AC e que é conectado ao QGBT. Já o D é o dissipador de calor.

Na Figura 19 é explicitado o tipo do padrão de atendimento que no caso é trifásico, com tensão nominal de 127V. não há necessidade de alteração no padrão de conexão, haja vista que o inversor pode ser conectado normalmente ao QGBT para que o mesmo distribua a energia para a residência.

### 3.4 ELABORAR UM PROJETO DESCRITIVO

Para realização do projeto final utilizaremos os dados anteriormente coletados.

Após o levantamento do potencial de consumo médio, é necessário fazer a seleção dos fornecedores dos painéis e do inversor, sempre visando obter os melhores fornecedores, como os citados anteriormente neste trabalho. Escolhendo a potência dos painéis e do inversor será possível efetuar o cálculo da quantidade de painéis necessários para suprir a demanda da residência. Sempre visando a escolha de produtos que possuam qualidade, confiabilidade e garantia de fábrica.

Os painéis selecionados foram da Canadian Solar, modelo CS6K-265P de 265W, a escolha deste modelo se deu pelo seu preço mais acessível em relação à outras fornecedoras

como Kyocera Solar e Globo Brasil. Outra vantagem é garantia de 83% de rendimentos nos painéis fotovoltaicos durante os primeiros 30 anos de uso.

A média de radiação solar na cidade de Belém está entre 5,25 e 5,60kWh/m<sup>2</sup> (PEREIRA, E. B. et al, 2006). Consideraremos um percentual de 80% para a eficiência dos painéis a serem instalados, haja vista que os mesmos não apresentarão seu rendimento máximo durante toda a exposição solar, além das perdas decorrentes do desgaste do sistema.

Para saber-se qual a potência que as placas têm que gerar em 1 dia para suprir a demanda da residência, é necessário dividir a potência consumida pela residência em 1 dia pela radiação média no local. Realizando o cálculo, obtêm-se:

$$P_{np} = 10,266 \text{ (kWh)} / 5,25 \text{ (kW/m}^2\text{)} = 1,955 \text{ kW.}$$

$$\text{Assumindo a eficiência de 80\%: } 1955 / 0,8 = 2443,75 \approx 2500 \text{ W (painel/dia).}$$

A quantidade de painéis (NP) necessárias é obtida pela divisão do potencial necessário pela potência de cada placa. Desta forma:

$$NP = 2,5 \text{ (kWh)} / 265 \text{ (W)} = 9,43 \approx 10 \text{ painéis.}$$

Visto que existem 110,41m<sup>2</sup> disponíveis para instalação e as dimensões dos painéis são 1650 x 992 mm, ou seja, cada painel ocupa 1,637 m<sup>2</sup>, os 10 ocupariam 16,37 m<sup>2</sup>. Permitindo uma ampliação do sistema futuramente, haja vista que ainda haveriam 94,04m<sup>2</sup>.

Para confirmar se os cálculos do levantamento estão certos da produção diária (PD), basta multiplicar a potência das placas e a média de radiação solar:

$$PD = 2,5 \text{ (kWh)} \times 5,25 \text{ (kW/m}^2\text{)} = 13,125 \text{ kWh (dia).}$$

Assumindo a eficiência de 80%:

$$PD = 13,125 \text{ (kWh)} \times 0,8 = 10,500 \text{ kWh (dia), para saber em um mês: } 10,500 \text{ (kWh)} \times 30 \text{ (dia)} = 315 \text{ kWh (mês).}$$

Nota-se que o resultado é equivalente ao cálculo da média de consumo mensal.

A escolha do inversor só poderá ser feita após a finalização do cálculo do levantamento de potencial, pois é necessário ter conhecimento de quanto será o potencial a ser convertida de DC / AC.

O inversor escolhido foi o modelo PVI 3.6-TL-OUTD-S da ABB (monofásico), possuindo potência nominal de 3.6kW, atendendo as demandas do sistema, possui 5 anos de garantia do fabricante, é uma marca consolidada no mercado, garante uma eficiência máxima de 96,8%, o mesmo ainda permite uma expansão futura no sistema se for desejado.

Os cabos utilizados para conectar os painéis ao inversor devem ser de 6mm<sup>2</sup>, pois a corrente máxima de entrada pode chegar à 32A e o inversor ao QGBT devem ser os de 6 mm<sup>2</sup>, afinal a corrente máxima que irá sair do inversor é 17,2A, e tensão 230V.

É válido lembrar que somente os inversores com selo INMETRO (ANEXO A) são aceitos pelas concessionárias para a instalação do sistema na rede de distribuição elétrica.

Assim como abordado em capítulos anteriores, a angulação dos painéis também possui um papel importante no que se trata de rendimento dos mesmos. A fim de obter um melhor posicionamento, será utilizada a fórmula apresentada no capítulo 2.6:

$$\beta = 3,7 + 0,69\varphi.$$

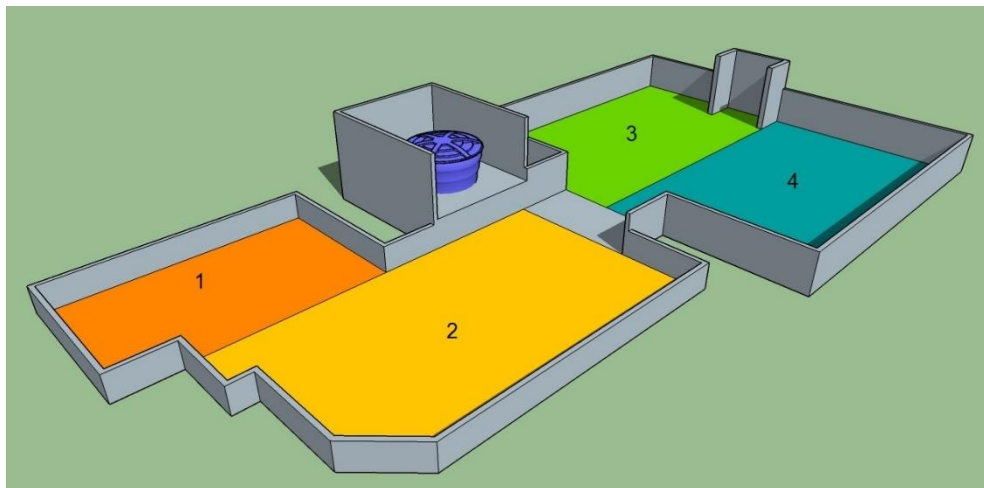
A latitude do local, como citado anteriormente, foi obtida na página digital Google Maps, e é de  $1^{\circ}20'48.0''$ . Realizando a substituição na fórmula, obtêm-se o valor de:

$$\beta = 4,39^{\circ}.$$

Porém é recomendado que os painéis fotovoltaicos não possuam uma angulação inferior à  $10^{\circ}$ , para facilitar o escoamento da água das chuvas sobre os mesmos.

A Figura 26 mostra 4 regiões disponíveis para instalação. É necessário fazer um estudo dessas regiões, verificando a área de sombreamento nas mesmas para que se possa alcançar o posicionamento que tenha o melhor rendimento para os painéis fotovoltaicos.

**Figura 26 – Regiões disponíveis para instalação dos painéis fotovoltaicos**

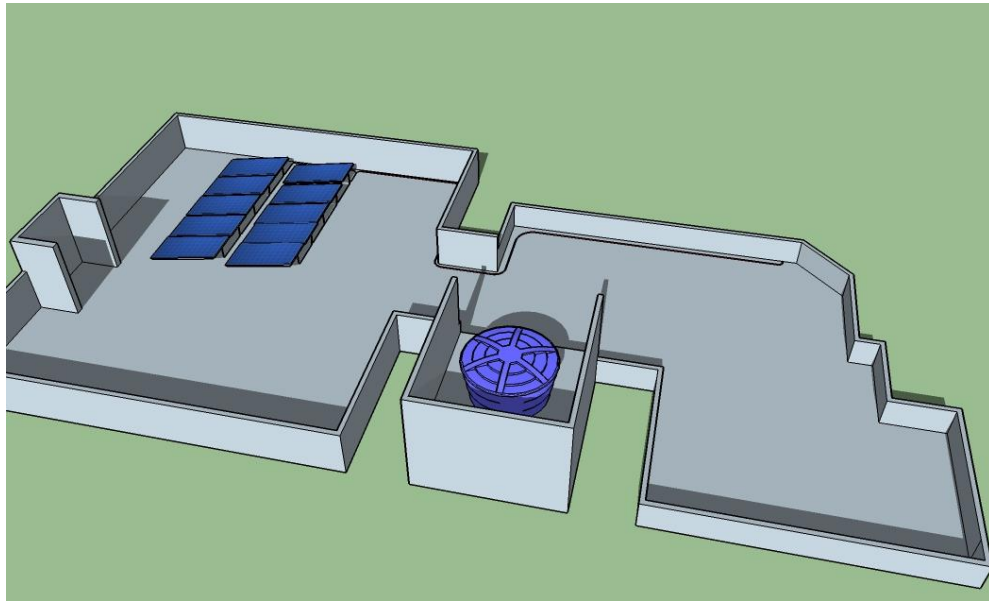


Fonte: Autor (2017)

A área 4, mostrada na Figura 26, é a melhor posição para a instalação dos painéis, pois possui  $40,46\text{m}^2$  que atende a necessidade do projeto para instalação dos painéis ( $16,37\text{m}^2$ ) e baixo índice de sombreamento durante o período entre as 10hs e 17hs. O setor 1 foi descartada por ser região de acesso ao telhado, o que dificultaria a manutenção dos painéis, e implicaria em obras civis adicionais para a instalação, aumentando o custo. A região 2 possui uma grande

região de sombreamento, mostrado anteriormente na Figura 22, o que inviabiliza a região. A área 3 possui as mesmas condições da área 1, porém encontra-se muito distante do QGBT, o que aumentaria o custo com material, mas pode ser uma área a se considerar caso se deseje expandir o número de painéis.

**Figura 27 – Simulação do posicionamento dos painéis fotovoltaicos**



Fonte: Autor (2017)

A Figura 27 é representação da possível posição dos painéis fotovoltaicos, com suas conexões e sua angulação já ajustada em  $10^\circ$  (mínimo necessário). A simulação de incidência solar é referente ao horário de 16h, evidenciando a ausência de sombreamento na região onde os painéis seriam instalados. Em vermelho é representado pela infraestrutura necessário para acomodar o cabo que irá se ligar ao inversor.

Para a instalar o sistema na rede de distribuição é necessário entrar com um processo na concessionária, neste caso, a rede CELPA. A NT.31.020 da CELPA estabelece os critérios e requisitos técnicos necessários para ligação do sistema fotovoltaico com a rede de distribuição, além de disponibilizar o formulário necessário para solicitação. O ANEXO C apresenta quais são os requisitos gerais necessários.

### 3.4.1 Custo do Projeto

Uma pesquisa referente aos preços foi realizada e os valores encontrados foram de R\$8.549,00 para o inversor e de R\$ 619,00 por cada painel. Então o custo dos componentes seria de R\$14.739,00, sem contar com o custo de mão de obra e infraestrutura.

Comparando com o valor da análise prévia, nota-se uma redução de aproximadamente R\$2.000,00.

A Tabela 2 mostra todos os custos aproximados envolvidos em um projeto real, levando em consideração todos os elementos necessários para sua devida instalação, como materiais de infraestrutura e mão de obra.

**Tabela 2 - Custo Total do Projeto**

Descritivo	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Valor total (R\$)
<b>Materiais de Infraestrutura</b>	-	-	22439,00
- Eletrodutos 3m 1 “	10	30	300,00
- Cabo Elétrico Flexível de 6mm	200 m	200 (Peça de 100m)	400,00
- Painel Fotovoltaico	10	619	6190,00
- Inversor	1	8549	8549,00
- Fixadores	2	1700	3400,00
<b>Serviço de instalação</b>	-	-	2000,00
- Fixação do inversor	1	800	800,00
- Fixação dos painéis	1	800	800,00
- Conexões	1	400	400,00
<b>Custo de Projeto</b>	-	2000	2000,00
<b>Custo Total</b>	-	-	24439,00

Fonte: Autor (2017)

### 3.4.2 Amortização

Sabendo que a instalação de um sistema fotovoltaico também é um investimento financeiro à longo prazo, é válido calcular o tempo de amortização, ou seja, o tempo necessário para que o desconto das contas de energia elétrica restitua o valor gasto no projeto.

O valor cobrado pela concessionária é soma de tarifas e tributos, este valor é multiplicado pelo consumo mensal para obter o custo. Esse valor, no caso da CELPA, é de 0,7967, que representa o custo de 1kWh (CELPA, 2017).

Como mencionado anteriormente, o sistema poderá suprir totalmente o consumo da residência, ou seja, não haverá custo na utilização da energia.

O consumo médio mensal (CusM), obtido no tópico 3.2, é de 308kWh, multiplicando o mesmo pela taxa, obtêm-se o valor médio das contas de energia elétrica:

$$\text{CusM} = 308 \text{ (kWh/mês)} \times 0,7967 \text{ (R\$)} = \text{R\$ } 245,38.$$

Ao final de um ano o custo (CA) será:

$$\text{CA} = 245,38 \text{ (R\$)} \times 12 \text{ (mês)} = \text{R\$ } 2.944,56.$$

A Tabela 3 foi gerada para melhor visualização e projetar a economia que o sistema fotovoltaico trará. Considerando um ajuste de 5% na inflação ao ano, o que impacta diretamente na tarifa. No começo do 8º ano o sistema irá se amortizar, possuindo ainda um rendimento de, pelo menos, 22 anos segundo o fabricante.

**Tabela 3 – Relação de economia acumulativa com passar dos anos do sistema fotovoltaico**

Quantidade de Anos	Economia (R\$)
1	2.944,60
2	6.036,44
3	9.282,86
4	12.691,61
5	16.270,79
6	20.028,93
7	23.974,98
8	28.118,34
9	32.468,86
10	37.036,90

Fonte: Autor (2017)

Após os 8 anos, a economia é totalmente destinada ao usuário, logo que não há custos elevados na manutenção, já que a mesma é somente a limpeza dos painéis em intervalos periódicos.

### 3.5 INSTALAÇÃO DO SISTEMA

Agora é necessário entrar com processo na concessionária para aprovação e conexão do ponto. Após o projeto ser aprovado, deverá ser solicitado a troca do medidor de consumo para um medidor de consumo bidirecional, como abordado no capítulo 2.3.4.2, caso o medidor instalado seja unidirecional. Os equipamentos deverão ser instalados, conectados e energizados. Um teste simples que se pode realizar para saber se o sistema encontra-se operando de forma normal, é observando o visor do inversor, se o mesmo mostrar quanto de potência se está gerando, sabe-se que o sistema está em pleno funcionamento (SOBRINHO, 2017).

### 3.6 ACOMPANHAR O DESEMPENHO DO SISTEMA E REDUÇÃO/COMPENSAÇÃO DE CRÉDITOS NA CONTA DE ENERGIA

O último passo é o acompanhamento do desempenho do sistema. Para avaliar o desempenho do sistema, basta verificar as contas de energia elétrica. É possível criar uma tabela de projeção como mostrado no capítulo 3.4.2 afim de verificar se os valores coincidem com o projetado preliminar.

Esta metodologia de desenvolvimento tornou possível a criação do projeto, mostrando que a mesma é eficaz, podendo ser utilizada em qualquer ambiente, porém com um foco em ambientes residenciais.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os dados obtidos neste projeto, comprovou-se a possibilidade da instalação de sistemas fotovoltaicos como fonte de energia elétrica alternativa, dada a evidente crise ambiental e energética. Com a instalação do sistema, haverá um impacto financeiro e ambiental, contribuindo para uma redução da dependência de outras fontes energéticas, além de agregar valor ao usuário que optar por a sua utilização.

Através da metodologia proposta foi possível alcançar o principal objetivo deste trabalho, o projeto de um sistema fotovoltaico de geração de energia para um ambiente residencial, além de alcançar parcialmente os objetivos secundários, que são os dados necessários para a realização do projeto, tais como levantamento do consumo médio, espaço disponível, levantamento, dimensionamento e seleção dos painéis fotovoltaicos e inversor necessários e a melhor área necessária para instalação dos painéis fotovoltaicos na residência. Uma tabela com o possível retorno financeiro foi apresentada a partir dos cálculos e dados obtidos anteriormente, mostrando que se tem um retorno à longo prazo. Sem perder de vista que o sistema projetado não gera nenhum tipo de poluente ao meio ambiente, o que assegura a proposta do projeto.

Algumas dificuldades foram encontradas no decorrer do projeto, a principal foi o custo elevado de investimento para instalação do sistema fotovoltaico, o que inviabilizou a instalação do sistema antes da apresentação deste trabalho. Também houveram dificuldades secundárias como o acesso ao telhado para obtenção das medidas necessárias para o levantamento da área disponível, uma análise precisa do trajeto que o sol percorre no decorrer do dia para simulação do movimento do mesmo e a obtenção precisa do valor médio de radiação solar incidente na região, neste caso foi utilizado um valor aproximado. Devido esses fatores não foi possível detalhar o processo de requisição de ligação com a concessionária, a efetiva instalação do sistema, que são objetivos secundários, além da inviabilidade de expor resultados reais para análise.

Como proposta futura, queremos concluir a etapa de instalação do sistema fotovoltaico, finalização do memorial descritivo do projeto e uma análise dos valores gerados pelo sistema, comparando com os valores simulados, visando validar os números obtidos.

## 5 REFERÊNCIAS

- AMBIENTE ENERGIA. **Confira a lista dos fabricantes de equipamentos para energia solar credenciados pelo BNDES**. 2016 Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2016/05/confira-lista-dos-fabricantes-de-equipamentos-para-energia-solar-credenciados-pelo-bndes/29132>>. Acesso em: 12 abr. 2017.
- ANEEL, **Micro e Minigeração Distribuída**. Cadernos Temáticos ANEEL, Brasília, v. 2, p. 1-34, mai. 2016.
- \_\_\_\_\_. **Energia solar**. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia\\_solar/3\\_2.htm](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_solar/3_2.htm)>. Acesso em: 01 mar. 2017.
- \_\_\_\_\_. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687**. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2017.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL(BEN). **Relatório síntese** | ano base 2015. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/síntese do relatório final\\_2016\\_web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/síntese%20do%20relatório%20final_2016_web.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2017.
- BERMANN, Célio. **Energia no brasil: Crise e alternativas para um país sustentável**. 2 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2003.
- BRITO, Miguel C.; SILVA, José A.. **Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade**. O instalador, Porto, jan. 2006.
- CÂMARA, Carlos Fernando. **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA**. 2011. 67 f. Monografia (Especialização) - Curso de Formas Alternativas de Energia, Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011. Cap. 3.
- CAMPOS, Mayara Soares; ALCANTARA, Licinius D.S.. **Interpretation of the Effects of Cloudy and Rainy Weather in the Solar Radiation at Belem/PA For Use in Photovoltaic Systems**. Rev. bras. meteorol., São Paulo , v. 31, n. 4, supl. 1, p. 570-579, dez. 2016. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-77862016000500570&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862016000500570&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 24 abr. 2017.

CANADIAN SOLAR. **Solar modules**. [entre 2001 e 2017]. Disponível em:  
<<http://www.canadiansolar.com/solar-panels/dymond.html>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 15 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Energia solar fotovoltaica**. 2008. Disponível em:  
<[http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=321](http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=321)>. Acesso em: 19 abr. 2017.

FEARNSIDE, Philip M. **Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras**. Manaus: INPA, 2015. 296 p.

FIGUEIREDO, F. **Conta de energia elétrica vai ficar quase 50% mais cara no Amapá**. G1, online, dez. 2016. Disponível em: <[www.g1.globo.com/ap/amapa](http://www.g1.globo.com/ap/amapa)>. Acesso em: 06 mar. 2017.

FRONIUS BRASIL. **Fronius primo 3.0-1**. 2017. Disponível em:  
<[http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/sid-36c4f909-f2ad276e/fronius\\_brasil/hs.xsl/7552\\_10832.htm#.wpaswigrlcd](http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/sid-36c4f909-f2ad276e/fronius_brasil/hs.xsl/7552_10832.htm#.wpaswigrlcd)>. Acesso em: 15 abr. 2017.

G1. **Para cobrir rombo, conta de luz devem ficar 7% mais caras em 2017**. G1, online, fev. 2017. Disponível em: <[www.g1.globo.com](http://www.g1.globo.com)>

GOOGLE MAPS. **Google maps**. 2017. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 24 abr. 2017.

INMETRO. **Programa Brasileiro de Etiquetagem: Sistema e Equipamentos de energia Fotovoltaica - Inversores**. 2017. Disponível em: <  
[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/componentes\\_fotovoltaicos\\_Inversores\\_On-Grid.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/componentes_fotovoltaicos_Inversores_On-Grid.pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2017.

KYOCERA. **Kyocera**. [entre 2012-2017]. Disponível em:  
<<http://www.kyocerasolar.com.br/>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

MCEIG. **Quadro elétrico de distribuição**. [entre 2001 e 2017]. Disponível em:  
<<http://www.mceig.com.br/quadro-eletrico-distribuicao>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

NANSEN. **Conheça o lumen 2**. [201-]. Disponível em: <<http://www.nansen.com.br/lumen-2,1,8>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

NASCIMENTO, Cássio Araújo do. **PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA CÉLULA FOTOVOLTAICA**. 2004. 23 f. Monografia (Especialização) - Curso de Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

NISKIER, Julio. **Manual de instalações elétricas**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

NOGUEIRA, D; BATISTA, H. G; F ARIELLO. **Luz pode subir até 15% em 2016 com novas fontes de pressão**. O Globo, online, out. 2015. Disponível em: <[www.oglobo.globo.com](http://www.oglobo.globo.com)>. Acesso em: 06 mar. 2017.

PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos**. 6 ed. São Paulo: Blucher, 2005. 21-28 p.

PAOLA PELACANI. **A matriz energética brasileira e o uso da energia solar no setor residencial**. Disponível em: <<https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/engenharia/a-matriz-energetica-brasileira-e-o-uso-da-energia-solar-no-setor-residencial/57648>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 1 ed. São José dos Campos: Swera, 2006.

PEREIRA, Osvaldo L. S.; GONÇALVES, Felipe F. **DIMENSIONAMENTO DE INVERSORES PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA: ESTUDO DE CASO DO SISTEMA DE TUBARÃO – SC**. Revista Brasileira de Energia, [S.L], v. 14, n. 1, p. 25-45, 2008.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPAL - CRESESB, 2014.

PORTAL BRASIL. **Entenda como funciona o mercado de crédito de carbono**. 2012. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/04/entenda-como-funciona-o-mercado-de-credito-de-carbono>>. Acesso em: 11 abr. 2012.

PORTAL EDUCAÇÃO. **A matriz energética brasileira e o uso da energia solar no setor residencial**. Disponível em:

<<https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/engenharia/a-matriz-energetica-brasileira-e-o-uso-da-energia-solar-no-setor-residencial/57648>>. Acesso em: 01 mar. 2017.

PORTAL SOLAR. **GUIA RÁPIDO: ESTRUTURA DE SUPORTE PARA FIXAÇÃO DE PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO.** [201-?]. Disponível em:

<<http://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 14 abr. 2017.

\_\_\_\_\_. **SISTEMA FOTOVOLTAICO: COMO FUNCIONA.** [201-?]. Disponível em:

<<http://www.portalsolar.com.br/sistema-fotovoltaico--como-funciona.html>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

PRÊMIO INOVAÇÃO E TECNOLOGIA BRASIL SOLAR. **Resultado da votação e suas categorias.** [2015-2017] Disponível em: <<http://www.premiobrasilsolar.com.br/index.html>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

PUCRS. Núcleo de Tecnologia em Energia Solar. **Energia Solar Fotovoltaica.** [201-?]. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/cbsolar/energia.php>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

PVTECH. **Top-10 solar cell producers in 2016.** Disponível em: <<https://www.pv-tech.org/editors-blog/top-10-solar-cell-producers-in-2016>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves De; CAMARGO, Ivan Marques De Toledo. **Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais.** Políticas públicas para a Energia: Desafios para o próximo quadriênio, Brasília, mai./jun. 2006. Disponível em: <[www.gsep.ene.unb.br](http://www.gsep.ene.unb.br)>. Acesso em: 01 mar. 2017.

SILVA, Robson Willians Da Costa; PAULA, Beatriz Lima De. **Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural.** Terra Didática, Campinas, v. 5, p. 43-47, dez. 2016. Disponível em: <[https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v5/pdf-v5/TD\\_V-a4.pdf](https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v5/pdf-v5/TD_V-a4.pdf)>. Acesso em: 07 mar. 2017.

SOBRINHO, D. O. Entrevista I. [abril 2017]. Entrevistador: Gabriel Lopes de Barros Figueiredo. Belém, 2017. 1 arquivo escrita livre.

\_\_\_\_\_. Entrevista II. [maio 2017]. Entrevistador: Gabriel Lopes de Barros Figueiredo. Belém, 2017. 1 arquivo escrita livre.

SOLENERG. **O módulo fotovoltaico para gerador solar de eletricidade.** [201-?] Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/files/modulo-fotovoltaico-solenerg.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2017.

SOUZA, R. P. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica:** livro digital de introdução aos sistemas solares. 2 ed. Ribeirão Preto: BlueSol, 2014. 113 p.

SUNFLOWER SOLAR (Online). **Qual é a diferença entre policristalino e monocristalino célula filme amorfo fino solar?** [entre 1998 e 2017]. Disponível em: <[http://www.sunflower-solar.com/index\\_pt.php?act=content&scheduler\\_id=2029](http://www.sunflower-solar.com/index_pt.php?act=content&scheduler_id=2029)>. Acesso em: 19 abr. 2017.

UNIRV. **A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO: INSTALAÇÃO DE UM PAINEL SOLAR EM RESIDÊNCIA.** Disponível em: <<http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/a%20eficiencia%20energetica%20do%20sistema%20solar%20fotovoltaico%20instalacao%20de%20um%20painel%20solar%20em%20residencia.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

VIEIRA, Jenaê et al. **ENERGIA FOTOVOLTAICA-UM ESTUDO DE CASO EM UM ESTABELECIMENTO COMERCIAL.** In: Congresso de Pesquisa e Extensão da Faculdade da Serra Gaúcha. 2016. p. 725-736.

VIVASOLARIS. **O melhor telhado de sua vizinhança.** [201-?]. Disponível em: <<http://www.vivasolaris.com.br/design-telhado/>>. Acesso em: 14 abr. 2017.

WEG. **Medidores inteligentes de energia.** 2017. Disponível em: <<http://old.weg.net/br/produtos-e-servicos/controls/medidores-inteligentes-de-energia/linha-smw>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

YINGLI SOLAR. **Yingli solar.** Disponível em: <<http://www.yinglisolar.com/br/>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

## 6 ANEXOS

## ANEXO A – Lista de inversores etiquetados no INMETRO

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

Programa Brasileiro de Etiquetagem - Sistema e Equipamentos de energia Fotovoltaica - Inversores

PROGRAMA  
BRASILEIRO DE  
ETIQUETAGEM

Tabelas de Consumo / Eficiência Energética - Componentes Fotovoltaicos - Inversores Conectados à Rede (On Grid)


FABRICANTE	MARCA	FAMÍLIA / MODELO	POTÊNCIA NOMINAL (Kw)	TENSÃO DE OPERAÇÃO CC (ENTRADA) (V)	TENSÃO DE OPERAÇÃO CA (SAÍDA) (V)	CORRENTE NOMINAL (A)	CORRENTE DE PICO (A)	REGISTRO	Data de Concessão
ABB LTDA	ABB	PVI-3.0-TL-OUTD-S	3,0	600	230	14,5	20	001133/2016	23/2/2016
ABB LTDA	ABB	PVI-3.6-TL-OUTD-S	3,6	600	230	17,2	32	001134/2016	23/2/2016
ABB LTDA	ABB	PVI-4.2-TL-OUTD-S	4,2	600	230	20	32	001135/2016	23/2/2016
ABB LTDA	ABB	PVI-5000-TL-OUTD-S	5,0	600	230	25	36	001136/2016	23/2/2016
ABB LTDA	ABB	PVI-6000-TL-OUTD-S	6,0	600	230	30	36	001137/2016	23/2/2016
ABB LTDA	ABB	UNO-2.0-TL-OUTD-S	2,0	600	230	8,7	12,5	007136/2016	9/11/2016
BRASIL SOLAIR ENERGIAS RENOVAVEIS COMERCIO E INDUSTRIA S/A	SAJ Solar Inverter	BLS	4,0	550	220	20	20	004498/2015	30/7/2015
BRASIL SOLAIR ENERGIAS RENOVAVEIS COMERCIO E INDUSTRIA S/A	SAJ Solar Inverter	BLS	5,0	550	220	16	25	004498/2015	30/7/2015
CANADIAN SOLAR BRASIL	Canadian Solar Inc	CSI-1.5K-TL	1,6	450	220	7,8	10	000079/2017	2/1/2017
CANADIAN SOLAR BRASIL	Canadian Solar Inc	CSI-3K-TL	3,0	550	220	14,5	13	000079/2017	2/1/2017
CANADIAN SOLAR BRASIL	Canadian Solar Inc	CSI-5K-MTL	5,0	550	220	22,7	15	000079/2017	2/1/2017
ECORI COM. IMP. EXP. DE PRODUTOS ECOLÓGICOS	APsystems	YC500A	0,5	55	220	2,5	-	004405/2016	3/5/2016
ECORI COM. IMP. EXP. DE PRODUTOS ECOLÓGICOS	APsystems	YC1000-3-220	1,0	60	220	4,5	14,8	005102/2016	7/7/2016
FRONIUS DO BRASIL COMÉRCIO, INDÚSTRIA E SERVIÇO LTDA.	Fronius	Fronius Galvo 1,5	1,5	120	220	13,3	13,3	004650/2015	6/8/2015
FRONIUS DO BRASIL COMÉRCIO, INDÚSTRIA E SERVIÇO LTDA.	Fronius	Fronius Galvo 2,0	2,0	420	230	17,8	10,6	004693/2015	10/8/2015
FRONIUS DO BRASIL COMÉRCIO, INDÚSTRIA E SERVIÇO LTDA.	Fronius	Fronius Galvo 2,5	2,5	440	230	16,6	41,2	004690/2015	10/8/2015
FRONIUS DO BRASIL COMÉRCIO, INDÚSTRIA E SERVIÇO LTDA.	Fronius	Fronius Galvo 3,0	3,0	550	230	19,8	39,7	004692/2015	10/8/2015
FRONIUS DO BRASIL COMÉRCIO, INDÚSTRIA E SERVIÇO LTDA.	Fronius	Fronius Primo 8.2-1	8,2	270	230	18	35,7	002134/2016	20/4/2016
FRONIUS DO BRASIL COMÉRCIO, INDÚSTRIA E SERVIÇO LTDA.	Fronius	Fronius Primo 4.0-1	4,0	210	230	12	17,4	002130/2016	20/4/2016
FRONIUS DO BRASIL COMÉRCIO, INDÚSTRIA E SERVIÇO LTDA.	Fronius	Fronius Primo 6.0-1	6,0	240	230	18	26,1	002131/2016	20/4/2016

FRONIUS DO BRASIL COMÉRCIO, INDÚSTRIA E SERVIÇO LTDA.	Fronius	Fronius Primo 3.0-1	3,0	200	230	12	13	002132/2016	20/4/2016
FRONIUS DO BRASIL COMÉRCIO, INDÚSTRIA E SERVIÇO LTDA.	Fronius	Fronius Primo 5.0-1	5,0	240	230	12	21,7	002133/2016	20/4/2016
INGETEAM LTDA	Ingeteam	IngeconSun 3 TL M	3,0	750	220	11	16	001550/2016	16/3/2016
INGETEAM LTDA	Ingeteam	IngeconSun 5 TL M	5,0	850	220	11	26,4	001552/2016	16/3/2016

## ANEXO B – Formulário de requisição de ligamento do sistema fotovoltaico com a rede

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 <input type="checkbox"/>	bifásica <input type="checkbox"/> trifásica <input type="checkbox"/>
3 - Dados da Geração		
Potência instalada de geração (kW):		
Tipo da Fonte de Geração:		
Hidráulica <input type="checkbox"/>	Solar <input type="checkbox"/>	Eólica <input type="checkbox"/> Biomassa <input type="checkbox"/> Cogeração Qualificada <input type="checkbox"/>
Outra (especificar):		
4 - Documentação a Ser Anexada		
1.	ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração	<input type="checkbox"/>
2.	Diagrama unifilar contemplando Geração/Proteção(Inversor, se for o caso)/Medição e memorial descritivo da instalação.	<input type="checkbox"/>
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.	<input type="checkbox"/>
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>	<input type="checkbox"/>
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	<input type="checkbox"/>
6.	Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver)	<input type="checkbox"/>
7.	Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)	<input type="checkbox"/>
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 C – Conexão de Microgeração Distribuída ao Sistema de Baixa Tensão - NT.31.020

	<b>NORMA TÉCNICA</b>	Elaborado em: <b>31/10/2014</b>	Página: <b>64 de 65</b>
<b>Título: CONEXÃO DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA AO SISTEMA DE BAIXA TENSÃO</b>		Código: <b>NT.31.020</b>	Revisão: <b>02</b>

**8 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, CONSTRUTIVAS E OPERACIONAIS****8.1 Requisitos Gerais de Conexão (conforme PRODIST Módulo 3 Seção 3.7)**

8.1.1 O ponto de conexão do acessante com microgeração distribuída é o ponto de entrega da unidade consumidora, conforme definido na REN 414/2010.

8.1.2 A conexão à rede de distribuição da Concessionária, deve ser realizada em corrente alternada com frequência de 60 (sessenta) Hz, através de fontes com ou sem utilização de inversor.

8.1.3 O paralelismo das instalações do acessante com a rede de distribuição da Concessionária não pode causar problemas técnicos ou de segurança aos demais acessantes, ao sistema de distribuição acessado e ao pessoal envolvido com a sua operação e manutenção.

8.1.4 O acessante é o único responsável pela sincronização adequada de suas instalações com o sistema de distribuição acessado.

8.1.5 A instalação do acessante, conectada ao sistema de distribuição, deve operar dentro dos limites de frequência, fator de potência e distorção harmônica de tensão e corrente estabelecidos no Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica.

8.1.6 As unidades consumidoras com microgeração distribuída podem operar em modo de ilha, desde que desconectadas fisicamente da rede de distribuição.

**8.1.7 Níveis de Tensão para Conexão**

8.1.7.1 A quantidade de fases e o nível de tensão de conexão da central geradora serão definidos pela CONCESSIONÁRIA, em função das características técnicas da rede e em conformidade com a regulamentação vigente.

8.1.7.2 Os Acessantes devem ser interligados ao sistema elétrico de baixa tensão no mesmo ponto de conexão da unidade consumidora.

Tabela 2 – Forma de Conexão em Função da Potência

CONCESSIONÁRIA	CARGA INSTALADA DA UNIDADE CONSUMIDORA	POTÊNCIA INSTALADA DA MICROGERAÇÃO	FORMA DE CONEXÃO
CELPA	≤ 10 kW	≤ 10 kW	Monofásico
	10 kW a 15 kW	10 kW a 15 kW	Bifásico
	15 a 75 kW	15 a 75 kW	Trifásico
CEMAR	≤ 12 kW	≤ 12 kW	Monofásico
	12 a 75kW	12 a 75 kW	Trifásico

**Nota 7: Para atendimento em configuração da rede de distribuição diferente da recomendada (Radial), a Concessionária deverá realizar estudo prévio de viabilidade técnica;**