



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MATHEUS FONSECA BASTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA O CAMPUS DA
UFERSA CARAÚBAS**

CARAÚBAS-RN
2017

MATHEUS FONSECA BASTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA O CAMPUS DA
UFERSA CARAÚBAS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Campus Caraúbas para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Ednardo Pereira da Rocha-UFERSA

CARAÚBAS-RN
2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B327d Bastos, Matheus Fonseca.
DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO
PARA O CAMPUS DA UFERSA CARAÚBAS / Matheus Fonseca
Bastos. - 2017.
62 f. : il.

Orientador: Ednardo Pereira Rocha.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2017.

1. Sistema Fotovoltaico. 2. Sustentabilidade.
3. Energia Solar. 4. Usina Geradora. 5. Micro
Geração. I. Rocha, Ednardo Pereira, orient. II.
Título.

MATHEUS FONSECA BASTOS

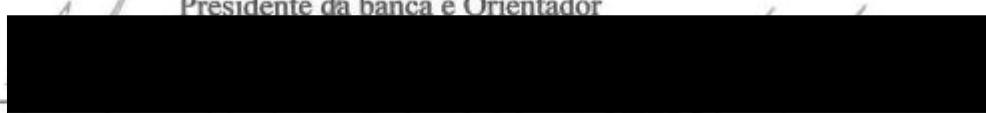
**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA O CAMPUS DA
UFERSA CARAÚBAS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Campus Caraúbas para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

APROVADO EM 09/10/2017

BANCA EXAMINADORA


Prof. Me. Ednardo Pereira da Rocha - UFERSA
Presidente da banca e Orientador


Prof. Dr. Adriano Aron Freitas de Moura - UFERSA
Primeiro Membro


Profª. Maria Izabel da Silva Guerra - UFERSA
Segundo Membro

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre
aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer).

Resumo

O uso de módulos fotovoltaicos no Brasil e no mundo vem crescendo nos últimos anos, visto que a escassez de certo recursos e o aumento tarifário vem preocupando a população. Com isso a busca por um modelo de geração de energia mais limpo e sustentável vem sendo cada vez mais procurado. É nesse contexto que a energia fotovoltaica é inserida, uma tecnologia de fácil instalação, com um custo de investimento relativamente baixo quando comparado com outras fontes geradoras e com excelente retorno á médio e longo prazo. O presente trabalho apresenta a elaboração e viabilidade de uma microusina fotovoltaica para o Campus Universitário da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, situada na cidade de Caraúbas-RN, com potência instalada de 50kWp. Onde foi possível obter um sistema fotovoltaico com um retorno em 7 anos de geração e um fluxo de caixa de aproximadamente 6 vezes o investimento inicial do projeto.

Palavras Chaves: Energia Solar, Fotovoltaica, Geração, Sustentabilidade

Abstract

The use of photovoltaic modules in Brazil and in the world has been growing in recent years, since the scarcity of certain resources and the increase in tariffs has been worrying the population. As a result, the search for a cleaner and sustainable energy generation model has been increasingly sought after. It is in this context that photovoltaic energy is inserted, a technology of easy installation, with a relatively low investment cost when compared to other generating sources and with an excellent return in the medium and long term. The present work presents the elaboration and viability of a photovoltaic microsystem for the University Campus of the Federal Rural Semi-Arid Federal University - UFERSA, located in the city of Caraúbas-RN, with an installed capacity of 50kWp. Where it was possible to obtain a photovoltaic system with a return in 7 years of generation and a cash flow of approximately 6 times the initial investment of the project.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaics, Generation, Sustainability

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número de Conexões de Unidades com Geração Distribuída	21
Tabela 2: Irradiação Média.....	33
Tabela 3: Modelos de Módulos Fotovoltaicos	33
Tabela 4: Principais características de um Módulo Fotovoltaico.....	35
Tabela 5: Distribuição dos Módulos Fotovoltaicos	36
Tabela 6: Principais características do Inversor	38
Tabela 7: Requisitos mínimos para geração	43
Tabela 8: Energia gerada pela Usina	44
Tabela 9: Custo dos equipamentos	45
Tabela 10: Custo com os demais componentes	46
Tabela 11: Custo dos demais componentes para uma Usina de 50kWp	47
Tabela 12: Custo total do projeto	47
Tabela 13: Viabilidade Econômica.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação do efeito fotovoltaico	16
Figura 2: Pannel Fotovoltaico composto por um arranjo de Células a Silício Monocristalino. 18	
Figura 3: Célula Fotovoltaica a Silício Policristalino.....	19
Figura 4: Representação das partes que compõem um pannel fotovoltaico.....	21
Figura 5: Curva Característica I-V	22
Figura 6: Curva Característica W-V	23
Figura 7: Curva Característica da máxima potência.....	23
Figura 8: Curva Característica I-V para diferentes temperaturas	24
Figura 9: Curva Característica I-V para diferentes radiações.....	25
Figura 10: Relação tensão e eficiência do inversor	27
Figura 11: Vista aérea do Campus Universitário.....	31
Figura 12: Levantamento de dados através do Radiasol 2	32
Figura 13: Selo do Procel	34
Figura 14: Esquema de Ligação dos Módulos	36
Figura 15: Disjuntor bipolar para o lado CC	39
Figura 16: Disjuntor tripolar para o lado CA	40
Figura 17: Esquema de conexão a rede desatualizado	41
Figura 18: Esquema de conexão a rede elétrica atualizado	42
Figura 19: Fluxo de Caixa Acumulado ao longo dos 25 anos.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CRESESB – Centro de Referências para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
CAPEX – *Capital Expenditure*
DSV – Dispositivo de Seccionamento Visível
SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede Elétrica
HSP – Horas de Sol Pleno
MPPT – *Maximum Power Point Tracking*
O&M – Operação e Manutenção
OPEX – *Operational Expenditure*
TIR – Taxa Interna de Retorno
VP – Valor Presente
VPL – Valor Presente Líquido
EOL – Energia Eólica
UFV – Usina Fotovoltaica
CA – Corrente Alternada
CC – Corrente Contínua
Psf – Potência Sistema Fotovoltaico

SUMÁRIO

CAPITULO 1	13
1.1 INTRODUÇÃO	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
CAPITULO 2	15
2.1 A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	15
2.2 A RADIAÇÃO SOLAR	15
2.3 EFEITO FOTOVOLTAICO	15
2.4 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	17
2.4.1 Silício Monocristalino	17
2.4.2 Silício Policristalino	18
2.4.3 Silício Amorfo	19
2.5 EFICIÊNCIA DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	20
2.6 ENERGIA SOLAR NO BRASIL	20
2.7 CARACTERÍSTICA DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO	21
2.8 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DA RADIAÇÃO INCIDENTE	24
2.9 EFEITO DO SOMBREAMENTO	25
2.10 OTIMIZAÇÃO DA TENSÃO DE OPERAÇÃO	26
2.11 DIODOS DE DESVIO E DE BLOQUEIO E FUSÍVEIS DE PROTEÇÃO	27
2.12 INVERSOR DE CORRENTE	28
2.12 PROJETO ELÉTRICO	29
CAPITULO 3	30
3.1 METODOLOGIA DA PESQUISA	30
3.2 DIMENSIONAMENTO	30
3.2.1 Avaliação do Espaço Físico da Instalação	31
3.2.2 Níveis de Irradiação no Local	31
3.2.3 Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos	33
3.2.4 Arranjo dos Módulos Fotovoltaicos	35
3.2.5 Caixa de Conexão	37
3.2.5 Dimensionamento dos Inversores	37
3.2.6 Dimensionamento dos Cabos Condutores	38
3.2.7 Dimensionamento dos Disjuntores CC	39
3.2.8 Dimensionamento dos Disjuntores CA	40
3.2.9 Esquema de Ligação com a Rede Elétrica	40
3.3.0 Normas da Aneel	42
CAPITULO 4	44
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1.1 Estimativa de Geração	44
4.1.2 Levantamento de Preços dos Equipamentos	45
4.1.3 Custo de Produção	48
4.1.4 Parâmetros de Viabilidade	48
4.1.4.1 Payback	49
4.1.4.2 Vpl	49
4.1.4.3 Taxa Interna de Retorno	49

CAPITULO 5	52
5.1 CONCLUSÃO.....	52
6 REFERÊNCIAS	54
ANEXO I – Datasheet dos Módulos Fotovoltaicos	57
ANEXO II – Datasheet dos Inversores	58
ANEXO III – Diagrama Unifilar	59
ANEXO IV – Subestação Área 75kVA	60
ANEXO V – Planta da Estrutura da Usina.....	61
ANEXO VI – Arranjo Físico	62

CAPITULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a matriz energética mundial sofreu grandes mudanças, devido ao incentivo às fontes de energia renováveis, eficiência energética e visando uma matriz mais sustentável. E é nesse cenário que a energia solar fotovoltaica se enquadra, uma fonte de geração de energia elétrica “limpa” e sustentável.

As fontes de energia renováveis utilizam-se de recursos não esgotáveis como, a energia gerada pelos ventos, radiação solar, a energia hidráulica, a biomassa. O uso de fontes renováveis apresenta diversas vantagens, e uma das principais vantagens é o fato de serem inesgotáveis à escala humana, provocam um impacto ambiental menor do que combustíveis fósseis, uma vez que não produz dióxido de carbono e outros gases nocivos a saúde.

A matriz energética mundial é baseada principalmente em dois sistemas: o petróleo e a força utilizada pela água. A geração de energia elétrica através das águas (Hidrelétricas) é usada como um recurso renovável que provoca grandes impactos ao meio ambiente, principalmente quando há necessidade de desviar cursos de rios. A partir desse cenário crítico que a procura por novas fontes renováveis vem crescendo gradativamente, e uma delas é a energia solar fotovoltaica.

A energia solar que incide na terra e é considerada uma energia pura e inesgotável, sempre foi assunto de pesquisa dentro das universidades. O sistema de geração de energia elétrica, através de painéis fotovoltaicos, é uma forma de absorver a energia solar incidente na terra e transformá-la em energia elétrica, reduzindo o gasto com outras fontes geradoras de energia, contribuindo diretamente para a sustentabilidade ambiental no planeta e levando energia elétrica a locais onde era impossível se garantir a chegada de linhas de transmissão.

O uso de módulos fotovoltaicos no Brasil e no mundo vem crescendo significativamente nos últimos anos impulsionados pela escassez de certos recursos e o aumento tarifário, por exemplo, as Hidrelétricas que em períodos de seca não tem capacidade de geração. Com isso a busca por um modelo de geração de energia mais limpo e sustentável vem sendo cada vez mais procurado. Com base nesse cenário a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), criou a Resolução nº 482/2012, na qual o consumidor pode gerar a sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, podendo ainda fornecer o excedente a rede de distribuição. É nesse contexto que a energia fotovoltaica é

inserida, uma tecnologia de fácil instalação, com baixo custo de investimento e com retorno em médio prazo, quando comparada às outras fontes alternativas de energia, por exemplo, a eólica.

Conclui-se, portanto que o grande desafio da sociedade é a busca por fontes renováveis que reduzam os impactos ambientais e possa garantir o fornecimento de energia para toda a população.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção serão mostrados os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica para o campus universitário da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, situado na cidade de Caraúbas-RN, de modo a demonstrar os benefícios de sua utilização bem como a economia gerada a longo prazo.

Analisar e comparar a situação atual sem o uso e com o uso de um sistema fotovoltaico instalado a rede elétrica, a fim de comparar e estimar o impacto gerado pelo consumo da energia elétrica atual.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantamento das cargas geradas (consumo) no último ano, a fim de determinar os equipamentos a serem utilizados.
- Analisar os dados do local para definir a melhor localização e posicionamento para a instalação dos módulos fotovoltaicos.
- Dimensionamento e escolha dos equipamentos adequados à situação.
- Utilização das normas referente a micro e mini geração de energia.
- Análise dos resultados e viabilidade do projeto.

CAPITULO 2

2.1 A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A Energia Fotovoltaica é uma fonte de geração de energia elétrica a partir da luz solar, podendo ser produzida mesmo em dias nublados, uma vez que a mesma depende do índice de radiação solar no local, ou seja, quanto maior for a radiação solar maior será a quantidade de eletricidade gerada.

O processo de geração de energia elétrica a partir da energia solar utiliza células fotovoltaicas, sendo elas de silício Monocristalino, Policristalino, Amorfo ou de outro material semicondutor.

2.2 A RADIAÇÃO SOLAR

A energia emitida pelo sol é denominada radiação solar, na qual, metade dessa energia é transmitida na forma de luz visível e outra parte em forma de luz infravermelho e ultravioleta. A radiação solar fornece cerca de $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia para a atmosfera terrestre, onde, aproximadamente 25% dessa radiação penetra na superfície da Terra, constituindo a insolação direta, enquanto que o restante é refletido de volta ao espaço, absorvida ou ainda espalhada até atingir a superfície terrestre (HINRICHS, 2010).

A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoeletrico e o fotovoltaico (ANEEL, 2003).

2.3 EFEITO FOTOVOLTAICO

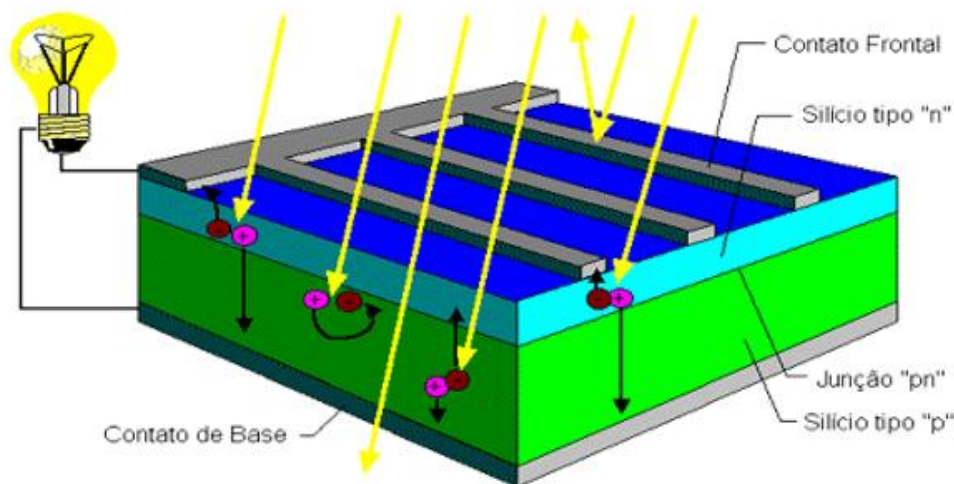
A utilização do efeito fotovoltaico na geração de energia elétrica consiste em materiais existentes na natureza, denominados semicondutores, que são materiais que conduzem eletricidade de forma mais precisa que os isolantes e menos que os condutores, ou seja, possuem uma banda de valência preenchida com elétrons e outra banda vazia a temperaturas baixas. Entre estas duas faixas se encontra a faixa “proibida” ou hiato energético. É a largura

dessa faixa que determina o tipo de material. Enquanto os materiais isolantes apresentam uma faixa larga, da ordem de 6 eV, os semicondutores apresentam uma faixa média, da ordem de 1 eV (BASTOS, 2016).

O efeito fotovoltaico é realizado quando introduzido em uma face átomos de boro (três elétrons) e, em outra, átomos de fósforo (cinco elétrons), formando-se uma junção PN. Ocasionalmente a passagem dos elétrons livres do lado N para o lado P onde encontram os buracos. Essa passagem de elétrons livres do lado N para o lado P faz com que haja um acúmulo de elétrons no lado P, tornando-o negativamente carregado e uma redução de elétrons do lado N, tornando-o eletricamente positivo (BRAGA, 2008).

Estas cargas que são retidas dão origem a um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de mais elétrons de um lado para o outro. Desde modo é criada uma barreira para impedir que estes elétrons retornem a sua posição anterior, com isso é gerado uma corrente elétrica. A Figura 1 ilustra como é realizado o efeito fotovoltaico utilizando o silício como material semicondutor.

Figura 1: Representação do efeito fotovoltaico



Fonte: CRESESB, 2014

2.4 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A energia elétrica obtida através da conversão direta da luz solar é denominada energia solar fotovoltaica. Conversão essa que foi estudada pela primeira vez em 1839 pelo Físico Edmond Becquerel, que observou que ao iluminar uma solução ácida surgia uma diferença de potencial entre os eletrodos. Porém, só em 1950, mais de um século depois da descoberta de Becquerel é que foram desenvolvidas as primeiras células fotovoltaicas, fabricadas a partir de lâminas de silício cristalino com uma eficiência de 6% com potência de 5mW em uma área de 2cm³ (CRESESB, 2014). Atualmente as células fotovoltaicas mais utilizadas em painéis fotovoltaicos são à base de Silício Monocristalino, Policristalino e Amorfo.

2.4.1 SILÍCIO MONOCRISTALINO

As células fotovoltaicas de silício monocristalino (Figura 2) são historicamente as mais utilizadas na geração de energia elétrica, sendo que a sua fabricação tem um custo relativamente baixo. A fabricação da célula inicia-se com a extração da matéria prima, que é o cristal de dióxido de silício. Este material passa por um processo de desoxidação em grandes fornos, purificado e solidificado. Atingindo assim um grau de pureza entre 98 e 99%, sendo considerado razoavelmente eficiente sob o ponto de vista energético e o seu custo de fabricação. Para funcionar como célula fotovoltaica, este silício necessita de outros dispositivos semicondutores e de um grau de pureza maior que o atingido no processo de desoxidação, devendo atingir uma faixa de 99,999% (CRESESB, 2014).

Entretanto, para utilizar o silício na fabricação de células fotovoltaicas, o material deve ter a estrutura monocristalina e baixa densidade de defeitos na rede. Este processo é feito fundindo o silício juntamente com uma pequena quantidade de dopante, onde é utilizado um átomo do tipo P, normalmente se utiliza o boro. A partir desse processo é extraído um grande cilindro de silício monocristalino levemente dopado, onde é cortado em fatias finas de aproximadamente 300μm.

Após o processo de dopagem do tipo P, é feita a dopagem do tipo N de forma a obter a junção. Este processo ocorre através da difusão controlada, onde introduzir fatias de silício expostas a vapor de fósforo em fornos com temperatura variando de 800° a 1000°C.

Dentre as células fotovoltaicas que utilizam o silício como matéria prima base, as de silício monocristalino são as que apresentam um maior rendimento, podendo atingir uma eficiência de até 25%.

Figura 2: Painel Fotovoltaico composto por um arranjo de Células a Silício Monocristalino



Fonte: CRESESB, 2014

2.4.2 SILÍCIO POLICRISTALINO

As células de silício Policristalino (Figura 3) também conhecidas como silício multicristalino, são mais baratas quando comparadas com as de silício monocristalino, visto que o processo de fabricação das células de silício monocristalino é mais rigoroso. Entretanto, a eficiência das células de silício policristalino é menor. A diferença entre os dois tipos de silício está em algumas características específicas como tamanho da célula, morfologia e concentração de impurezas. O processo de fabricação das células de silício policristalino vem aumentando nos últimos anos, alcançando uma eficiência de quase 15% em escalas industriais (CRESESB, 2014).

Figura 3: Célula Fotovoltaica a Silício Policristalino



Fonte: CRESESB, 2014

2.4.3 SILÍCIO AMORFO

As células de silício amorfo têm sua estrutura diferenciada das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos (CRESESB, 2014). A utilização de silício amorfo na fabricação de células fotovoltaicas tem mostrado grandes vantagens tanto no processo de fabricação quanto em suas propriedades elétricas.

O silício amorfo vem se mostrando uma fonte tecnológica de baixo custo na fabricação de células fotovoltaicas, por apresentar uma absorção da radiação solar na faixa do visível e podendo ser fabricado mediante deposição de diversos tipos de substratos (CRESESB, 2014).

Entretanto, o uso de silício amorfo apresenta algumas desvantagens, mesmo com seu custo relativamente baixo. A primeira desvantagem é a baixa eficiência na conversão quando comparada às células cristalinas, e a segunda desvantagem é a degradação do material que reduz a eficiência das células ao longo da sua vida útil. Porém, mesmo com algumas desvantagens ainda é viável a utilização do silício amorfo, visto que seu processo de fabricação é relativamente simples e barato, tem a possibilidade de fabricar células com grandes áreas, e tem um baixo consumo de energia em sua produção (CRESESB, 2014).

2.5 EFICIÊNCIA DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

São vários os parâmetros que podem afetar a eficiência de um conjunto de painéis fotovoltaicos. O mais importante é a radiação solar, que depende diretamente da localização geográfica onde é instalado, como de sua inclinação e orientação. Além da radiação, outro fator que afeta diretamente a eficiência dos painéis é a limpeza do mesmo, bem como a temperatura dos painéis e o sombreamento parcial.

Em casos de alta radiação, se o módulo fotovoltaico não for projetado para essas condições, pode acabar reduzindo sua eficiência ou até mesmo danificando. Entretanto, quando a radiação solar é baixa a potência elétrica gerada pelos módulos é ainda menor.

A inclinação e a orientação exata dos painéis fotovoltaicos não são, no entanto, críticas, de que os painéis fotovoltaicos devem ser instalados em estruturas voltadas para o norte, de preferência móveis para poder seguir o sol. Para uma grande variedade de orientação possível, pode-se atingir uma incidência de mais de 95% da radiação. Só é válida essa afirmação para superfície livre de obstruções (RUTHER, 2004).

O sombreamento dos painéis fotovoltaicos é uma questão crítica, pois o mesmo pode vir a atuar como uma carga, levando a um aquecimento excessivo da célula e causando possíveis danos ao painel. Isso ocorre devido ao fato de que a célula sobre a qual incidir a menor quantidade de radiação é que irá determinar a corrente de operação de todo o conjunto (RUTHER, 2004).

2.6 ENERGIA SOLAR NO BRASIL

O Brasil possui um ótimo cenário para a geração de energia solar, com um índice de radiação solar relativamente alto e contínuo principalmente na região Nordeste que vem se destacando entre países mais desenvolvidos. Na região do Semi Árido estão os melhores índices de radiação, com valores anuais de radiação incidente entre 1.752 a 2.190 kWh/m². Colocando o país em vantagem com relação aos países industrializados no que diz respeito à utilização da energia solar fotovoltaica (BRAGA, 2008).

Entretanto, pelo fato do Brasil ser um dos países com maior índice de radiação solar, o mesmo vem sofrendo obstáculos, devido aos baixos rendimentos das tecnologias para sua conversão em calor ou eletricidade. Em alguns casos, como em zona rurais na secagem de produtos agrícolas, no bombeamento de água e na geração de eletricidade em pequena escala.

O Brasil é o país mais avançado da América do Sul, em relação ao desenvolvimento de energia renováveis. Dentre os países de Terceiro Mundo foi o primeiro a fabricar comercialmente células fotovoltaicas, a partir do silício monocristalino.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), o número de conexões de micro e minigeração de energia superaram 10 mil instalações em 2017. As fontes mais utilizadas pelos consumidores e geradores são a energia solar com 10.307 adesões, seguida pela energia eólica com 50 instalações, como é ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1: Número de Conexões de Unidades com Geração Distribuída

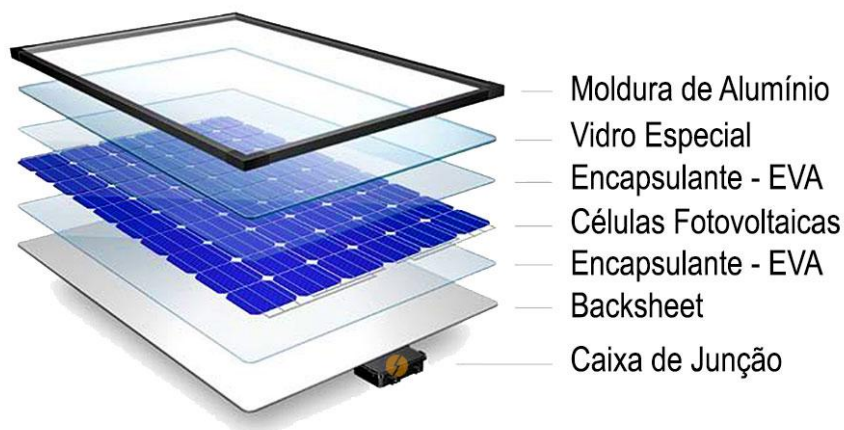
UNIDADES CONSUMIDORAS COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA			
Tipo	Quantidade	Quantidades de UCs que recebem os créditos	Potência Instalada (kW)
CGH	11	34	7.115,00
EOL	50	51	10.177,20
UFV	10.307	11.384	79.467,68
UTE	46	158	16.787,50

Fonte: Aneel, 2017

2.7 CARACTERÍSTICA DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO

A construção de um módulo fotovoltaico está representado pela Figura 4:

Figura 4: Representação das partes que compõem um painel fotovoltaico



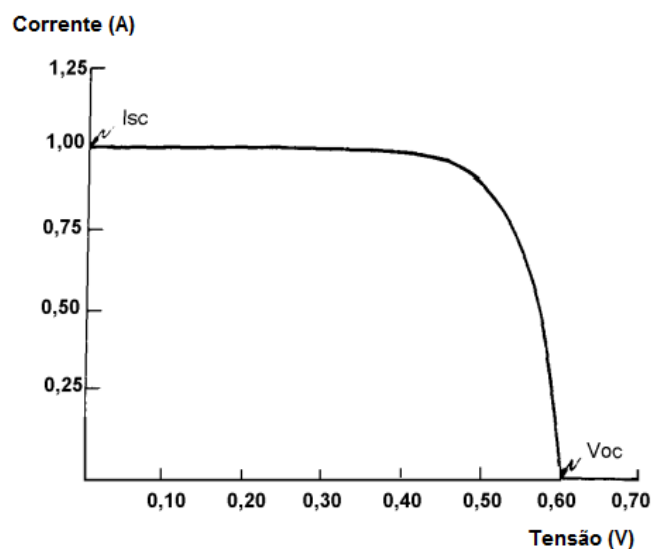
Fonte: Portal Solar, 2016

A característica de um painel fotovoltaica é dada a partir de sua potência máxima (P_m). Devido a isso, a potência máxima é considerada o valor mais importante, quando se trata em caracterizar um painel. No entanto, existem outros parâmetros que devem ser considerados, sendo eles:

- Tensão de Circuito Aberto (V_{oc});
- Tensão de Curto-Circuito (I_{sc});
- Tensão de Máxima Potência (V_{mp});
- Corrente de Máxima Potência (I_{mp}).

Os parâmetros apresentados a seguir são realizados graficamente utilizando-se uma única célula fotovoltaica. A Figura 5, representa uma curva característica $I \times V$ de uma célula fotovoltaica, no qual pode observar os parâmetros da corrente de curto-circuito (I_{sc}) e a tensão de circuito aberto (V_{oc}).

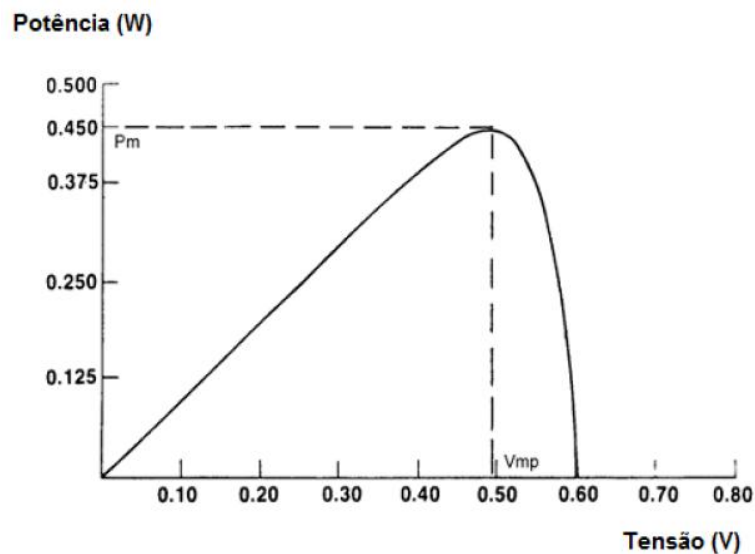
Figura 5: Curva Característica I-V



Fonte: CRESESB, 2014

A Figura 6, apresenta o comportamento da potência em função da tensão $W \times V$.

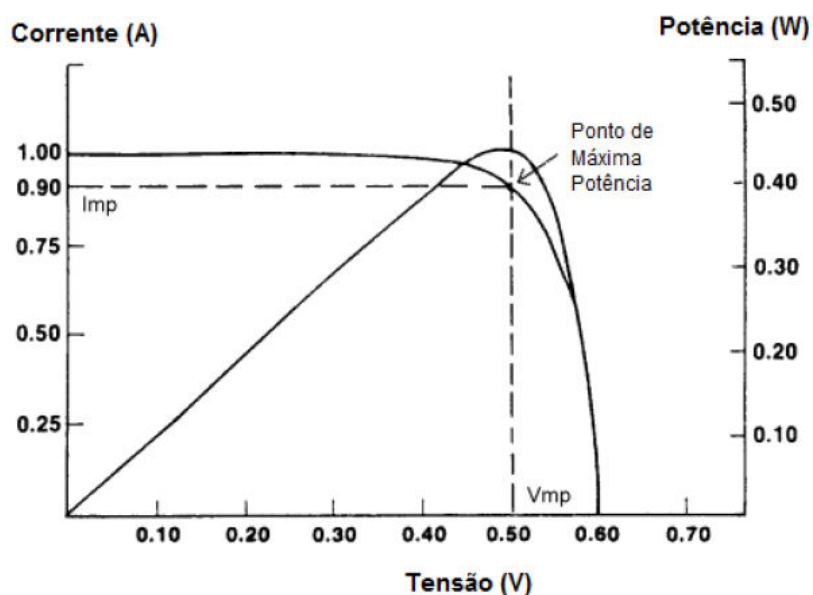
Figura 6: Curva Característica W-V



Fonte: CRESESB, 2014

A Figura 7, verifica-se o ponto de máxima potência e, conseqüentemente, os valores de tensão e corrente neste ponto. Os parâmetros das curvas características foram obtidos em condições padrões, ou seja, nível de irradiação solar igual a 1000W/m^2 e temperatura de 25°C (CRESESB, 2014).

Figura 7: Curva Característica da máxima potência



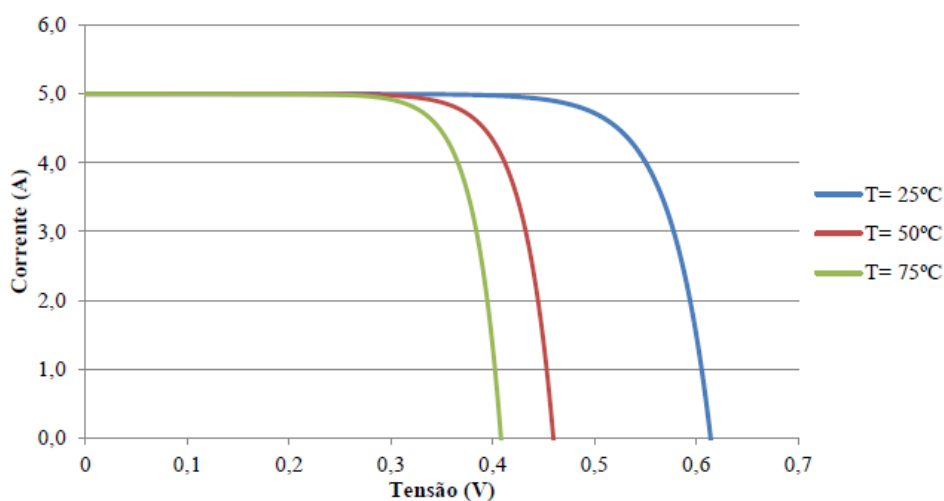
Fonte: CRESESB, 2014

2.8 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DA RADIAÇÃO INCIDENTE

A geração de energia fotovoltaica ocorre quando os painéis fotovoltaicos são expostos à luz solar. A temperatura e a radiação incidente na célula são fatores que influenciam de forma determinante o funcionamento da célula fotovoltaica (BASTOS, 2016). A Figura 8 apresenta a forma como as grandezas características da célula fotovoltaica são afetadas pela temperatura. Com o aumento da temperatura da célula:

- A potência de saída da célula decresce;
- A tensão em vazio, V_{ca} , decresce;
- A corrente de curto-circuito, I_{sc} , varia pouco
- A corrente inversa de saturação, I_0 , varia.

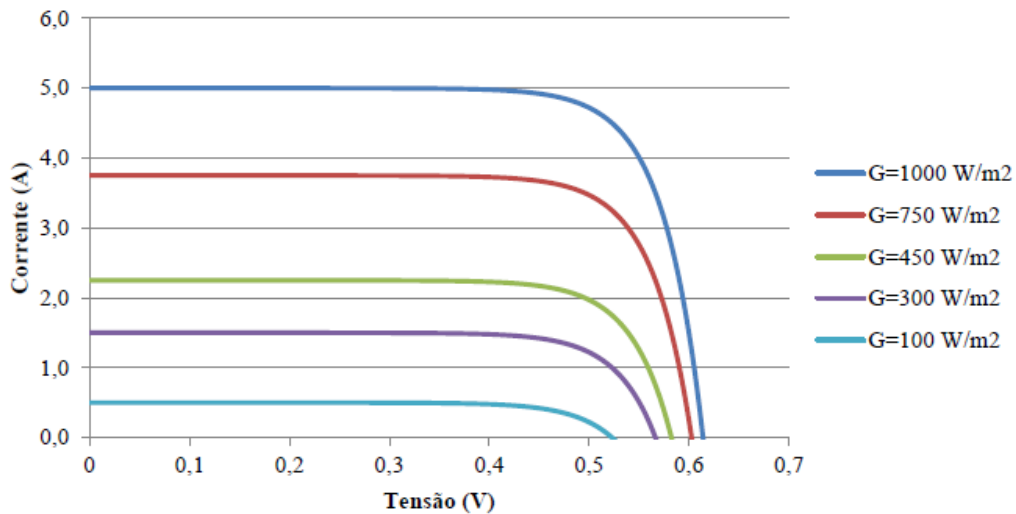
Figura 8: Curva Característica I-V para diferentes temperaturas



Fonte: Lopes, 2013

A Figura 9 representa a curva característica de acordo com a variação da radiação solar incidente na célula. A corrente de curto-circuito é praticamente desprezível, visto que a mesma praticamente não varia com a temperatura da célula, apresentando uma variação linear com a radiação solar incidente.

Figura 9: Curva Característica I-V para diferentes radiações



Fonte: Lopes, 2013

O aumento da radiação solar na célula:

- A Potência de saída da célula aumenta;
- A tensão em vazio, V_{ca} , é quase desprezível;
- A corrente de curto-circuito, I_{sc} , varia linearmente;
- A corrente inversa de saturação, I_0 , varia.

2.9 EFEITO DO SOMBREAMENTO

Assim como a radiação o sombreamento é um dos principais fatores que afetam diretamente a capacidade de geração de energia elétrica nos painéis fotovoltaicos, tanto sombreamento de árvores, prédio ou sujeira como poeira, folhas (BASTOS, 2016).

O efeito do sombreamento nos painéis fotovoltaicos funciona como uma carga, dissipando a corrente de entrada. Quando uma célula não está exposta a radiação solar, ou seja, não está exposta a luz solar, a mesma irá aquecer criando os chamados pontos quentes. De forma a minimizar o efeito do sombreamento, são utilizados díodos de bypass, que permitem a passagem da corrente sem danificar a célula (LOPES, 2013).

Os painéis fotovoltaicos de c-Si têm suas células fotovoltaicas ligadas em série. Quando uma ou mais células recebem uma quantidade diferente de radiação solar, sua corrente vai

limitar a corrente de todo o conjunto série à menor corrente detectada no arranjo. Esta redução de radiação incidente pode ser gerada por um sombreamento parcial, acúmulo de poeira sobre o vidro, dentre outras possibilidades. Essa redução de corrente no conjunto de células acaba sendo propagada para todos os painéis conectados em série (CRESESB, 2014).

O efeito do sombreamento sobre as células gera grande perda de potência ao sistema fotovoltaico, além do risco de danos ao painel, visto que a potência elétrica gerada que não está sendo fornecida ao consumidor está sendo dissipada no próprio painel.

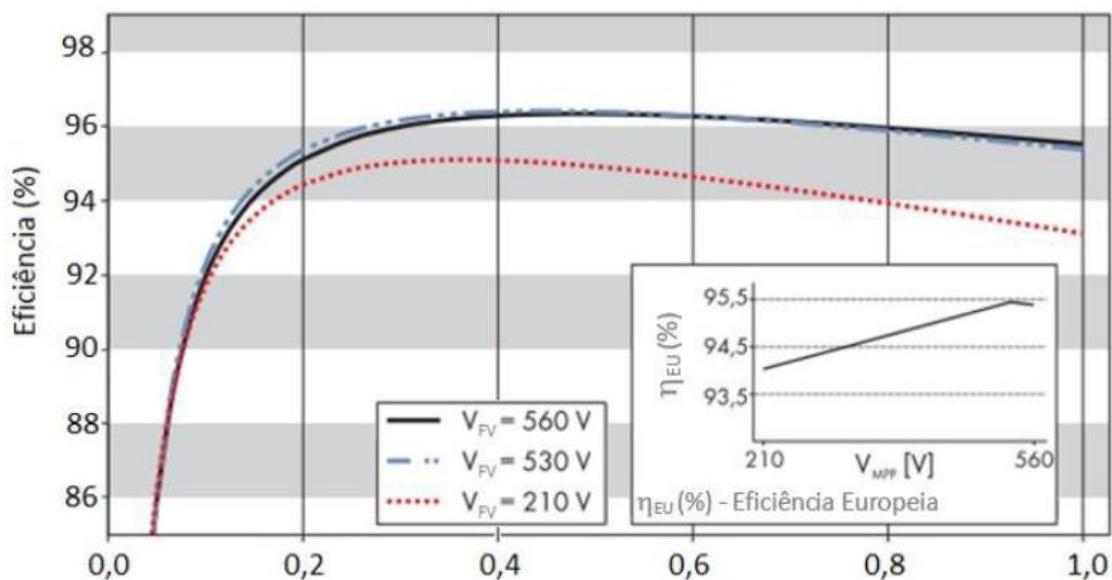
2.10 OTIMIZAÇÃO DA TENSÃO DE OPERAÇÃO

A eficiência de um inversor pode ser influenciada diretamente pelas características do arranjo do sistema fotovoltaico. Estes fatores são principalmente a tensão do gerador fotovoltaico e o FDI do inversor. Um projeto otimizado leva em consideração estas características, de modo a aumentar a taxa de desempenho do sistema (CRESESB, 2014).

É possível observar através da Figura 10, que se levando em conta somente a tensão de operação do gerador fotovoltaico, tem-se uma influência de aproximadamente 2% na eficiência do inversor para potência de saída acima de 50% da potência nominal.

Entretanto, nem todos os fabricantes de inversores disponibilizam os gráficos de como a tensão do painel fotovoltaico influencia o dispositivo. Uma vez disponível, esta informação deve ser utilizada de maneira a aumentar a TD do sistema, projetando-se um gerador fotovoltaico que trabalhe com um nível de tensão que vise uma curva de eficiência de melhor desempenho. Quando não é informado esses dados, é aconselhado trabalhar com a maior tensão CC possível.

Figura 10: Relação tensão e eficiência do inversor



Fonte: CRESESB, 2014

2.11 DIODOS DE DESVIO E DE BLOQUEIO E FUSÍVEIS DE PROTEÇÃO

Os diodos e fusíveis são incluídos nos sistemas fotovoltaicos com o objetivo de proteção contra possíveis anomalias.

Os diodos de desvio são fundamentais nos sistemas fotovoltaicos instalados em áreas urbanas, devido sua instalação ser feita em telhados e fachadas são sujeitas a sombreamento parcial. Os módulos fotovoltaicos atuais já vêm com um ou mais diodos de desvio, evitando que o projetista necessite adicionar em seu projeto.

A especificação dos diodos é feita através da determinação da máxima corrente de operação e da tensão reversa máxima, ou seja, através do número de módulos em paralelo e em série, respectivamente.

O fusível é um dispositivo de proteção utilizado para proteger o sistema fotovoltaico em série do fluxo de corrente reversa com tensão maior para uma tensão menor. Deve ser dimensionado para correntes menores que a corrente reversa suportável pelo módulo. São utilizados se houver mais de duas séries fotovoltaicas. Devem ser para corrente contínua e ser colocados na saída de cada série tanto no pólo positivo quanto no pólo negativo (CRESESB, 2014).

2.12 INVERSOR DE CORRENTE

A principal função de um inversor de corrente é converter a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA) com sua forma de onda o mais próximo de uma senoide com frequência entre 50 ou 60 Hz, dependendo da localização. Além de prover segurança ao sistema e monitoramento da energia gerada. Dependendo do projeto, um sistema pode conter um inversor central ou um arranjo de inversores e devem ser instalados em abrigos, longe da exposição ao sol e chuva.

Para cada tipo de projeto existe um modelo de inversor, a seguir será mencionada a finalidade de cada inversor.

Inversor *Grid-tie*: Este tipo de inversor é utilizado em projetos conectado a rede elétrica (geralmente utilizado em sistema onde não há uso de banco de baterias). São programados com proteções contra diversos sinistros no sistema, realizando o desligamento automático protegendo o sistema. Este tipo de inversor possui algumas funções importantes tais como:

- Conversão CC/CA
- MPPT – Maximum Power Point Tracker
- Desconexão automática e manual da rede elétrica
- Registro de dados operacionais
- Proteções contra sobrecarga, sobretensão, anti-ilhamento, etc.

Inversor *Off-Grid*: Utilizado em sistemas independentes, dependem de um banco de baterias para armazenar a energia gerada, normalmente são utilizados em sistemas fotovoltaicos longe da rede elétrica.

Micro Inversor: Este tipo de inversor é utilizado em apenas um módulo fotovoltaico, proporcionando a independência do sistema e uma melhor funcionalidade do MPPT.

Inversor Central: São inversores de grande porte, projetados especialmente para usinas com grande potência instalada, acima de 100kWp.

Os inversores atuais possuem uma função que permite regular a tensão nos terminais do sistema fotovoltaico, a fim de se obter a máxima potência produzida pelo módulo, este recurso é chamado de MPPT (*Maximum Power Point Tracker*).

A eficiência do inversor depende do método de conversão e filtragem utilizados para suavizá-la e eliminar os harmônicos indesejados que resultam no processo de conversão

CC/CA. É a relação entre a potência de saída e a potência de entrada do inversor, ou seja, está relacionada com as perdas ocasionadas pelos comutadores eletrônicos, controladores e pelos dispositivos de registro.

2.12 PROJETO ELÉTRICO

Outros desafios na elaboração de um projeto fotovoltaico são:

- Planejamento da interconexão dos diversos componentes do sistema de forma eficiente, evitando perdas de energia;
- Adequação do projeto aos requisitos de segurança, de modo torná-lo seguro sob o ponto de vista elétrico;
- Verificação das normas e regulamentos técnicos aplicáveis para instalações elétricas.

Os pontos mencionados acima são referentes ao que se chama de projeto elétrico, que inclui desde a escolha dos condutores até o dimensionamento dos dispositivos de proteção. Os sistemas fotovoltaicos com conexão em baixa tensão devem respeitar a norma NBR-5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Devem ser consideradas as perdas relativas aos componentes que, embora não sejam considerados básicos, são de igual importância para o funcionamento do sistema. Trata-se do chamado Balanço do Sistema (BOS), que envolve os condutores, diodos de bloqueio, proteções, etc (CRESESB, 2014).

CAPITULO 3

3.1 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este capítulo tem como objetivo desenvolver um projeto de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFCR). Dessa forma, inicialmente será feito uma breve análise de seu espaço físico, no qual será mensurado o nível de irradiância solar incidente no local ao qual será instalado a usina solar.

Uma vez adquirido o embasamento teórico necessário para compreender o funcionamento de um sistema fotovoltaico, inicia-se a etapa de desenvolvimento de um sistema fotovoltaico conectado à rede. O local de estudo situa-se no Campus Universitário da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, na cidade de Caraúbas. Latitude -5.77 e Longitude - 37. Localizada no interior do Rio Grande do Norte, local de grande incidência solar com uma ampla área disponível para a construção de uma mini usina geradora de energia elétrica.

Em seguida será apresentado o dimensionamento dos componentes do sistema, tais como módulos fotovoltaicos, inversores, caixa de conexão, quadro de conexão, cabos, entre outros componentes.

3.2 DIMENSIONAMENTO

Na maioria dos dimensionamentos fotovoltaicos é feito o cálculo da geração a partir do consumo médio, porém neste trabalho será realizado o dimensionamento para uma micro usina geradora de energia elétrica com 50 kWp de potência instalada. Visto que desde 2012, quando entrou em vigor a resolução 482/2012, o consumidor brasileiro pode produzir sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis. Essa nova norma trata-se da micro e mini geração distribuída de energia elétrica. Segundo a ANEEL, a produção de qualquer fonte renovável com potência instalada até 75 quilowatts (kW) é denominada de microgeração e entre 75 kW e 5 MW é denominada minigeração distribuída (ANEEL, 2016). A partir desta potência será realizado o dimensionado dos módulos fotovoltaicos, bitola dos cabos, sistema de proteção, bem como da estrutura a ser utilizada.

3.2.1 AVALIAÇÃO DO ESPAÇO FÍSICO DA INSTALAÇÃO

O terreno está localizado no interior do Rio Grande do Norte na cidade de Caraúbas, com coordenadas 5°46'20.4" S 37°34'12.7" O. O local apresenta uma área total de aproximadamente 125.714,94 m², conforme é ilustrado na Figura 11.

Figura 11: Vista aérea do Campus Universitário



Fonte: Google Earth, 2017

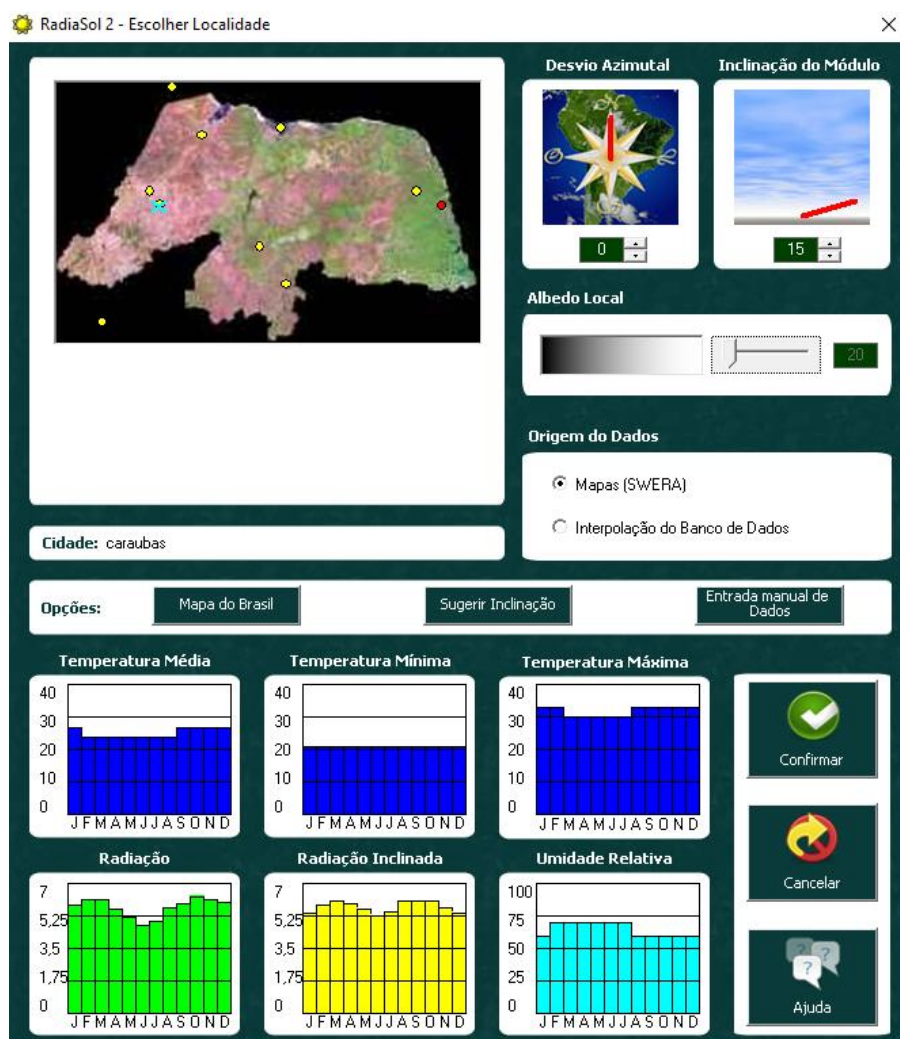
3.2.2 NÍVEIS DE IRRADIAÇÃO NO LOCAL

Uma forma bastante utilizada para se expressar o valor gerado de energia solar ao longo de um dia é através do número de Horas de Sol Pleno (HSP). Esta grandeza reflete o número de horas em que a radiação solar deve permanecer constante e igual a 1 kWh/m² de forma que a energia resultante seja equivalente à energia acumulada para o dia e local em questão.

Para obter a irradiância do local é utilizado softwares meteorológicos, como o SunData fornecido pelo CRESESB ou pelo RadiaSol2 que é um software gratuito fornecido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Este software permite entrar com as coordenadas

do local, bem como alterar a inclinação e o azimute. A Figura 12 ilustra o software RadiaSol2, configurado para o local em estudo.

Figura 12: Levantamento de dados através do Radiasol 2



Fonte: RadiaSol2, 2017

Dessa forma, ao inserirmos no RadiaSol 2 as coordenadas manualmente, é possível obter os valores de irradiância solar em kWh/m²/dia correspondente às diárias médias mensais para os 12 meses do ano. A Tabela 2 representa a irradiância média do local.

Tabela 2: Irradiação Média

IRRADIAÇÃO MÉDIA (kWh/m²/DIA)			
Mês	Horizontal	Inclinada – 45°	Inclinada – 15°
Jan	5,87	3,54	5,31
Fev	6,14	4,12	5,79
Mar	6,11	5,05	6,08
Abr	5,66	5,57	5,95
Mai	5,22	5,79	5,71
Jun	4,78	5,66	5,36
Jul	4,99	5,77	5,36
Ago	5,7	5,91	6,11
Set	5,95	5,3	6,05
Out	6,32	4,65	6,08
Nov	6,17	3,8	5,62
Dez	5,99	3,46	5,32

Fonte: Autoria Própria

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico conectado a rede foi utilizado a inclinação de 15°, devido a região está próxima a linha do equador quanto menor a inclinação melhor será a irradiação sobre o módulo.

3.2.3 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Atualmente existe diversos tipos e modelos de módulos fotovoltaicos no mercado, foram levantados alguns que apresentam um maior destaque pelo seu custo benefício. A Tabela 3 representa os módulos e algumas de suas características.

Tabela 3: Modelos de Módulos Fotovoltaicos

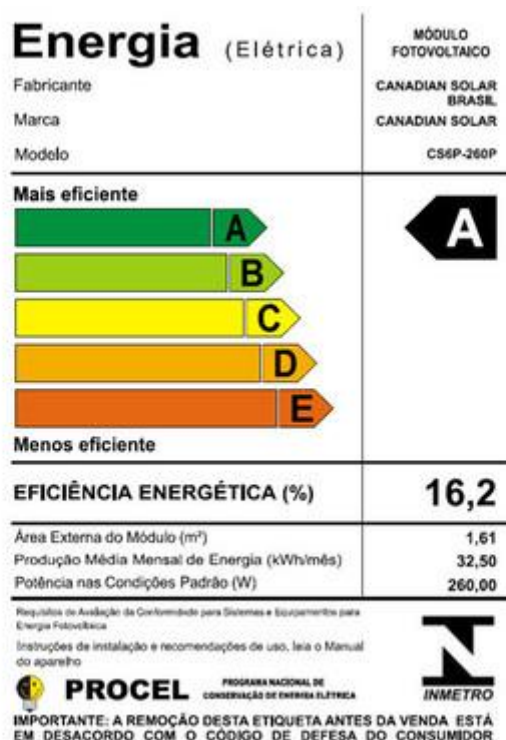
Fabricante	Modelo	Área(m²)	Potência (W)	Potência (Wp/m²)
Canadian	Cs6p-260p	1.6085	260	161.63
Canadian	Cs6p-255p	1.6085	255	158.53
Canadia	Cs6p-265p	1.6085	265	164.74

Fonte: Autoria Própria

Visando o custo benefício dos módulos, será utilizado o modelo Canadian Cs6p-260p, visto que é um módulo bastante utilizado no mercado nacional, com mão de obra especializada para possíveis manutenções, garantia de 10 anos contra defeitos de fabricação e de 25 anos para uma eficiência menor que 20%.

Este módulo fotovoltaico possui 260 Wp (1000W/m^2 e 25°C de Temperatura). Sua caixa de conexão está equipada com diodos by-pass, que eliminam o risco de sobreaquecimento individual de cada célula, decorrente do efeito de sombreamento. O selo do Procel, ilustrado na Figura 13, garante que este modelo de módulo fotovoltaico está de acordo com as normas de conservação de energia elétrica.

Figura 13: Selo do Procel



Fonte: NeoSolar, 2017

A Tabela 4 a seguir apresenta as principais informações utilizadas durante o estudo de um dimensionamento fotovoltaico. Em **Anexo I** é possível visualizar a ficha técnica completa do módulo fotovoltaico.

Tabela 4: Principais características de um Módulo Fotovoltaico

Modelo	Cs6p-260p
Dimensões	1638 x 982 x 40 (mm)
Potência Máxima (Pmax)	260 Wp
Tensão Máxima (Vmp)	30,2 V
Corrente Máxima (Imp)	8,43 A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	37,4 V
Corrente de Curto Circuito (Ioc)	9,0 A
Eficiência do Pannel	16,2%
Peso	18,0 Kg

Fonte: NeoSolar, 2017

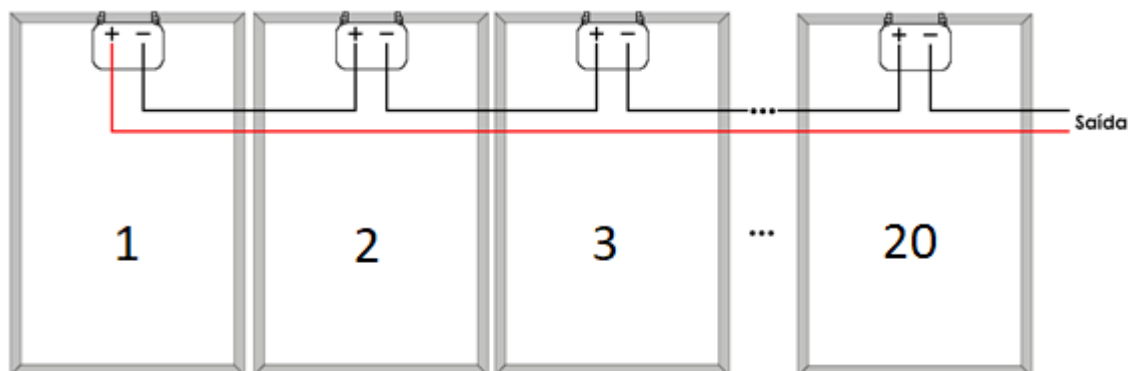
3.2.4 ARRANJO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O arranjo dos módulos fotovoltaico a serem dispostos em série foi dimensionado a partir do limite de operação dos inversores, que possuem uma tensão de saída máxima de 1000 V e uma tensão máxima de MPPT de 800V. Como a área onde será instalado a usina é bastante ampla, não será necessário se preocupar com os espaçamentos entre os módulos.

Desse modo, a tensão de circuito aberto Voc do sistema fotovoltaico será de $20 \times 37,4V = 748 V$ e a tensão de operação no ponto de máxima potência (MPPT) será de $20 \times 30,2V = 604 V$. O valor da corrente de curto-circuito (Isc) é de 9 A e a corrente de operação é de 8,43 A em cada módulo fotovoltaico.

Desse modo, para o projeto foi considerado 10 grupos de 20 módulos fotovoltaicos em série, totalizando uma tensão por grupo de 748 V, com uma corrente de 8,43 A. A Figura 14 representa o esquema de ligações de cada placa em série.

Figura 14: Esquema de Ligação dos Módulos



Fonte: Autoria Própria

Levando em consideração as dimensões de cada módulo, cada arranjo terá $1.638 \times 20 = 32,76\text{m}$ de comprimento e 0.982 de largura. É válido lembrar que esse cálculo é uma aproximação, visto que os módulos devem ter um afastamento de modo não ocorrer sombreamento entre si.

A potência instalada será de aproximadamente 52 kWp , com uma tensão de 748 V e uma corrente de 9 A para cada grupo de 20 módulos fotovoltaicos. A Tabela 5 representa como será distribuído os arranjos.

Tabela 5: Distribuição dos Módulos Fotovoltaicos

Tipo de Geração	Potência Instalada
Arranjo 1 – 20 Módulos Fotovoltaicos	5.2 kW
Arranjo 2 – 20 Módulos Fotovoltaicos	5.2 kW
Arranjo 3 – 20 Módulos Fotovoltaicos	5.2 kW
Arranjo 4 – 20 Módulos Fotovoltaicos	5.2 kW
Arranjo 5 – 20 Módulos Fotovoltaicos	5.2 kW
Arranjo 6 – 20 Módulos Fotovoltaicos	5.2 kW
Arranjo 7 – 20 Módulos Fotovoltaicos	5.2 kW
Arranjo 8 – 20 Módulos Fotovoltaicos	5.2 kW
Arranjo 9 – 20 Módulos Fotovoltaicos	5.2 kW
Arranjo 10 – 20 Módulos Fotovoltaicos	5.2 kW
Total	52kW

Fonte: Autoria Própria

3.2.5 CAIXA DE CONEXÃO

Também conhecida como String Box, a caixa de conexão é responsável pelas conexões entre os arranjos fotovoltaicos e o inversor. As caixas de conexão tem como principal objetivo conectar em paralelo os arranjos.

Em seu interior pode se encontrar equipamentos de proteção, que são utilizados para manter a integridade dos inversores para qualquer tipo anomalia no sistema fotovoltaico.

Para este projeto não foi utilizado caixas de conexão, pois o inversor escolhido para o sistema possui 6 (seis) entradas para conexão CC.

3.2.5 DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES

O dimensionamento do inversor é baseado principalmente na potência gerada pelo sistema fotovoltaico, ou seja, 50 kWp distribuídos em 10 grupos de 20 módulos fotovoltaicos cada. Como cada módulo possui uma potência pico de 260 Wp, para suprir a potência estabelecida de 50 kWp será instalado aproximadamente 200 módulos fotovoltaicos.

É recomendado que a potência do inversor esteja entre o intervalo: $0,7 \cdot P_{sf} < P_{in} < 1,2 \cdot P_{sf}$, onde P_{sf} é a potência gerada por cada arranjo fotovoltaico. O inversor foi dimensionado de acordo com os critérios citados anteriormente. Outros pontos foram considerados no dimensionamento e seleção do inversor, tais como:

- A tensão de entrada do inversor deve ser superior à tensão de circuito aberto do sistema fotovoltaico.
- A corrente de entrada do inversor deve ser superior a corrente de curto-circuito do sistema fotovoltaico.
- A temperatura de operação
- Mão de obra especializada

A partir da potência disponibilizada dos inversores, será escolhido para este projeto o inversor da WEG modelo SIW500 ST025 de 25 kW. Neste projeto será utilizado 2 inversores de 25 kW, onde cada inversor será responsável por 5 grupos de 20 módulos fotovoltaicos. Visto que o inversor possui 2 MPPT e 3 Strings por MPPT, ou seja, o inversor possui 6 entradas com corrente máxima de 33 A e com uma faixa de tensão por MPPT de 390 a 800V.

O inversor tem como objetivo principal sincroniza o sistema fotovoltaico com a rede elétrica, além de realizar o monitoramento da tensão, frequência da rede, possui proteção “anti-islanding”, e possui proteção galvânica através de um transformador interno que separa a parte de corrente contínua da parte de corrente alternada.

Com base nas características do inversor, não será necessário a instalação de um relé de proteção para falhas de tensão, frequência e ilhamento.

A Tabela 6 apresenta as principais características do inversor SIW500 ST025. As demais características físicas e elétricas dos inversores estão disponíveis no **Anexo II**.

Tabela 6: Principais características do Inversor

Parâmetros	Entrada - DC
Modelo	SIW500 ST025
Potência	25.000 W
Tensão Máxima (Vin)	1000 V
Faixa de Tensão MPPT	390 – 800 V
Corrente Máxima / por string	33/33 A
Nº de MPPT / String por MPPT	2/3

Fonte: Datasheet, Inversores SIW500 e SIW600 (WEG), 2017

3.2.6 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS CONDUTORES

O dimensionamento da secção do cabo deve ser feita em função da corrente máxima de operação que atravessa o cabo. Segundo a norma europeia IEC 60364-7-712, o dimensionamento do condutor deve ser feito para suportar uma corrente de $1,25 \cdot I_{cc} = 1,25 \cdot 9^a = 11.25A$. Segundo a NBR-5410, o condutor deve possuir uma bitola mínima de $1,5mm^2$. Como a corrente máxima na entrada do inversor é de 33 A, os cabos de corrente continua (CC) de $4mm^2$ de secção atende perfeitamente aos requisitos.

3.2.7 DIMENSIONAMENTO DOS DISJUNTORES CC

Para o dimensionamento dos disjuntores no lado CC foi utilizado um disjuntor para cada arranjo fotovoltaico, de modo que o sistema possa ser isolado separadamente de cada inversor sem comprometer a geração dos outros arranjos.

Segundo a norma NBR-5410, a corrente nominal do disjuntor deve ser maior ou igual a corrente nominal do sistema fotovoltaico e, menor ou igual a máxima corrente permitida no condutor.

$$I_n \leq I_d \leq I_{max}$$

Onde:

I_n – Corrente Nominal do Sistema Fotovoltaico

I_d – Corrente Nominal do Disjuntor

I_{max} – Corrente Máxima permitida no Condutor

A corrente nominal do arranjo fotovoltaico é de 9 A e a corrente máxima permitida no condutor é de 15A, de acordo com a NBR-5410, ou seja, a corrente do disjuntor deve estar entre $9 \leq I_d \leq 15A$.

O disjuntor a ser utilizado no projeto será um disjuntor bipolar, projetado para suportar uma corrente de até 10A. A Figura 15, ilustra o disjuntor bipolar.

Figura 15: Disjuntor bipolar para o lado CC



Fonte: Catálogo Siemens, 2017

3.28 DIMENSIONAMENTO DOS DISJUNTORES CA

Com base na corrente de saída do inversor, o disjuntor mais adequado para a proteção do sistema é um disjuntor tripolar de 40A. A ligação está representada no diagrama unifilar, **Anexo III**, bem como o *datasheet* do dispositivo de proteção.

Figura 16: Disjuntor tripolar para o lado CA



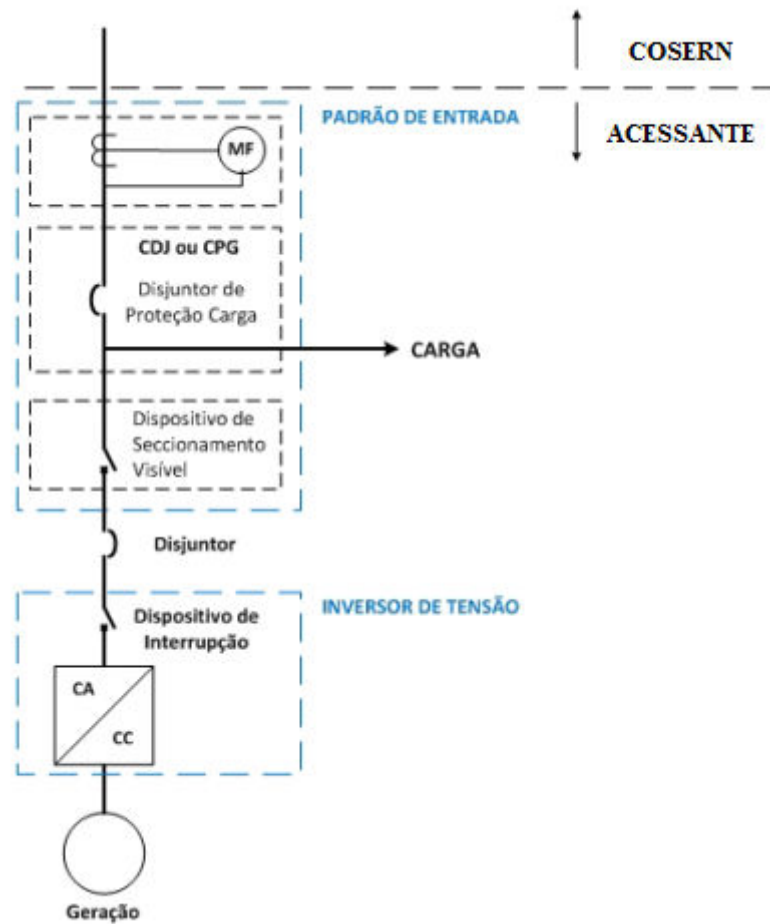
Fonte: Catálogo Simens, 2017

3.29 ESQUEMA DE LIGAÇÃO COM A REDE ELÉTRICA

A utilização de fontes renováveis para geração de energia elétrica até pouco tempo atrás não possuía nenhuma norma, fazendo com que este tipo de sistema não tivesse permissão para se conectar a rede de distribuição. Porém, em 2012 a ANEEL criou a Resolução Normativa N° 482, que estabelece condições para a conexão de fontes renováveis junto a rede de distribuição.

A Figura 17 ilustra um esquema simplificado de um sistema *Grid-Tie* utilizando um inversor e seus componentes. Este tipo de esquema está desatualizado, visto que a ANEEL suspendeu o uso obrigatório do dispositivo de seccionamento visível (DSV) em sistemas de mini e micro geração que se conecta à rede elétrica através de inversores.

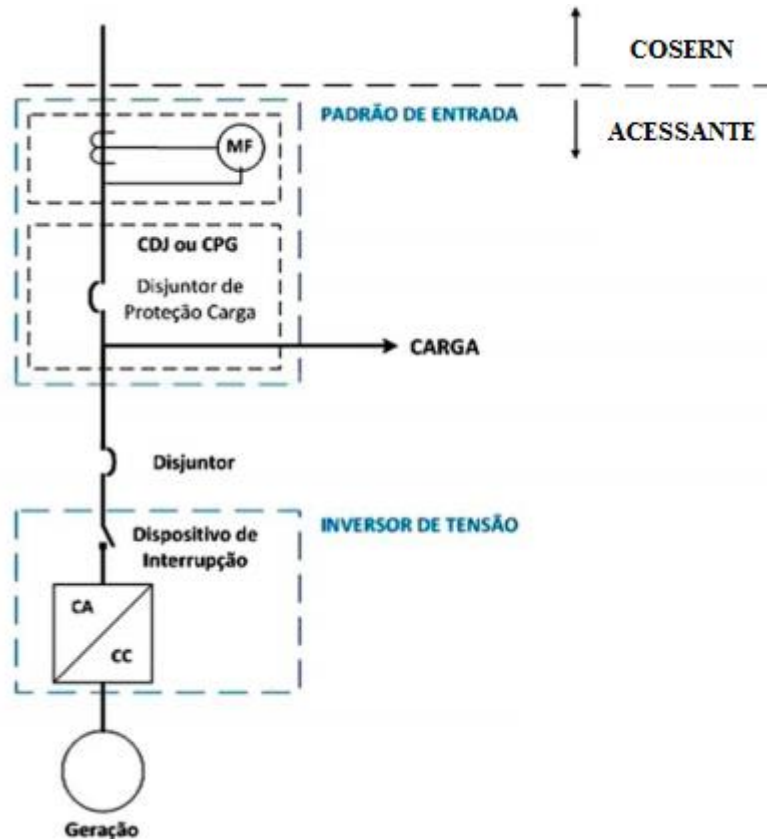
Figura 17: Esquema de conexão a rede desatualizado



Fonte: Figueira, 2014

A Figura 18 ilustra o esquema atualizado de um sistema de geração renovável conectado a rede elétrica, fazendo a exclusão do dispositivo de seccionamento visível (DSV).

Figura 18: Esquema de conexão a rede elétrica atualizado



Fonte: Figueira, 2014

3.30 NORMAS DA ANEEL

A elaboração de projetos de geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis deve atender á alguns requisitos impostos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de modo a assegurar a segurança e qualidade da energia.

Existem algumas normas que são responsáveis pelo relacionamento entre a ANEEL e as concessionárias de energia, ou seja, trata da troca de informações e dados entre os dois. Essas informações e dados padronizam e normatizam as atividades técnicas relacionadas ao sistema de distribuição elétrica.

A Resolução Normativa N°482/12 criada pela ANEEL é responsável por estabelecer as condições necessárias para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica da concessionária, o sistema de compensação, entre outras providências.

O projeto a ser elaborado no presente trabalho é classificado, segundo a ANEEL como micro geração distribuída. A definição é dada a seguir.

“Micro geração Distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada a rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras”.

A Tabela 7 mostra os requisitos mínimos para a geração e seus critérios de conexão em função das normas da ANEEL baseado na classificação de geração.

Tabela 7: Requisitos mínimos para geração

Equipamentos	Micro Geração	Mini Geração
Elemento de desconexão	Sim	Sim
Elemento de Interrupção	Sim	Sim
Transformador de Acoplamento	Não	Sim
Proteção de Sub e Sobre tensão	Sim	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Sim	Não
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não
Sobrecorrente direcional	Não	Não
Sobrecorrente com restrição de tensão	Não	Não
Relé de sincronismo	Sim	Sim
Anti ilhamento	Sim	Sim
Estudo de curto circuito	Sim	Sim
Medidores de 4 quadrantes	Sim	Sim
Ensaio	Sim	Sim

Fonte: Figueira, 2014

CAPITULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 ESTIMATIVA DE GERAÇÃO

Durante a elaboração do dimensionamento, é esperado que o projetista realize uma quantificação dos equipamentos a serem utilizados de modo a atender parcialmente o sistema, evitando assim um sistema superdimensionado e uma dispersão de capital.

Normalmente, a vida útil de um sistema fotovoltaico é de no mínimo 25 anos. A maioria dos fabricantes nos dá garantia de eficiência em 90% nos primeiro 10 a 15 anos e de 80% com 25 anos. Com isso, se nota uma lenta depreciação dos componentes, principalmente dos módulos fotovoltaicos.

Neste trabalho, será realizado o dimensionamento para o Campus Universitário de Caraúbas - RN. “As coordenadas geográficas do local são 5°46’20.4” S 37°34’12.7” O.

Com base nesses dados, foi elaborado o dimensionamento de uma micro usina fotovoltaica com 50kWp. Será considerado a carga utilizada no local durante o período anual de Janeiro de 2016 a Dezembro de 2016, como é representado pela Tabela 8.

Tabela 8: Energia gerada pela Usina

Energia Gerada (kWh)						
Mês	Irradiação (kWh/m²/dia)	Dias/mês	Número de Módulos	Geração Diária Média	Geração Mensal	R\$/mês
Janeiro	5,31	31	200	242,91	7530,2	R\$ 2.409,66
Fevereiro	5,79	28	200	264,87	7416,3	R\$ 2.521,54
Março	6,08	31	200	278,13	8622,1	R\$ 2.931,53
Abril	5,95	30	200	272,19	8165,6	R\$ 2.776,31
Maio	5,71	31	200	261,21	8097,4	R\$ 2.753,13
Junho	5,36	30	200	245,20	7355,9	R\$ 2.501,01
Julho	5,56	31	200	254,35	7884,7	R\$ 2.680,81
Agosto	6,11	31	200	279,51	8664,7	R\$ 2.946,00

Setembro	6,05	30	200	276,76	8302,8	R\$ 2.822,97
Outubro	6,08	31	200	278,13	8622,1	R\$ 2.931,53
Novembro	5,62	30	200	257,09	7712,7	R\$ 2.622,33
Dezembro	5,32	31	200	243,37	7544,4	R\$ 2.565,09

Fonte: Autoria Própria

- Capacidade Instalada: **52kWp**
- Produção de Energia Média Anual: **8MW**
- Eficiência dos Módulos: **16,2%**
- Área Utilizada: **300m²**
- Número de Módulos Utilizados: **200**

4.1.2 LEVANTAMENTO DE PREÇOS DOS EQUIPAMENTOS

Os equipamentos utilizados no projeto são fornecidos no mercado nacional. Sendo assim, foi feito o levantamento dos preços para fazer os cálculos econômicos relacionados ao projeto. A Tabela 9 representa os principais equipamentos utilizados em um sistema fotovoltaico e seu respectivo valor.

Tabela 9: Custo dos equipamentos

Orçamento Geral					
Equipamentos	Modelo	Descrição	Valor (R\$)	Qtd.	Total
Módulos	Canadian Solar Cs6p-260p		R\$ 570,00	200	R\$ 114.000,00
Inversores	WEG SIW500 ST025	25.000W 2 MPPT 3 Strings	R\$ 27.700,00	2	R\$ 55.400,00
Disjuntor DC	Simiens Bipolar	10A	R\$ 40,00	10	R\$ 400,00
Disjuntor AC	Simiens Tripolar	40A	R\$ 70,00	2	R\$ 140,00
Medidor	Trifásico Bidirecional	120A, 380V	R\$ 390,00	1	R\$ 390,00

Fonte: Autoria Própria

Os demais componentes que completam um sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica são relacionados:

- Equipamentos: Estruturas para fixação dos módulos, condutores, quadros elétricos.
- Serviços: O projeto, autorização na ANEEL, licenciamento e instalação

De acordo com a ABINEE, uma estimativa de custo dos demais componentes de um SFCR é diferenciada da seguinte forma:

- Instalação de 3 kW – Residencial
- Instalação de 30 kW – Comercial
- Instalação de 30 MW – Usina

A Tabela 10 representa os custos com os demais componentes de um SFCR.

Tabela 10: Custo com os demais componentes

	Residencial	Comercial	Usina
Capacidade	3 kW	30 kW	30 MW
Custo de Cabos e Proteções	R\$ 2.250,00	R\$ 18.000,00	R\$ 13.100.000,00
Custo do Sistema de Fixação	R\$ 3.750,00	R\$ 24.000,00	R\$ 14.000.000,00
Serviços	R\$ 3.750,00	R\$ 30.000,00	R\$ 18.000.000,00
Custo Total	R\$ 9.750,00	R\$ 72.000,00	R\$ 45.100.000,00

Fonte: ABINEE, 2017

Através da Tabela 10 foi realizado a estimativa dos demais custos do projeto. A partir da potência instalada do SFCR de 50kWp, os valores foram interpolados dando origem a Tabela 11.

Tabela 11: Custo dos demais componentes para uma Usina de 50kWp

Capacidade	50kWp
Custo de Cabos e Proteções	R\$ 26.704,00
Custo do Sistema de Fixação	R\$ 33.310,00
Serviços	R\$ 41.991,00
Custo Total	R\$ 102.005,00

Fonte: Autoria Própria

Após estimar o custo dos equipamentos é possível determinar o custo total do projeto. A Tabela 12 representa o custo total do projeto.

Tabela 12: Custo total do projeto

Equipamentos	Valor
Módulos	R\$ 114.000,00
Inversor	R\$ 55.400,00
Disjuntor AC	R\$ 140,00
Disjuntor DC	R\$ 400,00
Medidor Trifásico Bidirecional	R\$ 390,00
Custo de Cabos e Proteções	R\$ 26.704,00
Custo do Sistema de Fixação	R\$ 33.310,00
Serviços	R\$ 41.991,00
Custo Total	R\$ 272.335,00

Fonte: Autoria Própria

A estimativa do custo do projeto é feita a partir do Custo Total do projeto em relação a potência instalada. A partir da Tabela 12 é possível adquirir o valor do custo total, dividindo pela potência instalada obtêm-se 5,45 R\$/Wp. De acordo com a ABINEE, o custo total de instalação deste tipo é de 5,37 R\$/Wp para usinas, 7,12 R\$/Wp para instalações residências e 6,27 R\$/Wp para instalações comerciais. Podemos observar que o valor estimado se encontra dentro dos padrões, com uma diferença de 0,08 R\$/Wp.

4.1.3 CUSTO DE PRODUÇÃO

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINNE), o custo de produção (CP) de um sistema fotovoltaico é expresso em R\$/kWp, e pode ser calculado através da seguinte equação.

$$CP = \frac{[CAPEX + VP(OPEX)]}{VP(ep)}$$

Onde:

CP – Custo de Produção (R\$/kWp)

CAPEX – Custo do Sistema Fotovoltaica (R\$)

VP(OPEX) – Custo de Operação e Manutenção ao longo da vida útil do Sistema (R\$)

VP(ep) – Valor da energia produzida ao longo da vida útil da instalação (kWh)

Percebe-se que o cálculo do custo de produção considera tanto os investimentos iniciais quanto investimentos decorrentes a operação e manutenção ao longo da vida útil da instalação. Serão utilizados os seguintes parâmetros na análise do custo de produção:

- Vida útil do Sistema Fotovoltaico: 25 anos
- Custo do investimento (CAPEX): 272.335,00
- Custo de Operação e Manutenção (OPEX): estimado em 1% do CAPEX ao ano.
- Eficiência das células: redução de 1,5% no primeiro ano e 0,75% nos próximos anos.
- Taxa de desconto: 7,5%

4.1.4 PARÂMETROS DE VIABILIDADE

A realização de estudos de viabilidade para sistemas fotovoltaicos são de suma importância no desenvolvimento de um projeto, e o mesmo deve ser feito de acordo com às legislações aplicada no local.

Os principais indicadores econômicos para análise de projetos são, o Payback, Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Neste trabalho será utilizado o indicador econômico *Payback*.

Com relação à tarifa de energia, parte depende do IGPM e seu reajuste é feito através de um coeficiente (IRT). A partir de estudos feitos na variação tarifária, chegou a um valor de 5% ao ano.

4.1.4.1 PAYBACK

Este é um tipo de indicador bastante usado para determinar o tempo de retorno do projeto. *Payback* é indicado por uma escala (ano, meses, dias) e é relação do investimento inicial com a energia injetada na rede. Quanto menor for o tempo de *Payback*, mais atrativo será o investimento.

4.1.4.2 VPL

O valor presente líquido é outro indicador para análise de investimentos em projetos. Ele é utilizado para calcular o valor presente de todo fluxo de caixa durante a vida útil do sistema fotovoltaico (25 anos). Quanto maior for o VPL, mais favorável será o investimento.

$$VPL = \sum_0^n \frac{F_n}{(1+i)^n} = F_0 + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n}$$

Onde:

F_0 - Investimento inicial do projeto (negativo)

F_n - Fluxo de caixa Acumulado

A relação entre o valor presente líquido e o valor presente será:

$$VPL = VP - CAPEX$$

4.1.4.3 TAXA INTERNA DE RETORNO

A taxa interna de retorno pode ser calculada através da equação, e é a taxa de desconto que irá igualar o VPL a zero. É um indicador bastante usado para análise de investimentos e

normalmente é analisada no sentido de que quanto maior for a diferença entre a taxa interna e a taxa de desconto, melhor será o investimento.

$$0 = \sum_0^n \frac{F_n}{(1+i)^n} = F_0 + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n}$$

A Tabela 13 representa a viabilidade econômica do projeto, onde foram realizados cálculos levando-se em consideração a queda na eficiência dos módulos fotovoltaicos, sendo o primeiro ano com valor da geração sem perdas. No Anexo X pode-se consultar a Tabela completa.

Tabela 13: Viabilidade Econômica

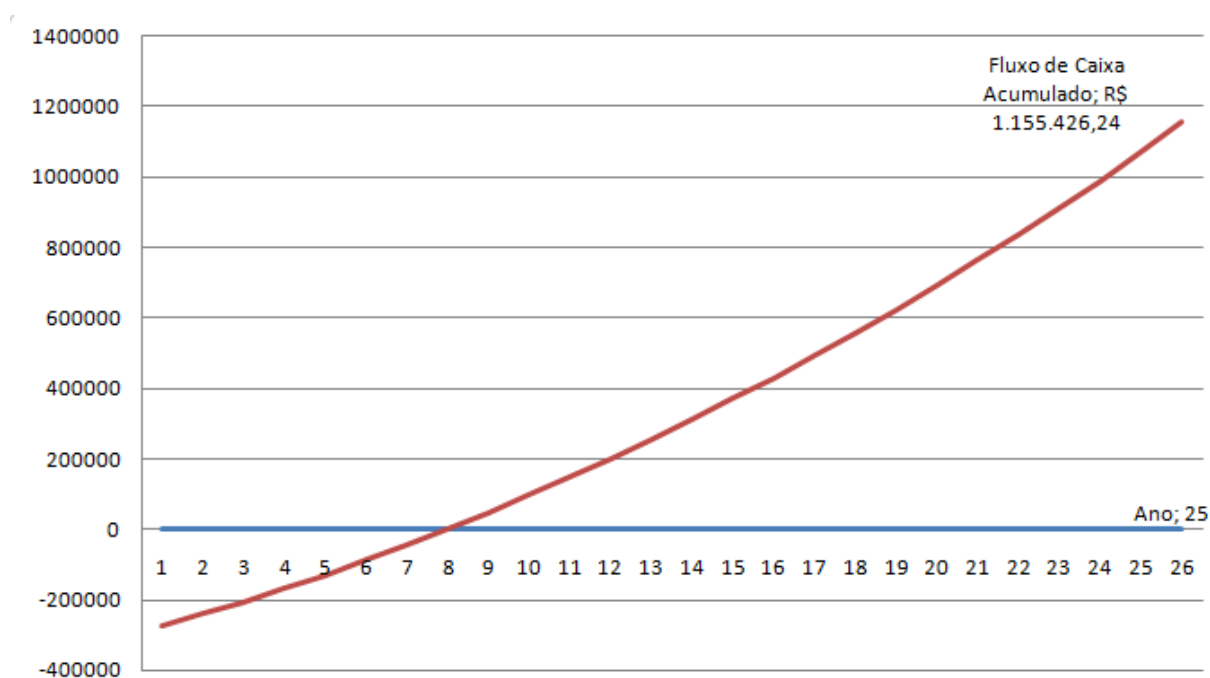
Fluxo de Caixa Anual						
Ano	Desempenho	Tarifa (R\$)	Geração Anual (kWh)	Economia	O&M	Fluxo de Caixa
0						R\$ -272.335,00
1	100%	0,33554305	107841,6	R\$ 36.185,50	R\$ 2.723,35	R\$ -238.872,85
2	98,5%	0,35232020	106224	R\$ 37.424,86	R\$ 2.388,73	R\$ -203.836,72
3	97,8%	0,36993621	105469,1	R\$ 39.016,84	R\$ 2.038,37	R\$ -166.858,25
4	97,0%	0,38843302	104606,4	R\$ 40.632,58	R\$ 1.668,58	R\$ -127.894,25
5	96,3%	0,40785467	103851,5	R\$ 42.356,32	R\$ 1.278,94	R\$ -86.816,87
6	95,5%	0,42824740	102988,7	R\$ 44.104,64	R\$ 868,17	R\$ -43.580,40
7	94,8%	0,44965977	102233,8	R\$ 45.970,43	R\$ 435,80	R\$ 1.954,23
8	94,0%	0,47214276	101371,1	R\$ 47.861,63	R\$ 19,54	R\$ 49.796,32
9	93,3%	0,49574990	100616,2	R\$ 49.880,47	R\$ 497,96	R\$ 99.178,83
10	92,5%	0,52053740	99753,5	R\$ 51.925,43	R\$ 991,79	R\$ 150.112,47
11	91,8%	0,54656427	98998,6	R\$ 54.109,10	R\$ 1.501,12	R\$ 202.720,44
12	91,0%	0,57389248	98135,9	R\$ 56.319,46	R\$ 2.027,20	R\$ 257.012,69
13	90,3%	0,60258710	97381	R\$ 58.680,53	R\$ 2.570,13	R\$ 313.123,10
14	89,5%	0,63271646	96518,2	R\$ 61.068,65	R\$ 3.131,23	R\$ 371.060,52
15	88,8%	0,66435228	95763,3	R\$ 63.620,57	R\$ 3.710,61	R\$ 430.970,48
16	88,0%	0,69759690	94900,6	R\$ 66.202,36	R\$ 4.309,70	R\$ 492.860,58
17	87,3%	0,73244839	94145,7	R\$ 68.956,87	R\$ 4.928,61	R\$ 556.888,84
18	86,5%	0,76907081	93283	R\$ 71.741,23	R\$ 5.568,89	R\$ 623.061,19
19	85,8%	0,80752435	92528,1	R\$ 74.718,69	R\$ 6.230,61	R\$ 691.549,27
20	85,0%	0,84790057	91665,4	R\$ 77.723,14	R\$ 6.915,49	R\$ 762.356,92
21	84,3%	0,89029560	90910,5	R\$ 80.937,22	R\$ 7.623,57	R\$ 835.670,57
22	83,5%	0,93481038	90047,7	R\$ 84.177,52	R\$ 8.356,71	R\$ 911.491,39
23	82,8%	0,98155090	89292,8	R\$ 87.645,43	R\$ 9.114,91	R\$ 990.021,91
24	82,0%	1,03062844	88430,1	R\$ 91.138,58	R\$ 9.900,22	R\$ 1.071.260,26
25	81,3%	1,08215987	87675,2	R\$ 94.878,58	R\$ 10.712,60	R\$ 1.155.426,24

Fonte: Autoria Própria

A economia ao longo da vida útil do sistema é de extrema relevância, podendo-se acumular um fluxo de caixa equivalente a cinco vezes o valor do investimento. Sendo um ótimo investimento a médio ou longo prazo, visto que o custo com manutenção dos equipamentos é extremamente baixa quando comparada ao seu fluxo de caixa acumulado.

A Figura 19 representa o fluxo de caixa acumulado ao longo dos 25 anos de geração da Usina Solar Fotovoltaica.

Figura 19: Fluxo de Caixa Acumulado ao longo dos 25 anos



Fonte: Autoria Própria

CAPITULO 5

5.1 CONCLUSÃO

Este trabalho teve com principal objetivo dimensionar um sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica com foco em uma micro usina geradora, indicando a viabilidade econômica do projeto e o seu tempo de retorno. O critério escolhido para o projeto foi realizar o dimensionamento para uma micro usina fotovoltaica de 50kWp para o Campus Universitário da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, situada na cidade de Caraúbas – RN.

Os resultados obtidos no desenvolvimento do presente trabalho demonstram as grandes vantagens de se implantar uma usina fotovoltaica. Mostrando ser um ótimo investimento a médio ou longo prazo.

A partir dos resultados obtidos concluiu-se que a utilização de fontes renováveis, como a energia solar fotovoltaica, necessita de um investimento inicial relativamente alto, porém mostra-se uma excelente taxa de retorno a longo prazo.

O tempo de retorno do investimento demonstrou-se que econômica e financeiramente, o investimento inicial do projeto é pago no decorrer de sua vida útil. Assim, demonstrou-se que o projeto é viável quanto a sua implantação, mostrando-se uma solução para geração de energia renovável, além de promover uma maior diversificação na matriz energética, e deixando o Brasil na posição de um dos países mais “limpos” na geração de energia do mundo.

Pode-se notar um grande avanço dos inversores *grid-tie* que já possuem grande parte da proteção necessário para a instalação de um sistema fotovoltaico conectado a rede, como também um grande avanço em relação a tecnologia em si, gerando adaptações e mudanças nas normas para geração de energia através de fontes renováveis, como é o caso do uso do dispositivo de seccionamento visível que não é mais obrigatório em sistemas de mini e micro geração.

O uso da energia solar como fonte de geração de energia elétrica é um sistema interessante para a diversificação da matriz energética. Em outros países, como Alemanha e Espanha, o custo de investimento também é alto porém o governo incentiva a indústria que fabrica esses componentes.

A tendência é que o Brasil melhore em relação a incentivos e investimentos para este tipo de geração de energia, porém não é possível prever em quanto tempo tais benefícios serão implementados de forma efetiva.

Como trabalhos futuros são sugeridos o aumento da potência instalada. Lembrando-se que até 75kWp a usina solar se enquadra no grupo de micro geração. Para futuros trabalhos, é recomendado mudar de grupo para mini geração, acima de 75kWp.

6 REFERÊNCIAS

ANEEL, 2015. **ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/livros/-/asset_publisher/eZ674TKh9oF0/content/atlas-deenergia-eletrica-do-brasil/656835?inheritRedirect=false>. Acesso em 24 de Setembro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11704:2008. **Sistemas Fotovoltaicos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2008. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16149:2013. **Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição**. Rio de Janeiro, 2013. 12p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16150:2013. **Sistemas fotovoltaicos (FV) — Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição — Procedimento de ensaio de conformidade**. Rio de Janeiro, 2013. 24p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16274:2014. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede — Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho**. Rio de Janeiro, 2014. 52 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: 2004. **Instalações elétricas de baixa tensão**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2004. 217 p.

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, **”Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”**, 2012.

BRAGA, Renata.P., (2008). **“ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES”**. In Tese de Graduação , UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2008

BASTOS, Matheus F., (2016). **“AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA DE LIMPEZA DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO”**. In Tese de Graduação, UFERSA, Mossoró, RN, 2016.

CÂMARA, Carlos F., (2011). **“SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA”**. In Tese de Graduação, UFLA, Lavras, MG, 2011)

COLLE, Sergio, PEREIRA, Enio B. **ATLAS DA IRRADIAÇÃO SOLAR DO BRASIL, (1ª versão para irradiação global derivada de satélites e validada na superfície)**. Outubro de 1998. Brasília –DF.

COSERN. VR01.01-00.13: **CONEXÃO DE MINIGERADORES AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DA COSERN**. 2ª ed. Rio Grande do Norte: Grupo Neoenergia, 2016. 21p.

CRESESB: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. **MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**. Rio de Janeiro: 2014. 530f.

DIAS, Mário S. C., (2006). **“ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA –Uma alternativa para projetos de eficiência energética”**. Informativo técnico, 2006. Disponível em: < <http://docplayer.com.br/1486338-Energia-solarfotovoltaica-uma-alternativa-para-projetos-de-eficiencia-energetica.html>>. Acesso em 27 de Outubro de 2016.

FIGUEIRA, FABIO F. (2014). **“DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE PARA ALIMENTAR A SALA DE COMPUTAÇÃO DA ESCOLA MUNICIPAL TENENTE ANTÔNIO JOÃO”**. In Tese de Graduação, UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 2014.

HINRICHS, Roger. A., (2010). **“Energia e Meio Ambiente”**. Tradução técnica: Lineu Belico dos Reis, Flávio Maron Vichi, Leonardo Freire Mello. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

PINHO, João.T., Galdino, Marco.A., **MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**. Disponível

em: □ □http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 24 de Setembro de 2017.

RÜTHER, Ricardo. **EDIFÍCIOS SOLARES FOTOVOLTAICOS: O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis : LABSOLAR, 2004.

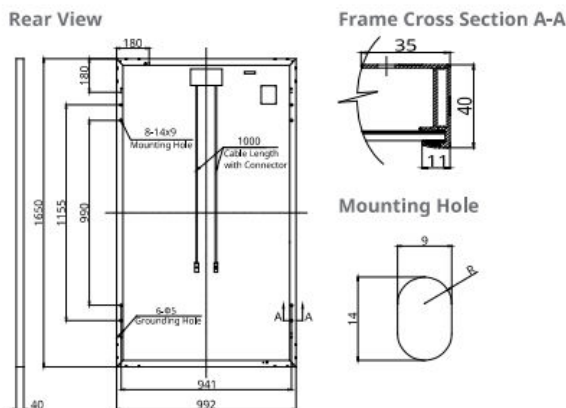
SILVEIRA, Maria T. T. M., (2016). **“ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA PARA UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE EM UMA UNIDADE DE BOMBEIO CENTRÍFUGO SUBMERSO”**. In Tese de Graduação, UFERSA, Mossoró, RN, 2016.

SILVA, Arthur J. G., (2006). **“INVESTIMENTO DE EMPRESAS DE PETRÓLEO EM ENERGIA FOTOVOLTAICA: O CASO DA BPSOLAR E MOTIVAÇÕES DA PETROBRAS”**. In Tese de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

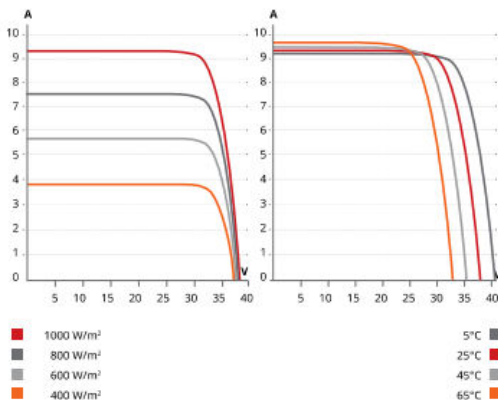
ANEXOS E APÊNDICES

ANEXO I – Datasheet dos Módulos Fotovoltaicos

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6K-270P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6K	260P	265P	270P	275P
Nominal Max. Power (Pmax)	260 W	265 W	270 W	275 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.4 V	30.6 V	30.8 V	31.0 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.56 A	8.66 A	8.75 A	8.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.5 V	37.7 V	37.9 V	38.0 V
Short Circuit Current (Isc)	9.12 A	9.23 A	9.32 A	9.45 A
Module Efficiency	15.88%	16.19%	16.50%	16.80%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6×10)
Dimensions	1650×992×40 mm (65.0×39.1×1.57 in)
Weight	18.2 kg (40.1 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12 AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in)
Connector	T4 series or PV2 series
Per Pallet	26 pieces, 520 kg (1146.4 lbs)
Per Container (40' HQ)	728 pieces

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS6K	260P	265P	270P	275P
Nominal Max. Power (Pmax)	191 W	195 W	198 W	202 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	28.0 V	28.2 V	28.3 V	28.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.83 A	6.92 A	7.00 A	7.08 A
Open Circuit Voltage (Voc)	34.9 V	35.1 V	35.3 V	35.4 V
Short Circuit Current (Isc)	7.36 A	7.45 A	7.53 A	7.63 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43±2 °C

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.5 % for irradiances between 200 W/m² and 1000 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The aforesaid datasheet only provides the general information on Canadian Solar products and, due to the on-going innovation and improvement, please always contact your local Canadian Solar sales representative for the updated information on specifications, key features and certification requirements of Canadian Solar products in your region.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

PARTNER SECTION



Geração Distribuída

Para aplicações residenciais, comerciais, estacionamentos e indústrias, a WEG oferece as linhas de inversores solares SIW300, SIW500 e SIW600. Prontas para atender diversas potências, apresentam a solução ideal para os mais variados locais e condições de instalação.



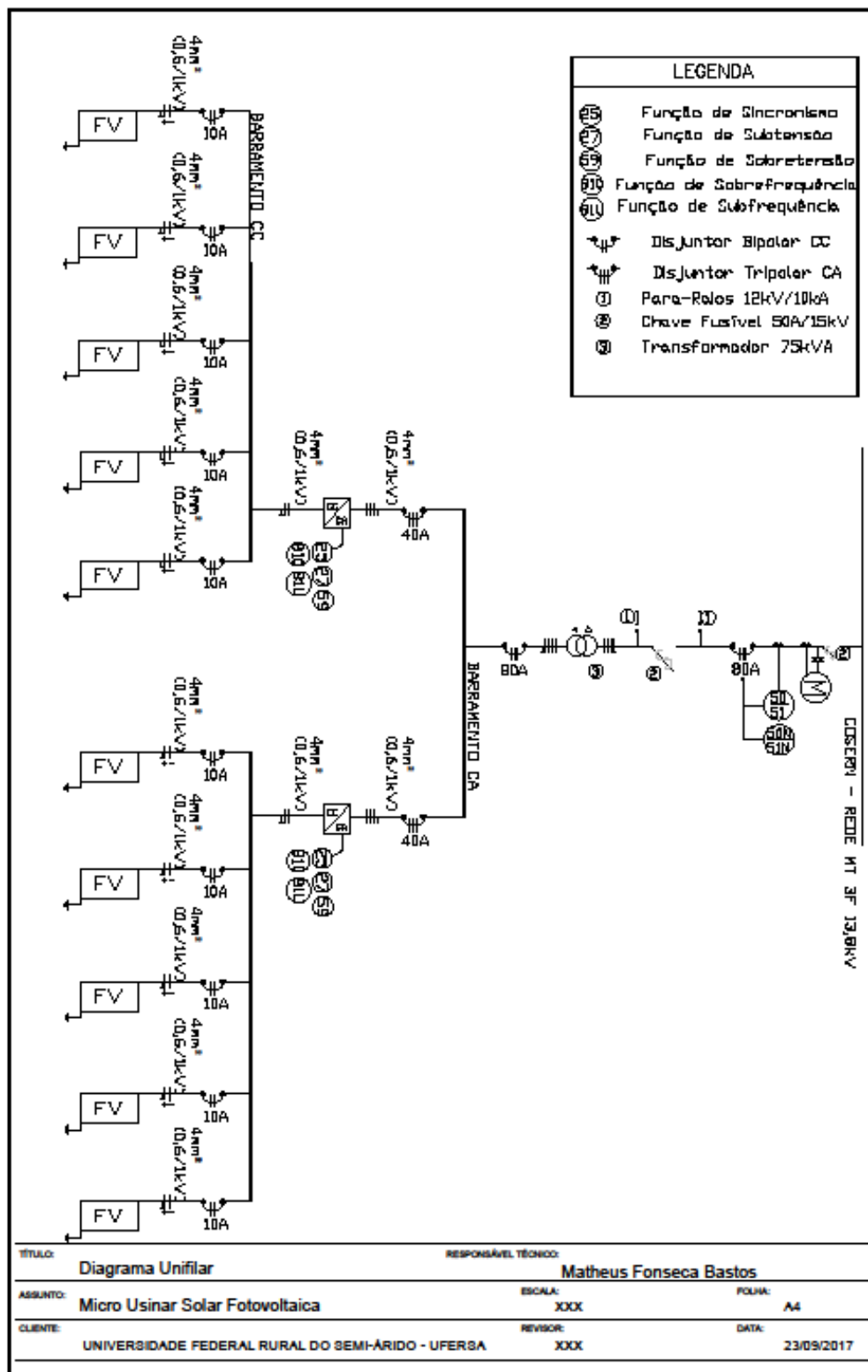
Inversores String SIW500 e SIW600

Modelo	SIW500 ST010	SIW500 ST012	SIW500 ST015	SIW600 T20-44	SIW500 ST025
	Entrada (CC)				
Tensão máxima	1,000 V				
Faixa de tensão MPPT	370...800 V	440...800 V	360...800 V	420...800 V	390...800 V
Tensão nominal	580 V				
Corrente máxima / por string	18 / 10 A		40 / 12,5 A	21 / 15 A	33 / 33 A
Número de MPPTs / Strings por MPPT	2 / 2		2 / A:5, B:1	2 / 2	2 / 3
	Saída (CA)				
Potência nominal	10,000 W	12,000 W	15,000 W	20,000 W	25,000 W
Tensão nominal	380 V				
Faixa de tensão	160-280 V			380-440 V	180-280 V
Frequência da rede	60 Hz			60 Hz	60 Hz
Corrente máxima	14,5 A	17,4 A	24 A	33,4 A	36,2 A
Eficiência máxima	98%	98,3 %	98,2%	98%	98,3%
	Dados gerais				
Dimensões (C / A / L) em mm	470 / 730 / 240		665 / 690 / 265	583 / 600 / 318	661 / 682 / 264
Massa	37 kg	38 kg	59 kg	50 kg	61 kg
Faixa de temperatura de operação	-25...+60 °C			-10...+60 °C	-25...+60 °C
Grau de proteção (IEC 60529)	IP65			IP65	IP65
Categoria climática (IEC 60721-3-4)	4K4H				
Topologia	Transformerless				
Refrigeração	Opticool			Natural	Opticool
Ruído	40 dB			51 dB	
Comunicação	Bluetooth / Ethernet			Ethernet / RS485 / Modbus / USB	Bluetooth / Ethernet

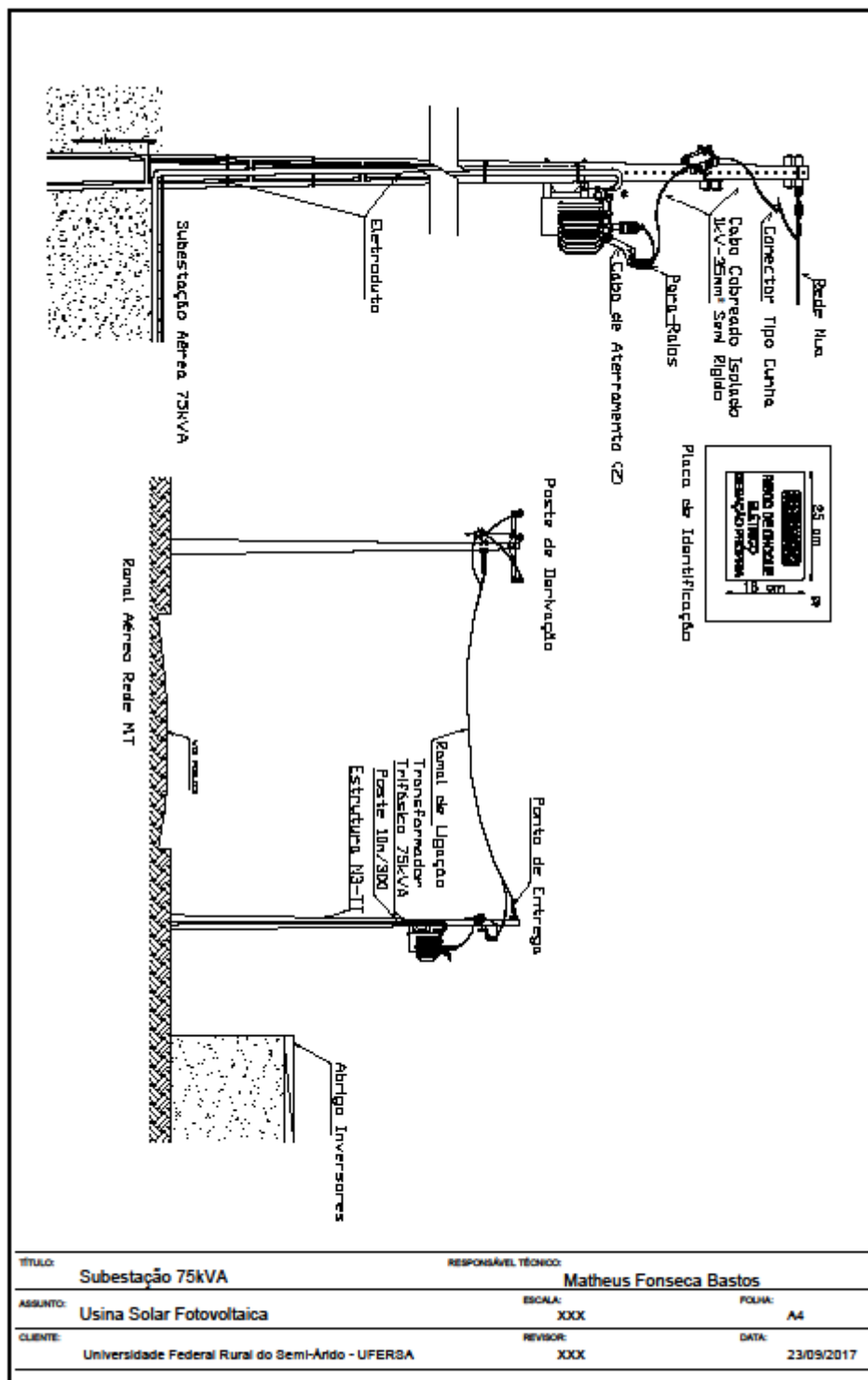
Inversor Monofásico SIW300

Modelo	SIW300 M015	SIW300 M025	SIW300 M050
	Entrada (CC)		
Tensão máxima	600 V		750 V
Faixa de tensão MPPT	160...500 V	260...500 V	175-500 V
Tensão nominal	360 V		400 V
Corrente máxima / por string	10 A		15 / 15 A
Número de MPPTs / Strings por MPPT	1 / 1		2 / 2
	Saída (CA)		
Potência nominal	1,500 W	2,500 W	4,600 W
Tensão nominal	220 V		
Faixa de tensão	180-280 V		
Frequência da rede	60 Hz		
Corrente máxima	7 A	11 A	22 A
Eficiência máxima	97,2%		97%
	Dados gerais		
Dimensões (C / A / L) em mm	460 / 357 / 122		490 / 519 / 185
Massa	9,2 kg		26 kg
Faixa de temperatura de operação	-40...+60 °C		
Grau de proteção (IEC 60529)	IP65		
Categoria climática (IEC 60721-3-4)	4K4H		
Topologia	Transformerless		
Refrigeração	Convecção natural		
Ruído	<25 dB		
Garantia	Wi-fi / Ethernet		Bluetooth / Ethernet

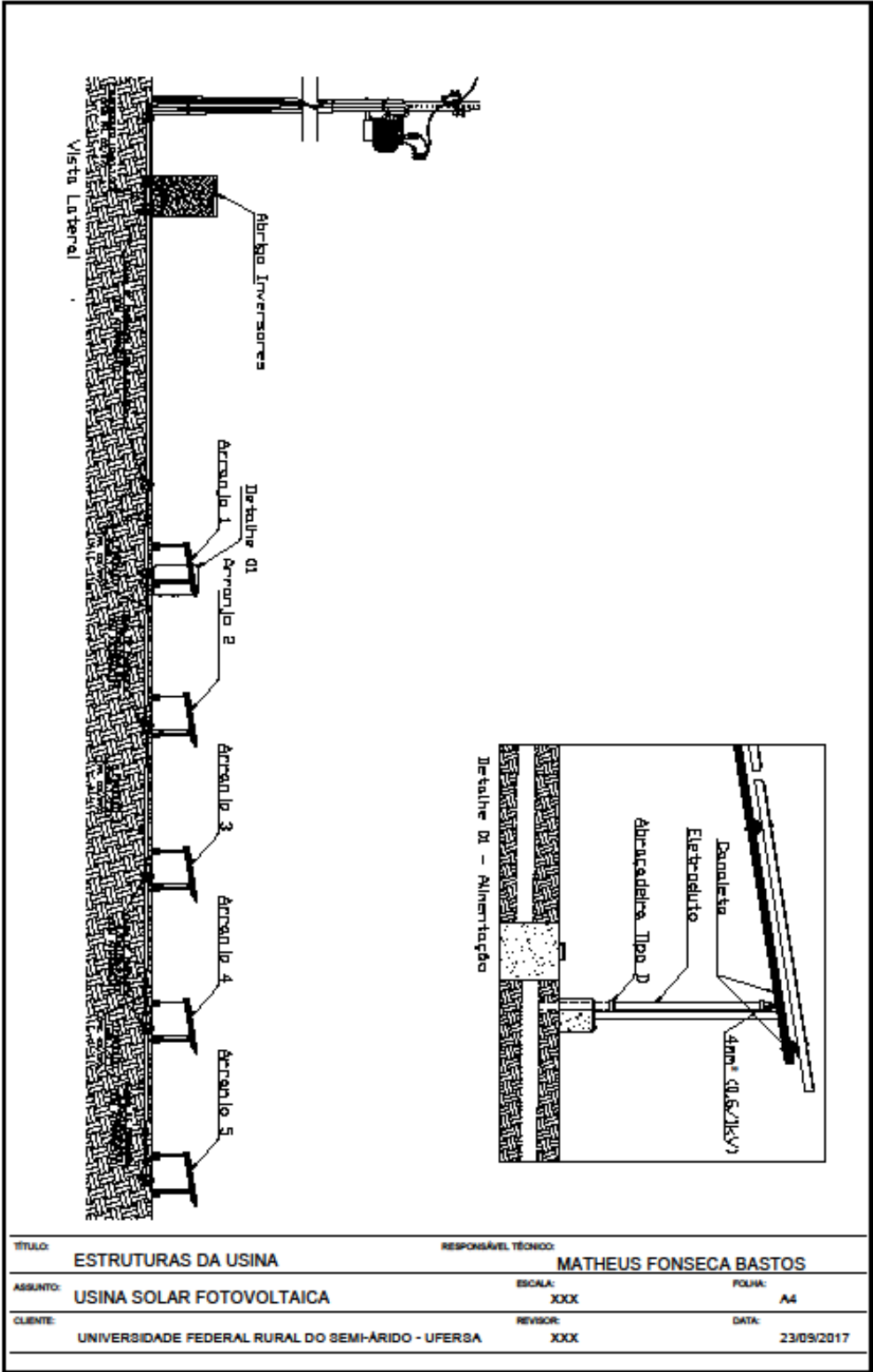
ANEXO III – Diagrama Unifilar



ANEXO IV – Subestação Área 75kVA



ANEXO V – Planta da Estrutura da Usina



ANEXO VI – Arranjo Físico

