

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

GABRIEL DE SOUZA MOREIRA

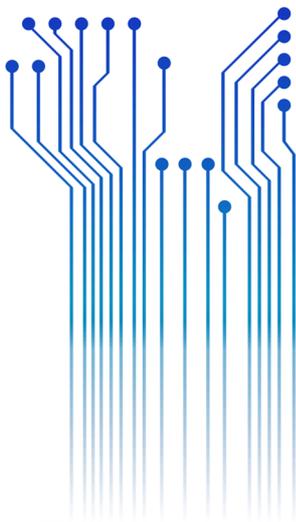


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

RELATÓRIO DE ESTÁGIO
SINAPSE SOLAR E ENGENHARIA LTDA



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2021

GABRIEL DE SOUZA MOREIRA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Energias renováveis e instalações elétricas

Orientador:
Professor Leimar de Oliveira

Campina Grande
2021

GABRIEL DE SOUZA MOREIRA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Energias renováveis e instalações elétricas

Aprovado em / /

Professor Edmar Candeia Gurjão
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Leimar de Oliveira,
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha filha, Isadora
Albuquerque Moreira e a minha amada esposa
Aline Pacheco Albuquerque.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Leonardo Antônio e Solange Duarte, por me fornecerem a oportunidade de poder realizar meus estudos contribuindo diretamente para minha formação pessoal e profissional.

Agradeço também à minha esposa Aline Pacheco Albuquerque por me auxiliar e apoiar a sempre persistir nos meus objetivos, me incentivando a sempre ser o melhor que posso em tudo que realizo.

Aos meus amigos, Jarbas, proprietário da empresa, pela oportunidade e confiança depositada, e Ewerton pelo suporte prestado com todo conhecimento atribuído e compartilhado para que fosse possível a execução desse estágio.

Ao meu orientador Leimar de Oliveira por toda aprendizagem e auxílio transmitido na realização deste trabalho.

A todos os professores do curso de graduação que contribuíram em minha jornada, e demais funcionários da UFCG, em especial a Adail Paz e Tchai Oliveira que se empenham diariamente para ajudar todos os alunos da graduação a solucionar qualquer problema.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para que fosse possível a conclusão de mais uma etapa rumo a minha formação acadêmica.

“ Não ganhe o mundo e perca sua alma; sabedoria é melhor que prata e ouro ”

Bob Marley.

RESUMO

Este relatório descreve o estágio supervisionado do discente Gabriel de Souza Moreira realizado do Curso de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Campina Grande, realizado na empresa Sinapse Solar e Engenharia LTDA em Areia – PB, com carga horária total de 180 horas, sob supervisão do engenheiro Jarbas Mariz Medeiros e orientação do professor Leimar de Oliveira. O presente documento relata as principais ocupações frente a execução de um projeto de instalação de sistema de energia fotovoltaico em estabelecimento industrial da região. Neste contexto, a principal atribuição do estagiário visou o acompanhamento no decorrer da implantação de painéis fotovoltaicos auxiliando nas necessidades relacionadas a obra em questão, configuração dos inversores solares, monitoramento do projeto por meio de fotos e vídeos realizados com drone, auxílio técnico aos operários e cliente, bem como as adequações das instalações elétricas necessárias.

Palavras-chave: Sinapse Solar e Engenharia LTDA, Energia Fotovoltaica, Projetos Solares.

ABSTRACT

This report describes the supervised internship of the student Gabriel de Souza Moreira, from the Electrical Engineering Course, at the Federal University of Campina Grande, held at the company Sinapse Solar e Engenharia LTDA in Areia - PB, with a total workload of 180 hours, under the supervision of the engineer Jarbas Mariz Medeiros and guidance from professor Leimar de Oliveira. This document reports the main occupations regarding the execution of a project to install a photovoltaic energy system in an industrial establishment in the region. In this context, the trainee's main task was to monitor the implementation of photovoltaic panels, assisting with the needs related to the work in question, configuring the solar inverters, monitoring the project through photos and videos made with drone, technical assistance to the workers and customer, as well as the necessary adaptations of the electrical installations.

Keywords: Sinapse Solar e Engenharia LTDA, Photovoltaic Energy, Solar Projects.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Logomarca da empresa.	16
Figura 2.1 – Instalação de células de silício à rede telefônica.	18
Figura 2.2 – Satélite Vanguard I.	19
Figura 2.3 – Incidência solar ao longo do ano.	21
Figura 2.4 – Sistema <i>On-Grid</i> .	23
Figura 2.5 – Modelo Atômico + Cristal de Silício.	24
Figura 2.6 – Modelo Atômico Semicondutores Extrínsecos.	25
Figura 2.7 – Junção PN.	25
Figura 2.8 – Representação de célula fotovoltaica.	26
Figura 2.9 – Salto Quântico + Modelo Atômico Atual.	27
Figura 2.10 – Modelo Elétrico de uma Célula Fotovoltaica.	28
Figura 2.11 – Gráfico I x V x P módulo fotovoltaico.	30
Figura 2.12 – Gráfico I x V: 1 célula (vermelho), N células em série (azul).	30
Figura 2.13 – Gráfico I x V: 1 célula (vermelho), N células em paralelo (azul).	31
Figura 2.14 – Ilustração de células, módulos e painéis.	31
Figura 2.15 – Gráficos I x V de frações das irradiâncias padrão.	32
Figura 2.16 – Inversor de tensão trifásico acoplado a módulo solar.	33
Figura 2.17 – Estratégia PWM em braço de Inversor de frequência.	34
Figura 3.1 – Curvas de irradiação solar no plano inclinado.	38
Figura 3.2 – Diagrama Unifilar.	40
Figura 3.3 – Ponte de conexão da estrutura do painel ao aterramento.	41
Figura 3.4 – Quadro de manobra e proteção CA conectado a saída do inversor.	41
Figura 3.5 – Painel com avaria.	43
Figura 3.6 – Módulos fotovoltaicos armazenados.	43
Figura 3.7 – Demarcação do terreno para instalação dos módulos fotovoltaicos.	44
Figura 3.8 – Escavações para ancoragem dos suportes.	44
Figura 3.9 – Treliça para ancoragem dos suportes.	45
Figura 3.10 – Ancoragem dos suportes.	45
Figura 3.11 – Alinhamento dos suportes.	46
Figura 3.12 – Fixação dos painéis aos suportes.	46

Figura 3.13 – Conjunto de 4 painéis fixados ao suporte.	47
Figura 3.14 – Foto aérea dos painéis já instalados.	47
Figura 3.15 – Construção do abrigo para o inversor.	48
Figura 3.16 – Inversor e quadro fixados.	48
Figura 3.17 – Chumbadores <i>parabolt</i> para fixação do inversor.	49
Figura 3.18 – Conexão dos cabos CC no inversor.	49
Figura 3.19 – Foto aérea do sistema montado.	50
Figura 3.20 – Foto aérea panorâmica do sistema montado.	50
Figura 3.21 – Módulos fotovoltaicos instalados sobre telhado.	51
Figura 3.22 – Modelo inversor Growatt.	52
Figura 3.23 – Quadro reformado para nova conexão.	53
Figura 3.24 – Ficha de vistoria de geração distribuída.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Consulta do potencial energético no site da CRESESB.	38
Tabela 3.2 – Parâmetros de proteção do inversor.	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CEPEL	Centro de Pesquisas em Energia Elétrica
CC	Corrente Contínua
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i>
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
NDU	Norma de Distribuição Unificada
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
VCC	Tensão de Corrente Contínua

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampere
a-Si	Silício amorfo
CdTe	Tolureto de Cadmio
CGIS	Disseleneto de cobre índio gálio
GaAs	Arsenieto de Gálio
GW	Giga Watt
kW	Quilo Watt
kWh	Quilo Watt Hora
kWp	Quilo Watt Pico
p-Si	Silício Policristalino
Si	Silício
m-Si	Silício Monocristalino
W	Watt
V	Volt
VCC	Tensão de Corrente Contínua

SUMÁRIO

1	Introdução.....	14
1.1	Objetivo do estágio	15
1.2	Empresa	15
1.3	Estrutura do Trabalho	16
2	Embasamento Teórico.....	17
2.1	Energia solar fotovoltaica	17
2.2	Incidência Solar	21
2.3	Sistema de geração fotovoltaica.....	22
2.3.1	<i>On-grid, Off-grid</i> e Híbrido	22
2.4	Células e Módulos Fotovoltaicos.....	23
2.4.1	Construção do Módulo e da Célula.....	23
2.4.2	Tipos de Célula.....	26
2.4.3	Funcionamento da Célula e do Módulo.....	27
2.5	Painel Fotovoltaico	31
2.6	Inversores.....	33
2.7	Resoluções e normas regulamentadoras.....	34
3	Atividades desenvolvidas	37
3.1	Dimensionamento do Sistema.....	37
3.2	Análise de projetos fotovoltaicos	39
3.3	Supervisão da instalação de usinas solares fotovoltaicas	42
3.3.1	Recebimento e descarga de material.....	42
3.3.2	Execução da obra.....	43
3.4	Parametrização de inversores solares.....	51
3.5	Análise e adequação das instalações elétricas.....	53
3.6	Vistoria de Projetos de Microgeração	53
4	Considerações finais.....	55
5	Referências bibliográficas	56
	Anexos.....	58
	Anexo A – Datasheet do inversor.....	58
	Anexo B – Datasheet do painel	59

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o país dispõe de matrizes energéticas com maior uso resultante de fontes não renováveis, o que vem acarretando danos cada dia maiores ao ambiente. Sendo assim, novos estudos estão sendo desenvolvidos buscando fontes energéticas de novas matrizes, como a energia solar. O uso desse tipo de energia é viável no Brasil, com destaque na região nordeste, uma vez que sua localização permite um alto índice de irradiação solar.

Dessa maneira, os sistemas fotovoltaicos foram ganhando espaço dentro do mercado comercial, como a princípio sua produção apresentava um alto custo apenas uma parcela restrita da população possuía acesso, todavia, no cenário atual, com a redução dos valores dos equipamentos de um sistema fotovoltaico, os incentivos governamentais como a facilidade para financiamento, os sistemas estão cada vez mais em uso.

De acordo com dados do infográfico da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) junto à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) atualizados em abril de 2021 dentre os benefícios da fonte solar fotovoltaica no Brasil tem-se a redução de mais de 8,3 milhões de toneladas de dióxido de carbono que seriam emitidas, a geração de mais de 254 mil novos empregos, mais de 44 bilhões em novos investimentos privados, bem como a arrecadação de mais de 12,1 bilhões de tributos¹.

Diante desses benefícios tem-se uma maior confiabilidade em seu uso, uma vez que ainda apresenta redução de custos de consumo a longo prazo o que torna a energia solar cada vez mais requisitada no Brasil e no mundo.

Em virtude do exposto, o presente trabalho visou a participação do discente junto a uma empresa de implantação de energia solar fotovoltaica tendo como finalidade a contribuição em se consolidar os conhecimentos adquiridos nas disciplinas durante a graduação, assimilando também novos aprendizados e técnicas no ramo da engenharia elétrica e afins.

Este trabalho consiste em descrever o estágio supervisionado desenvolvido pelo aluno Gabriel de Souza Moreira durante o período de 06 de outubro de 2020 até 27 de novembro de 2020, com duração de 227 horas, realizado junto a empresa Sinapse Solar e

¹ Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 10/05/2021.

Engenharia LTDA em Areia – PB, sob a supervisão do engenheiro eletricitista e civil Jarbas Mariz Medeiros e orientação do professor Leimar de Oliveira. Dentre atividades desenvolvidas pode-se destacar:

- Análise de projetos fotovoltaicos;
- Supervisão da execução do projeto e da instalação da usina solar fotovoltaica;
- Parametrização de inversores solares;
- Análise e adequação das instalações elétricas;
- Tramitação do processo de vistoria.

1.1 OBJETIVO DO ESTÁGIO

O objetivo da realização do estágio supervisionado é o cumprimento da disciplina pertencente a grade curricular do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Estágio Curricular. A execução deste visa auxiliar no desenvolvimento do discente para âmbito profissional, ressaltando o aprendizado obtido durante a graduação, buscando oferecer as melhores oportunidades de atuação no mercado de trabalho.

1.2 EMPRESA

A Sinapse Solar e Engenharia LTDA, foi fundada no ano de 2019, com sede em Areia, Paraíba. Trata-se de uma empresa integradora de geração distribuída com foco em energia solar, a empresa trabalha com consultoria em obras e projetos elétricos, eficiência energética, aluguel de usinas, sendo constituída por dois engenheiros eletricitistas e civis.

Os projetos realizados baseiam-se em modelos que visam a sustentabilidade, frisando a diminuição da poluição no meio ambiente e economia de carbono por meio de produtos que apresentem qualidade e certificados. Mais de 50 projetos já foram realizados com aproximadamente 500 kWp de potência instalados.

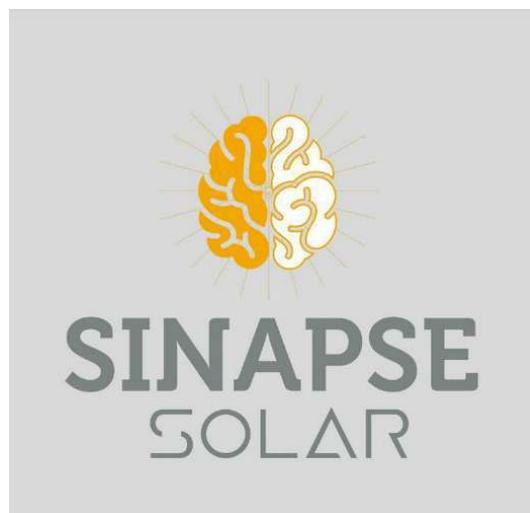
A empresa possui comprovada experiência no desenvolvimento e execução de seus projetos de sistemas solares fotovoltaicos, onde todos os serviços constam de uma equipe composta por técnicos e engenheiros especializados e devidamente regulamentados.

Dentre os serviços ofertados pela Sinapse Solar e Engenharia pode-se destacar:

- Visita e análise prévia ao local da instalação;
- Estudo da viabilidade técnica-financeira;
- Dimensionamento de sistemas de geração solar;
- Elaboração e aprovação de projetos junto as concessionárias de energia;
- Venda de equipamentos;
- Instalação e *Startup*.

A logomarca da empresa encontra-se representada na Figura 1.1.

Figura 1.1 – Logomarca da empresa.



Fonte: <https://www.instagram.com/sinapsesolar/>.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 1 contextualiza a fase introdutória ressaltando a importância do tema abordado bem como os principais objetivos e uma breve apresentação acerca da empresa.

No Capítulo 2 consta um referencial teórico com abordagens dos principais itens que se fazem necessários para melhor entendimento das atividades desenvolvidas, buscando fundamentar as etapas realizadas na execução do estágio.

No Capítulo 3 estão descritas as principais atividades que foram desenvolvidas no decorrer do estágio que englobam desde o dimensionamento do sistema até o processo final de vistoria do projeto executado.

No Capítulo 4 são expostas algumas considerações conclusivas em virtude da realização do trabalho ressaltando as contribuições que o estágio proporcionou.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Este capítulo consta dos principais aspectos teóricos acerca do trabalho desenvolvido com ressalva a importância da implantação da energia solar fotovoltaica como matriz energética, visando a redução de impactos ambientais e maior viabilidade econômica. Alguns aspectos sobre o funcionamento do sistema fotovoltaico de acordo com classificação também serão tratados ressaltando desde os principais componentes que formam a usina fotovoltaica até as normas e resoluções necessárias para instalação e uso de acordo com os órgãos competentes.

2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Diversos trabalhos ressaltam a história da energia fotovoltaica, dentre eles Vallêra e Brito (2006) descrevem em seu estudo alguns marcos em meio século de existência com destaque para alguns desses anos. No ano de 1839, o físico francês Alexandre Edmond Becquerel relatou a conversão da radiação solar em energia elétrica, chamado de efeito fotovoltaico. O fenômeno ocorria através de um dispositivo que se denominou de célula solar fotovoltaica.

William Grylls Adams e Richard Evans Day, realizaram em 1876 um estudo utilizando o selênio (Se) para produzir energia elétrica apenas pela ação da luz. Foi construído assim o primeiro aparato fotovoltaico utilizando conceitos de física de estado sólido. O experimento relatou que quando expostos à radiação, os eletrodos de selênio geravam uma corrente elétrica. Essa descoberta foi realizada utilizando amostras para investigar a fotocondutividade do selênio, descobrindo assim o efeito fotovoltaico num semicondutor.

No ano de 1905, o físico Albert Einstein publicou um artigo sobre a lei do efeito fotoelétrico, a qual explicou o fenômeno que ao incidir feixes de luz em um material semicondutor, energia é transferida por pacotes, chamados fótons. Os fótons excitam os elétrons, permitindo que eles possam se afastar do núcleo do átomo do semicondutor,

saindo da camada de valência, estando livre para circular e constituir corrente. Einstein recebeu um prêmio Nobel em 1921 por essa descoberta².

A primeira célula solar moderna foi apresentada em 1954 por Pearson, Fuller e Chapin, tinha uma eficiência de apenas 6%, gerando 5 mW de potência elétrica e era feita de silício. Russell Ohl foi quem inventou a primeira placa de silício e também foi o primeiro a patentear o sistema fotovoltaico moderno. No entanto, seu êxito só foi possível graças ao trabalho de Calvin Fuller, Gerald Pearson e Daryl Chapin.

Chapin procurava uma fonte de energia alternativa para as baterias usadas em redes telefônicas remotas logo, Fuller e Pearson entraram em contato com o físico e, em 1955, células de silício foram usadas pela primeira vez como fonte de alimentação de uma rede telefônica (Figura 2.1) na Geórgia, Estados Unidos.

Figura 2.1 – Instalação de células de silício à rede telefônica.



Fonte: <http://web.ist.utl.pt/palmira/solar.html>.

Em virtude dos estudos em semicondutores progredindo. Não tardou muito para que o governo americano se interessasse pela nova tecnologia que casou perfeitamente com as necessidades do programa espacial, no ano de 1958 as primeiras células fotovoltaicas foram utilizadas para alimentar um satélite (Vanguard I), ilustrado na Figura 2.2.

² Disponível em: <<https://www.scientificamerican.com/article/einstein-s-legacy-the-photoelectric-effect/>>. Acesso em: 23/04/2021.

Figura 2.2 – Satélite Vanguard I.



Fonte: (VALLÊRA E BRITO, 2006).

A década de 70 foi marcada por desenvolvimentos importantes nas células fotovoltaicas uma vez que a crise do petróleo e a consequente elevação dos custos sobre os combustíveis fósseis, viu-se que era necessário buscar outras fontes de energia, o que tornou a energia solar uma opção para atender as necessidades da sociedade. No entanto, os custos ainda eram elevados, o que tornou os investimentos no ramo solar limitados apenas para grandes empresas, a produção anual não passava de 1 MW.

Já na década de 80 foram instaladas na Europa e EUA centrais fotovoltaicas pilotos de médio porte (dezenas a centenas de kWp). Poucos anos depois na década de 90 Alemanha e Japão criam políticas de incentivo para a energia fotovoltaica com o objetivo de reduzir a emissão de CO₂ na atmosfera realizando grandes investimentos no setor.

De acordo com Machado e Miranda (2015) considerando que no ano 2000 o consumo global de energia foi de 13 TW e a estimativa para 2050 é de 30 TW, a energia enviada pelo sol está sobrando excessivamente. Em 2004, foram produzidos cerca de mil milhões de células, com eficiências da ordem dos 16%, ultrapassando pela primeira vez a barreira de 1 GW de potência eléctrica anual instalada. A partir de 2006 a China passa a produzir componentes para o mercado contribuindo para a redução drástica dos custos de fabricação ocorrendo um novo recorde ao obter uma célula solar com 40% de eficiência e pela primeira vez, a utilização de células solares de polisilício alcança o restante das tecnologias fotovoltaicas.

Em 2011, as fábricas solares chinesas se expandiram de forma rápida, tornando os custos de fabricação mais acessíveis. Dessa forma, as instalações desde então passaram a crescer em todo mundo e o uso de novas tecnologias vêm sendo cada dia mais difundido.

Conforme supracitado, ao longo da última década, a energia solar fotovoltaica vem ganhando cada vez mais notoriedade em todo mundo, com uma taxa de crescimento

continuadamente alta que deverá manter-se devido à necessidade por energias limpas, uma vez que a energia solar se trata de uma das mais eficientes e com menor impacto ao meio ambiente quando comparada as demais.

Em trabalho realizado por Lopes (2020) sobre energia fotovoltaica ressalta-se que de acordo com dados da ANEEL, até junho de 2020 a potência instalada tendo como fonte de radiação solar era de 3 GW, enquanto que, em 2016 possuía apenas 81 MW. O estudo em questão afirma que o crescimento da energia solar fotovoltaica resulta, da acentuada redução de preços dos componentes, como os módulos e inversores que compõem os sistemas fotovoltaicos, que reflete na competitividade das usinas solares frente à geração convencional.

De acordo com dados da ANEEL/Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) atualizados em abril de 2021 para evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil, a potência instalada até março de 2021 atingiu um total de 8,47 GW, onde 61 % correspondia a geração distribuída e 39% representava a energia centralizada³.

Para representação das quantidades de recursos energéticos oferecidos por um país, ou seja, a sua matriz energética, representada por um conjunto de fontes de energia ofertado para captar, distribuir e utilizar energia, Cunha (2019) afirma que de acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética, a matriz elétrica brasileira em 2017 possuía uma capacidade instalada de 144.504,258 MW, que estão distribuídas da seguinte forma: hidrelétrica 65,2%, gás natural 10,5%, biomassa 8,2%, solar e eólica 6,9%, carvão 4,1%, nuclear 2,6% e petróleo e derivados 2,5%. Salientando que uma notável parte da energia elétrica gerada no Brasil vem das usinas hidrelétricas.

De acordo com a ANAEEL/ABSOLAR³ em 2021 observa-se que a matriz energética brasileira é de supremacia decorrente das hidroelétricas, todavia pode-se destacar o aumento de fontes energéticas renováveis quando comparado com o estudo anteriormente citado e redução de fonte não renováveis, que em sua maioria tem como fonte o petróleo.

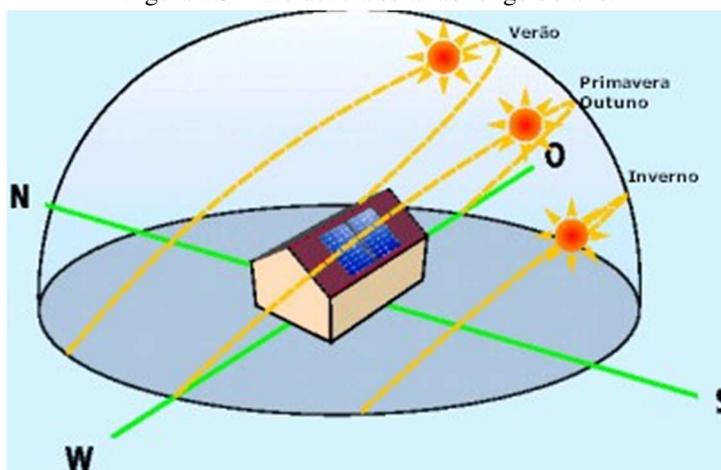
O que elucida a importância na realização do presente trabalho uma vez que a persistência desse aumento gera a necessidade de mão de obra capacitada para gerir e realizar implantação desses sistemas de energias renováveis no mercado.

³ Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acessado em: 10/05/2021.

2.2 INCIDÊNCIA SOLAR

Um ponto crucial na instalação de placas solares é o ângulo de incidência solar, pois a absorção de energia é máxima quando os raios incidem perpendicularmente na placa. O problema é que esse ângulo varia durante o dia e durante o ano. Uma placa fixa numa única posição, só vai aproveitar o melhor ângulo de incidência em determinada hora do dia e no resto do tempo vai receber os raios enviesados. No decorrer do ano, o sol varia a sua posição em relação à Terra, e a menos que o residente esteja na linha do equador, os raios solares vão incidir nos painéis diferentemente no decorrer do ano. A Figura 2.3 representa o que está sendo relatado.

Figura 2.3 – Incidência solar ao longo do ano.



Fonte: <https://www.electronica-pt.com/instalacao-sistema-fotovoltaico>.

Alguns estudos vêm sendo realizados para placas que acompanham o direcionamento solar, como um girassol faz, o chamado *tracker*. Para isso é necessário um motor para fazer a placa acompanhar o Sol, gastando energia nesse processo.

Por enquanto esse recurso ainda não é rentável do ponto de vista de geração de energia para locais próximos da linha do equador (em que ocorre pouca variação do ângulo no decorrer do ano), porém mais próximo aos polos da Terra, essa realidade vai começando a mudar, pois ocorre uma grande variação no ângulo de incidência dos raios solares, tornando os sistemas tradicionais muito ineficientes em certos períodos do ano, nesses casos o sistema *tracker* pode ser viável, contudo, tanto a manutenção quanto a compra são mais caras do que os sistemas tradicionais.

2.3 SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Existem três formas de funcionamento de um sistema de energia solar fotovoltaico, que varia pelo tipo de sistema instalado:

- Sistema de energia solar conectado à rede (*on-grid*);
- Sistema fotovoltaico isolado ou autônomo (*off-grid*);
- Sistema de energia solar híbrido.

2.3.1 ON-GRID, OFF-GRID E HÍBRIDO

A energia solar pode ser aproveitada de diversas formas para gerar energia, mas a aplicação neste trabalho é a transformação de energia solar em energia elétrica diretamente, a chamada geração fotovoltaica. Um sistema de geração fotovoltaica pode se dar de duas formas, *on-grid* (conectado à rede elétrica) e *off-grid* (isolado da rede elétrica) ou de forma híbrida onde o sistema pode funcionar tanto conectado a rede como isolado.

Os sistemas *off-grid* dependem de alguma forma de armazenamento de energia, ou então só operará quando houver luz solar. Geralmente se instala um banco de baterias em paralelo com os painéis solares, e quando há iluminação do sol, o banco recebe energia dos painéis armazenando-a, e quando não há, a energia no banco é consumida pela carga.

As baterias possuem uma relação direta do percentual de descarga com a vida útil dela. Quanto maior for a profundidade da descarga da bateria até a próxima recarga mais rapidamente o sistema se degenera, tendo que ser repostado futuramente. Portanto, pelo fato das baterias ainda serem muito caras e terem vida útil reduzida, os projetos solares *off-grid* acabam sendo inviabilizados pelo alto custo de compra e manutenção do sistema.

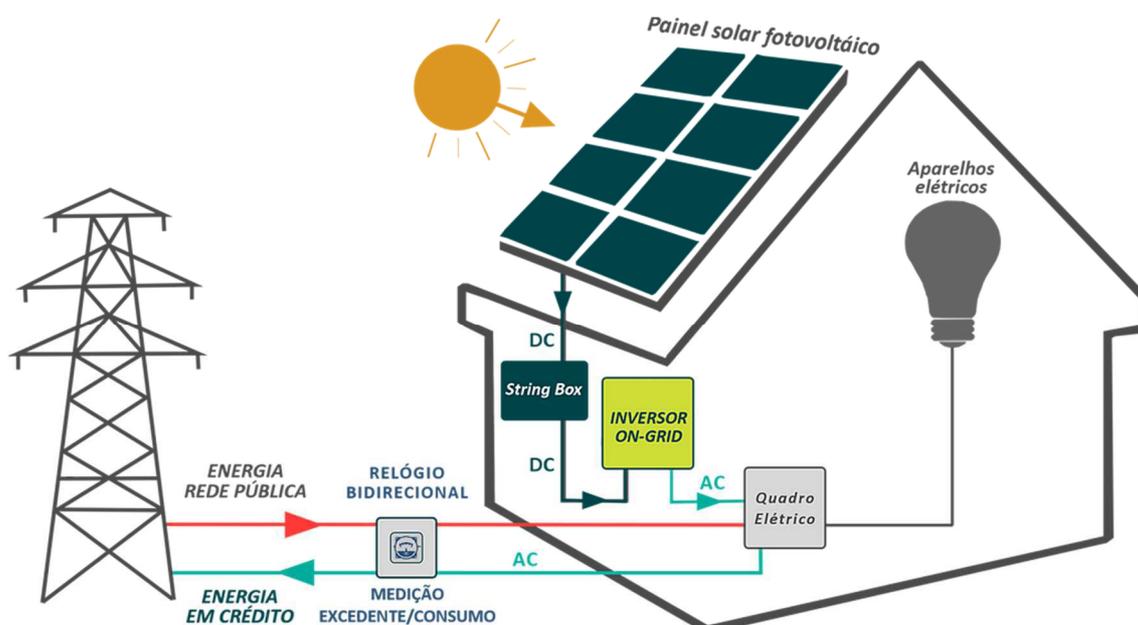
Após as resoluções de 2012 e de 2015, o medidor bidirecional foi permitido e popularizado entre as unidades distribuidoras de energia. Com esse medidor, tanto a energia que a residência demanda, como a energia que a residência fornece podem ser contabilizadas, dessa forma servindo de crédito na conta de energia para o consumidor (microgerador). Com isso a geração *on-grid* pode ser iniciada no Brasil, a mesma conta com os seguintes equipamentos:

- Painel Fotovoltaico: gerador de energia contínua;
- String Box: proteção contra surtos, curtos e sobrecargas;

- Inversor de frequência: transforma sinais elétricos contínuos em sinais alternados, necessário para inserção na rede elétrica;
- Medidor Bidirecional: responsável por contabilizar a energia elétrica que é inserida na rede e a energia que é consumida pela residência.

Um esquema elétrico dos componentes fundamentais se encontra na Figura 2.4:

Figura 2.4 – Sistema *On-Grid*.



Fonte: <https://www.allgreen-solar.com>.

Com a união dos sistemas *off-grid* e *on-grid* é possível compor um sistema híbrido, essa solução pode ser viável em locais de difícil acesso onde o fornecimento de energia não é muito estável, nesse caso uma residência estará suprida de energia para suas necessidades básicas, mesmo que o fornecimento da concessionária seja interrompido.

2.4 CÉLULAS E MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

2.4.1 CONSTRUÇÃO DO MÓDULO E DA CÉLULA

O Centro de Pesquisas em Energia Elétrica, CEPEL, aborda o processo de construção de uma placa/painel e detalha seu funcionamento a nível atômico⁴. O painel é

⁴ Disponível

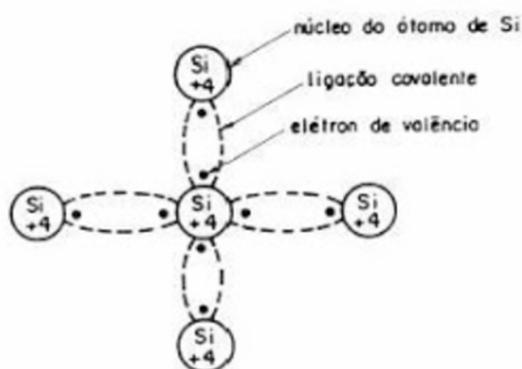
em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321#:~:text=Se%20um a%20jun%C3%A7%C3%A3o%20pn%20for,origem%20a%20uma%20diferen%C3%A7a%20de>.

Acesso: 26/04/2021.

composto por várias células dispostas matricialmente, estando conectadas em série mais paralelo.

A célula é composta por dois cristais unidos fisicamente, constituídos majoritariamente de silício (semicondutor – 4 elétrons na camada de valência) e uma impureza, chamada de dopante. O cristal puro de silício já é uma estrutura estável onde os átomos se agrupam de forma a cada átomo compartilhar os 4 elétrons com 4 vizinhos como representado na Figura 2.5 ao lado de um cristal de silício puro (semicondutor intrínseco).

Figura 2.5 – Modelo Atômico + Cristal de Silício.

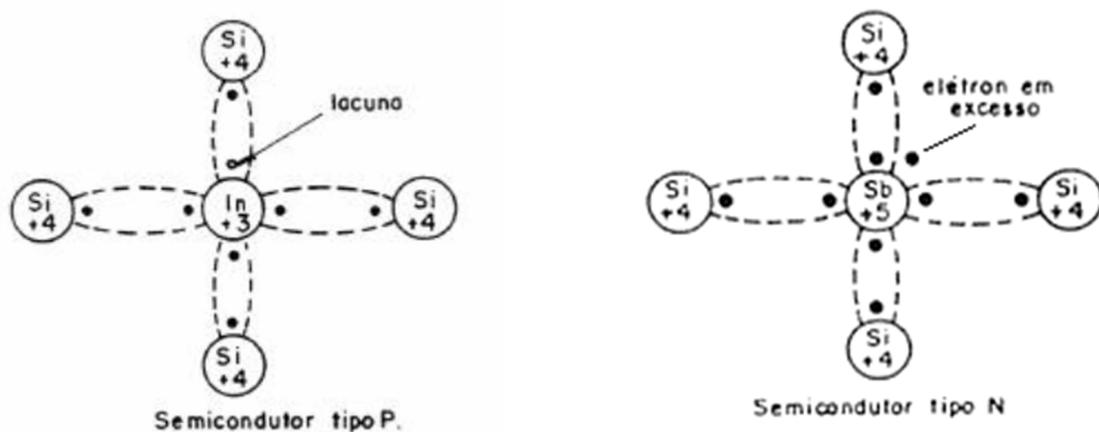


Fonte: <http://fatecelectronica.blogspot.com/2011/08/materiais-semicondutores.html> / https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Silicio_met%C3%A1lico.png.

Um dos dois cristais é dopado com impureza com sobra de elétrons na camada de valência (tipo N - alusão aos elétrons) como o fósforo, arsênio e antimônio. O outro cristal é dopado com impureza com déficit de elétrons na camada de valência (tipo P - detentor de lacunas) como Boro, Gálio e o Índio. Quando um semicondutor é dopado, ele recebe a denominação de semicondutor extrínseco.

Essa sobra/déficit de elétrons deve ser entendida quando equiparada ao referencial dos 4 elétrons da camada de valência do silício que formam a estrutura cristalina. Por isso ter 3 elétrons na camada de valência faz um bom dopante tipo P e ter 5 um bom dopante tipo N, dessa forma mantendo a estrutura do cristal e polarizando a placa. Na Figura 2.6 são representados os modelos atômicos das camadas de valência de semicondutores extrínsecos tipo P (índio) e N (antimônio).

Figura 2.6 – Modelo Atômico Semicondutores Extrínsecos.

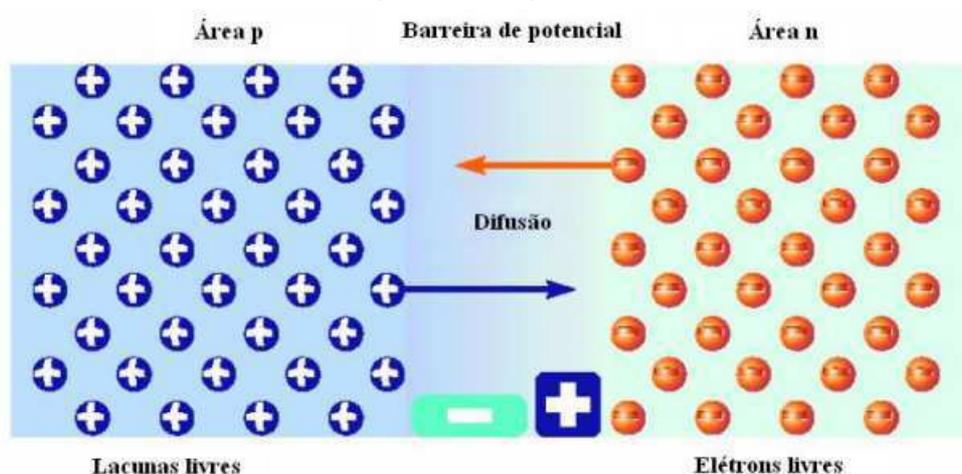


Fonte: <http://fatecelectronica.blogspot.com/2011/08/materiais-semicondutores.html>.

Assim como relatado em Malvino (1997), em posse dos dois cristais dopados, pode-se dar início ao processo de formação da junção PN. Ao unir os dois cristais ocorre um efeito de criação da região de depleção (barreira de depleção - junção PN).

Primeiramente ocorre uma movimentação dos elétrons de N para P (ou de lacunas de P para N), então gradualmente os cristais que antes eram neutros, começam a ficar polarizados, o tipo N ficando positivo (pois está doando elétrons que possuía previamente) e o P negativo. Em um segundo momento, essa difusão de elétrons chega a um nível de acúmulo de íons tão grande, que o campo elétrico gerado pelos íons interrompe a difusão, chegando a um equilíbrio. A região em que se acumularam os íons recebe o nome de região de depleção ou junção PN. Este processo está representado na Figura 2.7.

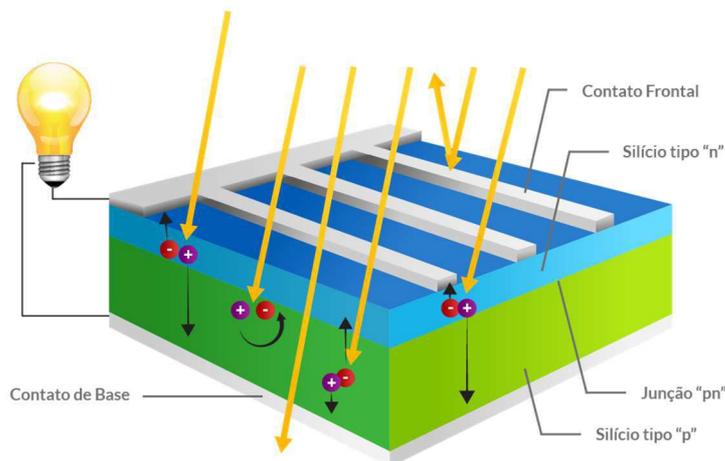
Figura 2.7 – Junção PN.



Fonte: (BARROS, 2011)

Com os cristais unidos e a junção PN equilibrada, acopla-se os contatos metálicos em cada zona da célula (P ou N), agrupa-se com outras células (fazendo conexões em série e em paralelo a depender da tensão/corrente de saída do módulo), encapsula-se e coloca uma camada de vidro temperado para proteção contra chuvas, queda, e demais intempéries que possam vir a danificar as células. Dessa forma o módulo está construído.

Figura 2.8 – Representação de célula fotovoltaica.



Fonte: <https://guianortesolar.com.br/energia-solar/celulas-fotovoltaicas/342784>.

2.4.2 TIPOS DE CÉLULA

Vários tipos de célula são produzidos atualmente, algumas chegando à marca de 46% de eficiência (com 4 junções PN e com concentrador) ou mais concebida pela *Fraunhofer*, porém em termos comerciais, as tecnologias mais difundidas são as que chegam ao Brasil. Nessa lista temos:

- m-Si: Silício monocristalino com 25% de eficiência;
- p-Si: Silício policristalino com 21,3% de eficiência;
- CdTe: Telureto de cádmio com 22,1% de eficiência;
- a-Si: Silício Amorfo com 13,6% de eficiência;
- CGIS: Disseleneto de cobre índio gálio com 22,3% de eficiência⁵.

Tirando as células de silício amorfo, todas as tecnologias já passaram de 20% de eficiência, onde a retardatária está quase sendo superada pelas células orgânicas que apresentaram até 2016 a marca de 11,3% de eficiência. As células de arsenieto de gálio

⁵ NREL National Renewable Energy Laboratory 2016.

(GaAs) também tem marcas excelentes de eficiência, chegando a 29,1%, porém não são muito comercializadas por aqui. Além da eficiência, as células também são avaliadas pela resistência física, maleabilidade, custo, variáveis de interesse no momento de um projeto.

2.4.3 FUNCIONAMENTO DA CÉLULA E DO MÓDULO

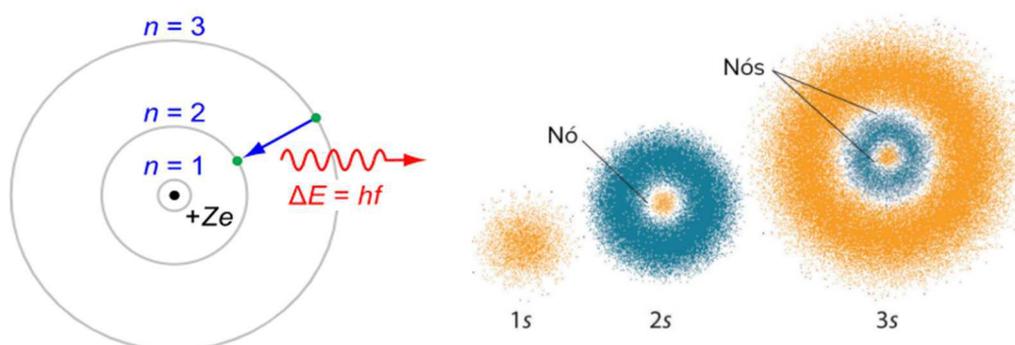
Com a incidência de luz solar no painel, energia é transmitida da luz para os elétrons da célula em forma dos pacotes de energia já mencionados previamente, fótons. Como apresentado foi graças à descoberta da dualidade onda partícula na mecânica quântica, que se constatou que a luz ao incidir nos elétrons se manifestava como partícula, e cada fóton que ela carrega, entrega energia de forma discreta correspondente à:

$$E = h * f \quad (2.1)$$

onde h é a constante de Planck (homenagem ao pai da física quântica, Max Planck) e f é a frequência da onda de luz em hertz⁶.

O elétron excitado pelo fóton se afasta do núcleo do átomo, podendo saltar de um orbital para o outro, denominado de salto quântico (de acordo com o princípio da incerteza de Heisenberg é impossível determinar simultaneamente a energia e o posicionamento de um elétron). O orbital é a região onde provavelmente o elétron permeará, mas não é certa a sua localização. Na Figura 2.9 são apresentados no lado esquerdo o modelo atômico proposto por Bohr e no lado direito o modelo proposto após as considerações de outros físicos como De Broglie, Heisenberg e Schrodinger a partir do modelo de Bohr.

Figura 2.9 – Salto Quântico + Modelo Atômico Atual.



Fonte: <https://pt.khanacademy.org/science/physics/quantum-physics/quantum-numbers-and-orbitals/a/the-quantum-mechanical-model-of-the-atom>.

⁶ Disponível em: <https://pt.khanacademy.org/science/physics/quantum-physics/quantum-numbers-and-orbitals/a/the-quantum-mechanical-model-of-the-atom>. Acesso em: 27/04/2021.

Os elétrons mais afastados do núcleo recebem menor influência de atração eletromagnética, portanto mais próximos da banda de condução, onde podem se locomover como corrente elétrica. Sob ação do campo elétrico formado pela barreira de depleção, os elétrons mais afastados do núcleo que foram excitados pelos fótons, circulam por um circuito elétrico, assim como representado na Figura 2.8.

As células fotovoltaicas podem ter diferentes modelagens elétricas, uma suficiente é apresentada em Hecktheuer (2001) e citada em Coutinho (2016). Por possuir uma junção P-N, o entendimento é de se comportar como um diodo, que possui a mesma junção, além de estar associado com uma fonte elétrica (fonte receptora de fótons e impulsionadora de elétrons). A corrente ideal (I_i) resultante da célula é dada como a soma algébrica da corrente fotogerada (I_L) quando a célula está iluminada e a corrente da célula com a junção no escuro (I_D):

$$I_i = I_L - I_D \quad (2.2)$$

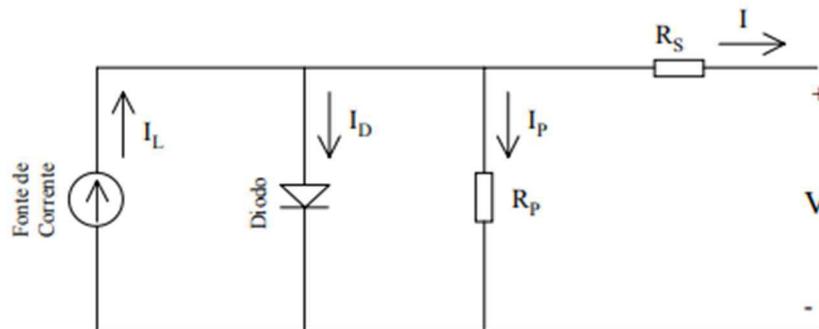
Uma aproximação para determinar I_D é utilizar a seguinte equação:

$$I_D = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{m k T}\right) - 1 \right] \quad (2.3)$$

Onde: I_0 é a corrente de saturação reversa, e é a carga de um elétron, V é a tensão nos terminais da célula, m é o fator de idealidade do diodo, k é a constante de Boltzman e T é a temperatura de junção da célula.

Uma vez fixados os parâmetros do modelo da célula, a corrente de escuro é uma função exponencial da tensão nos terminais. Quando acrescentamos no modelo ideal as perdas Ôhmicas por resistência elétrica (série) e por correntes de fuga (paralelo), o modelo fica como mostrado na Figura 2.10.

Figura 2.10 – Modelo Elétrico de uma Célula Fotovoltaica.



Fonte: (HECKTHEUER, 2001)

Segundo Kirchoff, o somatório de todas as correntes que vão para um nó é zero, portanto:

$$I_D = I_0 \left[\exp \left(\frac{e(V + IR_S)}{mkT} \right) - 1 \right] \quad (2.4)$$

$$I = -I_P - I_D + I_L = -\frac{V}{R_P} - \frac{IR_S}{R_P} + I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{e(V + IR_S)}{mkT} \right) - 1 \right] \quad (2.5)$$

$$I = \frac{\left[-\frac{V}{R_P} + I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{e(V + IR_S)}{mkT} \right) - 1 \right] \right]}{1 + \frac{R_S}{R_P}} \quad (2.6)$$

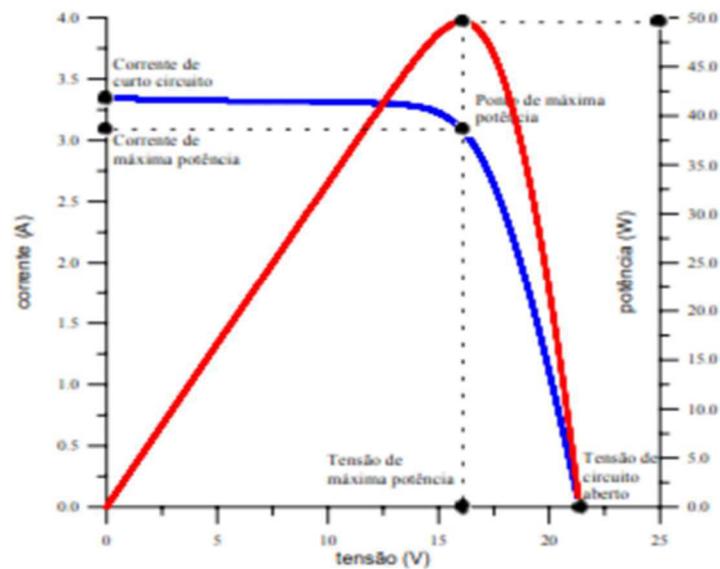
Considerando que esta seja uma célula fabricada e mantida com alta qualidade, os valores de R_P são altos (célula bem encapsulada) e de R_S são baixos (baixas perdas resistivas), o valor da tensão de terminal permanece sendo inversamente proporcional ao da corrente de saída, porém com característica exponencial.

Para modelar os módulos a partir das células, deve-se multiplicar o número de células associadas em série N_S pelo fator mkT/e , obtendo-se então:

$$I = \frac{\left[-\frac{V}{R_P} + I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{e(V + IR_S)}{mkTN_S} \right) - 1 \right] \right]}{\left(1 + \frac{R_S}{R_P} \right)} \quad (2.7)$$

A Figura 2.11 se refere à curva (azul) de funcionamento $I \times V$ de um módulo específico e a curva (vermelha) de potência para o par (I, V) :

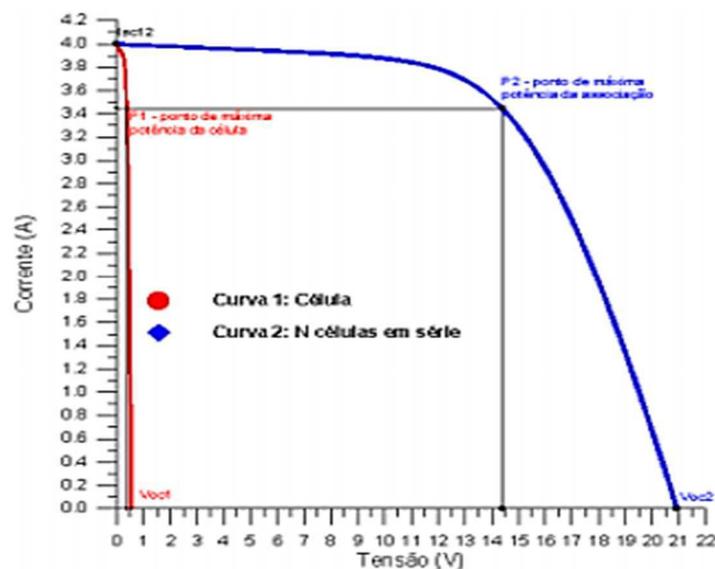
Figura 2.11 – Gráfico I x V x P módulo fotovoltaico.



Fonte: (HECKTHEUER, 2001)

É perceptível que, no gráfico azul após um certo nível de tensão, ocorre um decaimento muito acelerado devido à influência exponencial da corrente de escuro. Ao aumentarmos o número de células em série, a tensão sobre cada uma diminui, refletindo no momento que ocorre o decaimento (joelho), esticando também a tensão de máxima potência (efeito da Figura 2.12).

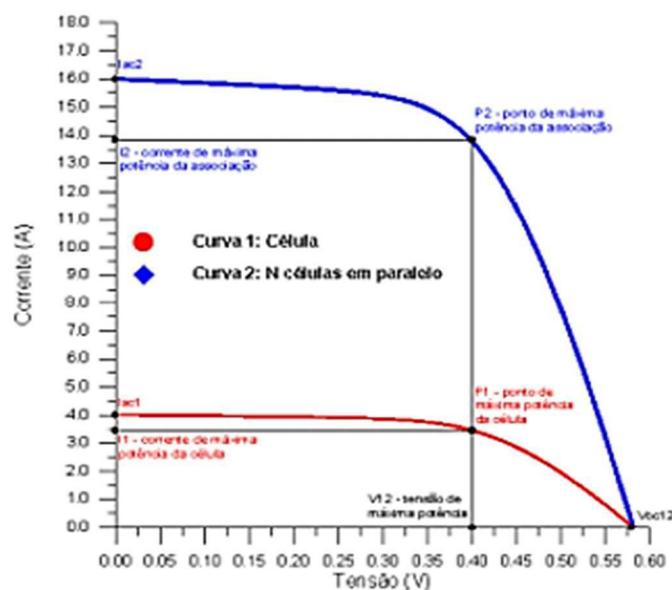
Figura 2.12 – Gráfico I x V: 1 célula (vermelho), N células em série (azul).



Fonte: (HECKTHEUER, 2001)

A associação em paralelo constitui efeito de somar as correntes das células, não alterando a tensão sobre, sendo representado na Figura 2.13.

Figura 2.13 – Gráfico I x V: 1 célula (vermelho), N células em paralelo (azul).



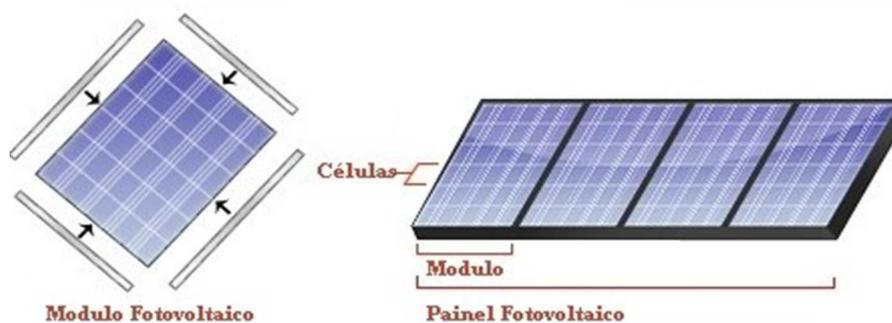
Fonte: (HECKTHEUER, 2001)

Ainda na curva I x V podemos identificar a corrente de curto circuito ($V=0$) e a tensão de circuito aberto ($I=0$) dos módulos. No gráfico vermelho, de potência, encontra-se o melhor ponto de operação, em que a corrente e tensão tem seu produto maximizado.

2.5 PAINEL FOTOVOLTAICO

O conjunto de módulos ligados em série ou paralelo é chamado de painel. É representado na Figura 2.14 esse conjunto:

Figura 2.14 – Ilustração de células, módulos e painéis.



Fonte: <https://www.electronica-pt.com/painel-solar-fotovoltaico>.

A eficiência dos painéis fotovoltaicos depende da eficiência de cada célula, portanto do tipo de tecnologia utilizada nela, da irradiação/irradiância solar (irradiação é a integral da irradiância no tempo, sendo irradiação a energia pela área do módulo ao

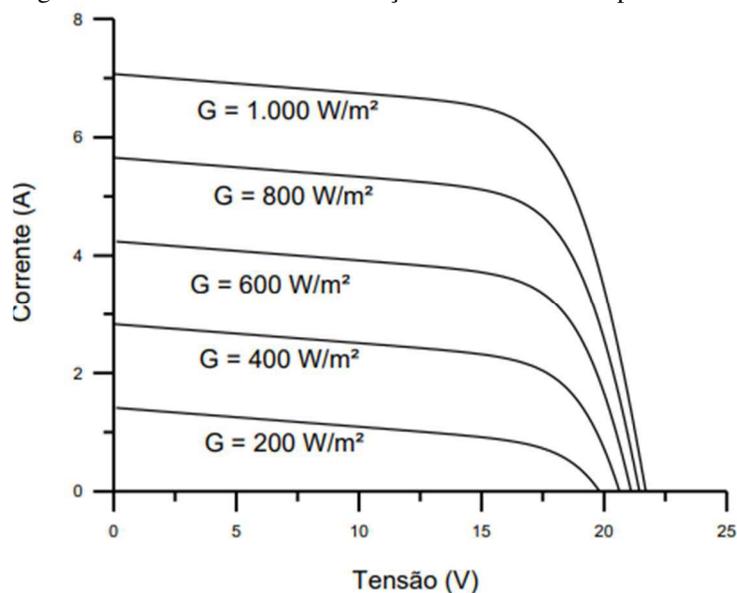
invés de ser a potência pela área), da temperatura (para painéis bem dimensionados, quanto mais frio, maior é a máxima potência) e da sujeira do painel (uma vez que o vidro protetor precisa estar limpo para que a luz do sol atinja as células). De acordo com o manual de engenharia desenvolvido pela CEPEL⁷ a fórmula para encontrar a eficiência de um painel é dada por:

$$\eta(\%) = \frac{P_{MP}}{GA_M} \quad (2.8)$$

Onde P_{MP} é a potência máxima, G é a irradiância em W/m^2 e A_M é a área do módulo.

Em condições padrões, a irradiância vale $1000W/m^2$, e quando multiplicada pela área do módulo, temos um valor referência para nos guiar o que seria ideal para um módulo gerar, sendo então os 100% predeterminados para o rendimento. A potência máxima é encontrada como mencionado na seção anterior, referente aos módulos. Na Figura 2.15 são apresentadas as curvas I x V referente a irradiâncias menores do que a padrão.

Figura 2.15 – Gráficos I x V de frações das irradiâncias padrão.



Fonte: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf.

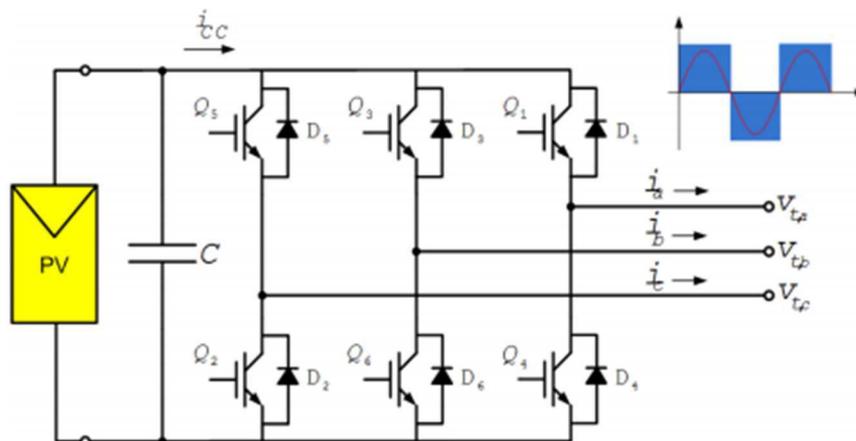
⁷ Disponível

em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 27/04/2021.

2.6 INVERSORES

Uma vez que a corrente emitida pelo painel fotovoltaico é contínua e a rede elétrica brasileira opera alternadamente, é necessário um equipamento capaz de transformar CC em CA, essa é a função de um inversor no sistema de geração fotovoltaica. Na figura 2.16 é apresentado o diagrama elétrico de um inversor de tensão trifásico.

Figura 2.16 – Inversor de tensão trifásico acoplado a módulo solar.

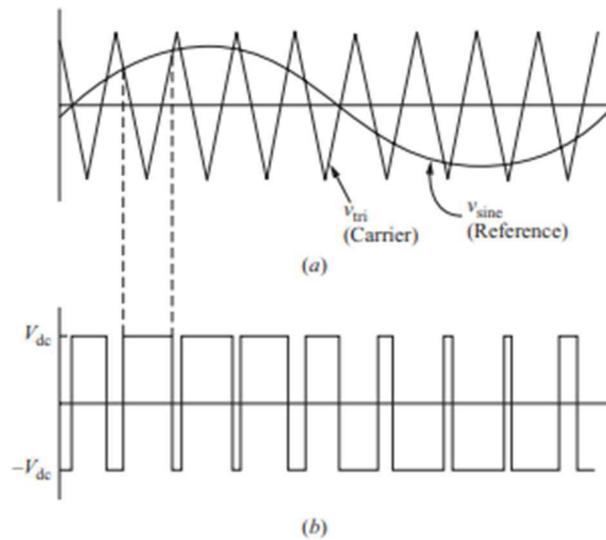


Fonte: <http://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/493.pdf>.

Em acordo com Hart (2011), primeiramente temos o módulo de filtragem de baixas frequências representado pelo capacitor, responsável por atenuar variações bruscas de tensão e corrente momentâneas que ocorram no módulo (representado pela sigla PV). Após isso temos as etapas de chaveamento pelos componentes IGBT, onde cada fase tem um braço com 2 IGBTs, que em atuação coordenada e complementar (quando um está acionado, o outro está desativado) são responsáveis pela modulação por largura de pulso (PWM).

Essa modulação tem como premissa comparar uma onda triangular (portadora) com uma onda senoidal (referência), dessa forma quando uma estiver maior que a outra, o par está numa configuração (ex: Q1-on Q4-off) e quando estiver menor o par inverte (ex: Q1-off Q4-on), como representado na Figura 2.17.

Figura 2.17 – Estratégia PWM em braço de Inversor de frequência.



Fonte: (HART, 2011)

A tensão apresentada na saída do inversor em um ciclo *on-off*, é a média entre o tempo que está desligado e o tempo que está ligado. Portanto, quanto maior for o período ligado do pulso em comparação com o desligado, maior será a média de tensão da saída, e quanto mais frequente for o ciclo *on-off*, mais próxima de uma senóide será a saída do inversor. A frequência do ciclo é determinada pela frequência da portadora e o limite de ciclos é dado pela capacidade de chaveamento dos IGBTs.

Outro aspecto importante do inversor para o uso em sistemas solares é a função MPPT - *Maximum Power Point Tracking*. Ela é responsável por tentar alcançar correntes e tensão que resultem na máxima potência encontrada no joelho dos gráficos $I \times V \times P$.

2.7 RESOLUÇÕES E NORMAS REGULAMENTADORAS

A medida que os sistemas de energia solar fotovoltaicos passaram a ter seu uso mais disseminado foi observada a necessidade de aplicação de normas técnicas regulamentadoras. De acordo com Lopes (2020) a elaboração dessas normas tem sua finalidade atribuída a intenção de garantir a qualidade das instalações e conexões à rede elétrica de distribuição, assim como fornecer a segurança dos funcionários e adequado fornecimento de energia elétrica aos consumidores.

Em virtude das normas e regulamentações servirem como guia fundamental na execução do dimensionamento dos projetos de sistemas fotovoltaicos vale salientar algumas normativas instituídas pela ANEEL, uma vez que atendem ao âmbito nacional,

logo, o conhecimento acerca desse tópico é amplamente interligado as atividades que foram desenvolvidas.

A conexão de sistemas de geração distribuída é regida no Brasil por meio de normatizações recentes com início em abril de 2012 através da Resolução Normativa 482/2012 (REN 482/2012), da ANEEL, que permite definir o que viria a ser a mini e a microgeração distribuída, bem como a permissão para que qualquer consumidor possa gerar sua própria energia renovável conectada à rede de distribuição, com o acúmulo de créditos energéticos, ou *net metering*, que é utilizado hoje, autorizando inclusive, os critérios necessários para a conexão à rede de sistemas de energia solar.

Essa Resolução foi resultado de um processo de Consulta Pública que estabelece as condições gerais para o acesso de micro e mini geração distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica serão válidos.

Visando promover melhorias na norma instituída em 2015 a ANEEL realizou a Audiência Pública que resultou na publicação da Resolução Normativa – REN° 687/2015 com a finalidade de mitigar os custos e o tempo para a conexão da micro e mini geração, programar o sistema de compensação de energia elétrica de acordo com as condições gerais de fornecimento, estender o público alvo e melhorar as informações na fatura de energia elétrica.

A ANEEL determinou que centrais geradoras de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75 kW seriam consideradas como microgeração de energia fotovoltaica, enquanto geradores com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes híbrida ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada seriam considerados como minigeração. Também foram criados formulários padrões para a realização da solicitação de acesso pelo consumidor e o prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 75 kW que é de 34 dias. Entre algumas modificações ainda se destaca o aumento da validade dos créditos, que passaram de 36 meses para 60 meses, ou seja, caso a energia injetada na rede seja superior à consumida, cria-se um crédito de energia que pode ser utilizado para abater o consumo da unidade consumidora nos meses subsequentes ou em outras unidades de mesma titularidade.

Em outubro de 2017 foi publicada a Resolução Normativa nº 786/2017, por meio do qual a Agência Nacional de Energia Elétrica alterou a Resolução Normativa nº 482/2012 estabelecendo que, de maneira resumida, a micro ou mini geração distribuída permita que unidades consumidoras tenham pequenas centrais geradoras para a produção

de energia elétrica, a qual é injetada nas redes das distribuidoras e posteriormente compensada com o consumo da própria unidade consumidora ou de outra unidade de sua titularidade, fazendo com que a unidade consumidora pague menos (ou até mesmo nada) pelo consumo de energia elétrica.

Vale salientar que para fim de projeto e solicitação de conexão de sistemas de geração distribuída a rede de distribuição, é fundamental seguir as orientações normativas da concessionária de energia da região de conexão do sistema.

A concessionária que atua em vários estados brasileiros e tem concessão sobre o sistema de distribuição da Paraíba é a Energisa, que normatiza o acesso a sua rede de distribuição por meio das Normas de Distribuição Unificadas 013 e 015 (NDU 013 e NDU 015). Estas normas definem os critérios mínimos que devem ser observados para a ligação de sistemas de geração distribuída em baixa tensão, NDU 013, e em média tensão, NDU 015. Trazendo os modelos de documentos (relacionamento operacional, solicitação de acesso), os prazos dos trâmites, características de proteção, enfim, todos os critérios que o acessante deve obedecer para ter sua planta de geração distribuída conectada à rede.

3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Nos tópicos seguintes serão descritas as atividades desenvolvidas pelo estagiário no âmbito da construção de uma usina de microgeração projetada para suprir parcialmente a demanda de energia de um engenho de cachaça situado na região de Areia-PB.

3.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

O dimensionamento é o princípio de todo projeto de geração de energia solar fotovoltaica, a partir dele é que se tem uma noção do tamanho do investimento necessário para reduzir parcialmente ou totalmente o consumo de energia elétrica de um determinado cliente.

O primeiro passo para um bom dimensionamento é uma análise detalhada da conta de energia do cliente, na qual deve constar um histórico de consumo do mês atual mais os 12 meses anteriores. Essa análise é realizada ainda na fase de negociação, e infelizmente não foi possível o acompanhamento direto do estagiário a essa fase. Todavia todas as informações relevantes foram repassadas de forma sucinta e explicativa pelo engenheiro responsável.

O cálculo para o dimensionamento adequado de um sistema de geração fotovoltaica começa com a obtenção do consumo médio do cliente, tal valor é obtido com a soma do consumo de todos os meses dividido pelo número de meses somados, conforme Equação 1.

$$\text{Consumo Médio} = \frac{\sum \text{Consumo de cada mês}}{\text{Número de meses somados}} \quad (3.1)$$

Como o engenho possui atividade sazonal diretamente relacionada ao período de safra da cana de açúcar, principal matéria prima da indústria, a variação de consumo é de 5000kWh/mês nas épocas de entressafra até 15000kWh/mês nas épocas de safra. Fazendo a avaliação para o período de um ano, doze meses, obteve-se um consumo médio aproximado de 9000kWh/mês.

Com essa informação em mãos foi possível calcular o consumo diário de energia. É sabido que um ano possui 365 dias e 12 meses, logo a média de dias por mês é $365/12 = 30,4 \text{ dias/mês}$.

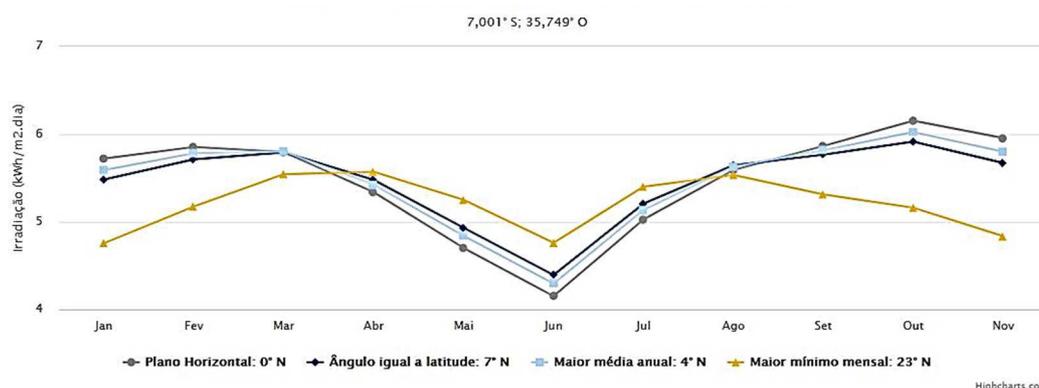
Dividindo a média de consumo mensal pela média de dias por mês, obtemos $9000/30,4 \cong 296,05 \text{ kWh/dia}$. O próximo passo é consultar a média de irradiação solar no local da instalação, tal consulta pode ser feita pelo site de CRESESB – (<http://www.cresesb.cepel.br/>) através do caminho Potencial Energético => Potencial Solar e inserindo a latitude e longitude exatos do ponto em questão, para obter as coordenadas (Latitude e Longitude) da localidade basta consultar o *Google Maps*, ou algum outro sistema de geolocalização. O potencial energético solar para a localidade é de aproximadamente $5,37 \text{ kWh/m}^2 \text{ dia}$ como destacado em amarelo na Figura 3.1. Devemos considerar o valor padrão de irradiação utilizado nos testes dos painéis, que é de 1000 W/m^2 para obter o tempo em horas de exposição solar na localidade, sendo assim $5,37 \text{ kWh/m}^2 \text{ dia} / 1 \text{ kW/m}^2 = 5,37 \frac{\text{h}}{\text{dia}}$.

Tabela 3.1 – Consulta do potencial energético no site da CRESESB.

Estação: Areia Município: Areia , PB - BRASIL Latitude: 7,001° S Longitude: 35,749° O Distância do ponto de ref.(6,975933° S; 35,693335° O):6,8 km															
Angulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	5,72	5,85	5,80	5,34	4,70	4,15	4,30	5,03	5,59	5,87	6,15	5,96	5,37	2,00
Ângulo igual a latitude	7° N	5,48	5,71	5,79	5,48	4,93	4,39	4,53	5,21	5,64	5,77	5,91	5,67	5,38	1,52
Maior média anual	4° N	5,59	5,78	5,80	5,43	4,84	4,30	4,43	5,14	5,14	5,63	5,82	6,02	5,80	1,73
Maior mínimo mensal	23° N	4,75	5,17	5,54	5,57	5,25	4,76	4,86	5,40	5,53	5,31	5,16	4,84	5,18	0,82

Fonte: (CRESESB, 2021)

Figura 3.1 – Curvas de irradiação solar no plano inclinado.



Fonte: (CRESESB, 2021)

Em sequência é conveniente realizar um estudo de perdas do sistema para não obter uma geração a quem da esperada após a conclusão da instalação, tal estudo não foi realizado nesse caso, porém pela experiência do engenheiro projetista foi considerada uma perda total de 25% valor considerado prudente para um bom dimensionamento. Sendo assim calcula-se a potência do sistema por meio do seguinte cálculo:

$$Potencia\ do\ sistema = \frac{\frac{Consumo\ diário}{Tempo\ de\ exposição\ solar}}{1-Perdas}. \quad (3.2)$$

Por fim, para conseguir gerar energia suficiente para suprir todo a demanda do cliente o sistema deve ter:

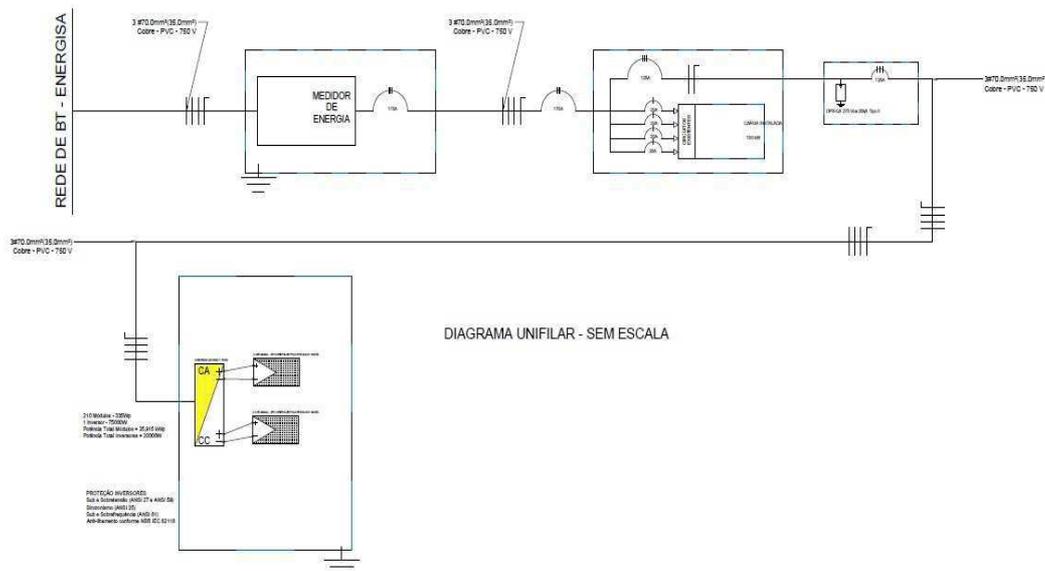
$$\frac{\frac{296,05}{5,37}}{0,75} = 73,50kW. \quad (3.3)$$

Com base nessa potência calculada foram expostas algumas opções de sistemas ao cliente para aquisição e o mesmo optou por um conjunto de 210 módulos de 335Wp cada, totalizando 70,35kWp, mais um inversor *String* de 75kW trifásico, tendo ciência que o conjunto supriria parcialmente seu consumo de energia, mas sendo possível realizar uma expansão posterior no sistema, já que o inversor irá trabalhar com folga de potência.

3.2 ANÁLISE DE PROJETOS FOTOVOLTAICOS

Como atividade inicial foi proposta a análise do projeto de implantação da usina de geração solar fotovoltaica. Na Figura 3.2 consta o diagrama unifilar que demonstra o esquema elétrico do projeto de instalação de 210 módulos fotovoltaicos de 335Wp em conjunto com um inversor tipo *string* de 75kW, como descrito no tópico anterior. No esquema elétrico é possível observar o sistema desde os painéis de geração até seu ponto de conexão à rede de distribuição da concessionária de energia.

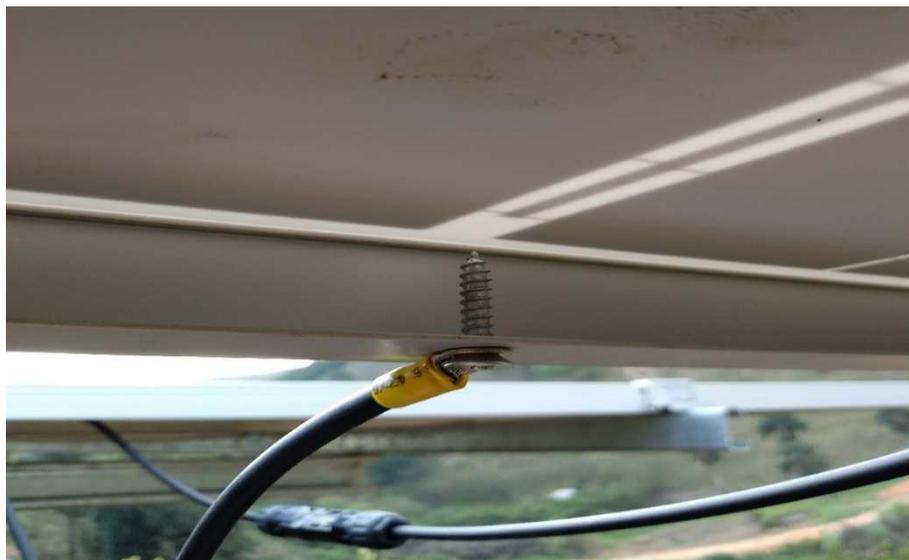
Figura 3.2 – Diagrama Unifilar.



No campo mais inferior da figura é possível observar a representação do conjunto, bem como a descrição dos arranjos de painéis e suas conexões com o inversor, observa-se que foram utilizados 8 conjuntos de conexão com 24 painéis ligados em série mais 1 conjunto com 18 painéis ligados também em série. É possível constatar que não foi utilizado nenhum sistema de proteção adicional entre os painéis e o inversor como de costume, isso se deve ao fato de que o inversor adotado para a instalação já dispõe de chaves seccionadores e dispositivos de proteção contra surto CC integradas em suas entradas de corrente contínua dispensando a utilização das convencionais “string box”.

Ainda na parte inferior é possível observar que foi criada uma malha de aterramento, representada pelo retângulo que envolve os painéis e o inversor, exclusiva para o sistema, a qual é composta por 18 hastes de cobre com 2,4m de comprimento cada, as hastes foram fincadas de forma mais equidistante possível em volta dos painéis e foram conectadas entre si por meio de um cabo de cobre nu de 16mm², a malha de aterramento disposta dessa maneira facilita a interconexão dos pontos de aterramento dos painéis bem como dos suportes, que devem ser aterrados seguindo as normas e para garantir a integridade do sistema perante surtos atmosféricos. A Figura 3.3 ilustra a conexão do aterramento na estrutura de alumínio dos painéis.

Figura 3.3 – Ponte de conexão da estrutura do painel ao aterramento.



Fonte: Próprio autor.

Seguindo o diagrama, é possível visualizar sua conexão com um quadro de proteção e manobra por meio de cabos flexíveis de cobre $4\#50\text{mm}^2$, no quadro constam um disjuntor tripolar de 125A bem como um conjunto de DPS 275Vca 20kA Tipo II como ilustra a Figura 3.4, tais dispositivos foram dimensionados para atender a capacidade de condução de corrente dos condutores e proteção deles e dos demais equipamentos segundo as normas vigentes.

Figura 3.4 – Quadro de manobra e proteção CA conectado a saída do inversor.



Fonte: Próprio autor.

Posterior ao quadro de proteção o diagrama exibe o ponto de conexão do sistema de geração ao circuito preexistente no local, esse ponto de conexão ficou alocado em um

outro quadro de manobra e proteção que havia no engenho, a conexão foi feita por meio de um cabo multiplex 3#70mm² (35mm²) e mais um disjuntor tripolar também de 125A. Por fim o diagrama exibe o quadro de medição que contém um medidor com capacidade de até 200A e um disjuntor caixa moldada de 175A.

Posteriormente para ampliação do entendimento acerca da metodologia utilizada frente a documentação exigida foram fornecidos alguns outros projetos de mesmo objetivo já aprovados e findados onde constavam os padrões seguidos pela empresa visando atender as normas da concessionária local.

3.3 SUPERVISÃO DA INSTALAÇÃO DE USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

A principal atividade proposta pela empresa foi o acompanhamento e supervisão da instalação de uma usina 70,35kWp com capacidade de inversão de 75kW localizada na Fazenda Engenho Triunfo zona rural de Areia-PB. Também foi realizado o acompanhamento da instalação dos módulos fotovoltaicos em um hotel localizado na mesma região pertencente ao mesmo cliente onde desenvolveu-se as atividades de recebimento e descarga de material, assim como a supervisão da execução da obra.

3.3.1 RECEBIMENTO E DESCARGA DE MATERIAL

Uma das primeiras atividades desenvolvidas foi a supervisão da descarga e acondicionamento dos equipamentos e materiais do sistema. A descarga do material ocorreu de forma manual e simultânea a verificação do estado de integridade dos equipamentos adquiridos. Durante o processo foi constatada uma avaria em um dos painéis (Figura 3.5) que compunham a carga sendo necessário uma comunicação com a empresa de transporte responsável para que fosse realizada a reposição do mesmo.

Figura 3.5 – Painel com avaria.



Fonte: Próprio autor.

Após descarga foi realizado o armazenamento dos módulos até que fosse executada a instalação (Figura 3.6).

Figura 3.6 – Módulos fotovoltaicos armazenados.



Fonte: Próprio autor.

3.3.2 EXECUÇÃO DA OBRA

O terreno destinado a instalação localizava-se em um engenho na cidade de Areia-PB, é possível observar na Figura 3.7 a demarcação da área na qual foi realizada a execução da obra para exceção do projeto.

Figura 3.7 – Demarcação do terreno para instalação dos módulos fotovoltaicos.



Fonte: Próprio autor.

A obra teve início com a demarcação da área destinada a instalação dos módulos fotovoltaicos e em sequência das valas para ancoragem das bases do suporte. De acordo com as recomendações do fabricante dos suportes as valas deveriam possuir aproximadamente 20x20x100cm onde deveria ser concretada uma treliça metálica juntamente com as bases.

Com as posições das bases demarcadas, foram iniciadas as escavações (Figuras 3.8 e 3.9) em solo duro e pedregoso, impossibilitando a utilização de uma moto perfuratriz de pequeno porte sendo necessário o uso de ferramentas manuais, o que interferiu no prazo estimado no planejamento da obra.

Figura 3.8 – Escavações para ancoragem dos suportes.



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.9 – Treliça para ancoragem dos suportes.



Fonte: Próprio autor.

Após perfuração do solo foi realizada a ancoragem dos suportes, seguido da montagem e alinhamento dos mesmos, conforme Figuras 3.10 e 3.11, respectivamente. Na etapa de alinhamento, também se definiu a inclinação dos painéis com relação a incidência solar, no caso a inclinação desejada é a de maior média anual, que é 4° Norte segundo o *database* da CRESESB, porém devido à grande inclinação do terreno e para garantir uma autolimpeza eficiente dos painéis, foi ajustada uma inclinação de 20° Norte nos suportes.

Figura 3.10 – Ancoragem dos suportes.



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.11 – Alinhamento dos suportes.



Fonte: Próprio autor.

Prosseguindo com a execução, iniciou-se a fixação dos painéis aos suportes, a mesma foi feita utilizando presilhas em alumínio próprias para este fim e parafusos autobrocantes, a Figura 3.12 ilustra o procedimento.

Figura 3.12 – Fixação dos painéis aos suportes.



Fonte: Próprio autor.

O modelo dos painéis utilizados é 335PHK- 36 – SERIES – 5BB Policristalino com 144 células, fabricada pela BYD, com potência de 335 Wp e eficiência de 18,8% (*Datasheet* em Anexo B), na Figura 3.13 podemos verificar o primeiro suporte com os quatro primeiros painéis já fixados.

Figura 3.13 – Conjunto de 4 painéis fixados ao suporte.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 3.14 consta uma foto aérea dos 210 painéis já fixados aos suportes.

Figura 3.14 – Foto aérea dos painéis já instalados.



Fonte: Próprio autor.

O passo seguinte da execução da obra foi a construção de um pequeno abrigo para o inversor, o mesmo foi construído em alvenaria, e coberto com telhas de fibrocimento, o processo de construção pode ser visto na Figura 3.15.

Figura 3.15 – Construção do abrigo para o inversor.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 3.16 é possível ver o abrigo finalizado, bem como o inversor e o quadro de manobra e proteção já fixados. O inversor modelo MAX75KTL3-LV com potência de 75 Kw, fabricada pela Growatt, é um modelo bastante robusto que pesa 86kg, sua fixação foi feita por meio de chumbadores *parabolt* (ilustrado na Figura 3.17), fornecidos juntamente com o equipamento.

Figura 3.16 – Inversor e quadro fixados.



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.17 – Chumbadores *parabolt* para fixação do inversor.



Fonte: Próprio autor.

Após a fixação do inversor foi realizado a fixação das hastes da malha de aterramento e a passagem dos cabos CC para conexão das *strings* ao inversor, bem como a crimpagem dos conectores MC4, na Figura 3.18 visualiza-se o inversor já com os cabos CC das *strings* conectados.

Figura 3.18 – Conexão dos cabos CC no inversor.



Fonte: Próprio autor.

Após esse processo a obra foi concluída com êxito, restando apenas a realização da vistoria, para finalmente realizar a conexão dos sistemas. Nas Figuras 3.19 e 3.20 constam imagens aéreas de todo o sistema de geração montado.

Figura 3.19 – Foto aérea do sistema montado.



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.20 – Foto aérea panorâmica do sistema montado.



Fonte: Próprio autor.

No Hotel Triunfo a instalação dos módulos foi realizada aproveitando uma estrutura já existente condizente a cobertura do salão de festa. Os suportes para instalação dos módulos foram fixados diretamente nas telhas metálicas utilizando parafusos

autobrocantes o que tornou a implantação simples e ágil quando comparada a instalação em solo realizada no engenho. Para essa instalação foram utilizados cento e setenta módulos de 410Wp e um inversor de 75kW. Na Figura 3.21 é possível observar os painéis fixados.

Figura 3.21 – Módulos fotovoltaicos instalados sobre telhado.



Fonte: Próprio autor.

3.4 PARAMETRIZAÇÃO DE INVERSORES SOLARES

A empresa trabalhada com inversores de diversas marcas, como Fronius, APSystem, Sumgorw e Growatt. Sendo este o utilizado nas instalações supracitadas, segue ilustração do mesmo na Figura 3.22, com *Datasheet* no Anexo A.

Esse modelo de inversor apresenta construção robusta e minimalista, conta com 7 canais de entrada MPPT independentes, característica que possibilita a ligação de *strings* de diferentes quantidades de painéis, sem nenhum prejuízo ao sistema, também possui diagnóstico inteligente, eficiência de até 99%, conexão *wifi* local, monitoramento de *strings* e DPS Tipo II tanto em CA quanto em CC.

Figura 3.22 – Modelo inversor Growatt.



Fonte: (GROWATT, 2021)

Salienta-se que o modelo em questão não dispõe de visor ou botões para sua configuração, logo, esta deve ser feita pelo servidor do fabricante⁸ ou aplicativo de celular *Shinephone APP*.

A parametrização foi realizada com auxílio do engenheiro responsável atendendo a norma NDU 013 da concessionária local do grupo Energisa.

Conforme os parâmetros da Tabela 3.1 a seguir.

Tabela 3.2 – Parâmetros de proteção do inversor.

Requisitos de Proteção	Potência Instalada Até 100kW	Tempo Máximo de Atuação (s)
Proteção de Subtensão (27)	0,8 pu	0,2
Proteção de Sobretensão (59)	1,1 pu	0,2
Proteção de Subfrequência (81U)	59,5 Hz	0,2
Proteção de Sobre frequência (81O)	60,5 Hz	0,2
Tensão nominal de operação	1 pu	-
Tensão mínima no ponto de conexão	0,8pu	0,2
Tensão máxima no ponto de conexão	1,1pu	0,2
Teste de Ilhamento, desligar (78)	-	2
Teste de Ilhamento, religar (62)	-	180

Fonte: (NDU 013, ENERGISA).

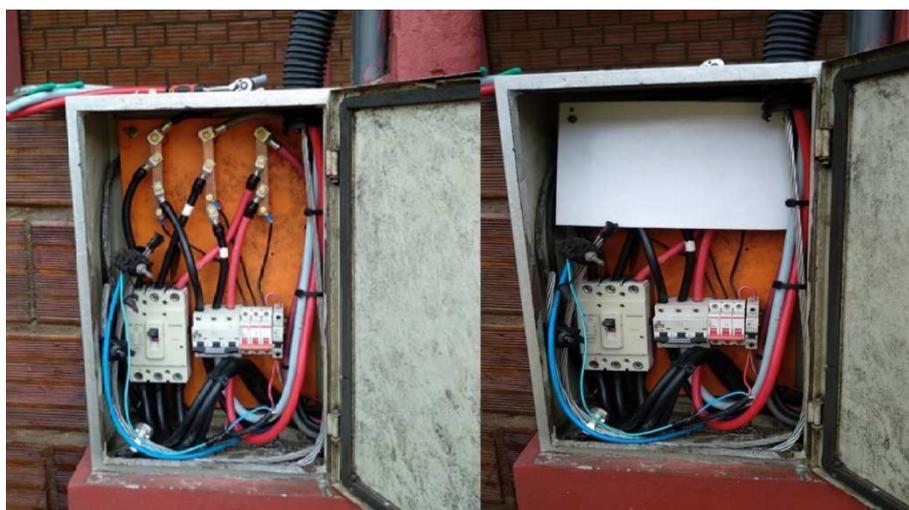
⁸ Disponível em: <<https://server.growatt.com/login>>. Acesso em: 03/04/2021

3.5 ANÁLISE E ADEQUAÇÃO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Antes da implantação de um sistema de energia solar, faz-se necessária a análise e adequação das instalações elétricas do acessante, onde verifica-se as conformidades com as normas vigentes NBR 5410, NDU 001 e NDU 003 da concessionária local de energia, havendo adequações quando necessário.

Ressalta-se que o cliente em questão já havia atualizado o padrão de entrada previamente não havendo a necessidade de intervir, porém reformou-se um quadro já existente para receber a conexão do novo sistema, conforme ilustrado na Figura 3.23, essa tarefa foi realizada em conjunto com o eletricitista responsável do engenho, com o qual obteve-se uma convivência amigável e um excelente trabalho em equipe.

Figura 3.23 – Quadro reformado para nova conexão.



Fonte: Próprio autor.

3.6 VISTORIA DE PROJETOS DE MICROGERAÇÃO

Após conclusão da obra foi realizada a solicitação para que houvesse a vistoria do projeto fotovoltaico pela concessionária de energia. Na vistoria, analisou-se a microgeração distribuída de acordo com a resolução normativa 786/2017 da ANEEL, com a NDU 013, NDU 001 bem como a conformidade entre as instalações executadas e o projeto apresentado.

Na figura 3.24 consta os itens que foram verificados pelo responsável técnico da vistoria, na referida situação não foi autorizada a captura do documento após as devidas checagens e o preenchimento do formulário, contudo o projeto foi aprovado com êxito.

Figura 3.24 – Ficha de vistoria de geração distribuída.

Energisa		FICHA DE VISTORIA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EDIFICAÇÃO INDIVIDUAL OU AGRUPADA - GRUPO B		PVGD
CDC: 1879756	Endereço: 215 - MACAIBA			
PE: 03475/20	Bairro: ZONA RURAL	Cidade / Estado: ARAPIÁ		
ITENS PARA VERIFICAÇÃO				
1. Parâmetros do Inversor, conforme NDU 013:			Verificado:	
1.1. Tensão Mínima no Ponto de Conexão = 176 V (0,8 pu) Desligar com tempo de 0,2 s	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
1.2. Tensão Máxima no Ponto de Conexão = 242 V (1,1 pu) Desligar com tempo de 0,2 s	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
1.3. Subfrequência = 57,5 Hz Desligar em até 0,2 s	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
1.4. Sobrefrequência = 62 Hz Desligar em até 0,2 s	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
1.5. Tensão Nominal de Operação = 220 V (1 pu)	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
1.6. Frequência Nominal de Operação = 60 Hz	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
1.7. Teste de Ilhamento, Religar após 3 min (180 s)	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
1.8. Teste de Ilhamento, Desligar em até 2 s	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
2. Verificação Geral das Instalações e Conexões:				
2.1. Padrão de Entrada, conforme NDU 01 e NDU 003	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
2.2. Conformidade com o Projeto	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
VISTORIA APROVADA ()		VISTORIA REPROVADA ()		
Observações:				
Caro cliente, No caso de APROVAÇÃO , o cliente / representante declara está ciente que qualquer alteração nos itens verificados acima deverá ser informada a Energisa, por escrito. Já em caso de REPROVAÇÃO , após as correções, favor solicitar nova vistoria através dos canais de atendimento.				
Funcionários da Energisa responsáveis pela vistoria:				
Vist. (1): ADRIANO PAULO	Mat.: 9835	Assinatura: 	Data: 01/12/2020	
Vist. (2):	Mat.:	Assinatura:		
Vistoria acompanhada pelo: <input type="checkbox"/> cliente <input type="checkbox"/> representante legal do cliente.				
Nome:	Assinatura:	Data: 01/12/2020		
CPF / CNPJ:	Telefone:	E-mail:		

Fonte: Próprio autor

Com a vistoria aprovada, foi realizada a substituição do medidor de energia existente por um bidirecional, de modo que assim seja registrado o fluxo de energia consumida da rede e fluxo de energia injetado na rede da unidade consumidora. Desta maneira, concluiu-se todo o processo de instalação da usina solar fotovoltaica com êxito.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho descreveu sucintamente um embasamento teórico, bem como as atividades desenvolvidas e as experiências vivenciadas durante a realização do estágio, as quais foram de fundamental importância para enriquecer o conhecimento e contribuir na construção da autoconfiança em exercer o papel de engenheiro no âmbito profissional e das relações interpessoais com os colegas de trabalho por meio de diálogos, enfatizando uma relação amigável e em equipe discutindo sempre quais seriam as melhores ações a serem tomadas.

Em virtude, a realização do mesmo torna-se indispensável uma vez que permite ao discente uma visão prática do aprendizado obtido em aulas de diversas disciplinas em conjunto as quais se alinham com a atividade realizada, como Sistemas Elétricos, Instalações Elétricas e Eletrônica de Potência, além da convivência e trabalho em equipe com os demais profissionais envolvidos.

Logo, desenvolver uma função em conjunto com a empresa permitiu ao aluno uma aplicação do estudo no processo de ensino-aprendizagem, tendo em vista a apropriação das experiências acadêmicas e profissionais desenvolvidas concluindo com êxito o objetivo deste trabalho.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. Dados infográfico. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 10/04/2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Geração Distribuída. Disponível em < http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp >. Acesso em: 10/04/2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa N° 482 (REN 482/2012). Brasília, DF, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa N° 687 (REN 687/2015). Brasília, DF, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa N° 786 (REN 786/2017). Brasília, DF, 2017.

BARROS, H. A. (2011). **Anteprojeto de um sistema fotovoltaico de 12 KWP conectado à rede.** (Trabalho de conclusão de curso) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

COUTINHO, C. R. (2016) **O Efeito do Sombreamento e Diodos de Bypass em Módulos Fotovoltaicos.** (Dissertação de mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.

CUNHA, A. M. (2019). **Análise da viabilidade de geração de um sistema fotovoltaico: estudo de caso residencial.** (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

ENERGISA. NDU 001. **Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária.** João Pessoa, PB, 2019.

ENERGISA. NDU 013. **Critérios Para a Conexão de Acessantes de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição Para Conexão em Baixa Tensão.** João Pessoa, PB, 2019.

HART, D. W. **Power electronics.** Tata McGraw-Hill Education, 2011.

HECKTHEUER, L. A. (2001). **Análise de Associações de Módulos Fotovoltaicos.** (Tese de doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LOPES, P. J. A. (2020). **Energia fotovoltaica: estudo de caso de uma fábrica.** (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

MACHADO, C. T., & MIRANDA, F. S. (2015). **Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão.** Revista virtual de química, v.7, n.1, p.126-143.

MALVINO, A. P. **Eletrônica**. São Paulo: Makron Books. v. 1, n.1, 1997.

VALLÊRA, A. M.; BRITO, M. C. **Meio século de história fotovoltaica**. Gazeta de Física, v. 1, n. 2, p. 17, 2006.

ANEXOS

ANEXO A – DATASHEET DO INVERSOR

powering tomorrow
Growatt

Inversor MAX75KTL3-LV



Apropriado para o telhado comercial de grande escala e usinas solares montadas no solo, o inversor vinculado da série Growatt Max é de até 80kW de grande capacidade. Primeiro inversor quad core na indústria, fornece processamento rápida capacidade de lidar com falha de grade transitória, com otimizado design, também traz 98,67% de alta ponderada China eficiência, 0,3% superior ao nível da indústria, juntamente com extraordinários rastreadores de 6 MPPT, garantem alto rendimento de sistema.

- 6 MPPTs
- Diagnóstico inteligente
- Alta eficiência até 99%
- Conexão WIFI local
- Monitoramento de strings
- SPD tipo II CA & CC

Ficha de dados	MAX 75KTL3 LV
Dados de entrada	
Máxima potência CC	97500W
Máxima tensão de CC	1100V
Tensão de partida	250V
Faixa de tensão MPPT	200V-1000V
Tensão nominal	600V
Máxima corrente de entrada por string	12,5 A
Número de MPPT independentes / strings por MPPT	6/2
Saída (CA)	
Potência nominal de saída CA	75000W
Máxima corrente de saída	112.7A
Tensão nominal CA	220V/380V
Frequência de grade CA	50Hz/60Hz
Factor de potência	0.8i-0.8c
THDi	<3%
Tipo de conexão de rede CA	3W+N+PE
Eficiência	
Máxima eficiência	98.8%
Eficiência europeia	98.3%
Eficiência MPPT	99.9%
Dispositivos de proteção	
Proteção de polaridade reversa CC	sim
Interuptor CC	sim
Proteção contra surtos CC	Tipo II
Monitoramento de falta à terra	sim
Proteção contra curto-circuito de saída	sim
Proteção contra surtos de CA	Tipo II
Monitoramento de falta de string	sim
Proteção anti-PID	opcional
Dados Gerais	
Dimensões (W/H/D) em mm	860/600/300
Peso	86kg
Faixa de temperatura operacional	-25°C ... + 60°C
Emissão de ruído (típico)	≤ 60dB(A)
Auto-consumo à noite	< 1W*
Topologia	Sem transformador
Método de refrigeração	Resfriamento Inteligente
Gráu de Proteção Ambiental	IP65
Altitude	4000m
Humidade relativa	0-100%
Características	
Exibição	LED/WIFI+APP
Interfaces: USB/R485/GPRS	Sim/sim/opcional
Garantia: 5 anos	Sim

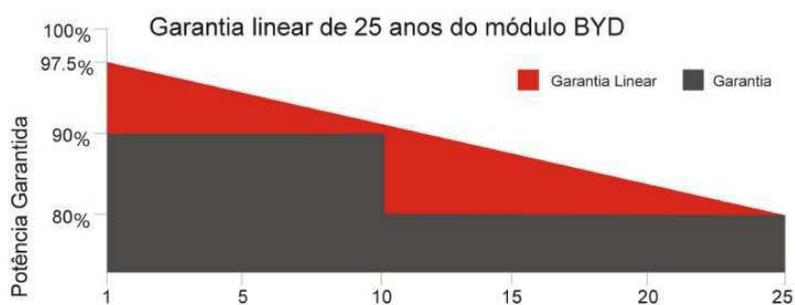
CQC, CE, VDE 0126-1-1, UTE C 15-712, VDE-AR-N4105, EN50438, DRRG, CBI 0-16, BDEW, IEC 62116, IEC61727, IEC 60068, IEC 61683, AS 4777

ANEXO B – DATASHEET DO PAINEL

PHK-36-SERIES-5BB




- 
 Potência máxima de 340W
 Eficiência celular média de até 18.8%
 EVA de alta transmitância até 92%
- 
 Geração de energia até 3% maior
 comparado aos módulos convencionais
- 
 10 anos para o produto
 25 anos de garantia linear
- 
 Sistemas em telhados residenciais
 Sistemas comerciais On e Off-grid
 Sistemas utilitários On e Off-grid
- 
 Sem degradação induzida por potencial (PID)
 Sem descoloração associada às microfissuras
 Resistência de 5400Pa para neve
 Resistência de 2400Pa para ventos
 Menor temperatura de ponto quente (hot spot)
 Meia célula é adotada para reduzir a perda
 por incompatibilidade de potência
- 
 IEC 61215, IEC 61730, UL1701
 ISO9001:2008, ISO14001:2004

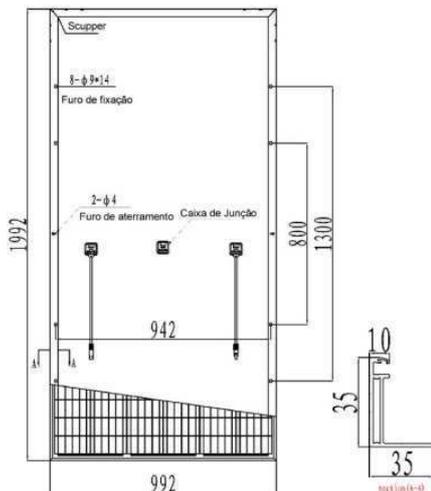


SOBRE A BYD

BYD (HK:1211), uma das melhores fabricantes de FV do mundo, produz desde o wafer até o módulo, comprometida com produtos sustentáveis de qualidade e melhoria contínua. A integração de Veículos Elétricos e Tecnologia de Armazenamento de Energia em Baterias faz da BYD a líder mundial em soluções desde a geração de energia até o armazenamento e consumo.

PHK-36-SERIES-5BB

325-340W



ESPECIFICAÇÕES MECÂNICAS

Célula	5 Bus Bar meia célula 156.75x78.375mm
No. de Células	144 (6 × 24) pcs
Dimensões do módulo	1992 mm × 992 mm × 35 mm / 78.43 pol × 39.06 pol × 1.38 pol
Peso	22.2 kg / 48.84 lbs
Vidro Frontal	3.2 mm vidro temperado com revestimento AR
Moldura	Liga de Alumínio Anodizado
Caixa de Junção	ZH011-B-5, TS03-13B
Plug Conector	IP67
Diodos de Bypass	3 pcs
Tipo de Conector	Compatível com MC4
Corrente Máxima do Fusível	15 A
Área da Secção do Cabo	4 mm ² / 0.0062 pol ²
Comprimento do Cabo	2×450 mm / 2×17.72 pol

COEFICIENTES DE TEMPERATURA

Temperatura de Operação Nominal (NOCT)	43°C ± 2°C
Coefficiente da Temperatura da CC	0,066%/°C
Coefficiente da Temperatura da CC	-0,30%/°C
Coefficiente de Temperatura no Pico de Potência	-0,37%/°C

ESPECIFICAÇÃO ELÉTRICA

Tipo de Módulo	325PHK-36	330PHK-36	335PHK-36	340PHK-36
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	44.94 V	45.19 V	45.44 V	45.69 V
Tensão Máxima de Operação (Vmp)	37.57 V	37.83 V	38.10 V	38.36 V
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	9.14 A	9.2 A	9.25 A	9.31 A
Corrente Máxima de Operação (Imp)	8.65 A	8.72 A	8.79 A	8.86 A
Potência Máxima em STC (Pmax)	325 Wp	330 Wp	335 Wp	340 Wp
Eficiência do Módulo	16.4 %	16.7 %	17.0 %	17.2 %
Temperatura de Operação	-40°C~85°C			
Tensão Máxima do Sistema	1500 Vcc			

STC: IRRADIAÇÃO 1000W/m², Temperatura do Módulo 25°C, AM=1.5

INFORMAÇÕES DA EMBALAGEM

Embalagem	40'HC
Pcs / Pallet	30
Pallet / Container	22
Pcs / Container	660



BYD SOLAR