



**Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica**

Renato da Silva Vilela

Relatório de Estágio Supervisionado

Solar Nobre

Campina Grande, Paraíba
22 de outubro de 2021

Renato da Silva Vilela

Relatório de Estágio Supervisionado: Solar Nobre

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 Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Energias renováveis e instalações elétricas

Orientador: André Dantas Germano, Dr. Eng.

Campina Grande, Paraíba
22 de outubro de 2021

Renato da Silva Vilela

Relatório de Estágio Supervisionado: Solar Nobre

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 Engenharia Elétrica.

Trabalho aprovado em: ____/____/2021.

André Dantas Germano, Dr. Eng.
Orientador

Ronimack Trajano de Souza, D. Sc.
Avaliador

Campina Grande, Paraíba
22 de outubro de 2021

Agradecimentos

Agradeço aos meus familiares, por todo o apoio e paciência.

Aos meus amigos de curso, pelo bons momentos na universidade, por todos os conselhos e dicas.

À empresa Solar Nobre por me proporcionar essa oportunidade de estágio, tão importante para a formação como engenheiro eletrícista, e a todos os estagiários que compartilharam dessa experiencia.

Ao meu orientador, Prof. André Dantas Germano por sua orientação e disponibilidade.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram nessa parte da minha historia, à instituição UFCG, ao departamento de engenharia elétrica e aos professores.

Resumo

Neste trabalho são descritas as atividades realizadas pelo estagiário Renato da Silva Vilela, graduando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande, durante o estágio supervisionado realizado na empresa Solar Nobre, localizada em Campina Grande - PB. Foram realizadas as seguintes atividades: elaboração do *layout* de projeto, preenchimento de documento técnico, elaboração de projeto elétrico e acompanhamento de obra. O estágio foi realizado no período entre 14 de junho de 2021 e 01 de outubro de 2021, com carga horária de 25 horas semanais, totalizando 392 horas, com a orientação do professor André Dantas Germano e supervisão do engenheiro eletricitista e dono da empresa Eduardo Silva Fernandes.

Palavras-chaves: Elaboração de Projetos, Instalações Elétricas, Sistemas Fotovoltaicos, Solar Nobre.

Abstract

In this work are described the activities carried out by the intern Renato da Silva Vilela, graduating in Electrical Engineering at the Federal University of Campina Grande, during the supervised internship carried out at the company Solar Nobre, located in Campina Grande - PB. The following activities were carried out: elaboration of project layout, technical document completion, elaboration of electrical project and construction monitoring. The internship was held between June 14, 2021 and October 1, 2021, with a workload of 25 hours per week, totaling 392 hours, with the guidance of Professor André Dantas Germano and supervision of the electrical engineer and owner of the company Eduardo Silva Fernandes.

Key-words: Elaboration of Projects, Electrical Installations, Photovoltaic Systems, Solar Nobre.

Lista de Figuras

1	Fachada da Empresa Solar Nobre.	12
2	Sala do Setor de Projetos da Empresa Solar Nobre.	13
3	Gráfico Típico de Irradiância Solar para Diferentes Condições Atmosféricas.	15
4	Mapa da Média Anual da Radiação Solar no Brasil.	15
5	Estrutura de uma Célula Fotovoltaica.	16
6	Conexão Elétrica em Série das Células Fotovoltaicas de um Módulo.	18
7	Componentes de um módulo Fotovoltaico.	18
8	Curvas Características I-V e P-V.	19
9	Componentes Básicos de um Sistema Fotovoltaico Autônomo.	21
10	Componentes de um Sistema Fotovoltaico Residencial Conectado à Rede Elétrica.	22
11	Memorial Técnico - Cadastro.	27
12	Memorial Técnico - Informações da Geração.	28
13	Formulário de Solicitação de Acesso para Microgeração Distribuída com Potência Igual ou Inferior a 10 kW.	29
14	Prancha do Projeto Fotovoltaico Trifásico <i>On Grid</i> de 4,1 kW de Potência.	30
15	Momento de Acompanhamento de Obra do Projeto Fotovoltaico Trifásico <i>On Grid</i> de 4,1 kW de Potência.	35

Lista de Tabelas

1	Comparação da Eficiência entre as Principais Tecnologias de Células Fotovoltaicas.	17
2	Principais Parâmetros Elétricos de Interesse do Módulo Fotovoltaico CS3W-410P.	31
3	Principais Parâmetros Elétricos de Interesse do Inversor 3300TL-G3.	32
4	Parâmetros de Proteção do Inversor Recomendados pela Energia.	34

Lista de símbolos e abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
NBR	Norma Brasileira
NDU	Norma de Distribuição Unificada
MPP	<i>Maximum Power Point</i>
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i>
UC	Unidade Consumidora

Sumário

1	Introdução	11
1.1	Objetivos	11
1.2	Estruturação do Trabalho	11
2	A Empresa	12
3	Fundamentação Teórica	13
3.1	Arquitetura Bioclimática	13
3.2	Efeito Fototérmico	14
3.3	Efeito Fotovoltaico	14
3.4	Energia Solar Fotovoltaica	14
3.4.1	Radiação Solar	14
3.4.2	Célula Fotovoltaica	16
3.4.3	Módulo Fotovoltaico	17
3.5	Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	20
3.5.1	Sistemas Fotovoltaicos Autônomos	20
3.5.2	Sistemas Conectados à Rede	21
3.6	Normas e Regulamentos	22
3.6.1	Resolução Normativa 687/2015	23
3.6.2	NDU - 001	23
3.6.3	NDU - 013	24
4	Atividades Desenvolvidas	25
4.1	Projeto Fotovoltaico	25
4.1.1	Documentação Técnica	26
4.1.2	Prancha	30
4.1.3	Acompanhamento da Obra	33
5	Conclusões	36
	Referências Bibliográficas	37

1 Introdução

Neste trabalho são descritas as atividades do estágio supervisionado realizado na empresa Solar Nobre no setor de engenharia, durante o período entre 14 de junho de 2021 e 01 de outubro de 2021, com carga horária de 25 horas semanais, totalizando 392 horas, com a orientação do professor André Dantas Germano e supervisão do engenheiro eletricista e proprietário da empresa Eduardo Silva Fernandes.

O principal serviço fornecido pela empresa Solar Nobre é a venda e instalação de sistemas solares fotovoltaicos, tema pouco abordado ao longo do curso. Dessa forma, foram realizados estudos sobre a Resolução Normativa n° 687/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e sobre as Normas de Distribuição Unificadas (NDUs) 001 (2019, revisão 6.0) e 013 (2019, revisão 4.1) da concessionária Energisa, para uma melhor compreensão do tema e para complementar os assuntos estudados na disciplina Instalações Elétricas.

1.1 Objetivos

O objetivo do estágio supervisionado é o cumprimento da disciplina pertencente da grade curricular do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Estágio Curricular, e o desenvolvimento pessoal e profissional do aluno.

Durante o estágio foram realizadas as seguintes atividades:

- Elaboração do *layout* de projeto;
- Preenchimento de documento técnico;
- Elaboração de projeto elétrico;
- Acompanhamento de obra.

1.2 Estruturação do Trabalho

O documento está dividido em 4 capítulos. No Capítulo 1 são apresentados o estágio, os objetivos e a organização do texto.

No Capítulo 2 é apresentada a empresa Solar Nobre.

No Capítulo 3 é apresentada a fundamentação teórica sobre temas pertinentes ao estágio.

No Capítulo 4 são apresentadas as atividades desenvolvidas durante o estágio.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões.

2 A Empresa

A Solar Nobre é uma empresa situada na rua Dom Pedro II, Loja 04, Centro, em Campina Grande, na Paraíba, fundada em 2017 por Eduardo Silva Fernandes.

A empresa atende todo o Nordeste com fornecimento de equipamentos e serviços elétricos, dentre eles, sistemas solares fotovoltaicos, sistemas de aquecimento para piscinas, projetos elétricos residenciais, sistemas de automação para residências e indústrias. Na Figura 1, apresenta-se a fachada da empresa e na Figura 2, apresenta-se a sala do setor de projetos.

Figura 1: Fachada da Empresa Solar Nobre.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 2: Sala do Setor de Projetos da Empresa Solar Nobre.



Fonte: Próprio Autor.

3 Fundamentação Teórica

O Sol é a principal fonte de energia do nosso planeta. Segundo Stensmann (2002), estima-se, que a Terra recebe do Sol uma potência de 1400 W/m^2 . Apenas uma pequena parte dessa energia é aproveitada, no entanto, praticamente toda a energia usada pelo ser humano tem origem no Sol.

O aproveitamento, de forma artificial, da energia solar pode ser realizado das seguintes formas:

- Arquitetura Bioclimática;
- Efeito Fototérmico;
- Efeito Fotovoltaico.

3.1 Arquitetura Bioclimática

Arquitetura bioclimática consiste no aproveitamento das condições naturais do local na concepção arquitetônica de edificações. Dessa forma, é possível economizar energia elétrica aproveitando a energia natural do sol.

Para um alto rendimento no aproveitamento das condições naturais, a edificação deve ser planejada levando em conta suas formas e volumes, orientações de fachadas e aberturas, materiais naturais, uso do espaço, e outras tantas variáveis.

3.2 Efeito Fototérmico

O efeito fototérmico consiste na captação do calor proveniente da radiação solar para aquecer um determinado material, geralmente, um fluido.

Os sistemas de energia solar térmica residencial utilizam placas solares do tipo Coletor Solar Térmico para realizar a captação energética, que pode ser utilizada no aquecimento da água para uso sanitário, ou no aquecimento de piscinas.

3.3 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez por Alexandre Edmond Becquerel em 1839, e consiste no aparecimento de uma diferença de potencial em um semicondutor, quando esse é exposto à luz visível. O efeito ocorre quando um elétron da banda de valência recebe energia suficiente de um fóton de luz para passar para a banda de condução.

A energia elétrica produzida pelo o efeito fotovoltaico é conhecida como energia solar fotovoltaica, e será detalhada na seção a seguir.

3.4 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é a energia elétrica produzida pelo efeito fotovoltaico, que consiste na conversão direta da luz solar em corrente elétrica. Nos sistemas fotovoltaicos, essa corrente é coletada, podendo ser armazenada em baterias (*off grid*) ou utilizada diretamente em sistemas conectados à rede elétrica (*on grid*). A seguir, serão explicados os elementos que compõem a energia solar fotovoltaica

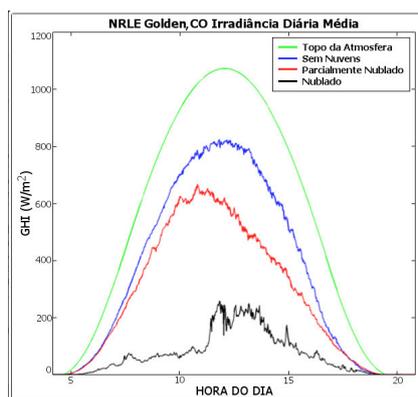
3.4.1 Radiação Solar

A radiação solar é a energia emitida pelo sol na forma de radiação. Uma grandeza empregada para quantificar a radiação solar é a irradiância, expressa na unidade W/m^2 .

Quanto maior a irradiância, maior será a quantidade de energia elétrica que pode ser gerada. Segundo Villalva (2012), a irradiância de $1000 W/m^2$ é o padrão utilizado na indústria para a especificação e avaliação de células e módulos fotovoltaicos.

Na Figura 3, apresenta-se as medições de irradiância solar para diferentes condições atmosféricas.

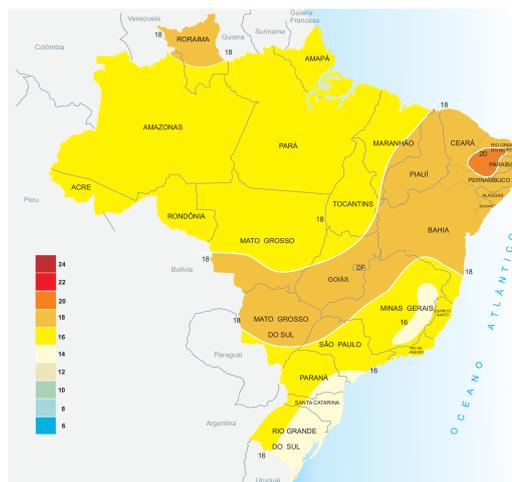
Figura 3: Gráfico Típico de Irradiância Solar para Diferentes Condições Atmosféricas.



Fonte: GeoDesign ¹.

Na Figura 4, apresenta-se um mapa da média anual da radiação solar (em $MJ/m.dia$) diária no Brasil.

Figura 4: Mapa da Média Anual da Radiação Solar no Brasil.



Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil.

¹Disponível em: <http://recursosolar.geodesign.com.br/Pages/Sol_Rad_Basic_RS.html>. Acessado em: 23/09/2021.

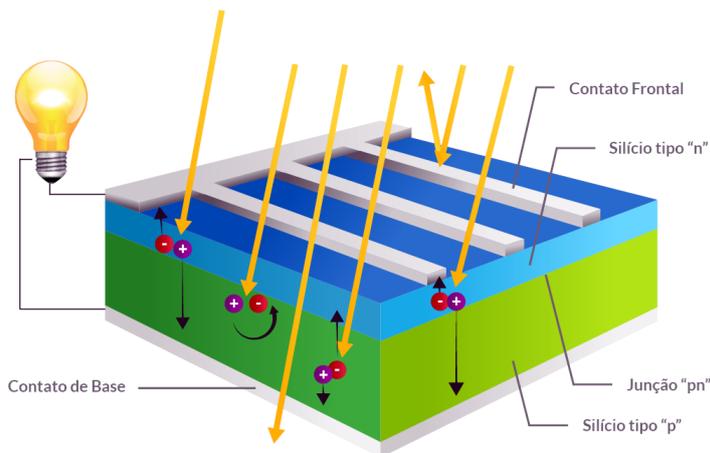
Os raios solares, ao cruzarem a atmosfera terrestre, sofrem o efeito da difusão. Dessa forma, uma pequena parte é desviada e refletida (radiação difusa) e a outra continua sua trajetória em linha reta (radiação direta).

A captação da radiação direta pode ser melhorada pela forma como os módulos solares são instalados. Para locais no hemisfério sul, a melhor maneira é orientá-los para o norte geográfico, para locais no hemisfério norte, para o sul geográfico.

3.4.2 Célula Fotovoltaica

Uma célula fotovoltaica é a unidade básica de um sistema fotovoltaico. A célula é composta por duas camadas de material semicondutor, uma tipo P e outra tipo N, uma grade e uma base metálicas. Na Figura 5, apresenta-se a estrutura de uma célula fotovoltaica.

Figura 5: Estrutura de uma Célula Fotovoltaica.



Fonte: BlueSol ².

O material tipo N, possui um excedente de elétrons e o material tipo P, um excedente de lacunas. A união dos dois tipos de materiais forma uma junção semicondutora. Os elétrons do material tipo N fluem para as lacunas do material tipo P, criando um campo elétrico dentro de uma região de depleção.

²Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/painel-solar-preco-e-como-funciona/>>. Acessado em: 29/09/2021.

O silício é o material semiconductor mais usado na fabricação de células, pois sua tecnologia de fabricação já é bem desenvolvida e sua matéria-prima é barata e abundante.

As tecnologias de fabricação de células fotovoltaicas mais comuns são: silício monocristalino, silício policristalino e filme fino de silício. O tipo de material e tecnologia empregada na fabricação, resulta em diferentes níveis de eficiência. Na Tabela 1, apresenta-se uma comparação entre as principais tecnologias.

Tabela 1: Comparação da Eficiência entre as Principais Tecnologias de Células Fotovoltaicas.

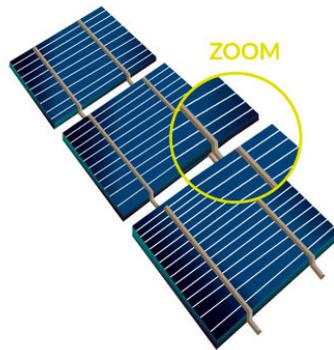
Material	Eficiência em Laboratório	Eficiência da Célula Comercial	Eficiência dos Módulos Comercias
Silício monocristalino	24,7%	18%	14%
Silício policristalino	19,8%	15%	13%
Silício cristalino de filme fino	19,2%	9,5%	7,9%
Silício amorfo	13%	10,5%	7,5%
Silício micro-amorfo	12%	10,7%	9,1%
Célula solar híbrida	20,1%	17,3%	15,2%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
Telureto de cádmio	16,4%	10%	9%

Fonte: Villalva (2012).

3.4.3 Módulo Fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos são formados pelo agregado de várias células. Na Figura 6, apresenta-se o modo de conexão, em que os terminais superiores de uma célula são ligados ao terminais inferiores da outra.

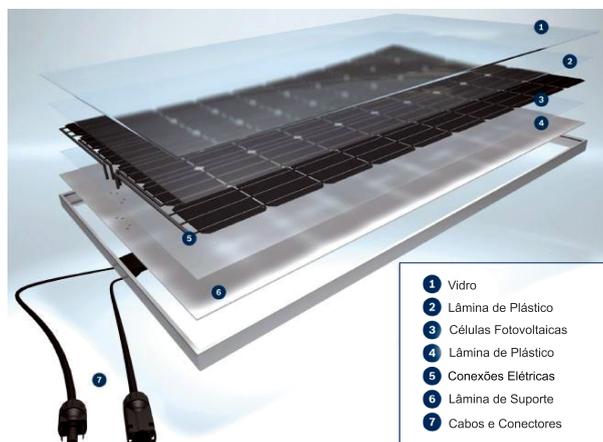
Figura 6: Conexão Elétrica em Série das Células Fotovoltaicas de um Módulo.



Fonte: BlueSol ³.

Uma célula fotovoltaica consegue fornecer uma tensão elétrica de 0,3 a 0,5 V. Assim, para produzir módulos com tensões de saída maiores, os fabricantes conectam várias células em série. Dependendo da classe de potência, um módulo pode possuir, 36, 54 ou 60 células. Na Figura 7, apresenta-se os componentes de um módulo fotovoltaico de silício monocristalino.

Figura 7: Componentes de um módulo Fotovoltaico.



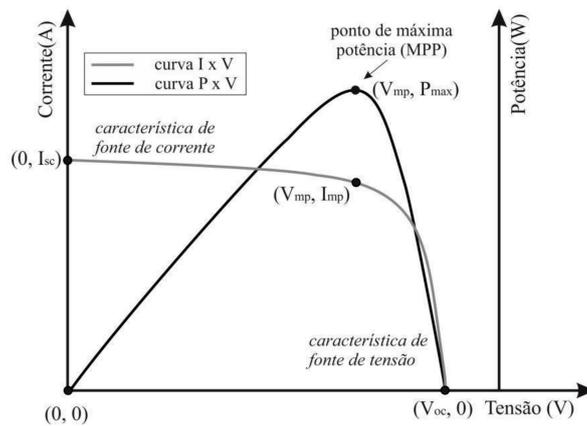
Fonte: Adaptado de Bosch⁴.

³Disponível em: <http://recursosolar.geodesign.com.br/Pages/Sol_Rad_Basic_RS.html>. Acessado em: 23/09/2021.

⁴Disponível em: <<http://docplayer.org/5846594-Bosch-solar-energy-corporate-presentation-solar-energy.html>>. Acessado em: 29/09/2021.

O ponto de operação de um módulo depende da carga ligada em seus terminais. Na Figura 8, apresenta-se as curvas I-V e P-V, que são determinadas experimentalmente. A curva I-V relaciona a corrente e a tensão de saída do módulo, a curva P-V representa a relação entre a potência e a tensão de saída do painel.

Figura 8: Curvas Características I-V e P-V.



Fonte: Carlette (2015).

A partir dessas curvas é possível obter os principais parâmetros elétricos de interesse do módulo, que são:

- **Tensão de Máxima Potência (V_{mp}):** é a tensão máxima no módulo, em seu ponto de máxima potência.
- **Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):** tensão máxima no módulo, sem a presença de carga (em vazio).
- **Corrente em Máxima Potência (I_{mp}):** é a corrente máxima que módulo pode fornecer, em seu ponto de máxima potência.
- **Corrente de Curto Circuito (I_{sc}):** corrente máxima que módulo pode fornecer, quando seus terminais estão em curto circuito. A corrente em curto circuito, geralmente é 5% superior à corrente máxima.
- **Potência Máxima (P_{max}):** é a potência máxima que módulo pode fornecer. A potencia é o produto da tensão pela corrente. Dessa forma, a potência máxima ocorre quando a tensão e a corrente estão nos seus valores máximos.

Para que um módulo fotovoltaico forneça a máxima potência à carga, esse carga deve possuir uma resistência que determine os pontos máximos de tensão e corrente. Dessa forma, foram desenvolvidos aparelhos capazes de alcançar o ponto de máxima potência (MPP, em inglês, *maximum power point*) em diversas condições de irradiância e temperatura. Esses aparelhos são conhecidos como seguidores do ponto de máxima potência (MPPT, *maximum power point trackers*).

A seguir serão explicados os tipos sistemas que permitem a produção de energia solar fotovoltaica.

3.5 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser de dois tipos, são eles: sistemas conectados à rede (*on grid*) e sistemas autônomos (*off grid*), e serão explicados a seguir.

3.5.1 Sistemas Fotovoltaicos Autônomos

Os sistemas autônomos, ou sistemas isolados, são os sistemas que não estão ligados à rede elétrica da concessionária. Dessa forma, podem ser utilizados em locais que não são atendidos por um rede elétrica.

As principais aplicações de um sistema autônomo são: fornecer eletricidade para residências, iluminação pública, sinalização de estradas, alimentação de sistemas de telecomunicações e no carregamento de baterias de veículos elétricos.

Segundo Villalva (2012), um sistema fotovoltaico autônomo é formado por: módulo ou conjunto de módulos fotovoltaicos, controlador de carga, bateria ou banco de baterias e, conforme a aplicação, inversor.

Em um sistema autônomo, equipamentos que utilizam corrente contínua (CC) são ligados ao controlador de carga e os equipamentos que utilizam corrente alternada (CA), são ligados ao inversor.

O controlador de carga é um equipamento eletrônico que regula a carga da bateria, prorrogando sua vida útil. Alguns modelos possuem MPPT.

O inversor é um equipamento eletrônico que converte a corrente gerada pelos módulos fotovoltaicos, da forma contínua para a forma alternada, de acordo com a rede elétrica.

O inversor possui um MPPT, realizando ajustes automáticos para operar no MPP do arranjo de módulos. Dessa forma, obtendo um maior rendimento dos módulos. Permite o monitoramento da energia produzida pelo sistema, guardando e transmitindo os dados durante o seu funcionamento. Além disso,

alguns inversores possuem dispositivos de proteção CC e CA, garantindo a segurança do sistema.

Na Figura 9, apresenta-se os componentes básicos de um sistema fotovoltaico autônomo.

Figura 9: Componentes Básicos de um Sistema Fotovoltaico Autônomo.



Fonte: Felipe Matheus (2015)⁵.

3.5.2 Sistemas Conectados à Rede

Os sistemas conectados à rede são os sistemas que estão ligados em paralelo com a rede elétrica da concessionária. Dessa forma, podem reduzir ou eliminar o consumo da rede, ou até mesmo gerar excedente de energia que é fornecido à rede.

Um sistema fotovoltaico conectado à rede é formado por: módulo ou conjunto de módulos fotovoltaicos, quadro de proteção e inversor.

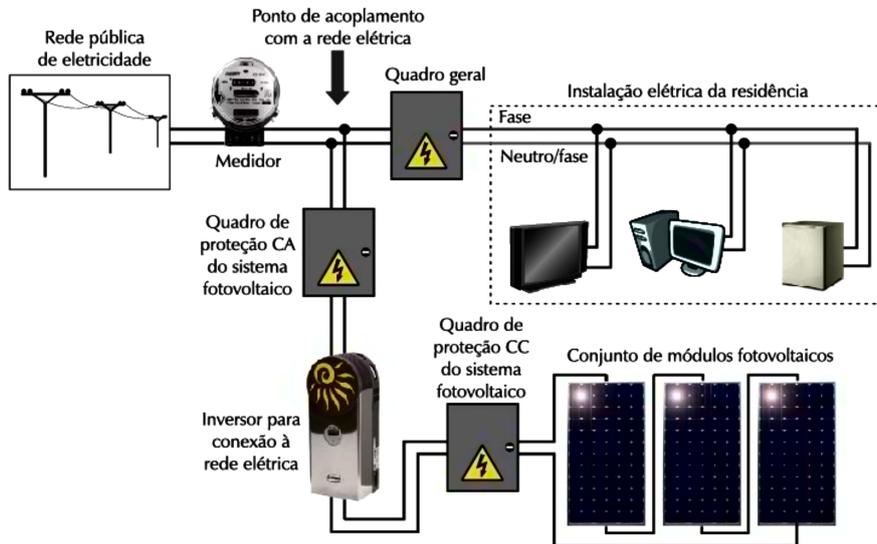
Os sistemas conectados à rede são classificados de acordo com seu tamanho, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as duas categorias são:

- **Microgeração:** potência instalada até 75 kW;
- **Minigeração:** potência instalada acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW;

Na Figura 10, apresenta-se a organização e componentes de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica.

⁵Disponível em: <<https://fomatheus.wordpress.com/2015/06/04/sistemas-fotovoltaicos-autonomos/>>. Acessado em: 02/10/2021.

Figura 10: Componentes de um Sistema Fotovoltaico Residencial Conectado à Rede Elétrica.



Fonte: Adaptado de Villalva (2012).

3.6 Normas e Regulamentos

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é a agência reguladora, que tem como finalidade regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. A ANEEL é responsável pela resolução normativa que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.

Segundo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), uma norma técnica é um documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido, que fornece, para um uso comum e repetitivo, regras, diretrizes ou características para os produtos ou processo. Dessa forma, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto.

Os projetos elaborados durante o estágio foram em regiões atendidas pelas concessionárias do Grupo Energisa. Dessa forma, serão apresentadas informações referentes as Normas de Distribuição Unificadas (NDUs) dessa empresa. A seguir serão apresentadas a resolução normativa e as normas pertinentes a elaboração dos projetos fotovoltaicos.

3.6.1 Resolução Normativa 687/2015

Em 17 de abril de 2012 a ANEEL publicou sua Resolução n° 482, possibilitando a produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, visando à produção de eletricidade para o consumo próprio, como acontece em outros países, e possibilita fornecer o excedente para a rede de distribuição local. O excedente é convertido em créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes do consumidor.

A resolução normativa 687/2015 foi uma atualização da resolução normativa 482/2012, e segundo a ANEEL (2015) tem com objetivo reduzir os custos e tempo para a conexão da microgeração e minigeração, compatibilizar o sistema de compensação de energia elétrica com as condições gerais de fornecimento (Resolução Normativa n° 414/2010), aumentar o público alvo, e melhorar as informações na fatura.

Segundo a ANEEL (2015), as inovações trazidas pela resolução são: o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses; possibilidade da instalação de geração distribuída em condomínios, em que a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos; criação da categoria de "geração compartilhada", possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados.

3.6.2 NDU - 001

A Norma de Distribuição Unificada 001 (2019, revisão 6.0) é a norma técnica que apresenta os requisitos mínimos e as diretrizes necessárias para projetos e execução das instalações de entradas de serviço das unidades consumidoras de baixa tensão, nas concessionárias do Grupo Energisa, quando a carga instalada na unidade consumidora for igual ou inferior a 75 kW, conforme legislação em vigor (Energisa, 2019a).

A norma contém os padrões, procedimentos, critérios técnicos e operacionais envolvidos nas instalações individuais ou agrupadas até três unidades consumidoras, seguindo as exigências técnicas e de segurança recomendadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e em conformidade com as Resoluções Normativas da ANEEL (Energisa, 2019a).

Portanto, a NDU 001 é essencial para elaboração de projetos elétricos para as unidades consumidoras atendidas pela concessionária Energisa.

3.6.3 NDU - 013

A Norma de Distribuição Unificada 013 (2019, revisão 4.1) é a norma técnica que apresenta os requisitos mínimos e as diretrizes necessárias para a conexão de geradores à rede de distribuição de Baixa de Tensão, nas concessionárias do Grupo Energisa (Energisa, 2019b).

O objetivo da norma é estabelecer padrões e procedimentos de acesso, critérios técnicos, operacionais e o relacionamento operacional envolvidos na conexão de consumidores, atendidos em baixa tensão, que utilizem cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica, observando as exigências técnicas e de segurança recomendadas pela ABNT, e em conformidade com as prescrições vigentes nos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) e nas resoluções normativas da ANEEL (Energisa, 2019b).

Quando um projeto de geração distribuída solar é realizado, ele deve ser submetido ao Grupo Energisa para avaliação dos critérios presentes nas normas técnicas e após a aprovação, inicia-se a instalação na unidade consumidora. Por fim, ocorre a vistoria pela concessionária para checar as devidas exigências e a aprovação para a conexão com a rede de baixa tensão da Energisa.

4 Atividades Desenvolvidas

Neste capítulo são apresentadas as atividades desenvolvidas durante a realização do estágio, são elas: elaboração do *layout* de projeto, preenchimento de documento técnico, elaboração de projeto elétrico e acompanhamento de obra.

Durante o estágio foi realizado apenas um projeto elétrico residencial, que foi elaborado em conjunto com os outros estagiários. Nesse projeto, foi possível participar das seguintes etapas: dimensionamento da carga instalada na iluminação e nas tomadas (de uso geral e específica), divisão dos circuitos e elaboração de partes do *layout*.

Foram desenvolvidos 18 projetos fotovoltaicos do tipo *on grid*, tanto para o padrão de entrada monofásico quanto para o trifásico. Dessa forma, as atividades envolvidas na elaboração dos projetos fotovoltaicos foram as que mais consumiram o tempo do proponente, assim, será dado um maior enfoque a essas atividades.

4.1 Projeto Fotovoltaico

As etapas para conclusão de um sistema fotovoltaico *on grid* são: proposta, elaboração do projeto, submissão dos documentos e prancha à concessionária, instalação do sistema solar fotovoltaico e parametrização do inversor, vistoria da concessionária e conexão do sistema à rede.

As propostas dos projetos foram elaboradas por Eduardo Silva Fernandes, supervisor e proprietário da empresa. Entretanto, foi possível acompanhar o processo de elaboração de algumas, que consiste em: solicitar alguns dados do cliente para que, utilizando as plataformas das distribuidoras parceiras da empresa, seja possível efetuar o dimensionamento do sistema fotovoltaico que melhor atenda as suas necessidades.

O dimensionamento do sistema solar pode ser feito também pela Equação 1, definida a seguir.

$$P = \frac{C_{md}}{I_{md} \times \eta} \quad (1)$$

Em que:

- P : é a potência do sistema (kWp);
- C_{md} : é a média de consumo diário (kWh);
- I_{md} : é a média da irradiação solar diária (kWh/m².dia);

- η : é o rendimento do sistema (tipicamente 0,8);

O cliente analisa a proposta e após a sua aprovação, os equipamentos são adquiridos com os fornecedores e inicia-se o projeto fotovoltaico. Para exemplificar as atividades desenvolvidas, será apresentada a metodologia aplicada na elaboração de um projeto fotovoltaico trifásico *on grid* de 4,1 kW de potência, com estimativa de geração mensal de 517 kWh. O projeto foi realizado no condomínio Serraville Residence Privê na cidade de Campina Grande, Paraíba, com um custo final de R\$ 20.500,00 e *payback* simples de 3 anos e 6 meses.

4.1.1 Documentação Técnica

Com a proposta elaborada e aprovado pelo cliente, inicia-se o processo de preenchimento da documentação técnica. Os documentos técnicos são: o memorial técnico e o formulário de solicitação. Esses documentos são submetidos a concessionária para análise do projeto.

O memorial técnico apresenta detalhes do sistema de geração distribuída solar, as principais são:

- Identificação da unidade consumidora (UC);
- Certificação dos equipamentos;
- Detalhes dos equipamentos de proteção;
- Descrição do sistema de Aterramento;
- Características dos módulos e inversor.

A segunda parte do memorial técnico, "Informações da Geração" apresenta informações tais como: informações dos módulos fotovoltaicos, informações dos inversores e parâmetros de proteção recomendados pela Energisa para a parametrização do inversor. Na Figura 12, apresenta-se a segunda parte do memorial técnico.

Figura 12: Memorial Técnico - Informações da Geração.

MEMORIAL TÉCNICO PARA PROJETO ELÉTRICO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (GD) SOLAR			
Informações Das Placas			
<i>Fabricante dos Módulos</i>	Canadian Solar	<i>Modelo dos Módulos</i>	CS3W-410P (INMETRO 004525/2018)
<i>Potência Individual dos Módulos (Wp)</i>	410	<i>Quantidade de Módulos</i>	10
<i>Potência Total da Geração (kWp)</i>	4,10	<i>Área Total das Arranjos (m²)</i>	20 m²
<i>Localização da instalação das placas:</i>	Será instalado no telhado		
Informações Dos Inversores			
<i>Fabricante do Inversor</i>	Sofar	<i>Modelos dos Inversores</i>	3300TL-G3
<i>Potência Individual dos Inversores (kW)</i>	3,3	<i>Quantidade de Inversores</i>	1
<i>Potência Total dos Inversores (kW)</i>	3,3	<i>Localização dos Inversores:</i>	Ao lado do QDC
<i>Altura do Inversor - Do topo do visor até o piso acabado</i>	1,50m	<i>Certificações:</i>	(INMETRO 003358/2020)
<i>Dimensionamento dos equipamentos de proteção</i>	Condutores: CC: #6mm² isolamento HEPR/XLPE; CA: #4mm² isolamento HEPR/XLPE; Disjuntores CA: termomagnético de 20A bipolar; DPS: CA: 275 VCA - 40kA. Aterramento: 03 hastes de terra cobreada de 2,4m x 5/8" interligada entre si com cabo de cobre nu #10,0mm², distância entre as hastes de 3m. Para conexão com a haste/cabo será usado conector grampo GTDU revestido com massa catafetar		
Ajustes Recomendados das Proteções - Parametrização do Inversor			
<i>Descrição</i>	<i>Parâmetros</i>	<i>Tempo de Atuação</i>	
<i>Tensão no ponto de Conexão:</i>	V < 80% (0,8 PU) Vn	Desligar em 0,2 s	
<i>Tensão no ponto de Conexão:</i>	V < 110% (1,1 PU) Vn	Desligar em 0,2 s	
<i>Regime Normal de Operação</i>	80 % <= V <= 110%	Condições normais	
<i>Subfrequência</i>	f < 57,5 HZ	Desligar em até 0,2 s	
<i>Sobrefrequência</i>	f > 62,0 HZ	Desligar em 0,2 s	
<i>Frequência Nominal da Rede</i>	f = 60 HZ	Condições normais	
<i>Após a perda da rede (ilhamento), deverá interromper o fornecimento de energia a rede:</i>	ilhamento	Interromper em até 2s	
<i>Após a retomada das condições normais de tensão e frequência da rede, religar:</i>	Reconexão	Após 180s	
NOTAS:			
1. Os inversores deverão ser instalados em local de fácil e permanente acesso, onde o visor do inversor deverá ficar a uma altura máxima de 1,50m do piso acabado ao seu topo.			
2. Próximo à caixa de medição deverá ser instalada uma placa de advertência com os seguintes dizeres: "CUIDADO – RISCO DE CHOQUE ELÉTRICO – GERAÇÃO PRÓPRIA".			
3. A placa de advertência deverá ser confeccionada em PVC ou acrílico com espessura mínima de 1mm e conforme modelo apresentado no desenho 16, em anexo à Norma Técnica 013.			
4. Para o ramal de entrada monofásico deverá ser instalado a caixa de medição trifásica, pois a monofásica não suporta o medidor bidirecional.			
<i>Observações do projetista:</i>			
PARCEER ENERGISA			
ESPAÇO PARA INSERIR LOGOTIPO DA EMPRESA RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DO PROJETO			

Fonte: Solar Nobre.

O formulário de solicitação apresenta as informações necessárias para solicitação do acesso a interligação do sistema de geração à rede da concessionária, tais como: dados da UC, dados da geração, documentações a serem anexadas, contatos da distribuidora e dados do solicitante. Esse documento é disponibilizado pela concessionária. Na Figura 13, apresenta-se um formulário de solicitação para a rede da concessionária Energisa.

Figura 13: Formulário de Solicitação de Acesso para Microgeração Distribuída com Potência Igual ou Inferior a 10 kW.

SOLICITAÇÃO DE ACESSO PARA MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM POTÊNCIA IGUAL OU INFERIOR A 10kW					
1. IDENTIFICAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA - UC					
Código da UC:		Classe:	Residencial		
Titular da UC:					
Logradouro:					
N°:	Bairro:	Cidade:	Campina Grande		
E-mail:		UF:	PB	CEP:	
Telefone:		Celular:			
CNPJ/CPF:					
2. DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA - UC					
Potência Instalada (kW):	23	Tensão de Atendimento:	380/220 V		
Tipo de Conexão:	Monofásica <input type="checkbox"/>	Bifásica <input type="checkbox"/>	Trifásica <input checked="" type="checkbox"/>		
Tipo de Ramal:	Aéreo <input checked="" type="checkbox"/>	Subterrâneo	<input type="checkbox"/>		
3. DADOS DA GERAÇÃO					
Potência Instalada de Geração (kWp):	4,1				
Tipo da Fonte de Geração:	Solar <input checked="" type="checkbox"/>	Eólica <input type="checkbox"/>	Biomassa <input type="checkbox"/>		
	Cogeração <input type="checkbox"/>	Outra (Especificar):			
4. DOCUMENTAÇÕES A SEREM ANEXADAS					
<input type="checkbox"/>	1. ART do Responsável Técnico pelo Projeto Elétrico e instalação do sistema de Microgeração;				
<input type="checkbox"/>	2. Diagrama Unifilar contemplando Geração/Proteção (Inversor, se for o caso)/Medição e Memorial Descritivo da instalação;				
<input type="checkbox"/>	3. Certificado de conformidade do(s) Inversor(es) ou número de Registro da concessão do INMETRO do(s) inversor(es) para a tensão Nominal de conexão com a rede;				
<input type="checkbox"/>	4. Dados necessários ao Registro da Central Geradora conforme disponível no site da ANEEL: www.aneel.gov.br/scg				
<input type="checkbox"/>	5. Lista de Unidades Consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI e VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012;				
<input type="checkbox"/>	6. Cópia de documento que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver);				
<input type="checkbox"/>	7. Documento que comprove o reconhecimento pela ANEEL da cogeração qualificada (se houver).				
5. CONTATOS NA DISTRIBUIDORA (PREENCHIDO PELA DISTRIBUIDORA)					
Responsável/Área:					
Endereço:					
Telefone:		E-mail:			
6. DADOS DO SOLICITANTE					
Nome/Procurador Legal:					
Telefone:		E-mail:			
Local:	Campina Grande - PB				
Data:	___/___/_____	Assinatura do Responsável			

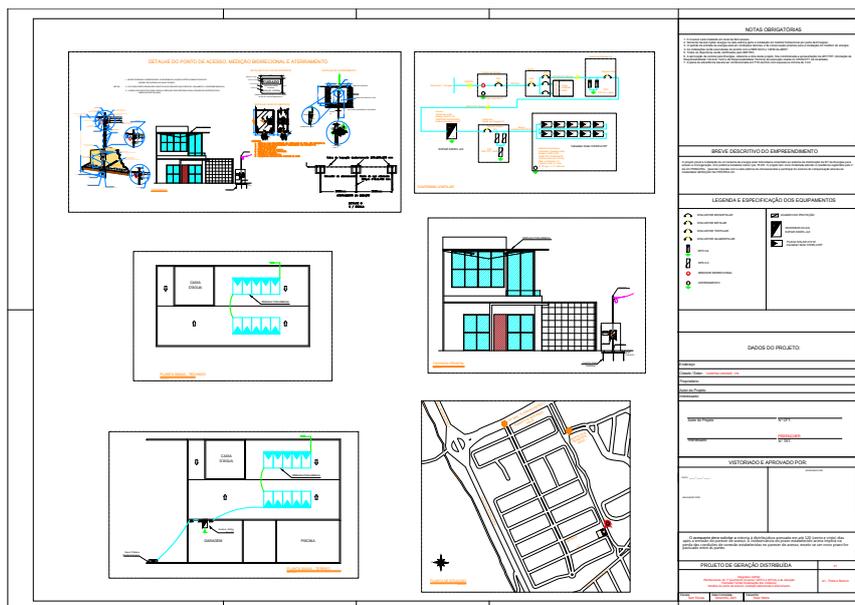
Fonte: Energisa.

4.1.2 Prancha

Com a proposta elaborada e aprovado pelo cliente, inicia-se o processo de elaboração do *layout* do projeto, resultando na prancha. A prancha apresenta informações básicas do projeto, tais como: Diagrama unifilar, potência do inversor, dimensionamento de cabos, disjuntores, hastes de aterramento, dispositivos de proteção contra surtos CC e CA, com base na norma ABNT NBR (Associação Brasileira de Normas Técnicas Norma Brasileira) 5410 (2004), NDU 013 e NDU 001, representação da fachada frontal e padrão de entrada, planta baixa do telhado e térreo, planta de situação e notas obrigatórias.

Na Figura 14, apresenta-se a prancha do projeto fotovoltaico trifásico *on grid* de 4,1 kW de potência.

Figura 14: Prancha do Projeto Fotovoltaico Trifásico *On Grid* de 4,1 kW de Potência.



Fonte: Próprio Autor.

Nesse projeto foram utilizados dez módulos fotovoltaicos da fabricante Canadian Solar, modelo CS3W-410P. A quantidade de módulos pode ser determinada pela Equação 2, definida a seguir.

$$Q_m = \frac{P}{P_m} \quad (2)$$

Em que:

- Q_m : é a quantidade de módulos;
- P : é a potência do sistema (kWp);
- P_m : é a potência máxima que o módulo pode fornecer (kWp);

Na Tabela 2, apresenta-se os principais parâmetros elétricos de interesse do módulo CS3W-410P.

Tabela 2: Principais Parâmetros Elétricos de Interesse do Módulo Fotovoltaico CS3W-410P.

Parâmetro	Valor
Potência máxima (P_{max})	410 W
Tensão de máxima potência (V_{mp})	39,1 V
Corrente de máxima potência (I_{mp})	10,49 A
Tensão de circuito aberto (V_{oc})	47,6 V
Corrente de curto circuito (I_{sc})	11,06 V

Fonte: *Datasheet* Canadian Solar CS3W-410P.

Para a proteção CC foi utilizado uma *string box* de uma entrada e uma saída, com dispositivo de proteção contra surtos (DPS) de tensão nominal de 1000 VCC e corrente nominal de 20 kA. A *string box* é um equipamento de proteção da parte CC do sistema fotovoltaico, é conectada entre os módulos fotovoltaicos e o inversor, fornece proteção contra sobretensão e sobrecorrente e permite o seccionamento do circuito.

Como a *string box* possui apenas uma entrada, os módulos foram ligados em série. Dessa forma, a corrente de curto de circuito do arranjo será de 11,06 A e a tensão de circuito aberto será de:

$$\begin{aligned}V_{oc} &= 10 \times 47,6 \\V_{oc} &= 476 \text{ V}\end{aligned}$$

Esses valores são compatíveis com o inversor utilizado. O modelo do inversor é o 3300TL-G3 da fabricante Sofar Solar. Na Tabela 3, apresenta-se os principais parâmetros elétricos desse inversor.

Tabela 3: Principais Parâmetros Elétricos de Interesse do Inversor 3300TL-G3.

Entrada (CC)	
Potência máxima	4500 W
Tensão máxima	550 V
Tensão nominal	360 V
Corrente máxima	12 A
Quantidade de MPPT	1
Tensão de operação do MPPT	50-550 V
Saída (CA)	
Potência nominal	3300 W
Corrente nominal	14,3 A
Corrente máxima	16 A
Tensão de operação	180-276 V
Frequência nominal	50/60 Hz

Fonte: *Datasheet* Sofar Solar 3300TL-G3.

Para a proteção CA foram utilizados dois DPSs com tensão máxima de operação de 275 VAC e capacidade máxima de descarga de 40 kA e dois disjuntores, em que um foi instalado na caixa de proteção CA e o outro no quadro geral. Segundo a norma ABNT NBR 5410 (2004), para que a proteção dos condutores contra sobrecargas fique assegurada, as características de atuação do dispositivo destinado a provê-la devem ser tais que:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (3)$$

$$I_2 \leq 1,45I_Z \quad (4)$$

Em que:

- I_B : é a corrente do circuito;
- I_Z : é a capacidade de condução de corrente dos condutores;
- I_n : é a corrente nominal do dispositivo de proteção;
- I_2 : é a corrente convencional de atuação, para disjuntores, ou corrente convencional de fusão, para fusíveis.

Foram utilizados condutores de 4 mm² com isolamento HEPR/XLPE e foi admitido uma corrente 25% superior a corrente máxima de saída do inversor, assim, têm-se que:

$$I_B = 1,25 \times 16$$

$$I_B = 20 \text{ A}$$

e,

$$I_Z = 42 \text{ A}$$

Assim, pela Inequação 3, tem-se que:

$$20 \leq I_n \leq 42$$

Foram escolhidos disjuntores de 20 A, ou seja, $I_n = 20 \text{ A}$, pela Inequação 4, tem-se que:

$$I_2 \leq 1,45I_Z$$

$$1,45 \times 20 \leq 1,45 \times 42$$

$$23,2 \text{ A} \leq 60,9 \text{ A}$$

Dessa forma, a Inequação 3 e Inequação 4 foram atendidas.

Além da prancha e documentação técnica, para a solicitação de acesso à microgeração distribuída, deve-se anexar os certificados de conformidade do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) do inversor e módulo utilizados no projeto. Esses documentos atestam que os equipamentos passaram por ensaios e foram aprovados, conforme as normas técnicas brasileiras. Por fim, o projeto pode ser submetido a concessionária.

4.1.3 Acompanhamento da Obra

Com a aprovação da concessionária, inicia-se a obra do projeto fotovoltaico. No acompanhamento da obra, foi possível ter a experiência prática da instalação e conhecer os dispositivos que compõem o sistema de geração.

As etapas principais da obra são: embutir os eletrodutos para passagem dos cabos de alimentação CC e CA, fixação das placas no telhado, realização das conexões elétricas dos dispositivos e a parametrização do inversor, seguindo os critérios estabelecidos pela concessionária. Na Tabela 4, apresenta-se os ajustes recomendados de proteção para parametrização do inversor de acordo com a NDU 13 (2019, revisão 4.1).

Tabela 4: Parâmetros de Proteção do Inversor Recomendados pela Energisa.

Descrição	Parâmetros	Tempo de Atuação
Tensão no ponto de Conexão	$V < 80\% (0,8 \text{ PU}) V_n$	Desligar em 0,2 s
Tensão no ponto de Conexão	$V > 110\% (1,1 \text{ PU}) V_n$	Desligar em 0,2 s
Subfrequência	$f < 57,5 \text{ Hz}$	Desligar em até 0,2 s
Sobrefrequência	$f > 62,0 \text{ Hz}$	Desligar em 0,2 s
Após a perda da rede (ilhamento), deverá interromper o fornecimento de energia à rede	Ilhamento	Ilhamento em até 0,2 s
Após a retomada das condições normais de tensão e frequência da rede, religar	Reconexão	Após 180 s

Fonte: Energisa (2019b).

Na Figura 15, apresenta-se uma fotografia ilustrativa de um momento de acompanhamento da obra do projeto fotovoltaico trifásico *on grid* de 4,1 kW de potência. Com o obra finalizada, ocorre a vistoria pela concessionária para checar as devidas exigências e a aprovação para a conexão com a rede de baixa tensão da Energisa.

Figura 15: Momento de Acompanhamento de Obra do Projeto Fotovoltaico Trifásico *On Grid* de 4,1 kW de Potência.



Fonte: Próprio Autor.

5 Conclusões

A realização do estágio supervisionado na empresa Solar Nobre mostrou-se uma ferramenta essencial para formação profissional, promovendo o contato direto com os desafios diários de um engenheiro eletricista. Além disso, promoveu a aquisição de conhecimentos sobre sistemas fotovoltaicos, tema pouco abordado ao longo do curso.

Disciplinas, tais como: Expressão Gráfica, Instalações Elétricas, Sistemas Elétricos, e seus respectivos Laboratórios, foram essenciais para o desenvolvimento das atividades realizadas durante o estágio. Entretanto, nota-se que essas disciplinas não fornecem conhecimentos práticos suficientes ao que é exigido pelo mercado de trabalho.

O estágio foi realizado durante um período de pandemia, dessa forma, diminuindo a demanda de projetos da empresa, reduzindo as atividades de acompanhamento de obras e de contato com clientes. Por fim, o estágio contribuiu para preparação ao mercado de trabalho, aprimorando habilidades, como o trabalho em equipe, gestão de tempo, gerenciamento de projetos, tomada de decisão, criatividade e comunicação. Dessa forma, o estágio supervisionado cumpre sua finalidade com êxito.

Referências

- ABNT. Perguntas frequentes. <https://www.abntcatalogo.com.br/faq.aspx>. Acessado em: 22/10/2021.
- ANEEL. Geração distribuída. <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>, 2015. Acessado em: 04/10/2021.
- L. P. Carlette. Comparação de algoritmos de máxima potência para carregamento de baterias em sistemas fotovoltaicos. *Trabalho de conclusão de curso*, 2015.
- Energisa. Ndu - 001. *Fornecimento de Energia Elétrica a Edificações Individuais ou Agrupadas até 3 Unidades Consumidoras*, 2019a.
- Energisa. Ndu - 013. *Critérios para a Conexão em Baixa Tensão de Acsantes de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição*, 2019b.
- B. H. W. Stensmann. Energia emitida pelo sol. https://ppgenfis.if.ufrgs.br/mef008/mef008_02/Berenice/aula4.html, 2002. Acessado em: 23/09/2021.
- M. G. Villalva. *Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações*. Érica, 2012.