UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

CARLOS FABIAN TEIXEIRA

ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL.

CUIABÁ – MT
DEZEMBRO, 2022

CARLOS FABIAN TEIXEIRA

ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL.

Trabalho Final de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador:
Prof. Dr. José Mateus Rondina

CUIABÁ – MT

DEZEMBRO, 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

T266e Teixeira, Carlos Fabian.
Estudo de caso: dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial [recurso eletrônico] / Carlos Fabian Teixeira. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 45 f., il. color., pdf). -- 2022.

Orientador: José Mateus Rondina.
TCC (graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2022.
Modo de acesso: World Wide Web: https://bdm.ufmt.br.
Inclui bibliografia.

1. Sistema fotovoltaico, energia solar, painel solar. I. Rondina, José Mateus, *orientador*. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

DESPACHO

Processo nº 23108.104880/2022-11

Interessado: JOSE MATEUS RONDINA

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA MONOGRAFIA: ESTUDO DE CASO: PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL.

ALUNO: CARLOS FABIAN TEIXEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito para a obtenção de grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 20 de dezembro de 2022.

Nota: 8,63

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Mateus Rondina

Orientador

Prof. Joelma Azevedo

Examinadora

Prof. Dr. Jorge Luiz Brito de Faria

Examinador

Documento assinado eletronicamente por **JOSE MATEUS RONDINA**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 20/12/2022, às 12:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020 .

Documento assinado eletronicamente por **JORGE LUIZ BRITO DE FARIA**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 20/12/2022, às 12:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020 .

Documento assinado eletronicamente por **JOELMA SEBASTIANA DE AZEVEDO**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 20/12/2022, às 12:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020 .

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5383086** e o código CRC **6A62D4AF**.

Referência: Processo nº 23108.104880/2022-11 SEI nº 5383086

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, minha família, meus amigos, professores, e tantos outros que participaram desse processo de graduação que chega ao fim, e que me alavanca para outros processos da vida que estão por vir, a todos meu muito obrigado!

RESUMO

TEIXEIRA, C.F. **Estudo de caso: Dimensionamento de um projeto fotovoltaico residencial.** 2022. 46f. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2022.

O aumento crescente da demanda de energia elétrica provocou mudanças nos meios procurados em suprir essa necessidade dentro da matriz energética, em especial, a fotovoltaica, que se tornou muito atraente pelas suas características de geração, que pode ser instalada em pequena escala, em que é possível até mesmo ser utilizada para uso próprio.

Este trabalho tem como objetivo apresentar um projeto de dimensionamento sistema fotovoltaico conectado à rede, como caso de estudo residencial, obedecendo os critérios exigidos pelas normas vigentes da concessionária de energia responsável pelo atendimento, e por fim, apresentar os resultados obtidos desse dimensionamento e as devidas conclusões.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico, energia solar, painel solar.

ABSTRACT

The increasing demand for electricity has led to changes in the means sought to meet this need within the energy matrix, in particular photovoltaics, which has become very attractive due to its generation characteristics, which can be installed on a small scale, in which it is It can even be used for your own use. This work aims to present a photovoltaic system connected to the grid dimensioning project, as a residential case study, obeying the criteria required by the current norms of the energy concessionaire responsible for the service, and finally, to present the results obtained from this dimensioning and the due conclusions.

Keywords: Photovoltaic system. Solar energy. Solar panel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Local da residência para o estudo de caso 17

Figura 2 - Inversor GroWatt MIN 3000TL-X 20

Figura 3 - Folha dos dados técnicos do inversor 21

Figura 4 - Módulo Fotovoltaico 22

Figura 5 - Simulação local instalação projeto 23

Figura 6 - Simulação local instalação projeto 24

Figura 7 – Tabela sobre fator de correção de temperatura 25

Figura 8 – Tabela sobre fator de correção de condutores agrupados 26

Figura 9 – Tabela sobre relação seção nominal cabo condutor e corrente de condução 26

Figura 10 – Tabela sobre relação seção nominal cabo condutor e corrente de condução 28

Figura 11 – Tabela sobre relação seção nominal cabo condutor e corrente de condução 30

Figura 12 – Tabela sobre seção reduzida do condutor neutro 30

Figura 13 – Tabela sobre seção mínima do condutor de proteção 31

Figura 14 - Diagrama Unifilar 33

Figura 15 – Ilustração instalação inversor 34

Figura 16 – Tabela do dimensionamento das categorias de atendimento 35

Figura 17 – Detalhe padrão de energia 35

Figura 18 - Simulação previsão geral sistema 36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo anual da unidade consumidora 16

Tabela 2 - Irradiação Solar entre os meses de janeiro a junho. 17

Tabela 3 - Irradiação Solar entre os meses de julho a dezembro. 18

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Técnica Brasileira

NR – Norma Regulamentadora

ANSI – American National Standards Institute

DPS – Dispositivo de Proteção contra Surtos

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
1.1 Justificativa 12
1.2 Objetivo Geral 13
1.3 Objetivos Específicos 13
1.4 Metodologia do trabalho 13
2 REVISÃO TEÓRICA 14
3 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR SOLAR 16
3.1 Demanda do projeto 16
3.2 Inversosr 18
3.3 Módulo fotovoltaico 21
3.4 Simulação Software PVSOL 23
3.5 Cabos condutores elétricos 24
3.5.1 Trecho em corrente contínua 24
3.5.2 Trecho em corrente alternada 28
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS 36
5 CONCLUSÕES GERAIS 37
6 REFERÊNCIAS 38
7 APÊNDICES 39
APÊNDICE A – FOLHA TÉCNICA DO INVERSOR. 39
APÊNDICE B – FOLHA TÉCNICA DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS. 41
APÊNDICE C – DIAGRAMA UNIFILAR 43
APÊNDICE D – DESENHO REPRESENTATIVO SOBRE DETALHES 44
APÊNDICE E – DESENHO REPRESENTATIVO DO LOCAL 44

1 INTRODUÇÃO

Um grande aumento da demanda energética no Brasil provocou mudanças na procura de fontes para atender tamanha necessidade, sendo a energia solar o grande destaque aqui. A popularidade da geração solar nos últimos anos cresceu de forma acelerada, ocasionado pela grande procura de encontrar maneiras de reduzir o gasto na conta de energia no final do mês.

A promessa de redução da tarifa de energia se tornou muito atrativa quando se pensa na questão do retorno financeiro que esse sistema proporciona a longo prazo ao interessado, que acaba se tornando, muitas vezes sendo citado como “investimento”, já que o custo para implantação do sistema fotovoltaico é retornado ao longo do tempo pela redução da tarifa que esta mesma consegue gerar para o local.

A energia solar ganhou força sobre uma alternativa de geração de energia, com aumento da expansão da capacidade da Matriz Elétrica Brasileira. O Brasil apresenta dados que indicam 83% de participação de energia de fontes renováveis na Matriz Elétrica, com participação de 1,2 % da energia solar (BANDEIRA; RIBEIRO; SANTOS, 2020). Os impactos provocados por esses tipos de fontes, tanto sociais como ambientais, que se tratando de emissão de poluentes, em comparação de geração por fontes não renováveis, é uma energia de geração mais limpa, sendo procurada cada vez mais como o caminho a ser seguido do desenvolvimento tecnológico na economia.

1.1 Justificativa

O aproveitamento da energia solar é visado por vários motivos, um deles é a possibilidade de instalação na própria localidade, que chama atenção pelo quesito de viabilidade, ao passo que na maioria dos casos residenciais, é possível suprir a própria demanda energética ao aproveitar o espaço disponível na cobertura de instalação do sistema.

O estudo da potência necessária que um gerador deve fornecer ao sistema leva em questão a área coberta pelo painel, da capacidade que o inversor consegue operar na conversão energia para o sistema e da tecnologia empregada no painel solar, por exemplo, a eficiência energética que consegue entregar neste processo. Os fabricantes disponibilizam as especificações técnicas dos equipamentos utilizados no sistema. Cabe ao projetista determinar aquele mais interessante para a situação problema de atendimento a disposição do local de instalação, e o inversor mais adequado para o sistema.

1.2 Objetivo Geral

Apresentar as etapas do dimensionamento do sistema fotovoltaico residencial conectado à rede: procedimentos, critérios adotados, e os parâmetros envolvidos nesse procedimento de dimensionamento do projeto.

1.3 Objetivos Específicos

Elaborar um procedimento de dimensionamento para geração fotovoltaica, respeitando as normas vigentes da área e da concessionária de energia, com os seguintes objetivos específicos:

- Elaborar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico;
- Descrever as funções dos elementos do projeto;
- Definir a escolha dos materiais para a situação do projeto;
- Finalizar com as considerações gerais.

1.4 Metodologia do trabalho

O trabalho proposto apresenta um breve do contexto da energia solar dentro do sistema de energia elétrica no Brasil nos últimos anos, e crescimento de sua importância na contribuição dentro da Matriz Elétrica Brasileira. Em sequência é abordado o objetivo principal que é o desenvolvimento do dimensionamento do sistema fotovoltaico, entre as especificações que o projeto precisa ter para ser avaliado e aprovado pela concessionária de energia elétrica, em que é determinado através da análise desse caso residencial, os equipamentos a serem utilizados, bem como as características técnicas dos mesmos e suas funções dentro daquele sistema fotovoltaico, sendo representado projeto pelo diagrama unifilar e através do memorial descritivo.

Por fim, os resultados finais, bem como as conclusões desse estudo e as devidas considerações obtidas desse trabalho, são apresentados.

2 REVISÃO TEÓRICA

No contexto geográfico, o Brasil possui grande capacidade para geração de energia, quando comparado a outros países, incluindo a fotovoltaica, por seu alto índice de radiação solar anual, e se tratando dessa geração que é dada pela conversão de energia solar em energia elétrica, produz um cenário bastante promissor para investimentos nesse tipo de sistema.

O regimento adotado para acesso de microgeração distribuída ao sistema de energia elétrica das concessionárias de energia é estabelecido pela Resolução Normativa Nº 482/2012 (ANEEL, 2012), em que o interessado é autorizado a gerar sua própria energia e até mesmo injetar o excedente produzido na rede adquirindo crédito sobre o saldo líquido. De acordo com a NBR-11704 (ASSOCIAÇÂO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) o tipo do sistema fotovoltaico pode ser ON-GRID, conectado à rede de distribuição, ou OFF-GRID, em que o interessado armazena sua própria geração.

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, devem atender os critérios estabelecidos dos seguintes documentos e normas técnicas brasileiras:

- **ABNT NBR-5410/2004 –** Instalações elétricas em baixa tensão;
- **ABNT NBR-IEC 62116:2012** – Procedimento de Ensaio de Anti-Ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica;
- **ABNT NBR-16150:2013** – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimentos de ensaio de conformidade
- **ABNT NBR-16149:2013** – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição;
- **ABNT NBR-16274:2014** – Sistemas FV conectados à rede – Requisitos mínimos para documentação, ensaio e comissionamento, inspeção e avaliação do desempenho;
- **ABNT NBR-16254-1-2014** – Materiais para sistemas de aterramento;
- **ABNT NBR-5419/2015** – Proteção contra descargas atmosféricas;
- **ABNT NBR-13248:2015** – Cabos de 1kV;
- **ABNT NBR-15751/2018** – Requisitos de Aterramento para Subestações;

- **ABNT NBR-16690:2019** – Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – Requisitos de Projeto;
- **ABNR NBR-16612:2020** - Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho.

Critério das normas técnicas distribuidora de energia em concessão da região, grupo ENERGISA:

- **NDU-001 Revisão 6.3** – Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária a Consumidores Individuais ou Agrupadas até 3 Unidades;
- **NDU-013 Revisão 4.1** - Critérios para Conexão de Acessantes de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição – Para conexão em Baixa Tensão.

Das resoluções normativas da ANEEL:

- **ANEEL RESOLUÇÃO Nº 482** - Resolução Nº 482 de 17 de abril de 2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica;
- **ANEEL RESOLUÇÃO Nº 687** - Resolução Nº 687 de 24 de novembro de 2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica;
- **MÓDULO 3 (PRODIST)** - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) – Acesso ao Sistema de Distribuição - Seção 3.7;
- **MÓDULO 8 (PRODIST)** - Resolução Nº 395 de 2009 da Agência Nacional de Energia Elétrica.

3 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR SOLAR

3.1 Demanda do projeto

O primeiro passo do dimensionamento do sistema fotovoltaico é verificar inicialmente qual será o valor pretendido a ser gerado pelo sistema fotovoltaico. Neste caso, como se quer atender o consumo residencial, verifica-se então, a média de consumo anual (12 meses) da residência pretendida, localizada no município de Cuiabá, Mato Grosso, que pertencente ao grupo B1 de atendimento, sendo o GRUPO ENERGISA a concessionária de energia responsável por reger as normativas de atendimento desta unidade consumidora, RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1000, 2021.

As informações sobre a média de consumo anual desta residência podem ser vistas pela tabela a seguir:

Tabela 1 – Consumo anual da unidade consumidora

MÊS	**CONSUMO (kWh)**
JUN/21	305
JUL/21	261
AGO/21	259
SET/21	456
OUT/21	479
NOV/21	465
DEZ/21	373
JAN/22	435
FEV/22	401
MAR/22	283
ABR/22	275
MAI/22	317
MÉDIA	360

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O dimensionamento do sistema fotovoltaico será feito sobre os dados do consumo mensal médio anual da unidade consumidora.

O próximo passo é conhecer o local disponível para instalação do projeto, que irá indicar o potencial disponível de geração solar. Através do levantamento do local por meio de imagens de satélite (Google Maps), foi constatado que a área livre do local é de aproximadamente 90 m² (15 m x 6 m), com projeção da área em direção ao norte devido a inclinação do telhado.

Figura 1 – Local da residência para o estudo de caso

Fonte: Satélite Google ® 2022

Em seguida procura-se as informações disponíveis sobre o potencial solar anual da cidade em questão. Essas informações sobre os dados da irradiação solar são fornecidas pelo portal CRESESB, Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB), ferramenta de auxílio para estudo de sistemas fotovoltaicos. Realizando a consulta sobre a cidade de Cuiabá, com as coordenadas geográficas, -15.612614669747403º -56.0260773764403º, no estado de Mato Grosso, obtém-se as seguintes informações:

Tabela 2 - Irradiação Solar entre os meses de janeiro a junho.

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Cuiaba
Município: Cuiaba , MT - BRASIL
Latitude: 15,601° S
Longitude: 56,049° O
Distância do ponto de ref. (15,612615° S; 56,026077° O) :2,8 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Plano Horizontal	0° N	5,46	5,33	5,17	4,91	4,41	4,36	4,52	5,40	5,13	5,31	5,56	5,71	5,11	1,35
☑	Ângulo igual a latitude	16° N	5,04	5,11	5,21	5,28	5,03	5,16	5,28	6,01	5,31	5,17	5,17	5,21	5,25	,98
☑	Maior média anual	16° N	5,04	5,11	5,21	5,28	5,03	5,16	5,28	6,01	5,31	5,17	5,17	5,21	5,25	,98
☑	Maior mínimo mensal	16° N	5,04	5,11	5,21	5,28	5,03	5,16	5,28	6,01	5,31	5,17	5,17	5,21	5,25	,98

FONTE: Portal CRESESB, 2017.

Tabela 3 - Irradiação Solar entre os meses de julho a dezembro.

Estação: Cuiaba
Município: Cuiaba , MT - BRASIL
Latitude: 15,601° S
Longitude: 55,949° O
Distância do ponto de ref. (15,612615° S; 56,026077° O) :8,4 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Plano Horizontal	0° N	5,44	5,28	5,19	4,95	4,45	4,41	4,55	5,44	5,12	5,28	5,56	5,66	5,11	1,25
☑	Ângulo igual a latitude	16° N	5,02	5,07	5,24	5,33	5,08	5,21	5,31	6,06	5,29	5,14	5,18	5,16	5,26	1,03
☑	Maior média anual	16° N	5,02	5,07	5,24	5,33	5,08	5,21	5,31	6,06	5,29	5,14	5,18	5,16	5,26	1,03
☑	Maior mínimo mensal	15° N	5,05	5,09	5,24	5,31	5,05	5,17	5,27	6,03	5,29	5,16	5,21	5,20	5,26	,98

FONTE: Portal CRESESB, 2017.

As tabelas 2 e 3, representam os valores de irradiação solar anual em cada mês, o valor médio, e os valores máximos e mínimos semestrais destacados em azul e vermelho, respectivamente, na região em que foi pesquisada.

Definidos então o consumo médio anual, o valor médio de irradiação solar, e a área disponível de instalação do sistema, prossegue-se para o dimensionamento da potência do inversor do sistema.

3.2 Inversosr

O inversor realiza a conversão da tensão da tensão contínua (C.C.) para corrente alternada (C.A.) que são fornecidos pelos módulos fotovoltaicos com amplitude e frequência determinadas (PINHO; GALDINO, 2014).

O valor da potência do inversor necessária para realizar a conversão de energia, é descrita pelo consumo médio da potência do local. Para tanto, utilizou-se o valor médio anual levando-se em consideração a variação dos valores de irradiação solar ao longo do ano, e somado junto a isso, o custo de disponibilidade de atendimento, segundo a Resolução Normativa ANEEL Nº 1000, 2021. Logo, temos que:

$$E_C = E_M - E_{CD}$$

Onde:

- E_C: Energia de Compensação (kWh);
- E_M: Energia Média de Consumo (kWh);
- E_{CD}: Energia do Custo de Disponibilidade (kWh).

O custo de disponibilidade, segundo a resolução ANEEL 1000, para rede bifásica a 3 condutores é de 50 kWh. Temos então que:

$$E_C = 360 - 50 = 310\ kWh$$

Pela equação a seguir, tem-se a potência que o sistema deve gerar:

$$P_{INV} = \frac{E_C}{I_M \times \eta}$$

Em que:

P_{INV}: Potência do Inversor (kWp);
I_M: Irradiação média horas de sol pico (h/dia);
η: Perdas totais do sistema.

Prosseguindo para o estudo de cálculo, sabe-se que o valor médio de irradiação solar é de 5,11 h/dia, fornecido pela tabela 3, e que a energia de compensação que o sistema deve ser capaz de gerar, é de 310 kWh/mensal, ou 11 kWh/dia.

Como natural de todo sistema, existem perda intrínsecas, como a perda por efeito Joule no cabeamento, perdas por temperatura, aquecimento dos módulos, que comprometem a eficiência nessa conversão. Os parâmetros que serão levados em conta para o cálculo da geração serão:

- Tipo de cobertura (ventilação);
- Direção da radiação solar;
- Inclinação;
- Fontes de sombreamento;
- Temperatura;
- Sujeira;
- Perdas de conversão CC-CA;
- Perdas por efeito Joule.

Por isso, o valor de rendimento admitido para o cálculo envolve 0,8 (PINHO; GALDINO, 2014). Então, para o cálculo da potência do sistema que o inversor deve ser capaz de produzir, deve ser de:

$$P_{INV} = \frac{11}{5{,}11 \times 0{,}8} = 2{,}691\ kWp = 2691\ Wp$$

Um inversor comercial que poderia ser utilizado para este propósito é um de 3 kW, da fabricante GroWatt, modelo MIN 3000TL-X, que atende com uma boa margem de operação, visto que ainda deverá ser escolhido os módulos que irão compor o sistema, que será abordado em sequência.

Figura 2 - Inversor GroWatt MIN 3000TL-X

Fonte: GroWatt, 2022

Figura 3 - Folha dos dados técnicos do inversor

Ficha de dados	MIN 3000TL-X
Dados de entrada	
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para o módulo STC)	4200W
Máxima tensão CC	500V
Tensão de partida	
Faixa de tensão de MPPT / tensão nominal de MPPT	60V-500V /360V
Corrente máxima de entrada	13.5A/13.5A
Máxima corrente curto-circuito por trackers MPP	16A/16A
Número de MPPT / strings por MPPT	2/1
Saída (CA)	
Potência nominal de saída CA	3000W
Potência aparente máxima de CA	3000VA
Corrente máxima de saída	13.6A
Tensão nominal de saída (Faixa)	230V(160V-300V)
Frequência de rede CA(Faixa)	50Hz/60Hz, ±5Hz
Fator de potência ajustável	0.8i-0.8c
THDi	<3%
Conexão CA	Fase única
Eficiência	
Máxima eficiência	98.2%
Eficiência europeia	97.1%
Eficiência MPPT	99.9%

Fonte: GroWatt, 2022

3.3 Módulo fotovoltaico

O painel fotovoltaico é composto por um conjunto de células fotovoltaicas, agrupadas em série ou paralelo afim de se obter níveis de tensão e corrente para o circuito. O material básico utilizado na fabricação das células solares, em grande maioria é o silício, sendo recorrente acrescentar em sua estrutura outros materiais para dar rigidez contra choques mecânicos e proteção contra intempéries, bem como aumentar a eficiência da absorção de radiação luminosa.

Existe uma grande variedade de fabricantes de painéis solares, que disponibilizam a folha de dados com as características dessa célula, informações como potência, quantidade de células, resistência mecânica, tecnologia de fabricação, ente outros.

Nesse estudo, será utilizado os módulos solares da fabricante JA SOLAR, modelo JAM72S30-550/MR de 550W por módulo, que irá totalizar 06 módulos ao total do sistema (550*6 = 3300 kW), que é mais do que suficiente para atender o projeto. As informações técnicas deste módulo são:

Figura 4 - Módulo Fotovoltaico

Fonte: Deep Blue

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS MÓDULOS	
Fabricante	JASOLAR
Modelo	JAM72S30-550/MR
Tecnologia de contrução	Silício Monocristalino
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS	
Potência máxima	550 W
Rendimento	≥ 21,30 %
Tensão Nominal	41,96 V
Tensão em Aberto	49,90 V
Corrente Nominal	13,11 A
Corrente de Curto-Circuito	14,00 A
Coeficiente de Temperatura	-0,35 % / ºC
Tolerância de Potência	± 5 W
DIMENSÕES	
Dimensões	2278 x 1134 x 35 mm
Peso	28,6 Kg

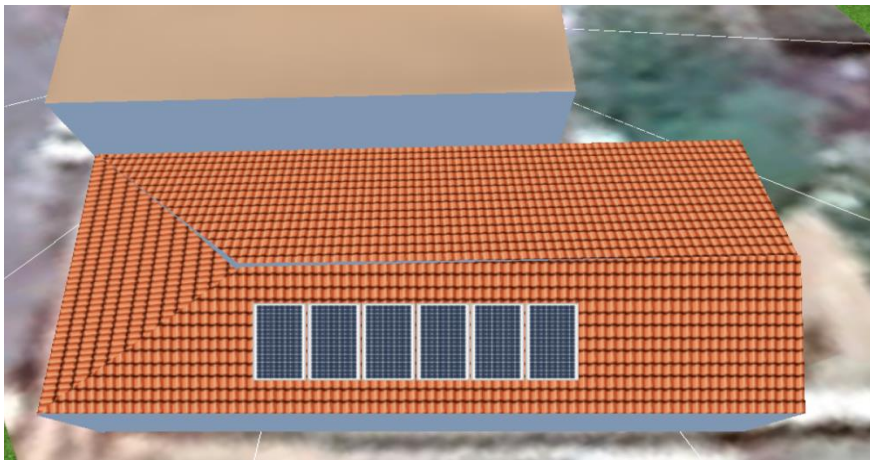
A contribuição da geração entre vários módulos juntos (conhecida como arranjo ou string) deve ser tomada com atenção, especialmente sobre a potência máxima que o inversor é capaz de trabalhar, especificado pela tabela do fabricante, assim como a tensão derivada dos módulos e os aspectos deste módulo fotovoltaico. O valor de operação da tensão do inversor em CC é descrito pelo valor mínimo e máximo, em que o valor mínimo é tensão de partida, e para o valor máximo é dado pelo valor de operação nominal do equipamento. Esses módulos quando conectados em série devem seguir os mesmos aspectos de geração, como potência, tensão e corrente, de modo a evitar incompatibilidades e influências na geração, como danos aos equipamentos.

A disposição dos módulos no local estudado é realizada buscando a melhor inclinação favorável ao bom desempenho de geração, mas que caso não seja possível, tenta-se então encontrar a melhor distribuição pelo telhado por questões de praticidade. É comum utilizar estruturas ou suportes específicos com orientação e inclinação que permitem maior aproveitamento da irradiação solar.

3.4 Simulação Software PVSOL

Um dos grandes aliados para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos é o uso softwares que realizam simulações, análises de viabilidade do projeto para orientar nas escolhas dos dispositivos que irão compor o sistema. O PVSOL é um software que realiza uma análise aprofundada sobre as questões do dimensionamento solar, fornecendo várias ferramentas de cálculos computacionais, que geram um relatório a respeito de um sistema pré-configurado.

Figura 5 - Simulação local instalação projeto

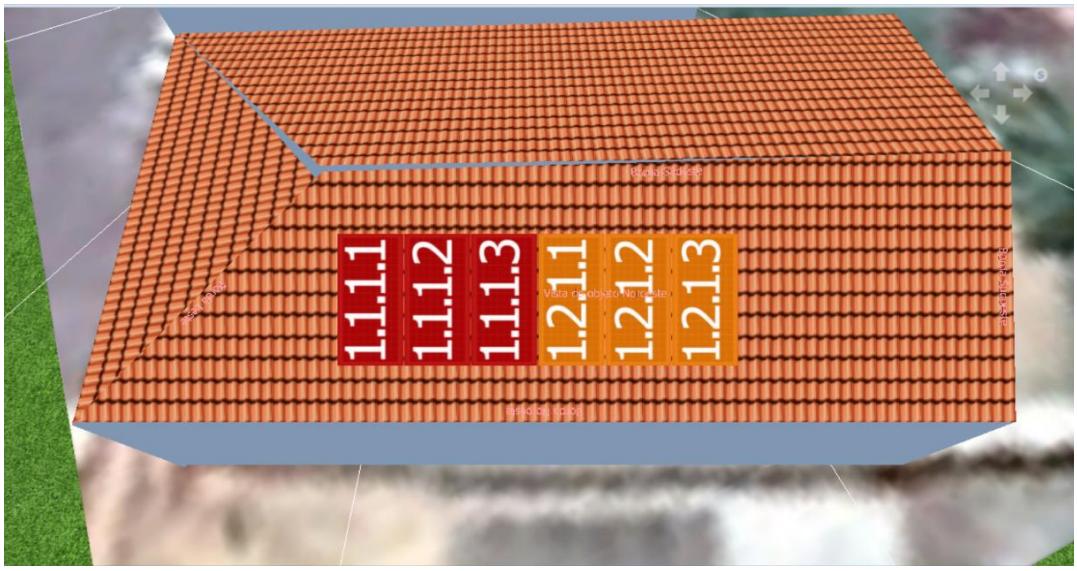


Fonte: Software PVSOL

É definido dentro do programa, o local disponível da cobertura para geração, do tipo de inversor que se pretende utilizar, quais módulos irão compor o sistema e como ficará o arranjo dele visto pelo inversor, que por sua vez irá apontar se aquele conjunto definido pelo usuário será capaz de providenciar a energia de geração pretendida para consumo.

Na simulação do software é possível também determinar como será a ligação dos painéis no inversor, que no caso ficou estabelecido como 02 strings composta de 03 módulos cada, ou seja, serão 03 módulos conectados em série e ligados na MPPT do inversor, confomre pode ser vista pela figura abaixo:

Figura 6 - Simulação local instalação projeto



Fonte: Software PVSOL

3.5 Cabos condutores elétricos

3.5.1 Trecho em corrente contínua

O dimensionamento dos condutores deve seguir a norma ABNT NBR 5410 (2004), observando a corrente de operação dos módulos, em que os cabos positivo e negativo são conectados ao inversor. Utiliza-se o critério de dimensionamento por queda de tensão ou por ampacidade, prevalecendo aquele que possuir o maior valor de cálculo encontrado para corrente, que será utilizado para o cálculo da seção do condutor. Pelo método da ampacidade, tem-se que:

$$Ib = \frac{P}{V\ x\ cos\emptyset}$$

Onde:

- $Ib = Corrente\ de\ Projeto\ (A)$
- $P = Potência\ Nominal\ do\ Inversor\ (W)$
- $V = Tensão\ CA\ Nominal\ do\ Inversor\ (V)$
- $cos\emptyset = Fator\ de\ Potência\ do\ Inversor$

$$Ib = \frac{3000}{220\ \times\ 1} = 14{,}00\ A$$

Para efeitos de cálculo da corrente pelo método da ampacidade, considera-se a seguinte equação:

$$Ib' = \frac{Ib}{(FCT\ x\ FCA)}$$

Em que:

- $Ib' = Corrente\ Fictícia\ (A)$
- $FCT = Fator\ de\ Correção\ de\ Temperatura$
- $FCA = Fator\ de\ Correção\ de\ Agrupamento$

Figura 7 – Tabela sobre fator de correção de temperatura

Tabela 40 — Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30°C para linhas não-subterrâneas e de 20°C (temperatura do solo) para linhas subterrâneas

Temperatura °C	Isolação	
	PVC	EPR ou XLPE
Ambiente		
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87

Fonte: NBR-5410

Figura 8 – Tabela sobre fator de correção de condutores agrupados

Tabela 42 — Fatores de correção aplicáveis a condutores agrupados em feixe (em linhas abertas ou fechadas) e a condutores agrupados num mesmo plano, em camada única

Ref.	Forma de agrupamento dos condutores	Número de circuitos ou de cabos multipolares												Tabelas dos métodos de referência
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 a 11	12 a 15	16 a 19	≥20	
1	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	36 a 39 (métodos A a F)
2	Camada única sobre parede, piso, ou em bandeja não perfurada ou prateleira	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70				36 e 37 (método C)
3	Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	Camada única em bandeja perfurada	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				38 e 39 (métodos E e F)
5	Camada única sobre leito, suporte etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

Fonte: NBR-5410

$$Ib' = \frac{14}{(0{,}91\ x\ 1)} = 15{,}38\ A$$

O condutor adotado deverá possuir uma capacidade de condução de corrente mínima de aproximadamente 16 A. De acordo com a figura 8, a capacidade de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D, seria possível utilizar um condutor de 1 mm² de seção para atender este sistema, visto pelo cálculo pelo método de ampacidade, mas ainda deve-se analisar se a queda de tensão do trecho está com o valor aceitável o qual não comprometa o sistema.

Figura 9 – Tabela sobre relação seção nominal cabo condutor e corrente de condução

Tabela 37 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D
Condutores: cobre e alumínio
Isolação: EPR ou XLPE
Temperatura no condutor: 90°C
Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101

Fonte: NBR-5410

O dimensionamento da seção dos cabos condutores pelo método da queda de tensão, é definido como:

$$S = 100 \times 2 \times \frac{\rho}{\Delta V\%} \times \sum \frac{L \times Ib}{V}$$

Onde:

- $S - Seção\ mínima\ do\ condutor\ (mm^2)$;
- $\rho - Resistividade\ do\ material\ condutor$ (aproximadamente 0,018 para cobre);
- $\Delta V\% - Queda\ de\ tensão\ admissível\ (\%)$;
- $L - Distância\ do\ percurso\ (m)$;
- $Ib - Corrente\ de\ Projeto\ (A)$;
- $V - Tensão\ Nominal\ do\ Inversor\ (V)$.

$$S = 100 \times 2 \times \frac{0{,}018}{2\%} \times \sum \frac{30 \times 14{,}00}{220}$$

$$S = 3{,}44\ mm^2$$

Se for considerado um percurso de 30 metros entre a saída do módulo até a entrada do inversor, e que a corrente de projeto é a corrente de curto-circuito do inversor, no valor de 14 A, verifica-se que o melhor critério para dimensionamento do condutor é pelo método da queda de tensão, pois a seção do cabo analisado é superior àquele obtido por esse método, definindo-se então que o cabo condutor adotado para o sistema deverá ser de 4 mm², como visto pela figura a seguir:

Figura 10 – Tabela sobre relação seção nominal cabo condutor e corrente de condução

Tabela 37 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D
Condutores: cobre e alumínio
Isolação: EPR ou XLPE
Temperatura no condutor: 90°C
Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101

Fonte: NBR-5410

3.5.2 Trecho em corrente alternada

Não obstante do dimensionamento do trecho em corrente contínua, o trecho em corrente alternada também deve respeitar os critérios da ABNT NBR 5410 (2004). Pelo método da ampacidade, vemos que:

$$Ib = \frac{P}{V\ x\ cos\emptyset} = \frac{3000}{220\ \times\ 1} = 14{,}00\ A$$

Aplicando a fórmula de correção da corrente, teremos que:

$$Ib' = \frac{Ib}{(FCT\ x\ FCA)} = \frac{14}{(0{,}91\ x\ 1)} = 15{,}38\ A$$

O dimensionamento da seção dos cabos condutores pelo método da queda de tensão, é definido como:

$$S = 100 \times 2 \times \frac{\rho}{\Delta V\%} \times \sum \frac{L \times Ib}{V}$$

Onde:

- $S - Seção\ mínima\ do\ condutor\ (mm^2)$;
- $\rho - Resistividade\ do\ material\ condutor$ (aproximadamente 0,018 para cobre);
- $\Delta V\% - Queda\ de\ tensão\ admissível\ (\%)$;
- $L - Distância\ do\ percurso\ (m)$;
- $Ib - Corrente\ de\ Projeto\ (A)$;
- $V - Tensão\ Nominal\ do\ Inversor\ (V)$.

$$S = 100 \times 2 \times \frac{0{,}018}{2\%} \times \sum \frac{25 \times 14{,}00}{220}$$

$$S = 2{,}86\ mm^2$$

Se for considerado um percurso de 25 metros entre a saída do inversor até o quadro geral de distribuição, verifica-se que o melhor critério para dimensionamento do condutor é pelo método da queda de tensão, pois a seção do cabo analisado é superior àquele obtido por esse método, definindo-se então que o cabo condutor adotado para o sistema deverá ser de 4 mm², como visto pela figura a seguir:

Figura 11 – Tabela sobre relação seção nominal cabo condutor e corrente de condução

Tabela 37 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D
Condutores: cobre e alumínio
Isolação: EPR ou XLPE
Temperatura no condutor: 90°C
Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101

Fonte: NBR-5410

A especificação do condutor neutro é definida pela tabela da NBR-5410, e para este caso também será utilizado um cabo condutor de 4 mm².

Figura 12 – Tabela sobre seção reduzida do condutor neutro

Tabela 48 — Seção reduzida do condutor neutro[1)]

Seção dos condutores de fase mm²	Seção reduzida do condutor neutro mm²
S ≤ 25	S
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185

Fonte: NBR-5410

Para o cabo condutor de proteção, seguiu-se a especificação da tabela 58 da NBR-5410 (2004), onde utilizou-se um cabo condutor de 4 mm².

Figura 13 – Tabela sobre seção mínima do condutor de proteção

Tabela 58 — Seção mínima do condutor de proteção

Seção dos condutores de fase S mm^2	Seção mínima do condutor de proteção correspondente mm^2
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

Fonte: NBR-5410

3.3. Dispositivos de proteção

O equipamento utilizado no sistema para proteção é o DPS, Dispositivo de Proteção contra Surtos. O DPS é responsável por proteger o sistema em situações de surtos ocasionados por descargas atmosféricas, sendo conectado em paralelo com a chave seccionadora e cabos, e juntamente ligado ao cabo de aterramento do circuito. O cálculo da especificação do disjuntor pode ser descrito como:

$$Ib \leq In \leq Iz$$

Onde:

- $Ib = Corrente\ de\ Projeto\ (A)$
- $In = Corrente\ Nominal\ do\ Inversor\ (A)$
- $Iz = Capacidade\ de\ Condução\ de\ Corrente\ Corrigida\ do\ Cabo\ utilizado\ (A)$

$$13{,}6\ A \leq In \leq 42 \times 0{,}91$$
$$13{,}6\ A \leq In \leq 38{,}22\ A$$

Um disjuntor comercial que atende essa faixa de corrente calculada é um do tipo 25 A.

Para a proteção do inversor, utilizamos as proteções com as funções, 27, 59, 81, e 25, de acordo o padrão ANSI, American National Standards Institute, em que cada numeração representa uma proteção para determinado tipo, descrito a seguir:

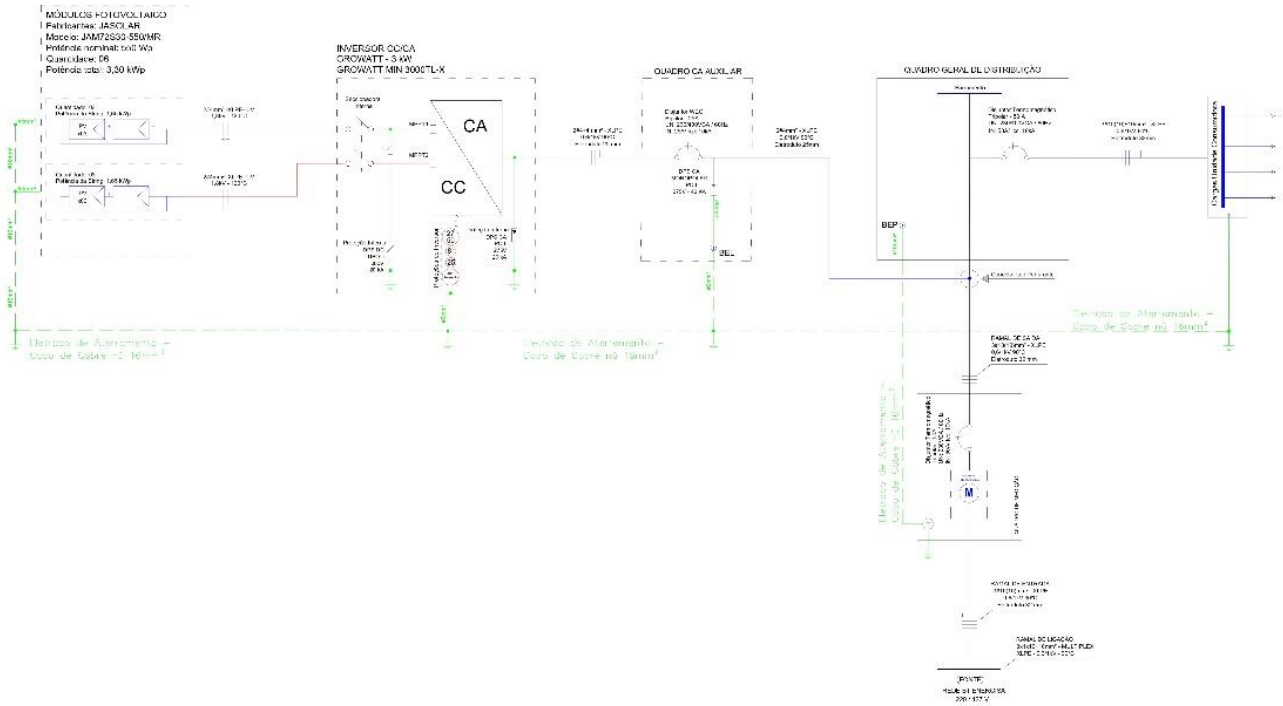
- Proteção para subtensão, 27 (relé de subtensão);
- Proteção para sobretensão, 59 (relé de sobretensão);
- Proteção para sub/sobrefrequência, 81 (relé de sub/sobrefrequência);
- Verificação de sincronismo ou sincronização, 25 (relé de verificação de sincronismo);

Dessa forma, determinado todos equipamentos utilizados para o projeto, será preciso elaborar os documentos de representação do sistema, para que possar ser homologado na concessionária de energia elétrica. Para isso, é utilizada a ferramenta de desenho técnico, AutoCAD, para elaboração destes documentos técnicos.

4.2. Diagrama unifilar

A representação dos equipamentos dentro sistema é detalhada pelo seu diagrama unifilar, sendo a representação geral das ligações elétricas entre os dispositivos, conforme visto pela figura a seguir:

Figura 14 - Diagrama Unifilar



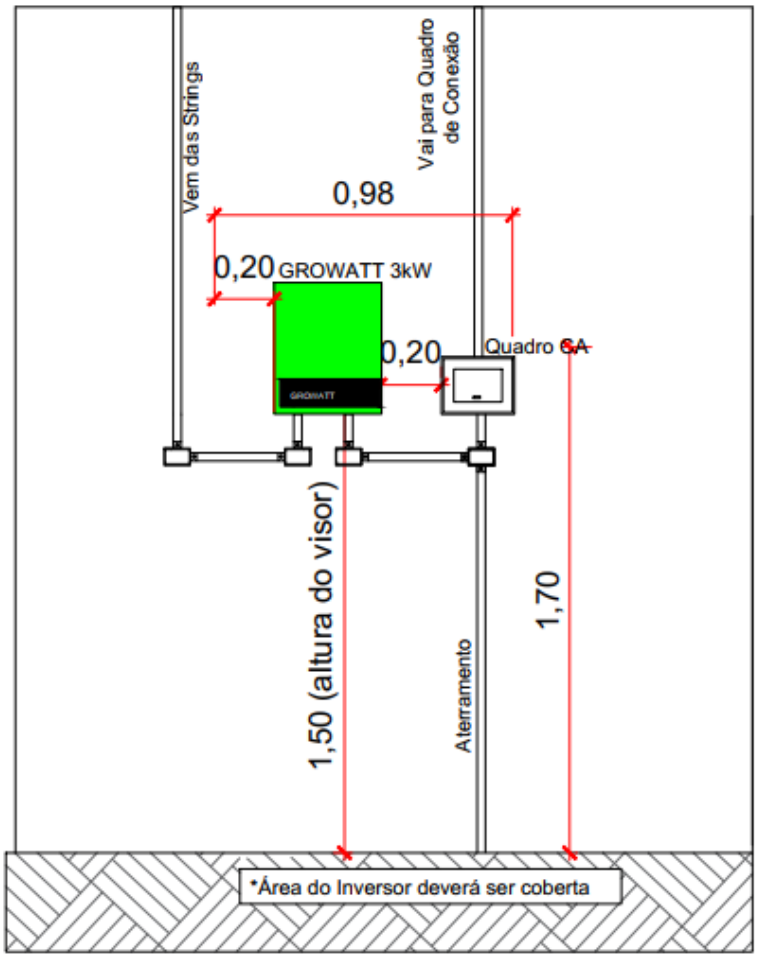
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Por questões de segurança, os equipamentos do projeto devem estar todos aterrados, partindo da estrutura dos módulos, do inversor, até a conexão do padrão de entrada da unidade consumidora.

4.2. Parede instalação do inversor

O local de instalação do inversor será em um lugar coberto adequado, de fácil acesso, com uma altura de visor a 1,50 m do piso acabado. Seu layout representativo de instalação pode ser visto pela figura abaixo:

Figura 15 – Ilustração instalação inversor



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.2. PADRÃO DE ENTRADA ENERGIA ELÉTRICA

O padrão de entrada da unidade consumidora se encaixa na categoria bifásico, tipo B2, conforme tabela 14 da NDU – 001, com disjuntor de proteção de 50 A, conforme norma dentro dos limites estabelecidos em norma, em que o padrão de entrada do cliente já está adequado para receber o sistema fotovoltaico, não havendo necessidade de readequação.

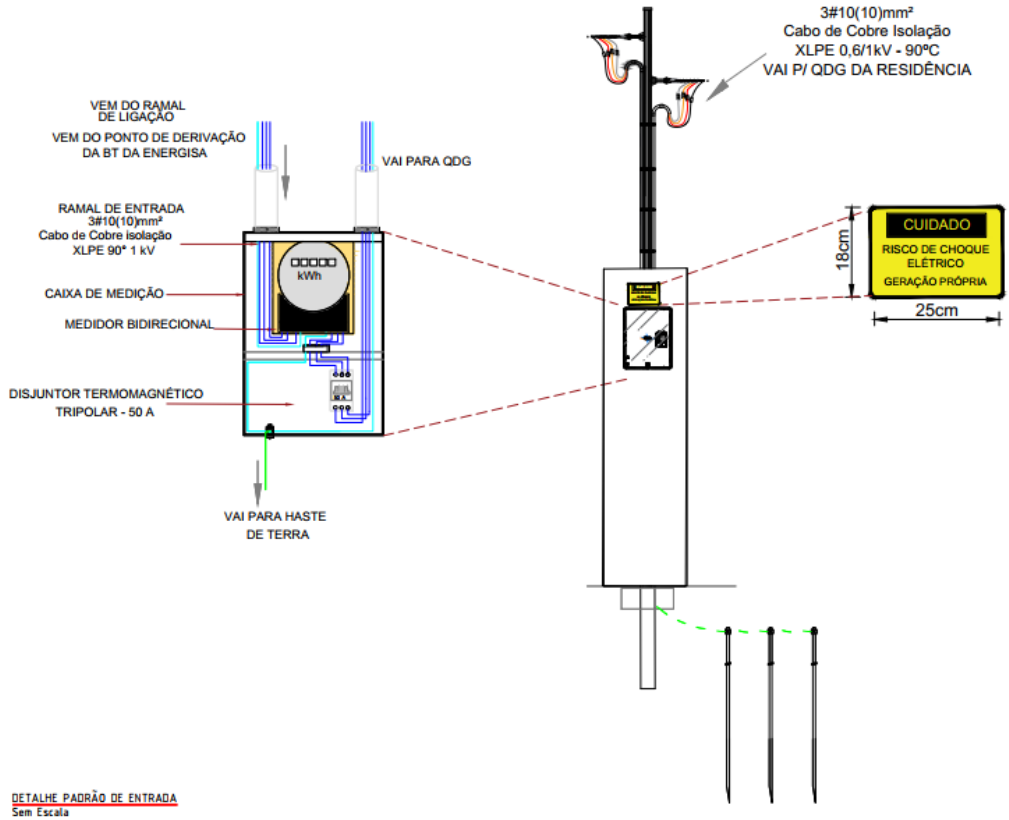
Figura 16 – Tabela do dimensionamento das categorias de atendimento

TABELA 14 - Dimensionamento das categorias de atendimento - 220/127 V

Categoria		Número de fios	Número de fases	Demanda (kW)	Carga instalada (kW)	Condutores: Ramal de ligação: Multiplex (mm²)	Condutores: Ramal de ligação: Concêntrico (mm²)	Condutores: Ramal de entrada enterrado e subterrâneo (Temperatura no condutor: 70° C) (mm²)	Condutores: Ramal de entrada enterrado e subterrâneo (Temperatura no condutor: 90° C) (mm²)	Aterramento: Condutor aterramento (mm²)	Aterramento: Haste para aterramento tipo (obrigatório)	Disjuntor termomagnético (A)	Eletroduto: PVC Rígido (mm)	Eletroduto: Aço galvanizado (mm)	Poste: Concreto duplo T (daN)	Poste: Aço galvanizado (daN)	Pontalete (mm)
Monofásico	M1	2	1		0 < C ≤ 3,8	1x1x10+10	2x10	6 (6)	6 (6)	6	1H	30/32	25	25	100	90	40
	M2				3,8 < C ≤ 6,3	1x1x10+10	2x10	10 (10)	10 (10)	10		50					
	M3				6,3 < C ≤ 8,8	1x1x16+16	2x16	16 (16)	16 (16)	16		70					
Bifásico	B1	3	2		0 < C ≤ 10,1	2x1x10+10	2x10	2 # 6 (6)	2 # 6 (6)	6	1H	40	32	32	100	90	50
	B2				10,1 < C ≤ 12,7	2x1x16+16	N.A.	2 # 10 (10)	2 # 10 (10)	10		50					
	B3				12,7 < C ≤ 17,7	2x1x25+25	N.A.	2 # 16 (16)	2 # 16 (16)	16		70					
Trifásico	T1	4	3	0 < D ≤ 14,0	0 < C ≤ 25	3x1x10+10	N.A.	3 # 10 (10)	3 # 6 (6)	6	2H	40	32	32	100	90	50
	T2			14,0 < D ≤ 17,5		3x1x16+16	N.A.	3 # 16 (16)	3 # 10 (10)	10		50					
	T3			17,5 < D ≤ 24,5		3x1x25+25	N.A.	3 # 25 (25)	3 # 16 (16)	16		80	40	40		200	N.A.
	T4			24,5 < D ≤ 35,1		3x1x35+35	N.A.	3 # 35 (35)	3 # 25 (25)	16		100	50	50	300		N.A.
	T5			35,1 < D ≤ 52,5		3x1x70+70	N.A.	3 # 70 (35)	3 # 70 (35)	35		150	65	75	600	N.A.	N.A.
	T6			52,53 < D ≤ 75,0		3x1x120+70	N.A.	N.A.	3 # 95 (50)	50		200				N.A.	N.A.

Fonte: NDU-001, concessionária de energia GRUPO ENERGISA.

Figura 17 – Detalhe padrão de energia

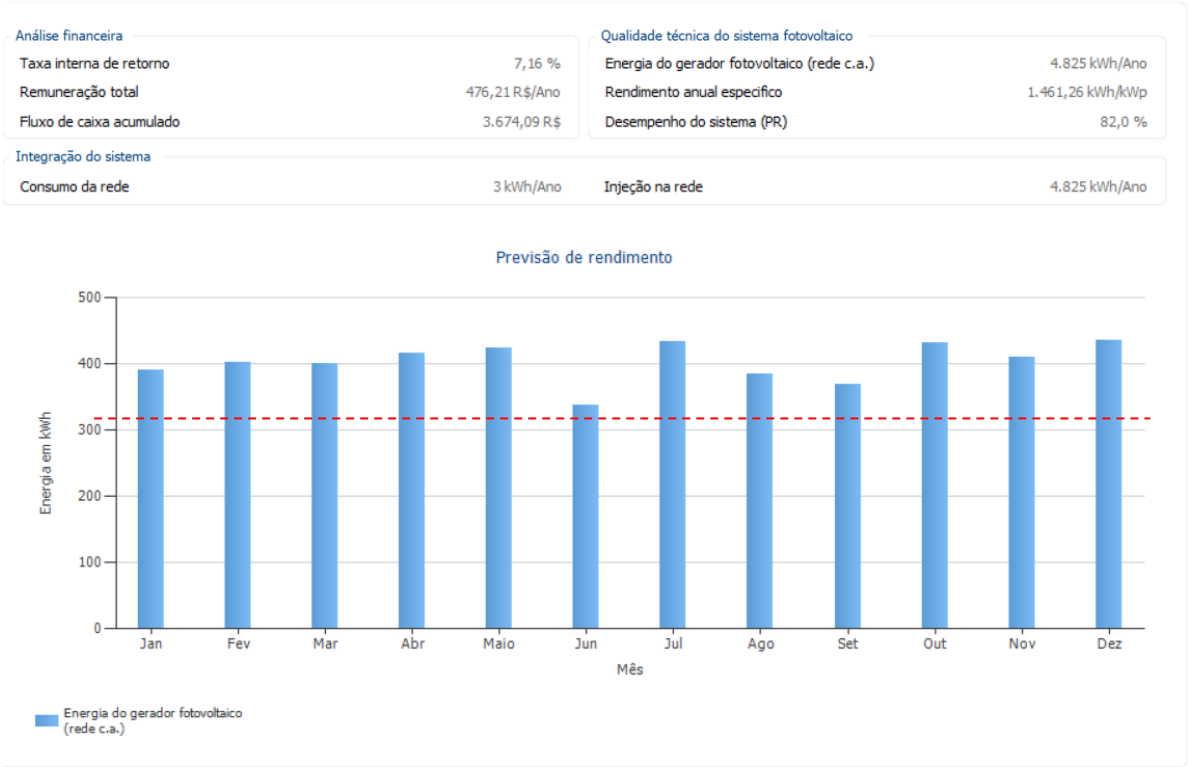


Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através da projeção dos elementos utilizados, pode-se então fazer uma análise de geração de energia e observar a representação do projeto por meio de softwares para cálculos computacionais dos valores de geração produzidos. Através do PVSOL, estima-se qual será a geração mensal do sistema fotovoltaico, levando em conta o sombreamento e o índice de irradiação solar, definido pelas configurações de simulação dentro do programa, com o seguinte resultado obtido pela figura a seguir:

Figura 18 - Simulação previsão geral sistema



Fonte: Software PVSOL

De acordo com o gráfico obtido, projeta-se uma geração média mensal de aproximadamente 400 kWh/mês, e uma geração de aproximadamente 4800 kWh/ano, que para a projeção do estudo, 310 kWh/mês ou 3720 kWh/ano, está num valor mais que aceitável.

5 CONCLUSÕES GERAIS

O objetivo geral deste trabalho foi analisar o desenvolvimento de um sistema para geração fotovoltaica, na qual fosse desenvolvido o estudo do dimensionamento dos dispositivos necessários para construção desse sistema, como as funções que executam, respeitando os requisitos determinados pelas normas técnicas. Em conjunto disso, foram utilizados dados técnicos (datasheet) dos fabricantes dos equipamentos, catálogos ao longo do trabalho no projeto, como também, desenhos esquemáticos, diagramas representativos do sistema.

A análise é desenvolvida partindo do cálculo da média de consumo mensal (kWh/mês) e levantamento do espaço disponível para a instalação do sistema que é diretamente relacionada com a área aberta capaz de ser usada para a própria geração. Com isto, o cálculo da potência de geração necessária para o sistema fotovoltaico é feito levando em consideração a demanda necessária para o caso estudado, que indicará assim, o inversor requerido para operação, juntamente com a quantidade de módulos que irá compor o sistema, e por fim, é de suma importância determinar os dispositivos de proteção para garantir segurança para operar corretamente o processo de conversão de energia a ser realizada pelo sistema fotovoltaico.

Dessa maneira, compreender o processo de dimensionamento desse sistema de geração, é de grande importância para o crescimento profissional do engenheiro eletricista, pois é um estudo que envolve diversos conceitos a respeito da área de eletricidade, em especial um dos tipos de geração na matriz das fontes de energia elétrica, que é a energia solar, e aplicar esses conceitos para a elaboração de um projeto que seja capaz de atender a proposta de atender a necessidade de uma demanda de carga unidade consumidora.

6 REFERÊNCIAS

[01] – PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. Rio de Janeiro, março, 2008.

[02] - ANEEL, Resolução Normativa Nº 1000/2021. Disponível em https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651. Acesso em: 01 de novembro de 2022.

[03] - ABNT NBR 5410, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro, 2004.

[04] - NDU-001, NORMA DE DISTRIBUIÇÃO UNIFICADA 001: Fornecimento de Energia Elétrica a Edificações Individuais ou Agrupadas até 3 Unidades Consumidores, 2019. Disponível em: https://www.energisa.com.br/empresa/Documents/ndu/NDU%20001%20V6.1.pdf. Acesso em: 14 de novembro de 2022.

[05] – Empresa de Pesquisa Energética, Matriz Energética e Elétrica, 2022. Disponível em https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica. Acesso em: 14 de novembro de 2022

[06] - GROWATT, Inversor Monofásico/Bifásico de 1-3kW, 2021. Disponível em: http://www.ginverter.pt/show-40-640.html#Download. Acesso em 14 de Novembro de 2022.

[07] JÁ SOLAR HOLDINGS CO., Módulos fotovoltaicos JAM72S30 525-550/MR/1500V. Disponível em: https://www.jasolar.com/uploadfile/2021/0706/20210706053524693.pdf. Acesso em 14 de novembro de 2022.

[08] CRESESB/CEPEL. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito; Grupo de trabalho de Energia Solar. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro:2014.

[09] URBANETZ JR, J. Aspectos tecnológicos e operacionais da geração fotovoltaica. Conferência Internacional Smart Energy Paraná. 2014d.

[10] PORTAL SOLAR. Portal Solar. 2021. Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/

7 APÊNDICES

APÊNDICE A – FOLHA TÉCNICA DO INVERSOR (FOLHA 01/02).

APÊNDICE A – FOLHA TÉCNICA DO INVERSOR (FOLHA 02/02).

Ficha de dados	MIN 3000TL-X
Dados de entrada	
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para o módulo STC)	4200W
Máxima tensão CC	500V
Tensão de partida	
Faixa de tensão de MPPT / tensão nominal de MPPT	60V-500V /360V
Corrente máxima de entrada	13.5A/13.5A
Máxima corrente curto-circuito por trackers MPP	16A/16A
Número de MPPT / strings por MPPT	2/1
Saída (CA)	
Potência nominal de saída CA	3000W
Potência aparente máxima de CA	3000VA
Corrente máxima de saída	13.6A
Tensão nominal de saída (Faixa)	230V(160V-300V)
Frequência de rede CA(Faixa)	50Hz/60Hz ±5Hz
Fator de potência ajustável	0.8i-0.8c
THDi	<3%
Conexão CA	Fase única
Eficiência	
Máxima eficiência	98.2%
Eficiência europeia	97.1%
Eficiência MPPT	99.9 %
Dispositivos de proteção	
Proteção de polaridade reversa de CC	sim
Interruptor CC	sim
Proteção de sobretensão CC	TipoII
Proteção de sobrecorrente de saída	sim
Proteção de sobretensão CA	TipoII
Monitoramento de falta à terra	sim
Monitoramento de grade	sim
Unidade de monitoramento de corrente de vazamento sensível a todos os pólos integrada	sim
Dados Gerais	
Dimensões (L/A/P)	375/350/160mm
Peso	10.8kg
Faixa de temperatura operacional	-25°C... +60°C
Emissão de ruído (típico)	≤35 dB(A)
Altitude	4000m
Auto-consumo à noite	< 1W
Topologia	Sem transformador
Resfriamento	Resfriamento Natural
Grau de proteção ambiental	IP65
Humidade relativa	100%
Caractrísticas	
Conexão CC	H4 / MC4
Conexão CA	Conector
Exibição	OLED+LED
Interfaces: RS485 / USB	Sim/
Garantia: 5 anos	Sim/
CE, IEC62109, G98, G99, VDE0126-1-1, AS4777, AS/NZS 3100, VDE-AR-N4105, CQC, IEC61683, IEC60068, IEC61727, IEC62116, INMETRO	

GROWATT NEW ENERGY TECHNOLOGY Co.,LTD A: No.28 Guangming Road, Longteng Community, Shiyan, Baoan District, Shenzhen, P.R.China.
T: + 86 755 2747 1900 F: + 86 755 2749 1460 E: info@ginverter.com

APÊNDICE B – FOLHA TÉCNICA DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS (FOLHA 01/02).

- Maior geração de potência
- Menor LCOE / Menor custo da energia produzida
- Menores perdas resistivas e por sombreamento
- Melhor tolerância a esforços mecânicos

Garantia Superior

- 12-anos garantia de produto
- 25-anos garantia de geração de potência linear

Certificados

- IEC 61215, IEC 61730,UL 61215, UL 61730
- ISO 9001 : 2015 Sistema de Gestão da Qualidade
- ISO 14001: 2015 Gestão do meio ambiente
- ISO 45001: 2018 Saúde ocupacional e gestão da segurança
- IEC TS 62941: 2016 Módulos fotovoltaicos terrestres (FV) - Guia para maior confiabilidade no design de módulos FV qualificação e aprovação por tipo

JA SOLAR

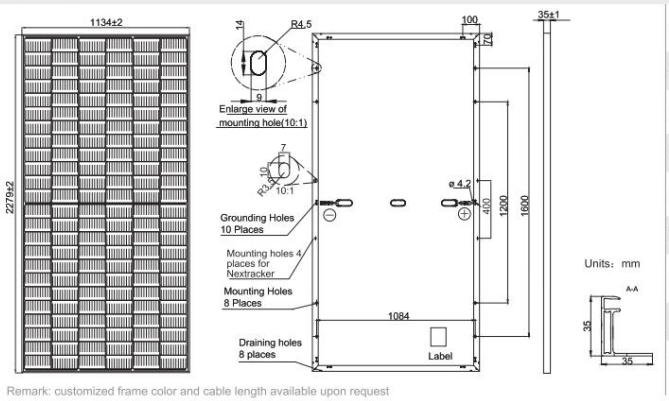
www.jasolar.com
Especificações sujeitas a mudanças e testes.
JA Solar se reserva ao direito da interpretação final.

APÊNDICE B – FOLHA TÉCNICA DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS (FOLHA 02/02).

JA SOLAR

JAM72S30 530-555/MR Series

DIAGRAMA MECÂNICO



Remark: customized frame color and cable length available upon request

ESPECIFICAÇÕES

Célula	Mono
Peso	28.6kg±3%
Dimensões	2278±2mm×1134±2mm×35±1mm
Seção transversal do cabo	4mm² (IEC), 12 AWG(UL)
Nº de células	144(6×24)
Caixa de Junção	IP68, 3 diodos
Conector	QC 4.10(1000V) QC 4.10-35(1500V)
Comprimento do cabo (Incluindo Conector)	Porta-retrato: 300mm(+)/400mm(-); Paisegem: 1300mm(+)/1300mm(-)
Configuração da Embalagem	31pcs/Pallet 620pcs/40HQ Container

PARAMÊTROS ELÉTRICOS NA STC

Tipo	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR	JAM72S30 -555/MR
Potência Máxima(Pmax) [W]	530	535	540	545	550	555
Tensão de Circuito Aberto(Voc) [V]	49.30	49.45	49.60	49.75	49.90	50.02
Tensão na Potência Máxima(Vmp) [V]	41.31	41.47	41.64	41.80	41.96	42.11
Corrente de Curto-circuito(Isc) [A]	13.72	13.79	13.86	13.93	14.00	14.07
Corrente na Potência Máxima(Imp) [A]	12.83	12.90	12.97	13.04	13.11	13.18
Eficiência do Módulo [%]	20.5	20.7	20.9	21.1	21.3	21.5
Tolerância de Potência	±5W					
Coeficiente de Temperatura da Isc(α_Isc)	+0.045%/°C					
Coeficiente de Temperatura da Voc(β_Voc)	-0.275%/°C					
Coeficiente de Temperatura da Pmax(γ_Pmp)	-0.350%/°C					
STC (Condições de Teste Padrão)	Irradiância 1000W/m², temperatura das células 25°C, AM1.5G					

Observações: Os dados neste catálogo não se referem a um módulo específico e não são parte da oferta. Eles somente servem como comparação entre módulos distintos.

PARÂMETROS ELÉTRICOS NA NOCT

Tipo	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -53 /MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR	JAM72S30 -555/MR
Potência Máxima(Pmax) [W]	401	405	408	412	416	420
Tensão de Circuito Aberto(Voc) [V]	46.18	46.31	46.43	46.55	46.68	46.85
Tensão na Potência Máxima(Vmp) [V]	38.57	38.78	38.99	39.20	39.43	39.66
Corrente de Curto-circuito(Isc) [A]	11.01	11.05	11.09	11.13	11.17	11.21
Corrente na Potência Máxima(Imp) [A]	10.39	10.43	10.47	10.51	10.55	10.59
NOCT	Irradiância 800W/m², temperatura ambiente 20°C, velocidade do vento 1m/s, AM1.5G					

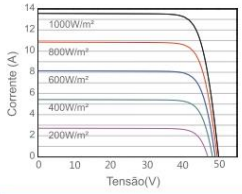
*Para instalações NexTracker, Carga Estática Máxima, Frontal 2000Pa, enquanto, Carga Máxima Estática Traseira 2000Pa

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

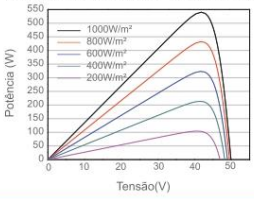
Tensão Máxima do Sistema	1000V/1500V DC
Temperatura Operacional	-40℃~+85℃
Classificação Máxima de Fusíveis em Série	25A
Carga Estática Máxima, Frontal* Carga Estática Máxima, Traseira*	5400Pa(112lb/ft²) 2400Pa(50lb/ft²)
NOCT	45±2℃
Classe de Segurança	Class Ⅱ
Classificação Contra Fogo	UL Type 1

CARACTERÍSTICAS

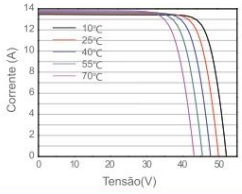
Curva de Corrente-Tensão JAM72S30-540/MR



Curva de Potência-Tensão JAM72S30-540/MR

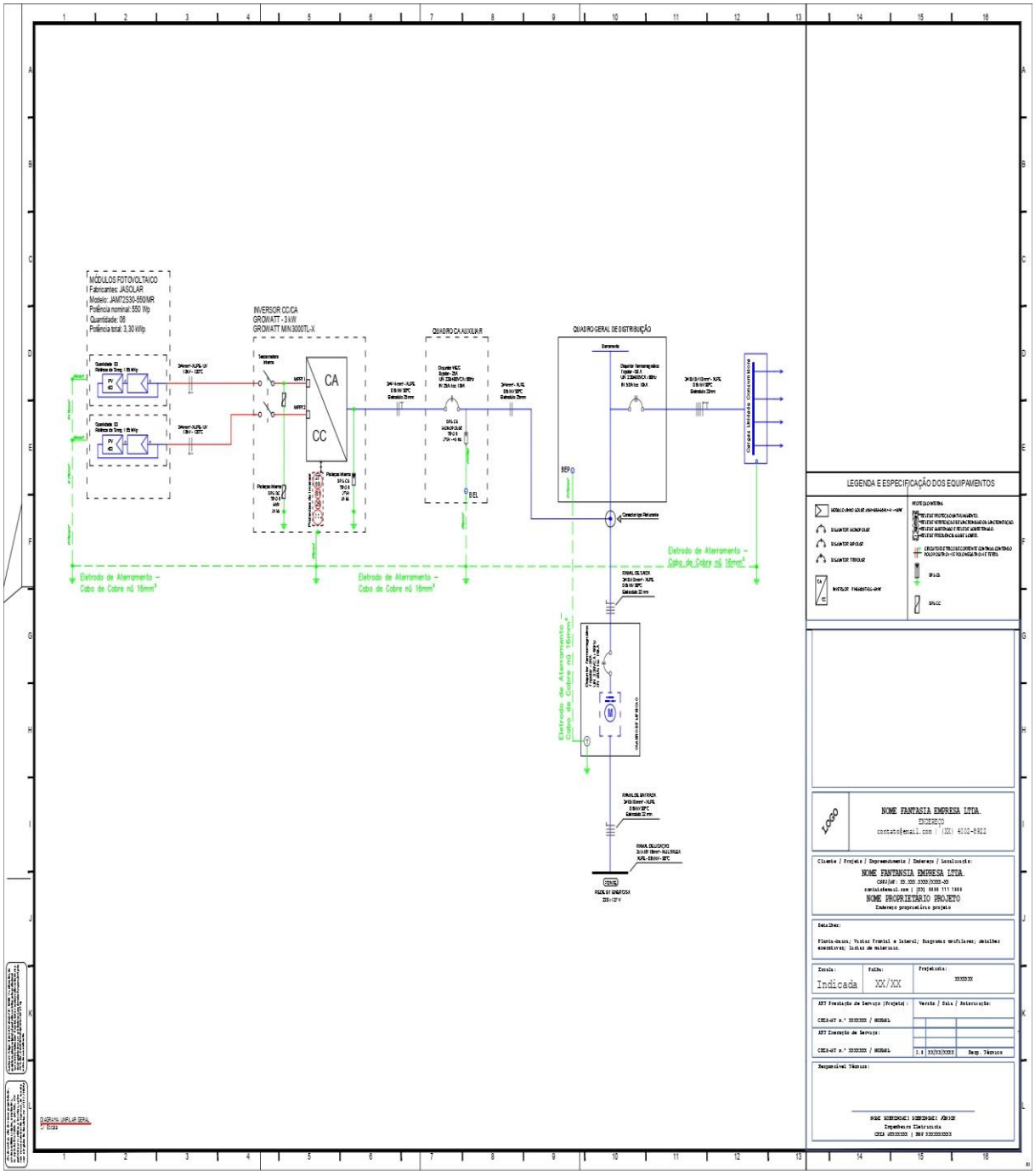


Curva de Corrente-Tensão JAM72S30-540/MR

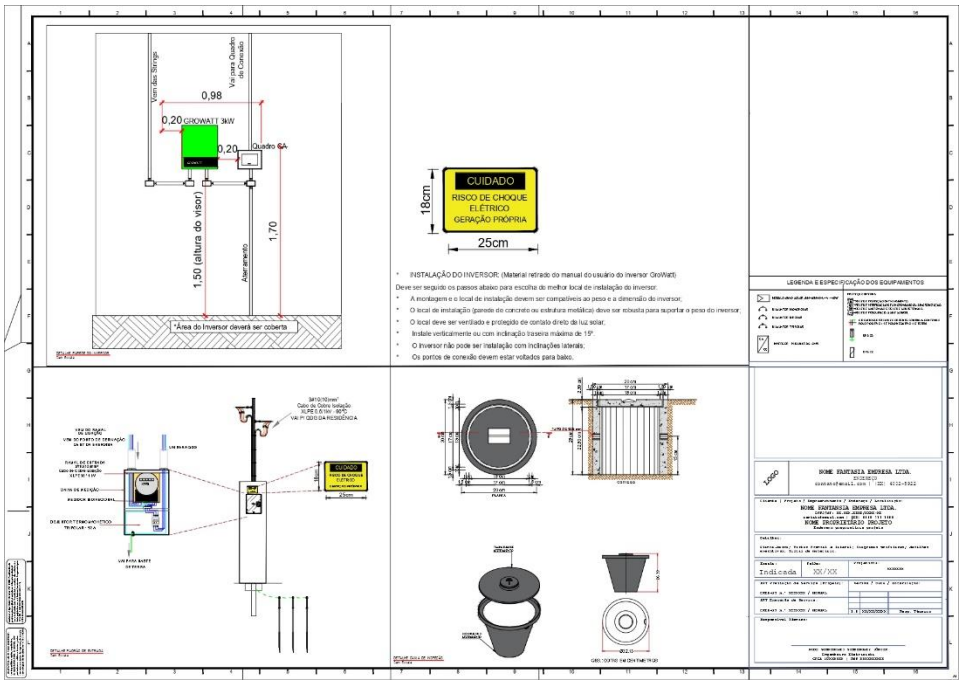
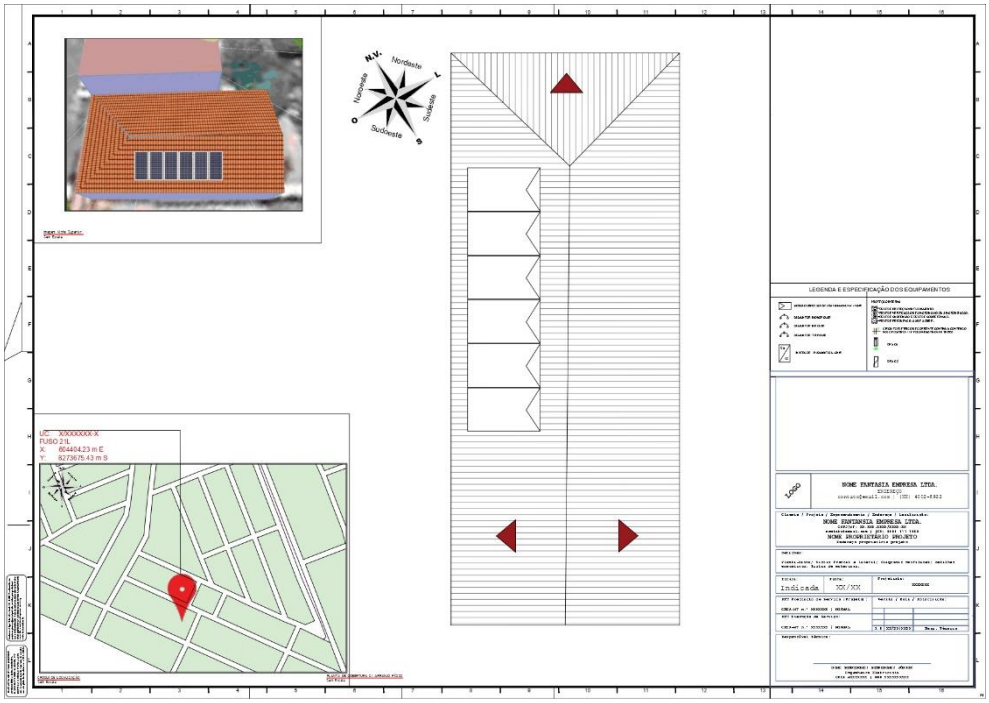


Premium Cells, Premium Modules Versão No. Brazil _20220504

APÊNDICE C – DIAGRAMA UNIFILAR



APÊNDICE D – DESENHO REPRESENTATIVO SOBRE DETALHES



APÊNDICE E – DESENHO REPRESENTATIVO DO LOCAL