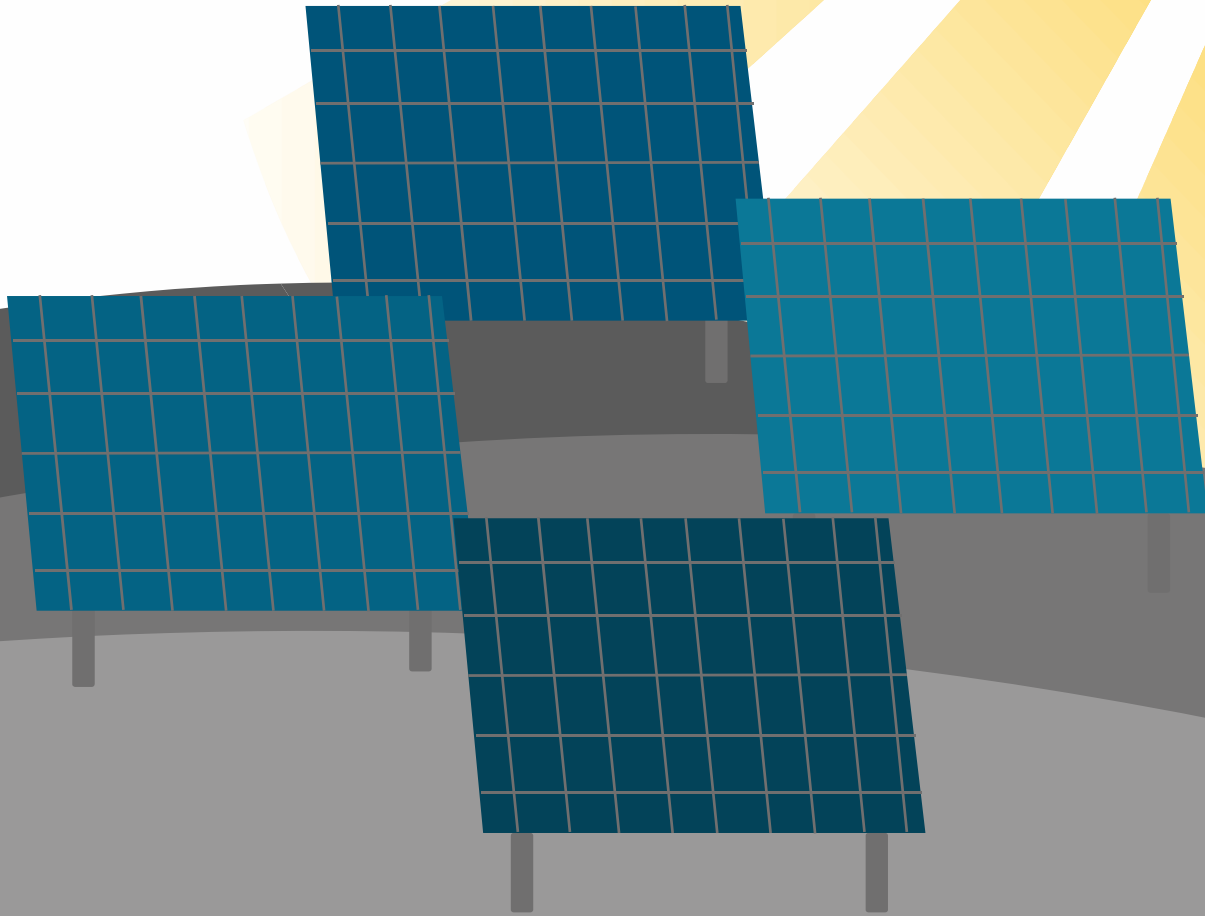


Universidade Federal de Viçosa - UFV  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CCE  
Departamento de Engenharia Elétrica - DEL



**LUZ PARA EDUCAR – DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO *OFF-GRID* PARA FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA À ESCOLA RURAL FRANCISCO VIANA DE ARAÚJO (MELGAÇO, PARÁ).**

**ELT 554 - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Miguel Cassiano da Silva Serrão  
**ORIENTADOR: Prof. Me. Rodrigo Cássio de Barros**

Viçosa, 07 de Fevereiro de 2022.

Miguel Cassiano da Silva Serrão

LUZ PARA EDUCAR: DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO *OFF-GRID* PARA FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA À ESCOLA RURAL FRANCISCO VIANA DE ARAÚJO (MELGAÇO, PARÁ)

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Viçosa para a obtenção dos créditos referentes à disciplina ELT 554 do curso de Especialização em Sistemas Fotovoltaicos Isolados e Conectados à Rede Elétrica.

**Orientador:** Prof. Me. Rodrigo Cássio de Barros

Viçosa, 07 de fevereiro de 2022.

## ATA DE APROVAÇÃO

Miguel Cassiano da Silva Serrão

### LUZ PARA EDUCAR: DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID PARA FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA À ESCOLA RURAL FRANCISCO VIANA DE ARAÚJO (MELGAÇO, PARÁ)

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Viçosa para a obtenção dos créditos referentes à disciplina ELT 554 do curso de Especialização em Sistemas Fotovoltaicos Isolados e Conectados à Rede Elétrica.

Aprovada em 02 de janeiro de 2022.

---

Presidente e Orientador: Prof. Me. Rodrigo Cássio de Barros  
Universidade Federal de Viçosa

---

Membro Titular: Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira  
Universidade Federal de Viçosa

---

Membro Titular: Prof. Me. William Caires Silva Amorim  
Universidade Federal de Viçosa

# DEDICATÓRIA

## Dedico este trabalho

A meu filho Johnny Cássio Magno da Silva Serrão, meu netinho Carlos Miguel Costa Serrão, minha nora Carla Rosemar Costa Pinto e demais membros da família Serrão. E em especial, à minha irmã Maria Isabel da Silva Serrão e Manoel Antônio Silva Amorim, que se mantiveram sempre presentes, incentivando e apostando na minha capacidade e inteligência.

Um forte abraço!

## AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder força, amor e sabedoria, e, a todos os Professores do curso que demonstraram a irradiação do conhecimento em alto nível. Agradeço ao Prof. Heverton Pereira e meu Orientador Prof. Rodrigo Cássio de Barros com sua valiosíssima contribuição, aos colegas do curso em geral, onde, mantivemos uma interação social do conhecimento colaborativo recíproco. Agradeço, ao Serviço Público de Melgaço-Pará, pela concessão da licença para qualificação, arcando com o ônus.

A todos,  
meu muito obrigado!

Podemos não ser perfeito, mas seremos  
perfeitos, em tudo aquilo que realizarmos.

MICASISE

## RESUMO

Este projeto tem por finalidade o dimensionamento do sistema fotovoltaico *off-grid* para fornecimento de energia elétrica geral à escola rural Francisco Viana de Araújo, município de Melgaço, estado do Pará, Brasil. O estudo será realizado nessa escola rural no Pará, que tem atualmente 360 alunos e 26 funcionários (professores, barqueiros e administração). A metodologia será do tipo quantitativa, em que é aplicada a metodologia da demanda crítica no dimensionamento do sistema fotovoltaico, com fins de concretizar a meta dos objetivos específicos (gerar energia para a escola em questão). A análise adotará tabelas para verificar a viabilidade econômica do projeto. Esse dimensionamento é um grande passo para se conseguir energia elétrica geral à essa escola rural. O projeto luz para educar é autêntico, versátil, viável, prático, acessível, inovador na região e localidade, tão necessário à educação rural durante o atendimento do ensino aprendizagem, iluminação geral, conservação da alimentação escolar etc. Além disso, este projeto contribuirá com a sociedade, estudos e pesquisas na área das energias renováveis, em busca de soluções para problemas dessa natureza; podendo ser adaptado, ajustado e até modelado para atender requisitos de conectar sistemas fotovoltaicos padronizados às demais escolas da educação rural existentes no município de Melgaço, estado do Pará, Brasil, e como uma solução para a geração de escolas rurais.

**Palavras-chave:** Luz para educar, Sistema fotovoltaico *off-grid*, Dimensionamento, Viabilidade econômica.

## Lista de Figuras

Figura 1: (a) Localização e acesso da escola Francisco Viana de Araújo e, (b) Coordenada geográfica de Latitude -1,741 Sul e Longitude -50,749 Oeste. (Fonte: Google MAP).....	13
Figura 2: Local da instalação dos módulos fotovoltaicos e possíveis pontos de sombreamentos.....	14
Figura 3: Cálculo no plano inclinado.....	17
Figura 4. Diagrama esquemático do sistema fotovoltaico off-grid para fornecimento de energia elétrica geral à escola rural Francisco Viana de Araújo, Melgaço, Pará.....	21
Figura 5: Representação de como será feito o aterramento do projeto FV off grid.....	24
Figura 6: Geometria das hastes de aterramento.....	25
Figura 7: (a) Local da instalação da unidade geradora fotovoltaica, obtida no Google Maps. (b) Planta de localização, disposta no projeto elétrico.....	32
Figura 8: Simbologia e legenda utilizada em projetos de usinas fotovoltaicas.....	33
Figura 9: Diagrama unifilar da escola rural Francisco Viana de Araújo, após a instalação da usina solar fotovoltaica. Simbologia adotada conforme Figura .....	35
Figura 10: Diagrama multifilar da Escola Rural Francisco Viana de Araújo, após a instalação da usina solar fotovoltaica (SFI). Atendimento em C.A. Simbologia adotada conforme Figura 9 .....	35

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Especificação das cargas que serão utilizadas na escola.....	16
Tabela 2: Especificações do módulo fotovoltaico escolhido.....	18
Tabela 3: Especificações da bateria escolhida.....	18
Tabela 4: Especificações do inversor híbrido <i>off grid</i> .....	21
Tabela 5: Relação dos equipamentos fotovoltaicos dimensionados.....	23
Tabela 6: Preço individual dos equipamentos e preço total em equipamentos.....	27
Tabela 7: Fluxo de Caixa com Sistema Fotovoltaico.....	27
Tabela 8: - Principais informações do Gerador utilizado no projeto.....	29
Tabela 9: Fluxo de Caixa com sistema baseado no gerador a diesel.....	30



## Lista de Abreviação

CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surto
FV	Fotovoltaico
Íon-Li	íon-lítio
MPPT	(do inglês, <i>Maximum Power Traking</i> )
NBR	Norma Brasileira de Regulação
SFI	Sistema Fotovoltaico Isolado

## Lista de Símbolos

$CB_{bat,C20}$	Capacidade Ah da bateria individual
$CB_{C20}(Wh)$	Capacidade do banco de armazenamento de energia para regime de descarga de 20h
$CBI_{C20}$	Capacidade do banco em Ah para o regime de descarga de 20 horas
$E_m$	Energia produzida por cada módulo fotovoltaico
$FC_0$	Fluxo de caixa do período zero
$FC_n$	Fluxo de caixa no período de $n$ anos
$h$	Autonomia da bateria (em dias)
$I_c$	Corrente do controlador de carga
$I_{mp}$	Corrente de máxima potência
$I_R$	Irradiação média anual
$I_{sc}$	Corrente de curto-circuito
$L$	Demanda de energia total
$N$	Quantidade ou número
$Nb_p$	Número de baterias em paralelo
$Nb_s$	Número de baterias em série
$N_{s,m}$	Módulos fotovoltaicos em série
$N_{T,m}$	Número total de módulos
$P_d$	Profundidade de descarga
$V_{bat}$	Tensão da bateria
$V_{mp}$	Tensão de máxima potência
$(V_{oc})$	Tensão de circuito aberto

$V_{sist}$	Tensão do sistema do banco de baterias
$W_p$	<i>Watt</i> pico
$W_{\text{modulo}}$	Produção de energia do módulo

## Sumário

1	- Análise do Local da Instalação.....	13
1.1	LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	13
1.2	ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO E PERDAS .....	14
1.3	TIPO DE FORNECIMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	15
2	Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico off-grid .....	16
2.1	CÁLCULO DA DEMANDA DE CONSUMO DA ESCOLA.....	16
2.2	DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS .....	17
2.3	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO.....	19
2.4	DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR.....	20
2.5	DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.C. ....	23
2.6	DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.A. ....	23
2.7	PROTEÇÃO.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.8	ATERRAMENTO.....	24
2.8	ESTRUTURA DE FIXAÇÃO.....	24
3	Análise de Viabilidade Econômica .....	26
3.1	ANÁLISE DE DESPESAS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	26
3.3	ANÁLISE DE DESPESAS DO SISTEMA A DIESEL .....	28
3.5	ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA .....	30
4	Projeto Elétrico .....	32
4.1	PLANTA DE LOCALIZAÇÃO.....	32
4.2	PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA UNIFILAR <i>OFF-GRID</i> .....	32
4.3	PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA MULTIFILAR <i>OFF-GRID</i> .....	35
5	Referências Bibliográficas.....	37

# 1 - Análise do Local da Instalação

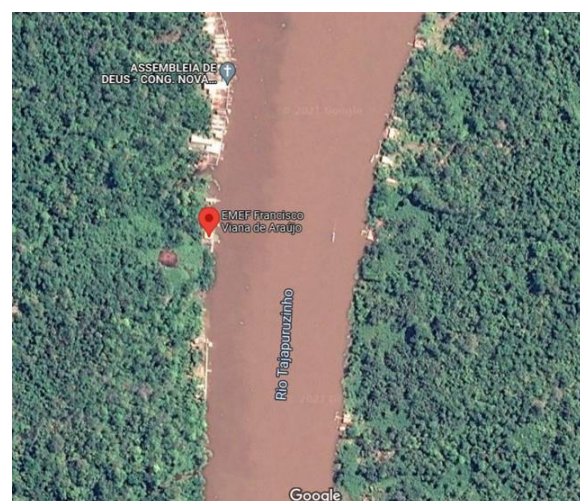
Neste capítulo será apresentada a análise do local da instalação do sistema fotovoltaico *off-grid*. Primeiramente será especificada a localização da escola, apresentando o endereço e as coordenadas geográficas. A seguir, será apresentado a análise das possíveis causas de sombreamento. Por fim, será discutido o tipo de fornecimento de energia que o Sistema Fotovoltaico Isolado (SFI) irá fornecer à escola. Estes pontos encontram-se nos tópicos das subseções a seguir.

## 1.1 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O projeto será desenvolvido na Escola rural Francisco Viana de Araújo, localizada no Rio Tajapuruzinho, entre Rio Jangui e Rio Cacujó (município de Melgaço, estado do Pará). As coordenadas geográficas do local da instalação são, Latitude: -1.7138195237080291 Sul, Longitude: -50.74253802265121 Oeste. O tráfego é apenas fluvial, com tempo médio de percurso de 30 a 40 minutos utilizando voadeira (pequena lancha) da cidade de Melgaço até o local da escola. Na Figura 1, tem-se a representação da localização da escola Francisco Viana de Araújo. Estão apresentadas tanto a localização da escola bem como as coordenadas dela.



(a)



(b)

Figura 1: (a) Localização e acesso da escola Francisco Viana de Araújo com Coordenada geográfica de Latitude -1,741 S e Longitude -50,749 O e (b) localização da escola no rio Tajapuruzinho. (Fonte: Google MAP).

## 1.2 ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO E PERDAS

A instalação será realizada no telhado em detrimento da instalação ao solo. Os motivos para não instalar os módulos no solo, são, que haveria problemas relacionados as enchentes periódicas mensais, acidentes com energia e insegurança penal (furtos de equipamentos, uma vez que não existe vigilância e nem muro ou cerca de proteção da área). Além do mais, haveria maior possibilidade de sombreamento nos módulos fotovoltaicos devido as vegetações próximas.

No que se refere ao telhado, devido a escola estar recém-construída com estrutura nova, este resistirá ao peso dos módulos e promoverá maior segurança aos equipamentos em relação a furtos. Além do mais, reduzirá a possibilidade de sombreamentos causados por árvores menores e estruturas civis próximas do local de instalação dos módulos. Na Figura 2, é apresentada a imagem da escola enfatizando o telhado que será utilizado para a instalação dos módulos fotovoltaicos.



Figura 2: Local da instalação dos módulos fotovoltaicos e possíveis pontos de sombreamentos. Fonte: Arquivo do autor.

Como pode-se perceber pela Figura 2, por consequência de o telhado estar inclinado à direção leste, há a necessidade da construção de estrutura para posicionar os módulos na direção Norte. Em relação ao ângulo de inclinação dos módulos será adotado  $2^\circ$  na direção Norte, uma vez que este é o valor de latitude do local de instalação.

No que se refere aos possíveis pontos de sombreamentos, as árvores que se encontram no fundo da área estão a mais de 50m de distância e a das laterais, a mais de 15 m, portanto, não projetarão sombras. Entretanto, devido ao crescimento da vegetação, caso se faça necessário poderá ser realizada podas de algumas árvores.

### 1.3 TIPO DE FORNECIMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico proposto, é necessário definir o tipo de fornecimento de energia do SFI para a carga (escola). Neste sentido, foi levado em consideração os valores nominais das possíveis cargas que serão instaladas na escola. Por este motivo, tem-se que a tensão da rede adotada será de 127 V, considerando também que esse é o valor padrão utilizado no estado do Pará.

Neste capítulo, foi abordado as principais informações da localização em que será instalado o sistema solar fotovoltaico. Além de tudo, foi discutido o local de instalação dos módulos (telhado), bem como o tipo de fornecimento de energia entregue a carga. No capítulo seguinte será apresentada o dimensionamento do sistema fotovoltaico *off-grid*.

## 2 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico off-grid

Neste capítulo será apresentado o dimensionamento do sistema Fotovoltaico (FV) para a escola em questão. Inicialmente será realizado o dimensionamento do número total dos módulos fotovoltaicos que serão utilizados no projeto. Logo em seguida, serão realizados o dimensionamento do inversor, do sistema de armazenamento, dos equipamentos de proteção e dos cabos de Corrente Contínua (CC) e corrente alternada (CA). Por fim, será discutido o tipo de aterramento que será realizado no projeto, bem como estrutura de fixação.

### 2.1 CÁLCULO DA DEMANDA DE CONSUMO DA ESCOLA

O primeiro passo para se inicializar o dimensionamento do projeto do sistema fotovoltaico, é encontrar a demanda de energia total ( $L$ ) que será consumida pela escola. Neste sentido, foi realizado um levantamento dos equipamentos que serão utilizados, bem como a potência nominal e quantidade de horas (por dia) de utilização de cada equipamento. Tais informações são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Especificação das cargas que serão utilizadas na escola. Fonte: Construída pelo autor.

Items	Qtd (N)	Equipamento	Potência (W)	Hora/uso/dia (h)	Energia (Wh)/dia
1	1	Bebedouro Geláqua EGC35B	97	8,00	776
2	1	Bomba d'água - 1,5 HP- 3000L/h	750	0,33	248
3	2	Computador	300	4,00	2400
4	1	Freezer	150	8,00	1200
5	62	Lâmpada de Led	25	8,00	12400
6	1	Liquidificador industrial	800	0,50	400
7	1	Roteador - TL-WR940NT	7	8,00	56
8	10	Ventilador de teto	100	8,00	8000

Com os valores apresentados na Tabela 1, pode-se observar que a energia total demandada 25,480 kWh/dia. Este valor foi encontrado simplesmente fazendo o somatório da potência dos equipamentos que serão utilizados na escola, multiplicando pelo tempo de



utilização. Neste contexto, para encontrar a demanda de energia total consumida, será utilizada a Equação (1) a seguir:

$$L = \frac{hL_{ca}}{\eta_{bat}\eta_{inv}}, \quad (1)$$

onde,  $h$  é a autonomia (em dias) que o sistema isolado precisará satisfazer. Neste projeto será adotado um tempo de autonomia ( $h$ ) igual a 2 dias. Além disso,  $\eta_{bat}$  e  $\eta_{inv}$  são as eficiências consideradas para o banco de bateria e inversor, respectivamente.  $L_{ca}$  é a demanda de energia devido a cargas alimentadas por corrente alternada. Neste trabalho será adotado um valor de eficiência igual a 90% para a bateria e para o inversor. Após aplicar a Equação (1), encontrou-se o valor de  $L$  igual a 62,914 kWh/dia.

## 2.2 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para a o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos, é necessário encontrar o valor da irradiação média anual ( $I_R$ ) do local da escola. Portanto, foi utilizado os dados do CRESESB [1], como mostrado na Figura 3. A Irradiação solar da escola rural Francisco Viana de Araújo, considerando o plano inclinado de 2°, possui o mês de fevereiro como sendo a menor irradiação solar diária (média mensal). Neste projeto, será dimensionado todo o sistema considerando o pior caso de irradiação. Portanto, será utilizado valor de irradiação do mês de fevereiro que será igual a 4,32 KWh/m<sup>2</sup>.dia para o dimensionamento.

### Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Melgaco  
Município: Melgaco, PA - BRASIL  
Latitude: 1,701° S  
Longitude: 50,749° O  
Distância do ponto de ref. ( 1,71382° S; 50,742538° O ): 1,6 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	4,51	4,35	4,38	4,39	4,58	4,83	4,95	5,23	5,19	5,10	5,01	4,64	4,76	,87
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	2° N	4,46	4,32	4,38	4,42	4,63	4,90	5,02	5,27	5,20	5,07	4,95	4,58	4,77	,95
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	3° N	4,43	4,31	4,37	4,43	4,66	4,94	5,05	5,29	5,20	5,06	4,92	4,55	4,77	,99
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	1° S	4,53	4,37	4,38	4,38	4,55	4,79	4,91	5,20	5,18	5,11	5,03	4,67	4,76	,83

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Melgaco–Melgaco, PA–BRASIL

1,701° S; 50,749° O

Figura 3: Cálculo no plano inclinado com ângulo igual a latitude. Fonte: CRESESB.

Vale ressaltar que o módulo fotovoltaico escolhido para este projeto foi o modelo CS3W-365P fabricado pela empresa Canadian Solar [2]. Na Tabela 2 temos as principais informações deste módulo.

Tabela 2 - Especificações do módulo fotovoltaico escolhido. Fonte: Tabela construída pelo autor.

\*MPPT (do inglês, *Maximum Power Point Tracking*)



ESPECIFICAÇÕES DO MÓDULO FOTOVOLTAICO	VALOR
Potência máxima (de MPPT*)	365 W
Eficiência ( $\eta_m$ )	18,4%
Comprimento do módulo ( $L_1$ )	2 m
Largura do módulo ( $L_2$ )	0,992 m
Corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ )	9,75 A
Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ )	47,2 V
Tensão de máxima potência	39,8 V
Corrente de máxima potência	9,18 A

Para encontrar o número total de módulos ( $N_{T,m}$ ), é necessário encontrar inicialmente a energia produzida por cada módulo fotovoltaico ( $W_{\text{modulo}}$ ), que será encontrada utilizando a Equação (2) a seguir:

$$W_{\text{modulo}} = I_R L_1 L_2 \eta_m \eta_{stm} \quad (2)$$

onde  $L_1$  e  $L_2$  são o comprimento e a largura do módulo fotovoltaico, respectivamente.  $\eta_m$  é a eficiência dos módulos fotovoltaicos e  $\eta_{stm}$  é a eficiência do sistema fotovoltaico como um todo. Neste trabalho adotou-se o valor de  $\eta_{stm}$  igual a 80 %. Para este projeto foi considerado o uso do módulo fotovoltaico de 365 W, cuja eficiência disponibilizada pelo datasheet é de 18,4%. Além disso, os valores de  $L_1$  e  $L_2$  são 2,00 m e 0,99 m, respectivamente. Aplicando a Equação (2), encontra-se a energia que cada módulo produz, sendo de 1261.63 Wh/dia. Para encontrar o valor do número total de módulos, foi utilizado a Equação (3) a seguir [3]:

$$N_{T,m} = \frac{L}{Efv} \quad (3)$$

Após o uso da equação (3) encontrou-se um total de módulo igual a 20. Neste sentido, pode-se concluir que, a potência máxima CC instalada será de 7,3 kW (20 x 365 W). A

quantidade de módulo em série e em paralelo será calculada posteriormente, uma vez que vai depender das especificações elétrica do inversor.

## 2.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO

Para o projeto em questão será considerada a bateria de 400 Ah modelo EB400 fabricada pela empresa Energia Brasil [4]. A tecnologia de chumbo ácido do tipo estacionária foi adotada por ser uma tecnologia já consolidada no mercado e por ter preços mais acessíveis que outros modelos de baterias (como por exemplo as baterias de íon-lítio (*Íon-Li*)). Uma representação do modelo de bateria abordado com as principais especificações, encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Especificações da bateria escolhida. Fonte: Tabela construído pelo autor e, Bateria (Foto) - Mercado Livre.



ESPECIFICAÇÕES DA BATERIA ESTACIONÁRIA	VALOR
Tensão nominal	12 V
Capacidade (C100)	400 Ah
Profundidade de descarga ( $P_d$ )	60%
Dimensão	23 cm x 27 cm x 51 cm
Peso aproximado	55 Kg

O valor da capacidade de armazenamento de energia do banco para regime de descarga de 20 horas ( $CB_{C20}$  (Wh)), será considerado neste projeto. O valor de  $CB_{C20}$  (Wh) poder ser calculado segundo a Equação (4) [3].

$$CB_{C20} (Wh) = \frac{L}{Pd'} \quad (4)$$

onde  $Pd$  é a profundidade de descarga máxima da bateria. Neste projeto, será adotado o valor de 60 % de profundidade de descarga por ser um valor típico para baterias de chumbo ácido e, por ser o valor recomendado pelo *datasheet* do fabricante. Aplicando a Equação (4), encontra-se que, o valor de  $CB_{C20}$  para o projeto em questão será de 104,857 kWh.

Neste contexto, a capacidade do banco em Ah para o regime de descarga de 20 horas ( $CBI_{C20}$ ) pode ser encontrada de acordo com a Equação (5) [3]:

$$CBI_{C20} (Ah) = \frac{CB_{C20}}{V_{sist}}, \quad (5)$$

onde  $V_{sist}$  é o valor da tensão do sistema em que iremos considerar. Neste trabalho em específico será considerado o valor da tensão do sistema, sendo de 24 V. Portanto, o valor de  $CBI_{C20}$  encontrado neste trabalho, foi de 4369 Ah. É válido ressaltar que o valor de 24 V foi escolhido já considerando o inversor híbrido utilizado no trabalho, como será discutido nas próximas seções.

Com as informações disponíveis de  $CB_{C20}$  e  $CBI_{C20}$ , é possível encontrar o número de baterias em série e em paralelo que será utilizado. O número de baterias em série ( $Nb_s$ ) é encontrado, baseado na tensão do sistema e na tensão nominal de cada bateria ( $V_{bat}$ ), como mostrado a seguir:

$$Nb_s = \frac{V_{sist}}{V_{bat}}. \quad (6)$$

No projeto em questão, tem-se que a tensão individual de cada bateria é igual a 12V. Neste contexto, tem-se que  $Ns_{bat}$  será igual a 2 unidades. No que se refere ao número de baterias em paralelo ( $Nb_p$ ), pode-se usar a seguinte equação:

$$Nb_p = \frac{CBI_{C20}}{CB_{bat,C20}}, \quad (7)$$

onde  $CB_{bat,C20}$  é a capacidade Ah da bateria individual. Utilizando a Equação (7), tem-se que o número de baterias em paralelo será de 12. É válido ressaltar, que, na especificação do modelo de bateria utilizado, não se encontra o valor de capacidade nominal para 20h e sim, para 100h. Neste contexto, utilizou-se uma aproximação em que o valor  $CB_{bat,C20} = 0,9 CB_{bat,C20}$ . [3] Portanto, o número total de acumuladores que será utilizado é de 24 baterias ( $Nb_s \cdot Nb_p$ ).

## 2.4 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

É válido ressaltar, que se optou por trabalhar com três sistemas fotovoltaicos menores, do que trabalhar com um sistema maior (somente um inversor, por exemplo). Alguns dos motivos considerados, foram a maior variedade de equipamentos encontrados no mercado e a

possibilidade de utilizar os dois lados do telhado da escola, para a instalação do sistema. Além do mais, pretende-se adotar no projeto, o uso de inversor híbrido *off grid* no sistema. Tal fato se deve a este inversor já ser composto por um controlador de carga com tecnologia MPPT, um inversor de tensão de onda senoidal pura e um carregador de bateria.

O inversor híbrido escolhido para este projeto, foi o modelo SPF(P)3000TL-LVM 24 fabricado pela empresa *Growatt* [5]. As especificações destes componentes encontram-se na Tabela 4, a seguir:

Tabela 4 - Especificações do inversor híbrido *Off Grid*. Fonte: Tabela construída pelo autor e, Inversor - *Growatt*.



ESPECIFICAÇÕES DO INVERSOR HÍBRIDO	VALOR
Controlador de carga – MPPT 80 A – Eficiência 98%	-
Tensão da bateria Vsist	24 V
Tensão CA de saída	127 V
Potência nominal (CA)	3 KW
Potência de pico (5s)	6 KVA
Máxima potência PV	2 KW
Máxima tensão PV	145 Vcc
Corrente Máxima PV	80 A
Faixa do MPPT	30 – 115 V
Eficiência do inversor	93%
Peso	11,5Kg

De acordo com os valores de tensão máxima CC do inversor híbrido e valor máximo de corrente de FV, é possível que seja encontrado o número de módulos fotovoltaicos em série ( $N_{s,m}$ ) e em paralelo ( $N_{p,m}$ ). Entretanto, em dias ensolarados, o valor de irradiância pode ser superior a 1000 W/m<sup>2</sup>. Nesse sentido, como limite de segurança, adotamos que a irradiância máxima será de 1125 W/m<sup>2</sup>. A partir dessa consideração, pode-se afirmar que a relação entre a corrente máxima suportada pelo inversor e o número máximo de módulos fotovoltaicos em paralelo  $N_{p,m}$  será:

$$I_c = 1,25 I_{sc} N_{p,m} \quad (9)$$

Portanto, isolando  $N_{p,m}$  da equação (9), temos:

$$N_{p,m} = \frac{I_c}{1,25 I_{SC}}. \quad (10)$$

Atribuindo-se da equação (10), calculou-se o número de módulos em paralelo, obtendo-se a quantidade de 6,56 ou 6 módulos (corrente total de 73,12 A). No entanto, adotou-se o valor de 5 módulos em paralelo (potência PV instalada de 1825 W), com corrente de 60,95 A. Considerando que o valor máximo de corrente na entrada do inversor híbrido é de 80 A e a potência máxima de entrada do inversor de 2000 Wp, tem-se que a associação dos módulos não ultrapassa os parâmetros elétricos do inversor.

No que se refere ao parâmetro de tensão CC de entrada do inversor, tem-se que a associação de 5 módulos em paralelo está de acordo com as especificações do inversor. Tem-se que a faixa de tensão de MPPT é de 30 a 115 V e que a tensão mínima do inversor é de 15 V. Considerando que a tensão de MMPT do módulo fotovoltaico é de 39.8 V, percebe-se que este valor da associação está de acordo com as especificações do inversor.

No que se refere associação do banco de baterias com o inversor, também se teve o cuidado de não ultrapassar os parâmetros elétricos do inversor. A tensão do banco (24V) está em conformidade com as especificações do inversor, bem como a faixa de corrente e a tecnologia da bateria utilizada. Por fim, observa-se que a tensão CA de saída do inversor é de 127 V, em conformidade com a alimentação das cargas da escola.

Com o resultado dos cálculos obtidos pelas equações (6), (7), (10) e (11), dispôs-se os arranjos dos equipamentos fotovoltaicos distribuídos pelos quatro inversores híbridos de forma padronizada, permanecendo, conforme demonstrado na Figura 4. Nos Inversores híbridos I, II, III e IV: 5 módulos em paralelo com potência máxima de 1825 Wp, e 6 baterias (sendo 2 em série e 3 em paralelo).

Na tabela 5, constatamos a quantidade de equipamentos fotovoltaicos, resultantes do dimensionamento do sistema fotovoltaico *off grid*.

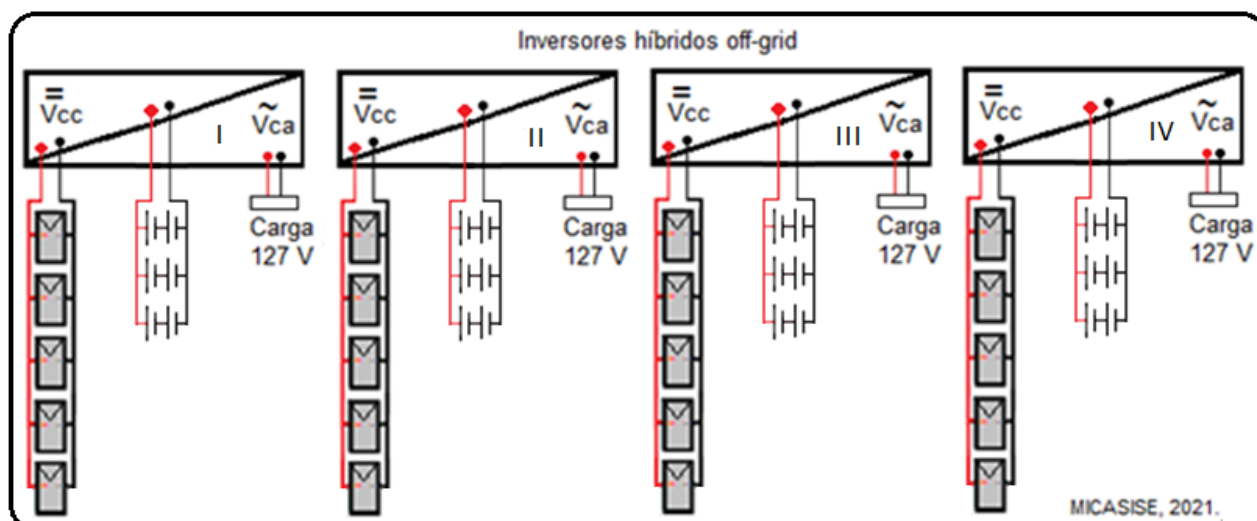


Figura 4: Diagrama esquemático do sistema fotovoltaico off-grid para fornecimento de energia elétrica geral à escola rural Francisco Viana de Araújo, Melgaço, Pará. Fonte: Construído pelo autor.

Tabela 5 - Relação dos equipamentos fotovoltaicos dimensionados. Fonte: Construído pelo autor.

Equipamento	Modelo	Fabricante	Quantidade
Módulo Fotovoltaico	CS3W-365P	Canadian Solar	20
Bateria Estacionária	EB400	Energia Brasil	24
Inversor Híbrido	SPF(P)3000TL-LVM	Growatt	04

## 2.5 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.C.

Para os cabos utilizados no lado CC, usamos os métodos e tabelas disponíveis durante o curso e encontramos que o cabo de 10mm<sup>2</sup> seria satisfatório, entretanto, por medida de segurança e recomendação do fabricante, estamos utilizando um cabo de 16mm<sup>2</sup>. Será utilizado o valor estipulado pelo próprio fabricante do inversor. Foi observado que os métodos utilizados para o dimensionamento do cabo CC são baseados no método de capacidade de corrente e o método de corrente, uma vez que o fabricante indica que o dimensionamento foi feito considerando 80 A de corrente no cabo CC e estabelece uma distância máxima que os cabos CC podem assumir. Neste contexto, foi observado que o cabo CC que será utilizado terá a seção 16 mm<sup>2</sup>.

## 2.6 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.A.

Ainda não se sabe ao certo, qual será o valor das distâncias do inversor até o ponto de ligação com as cargas. Por isto, o cabeamento CA será trabalhado com valores sobre

dimensionados a princípio. Neste contexto, foi utilizado os métodos de queda de tensão para encontrar as especificações dos cabos CA que serão utilizados. Neste contexto, foi encontrado o valor de 10 mm<sup>2</sup>.

## 2.7 PROTEÇÃO

No que se refere a proteção utilizada no projeto, será utilizada proteção tanto para o lado CC quanto para o lado CA. As especificações dos disjuntores e DPS (Dispositivo de Proteção contra Surto) utilizados foram sugeridos pelo datasheet do fabricante do inversor híbrido. Basicamente tem-se disjuntores e DPS na string box do lado CC. As especificações destes equipamentos estão detalhadas no capítulo 4. Já no lado CA, também será utilizado um disjuntor e um DPS.

## 2.8 ATERRAMENTO

O aterramento do projeto será realizado separadamente do aterramento da escola. Neste contexto, será aterrado os módulos fotovoltaicos, a proteção do lado CC e do lado CA e o inversor híbrido. É válido ressaltar que será necessário realizar um estudo prévio para a identificação das características elétricas do solo, uma vez que este é um solo mais úmido e arenoso. Entretanto, a ideia será utilizar três hastes de aço-cobreada com 2m de comprimentos, interligadas por condutor de cobre de 4 mm<sup>2</sup>. Uma representação de como será feito o aterramento esta mostrado na Figura 5 a seguir.

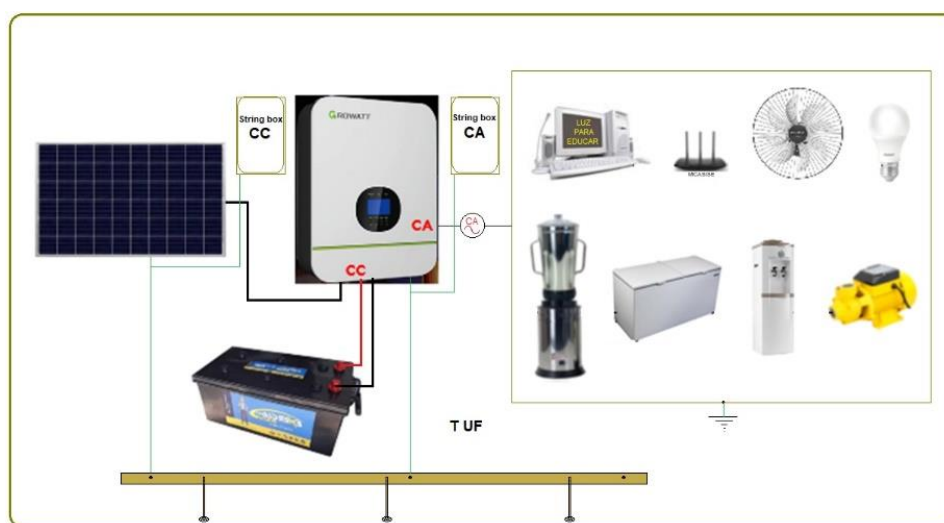


Figura 5: Representação de como será feito o aterramento do projeto FV *off grid*.



## 2.9 ESTRUTURA DE FIXAÇÃO

Na Figura 6, verificamos a estrutura dos módulos fotovoltaicos disponibilizado no telhado da escola rural, onde, devido o telhado estar direcionado ao lado leste, adotou-se estrutura para redirecionar os módulos ao sentido Norte geográfico, utilizando o ângulo de  $2^{\circ}$  igual ao ângulo da latitude, sendo a parte cinza clara o módulo e a cinza escura sua base.

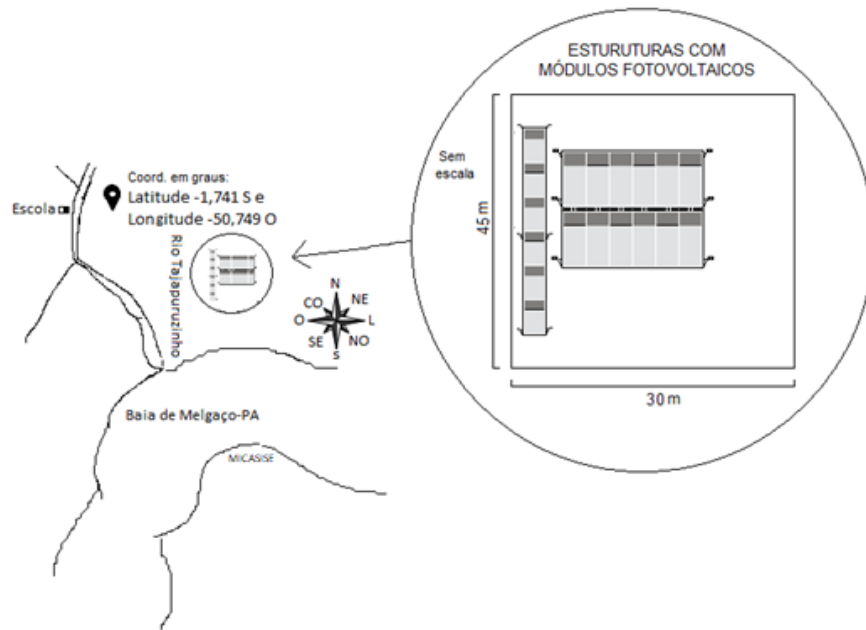


Figura 6: Estrutura de fixação. Fonte: Construído pelo autor.

## 2 Análise de Viabilidade Econômica

Este capítulo tem por objetivo a análise da viabilidade econômica do projeto, onde será realizado um levantamento financeiro durante o Fluxo de caixa do período zero ( $FC_0$ ) ao período de fluxo de caixa de ( $FC_n$ ) anos, com  $n = 11$  ( $FC_{11}$ ). Será analisado o percentual de redução de geração de energia, análise de despesas e fluxo de caixa de  $FC_0$  a  $FC_{11}$ . Além do mais, a análise será feita para investimento em geradores a diesel. Neste contexto, uma comparação entre a viabilidade do sistema fotovoltaico com o gerador a diesel é realizada.

### 3.1 ANÁLISE DE DESPESAS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Antes de inicializar a análise de viabilidade econômica do sistema *off-grid* instalado, é necessário estabelecer as considerações iniciais para que foram realizadas. A primeira se refere ao percentual de redução de geração de energia pelos módulos fotovoltaicos. Será considerado uma perda anual de 1% na capacidade de geração dos módulos fotovoltaicos [6].

Outra consideração inicial se refere ao gasto com manutenção e limpeza anual dos equipamentos. Foi considerado que o valor anual gasto com manutenção é de R\$ 400,00 com uma taxa anual de aumento igual a 5 % [4]. No que se refere ao banco de baterias, é necessário estabelecer o tempo limite de troca destes equipamentos, visto que possuem uma vida útil menor que os outros equipamentos do sistema (como os inversores e os módulos fotovoltaicos). Portanto, será considerado o tempo de troca do banco de baterias de cinco em cinco anos. Ressaltamos também, que o tempo de duração do inversor híbrido é de 10 anos, e que, portanto, deverá haver a troca desses inversores, após cada período do tempo mencionado, ou seja, após uma década.

Além do mais, é válido destacar que o custo inicial do projeto foi realizado baseado no somatório do custo de cada componente do sistema. Os valores individuais de cada produto, bem como o valor final do projeto encontram-se na Tabela 6. Fazendo-se o somatório total dos preços dos equipamentos, tem-se que o custo total em equipamento será de R\$ 73.759,92. Com estas considerações previamente definidas, será apresentada o fluxo de caixa para o sistema fotovoltaico *off-grid*.

Tabela 6 - Preço individual dos equipamentos e preço total em equipamentos do projeto.

Equipamento	Modelo	Fabricante	Quantidade	Preço por Unidade (R\$)	Preço total Pago (R\$)
Módulo Fotovoltaico	CS3W-365P	Canadian Solar	20	1.198,00	28.752,00
Bateria Estacionária	EB400	Energia Brasil	24	964,95	19.299,00
Inversor Híbrido	SPF(P)3000TL-LVM	Growatt	04	6.427,23	25.708,92
Total geral					<b>73.759,92</b>

### 3.2 FLUXO DE CAIXA DA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

A análise do fluxo de caixa do sistema fotovoltaico está apresentada na Tabela 7. A coluna 1 representa os anos em que serão considerados para a análise. Na coluna 2 tem-se o valor gasto com o investimento do projeto em cada ano. Perceba que no primeiro ano (ano 0) teve o valor do investimento inicial de projeto, calculado anteriormente. Além disso, de cinco em cinco anos, tem-se o investimento com a troca do banco de baterias (R\$ 28.752,00) e, a cada dez anos, o investimento com a substituição dos 4 inversores híbridos (R\$ 25.708,92). Na coluna 3, tem-se o gasto com a manutenção do projeto. Em sequência, na coluna 4, tem-se o custo total de cada ano, que será o valor o investimento mais o valor gasto com a manutenção. Na coluna 5, tem-se o valor da geração de energia pelos módulos fotovoltaicos para cada ano. É válido ressaltar que este valor foi calculado considerando o valor de irradiação encontrado no Capítulo 2. Por fim, na coluna 6, tem-se o valor do preço do kWh para cada ano considerado. O valor do preço do kWh foi calculado considerando a razão entre o custo anual do projeto sobre a geração anual de energia.

Tabela 7: Fluxo de Caixa com Sistema Fotovoltaico.

Ano	Investimento (R\$)	Gasto com manutenção (R\$)	Custo total (R\$)	Geração FV (kWh)	Preço do kWh (Ct/G) (R\$)
0	73.759,92	400,00	74.159,92	9300,2	7,97
1	0,00	420,00	420,00	9207	0,05
2	0,00	441,00	441,00	9115	0,05
3	0,00	463,10	463,10	9024	0,05
4	28.752,00	486,20	29.238,20	8934	3,27
5	0,00	510,50	510,50	8844	0,06
6	0,00	536,00	536,00	8756	0,06
7	0,00	562,80	562,80	8668	0,06
8	28.752,00	591,00	29343,00	8582	3,42
9	25.708,92	620,50	620,50	8496	0,07
10	0,00	651,60	651,60	8411	0,08
<b>Total</b>	156.972,84	5.682,70	162.655,54	97.338	1,41
				97.338 x 1,41 = R\$ 137.246,58	

Com base na tabela de fluxo de caixa apresentada, considerando o  $FC_0$ , pode-se perceber que o investimento total para realização do projeto, após o  $FC_{11}$ , foi de R\$ 162.655,54. Além disso, o valor total gasto com manutenção será de R\$ 5.682,70. Logo, o custo total de projeto será de R\$ 162.655,54. No que refere a geração total de energia, tem-se o valor de 97.338,20 kWh. Resultando no custo do valor do kWh que será de R\$ 1,41. Contudo, se a escola rural tivesse que arcar com os preços dos valores do kWh durante todo o período descrito de 11 anos, pagar-se-ia a importância de R\$ 137.246,58, algo que, se subtraíssemos do valor do custo total, teríamos apenas uma despesa retornável de custo no valor de R\$ 25.408,96, pois, o desconto seria considerado um valor não retornável. Portanto, este investimento total para realização do projeto, é considerado louvável.

### 3.3 ANÁLISE DE DESPESAS DO SISTEMA A DIESEL

No intuito de obter uma análise comparativa com outro sistema de geração de energia *off grid*, a viabilidade econômica de geração de energia baseados a geradores a diesel foi implementada. Neste contexto, será realizado o fluxo de caixa no período  $FC_{11}$  para o sistema, sendo considerado esse período igual a 11 anos de operação.

No que se refere as condições iniciais para a análise econômica do sistema a geradores a diesel, é necessário considerar a manutenção do sistema e o preço pago ao óleo diesel consumido durante o processo de geração de energia ( $W_{\text{modulo}}$ ). Neste contexto, adotou-se uma taxa de 5% [4] ao ano no que se refere ao acréscimo do preço do litro do óleo. A mesma taxa de 5% foi utilizada para simular o aumento no custo anual da manutenção do sistema. Além disso será considerado que o gasto no primeiro ano de manutenção será de R\$ 2.000,00 e o valor do litro do óleo diesel no primeiro ano será de R\$ 6,00.

Para simulação da análise econômica, foi utilizado um gerador a diesel de 6,5 kWA, modelo GT 8000E fabricado pela empresa CSM [7]. A Tabela 8, a seguir, representa as principais informações sobre o gerador considerado neste projeto. É válido ressaltar que, o valor da geração de energia anual é de 10,4 kWh e o valor total de litros de óleo diesel gasto durante o ano será de 8000 litros. Tais informações foram estimadas através dos parâmetros dados pelo fabricante.

Tabela 8 - Principais informações do Gerador utilizado no projeto.



Valor do investimento do Gerador Diesel		
Gerador Diesel	R\$ 6.151,99	unidade
Marca: CSM	-	-
Modelo: GT 8000E	-	-
Potência: 6,5	-	KVA
Geração necessária KWh/ano [P(h/d)a]	$6,5(8 \times 200) = 10,4$	KWh
Taxa reajuste	5%	ao ano
Capacidade do Tanque	25	litros
Duração/funcionamento/Tanque	5	horas
Consumo/anual de combustível (L/d)a	$(40L)200d = 8000$	litros/ano letivo
Preço/litro/diesel	R\$ 6,00	01 litro
Manutenção	R\$ 500,00	diária
Período/Ano	4	vezes

### 3.4 FLUXO DE CAIXA DO GERADOR A DIESEL

A análise do fluxo de caixa do sistema gerador a diesel está apresentada na Tabela 9. A coluna 1 representa os anos em que serão considerados para a análise. Na coluna 2, tem-se o valor gasto com o investimento do projeto em cada ano. Perceba que no primeiro ano (ano 0) teve o valor do investimento inicial de projeto (R\$ 6.152,00). Na coluna 3, tem-se o preço por litro do óleo diesel, que por sua vez sofrerá um acréscimo de 5 % ao ano. Já na coluna 4, tem-se o gasto ao ano com a compra de óleo diesel. Para o cálculo deste valor, multiplicou-se o valor do total de litros de óleo utilizado em um ano (8000 litros) pelo valor do preço unitário do litro (coluna 3). Em sequência, na coluna 5, tem-se o valor do gasto com a manutenção anual. Lembrando que se iniciou com um valor de R\$ 2000 e terá um aumento anual de 5 %. Portanto, na coluna 6 tem-se o valor do custo total anual do projeto, que é calculado pela soma do valor do investimento com os gastos em manutenção, mais os gastos com a compra do óleo. Na coluna 7, tem-se o valor da produção de energia anual, que será constante com o valor de 10,4 kWh. Por fim, na coluna 8, tem-se o valor do preço do kWh. O valor do preço do kWh foi calculado considerando a razão entre o custo anual do projeto sobre a geração anual de energia.

Observa-se que a cada ano verificado no fluxo de caixa, o preço do óleo diesel, o gasto anual com diesel e manutenção sobem, chegando ao ponto de após onze anos, termos o valor do litro do óleo diesel a R\$ 9,80, os gastos anuais com combustível de R\$ 78.186,90 e a manutenção alcançar o valor de R\$ 3.257,80. Neste contexto, temos o valor do custo total de R\$ 716.491,00, uma geração de 114.400 KWh e o preço de 1 KWh a R\$ 6,26.

Tabela 9 - Fluxo de Caixa com sistema baseado no gerador a diesel.

Ano	Investimento (R\$)	Preço diesel (R\$)	Gasto anual com diesel (R\$)	Gasto anual com manutenção (R\$)	Custo total (R\$)	Geração kWh	Preço do kWh (R\$)
0	6.152,00	6,00	48.000,00	2.000,00	56.152,00	10,40	5,40
1		6,30	50.400,00	2.100,00	52.500,00	10,40	5,05
2		6,60	52.920,00	2.205,00	55.125,00	10,40	5,30
3		6,90	55.566,00	2.315,30	57.881,00	10,40	5,57
4		7,30	58.344,30	2.431,00	60.775,00	10,40	5,84
5		7,70	61.261,50	2.552,60	63.814,00	10,40	6,14
6		8,00	64.324,60	2.680,20	67.005,00	10,40	6,44
7		8,40	67.540,80	2.814,20	70.355,00	10,40	6,76
8		8,90	70.917,90	2.954,90	73.873,00	10,40	7,10
9		9,30	74.463,80	3.102,70	77.566,00	10,40	7,46
10		9,80	78.186,90	3.257,80	81.445,00	10,40	7,83
<b>Total</b>	<b>6.152,00</b>	<b>63,33%</b>	<b>681.925,80</b>	<b>28.413,70</b>	<b>716.491,0</b>	<b>114.40</b>	<b>6,26</b>

Fazendo a comparação entre os dois fluxos de caixa, temos, que: o fluxo de caixa do gerador a óleo diesel, resultou em custo total de R\$ 716.491,00, geração de 114.40 KWh e o valor de 1 KWh igual a R\$ 6,26. Já, o fluxo de caixa do sistema fotovoltaico off-grid, resultou em custo total de R\$ 162.655,54, geração de 97.338 KWh e o preço de 1 KWh igual R\$ 1,41.

### 3.5 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Considerando o sistema de gerador a óleo diesel, temos que a geração a óleo diesel é poluente, esgotável e não renovável, produz barulho intenso e incômodo, tem o preço de manutenção alta e elevado consumo de combustível. Além do mais, é alto contaminante requerendo local de despejo do óleo queimado, tem custo total elevado, valor do KWh alto, possuindo as vantagens de manter constante o valor da geração e ter longa duração do motor, desde que se mantenham as manutenções periódicas.

Levando em considerando o sistema fotovoltaico *off-grid*, este por sua vez, em relação ao gerador a óleo diesel, tem o valor da manutenção mais baixa, o custo total é bastante inferior,

tem preço do KWh mais reduzido e fornece energia o ano todo. Há desvantagens no que se refere as substituições completa do banco de baterias a cada 5 anos e, a substituição dos 4 inversores híbridos a cada 10 anos, além, da redução da geração a cada ano, resultando em perda no fornecimento de potência e alimentação da carga, devendo-se, para tanto, no momento do dimensionamento fotovoltaico, prever essa perda ao acrescentar 3 módulos a mais para o tempo de duração do sistema de 11 anos, levando em consideração este período.

### 3.5.1 Conclusão da viabilidade econômica

Considerando o alto custo total do gerador a óleo diesel de R\$ 716.491,00 e, apesar de no sistema fotovoltaico ocorrer a redução da geração e a substituição dos bancos de baterias a cada cinco anos e, a substituição dos 4 inversores híbridos a cada dez anos, conclui-se, portanto, afirmando com plena convicção, que: o sistema fotovoltaico off-grid é mais vantajoso que o sistema de gerador a óleo diesel, pois, possui o valor total de apenas R\$ 162.655,54, sendo considerado pela análise, aprovado, e viável para o projeto.  $R\$ 162.655,54 < R\$ 716.491,00$ .

## 4 Projeto Elétrico

Este capítulo, tem por objetivo apresentar a planta de localização com coordenadas geográficas de acesso à usina FV da escola rural Francisco Viana de Araújo e os projetos elétricos com os digramas unifilar e multifilar *off-grid*, conforme a seguir.

### 4.1 PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

As coordenadas geográficas (latitude e longitude), indicam com precisão o local de acesso de instalação da usina fotovoltaica na área da escola rural Francisco Viana de Araújo. Na Figura 7, temos o local da instalação.



Figura 7: Local da instalação da unidade geradora fotovoltaica, obtida no Google Maps.

### 4.2 PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA UNIFILAR OFF-GRID

Com o objetivo de simplificar e generalizar o entendimento dos projetos elétricos fotovoltaicos, símbolos gráficos são utilizados para representar os diversos componentes destes sistemas. Na Figura 8, temos a legenda e simbologia utilizada nos projetos de usinas fotovoltaicas, estando estes dispostos nos projetos, contendo a margem; legenda com a simbologia e especificação técnica; esquema unifilar e multifilar; detalhes de montagem e especificação dos componentes elétricos.



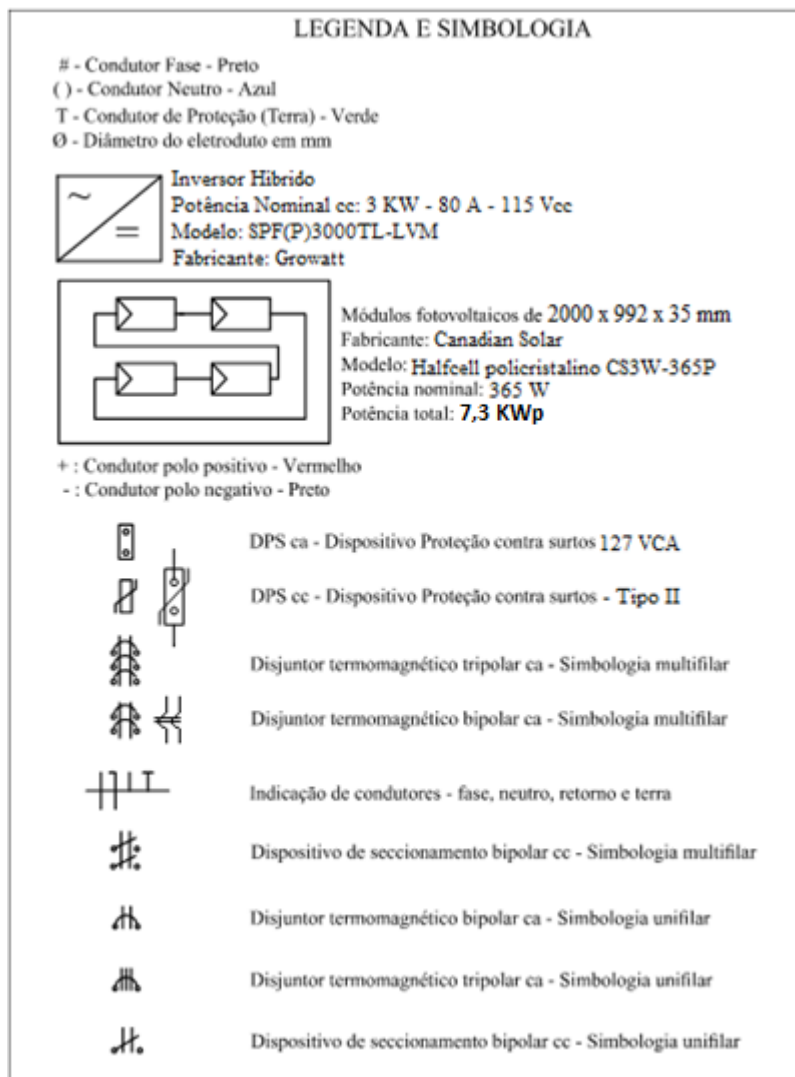


Figura 8: Simbologia e legenda utilizada em projetos de usinas fotovoltaicas.

O planejamento de interconexão dos diversos componentes do sistema de forma eficiente; a adequação do projeto com relação aos requisitos de segurança sob ponto de vista elétrico; e a verificação do cumprimento das normas e regulamentos técnicos aplicáveis, constituem o projeto elétrico de uma usina FV. A escolha do tipo de condutores e bitola, dimensionamento do arranjo e inversores FV, especificação dos dispositivos de proteção e representação em planta baixa, fazem parte das etapas do projeto elétrico.

A

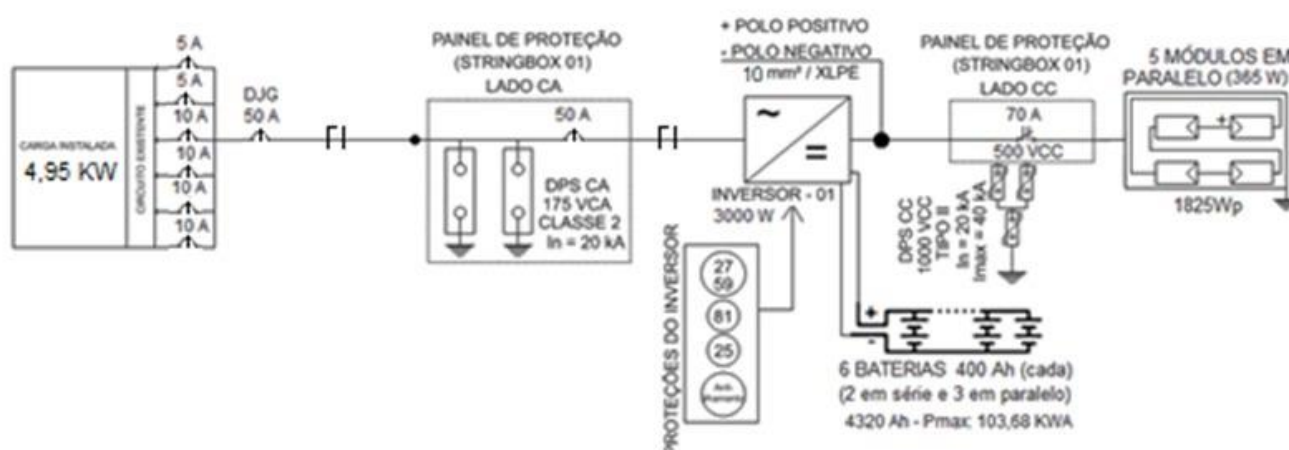


Figura 9, apresenta o digrama unifilar da instalação elétrica monofásica (F+N) com tensão fase neutro (ou de linha) de 127 V eficaz. Uma usina solar fotovoltaica alimentará esta escola rural, de onde as seguintes características elétricas do sistema podem ser enumeradas:

- ✓ A potência de carga instalada existente na unidade consumidora de 4954 kW, neste contexto será lizado um disjuntos CA de 50 A na *string box* do lado CA. Este valor foi estabelecido pelo fabricante e está de acordo com a corrente máxima que passará pelo circuito ( $4954/127 = 39$  A).
- ✓ Condutores CA fase de bitola 10 mm<sup>2</sup> e neutro 10 mm<sup>2</sup>, isolação PVC 500 V em eletrodutos de 32 mm nos circuitos CA que alimentam as cargas.
- ✓ Dispositivo de proteção contra surtos de 127 V (fase-terra), classe 2, corrente nominal (corrente projetada, na qual é capaz de desviar para o aterramento de proteção) de 20 kA;
- ✓ Condutores CC polos positivo e negativo de bitola 10 mm<sup>2</sup>, isolação XLPE 1000V (conecta o arranjo FV à entrada CC do inversor);
- ✓ Dispositivo de seccionamento CC de 70 A, tensão máxima de 500 V de isolação no lado CC da string box;
- ✓ Dispositivo de proteção contra surtos CC de 500 V, classe 2, corrente nominal (corrente projetada, na qual é capaz de desviar para o aterramento de proteção) de 20 kA;
- ✓ Inversor Híbrido FV 3 kW CA, 127V CA, e faixa de operação CC 30-115 V, com um MPPT, será utilizado 4 inversores (Figura 4);
- ✓ Módulo fotovoltaico CS3W-365P - 365W, dispostos em forma de arranjos de 5 módulos em paralelo com potência de 1825 Wp, distribuídos de forma

padronizada pelos quatro Inversores híbridos (Figura 4), totalizando a potência de 7,3 KWp.

- ✓ Bateria estacionária EB400 - 400Ah, dispostas em fileira de arranjos de 6 baterias, sendo 2 em série e 3 em paralelo com capacidade 1080 Ah, distribuídas de forma padronizada pelos quatro Inversores híbridos I, II, III e IV (Figura 4), totalizando a capacidade de 4320 Ah e potência máxima de 103,68 KWA.

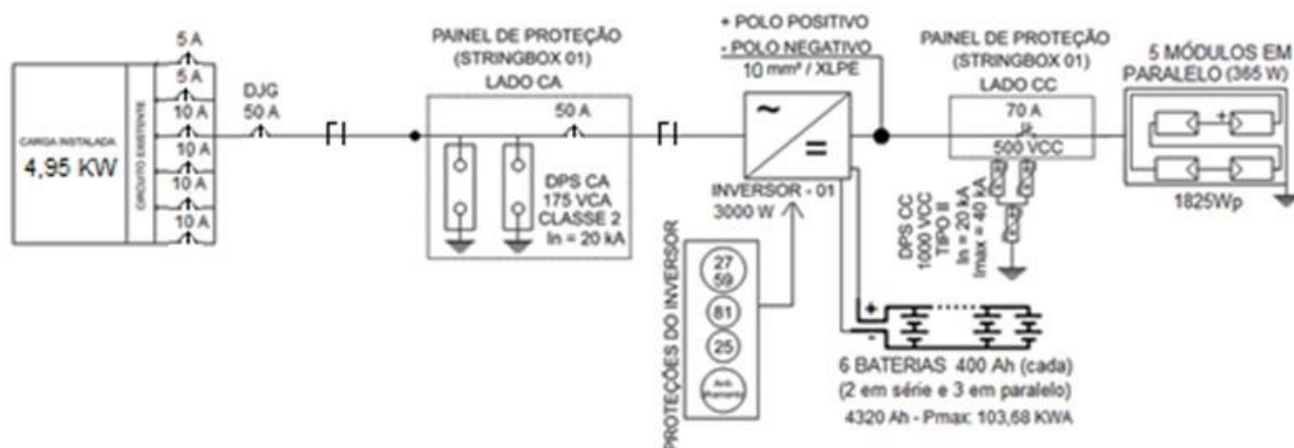


Figura 9: Diagrama unifilar da escola rural Francisco Viana de Araújo, após a instalação da usina solar fotovoltaica. Simbologia adotada conforme Figura . Fonte: Construído pelo autor.

### 4.3 PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA MULTIFILAR OFF-GRID

A Figura 10 apresenta o diagrama multifilar da escola rural Francisco Viana de Araújo, com enfoque nas ligações elétricas entre os componentes da usina solar fotovoltaica, permanecendo as mesmas características elétricas indicadas na Figura 10, acrescentando-se complementos nos conjuntos módulos e baterias (Figura 4). Este diagrama traduz fielmente as conexões efetuadas no ato da instalação física do sistema.

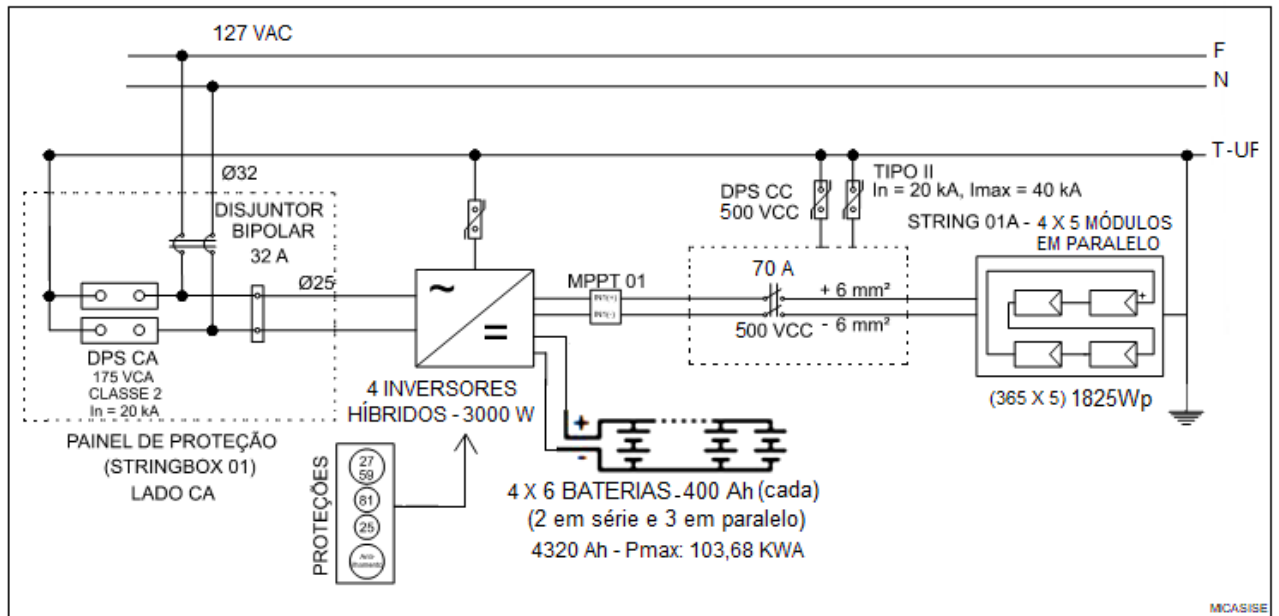


Figura 10: Diagrama multifilar da Escola Rural Francisco Viana de Araújo, após a instalação da usina solar fotovoltaica (SFI). Atendimento em C.A. Simbologia adotada conforme Figura 9. Fonte: Construído pelo autor.

## 5 Referências Bibliográficas

- [1] CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. (2017, 25 de setembro). *Fontes de dados eólicos e solares*.  
[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=fontes\\_dados\\_vento\\_sol](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=fontes_dados_vento_sol)
- [2] Canadian solar. (2021). Datasheet-Kudymond CS3U-P-AG. [https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2020/05/Canadian\\_Solar-Datasheet-KuDymond\\_CS3U-P-AG\\_EN.pdf](https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2020/05/Canadian_Solar-Datasheet-KuDymond_CS3U-P-AG_EN.pdf)
- [3] ELT 565 – Apostila: TECNOLOGIAS DE BATERIAS PARA ARMAZENAMENTO DE ENERGIA
- [4] Mercado livre. (s.d.). Bateria Estacionária Solar Off Grid 400 Ah. [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1973921559-imperdivel-bateria-estacionaria-solar-off-grid-400ah\\_JM?matt\\_tool=94871357&matt\\_word=&matt\\_source=google&matt\\_campaign\\_id=14303357423&matt\\_ad\\_group\\_id=128472471560&matt\\_match\\_type=&matt\\_network=g&matt\\_device=c&matt\\_creative=539354515584&matt\\_keyword=&matt\\_ad\\_position=&matt\\_ad\\_type=pla&matt\\_merchant\\_id=467987016&matt\\_product\\_id=MLB1973921559&matt\\_product\\_partition\\_id=1427497133474&matt\\_target\\_id=pla-1427497133474&gclid=CjwKCAiAlrSPBhBaEiwAuLSDUBh9Y1gHPvwm2yyitSus4yyQ2nF4Kxw06X8ENmBbERI CD7PUysao\\_xoC4hIQAvD\\_BwE](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1973921559-imperdivel-bateria-estacionaria-solar-off-grid-400ah_JM?matt_tool=94871357&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14303357423&matt_ad_group_id=128472471560&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=539354515584&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=467987016&matt_product_id=MLB1973921559&matt_product_partition_id=1427497133474&matt_target_id=pla-1427497133474&gclid=CjwKCAiAlrSPBhBaEiwAuLSDUBh9Y1gHPvwm2yyitSus4yyQ2nF4Kxw06X8ENmBbERI CD7PUysao_xoC4hIQAvD_BwE)
- [5] GROWATT. Inversor Híbrido off-grid. Disponível em: [https://www.casasbahia.com.br/inversor-hibrido-off-grid-3000w-24-120v-mppt-80a-growatt-spf-3000tl-lvm-24-p-1513660638/p/1513660638?utm\\_medium=Cpc&utm\\_source=GP\\_PLA&IdSKU=1513660638&idLojista=29105&utm\\_campaign=3P\\_AllProducts\\_SSC&gclid=Cj0KCQjw18WKBhCUARIsAFiW7JyIk\\_TUeMXde0zSEJFhSKAWvgR VrSEet8ogzKYvLTTrJnHbEvnD5bXwaAuYyEALw\\_wcB](https://www.casasbahia.com.br/inversor-hibrido-off-grid-3000w-24-120v-mppt-80a-growatt-spf-3000tl-lvm-24-p-1513660638/p/1513660638?utm_medium=Cpc&utm_source=GP_PLA&IdSKU=1513660638&idLojista=29105&utm_campaign=3P_AllProducts_SSC&gclid=Cj0KCQjw18WKBhCUARIsAFiW7JyIk_TUeMXde0zSEJFhSKAWvgR VrSEet8ogzKYvLTTrJnHbEvnD5bXwaAuYyEALw_wcB)
- [6] ELT 569 – Apostila: ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO PARA USINAS FOTOVOLTAICAS (sombreamentos)
- [7] Gerador Energia Csm Gmd 7000 e 5,5 Kva 9hp Diesel Partida Eletr 4 Tempos Portatil Mono 110v/220v
- [8] ELT 568 – Apostila: PROJETO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE GRANDE PORTE
- [9] Mattede, H. (s.d.). Mundo da elétrica. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/hastes-de-aterramento-caracteristicas-e-aplicacoes/> [Acessado em 20/01/2022]
- [10] ELT 567 – Apostila: REGULAMENÇÃO E PROJETO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA
- [11] Mérito Comercial. (s.d.). Disponível em: [https://www.meritocomercial.com.br/gerador-energia-csm-gmd-7000e-55-kva-9hp-diesel-partida-eletr-4-tempos-portatil-mono-110v220v-20100160015-p1017628?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.meritocomercial.com.br/gerador-energia-csm-gmd-7000e-55-kva-9hp-diesel-partida-eletr-4-tempos-portatil-mono-110v220v-20100160015-p1017628?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F) Acessado em: 28/01/2022.



