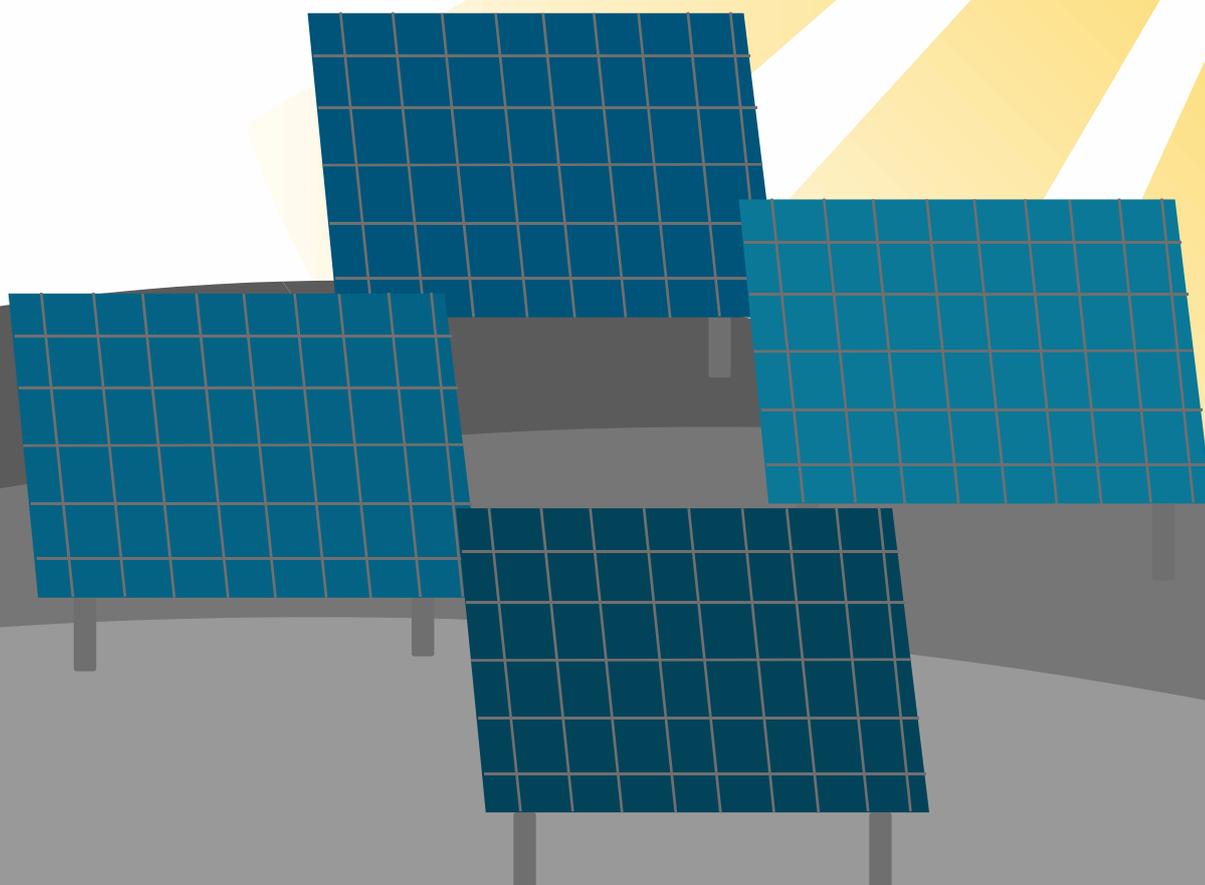


Universidade Federal de Viçosa - UFV
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CCE
Departamento de Engenharia Elétrica - DEL



Sistema fotovoltaico residencial de **3,68kWp para Paraisópolis-MG** ELT 554 - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Douglas de Tarso da Silva
ORIENTADOR: Prof. Me Rodrigo Cássio de Barros
Viçosa, 30 de Setembro de 2022.

Douglas de Tarso da Silva

Sistema fotovoltaico residencial de 3,68kWp para Paraisópolis-MG

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, 30 de Setembro de 2022.

ATA DE APROVAÇÃO

Douglas de Tarso da Silva

Sistema fotovoltaico residencial de 3,68kWp para Paraisópolis-MG

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 30 de Setembro de 2022

Presidente e Orientador: Prof. Me. Rodrigo Cássio de Barros

Universidade Federal de Viçosa

Membro Titular: Profa. Me. Shirleny Pedrosa Freitas

Universidade Federal de Viçosa

Membro Titular: Eng. Diuary Gonçalves

Universidade Federal de Viçosa

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho

A minha família e amigos, que sempre me apoiaram e me guiaram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UFV e ao GESEP pelo comprometimento e dedicação aos alunos do curso de Especialização em Sistemas Fotovoltaicos Isolados e Conectados à Rede Elétrica.

RESUMO

Este trabalho apresenta o projeto elétrico de um sistema fotovoltaico composto por 8 módulos monocristalinos instalados no telhado de uma residência na cidade de Paraisópolis em Minas Gerais. O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi feito levando em consideração o perfil de consumo do cliente baseado no levantamento de demanda de carga da instalação elétrica fornecida em uma área de concessão da CEMIG.

Palavras-chave: Geração Distribuída, Sistema Fotovoltaico *OnGrid*.

Lista de Figuras

Figura 1 – Histórico de consumo de energia da residência.	11
Figura 2 – Imagem de satélite do local do projeto retirado Google Earth.....	12
Figura 3 – Medidor de energia da residência.....	12
Figura 4 – Disjuntor do medidor de energia.	13
Figura 5 – Local de instalação do inversor e módulos fotovoltaicos.	13
Figura 6 – Modelagem 3D da edificação feita no <i>Sketchup</i>	15
Figura 7 – Perdas por sombreamento da instalação da residência.....	16
Figura 8 – Dados solarimétricos de Paraisópolis MG	18
Figura 9 – Disposição dos módulos das strings por inversor	21
Figura 10 – Ligação do cabeamento CC nos módulos fotovoltaicos.....	23
Figura 11 – Distância do inversor até o medidor de energia.....	24
Figura 12 – Esquema de aterramento IT adotado.	26
Figura 13 – Peças de fixação dos módulos fotovoltaicos nos trilhos acoplados no telhado	27
Figura 14 – Valores das tarifas da CEMIG com e sem impostos	30
Figura 15 – Acima a planta de localização do projeto elétrico, logo abaixo o local da instalação obtido pelo <i>Google Earth</i>	32
Figura 16 – Diagrama unifilar do inversor 1.	33
Figura 17 – Diagrama unifilar do inversor 2.....	34
Figura 18 – Diagrama unifilar do quadro de medição.....	34
Figura 19 – Diagrama unifilar do quadro 2.....	34
Figura 20 – Padrão de entrada com caixa de medição e medidor bidirecional.....	35
Figura 21 – Placa de advertência que deve ser instalada na usina FV, próxima à caixa de medição (medidas 20 x 15 cm).....	36
Figura 22 – Diagrama multifilar do inversor 1.....	37

Figura 23 – Diagrama multifilar do inversor 2. 37
Figura 24 – Diagrama multifilar do quadro 2. 38

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Levantamento de carga da instalação da residência.....	15
Tabela 2 – Parâmetros do Módulo Fotovoltaico modelo JKM460M-60HL4 do fabricante JINKO.....	18
Tabela 3 – Parâmetros do Inversor Fotovoltaico modelo PHB1800N-XS do fabricante PHB Solar.....	20
Tabela 4 – Parâmetros fixos iniciais para dimensionar os cabos CC.....	21
Tabela 5 – Parâmetros da <i>string</i> da microusina fotovoltaica.....	22
Tabela 6 – Cabos mínimos de cada critério.....	22
Tabela 7 – Cabos mínimos de cada critério.....	22
Tabela 8 – Dados para dimensionamento do cabo CA.....	24
Tabela 9 – Dados CA da usina fotovoltaica por inversor.....	25
Tabela 10 – Dimensionamento dos cabos CA.....	25
Tabela 11 – Perdas nos cabos CA.....	25
Tabela 12 – Lista de materiais.....	29
Tabela 13 – Resumo do sistema projetado.....	29
Tabela 14 – Custo do sistema fotovoltaico.....	30
Tabela 15 – Projeção de fluxo de caixa.....	31
Tabela 16 – Altura do pé direito e nível inicial dos pavimentos.....	40
Tabela 17 – Temperaturas para o cálculo da fiação.....	42
Tabela 18 – Temperaturas dos módulos fotovoltaicos.....	42
Tabela 19 – Queda de tensão admissível CA.....	42
Tabela 20 – Queda de tensão admissível CC.....	42
Tabela 21 – Seções mínimas dos cabos.....	44

Lista de Abreviação

CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i>
NEMA	<i>National Electrical Manufacturers Association</i>

Sumário

1-	Análise do Local da Instalação	12
1.1	ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA.....	12
1.2	LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	13
1.3	LEVANTAMENTO DE CARGA.....	15
1.4	ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO	15
2-	Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico.....	18
2.1	DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	18
2.2	DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES.....	20
2.3	DIMENSIONAMENTO DOS CABOS E PROTEÇÃO C.C.....	22
2.4	DIMENSIONAMENTO DOS CABOS E PROTEÇÃO CA	25
2.5	ATERRAMENTO.....	27
2.6	ESTRUTURA DE FIXAÇÃO.....	28
3-	Análise de Viabilidade Econômica.....	29
3.1	REGULAMENTAÇÃO VIGENTE.....	29
3.2	ESPECIFICAÇÕES E MATERIAIS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO PROJETADO	29
3.3	ANÁLISE DE VIABILIDADE E FLUXO DE CAIXA.....	31
4-	Projeto Elétrico	33
4.1	PLANTA DE LOCALIZAÇÃO	33
4.2	PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA UNIFILAR	34
4.3	PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA MULTIFILAR.....	37
4.4	MEMORIAL DESCRITIVO.....	40
5-	Referências Bibliográficas.....	48

1- Análise do Local da Instalação

O local da instalação deste projeto encontra-se na cidade de Paraisópolis – MG, onde mais detalhes sobre a localização estão disponíveis no item 1.1 deste capítulo. No item 1.2 é realizada a análise do consumo de energia elétrica da residência através da fatura da concessionária local. Durante as análises preliminares constatou-se que há influência de sombreamento no local de instalação dos módulos fotovoltaicos, sendo considerado nas análises de dimensionamento do projeto.

1.1 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA

Para realizar o estudo de consumo de energia da residência, foi utilizado a fatura da CEMIG fornecida pelo cliente, a parte do histórico de consumo está disponível na Figura 1.

Histórico de Consumo			
MÊS/ANO	CONSUMO kWh	MÉDIA kWh/Dia	Dias
MAI/22	155	4,69	33
ABR/22	178	6,35	28
MAR/22	150	5,00	30
FEV/22	109	3,51	31
JAN/22	181	6,24	29
DEZ/21	151	5,20	29
NOV/21	100	3,33	30
OUT/21	100	3,12	32
SET/21	99	3,19	31
AGO/21	94	2,84	33
JUL/21	98	3,37	29
JUN/21	99	3,09	32
MAI/21	26	0,92	28

Figura 1: Histórico de consumo de energia da residência.

Considerando os 12 últimos valores mensais da fatura da CEMIG mostrado na Figura 1, nota-se que a média de consumo mensal desta residência é de 126kWh, com a média diária de 4,1kWh e consumo anual de 1514kWh.

1.2 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Na Figura 2 é mostrado a posição da edificação em relação ao norte geográfico e os valores das coordenadas geográficas de -22.539780° , $-45.7258912,279^{\circ}$.

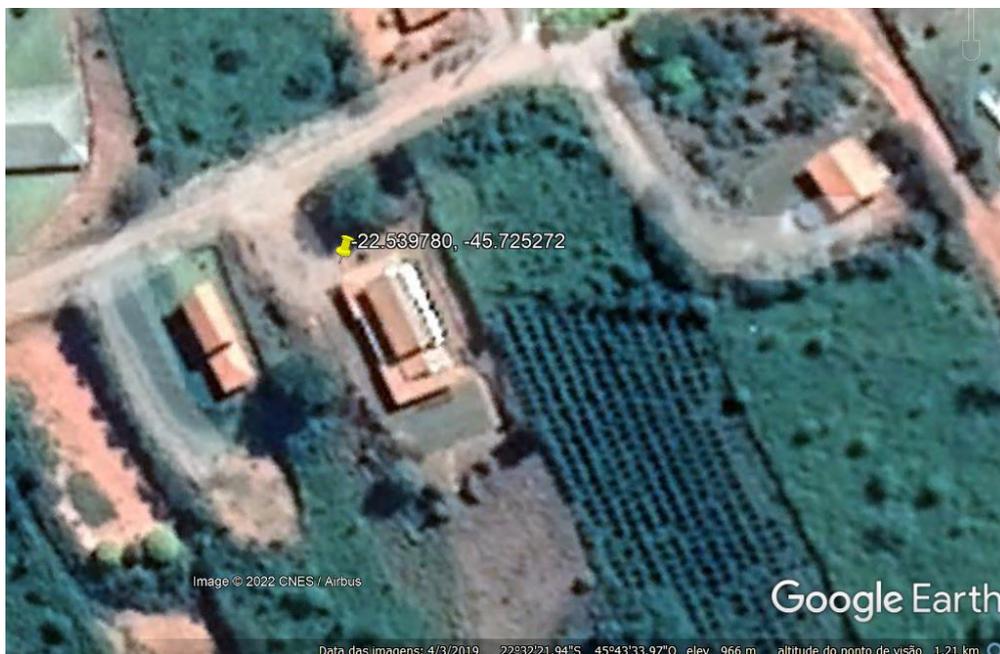


Figura 2: Imagem de satélite do local do projeto retirado Google *Earth*.

Na Figura 3 é mostrado o medidor de energia e na Figura 4 o disjuntor existente no medidor de acesso à distribuição da concessionária CEMIG antes da instalação do sistema fotovoltaico e do novo medidor bidirecional que será instalado pela concessionária.



Figura 3: Medidor de energia da residência.

Na Figura 4 não está nítido o disjuntor que está sendo utilizado. Devido à sujeira que já se acumulou no acrílico da caixa, mas no local é possível verificar que é um disjuntor bifásico de 63A do tipo NEMA com cabos de alimentação de 16mm².



Figura 4: Disjuntor do medidor de energia.

Na Figura 5 está destacado em azul a área do telhado voltado para o norte que irá receber os módulos fotovoltaicos. Na área destacada em vermelho será instalado o inversor. A parte do telhado em destaque possui 3,80m da parede até a grama e 7,50m de largura da quina do canto esquerdo da parede frontal até a quina do lado direito da mesma parede, conforme mostrado na figura 4, permitindo a utilização de aproximadamente 28,5m² de área voltada para o norte.

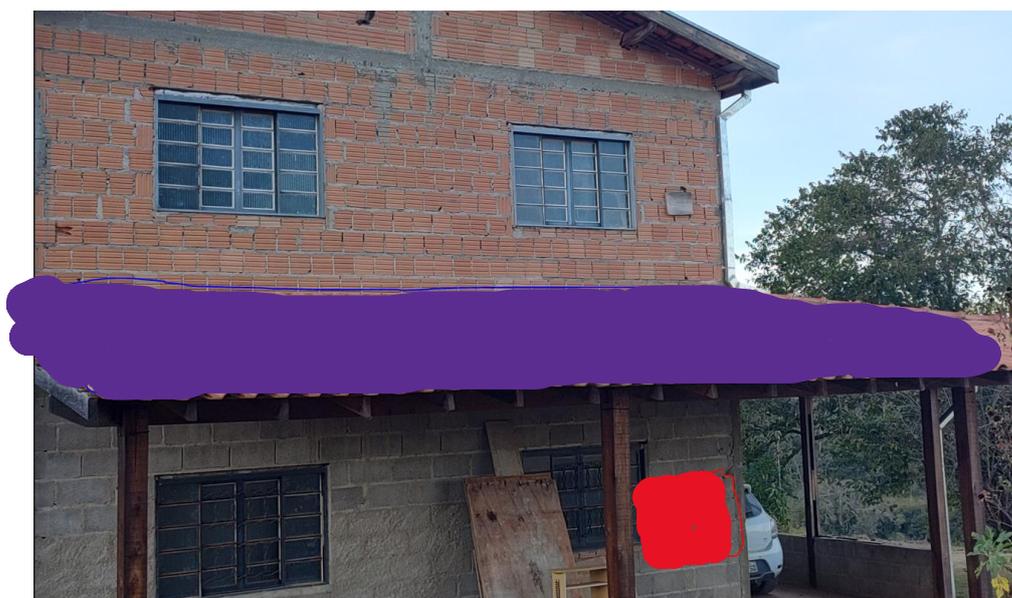


Figura 5: Local de instalação do inversor e módulos fotovoltaicos.

1.3 LEVANTAMENTO DE CARGA

Após analisar o consumo de energia pela fatura fornecida e constatar que a casa do projeto não se encontra completamente pronta e em pleno funcionamento, foi necessário verificar o projeto elétrico e fazer a análise de levantamento de carga. Observando o projeto elétrico, constatou-se que esta residência terá um consumo médio de aproximadamente 677kWh, conforme é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Levantamento de carga da instalação da residência.

Equipamento	Potência [W]	Quantidade	Horas de uso [H]	Total [Wh]
Chuveiro	6800	3	0,33	47124
Torneira Elétrica	5400	1	0,5	18900
Forno Elétrico 84L	1840	1	0,5	6440
Panela Elétrica	700	1	0,5	2450
TV	120	2	3	5040
Aparelho de Som	1050	1	4	4200
Ar condicionado (12000 BTUs)	1350	3	4	32400
Lâmpadas	9	50	6	18900
Máquina de cortar grama	1200	1	2	2400
Microondas	900	1	0,25	1575
Ferro de Passar roupas	1000	1	2	2000
Máquina de lavar roupas	2000	1	1,25	2500
Diversos	1000	1	2	14000
TOTAL [kWh]				676,84

Depois de estimar o consumo de energia mensal desta residência, encontrou-se a potência total que deve ser instalada para suprir toda a energia necessária, dividindo o valor total de 676,84kWh por 30 dias e posteriormente por 4,83, que é a média da irradiância solar em kWm^{-2} para a localização do projeto. O resultado obtido para a potência a ser instalada foi de 4,67kWp.

1.4 ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO

Na Figura 6 a modelagem da edificação que foi feita para fazer as análises de sombreamento e geração de energia demonstra aproximadamente a área escolhida para instalar os módulos fotovoltaicos da usina. A modelagem da edificação foi feita em Sketchup [1].



Figura 6: Modelagem 3D da edificação feita no Sketchup.

A ferramenta PVSOL foi utilizada para estimar as perdas por sombreamento durante um ano. O modelo 3D apresentado anteriormente na Figura 6 foi utilizado nesta análise. As perdas percentuais por módulo estão indicadas na Figura 7, os módulos praticamente não sofrem influências por sombreamento, perdendo apenas 1,9% da geração anual do último módulo, que é o pior caso, enquanto os três primeiros não sofrem perdas por sombreamento. Apesar de ser possível verificar a posição e sombreamento no *Sketchup*, o PVSOL já calcula as perdas energéticas anuais, fornecendo informações mais diretas em termos de percentual de energia [2].

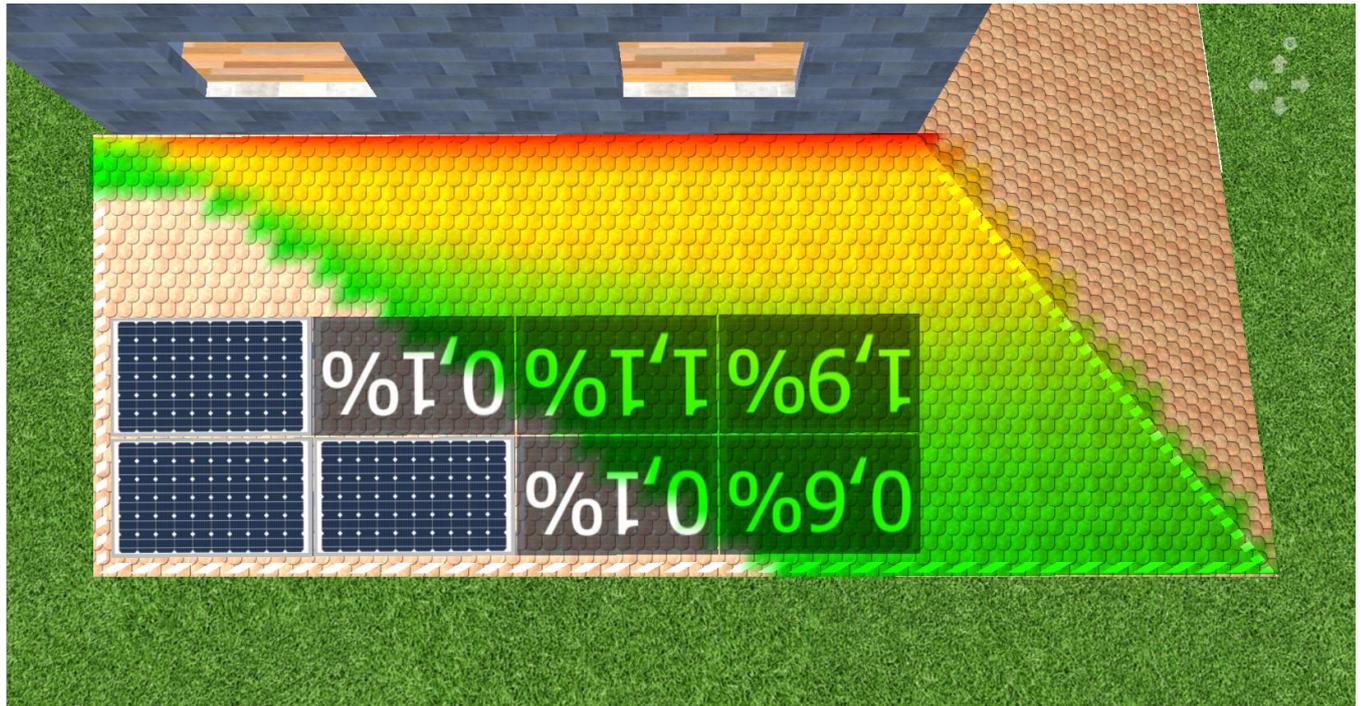


Figura 7: Perdas por sombreamento da instalação da residência.

Outras partes dos telhados foram testadas, mas as perdas totais eram maiores do que na região escolhida e apresentada neste projeto. No terreno existe bastante espaço para fazer a instalação no solo, mas devido à potência baixa de geração requerida por este cliente, os custos com estrutura de fixação dos módulos junto ao solo não foram atrativos, outras perdas de origem elétrica são apresentadas nos tópicos de dimensionamento dos componentes que constituem a usina.

2- Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico desta residência inicialmente foi considerado mais assertivo utilizar apenas os últimos 6 meses da fatura de energia elétrica. Ao observar o consumo dos primeiros meses, nota-se uma discrepância muito elevada em relação aos meses mais recentes. Esta diferença deve-se ao fato do período de obras na casa, quando a utilização pelos proprietários não era plena.

Considerando estes fatos, foi feito o levantamento de carga baseado no projeto elétrico real considerando todas as cargas previstas para a residência, onde o consumo médio mensal aumentou de 154kWh pelo método da conta de energia para 677kWh pelo levantamento de carga após o uso pleno das instalações. Para aproveitar da melhor forma possível o telhado melhor posicionado em relação à trajetória do Sol, foi considerado apenas as áreas livres de sombreamento ou com sombreamento insignificante, sendo utilizado no total 8 módulos de 460Wp. O módulo de 460Wp foi escolhido por ter a melhor relação Wp/R\$ na data da pesquisa de preços preliminares deste projeto.

Caso necessário esta usina poderá ser expandida para suprir 100% das necessidades da residência, aproveitando espaços ainda disponíveis em outros telhados ou até mesmo no solo.

2.1 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para dimensionar a quantidade de módulos necessários para o sistema fotovoltaico, foi considerado os dados solarimétricos para a localização do projeto, estes dados foram adquiridos no banco de dados do CRESESB e podem ser visualizados na Figura 8 [3].

Latitude: 22,53978° S
Longitude: 45,725272° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]																	
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta	
✓	Paraisópolis	Paraisópolis	MG	BRASIL	22,5° S	45,749° O		5,1	5,38	5,67	4,90	4,57	3,84	3,58	3,81	4,65	4,94	5,39	5,44	5,79	4,83	2,21
✓	Paraisópolis	Paraisópolis	MG	BRASIL	22,601° S	45,749° O		7,2	5,32	5,64	4,90	4,55	3,81	3,56	3,77	4,68	4,90	5,37	5,38	5,75	4,80	2,19
✓	Brasópolis	Brasópolis	MG	BRASIL	22,5° S	45,649° O		9,0	5,36	5,66	4,88	4,55	3,81	3,56	3,80	4,66	4,93	5,37	5,38	5,77	4,81	2,21



Figura 8: Dados solarimétricos de Paraisópolis MG.

O módulo fotovoltaico escolhido para construir a microusina de energia elétrica deste projeto foi o JKM460M-60HL4 da fabricante JINKO SOLAR, onde os parâmetros utilizados se encontram na Tabela 2 [4].

Tabela 2 – Parâmetros do Módulo Fotovoltaico modelo JKM460M-60HL4 do fabricante JINKO.

Parâmetros	Valor
Potência do módulo em condição de testes padrão (STC) [W]	460
Eficiência do módulo fotovoltaico – ϵ [%]	21,32
Área do módulo fotovoltaico [m ²]	2,158
Tensão de circuito aberto [V]	41,48
Tensão de máxima potência [V]	34,20
Corrente de curto-circuito [A]	14,01
Corrente de máxima potência [A]	13,45
Tensão máxima do sistema [Vdc]	1500

Para definir a quantidade mínima de módulos para atender o consumo anual de 676,84kWh/mês estimado anteriormente foi utilizado a seguinte equação:

$$N = \text{Warranjo} \times \text{IrradiânciaMed} \times A \times \epsilon \times \varphi \quad (\text{Equação 2.1.1})$$

Onde:

N = o número de módulos;

Warranjo = A média diária de energia baseada na fatura anual;

$Irradiância_{Med}$ = A quantidade média de irradiação por dia no local;

A = a área do módulo escolhido;

ϵ = Eficiência de conversão de energia do módulo e

φ = Coeficiente de geração.

Substituindo os valores obtemos:

$$N = (676,84 \times 30^{-1}) \times (4,83 \times 1,903 \times 1,134 \times 0,2132 \times 0,7)^{-1} \sim 15$$

O coeficiente de geração utilizado foi 0,7 devido às perdas totais estimadas, incluindo as perdas elétricas, sombreamento e sujeiras provenientes da poeira da rua de terra próxima a casa. Para este projeto serão necessários pelo menos 15 módulos de 460W totalizando 6900Wp de potência instalada, conforme calculado anteriormente utilizando a Equação 2.1.1. Entretanto, o consumo será suprido parcialmente com a implementação de apenas 8 módulos de 460W, totalizando 3680Wp de potência instalada, devido às limitações econômicas do cliente.

2.2 DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES

Para definir o inversor mais adequado, também foi considerado a irradiação máxima do ano. Desta forma será possível escolher um inversor que aceite sobre carga acima da potência de geração teórica para o mês de maior geração. No caso de Paraisópolis-MG mostrado no gráfico de irradiação, na primeira linha que foi considerada para os cálculos devido à proximidade do local exato da futura instalação, constatou-se que em dezembro, quando é o mês mais quente, o valor de irradiação é de 5,79kWh/dia e a média anual é de 4,83kWh/dia.

Nesta situação a sobrecarga teórica que os módulos podem enviar ao inversor referente aos valores nominais da geração é dado pela relação:

$$CSC = Irradiação_{Max}/Irradiação_{Med} \quad (\text{Equação 2.2.1})$$

Onde:

CSC = Coeficiente de sobrecarga e

Irradiação_{Max} = A quantidade máxima de energia irradiada por dia no local.

Substituindo os valores obtemos:

$$CSC = 5,79/4,83 \sim 1,2$$

Como no ítem 2.1 foi definido a quantidade de módulos que serão utilizados, sendo 8 módulos de 460 W no total, para atender a geração de energia deste projeto, a geração nominal da usina será de 3680 Wp. Considerando ainda a possível sobrecarga de 20% na geração no mês de maior irradiação, estima-se que o inversor deve suportar pelo menos 4416W para garantir a integridade física do equipamento durante sua vida útil.

Após testar diversas configurações de inversores, foi escolhido dividir os módulos em dois inversores de frequência para garantir um sistema mais equilibrado, pois se utilizado um modelo monofásico de potência nominal logo abaixo, no caso o de 3000W da mesma fabricante, o limite de sobrecarga não seria atendido para o mês de maior irradiação e, um bifásico logo acima ficaria superdimensionado.

Ao verificar a folha de dados dos inversores, foi constatado que o inversor PHB1800N-XS da empresa PHB Solar suporta *strings* de até 6 módulos de 410W; 5 módulos de 500W e até 4 de 550W. Considerando as informações verificadas, constata-se que este equipamento suporta até 2460W quando está conectado a 6 módulos de 410W, que superior aos 2208W máximos por *string* do projeto. Outros parâmetros elétricos importantes deste inversor escolhido e que foram considerados para a especificação da usina fotovoltaica, estão disponíveis na Tabela 3 [5].

Tabela 3 – Parâmetros do Inversor Fotovoltaico modelo PHB1800N-XS do fabricante PHB Solar.

Parâmetros	Valor
Máxima potência em condição de testes padrão (STC) [W]	1800
Máxima tensão CC [V]	500
Faixa de operação SPMP (MPPT) [m ²]	50~400
Tensão CC de partida [V]	50
Corrente CC máxima [A]	13
Número de <i>Strings</i> / Número de SPMP(MPPT)	1/1
Potência CA nominal [W]	1800
Máxima Potência CA [W]	2460
Saída nominal CA [Vca]	115-127
Máxima Eficiência [%]	97,4
Eficiência SPMP (MPPT) [%]	>99,9

A organização dos módulos em dois inversores é mostrada na Figura 9.



Figura 9: Disposição dos módulos das strings por inversor.

2.3 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS E PROTEÇÃO C.C.

Durante o dimensionamento dos cabos CC foi utilizado uma planilha de cálculos cujos dados são apresentados nas Tabelas 4 e 5 e os resultados para cada critério estão nas Tabelas 6 e 7. Os cálculos foram feitos por conjunto de *string*-inversor por estes serem simétricos, dos quais cada um são conectado ao quadro elétrico separadamente, onde suas influências estão previstas no novo projeto elétrico convencional da residência que será brevemente abordado em outros tópicos.

Tabela 4 – Parâmetros fixos iniciais para dimensionar os cabos CC.

Dados de entrada para dimensionamento cabo CC	Valor	Unidade
Método de referência	mp1	-
Isolação	XLPE/EPR	-
Temperatura ambiente/solo	40	°C

Na Tabela 5 são apresentados os dados da *string* que caracteriza a microusinha.

Tabela 5 – Parâmetros da *string* da microusinha fotovoltaica.

Dados CC da usina FV	Valor	Unidade
Potência nominal do módulo fotovoltaico	460	W
Tensão no ponto de máxima potência do módulo	34,2	V
Corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico	14,01	A
Número de módulos fotovoltaicos em série	4	unid.
Número de séries fotovoltaicas	1	unid.
Número de arranjos fotovoltaicos	1	unid.
Uso de dispositivos de proteção contra sobrecorrente	Sim	-
Potência CC do sistema FV	3680	W
Corrente de projeto da série fotovoltaica	15	A
Corrente de projeto do arranjo fotovoltaico	15	A
Distância máxima de cabo da série fotovoltaica	20	m
Distância máxima de cabo do arranjo fotovoltaico	20	m
Queda de tensão admissível no MPP	3	%
Condutividade do cobre em 90°C	44	m/Ohm.mm ²

A Tabela 6 mostra a bitola do cabo em função de cada critério de projeto, onde o cabo escolhido será fornecido no final.

Tabela 6 – Cabos mínimos de cada critério.

Dimensionamento do cabo da série fotovoltaica	Valor	Unidade
Critério seção mínima	2,5	mm ²
Critério da capacidade de condução de corrente	1,5	mm ²
Critério da queda de tensão	4	mm ²
Seção final	4	mm²

Na Tabela 7 foi escolhido e verificado a proteção necessária para a usina fotovoltaica, primeiro verifica a corrente máxima por *string*, depois a soma de todas as *strings*, nesse caso há apenas uma *string*. No final um dispositivo de proteção deve ser definido de tal forma que este suporte ligeiramente a corrente máxima do trecho de proteção e seja menor que a capacidade do cabo, desta forma a proteção do cabo será assegurada.

Tabela 7 – Cabos mínimos de cada critério.

Dispositivo de proteção CC da série FV	Valor	Unidade
Corrente máxima da String	14,01	A
Corrente nominal do dispositivo de proteção	15	A
Capacidade máxima do cabo escolhido	55	A

Após analisar as correntes da Tabela 7, os disjuntores de proteção e manobra foram escolhidos com a capacidade de 20A CC. O DSP do lado CC deve ser um

com valor nominal igual ou bem próximo ao valor máximo de entrada que o inversor suporta, pra este caso foi escolhido um DSP de 500V/20kA onde os 20kA significa que ele consegue interromper o circuito com correntes de descarga até 20kA. Na Figura 10 está ilustrado as ligações dos cabos CC aos módulos fotovoltaicos até chegar na descida que vão direto para os inversores.

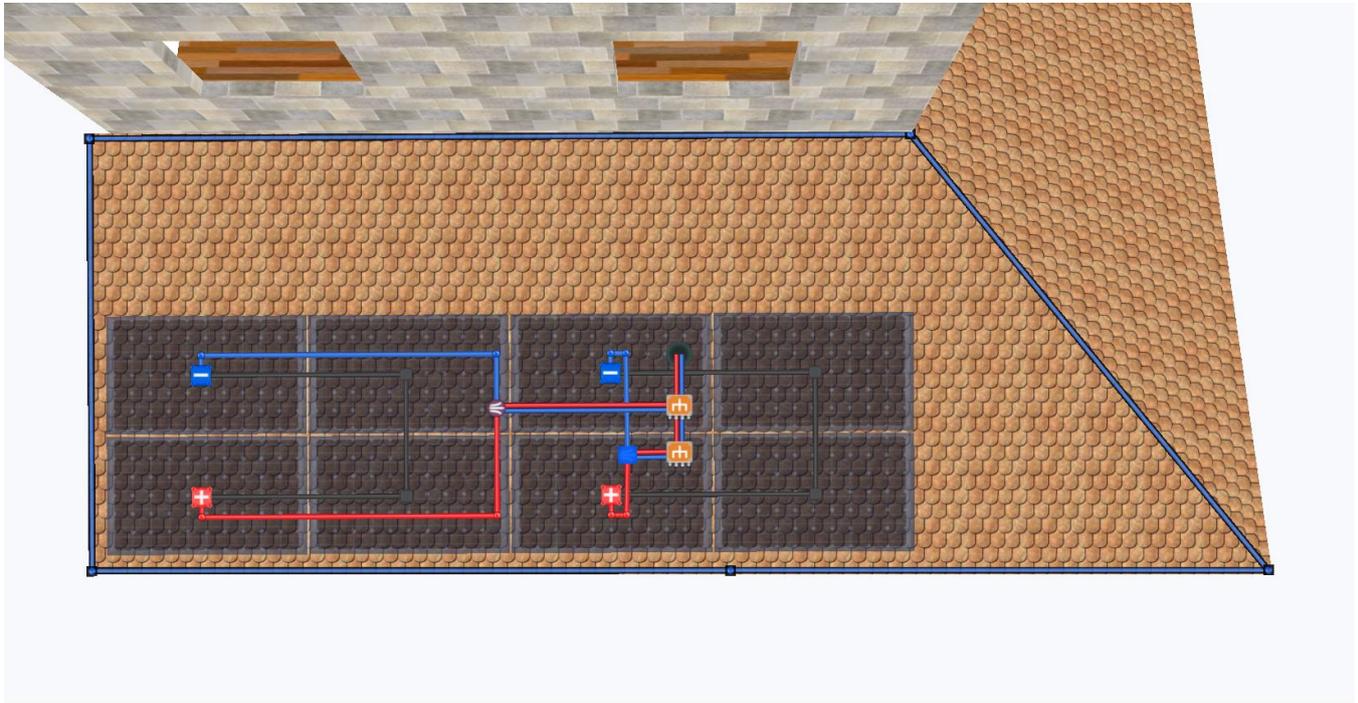


Figura 10: Ligação do cabeamento CC nos módulos fotovoltaicos.

2.4 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS E PROTEÇÃO CA

A distância de um inversor até o medidor é de aproximadamente 21 metros, conforme é mostrado na Figura 11. Além da distância será considerado a altura do medidor e do inversor, sendo de 1,5 metros para cada, totalizando 24 metros a distância total entre o medidor e o inversor.



Figura 11: Distância do inversor até o medidor de energia.

A Tabela 8 mostra os dados de método de instalação dos cabos e a Tabela 9 os parâmetros elétricos CA da usina.

Tabela 8 – Dados para dimensionamento do cabo CA

Dados para dimensionamento cabo CA	Valor	Unidade
Método de referência	m_D	-
Isolação	PVC	-
Temperatura ambiente/solo	20	°C
Número de condutores carregados	2	-
Número de circuitos na linha elétrica	1	-
Condutor	Cobre	-
Construção do condutor	Unipolar	-
Resistividade do solo	2,5	$\Omega.m$
Fator de correção de temperatura	1	-
Fator de correção agrupamento/número circuitos	1	-
Fator de correção resistividade do solo	1	-

Tabela 9 – Dados CA da usina fotovoltaica por inversor.

Dados CA da usina FV	Valor	Unidade
Potência c.a.	2208	W
Tensão RMS de linha	127	V
Tipo de sistema	Mono/Bi	-
Corrente RMS nominal	17,386	A
Corrente de projeto	17,386	A
Distância do transformador	48	m
Queda de tensão admissível do ponto de entrega	3	%
Impedância mínima nestas condições	4,5655	V/Akm

Após aplicar os dados das Tabelas 8 e 9 na planilha de cálculo, foram definidos os cabos a serem utilizados para a fase e para neutro, que estão sendo mostradas na Tabela 10.

Tabela 10 – Dimensionamento dos cabos CA.

Condutor de fase	Valor	Unidade
Critério seção mínima	2,5	mm ²
Critério da capacidade de condução de corrente	1	mm ²
Critério da queda de tensão	6	mm ²
Seção final	6	mm²
Condutor de neutro	Valor	Unidade
Componentes múltiplas de terceiro harmônico	15	%
Corrente de projeto de neutro	17,386	A
Seção final	6	mm²

As perdas dos cabos para a fiação escolhida estão demonstradas na Tabela 11.

Tabela 11 – Perdas nos cabos CA.

Perdas	Valor	Unidade
Queda de tensão no ponto de entrega	47,879	W
Impedância mínima nestas condições	2,1684	%

2.5 ATERRAMENTO

Para o sistema fotovoltaico, aplica-se o sistema IT, apresentando o neutro e negativo isolado da terra e suas massas ligadas diretamente à terra de proteção conforme Figura 12 [6].

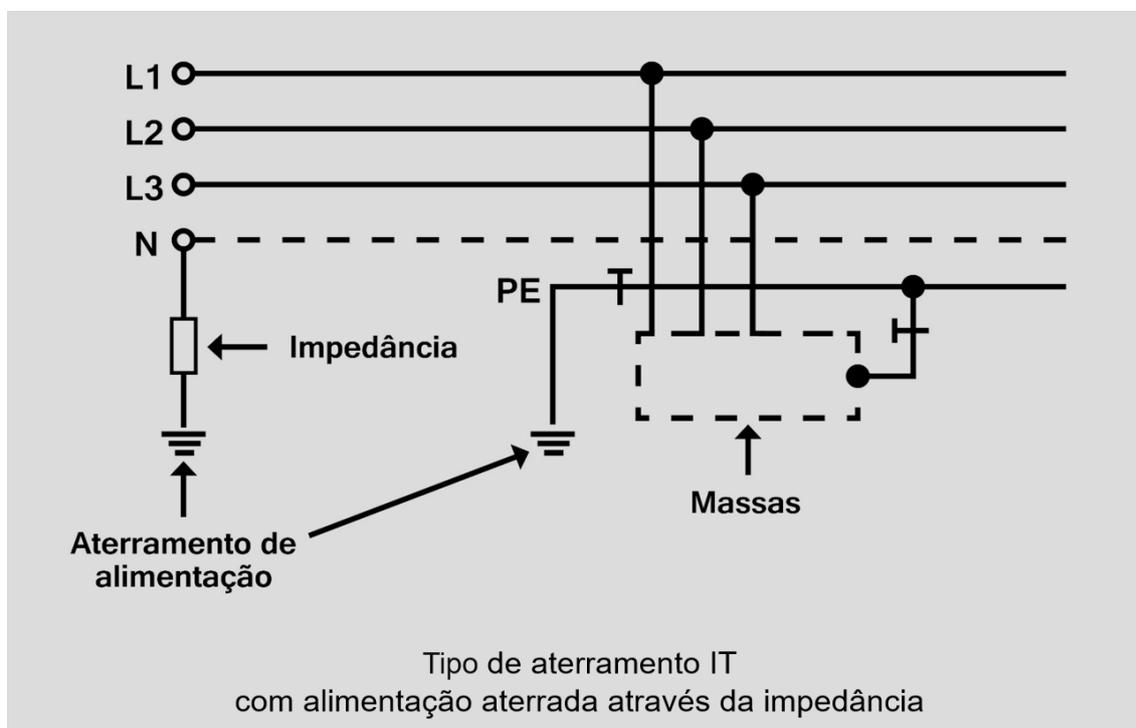


Figura 12: Esquema de aterramento IT adotado.

A malha de aterramento deve ser instalada em vala de no mínimo 50 cm de profundidade, na qual serão interligadas as hastes de aterramento, através de condutores de 50 mm² de cobre nu. Deve possuir caixa de equalização, BEP, quando necessário, e interligar o sistema de aterramento ao barramento de proteção do quadro de distribuição geral de baixa tensão.

A malha de aterramento será composta pela instalação de hastes de aterramento em linha, interligadas e distanciadas entre si de 3 metros, sendo a haste de características mínimas de Ø5/8" x 2, 44m, tipo Copperweld.

A resistência máxima deverá ser de 25 Ohms, e se necessário for, dever-se-á aumentar o número de hastes ou tratar o solo para respeitar tal valor.

Na primeira haste haverá uma caixa de inspeção de 30x30x40 cm, para verificação e inspeção do aterramento.

2.6 ESTRUTURA DE FIXAÇÃO

A estrutura de fixação deve ser compatível com telhado com telhas coloniais conforme ilustrado na Figura 13.



Figura 13: Peças de fixação dos módulos fotovoltaicos nos trilhos acoplados no telhado.

3- Análise de Viabilidade Econômica

O estudo de viabilidade econômica deste projeto leva em consideração os custos de implementação, de operação e a estimativa de retorno do investimento baseados na economia dos custos de energia quando adquirido junto à distribuidora, envolvendo os custos diretos da geração, transmissão e impostos sobre o valor total da energia elétrica.

3.1 REGULAMENTAÇÃO VIGENTE

A geração de energia ocorre de maneira sazonal, sendo superior no verão e inferior durante o inverno. Em alguns períodos, a geração pode superar o consumo de energia. Devido a isso, a ANEEL aprovou a Resolução Normativa 482/2012, que estabelece as condições gerais para acesso de micro e minigeração aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia. Nesse período, o usuário acumula créditos que podem ser utilizados em até 60 meses para compensar o consumo dos meses subsequentes de qualquer unidade consumidora do mesmo titular, desde que localizadas na área de atendimento de uma mesma distribuidora [7].

3.2 ESPECIFICAÇÕES E MATERIAIS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO PROJETADO

O sistema fotovoltaico proposto foi projetado de forma customizada de acordo com as características específicas do local em que será instalado. Os valores de geração estimada são baseados no histórico de irradiação solar de anos anteriores, podendo variar de acordo com as condições meteorológicas. Os módulos fotovoltaicos utilizados no projeto possuem 460,00 watts de potência, ocupa uma área de 2,158m² e percentual médio de possíveis perdas, por aquecimento ou sujeira considerada de 10,00 %. Devido a isso e levando em consideração uma média de 4,83 horas de irradiação solar útil diária, espera-se que cada módulo fotovoltaico gerará aproximadamente 60 kWh/mês.

Na Tabela 12 é demonstrado a lista de materiais necessários para a execução exclusivamente do projeto fotovoltaico, não considerando outros elementos do projeto de instalação elétrica da residência.

Tabela 12 – Lista de materiais.

Lista de materiais utilizados	Quantidade
Modulo 460wp - mono - hc; (jkm460m-60hl4-v)	8
Phb1800-xs, inversor fv mono 220v/1mppt/dps ii	2
Emenda p/ perfil de aluminio	4
Hook #s1dn - s1bn+adaptador - estr.madeira (módulo posição paisagem)	16
Grampo intermediário 30mm em alumínio	12
Grampo terminador 30mm em alumínio	8
Perfil de aluminio anodizado p/ modulos fv (2,40m)	8
Cabo solar preto com proteção uv 4,0mm ²	40m
Cabo solar vermelho com proteção uv 4,0mm ²	40m
Conector mc4 evo macho+femea p/ modulo jinko	2

O kit fechado foi orçamentado no sistema da revendedora PHB Solar, não discriminando o valor de cada item, apenas o global, cujo valor no dia da cotação foi de R\$11129,03. As características resumidas da micro usina projetada está descrita na Tabela 13.

Tabela 23 – Resumo do sistema projetado.

Características do sistema	Unidade	Quantidade
KIT Fotovoltaico PHB Solar de 3,68 kWp	-	1
Área utilizada	m ²	~18
Média mensal de geração de energia	kWh/mês	479,91
Média anual de geração energia	kWh/mês	5758,91

Os custos totais da usina projetada encontram-se na Tabela 14. Os valores apresentados foram utilizados para determinar o fluxo de caixa e a viabilidade econômica do projeto.

Tabela 34 – Custo do sistema fotovoltaico.

Item	Quantidade	Preço
Kit PHB Solar 3,68 kWp	1	R\$ 11.129,03
Mão de obra para instalação	3	R\$ 120,00
Projeto	1	R\$ 3.150,00
Total		R\$ 14.639,03

Para a análise proposta, foram considerados os custos do sistema apresentados na tabela abaixo, um reajuste médio anual de energia de 5,00 %, alíquotas de ICMS, PIS e COFINS, informações de isenção das alíquotas do estado de Minas Gerais, o tipo de fornecimento e o tipo de estabelecimento, no caso deste projeto, uma residência com entrada trifásica [8].

O valor da tarifa considerada está disponível na Figura 14, que foi retirada da fatura da CEMIG referente ao mês de junho de 2022.

Valores Faturados			
Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Energia Elétrica kWh	155	0,93232966	144,49
Tarifas Aplicadas (sem impostos)			
Energia Elétrica kWh		0,62665606	
Adicional Bandeiras - Já incluído no Valor a Pagar			
Bandeira Escassez Hídrica			1,96

Figura 14: Valores das tarifas da CEMIG com e sem impostos.

3.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE E FLUXO DE CAIXA

Os dados da análise econômica apresentados na Tabela 15 são resultados de uma simulação baseada em projeções tarifárias e cenários macroeconômicos, levando em consideração todas as informações de gastos, custos e geração de energia fornecidas nos tópicos anteriores deste trabalho. Portanto, são de caráter ilustrativo e não representam uma garantia plena de economia obtida pelo sistema, pois outros fatores podem influenciar nos valores das tarifas, como

o cenário político-econômico e influências do clima ou outros acontecimentos globais [9]. Para considerar a viabilidade econômica, a taxa mínima de atratividade considerada foi de 9%, custos com limpeza R\$150,00 por vez, sendo 3 vezes ao ano, a substituição de cada unidade dos inversores no valor de R\$1957,94 a cada 10 anos. O período de tempo de 25 anos foi utilizado os cálculos da TIR, VPL e LCOE.

Tabela 45 – Projeção de fluxo de caixa.

Ano	kWh/Ano	kWh acumulado	Gastos(R\$)	Economia (R\$/ano)	Economia acumulada (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
0	-	-	14.639	-	-	14.639
1	5.759	5.759	450	5.356	5.356	9.733
2	5.701	11.460	473	5.567	10.923	4.638
3	5.644	17.105	496	5.787	16.710	653
4	5.588	22.692	521	6.016	22.726	6.148
5	5.532	28.224	547	6.253	28.980	11.854
6	5.477	33.701	574	6.500	35.480	17.780
7	5.422	39.123	603	6.757	42.237	23.934
8	5.368	44.491	633	7.024	49.262	30.325
9	5.314	49.805	665	7.302	56.563	36.962
10	5.261	55.066	7.077	7.590	64.153	37.476
11	5.208	60.274	733	7.890	72.043	44.632
12	5.156	65.430	770	8.201	80.245	52.064
13	5.105	70.535	808	8.525	88.770	59.782
14	5.054	75.588	849	8.862	97.632	67.795
15	5.003	80.591	891	9.212	106.844	76.117
16	4.953	85.544	936	9.576	116.421	84.757
17	4.903	90.448	982	9.954	126.375	93.729
18	4.854	95.302	1.031	10.348	136.723	103.045
19	4.806	100.108	1.083	10.756	147.479	112.719
20	4.758	104.866	11.527	11.181	158.660	112.373
21	4.710	109.576	1.194	11.623	170.283	122.802
22	4.663	114.239	1.254	12.082	182.365	133.630
23	4.617	118.856	1.316	12.559	194.924	144.873
24	4.570	123.426	1.382	13.055	207.979	156.546
25	4.525	127.951	1.451	13.571	221.550	168.666
TMA		LCOE (R\$/kWh)	Payback Descontado	Payback simples	VPL	TIR
9%		0,03	3,20	2,80	45.530,10	118%

4- Projeto Elétrico

Neste capítulo serão apresentadas as partes que compõem o projeto elétrico da usina fotovoltaica, como a planta de localização, os diagramas unifilares, multifilares e o memorial descritivo.

4.1 PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

O projeto fotovoltaico está localizado nas coordenadas -22.539780° ; -45.725272° , na cidade de Paraisópolis no estado de Minas Gerais. Na Figura 15 é demonstrado parte da planta de localização de projeto e a localização geográfica obtida através do Google Earth [10].

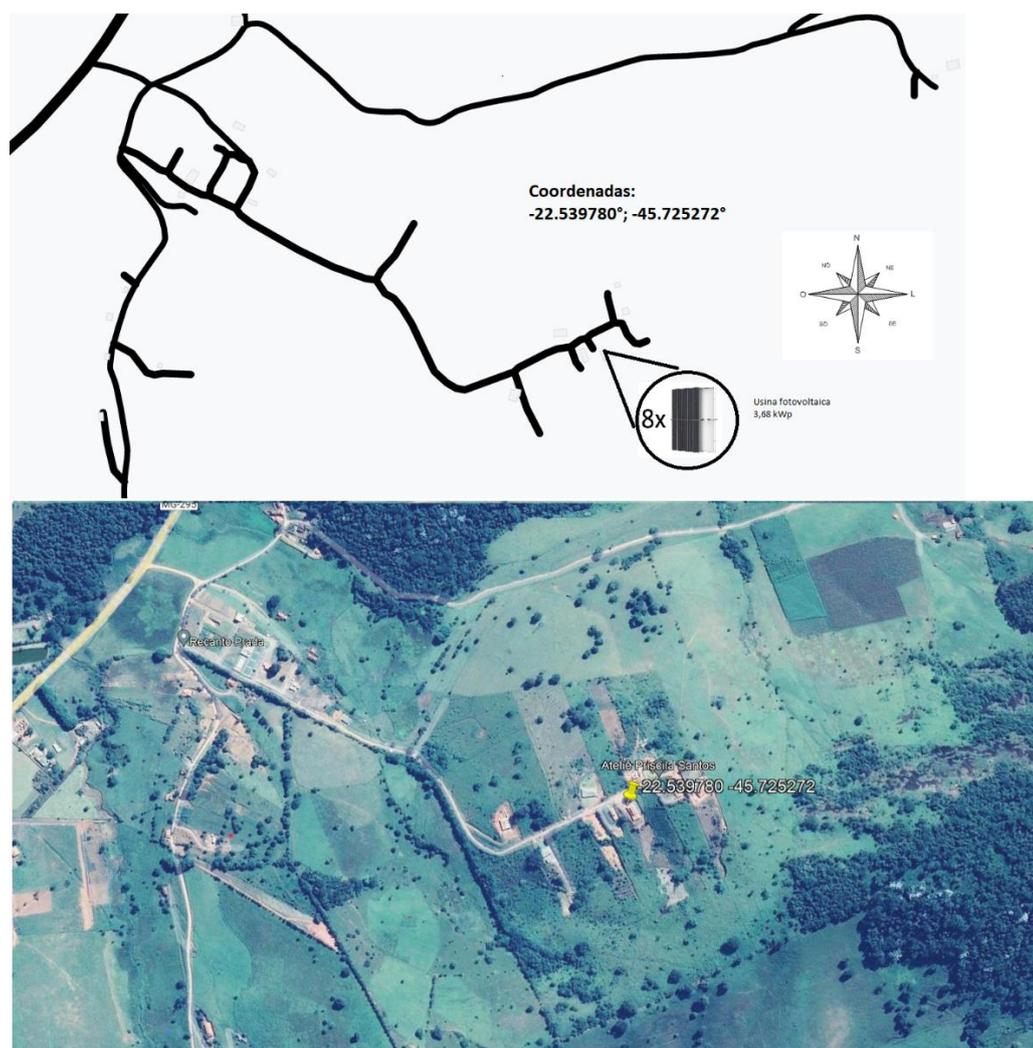


Figura 15: Acima a planta de localização do projeto elétrico, logo abaixo o local da instalação obtido pelo Google Earth.

4.2 PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA UNIFILAR

Neste tópico é apresentado os diagramas unifilares dos inversores da instalação, os diagramas unifilares dos quadros em que estão conectados e do quadro medição bidirecional na entrada de energia.

- ✓ Carga instalada existente na unidade consumidora de 36,78kW;
- ✓ Condutores CA fase de bitola 50mm² e neutro 25mm², isolação PVC 0,6/1kV em 2 eletrodutos com diâmetro de 1 1/4", no padrão de entrada;
- ✓ Disjuntor de 125A no padrão de entrada;
- ✓ Condutores CA fase de bitola 16 mm² e neutro 10 mm², isolação PVC 0,6/1kV em eletroduto com diâmetro de 3", no padrão de entrada dos quadros 1 e 2;
- ✓ Medidor de energia bidirecional;
- ✓ Dispositivo de proteção contra surtos de 175V (fase-terra), classe 2, corrente nominal (corrente projetada, na qual é capaz de desviar para o aterramento de proteção) de 20kA; Condutores CA fase de bitola 4mm², isolação EPR/XLPE 0,6/1kV, dispostos em eletroduto de 3/4" (conecta a saída CA do inversor ao quadro 2);
- ✓ Disjuntor CA de 16A no lado CA da *string box* embutida do inversor;
- ✓ Condutores CC polos positivo e negativo de bitola 4 mm², isolação XLPE 1000V (conecta o arranjo FV à entrada CC do inversor);
- ✓ Dispositivo de seccionamento CC de 20A, tensão máxima de 1/1,8kV de isolação no lado CC da string box;
- ✓ Dispositivo de proteção contra surtos CC de 500V, classe 2, corrente nominal (corrente projetada, na qual é capaz de desviar para o aterramento de proteção) de 20kA;
- ✓ 2 inversores FV 1,8kW CA, 127V CA, com um MPPTs e *stringbox* embutida;
- ✓ Módulos fotovoltaicos 460Wp dispostos em uma *string* de 4 módulos fotovoltaicos cada, por inversor, totalizando 3,68kWp de potência CC instalada.

Na Figura 16 é apresentado o trecho da planta que contém o diagrama unifilar do inversor 1.

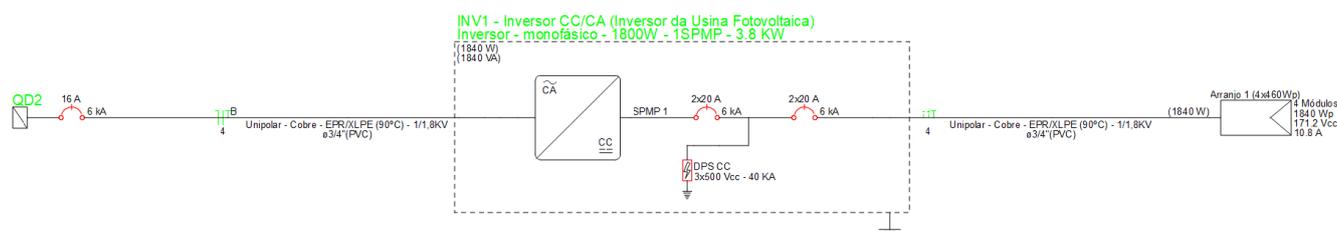


Figura 16: Diagrama unifilar do inversor 1.

Na Figura 17, semelhante ao primeiro inversor, é apresentado o diagrama unifilar do inversor 2.

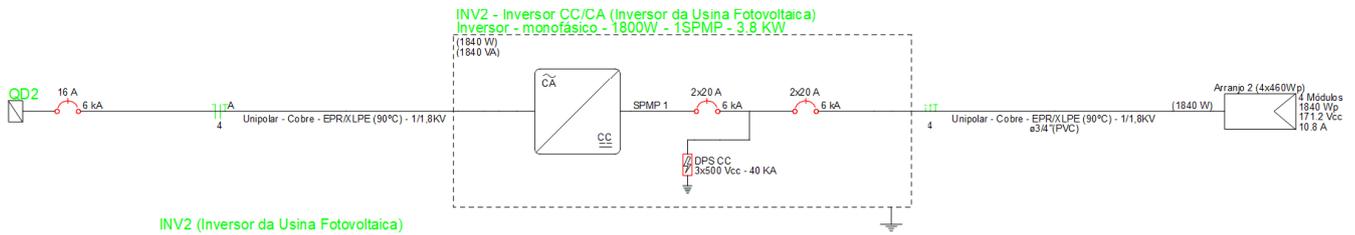


Figura 17: Diagrama unifilar do inversor 2.

Na Figura 18 é fornecido o diagrama unifilar do quadro de medição até os dois quadros de cargas, sendo que os inversores estão conectados ao quadro 2.

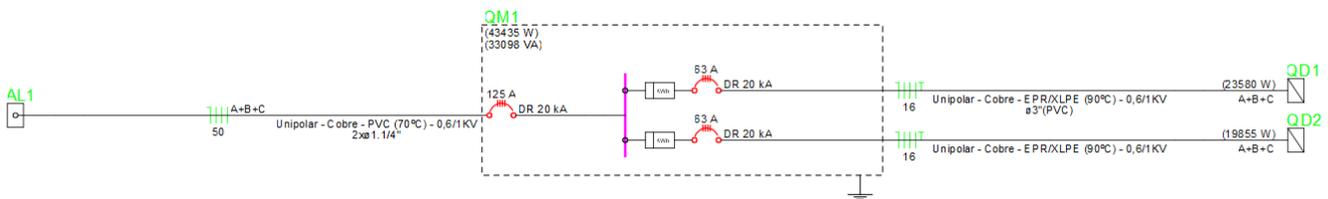


Figura 18: Diagrama unifilar do quadro de medição.

Por último, na Figura 19 é disponibilizado a parte do projeto que contém o diagrama unifilar do quadro 2 até chegar no quadro de medição, que é o quadro em que os inversores estão conectados, que por sua vez, é conectado diretamente ao quadro do medidor bidirecional.

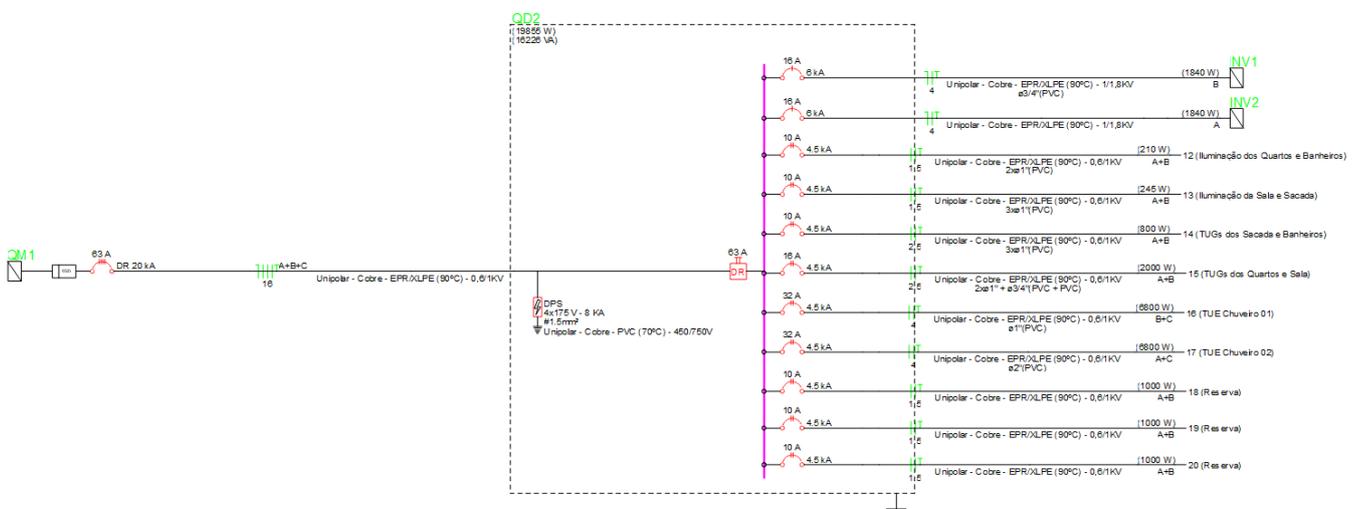


Figura 19: Diagrama unifilar do quadro 2.

O quadro 1 não será apresentado, pois este não tem nenhuma conexão elétrica direta com o sistema fotovoltaico, que é o foco deste projeto.

O sistema de medição de energia instalado no quadro QM deve ser bidirecional para seja possível mensurar o fluxo de energia que entra e que sai, desta forma será possível ter aprovação do sistema e aderir a compensação de energia. A energia ativa injetada e a consumida da rede são apuradas, para gerar descontos e créditos na fatura de energia da UC.

Antes da adesão ao sistema de compensação de energia, o padrão de entrada da unidade consumidora deve estar de acordo com as normas das concessionárias competentes. No caso da CEMIG, as normas de distribuição ND 5.1, 5.2 e 5.5 precisam ser atendidas para o acesso à rede de distribuição. A Figura apresenta o padrão de entrada de acordo com as exigências da CEMIG. Caso seja constatado qualquer procedimento irregular do padrão de entrada, ele deve ser readequado, que será o caso deste projeto.

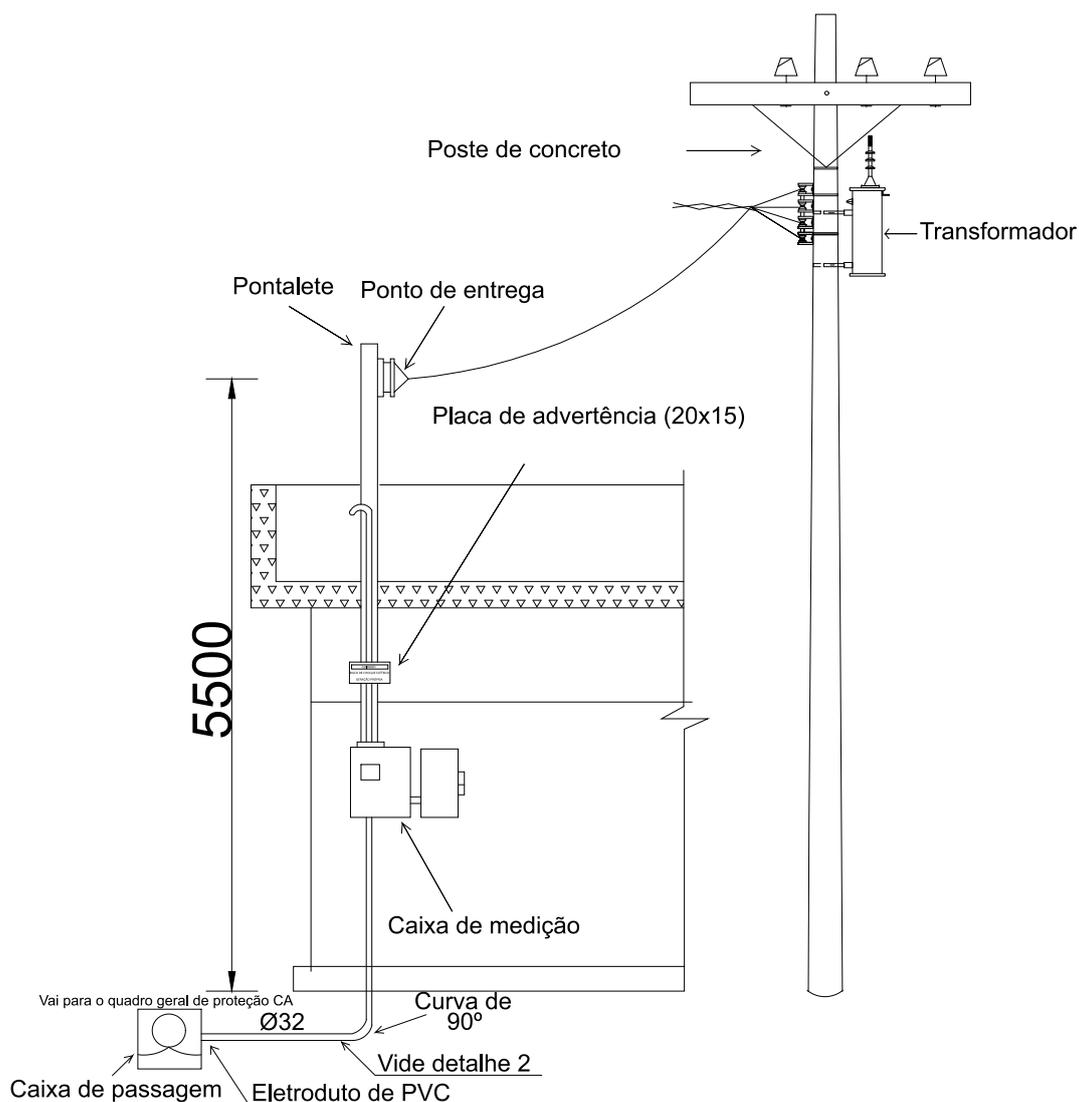


Figura 20: Padrão de entrada com caixa de medição e medidor bidirecional.

É possível notar a caixa de medição com medidor bidirecional. O dispositivo de seccionamento poderá ser instalado tanto na parte inferior quanto na lateral direita da caixa de medição. Além disso, junto ao padrão de entrada de energia próximo à caixa de medição, deverá ser instalada uma placa de advertência conforme mostrado na Figura .



Figura 21: Placa de advertência que deve ser instalada na usina FV, próxima à caixa de medição (medidas 20 x 15 cm).

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 fotovoltaica. A escolha do tipo de condutores e bitola, dimensionamento do arranjo e inversores fotovoltaicos, especificação dos dispositivos de proteção e representação em planta baixa fazem parte das etapas do projeto elétrico.

4.3 PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA MULTIFILAR

Neste tópico é apresentado os diagramas multifilares dos inversores e dos quadros de medição e o quadro 2, que é o quadro de conexão dos inversores. Estes diagramas representam fielmente as conexões que deverão ser efetuadas durante a instalação física do sistema.

Na Figura 22 e Figura 23 são apresentados os diagramas multifilares dos inversores 1 e 2 respectivamente.

INV1 (Inversor da Usina Fotovoltaica)

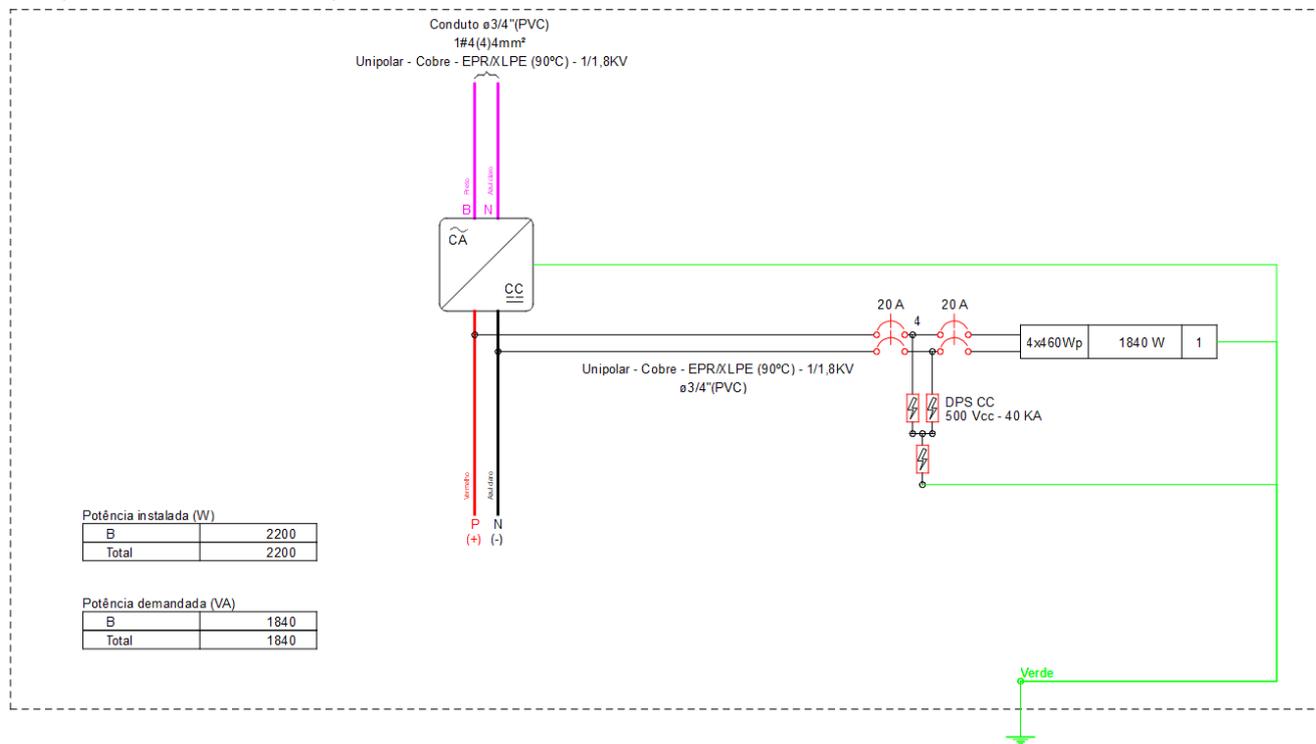


Figura 1: Diagrama multifilar do inversor 1.

INV2 (Inversor da Usina Fotovoltaica)

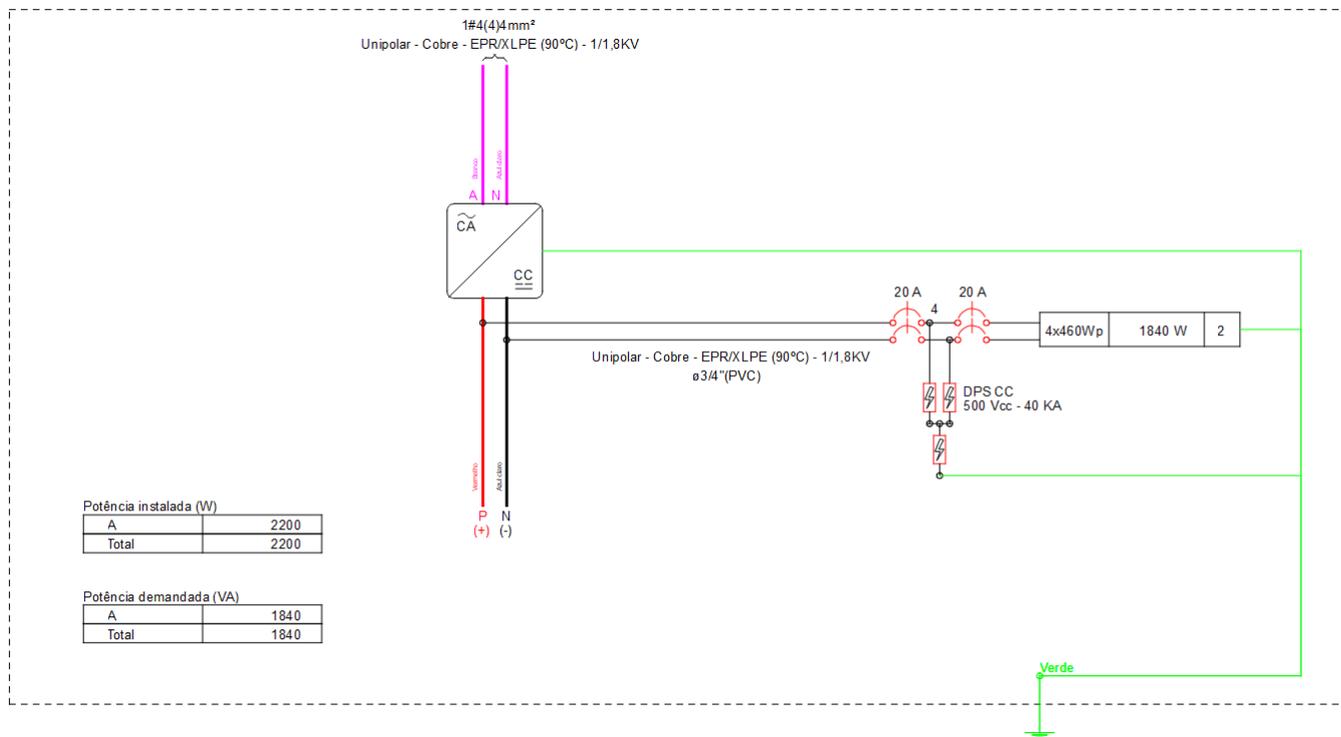


Figura 23: Diagrama multifilar do inversor 2.

Logo a seguir, o diagrama multifilar do quadro 2 na Figura 24.

QD2

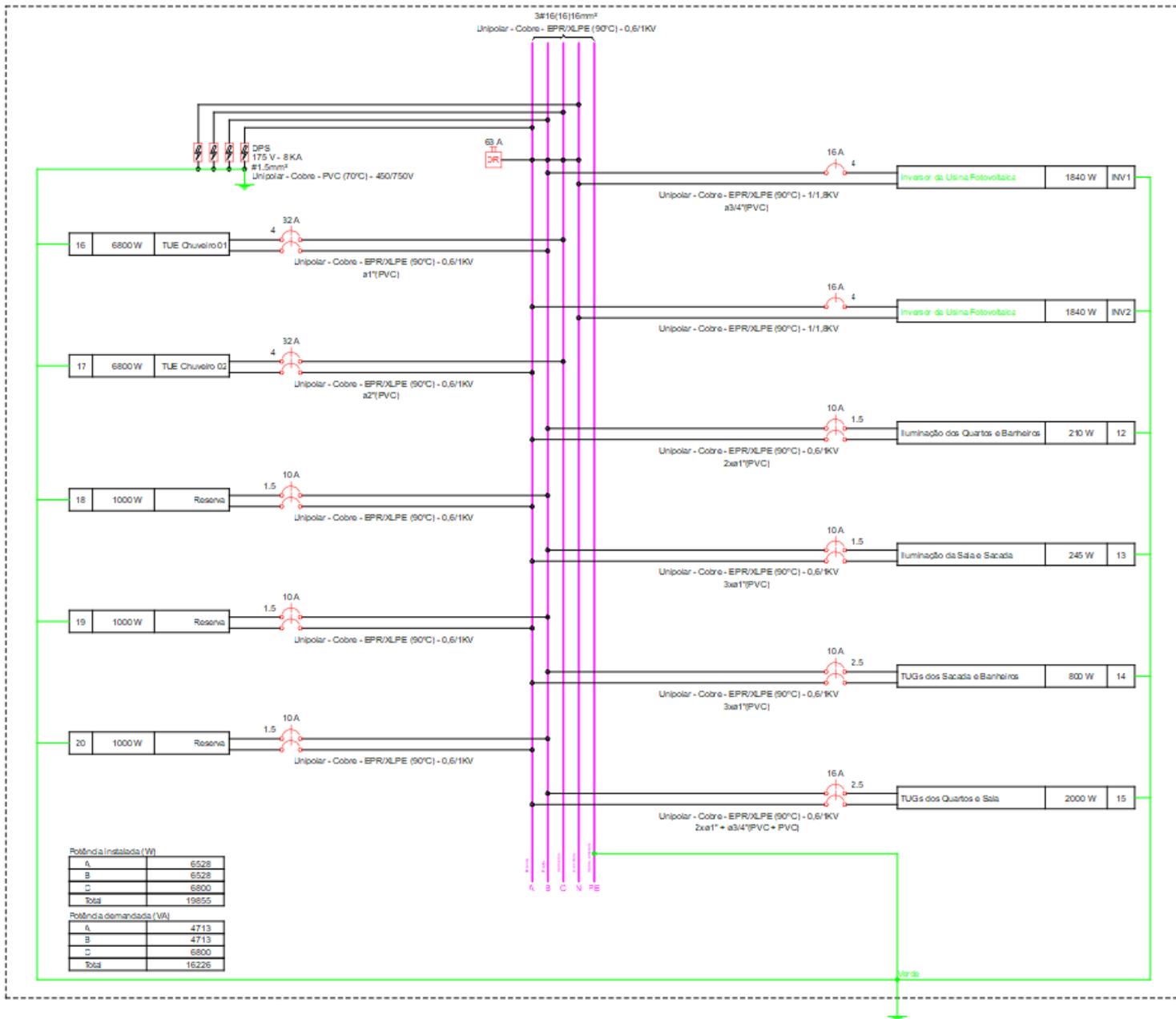


Figura 24: Diagrama multifilar do quadro 2.

4.4 MEMORIAL DESCRITIVO

Identificação

Título do projeto: Projeto de geração de energia solar fotovoltaica

Proprietário: João Marcolino da Silva

Endereço: Rodovia MG 295, 4.5km, Paraisópolis - MG

Informações da unidade consumidora: Número da unidade consumidora (UC):
XXXXXXX

Categoria: Residencial

Carga Instalada: 37kW

Latitude: -22.539780°

Longitude: -45.725272°

Fonte dos dados climáticos: CRESEB

Autor do projeto: Douglas de Tarso da Silva

CREA: 5070638691

Empresa: Tarso Engenharia de Energia

Data: 30/09/2022

Objetivo

O objetivo deste memorial descritivo é apresentar as informações gerais do projeto, especificações dos equipamentos e materiais, critérios utilizados nos cálculos, os principais resultados de dimensionamento utilizados para a geração de energia.

O sistema fotovoltaico tem por objetivo a geração de energia ao consumidor e crédito conforme determinações da ANEEL, que é o órgão regulador federal dentro do sistema de compensação de energia elétrica, estabelecido pela Resolução Normativa nº482/2021 e de acordo com a GED - 15 303 - Conexão de Micro e Minigeração Distribuída Sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

Descrição

O projeto consiste na instalação e dimensionamento do sistema elétrico fotovoltaico, em função dos parâmetros elétricos dos equipamentos do sistema em corrente contínua para a geração de energia e os parâmetros elétricos do sistema em corrente alternada para interligação e fornecimento de energia produzida para a edificação e excedente para a concessionária.

A instalação fotovoltaica é única e poderá ter uma relação de energia ou potência produzida diferente para cada região em função da radiação solar incidente sobre o plano nos módulos, da potência nominal do sistema e a temperatura de funcionamento dos módulos e inversores.

Pavimentos da estrutura

As alturas e inícios de cada pavimento estão descritas na Tabela 16.

Tabela 56 – Altura do pé direito e nível inicial dos pavimentos.

Pavimento	Altura (cm)	Nível (cm)
Pavimento 2	300.00	300.00
Pavimento 1	300.00	0.00

Normas relacionadas ao projeto

Os principais critérios adotados neste projeto, referente aos materiais utilizados e dimensionamento das peças, seguem conforme as prescrições normativas.

Normas:

- NBR 5410:2004 - Instalações elétricas de baixa tensão
- NBR 16690:2018 - Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisito de projeto

Dimensionamento

As instalações elétricas deverão atender aos critérios de dimensionamento para a geração de energia fotovoltaico que poderão ser executadas com aplicação de equipamentos como, módulo fotovoltaico (gerador solar), bateria (acumulador de

energia), Inversor (conversor de energia cc/ca), Controlador de carga (conversor de energia cc/cc), definições das seções e proteções dos circuitos fotovoltaicos, do circuito em corrente alternada para interligação após a conversão de energia com o sistema em energia ca da edificação.

Não são admitidos conjuntos de módulos em paralelo não perfeitamente idênticos para a mesma exposição solar, devendo ser de marcas, modelos e número de módulos iguais nas séries fotovoltaicas. Cada módulo ou conjunto de módulos deverá ter equipamentos de proteção instalados internamente, diodos de bypass, e circuito e proteção dimensionados conforme as tensões e correntes geradas e distinção entre quadro para proteção do sistema em corrente contínua e para proteção do sistema em corrente alternada.

Descrição do sistema

O sistema fotovoltaico é composto por geradores de energia que são os módulos fotovoltaicos e conversores estáticos de energia que são os inversores.

Neste projeto possui a quantidade e potência abaixo:

Quantidade de inversores: 2

Potência total dos inversores(W): 3,6 kWp

Quantidade de módulos fotovoltaicos: 8

Potência total dos módulos fotovoltaicos: 3,68 kWp

Temperatura ambiente

A temperatura média do ambiente e do solo são elementos utilizados para o cálculo do Fator de correção por temperatura conforme a NBR 5410. O FCT é utilizado no cálculo da corrente de projeto corrigida para o dimensionamento da seção da fiação do circuito.

A temperatura mínima, média e máxima da região são valores aplicados para determinar as temperaturas incidentes na superfície do módulo fotovoltaico para o dimensionamento de seus parâmetros elétricos.

A Tabela 17 contém as temperaturas ambiente e do solo adotadas para dimensionamento da fiação.

Tabela 67 – Temperaturas para o cálculo da fiação.

Ambiente (°C)	30
Solo (°C)	20

A Tabela 18 informa a faixa de temperaturas para o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos.

Tabela 78 – Temperaturas dos módulos fotovoltaicos.

Mínima (°C)	-5
Média (°C)	15
Máxima (°C)	35

Queda de tensão

No sistema fotovoltaico a energia gerada é em corrente contínua e a energia entregue na edificação é em corrente alterada. Nesse sentido, as configurações de queda de tensão máxima são distintas para cada tipo de sistema. Na Tabela 19 é informado as variações de tensão máximas permitidas para os circuitos CA e na Tabela 20 a variação máxima considerada para o circuito CC.

Tabela 89 – Queda de tensão admissível CA.

Total (%)	5
Alimentação (%)	4

Tabela 20 – Queda de tensão admissível CC.

Total (%)	3
Arranjo (%)	2
Subarranjo (%)	2

Conduitos

Todos os eletrodutos a serem utilizados deverão ser de PVC, anti-chama, de marca com qualidade comprovada e resistência mecânica mínima de 320 N/5cm para dutos e estar de acordo com as normas IEC-614, PNB-115, PBE-183 e PMB-335.

As eletrocalhas ou perfilados são bandejas que suportam a passagem de cabos elétricos que devem estar de acordo com a norma NBR IEC 61537.

Condutores

No sistema fotovoltaico os condutores aplicados ao ar livre, protegidos ou não da irradiação solar, devem estar de acordo com a norma NBR 16612, que trata dos cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8kV C.C. entre condutores e terra. A temperatura em condições ambientais deverá operar entre -15°C até 90°C, em condição de operação de até 120°C em temperatura ambiente máxima de 90°C e em condições de operação em regime de curto-circuito.

Os condutores do tipo solar, deverão ter gravado em toda a sua extensão as especificações e nome do fabricante, bitola, isolação, temperatura de operação, certificado do INMETRO, preferencialmente de cor vermelho e preto.

Após a conversão de energia para corrente alternada, utilizar condutores de cobre eletrolítico de alta pureza, tensão de isolamento 450/750V, isolados com composto termoplástico de PVC com características de não propagação e auto extinção do fogo (antichama), resistentes à temperaturas máximas de 70°C em serviço contínuo, 100°C em sobrecarga e 160°C em curto - circuito. Devem atender às normas NBR-6880, NBR-6148, NBR-6245 e NBR-6812.

Os condutores instalados em eletroduto diretamente enterrado no solo, terão tensão de isolamento 0,6/1kV, encordoamento classe 2, conforme norma de fabricação NBR-7288.

A bitola mínima para os condutores será conforme padrões definidos no projeto. Para todas as bitolas deverão ser utilizados cabos elétricos, ou seja, condutores formados por fios de cobre, têmpera mole-encordoamento classe 2.

Na Tabela 21 os valores mínimos das seções para os circuitos fotovoltaicos e alimentação CA.

Tabela 21 – Seções mínimas dos cabos.

Alimentação CA [mm²]	4
Cabos do arranjo CC [mm²]	4
Cabos da série CC [mm²]	4

Proteção

Cada circuito série ou arranjo do sistema fotovoltaico deverá ter a sua própria proteção, podendo aplicar fusíveis, disjuntores, seccionadoras e dispositivo de proteção contra surtos (DPS) e todos devem ter especificações para aplicação em corrente contínua. Deverão ter gravado no dispositivo os valores de corrente máxima de proteção, corrente de pico, tensão nominal e curva de atuação. Todas as proteções deverão ser instaladas dentro do quadro de proteção (String box).

Permite-se utilizar circuitos sem proteções se no inversor já possuir estas proteções internas, assim, o circuito série poderá ser conectado diretamente ao Inversor. Informações dos dispositivos aplicados estão no diagrama unifilar fotovoltaico, descritos e quantificados na lista de materiais.

Aterramento

Para o sistema fotovoltaico, aplica-se o sistema IT, apresentando o neutro e negativo isolado da terra e suas massas ligadas diretamente à terra de proteção.

A malha de aterramento deve ser instalada em vala de no mínimo 50 cm de profundidade, na qual serão interligadas as hastes de aterramento, através de condutores de 50 mm² de cobre nu. Deve possuir caixa de equalização, BEP, quando necessário, e interligar o sistema de aterramento ao barramento de proteção do quadro de distribuição geral de baixa tensão.

A malha de aterramento será composta pela instalação de hastes de aterramento em linha, interligadas e distanciadas entre si de 3 metros, sendo a haste de características mínimas de Ø5/8" x 2, 44m, tipo Copperweld.

A resistência máxima deverá ser de 25 Ohms, e se necessário for, dever-se-á aumentar o número de hastes ou tratar o solo para respeitar tal valor.

Na primeira haste haverá uma caixa de inspeção de 30x30x40 cm, para verificação e inspeção do aterramento.

Deverá ser analisado a necessidade e o custo-benefício da instalação do sistema de aterramento sempre em prol da segurança das instalações e os operadores do sistema.

Deverá ser analisado, se possuir sistema de SPDA instalado na edificação, quais ações tomar para que os sistemas funcionem adequadamente. Ajuste e interligações em as proteções do sistema poderão ser necessários e ficará de responsabilidade do projetista.

Instalações

O instalador deverá verificar e certificar os pontos de conexões com os módulos fotovoltaicos, quadro de proteção (String box), inversores, isolações, proteções e a produção de energia fotovoltaica gerada sob diferentes condições de operação e o aterramento.

Na instalação deve-se tomar cuidado para não danificar o isolamento dos fios durante a enfição e o descascamento para emendas e ligações.

Recomenda-se que os circuitos sejam em lance único sem emendas e se necessário que sejam feitas no quadro de proteção ou em caixas apropriadas.

Os eletrodutos deverão ser instalados de modo a não formar cotovelos, pois isto prejudica a passagem dos condutores elétricos. Recomendamos a utilização de curvas ou caixas de passagem.

Todos os quadros de distribuição, caixas de passagem, caixas dos medidores, quadros de comandos, motores elétricos e demais partes metálicas, deverão ser devidamente aterrados.

Considerações finais

O projetista não se responsabilizará por eventuais alterações deste projeto durante sua execução.

Este projeto foi baseado no lay-out e informações fornecidas pelo arquiteto ou proprietário. Na dúvida da locação exata dos equipamentos, módulos fotovoltaicos, inversores e quadro de proteção (String box), estes deverão ser consultados.

A empresa instaladora deverá realizar todos os trabalhos conforme consta no projeto e em conformidade com as normas.

As potências dos equipamentos dados no projeto, não devem ser, em hipótese alguma, extrapolados sem prévia consulta e autorização do projetista.

Recomendamos que sejam utilizados produtos de qualidade e confiabilidade comprovadas. A qualidade da instalação depende diretamente do material utilizado.

Informar o funcionamento do sistema de monitoramento e controle (SMC), que por meio de software dedicado, e que possa ser acessado remotamente, comunicando a cada instante com o sistema de modo a verificar as funcionalidades dos inversores instalados e visualizar os valores gerados de tensão, corrente, potência e demais informações técnicas de operação, além de gerar históricos de eventos.

Complementar ao memorial, o instalador deve entregar os seguintes documentos:

- Manual de uso e programa de manutenção;
- Declaração dos controles efetuados e dos seus resultados;
- Declaração de conformidade;
- Certificado emitido pelo INMETRO ou laboratório acreditado e quando à conformidade com a EM 61215 para os módulos de silício cristalino e IEC 61646 para módulos de filme fino;
- Certificado de conformidade do Inversor DC/AC com as normas vigentes e se o equipamento faz a interface dentro da própria unidade consumidora;
- Declarações de garantia relativas aos equipamentos instalados.

5- Referências Bibliográficas

- [1] *Sketchup*, [Download]. Disponível: <https://www.sketchup.com/pt-BR/plans-and-pricing/sketchup-free>
- [2] Valentin, [Download]. Disponível: <https://valentin-software.com/en/downloads/>
- [3] CRESEB, [Online]. Disponível: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>.
- [4] JinkoSolar, [online]. Disponível: [https://www.jinkosolar.com/uploads/JKM440-460M-60HL4-\(V\)-F1-EN.pdf](https://www.jinkosolar.com/uploads/JKM440-460M-60HL4-(V)-F1-EN.pdf).
- [5] PHB, [Online]. Available: <https://www.energiasolarphb.com.br/produto/inversor-phb1800n-xs/>.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2005
- [7] ANEEL, [Online]. Available: <https://www.aneel.gov.br/a-aneel>.
- [8] CEMIG, [Online]. Available: <http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/corporativo/Paginas/manual-solicitacao-acesso.aspx>. [Acesso em 05 09 2018].
- [9] Panorama, [Online]. Disponível: <https://panorama.comerc.com.br/preco-de-energia-no-brasil>.
- [10] Google Earth, [Download]. Disponível: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>



Coordenadoria de
Educação Aberta e a Distância