

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



NOBREAK FOTOVOLTAICO PARA APLICAÇÃO RESIDENCIAL

ELT 554 - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Mateus Silva e Martins

ORIENTADOR: Prof. Dr. Rodrigo Cássio de Barros

Belo Horizonte, 26 de Fevereiro de 2023.

Mateus Silva e Martins

Nobreak Fotovoltaico Para Aplicação Residencial

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. Dr. Rodrigo Cássio de Barros

Belo horizonte, 26 de fevereiro de 2023.

ATA DE APROVAÇÃO

Mateus Silva e Martins

Nobreak Fotovoltaico Para Aplicação Residencial

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 .

Presidente e Orientador: Prof. Dr. X

Universidade Federal de Viçosa

Membro Titular: Prof. Dr. Y

Universidade Federal de Viçosa

Membro Titular: Prof. Dr. Z

Universidade Federal de Viçosa

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho

*A minha família, que sempre me acolheu em momentos difíceis.
A minha namorada, me ouviu e me apoiou quando eu mais precisei.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UFV e ao GESEP pela oportunidade de aprender mais sobre sistemas renováveis de geração de energia e suas particularidades. Agradeço aos professores pela disponibilidade e dedicação para minha orientação em cada matéria do curso.

RESUMO

Este trabalho apresenta o projeto elétrico de um sistema fotovoltaico para um cliente da microgeração com interesse em um NOBREAK fotovoltaico independente da rede elétrica. O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi feito levando em consideração um sistema híbrido off-grid com alimentação das cargas críticas da instalação. Foi realizado um comparativo financeiro e qualitativo para avaliar a alternativa do uso de um gerador diesel para alimentar o sistema em momentos de indisponibilidade estimados por meio de relatórios da CEMIG.

Palavras-chave: off-grid, Sistema Fotovoltaico, inversor, módulo, nobreak...

Lista de Figuras

Figura 1: Imagem de satélite da UC retirada do google maps com orientação ao norte.

Figura 2: Coordenadas geográficas.

Figura 3: Potencial para sombreamento a nordeste.

Figura 4: Potencial para sombreamento a noroeste.

Figura 5: Ilustração do local de instalação dos módulos fotovoltaicos.

Figura 6: Ilustração do local de instalação do inversor e dos quadros de proteção CC e CA.

Figura 7: Foto da cozinha do cliente.

Figura 8: Foto da sala de estar do cliente.

Figura 9: Foto da varanda segundo andar.

Figura 10: Foto do quadro de distribuição do segundo andar.

Figura 11: Simbologia e legenda utilizada em projetos de usinas fotovoltaicas

Figura 12: Simbologia e legenda utilizada em projetos de usinas fotovoltaicas

Lista de Tabelas

Tabela 1: Estimativa da média de consumo diário de energia para o projeto.

Tabela 2– Parâmetros do módulo fotovoltaico modelo JKM565-72HL4 do fabricante Jinko Solar.

Tabela 3– Tabela de Dimensionamento do Número de Módulos.

Tabela 4: Especificações Técnicas Bateria modelo LX U5.4-L.

Tabela 5– Dimensionamento do Inversor

Tabela 6: Resumo de Custos do Projeto.

Tabela 7: Características do Gerador

Tabela 8: Dimensionamento dos Tanques.

Tabela 9: Custo Total do Nobreak Diesel.

Lista de Abreviação

DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
UV	Usina Fotovoltaica
MFV	Módulo Fotovoltaico
UC	Unidade Consumidora

Lista de Símbolos

E_{fv}	Energia gerada por um módulo na instalação
L_1	Comprimento módulo
L_2	Largura módulo
η_{mod}	Eficiência do módulo fotovoltaico
E_{sol}	Energia luminosa irradiada pelo sol na instalação diariamente
N_{Tmod}	Número de módulos
$L_{demanda}$	Energia necessária para alimentar as cargas por 24h
E_{Banco}	Energia disponível no banco de baterias
V_c	Tensão CC máxima do inversor
I_c	Corrente CC máxima do inversor
V_{oc}	Tensão de circuito aberto dos módulos
I_{sc}	Corrente de curto dos módulos
n_p	Número de módulos em paralelo
n_s	Número de módulos em série
R_{th}	Resistência de aterramento estimada

SUMÁRIO

1 ANÁLISE DO LOCAL DA INSTALAÇÃO

1.1 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

- 1.2 ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO
- 1.3 POSICIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS E DO INVERSOR
- 2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO
 - 2.1 APRESENTAÇÃO DE CARGA DO SISTEMA
 - 2.2 KIT SOLAR PHB
 - 2.3 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
 - 2.4 DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS
 - 2.5 DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES
 - 2.6 DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO
 - 2.7 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS CC
 - 2.8 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS CA
 - 2.9 ATERRAMENTO
 - 2.10 ESTRUTURA DE FIXAÇÃO
- 3- ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA
 - 3.1 GASTO COM DESPEZAS DO PROJETO OFF-GRID
 - 3.2 COMPARAÇÃO COM OUTRA FONTE DE GERAÇÃO
 - 3.3 SERVIÇOS COMPLEMENTARES
- 4- PROJETO ELÉTRICO
 - 4.1 PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA UNIFILAR
- 5- Referências Bibliográficas

1- Análise do Local da Instalação

Este capítulo tem objetivo de informar ao leitor sobre o estudo do local de instalação da usina fotovoltaica (UV), incluindo as análises da área de instalação, assim como os efeitos de sombreamento e outras perdas no sistema de geração. O cliente possui uma casa de 3 pavimentos em Brumadinho MG. Ele reside em Belo Horizonte e afirma que a instalação opera como um sítio para sua família durante o fim de semana.

O cliente afirma que é usual a ocorrência de apagões durante os meses mais chuvosos (dezembro, janeiro e fevereiro), favorecendo a instalação de um *nobreak*. A instalação apresenta aquecimento solar para os chuveiros, o que contribui para o dimensionamento de um banco de baterias mais compacto. A solução abordada neste documento consiste na alimentação de cargas críticas de forma isolada da rede por meio de um sistema de *nobreak fotovoltaico offgrid* constituído por um arranjo de painéis fotovoltaicos, um inversor e um banco de baterias.

1.1 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A instalação está localizada em um condomínio residencial no município de Brumadinho. A Figura 1 ilustra a vista superior da casa pelo *Google Maps* com orientação para o norte magnético (a ponta vermelha da rosa dos ventos na figura indica o norte e a figura foi ajustada para essa orientação). As coordenadas geográficas e a data da imagem obtida foram verificadas por meio do *Google Earth* (Figura 2). A instalação está localizada a $20,19716^\circ$ sul e a $46,99769^\circ$ oeste.



Figura 1: Imagem de satélite da UC retirada do google maps com orientação ao norte.

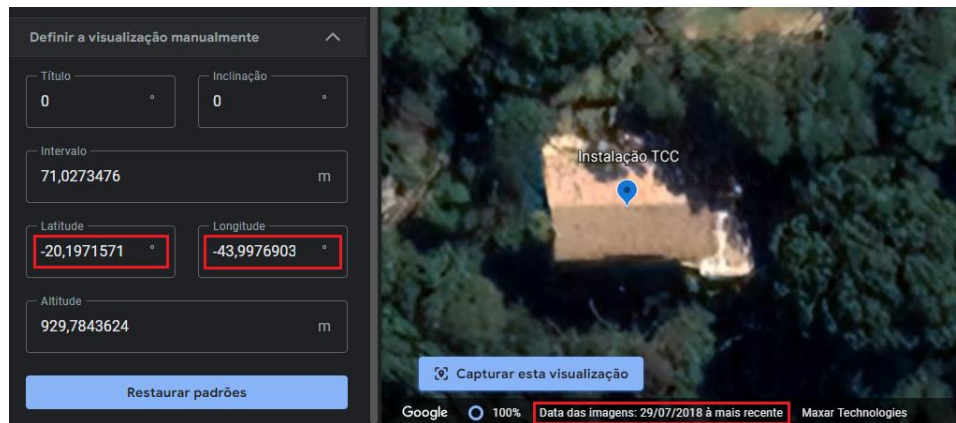


Figura 2: Coordenadas geográficas.

O estudo da irradiação solar foi realizado por meio do aplicativo EStimate e do site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S.Brito (cresesb.cepel.br). O EStimate indicou uma irradiação de 5.048kWh/m²dia para a região. O site cresesb indicou uma variação de 4,92 kWh/m²dia a 5,05 kWh/m²dia em localidades próximas. Para o presente projeto, considerou-se a indicação do EStimate, visto que o site cresesb apresentava apenas dados de localidades próximas, mas não do local específico.

1.2 ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO

Por meio da Figura 1 retirada do Google maps, verifica-se que o telhado está voltado para o norte geográfico com um ângulo de quase 0°. Todavia, a mesma foto indica a realidade local: a presença de árvores pode levar ao aumento do sombreamento durante os meses de inverno. A Figura 2 indica uma situação de sombreamento em 29/07/2018, justamente durante o inverno. As figuras 3 e 4 ilustram a situação atual das árvores no terreno.



Figura 3: Potencial para sombreamento a nordeste.



Figura 4: Potencial para sombreamento a noroeste.

Por meio da análise do local, verifica-se que o centro de telhado é o ponto mais distante das árvores capazes de promover o sombreamento. Nesse sentido, o posicionamento dos painéis fotovoltaicos nesse espaço é estratégico para reduzir os efeitos do sombreamento local.

Um estudo realizado por meio do ESTimate, considerando disponibilidade solar diária entre as 9 e as 16 horas (sujeito a variações durante o ano), indicou perdas de 17,91% em função do relevo. O aplicativo também oferece uma estimativa de perdas devido à queda de tensão nos condutores e devido à angulação dos painéis em relação à vertical e em relação ao norte geográfico. Estimou-se uma perda de 0.5% nos condutores (em função da baixa carga, proximidade da carga e bitola corretamente dimensionada) e aproximou-se que o telhado está alinhado com o norte geográfico.

Nesse sentido, considerou-se perdas médias anuais de aproximadamente 20% para sombreamento em função do relevo, angulação das placas e perdas ôhmicas nos condutores. Esse efeito é maximizado durante os meses de inverno, assim como observado na figura 2. O valor das perdas é importante para o dimensionamento do

número de módulos fotovoltaicos necessários para suprir a demanda do consumidor.

1.3 Posicionamento dos Módulos Fotovoltaicos e do Inversor

No presente projeto, optou-se pela instalação dos módulos fotovoltaicos no telhado. Figura 5 indica o local selecionado. O posicionamento foi pensado de forma a minimizar o sombreamento oriundo das árvores representadas nas Figuras 3 e 4. Nesse sentido, a região central do telhado norte foi escolhida.



Figura 5: Ilustração do local de instalação dos módulos fotovoltaicos.

Para a determinação do posicionamento do inversor e dos quadros de proteção, foi levada em consideração a possibilidade de proteção dos equipamentos contra humidade da água da chuva e incidência direta de radiação solar. Optou-se por instalar na garagem o inversor em conjunto com os quadros de proteção CC e CA e com o banco de baterias.



Figura 6: Ilustração do local de instalação do inversor e dos quadros de proteção CC e CA.

2- Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Neste capítulo, serão apresentados ao leitor os procedimentos e considerações realizados durante o dimensionamento do sistema. Primeiramente, serão definidas as cargas a serem alimentadas. Em seguida, serão realizadas considerações acerca da escolha e do dimensionamento dos componentes, dos elementos de fixação e do sistema de aterramento.

2.1 APRESENTAÇÃO DE CARGA DO SISTEMA

Dentre as cargas críticas a serem avaliadas para o sistema de nobreak, considerou-se as cargas do segundo andar. Segundo o cliente, esse é o principal local de uso da casa, contendo a cozinha (Figura 7), a sala de estar (Figura 8) e a varanda da casa (Figura 9). Duas geladeiras e um freezer estão localizados na cozinha. O segundo freezer está localizado na área externa. As tomadas da sala e da varanda estão comportadas pelo nobreak. Segundo o cliente, o principal uso dos pontos se dá por carregamento de celulares, caixas de som e roteadores.



Figura 7: Foto da cozinha do cliente.



Figura 8: Foto da sala de estar do cliente.



Figura 9: Foto da varanda segundo andar

Por meio da utilização de uma tabela de cargas, foi realizada a estimativa da potência do sistema e da demanda diária de energia. Verificou-se que a iluminação da sala de estar apresentava uma potência considerável em função das lâmpadas fluorescentes antigas com baixa eficiência com paradas a suas equivalentes de LED. Visto isso, considerou-se uma troca das lâmpadas como alternativa para redução do consumo e da capacidade do banco de baterias. Esse processo será descrito em detalhes no terceiro capítulo.

As cargas alimentadas no segundo andar estão separadas por circuitos no quadro de distribuição. A foto desse quadro de distribuição está representada na Figura 10. As cargas selecionadas para alimentação com o nobreak estão circuladas em preto com as descrições destacadas.

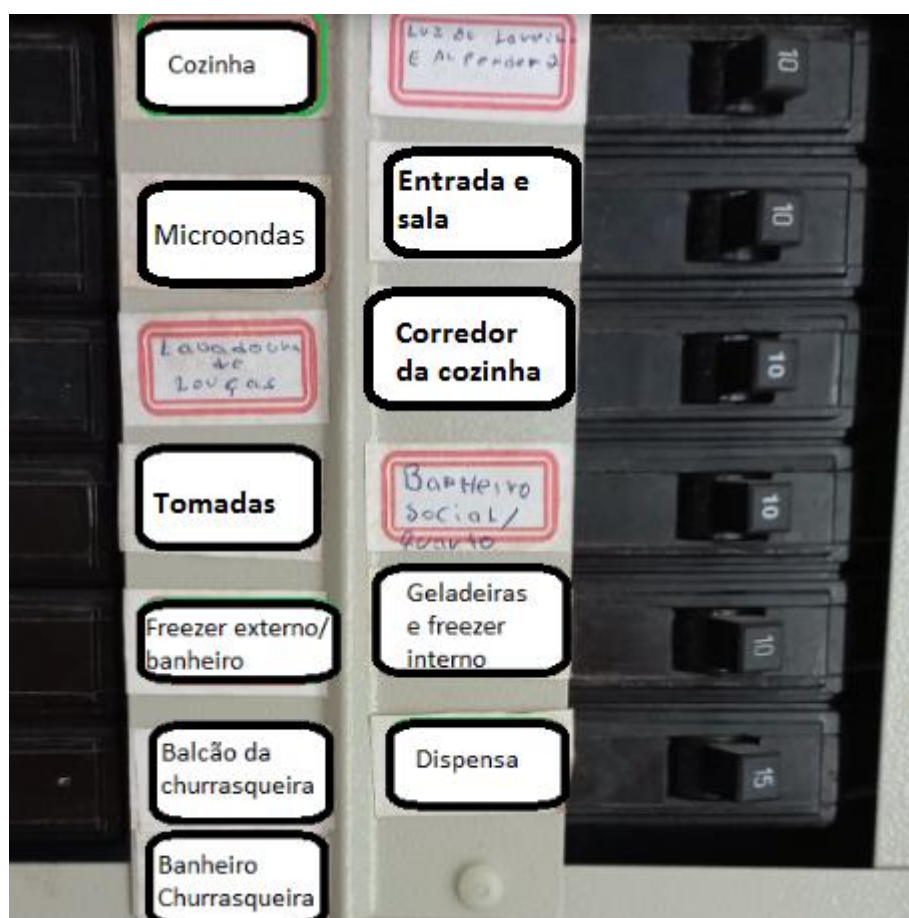


Figura 10: Foto do quadro de distribuição do segundo andar.

Foi feita uma tabela de aferição das cargas para estimar a demanda diária de energia do *nobreak* solar. Essa seleção está representada na tabela 1.

Tabela 1: Estimativa da média de consumo diário de energia para o projeto.

Tabela de Cargas		
Carga	potência (w)	Autonomia programada (h)
Galadeira 1 (medio mensal)	37,4	24
Galadeira 2 (medio mensal)	37,4	24
Frizer 1 (interno)	66	24
Frizer 2 (externo)	66	24
Televisão (interna)	20	8
Televisão (externa)	30	8
Lampadas da sala	150	8
Tomadas	100	8
Potência do sistema	506,8	W
Consumo diário	7363,2	Wh.dia

2.2 Kit Solar PHB

Para o presente projeto optou-se pela seleção de um kit solar completo da fabricante PHB. Dentre as principais vantagens dessa escolha estão redução do preço individual de cada componente e compatibilidade entre componentes. Os próximos tópicos do capítulo 2 descrevem os componentes do kit e a verificação da compatibilidade de cada componente com os requisitos do sistema estudado.

2.3 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Foram selecionados módulos (da marca Jinko Solar) de 565Wp para compor o sistema. As principais características do módulo fotovoltaico escolhido estão representadas na tabela 2.

Tabela 2– Parâmetros do módulo fotovoltaico modelo JKM565-72HL4 do fabricante Jinko Solar.

Parâmetros	Valor
Potência do módulo em condição de testes padrão (STC) [W]	565
Eficiência do módulo fotovoltaico – ϵ [%]	21,87
Área do módulo fotovoltaico [m ²]	2,58
Tensão de circuito aberto [V]	50,6
Tensão de máxima potência [V]	41,92
Corrente de curto-circuito [A]	14,23

Corrente de máxima potência [A]	13,48
Tensão máxima do sistema [Vdc]	1500

A Tabela 3 indica um cálculo da energia diária produzida por cada módulo. Verifica-se que 3 módulos são capazes de produzir uma energia superior à demanda do sistema, apresentada na Tabela 1.

O dimensionamento do número de módulos foi realizado em uma planilha e está representado na Tabela 3. Para dimensionar o número de módulos necessários, foi realizado o cálculo da capacidade de geração diária de um módulo individualmente. Em seguida, foi realizada a divisão da demanda diária do sistema pela capacidade de geração de um módulo.

Tabela 3– Tabela de Dimensionamento do Número de Módulos.

Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos do Projeto		
Modelo: JKM565-72HL4	Marca: Jinko Solar	
Variáveis	Valores	Unidades
Valor da Irradiação no Local (Esol)	5048	Wh/m²/dia
Comprimento painel (L1)	2,278	m
Largura painel (L2)	1,134	m
Eficiência (nmod)	0,218	-
Perdas em Função do Sombreamento	20	%
Cálculo Energia 1 módulo/dia (Efv)	-	-
$E_{FV} = E_{sol} L_1 L_2 \eta_{mod}$	2274,22	Wh/dia
Energia consumida diariamente (L)	7363,2	Wh/dia
Cálculo do Número de Paineis (Ntmod)	-	-
$N_{Tmód} = \frac{L}{E_{FV}}$	3,24	unidades
É preciso arredondar para cima: Ntmod =	4	unidades
Energia gerada diariamente pelos 4 painéis	9096,88	Wh/dia

A Tabela 3 também considera o efeito do sombreamento por meio da inserção de um fator de 0,8 multiplicando o lado direito da equação de E_{fv} . Essas perdas fizeram com que o dimensionamento do sistema passasse de 3 para 4 módulos.

2.4 DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS

Selecionou-se um kit com dois bancos LX U5.4-L da marca PHB por meio do conhecimento da potência e do consumo diário do sistema. Mais informações sobre o dispositivo estão expostas na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4: Especificações Técnicas Bateria modelo LX U5.4-L.

Características Bateria	
Modelo	LX U5.4-L
Marca	PHB
Tensão Circuito Aberto	51,2 V
Proteção IP	IP65
Comprimento	505mm
Largura	175mm
Altura com polo	570mm
Peso	57 kg

Um banco presente no kit seria capaz de alimentar o sistema, pois a potência máxima de saída do banco (2,88kW) está consideravelmente acima da potência das cargas selecionadas (0,5kW). Considerando que a demanda diária do sistema é de 7,36kWh/dia, dois bancos em paralelo (autonomia = 10,8kWh) seriam capazes de suprir essa demanda.

Para verificar o impacto da eficiência do inversor, basta multiplicar a autonomia por 0,94 (eficiência do inversor). Esse cálculo está representado pela equação abaixo.

$$L_{demanda} < E_{banco} \cdot 0,94$$

$$7,36 < 10,15$$

Verifica-se que a demanda é menor que a energia do banco apesar das perdas. Ademais, os bancos possuem compatibilidade para operação em paralelo. Cada banco contém um BMS integrado para garantir o controle de carga e proteção das células de LiFePO4.

2.5 DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES

O inversor selecionado no kit foi o PHB3048-MKS. Informações adicionais sobre ele estão indicadas na Tabela 5.

Tabela 5– Dimensionamento do Inversor

Dimensionamento do Inversor (com controlador de carga)		
Modelo: PHB3048-MKS	Marca: PHB	
Variáveis	Valores	Unidades
Corrente máxima de alimentação solar (I_c)	18	A
Máxima tensão de circuito aberto (V_c)	500	V (contínua)
Corrente de curto dos painéis (I_{sc})	14,23	A
Tensão de circuito aberto da série (V_{oc})	253	V
Número de módulos em paralelo (n_p)	1	unidades
Número de módulos em série (n_s)	4	unidades
$I_c > 1,25 \cdot I_{sc} \cdot n_p$	$18 > 14,23$	DENTRO DO LIMITE
$V_c > V_{oc} \cdot n_s$	$500 > 202$	DENTRO DO LIMITE
Conclusão: Inversor dentro dos limites do sistema		

Para verificar a concordância do inversor do kit com o sistema, deve-se, primeiramente, observar se a potência nominal é capaz de alimentar as cargas selecionadas ($3\text{kW} > 0,5\text{kW}$). Adicionalmente, é preciso identificar os valores máximos de tensão e de corrente na entrada CC. A tensão da série fotovoltaica (253V) é inferior à tensão máxima do inversor (500V). A corrente máxima indicada para a entrada do arranjo fotovoltaico é de $18\text{A} > 14,23\text{A}$. Nesse sentido, o inversor é capaz de suportar a circulação dessa corrente pelo sistema.

Além disso, é preciso verificar a adequação da tensão das baterias. O inversor é capaz de suportar 48V nominal. Porém, segundo o fabricante, ele foi projetado para operar com o banco da mesma marca, que apresenta uma tensão nominal apenas 6,7% acima (51,2V).

O inversor é compatível com a tecnologia LiFePO₄ do banco escolhido. Ademais, o inversor apresenta tensão de carregamento configurável e suas correntes de carga e de descarga são capazes de extrair a potência completa do banco.

2.6 DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO

A proteção CC deve ser composta por uma chave seccionadora, DPS CC e 2 fusíveis CC. Esses equipamentos compõem a stringbox do kit. Verifica-se que a chave seccionadora CC e o DPS (Dispositivo de proteção contra surtos atmosféricos) suportam uma tensão superior à da série fotovoltaica. Portanto, estes componentes estão de acordo com os requisitos do projeto. Os fusíveis CC suportam 1kV e cortam o fluxo de corrente em 15A.

A proteção CA foi dimensionada considerando a corrente em plena carga e a bitola fornecida no kit. Serão aproveitados os disjuntores dos circuitos de carga selecionados. O disjuntor do QDCA apresentará curva C 32A e os DPS classe II

corrente de máxima de 40kA. Ambos os painéis são IP65, facilitando a instalação na parte exterior da casa.

2.7 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS CC

A verificação do dimensionamento dos cabos CC levou em consideração as características de tensão e potência dos módulos, um distanciamento baixo entre os painéis e um distanciamento de 20 metros entre o arranjo e o inversor. O condutor monopolar do kit apresenta seção de 4 mm² e garante a segurança do sistema.

2.8 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS CA

Os condutores CA dimensionados caíram no critério da seção mínima (2,5 mm). Isso, pois o ponto de instalação do inversor fica a menos de 5 metros do quadro de distribuição CA do segundo andar e o sistema não apresenta uma potência elevada. Todavia, a saída do QDCA/85 cotado no kit é com bitola de 6mm². Portanto será utilizada essa bitola entre o inversor e o QDCA/85 e entre o QDCA/85 e o quadro de distribuição do segundo andar. No quadro de distribuição do segundo andar, os circuitos alimentados diretamente pelo inversor serão conectados exclusivamente à saída do QDCA/85.

2.9 ATERRAMENTO

Verificou-se que a instalação não apresenta aterramento próprio. O cliente alegou que conta apenas com o aterramento do padrão da CEMIG. Além disso, verificou-se que não há presença de condutor terra nas tomadas da instalação e que todas seguem o padrão de plug com 3 pinos.

Uma vez que se trata de uma instalação residencial de baixa potência com três pavimentos, pode-se considerar a instalação de um aterramento com hastes verticais. Optou-se por um esquema de aterramento com 3 hastes verticais em paralelo para efeito da redução da impedância de aterramento.

A Tabela 51 da ABNT NBR 5410 2020 na página 143 determina que hastes de aço com revestimento em cobre eletrolítico devem apresentar diâmetro mínimo de 15mm. Ademais, a norma informa que a bitola mínima do condutor PE deve ser de 6mm².

Nesse sentido, o sistema de aterramento optou por 3 hastes da fabricante INTELLI com 17,3mm de diâmetro e 1m de comprimento (IH-334). Por meio do

tratamento do solo com um composto FASTGEL introduzido entre o eletrodo e um cano PVC, considerou-se uma resistividade de fixação de $2 \Omega\text{m}$.

Uma vez que a resistência de aterramento de cada haste pode ser aproximada pela razão da resistividade pelo comprimento da haste, a resistência de aterramento de cada haste consta como 2Ω . Para obter a resistência de aterramento do arranjo, basta fazer o equivalente das resistências em paralelo. Dessa forma, $R_{th} = 0,67 \Omega$.

A fixação do condutor de aterramento na haste será feita por meio de um kit de solda exotérmica. O condutor de aterramento selecionado apresenta os 6mm^2 exigidos pela norma.

2.10 ESTRUTURA DE FIXAÇÃO

Para o presente projeto, foi considerada uma estrutura de fixação em telhado colonial proposta pelo kit PHB. Optou-se pelo uso de duas trilhas com perfis de alumínio anodizado orientados na horizontal para fixação dos painéis. A estrutura considerou fixação na madeira e uso de um kit de grampos (hook, grampo intermediário e grampo terminal) compatíveis com o telhado selecionado e com a orientação vertical dos módulos.

3- Análise de Viabilidade Econômica

O terceiro capítulo tem como objetivo uma análise dos custos envolvendo o projeto. Essa análise apresenta uma descrição dos custos de execução, uma comparação quantitativa e qualitativa com outro sistema de nobreak e uma descrição de serviços adicionais que poderiam ser oferecidos ao cliente. No caso

de um sistema híbrido off-grid, não há possibilidade de elaboração de um fluxo de caixa, visto que o sistema não apresenta a capacidade de injetar energia na rede para redução da fatura de energia.

3.1 GASTO COM DESPEZAS DO PROJETO OFF-GRID

As despesas oriundas do projeto podem ser agrupadas em materiais, mão de obra de instalação e mão de obra de elaboração. Elas foram reunidas por meio da Tabela 6 de forma a facilitar a visualização de cada parte no valor total do projeto.

Tabela 6: Resumo de Custos do Projeto.

Resumo dos Custos	
Fonte de Custo	Valor R\$
Projeto	3000
Instalação	1000
Lâmpadas	50
Equipamentos	41.632,69
Total	45682,69

Considerou-se um custo de 1000 reais em mão de obra para a instalação do sistema. Ademais, o valor do projeto elétrico foi tomado com base em práticas de mercado, considerando 1Real/W instalado.

O dimensionamento do sistema foi realizado considerando uma substituição das lâmpadas fluorescentes da instalação por lâmpadas LED mais eficientes. Essa substituição possibilitaria uma diminuição substancial do consumo e do número de baterias necessárias para o armazenamento. Caso fosse necessária a introdução de mais um banco de baterias PHB LYNX, o valor final do projeto seria acrescido de R\$15.322,00.

3.2 COMPARAÇÃO COM OUTRA FONTE DE GERAÇÃO

Este estudo questionou a viabilidade do projeto comparando este com a solução de um gerador diesel com mesma potência e autonomia. Considerou-se um gerador com 4,3kW de potência e 5 horas de autonomia. A autonomia adicional seria possível com a recarga manual do tanque do gerador por meio do uso de tanques auxiliares de 20 litros. A Tabela 7 indica as características do gerador.

Tabela 7: Características do Gerador

Características do gerador diesel		
grandeza	valor	unidade
Tensão de Saída	120	V
Corrente Saída (120V)	37,5	A
Potência	4,3	kW
Consumo	2,3	L/h
Capacidade	12,5	L
Autonomia	5,43	h
Preço comercial	6700	R\$

Além da questão financeira, deve-se ressaltar que, no caso da escolha de um gerador diesel, o cliente teria o trabalho de ligar e reabastecer o equipamento manualmente para garantir a mesma autonomia que o sistema solar. Adicionalmente, essa recarga exige uma visita ao posto de gasolina, visto que o diesel S10 no Brasil apresenta uma vida útil de mais de um mês quando bem armazenado [5], mas perde qualidade após 2 meses [6]. Dessa forma, não seria estratégico manter galões reserva para aplicações de uso com baixa frequência.

Para a determinação da demanda de acionamento do gerador, foi realizado um estudo para possibilitar uma estimativa realista do número de horas anual de indisponibilidade energética na região. Inicialmente, verificou-se que o tempo médio de resolução de chamados à CEMIG para reestabelecimento da disponibilidade energética em uma instalação em dezembro de 2022 foi de 9 horas e 10 min [7]. Todavia, esse tempo de atendimento é maior em função de períodos de desastres naturais. Essa questão é evidenciada uma vez que a indisponibilidade média dos três últimos meses de 2022 foi de 2 horas e 22 min com uma frequência média de 1,15 ocorrências por mês [8].

Nesse sentido, considerou-se uma média anual de interrupção de 1,15 com 3 horas de indisponibilidade por episódio para aproximar a indisponibilidade anual de energia da instalação. Dessa forma, estimou-se 14 eventos de interrupção resultando em 42 horas anuais de indisponibilidade energética. Considerando o diesel a 7 reais e um rendimento de 2,3 l/h, o gasto anual com combustível seria de R\$676,20.

Além do investimento inicial, deve-se considerar a manutenção anual do gerador. Considerando-se quatro manutenções de R\$324,00 ao ano, o custo anual de manutenção seria de R\$1.296,00 reais [9]. A Tabela 8 ilustra os custos anuais do sistema com gerador diesel.

Tabela 8: Custos gerais do Nobreak Diesel

Custos Sistema Gerador Diesel	
Custo inicial	R\$ 6.700,00
Custo de manutenção anual	R\$ 1.296,00
Custo de diesel anual	R\$ 676,20
Custo primeiro ano	R\$ 8.672,20
Custo dos anos seguintes	R\$ 1.972,20

Ademais, os usuários da instalação ficariam submetidos a uma fonte ruidosa de cerca de 80dB em uma casa de fim de semana utilizada para descanso. Por fim, deve-se ressaltar que o equipamento faz uso de combustível fóssil prejudicial ao meio ambiente, diferentemente da proposta do nobreak solar.

3.3 SERVIÇOS COMPLEMENTARES

O dimensionamento do sistema foi realizado considerando uma substituição das lâmpadas fluorescentes da instalação por lâmpadas LED mais eficientes. Essa substituição possibilitaria uma diminuição substancial do consumo e do número de baterias necessárias para o armazenamento. Verificou-se a existência de Kits com 10 lâmpadas LED 12W por R\$50,00 na Amazon.

Uma sugestão feita ao proprietário corresponde à instalação de DPS classe 2 no painel elétrico do segundo andar e da utilização de DPS classe 3 em equipamentos sensíveis. A sugestão do DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) classe 3 foi baseada no relato de equipamentos elétricos na instalação que apresentaram baixa vida útil (televisão, micro-ondas, DVD e roteador).

Outro ponto de aprimoramento discutido com o cliente foi a introdução de um condutor terra nas tomadas da instalação e substituição das tomadas para o padrão três pinos. Todos os pontos de tomada da instalação estão no padrão 2 pinos.

Caso o cliente tenha interesse em transformar seu sistema *off-grid* em um sistema híbrido *on-grid*, verificou-se que o custo do projeto aumentaria de forma substancial, pois há poucos inversores no mercado certificados pelo INMETRO. O valor desses inversores está na faixa de R\$12.000,00.

4- Projeto Elétrico

Neste capítulo será apresentado o diagrama unifilar do sistema de nobreak híbrido *off-grid*. Além disso foi realizada uma enumeração dos componentes do sistema representados no diagrama.

4.1 PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA UNIFILAR

A Figura 11 indica a simbologia adotada para elaboração do diagrama unifilar. A Figura 12 contém o diagrama unifilar do sistema dimensionado no capítulo 2. Entre os módulos fotovoltaicos e o inversor, foi representado quadro de proteção CC (String box PHB), contendo os fusíveis, os DPS e a chave seccionadora. O banco de baterias está representado partindo do terminal central do inversor. A saída CA do inversor foi representada com acoplamento ao quadro de proteção CA do kit (QDCA kit), composto por DPS e disjuntor CA. Esse QDCA é subdividido nos circuitos das cargas críticas no quadro de distribuição do segundo andar da instalação. Para tal, foram aproveitados os disjuntores CA da própria instalação.

Além disso, a entrada CA consiste na ligação do inversor à rede. Ela permite o carregamento do banco de baterias por meio da rede elétrica. Esse contato também possibilita a identificação de momentos de indisponibilidade de energia na rede. O medidor de energia da instalação não precisa ser bipolar, pois o sistema não injeta energia na rede. Todavia, caso o cliente demonstre interesse em modificar o sistema para híbrido on-grid, será necessária a instalação de um medidor de energia bidirecional.



Figura 11: Simbologia e legenda utilizada em projetos de usinas fotovoltaicas

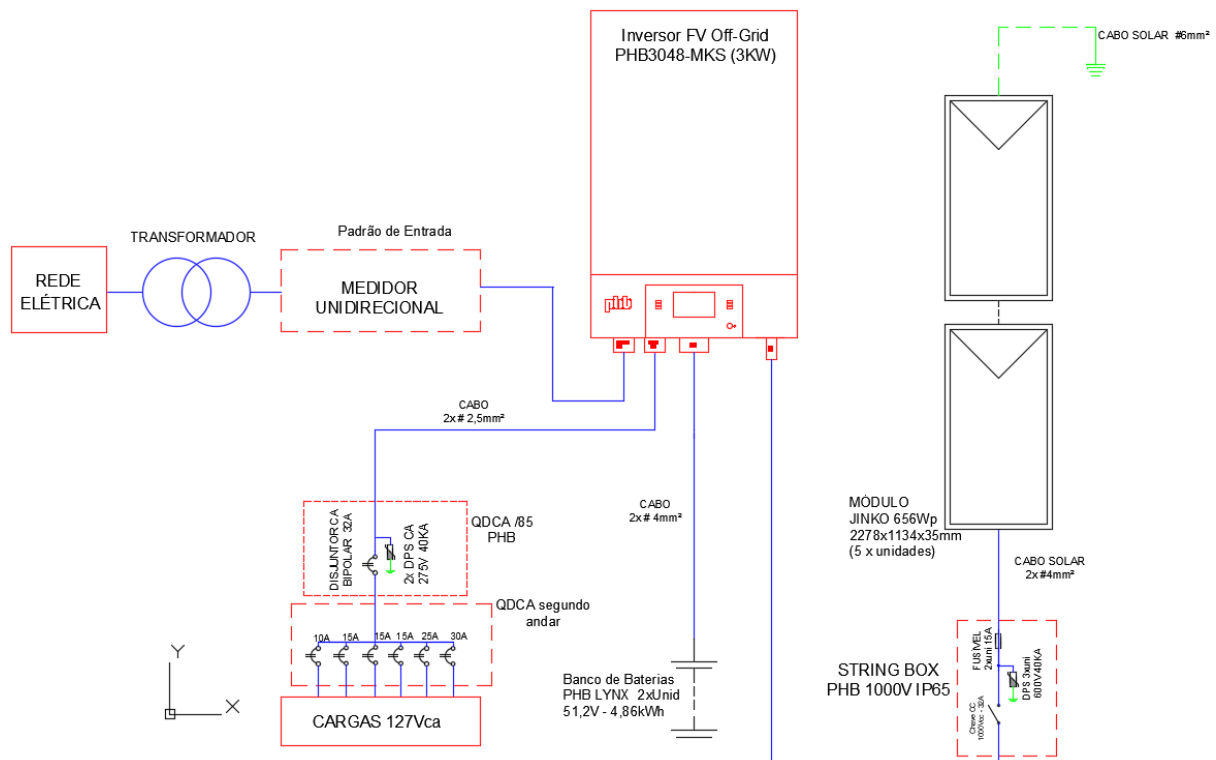


Figura 12: Simbologia e legenda utilizada em projetos de usinas fotovoltaicas

As seguintes características elétricas do sistema podem ser enumeradas:

- ✓ Carga instalada existente na unidade consumidora conectada ao sistema de 0,5 kW;
- ✓ Medidor de energia unidirecional;
- ✓ Dispositivo de proteção contra surtos de 175 V (fase-terra), classe 2, corrente nominal (corrente projetada, na qual é capaz de desviar para o aterramento de proteção) de 40 kA;
- ✓ Condutores CA fase de bitola 2,5 mm², isolamento PVC 500V (conecta a saída CA do inversor ao quadro QDCA do inversor);
- ✓ Disjuntor CA de 32 A no lado CA do inversor;
- ✓ Condutores CC polos positivo e negativo de bitola 6 mm², isolamento XLPE 1000V (conecta o arranjo FV à entrada CC do inversor);
- ✓ Dispositivo de seccionamento CC de 16 A, tensão máxima de 1000 V de isolamento no lado CC da string box;
- ✓ Dispositivo de proteção contra surtos CC de 1000 V, classe 2, corrente nominal (corrente projetada, na qual é capaz de desviar para o aterramento de proteção) de 40 kA;
- ✓ Inversor FV 3 kW CA, 127V CA;
- ✓ Módulos fotovoltaicos 656 Wp dispostos em uma string de 4 módulos FV, totalizando 2,62 kWp de potência cc instalada.

- ✓ Banco de baterias com duas baterias PHB LYNX.

5- Referências Bibliográficas

[1] Google Earth para vista superior e orientação geográfica da instalação. Disponível em:

<https://earth.google.com/web/@-20.19707395,-43.99755533,937.00059523a,150.32580701d,35y,0h,0t,0r>

[2] Estimador de irradiação solar CRESESB. Disponível em: www.cresesb.cepel.br

[3] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 5410: Instalações elétricas em baixa tensão”, 2020.

[4] Componentes PHB. Disponível em: <https://www.energiasolarphb.com.br/>

[5] Manual Diesel 2021 Petrobras. Condições de armazenamento. Disponível em: https://petrobras.com.br/data/files/04/93/72/4C/5A39C710E2EF93B7B8E99EA8/M anual-de-Diesel_2021.pdf

[6] TRRSÃO JOSÉ: distribuidora de óleo diesel. Disponível em: <https://trrsaojose.com.br/o-oleo-diesel-tem-validade/#:~:text=Prazo%20de%20validade%20do%20%C3%B3leo,diz%20respeito%20ao%20seu%20armazenamento.>

[7] Relatório de desempenho CEMIG 2022 para situações de emergência: https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2023/02/RelatorioISE1_05122022_Completo.pdf

[8] Relatório CEMIG do quarto trimestre de 2022. Dados disponíveis no link: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2023/03/esg-quarto-trimestre-2022.pdf>

[9] Estimativa do custo de manutenção de um gerador diesel. Disponível no link: <https://www.habitissimo.com.br/orcamentos/manutencao-de-gerador>

