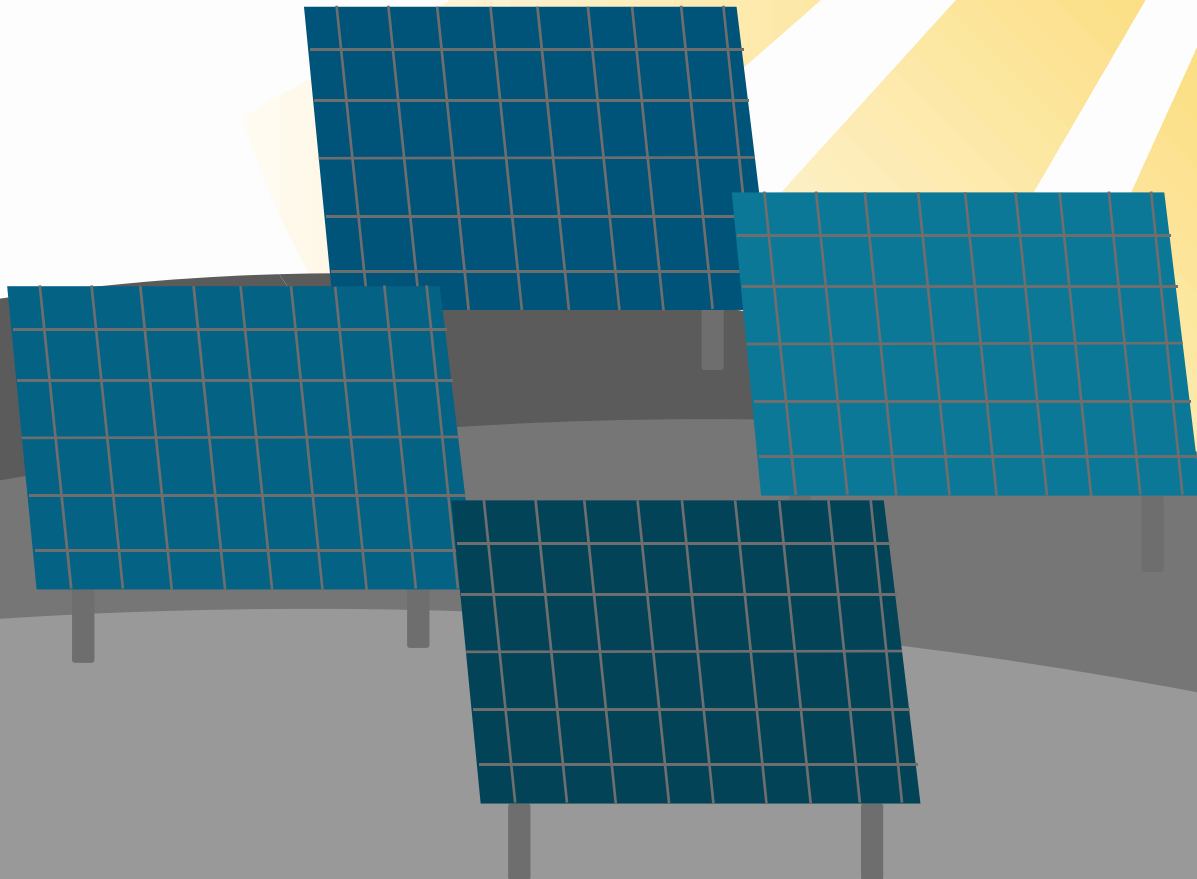




Universidade Federal de Viçosa - UFV
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CCE
Departamento de Engenharia Elétrica - DEL



Projeto e Viabilidade de Usina Fotovoltaica de 2,5 MW
ELT 554 - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno Hugo Aparecido Alves Barros
ORIENTADOR: Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira

Viçosa, 11 de Agosto de 2022.

Aluno Hugo Aparecido Alves Barros

Projeto e Viabilidade de Usina Fotovoltaica de 2,5 MW

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. Heverton Augusto Pereira

Viçosa, 11 de Agosto de 2022.

ATA DE APROVAÇÃO

Aluno Hugo Aparecido Alves Barros

Projeto e Viabilidade de Usina Fotovoltaica de 2,5 MW

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 11 de Agosto de 2022.

Presidente e Orientador: Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira

Universidade Federal de Viçosa

Membro Titular: Prof. Dr. Rodrigo Cassio de Barros

Universidade Federal de Viçosa

Membro Titular: Prof. Dr. Victor Pellanda Dardengo

Universidade Federal de Viçosa

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho

A todos que de alguma forma contribuíram para que ele fosse realizado da melhor maneira possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram na minha caminhada até a conclusão desta pós-graduação, amigos, familiares e professores.

RESUMO

Este trabalho apresenta um projeto detalhado da concepção de uma usina solar fotovoltaica com potência de 2,5 MW, com a finalidade de autoconsumo remoto por uma rede filiais no estado de Minas Gerais. É descrito todo o processo, desde a escolha do terreno, estimativa da geração de energia, escolha da tecnologia dos módulos fotovoltaicos, inversores, seguidores solares, subestação e demais componentes, bem como toda documentação e normas envolvidas. Ao longo, demonstram-se detalhadamente o dimensionamento técnico de todos os componentes da usina, como módulos fotovoltaicos, inversores, cabeamentos, proteções, cabine primária e aterramento. É realizada uma análise de viabilidade econômica onde se verifica o valor inicial do investimento, de 17 milhões de reais e as receitas e despesas anuais, que partem de 5,36 milhões de reais e 833 mil reais respectivamente. Após diversas análises, comprova-se que, apesar de sua complexidade, o projeto é um excelente investimento financeiro, com *payback* de 3,7 anos e podendo chegar, ao longo de 20 anos, a um montante acumulado de aproximadamente 106 milhões de reais, através da economia com gastos em energia elétrica possibilitada pelo empreendimento. Por fim, são demonstrados os diagramas, esquemas, estudos e memoriais fundamentais ao correto entendimento e implantação do projeto.

Palavras-chave: Resolução Normativa, Sistema Fotovoltaico, Usina Solar Fotovoltaica, Energia Elétrica, Energia Renovável, Estudo de Viabilidade.

Lista de Figuras

Figura 1: Dados inseridos para simulação no <i>software</i> PVsyst.....	14
Figura 2: Dados extraídos do <i>software</i> PVsyst.....	14
Figura 3: Localização do município de Piumhi/MG.....	15
Figura 4: Localização da usina na cidade de Piumhi/MG.....	15
Figura 5: Configuração da UFV no <i>software</i> PVsyst para simulação	16
Figura 6: Diagrama de perdas gerado pelo PVsyst.....	17
Figura 7: Configuração das séries e arranjos FV conectados ao inversor FV	21
Figura 8: Diagrama do circuito interno do inversor SG250HX	22
Figura 9: Quadro geral de baixa tensão CA.....	24
Figura 10: Topologia de subestação abrigada com potência instalada acima de 300 kVA..	31
Figura 11: Representação do <i>skid</i> definido.....	32
Figura 12: Cabine primária blindada homologada na CEMIG	32
Figura 13: Compartimento para instalação da cabine primária.....	33
Figura 14: Esquemático utilizado para dimensionamento do TC.....	34
Figura 15: Malha de aterramento tipo quadrado cheio.....	38
Figura 16: Configuração da rede aérea de distribuição protegida entre barra da SE CEMIG e barra do acessante.....	40
Figura 17: Resumo das contribuições da concessionária e da usina solar fotovoltaica (UFV) para as correntes de curto-circuito nas diversas barras.....	41
Figura 18: Coordenograma das proteções de fase	45
Figura 19: Coordenograma das proteções de neutro.....	45
Figura 20: Saldo acumulado e tempo de retorno do investimento	50
Figura 21: Vista superior da cabine primária blindada.	50
Figura 22: Vista interna cabine – Observador no “Lado A”.....	50
Figura 23: Vista interna cabine – Observador no “Lado C”	50
Figura 24: Vista interna cabine – Observador no “Lado D”.....	50

Lista de Tabelas

Tabela 1: Características do módulo fotovoltaico utilizados na instalação.	19
Tabela 2: Características dos inversores fotovoltaicos utilizados na instalação.	20
Tabela 3: Resumo do dimensionamento elétrico da UFV.	21
Tabela 4: Premissas para dimensionamento de cabos CC.	25
Tabela 5: Dimensionamento dos cabos CC de acordo com a ABNT NBR 16690.	25
Tabela 6: Premissas para dimensionamento dos cabos CA baixa tensão.	26
Tabela 7: Dimensionamento dos cabos CA de acordo com a ABNT NBR 5410.	27
Tabela 8: Premissas para dimensionamento de cabos CA MT.	27
Tabela 9: Dimensionamento dos cabos CA MT de acordo com a ABNT NBR 5419.	27
Tabela 10: Dimensionamento dos condutores de aterramento do lado CC e CA da UFV. ...	28
Tabela 11: Especificações <i>tracker</i> STI-H250.	29
Tabela 12: Estimativa de materiais necessários para implantação da UFV.	30
Tabela 13: Dimensionamento dos equipamentos da subestação.	33
Tabela 14: Memorial de cálculo do transformador de corrente.	34
Tabela 15: Dimensionamento dos equipamentos da subestação.	35
Tabela 16: Quadro de carga da subestação para alimentação auxiliar.	35
Tabela 17: Quadro de carga da subestação para alimentação da proteção.	36
Tabela 18: Especificações do disjuntor de MT.	36
Tabela 19: Dimensionamento de TCs de medição em 13,8 kV.	37
Tabela 20: Dimensionamento de TPs de medição em 13,8 kV.	37
Tabela 21: Valores base utilizados nos estudos de proteção.	39
Tabela 22: Impedância e correntes de curto-circuito fase-fase, fase-terra e trifásica na barra da SE Piumhi II.	39
Tabela 23: Dados de impedância de sequência dos cabos da rede RDP da SE CEMIG até a barra de conexão do acessante.	40
Tabela 24: Dados de impedância de sequência dos cabos de alumínio utilizados na rede interna do acessante.	40
Tabela 25: Características elétricas do transformador à seco.	41
Tabela 26: Impedâncias equivalentes de sequência positiva e zero do sistema.	42
Tabela 27: Ajustes de religadores para coordenação, fornecidos pela concessionária.	42
Tabela 28: Definição das proteções e parametrizações de acordo com a norma ND.31.	43
Tabela 29: Tarifas de energia e demanda contratada CEMIG.	46
Tabela 30: Taxas consideradas nos cálculos.	47
Tabela 31: Investimentos, receitas e despesas.	48
Tabela 32: Fluxo de caixa em 20 anos.	49
Tabela 33: Resultados da viabilidade econômica.	51

Lista de Abreviação

TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido
VP	Valor Presente
TIR	Taxa Interna de Retorno
UC	Unidade Consumidora
UFV	Usina Fotovoltaica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais S.A.
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FV	Fotovoltaico
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
MPPT	Rastreamento do Ponto de Máxima Potência
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TE	Tarifa de Energia
CAPEX	Investimento em bens de capital
OPEX	Custo com Operação e Manutenção
LCOE	Custo da Energia Nivelado
O&M	Operação e Manutenção
STC	Condições Padrão de Teste
SCADA	Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados
CFTV	Circuito Fechado de TV
REN	Resolução Normativa
MT	Média Tensão
BT	Baixa Tensão
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

Lista de Símbolos e Unidades

w_p	Watt pico em corrente contínua
kW_p	Kilo Watt pico em corrente contínua
MW_p	Mega Watt pico em corrente contínua
Wh	Watt hora
kWh	Kilo Watt hora
MWh	Mega Watt hora
GWh	Giga Watt hora
W	Watt em corrente alternada
kW	Kilo Watt em corrente alternada
kW	Kilo Watt em corrente alternada
MW	Mega Watt em corrente alternada
V	Volt
kV	Kilo Volt
A	Ampere
kA	Kilo Ampere
Hz	Hertz
km	Quilômetro
N_{min}	Número mínimo de módulos
W/m^2	Watt por metro quadrado
$^{\circ}C$	Graus Celsius
$I_{serie,max}$	Corrente CC máxima por série FV
$V_{cc,máx}$	Máxima tensão CC por série FV
N_{sfv}	Número de módulos por série fotovoltaica
$I_{disj.inv}$	Corrente calculada disjuntor dos inversores
$I_{disj.geral}$	Corrente calculada disjuntor geral
mm^2	Milímetros quadrados
Ω	Ohm
VA	Volt Ampere
kVA	Kilo Volt Ampere

Sumário

1-	Análise do Local da Instalação	13
1.1	ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA.....	13
1.2	LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	15
1.3	ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO	16
2-	Dimensionamento da Cabine Primária e Sistema Fotovoltaico	18
2.1	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	18
2.1.1	<i>DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....</i>	<i>18</i>
2.1.2	<i>DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES</i>	<i>19</i>
2.1.3	<i>DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO CC E CA.....</i>	<i>22</i>
2.1.4	<i>DIMENSIONAMENTO DOS CABOS CC.....</i>	<i>25</i>
2.1.5	<i>DIMENSIONAMENTO DOS CABOS CA DE BAIXA TENSÃO.....</i>	<i>26</i>
2.1.6	<i>DIMENSIONAMENTO DOS CABOS CA DE MÉDIA TENSÃO</i>	<i>27</i>
2.1.7	<i>DIMENSIONAMENTO DOS CABOS DE ATERRAMENTO DA UFV</i>	<i>28</i>
2.1.8	<i>ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....</i>	<i>29</i>
2.2	DIMENSIONAMENTO DA CABINE PRIMÁRIA	31
2.2.1	<i>TOPOLOGIA ADOTADA.....</i>	<i>31</i>
2.2.2	<i>CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS E ELÉTRICAS DA SUBESTAÇÃO</i>	<i>32</i>
2.2.3	<i>COMPONENTES DO SISTEMA DE PROTEÇÃO: DISJUNTOR, RELÉ SECUNDÁRIO, TRANSFORMADORES DE TENSÃO E CORRENTE</i>	<i>34</i>
2.2.4	<i>COMPONENTES DO SISTEMA DE MEDIÇÃO</i>	<i>37</i>
2.2.5	<i>ATERRAMENTO DA SUBESTAÇÃO</i>	<i>38</i>
2.3	ESTUDOS DE PROTEÇÃO	39
2.3.1	<i>CÁLCULO DAS CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO.....</i>	<i>39</i>
2.3.2	<i>PARAMETRIZAÇÃO DAS FUNÇÕES DE PROTEÇÃO.....</i>	<i>42</i>
2.3.3	<i>ESTUDO DE SELETIVIDADE E COORDENAÇÃO.....</i>	<i>44</i>
3-	Análise de Viabilidade Econômica	46
3.1	REDUÇÃO DO CONSUMO	46
3.2	ANÁLISE DE DESPESAS: MANUTENÇÃO, LIMPEZA, CONCESSIONÁRIA, TROCA DE EQUIPAMENTOS	47
3.3	FLUXO DE CAIXA.....	49
3.4	ANÁLISE DA VIABILIDADE	50
4-	Projeto Elétrico	52
4.1	PLANTAS DE LOCALIZAÇÃO E SITUAÇÃO.....	52
4.2	CORTES DA SUBESTAÇÃO.....	52

4.3 PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA UNIFILAR.....	55
4.4 PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA MULTIFILAR.....	57
4.5 MEMORIAL DESCRITIVO	57
5- Referências Bibliográficas	58
6- Anexos	59

1- Análise do Local da Instalação

O contratante possui uma rede de filiais espalhadas pelo estado de Minas Gerais destinadas ao atendimento de seus clientes. Com isso pretende construir uma usina solar fotovoltaica com a maior potência permitida pela CEMIG para conexão em média tensão, com a finalidade de abater parte do consumo total de suas unidades consumidoras do subgrupo B3 [1].

O local escolhido para implantação da usina possui diversas vantagens, dentre as quais se destacam:

- Proximidade com o centro do município de Piumhi-MG, facilitando o transporte, hospedagem, hospital, convênios etc., durante a obra;
- Proximidade com a subestação da CEMIG, o que reflete em menores custos de coparticipação financeira para obras na rede;
- Baixa declividade do terreno e voltado para o norte;
- Supressão vegetal a ser realizada somente de vegetação rasteira ou arbustos;
- Vias de acesso em bom estado;
- Rede de média tensão que alimenta a cidade passando ao lado do terreno.

1.1 ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA

Através da área disponível, finalidade do empreendimento e normas da CEMIG, definiu-se previamente que seria construída uma Usina Fotovoltaica (UFV) com 2,5 MW de potência nominal, sendo este o máximo permitido pela CEMIG para conexão de usinas geradoras em média tensão [2].

As premissas consideradas também foram de otimizar o máximo da área para produção de energia e utilizar equipamentos consagrados no mercado. Com isso, optou-se por utilizar estrutura com rastreamento do ângulo de elevação solar (*tracker*) de um eixo e módulos bifaciais compatíveis, que somados conferem um aumento significativo da energia média mensal produzida.

Em projetos maiores se faz necessário o uso de *softwares* específicos para simulação, para se refinar as perdas e poder certificar a produção de energia. Para esta análise utilizou-se o *software* PVsyst.V7.2.14 com a base de dados SolarGIS [3] mais recente.

A Figura 1 a seguir traz alguns dados do sistema utilizados para simulação, como sua localização e topologia.

Resumo do projeto			
Localização geográfica	Localização	Parâmetros projeto	
Piumhi - MG	Latitude	-20.48 °S	Albedo 0.20
Brazil	Longitude	-45.98 °W	
	Altitude	761 m	
	Fuso horário	UTC-3	
Dados meteorológicos			
Piumhi - MG			
SolarGIS Monthly aver. , period not spec. - Sintético			
Resumo do sistema			
Sistema acoplado à rede	Sistema tracking		Sombras próximas
Orientação do plano dos módulos	Algoritmo de tracking	Segundo os strings	
Orientação	Cálculo astronômico	Efeito elétrico	100 %
Plano tracking, eixo horizontal N-S			
Azimute eixo médio 0.0 °			

Figura 1. Dados inseridos para simulação no software PVsyst.

A Figura 2 a seguir traz um resumo dos principais dados relacionados a irradiação e temperatura do local e a previsão de geração com seu índice de performance. A geração de energia esperada se baseia na topologia de módulos, inversores e demais componentes que serão abordados nos próximos capítulos, mas que já foram utilizados para realizar esta simulação.

Balanços e resultados principais								
	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	GWh	GWh	rácio
Janeiro	181.8	84.20	23.60	226.3	212.5	0.576	0.555	0.750
Fevereiro	165.2	69.10	23.80	213.6	200.7	0.561	0.541	0.774
Março	165.5	70.60	23.20	213.8	200.5	0.566	0.545	0.780
Abril	151.5	55.70	22.20	196.0	184.5	0.536	0.516	0.806
Mai	138.7	46.60	19.60	189.9	175.1	0.520	0.501	0.808
Junho	127.9	38.70	18.50	179.2	163.3	0.486	0.469	0.801
Julho	141.6	39.30	18.40	196.9	180.4	0.538	0.519	0.807
Agosto	164.8	47.20	20.00	219.9	206.5	0.610	0.588	0.818
Setembro	170.0	61.70	22.10	220.2	208.0	0.592	0.570	0.792
Outubro	178.0	75.70	23.10	229.8	214.5	0.608	0.586	0.779
Novembro	163.2	82.70	22.70	201.8	189.5	0.529	0.510	0.773
Dezembro	174.6	86.60	23.19	217.8	204.7	0.583	0.562	0.789
Ano	1922.8	758.09	21.69	2505.3	2340.1	6.706	6.463	0.789

Legendas			
GlobHor	Irradiação horizontal total	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
DiffHor	Irradiação difusa horizontal	E_Grid	Energia injetada na rede
T_Amb	Temperatura ambiente	PR	Índice de performance
GlobInc	Incidência global no plano dos sensores		
GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras		

Figura 2. Dados extraídos do software PVsyst.

1.2 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A usina fotovoltaica será implantada numa área de 6 hectares próximo a cidade de Piumhi-MG, com latitude $20^{\circ}28'43.13''\text{S}$ e longitude $45^{\circ}58'38.62''\text{O}$, conforme exibido na Figura 3.



Figura 3. Localização do município de Piumhi/MG.



Figura 4. Localização da usina na cidade de Piumhi/MG.

Como pode ser visto na Figura 4, a localização do empreendimento, em azul, é privilegiada, visto que está a aproximadamente 2 km do centro da cidade e a 1 km da subestação da CEMIG, além de estar ao lado da rede de distribuição. A área em verde será destinada a preservação ambiental e para os possíveis espécimes removidos do local destinado a usina.

1.3 ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO

Para o correto dimensionamento da UFV, é necessário fazer a análise das perdas que podem ocorrer por diversos fatores. Para esta análise iremos utilizar o *software* PVsyst.V7.2.14. Os *trackers* são posicionados alinhados com o norte, de modo que os módulos pela manhã estão voltados a leste e terminam o dia voltados a oeste, após terem seguido o ângulo de elevação solar. A este modelo se dá o nome de *tracker* de eixo horizontal N-S (norte-sul).



Figura 5. Configuração da UFV no *software* PVsyst para simulação.

A Figura 5 exibe o terreno com a respectiva localização dos módulos fotovoltaicos, o local possui um leve declive para o norte, não excedendo o máximo permitido pelo fabricante do *tracker*. Após a supressão vegetal completa e terraplanagem não haverá possíveis pontos de sombreamento por vegetação. Não há edifícios ou estruturas na linha do horizonte que possam causar impacto.

Com base nestas premissas e outras que serão abordadas nos próximos capítulos, a Figura 6 a seguir apresenta os percentuais de perdas determinados pelo *software* de simulação PVsyst e a geração de energia anual esperada.

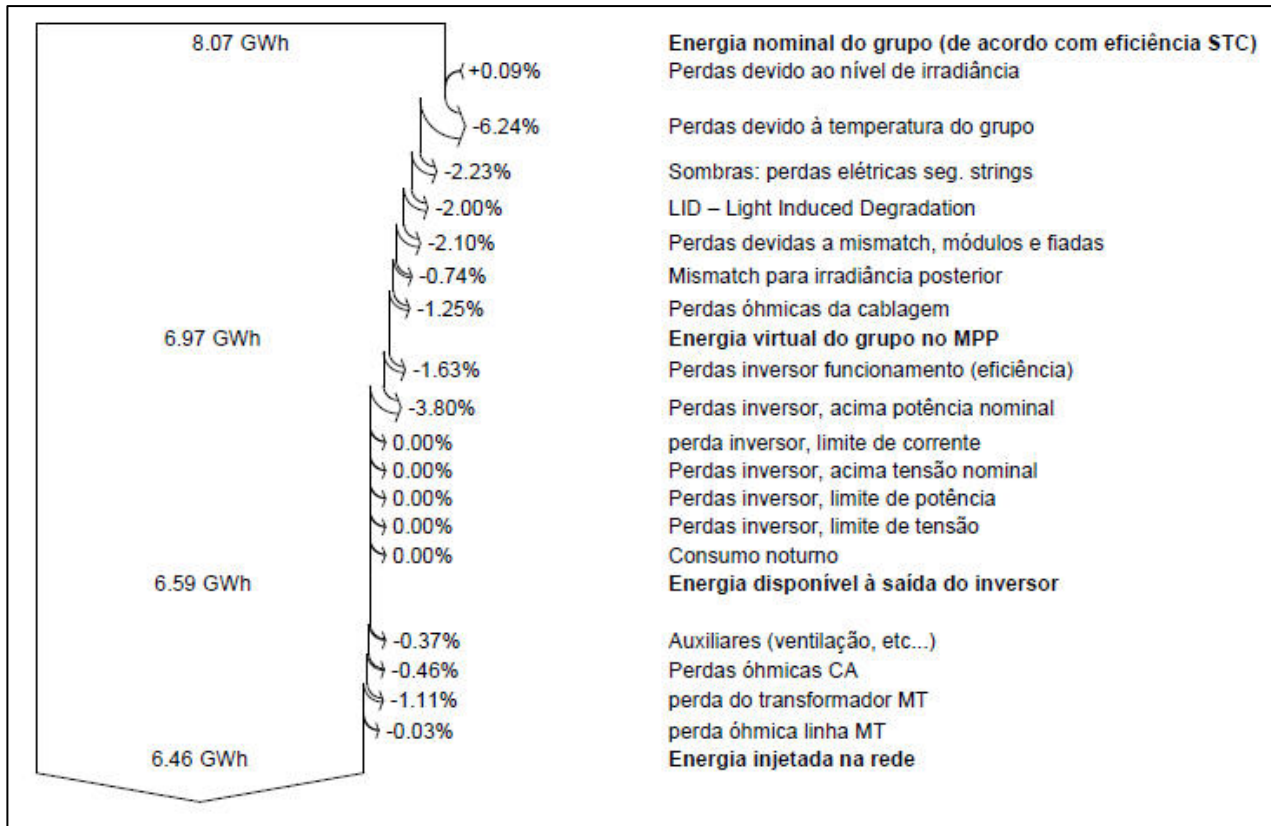


Figura 6. Diagrama de perdas gerado pelo PVsyst.

Em resumo, percebemos que a energia gerada pelos módulos bifaciais, com base na sua eficiência STC, é de 8,07 GWh/ano e após desconsideradas todas as perdas, a energia injetada na rede da CEMIG é de 6,46 GWh/ano.

Com base nisso, houve uma diminuição de aproximadamente 20% da energia gerada pelos módulos, após consideradas todas as perdas até a rede da distribuidora, corroborando com o valor típico considerado em projetos onde não se faz essa simulação.

2- Dimensionamento da Cabine Primária e Sistema Fotovoltaico

O objetivo deste capítulo é apresentar o dimensionamento de todos os equipamentos que compõe um empreendimento deste porte. Optou-se por priorizar pela qualidade, escolhendo componentes com qualidade reconhecida e consagrados em usinas de grande porte.

2.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Conforme descrito anteriormente, o ponto de partida é a construção de uma UFV com capacidade de 2,5 MW nominais, otimizando a área disponível e priorizando a produção de energia.

2.1.1 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A definição dos módulos fotovoltaicos a serem utilizados seguiu as seguintes premissas:

- Fabricante classificado como *TIER 1* (lista de melhores fabricantes) [4];
- Modelo bifacial mais recente distribuído pela importadora;
- Compatibilização com o modelo de estrutura *tracker*;
- Instalação e manejo validados pelo setor de execução.

Com base nisso, foi escolhido o modelo *RSM110-8-545BMDG* do fabricante *Risen Solar Technology*, com potência de 545 Wp. As características e especificações técnicas estão apresentadas na Tabela 1. Mais informações podem ser encontradas nas folhas de dados do módulo fotovoltaico em anexo.

Estabeleceu-se uma relação mínima entre a potência CC total dos módulos fotovoltaicos e a potência de saída CA da UFV em torno de 1,30, sendo este um valor típico considerado para se otimizar a geração [5], com isso:

$$Relação_{CC/CA} = \frac{N_{mín} \times P_{mp}}{P_{UV}}$$

$$1,30 = \frac{N_{mín} \times 545}{2,5 \cdot 10^6} \quad (1)$$

$$N_{mín} = 5.964 \text{ módulos}$$

Para compatibilizar a distribuição das séries com os inversores, foi escolhido o total de 6.000 módulos, totalizando 3,27 MWp com uma geração prevista de 6,46 GWh/ano, conforme simulação no PVsyst, após descontadas todas as perdas.

Tabela 1: Características do módulo fotovoltaico utilizados na instalação.

Parâmetros	Símbolo	Valor
Modelo	-	RSM110-8-545BMDG
Garantia do produto	-	12 anos
Garantia de produção linear	-	25 anos
Tecnologia das células	-	Silício mono-cristalino
Potência máxima	P_{mp}	545 W
Tensão de máxima potência	V_{mp}	31,76 V
Corrente de máxima potência	I_{mp}	17,17 A
Tensão de circuito aberto	V_{oc}	38,10 V
Corrente de curto-circuito	I_{sc}	18,18 A
Coeficientes de temperatura	k_{pmax}	-0,34%/°C
	k_{voc}	-0,25%/°C
	k_{isc}	0,04%/°C
Número de células FV	N_{cel}	110
Temperatura operação nominal	T_{noct}	44±2 °C
Eficiência do módulo	η_{fv}	21%
Fator de bifacialidade	η_{bf}	70%
Degradação anual	-	0,45%
Massa do módulo	m_{fv}	33 kg
Área do módulo	A_m	2,61 m ²
Dimensões do módulo	D_{fv}	2384 x 1096 x 30 mm
Bitolas dos cabos CC de saída	-	4 mm ²
Certificados		IEC 61215, IEC 61730 e IEC 61701

Os valores de tensão, corrente e potência apresentados na Tabela 1 são válidos para as condições climáticas no STC (do inglês *Standard test conditions*): 25 °C e 1000 W/m².

2.1.2 DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES

O inversor é o equipamento responsável por realizar a interface elétrica entre os módulos fotovoltaicos (em CC) e a rede elétrica (CA). Os inversores *Sungrow SG250HX* são capazes de atender os 8 níveis de tensões do módulo 3 do Prodist (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional). Estão devidamente homologados junto ao INMETRO e contam com a certificação na ANATEL dos sistemas de monitoramento Wi-Fi. Além disso, atendem as normas ABNT-NBR-16149, ABNT-NBR-16150 e ABNT-NBR-IEC-62116.

Este modelo apresentado tem potência CA nominal de 250 kW, com isso para atender a potência de 2,5 MW da UFV, previamente definida, serão necessárias 10 unidades deste inversor.

As características e especificações técnicas principais do inversor estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Características dos inversores fotovoltaicos utilizados na instalação.

Parâmetros	Símbolo	Valor
Modelo	-	Sungrow-SG250HX
Garantia do produto	-	10 anos
Máxima tensão CC por série FV	$V_{cc,max}$	1.500 V
Faixa de operação do MPPT	ΔV_{mppt}	860~1.300 V
Tensão CC de partida	$V_{cc,min}$	600 V
Corrente CC máxima por série FV	$I_{serie,max}$	26 A
Corrente CC máxima por arranjo FV	$I_{arranjo,max}$	50 A
Número de séries FV permitidas	$N_{inv,serie}$	24
Número de MPPT independente	-	12
Número de entradas por MPPT	-	2
String box integrada	-	Seccionadora e DPS CC II
Potência CA nominal	P_{ca}	250 kW
Máxima corrente CA (RMS)	I_{ca}	180,5 A
Tensão nominal de saída CA (RMS)	V_{ca}	800 V ~ 60 Hz
Fator de potência	FP_{inv}	Unitário (0,8 cap. ou ind.)
Conexão CA	-	Trifásico (3F+PE)
Dimensões	D_{inv}	1.051×660×363 mm
Massa	m_{inv}	95 kg
Ambiente de operação	-	Externo ou interno (IP 66)
Faixa de temperatura de operação	ΔT_{inv}	-30~60 °C
THD (em potência nominal)	-	<3%

Serão conectados 600 módulos FV *RSM110-8-545BMDG* na entrada CC de cada inversor *SG250HX*, conforme esquema da Figura 7. São 30 módulos FV por série fotovoltaica, formando 10 arranjos fotovoltaicos com 2 subarranjos fotovoltaicos cada. As potências de pico por inversor e da usina FV estão resumidas na Tabela 3, assim como outras características importantes do dimensionamento da usina FV. Um total de aproximadamente 15.660 m² de área serão necessários apenas para comportar os módulos FV desta UFV.

Na sequência será analisada a compatibilidade entre módulos FV e inversor. Para prevenir uma possível irradiância acima do valor STC de 1.000 W/m², o que afetaria diretamente a corrente dos módulos FV, será considerada uma margem de segurança, acima da corrente de curto-circuito dos módulos FV.

$$I_{serie,max} > 1,1 \times I_{sc} \quad (2)$$

$$26 > 1,1 \times 18,18$$

$$26 > 20 \text{ A}$$

Da mesma forma, para garantir que para a menor temperatura, não irá ultrapassar o máximo valor de tensão de circuito aberto por entrada CC do inversor, será adotada uma margem de segurança.

$$V_{cc,máx} > 1,2 \times V_{oc} \times N_{sfv} \tag{3}$$

$$1.500 > 1,2 \times 38,10 \times 30$$

$$1.500 > 1.372 V$$

Conclui-se que as condições críticas são satisfeitas, ou seja, mesmo para o pior cenário não irá ultrapassar o máximo permitido em ambos os casos.

Tabela 3: Resumo do dimensionamento elétrico da UFV.

Parâmetro	Símbolo	Valor
Número de séries FV por inversor	$N_{série}$	20
Número de módulos FV por série fotovoltaica	N_{sfv}	30
Potência nominal da série fotovoltaica*	$P_{série}$	16.350 Wp
Número de arranjos FV por inversor	$N_{arranjo}$	10
Número de módulos FV por arranjo fotovoltaico	N_{afv}	60
Potência nominal do arranjo fotovoltaico*	$P_{arranjo}$	32.700 Wp
Número de módulos fotovoltaicos por inversor	$N_{fv,inv}$	600
Potência nominal CC por inversor*	P_{fv}	327 kWp
Fator de sobredimensionamento do inversor	FSI	1,31
Número de inversores fotovoltaicos	N_{inv}	10
Número de módulos fotovoltaicos	N_t	6.000
Potência nominal CC da usina FV*	$P_{cc,usina}$	3,27 MWp
Potência nominal CA da usina FV	$P_{ca,usina}$	2,5 MW

*Informações no STC: 25° e 1000 W/m²

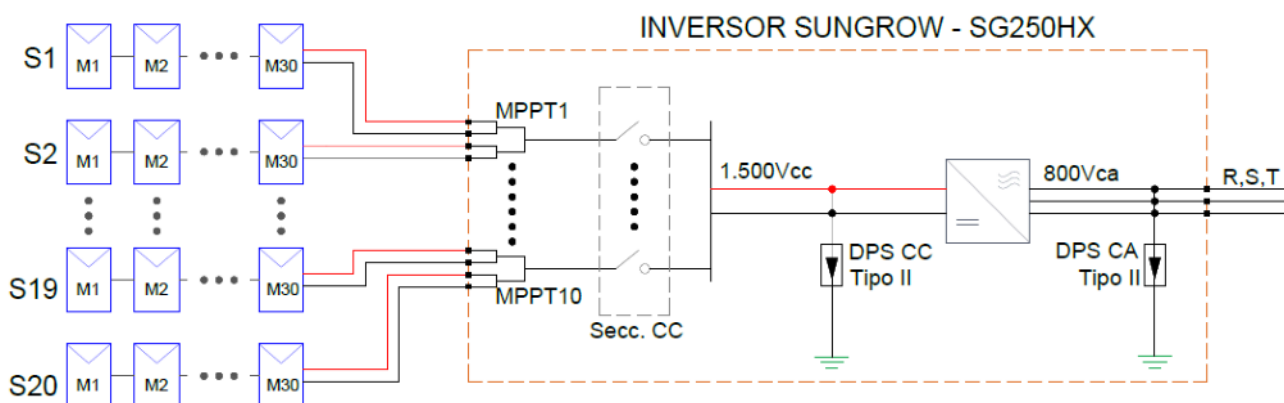


Figura 7: Configuração das séries e arranjos FV conectados ao inversor FV.

O circuito apresentado na Figura 7 representa apenas a ligação dos módulos FV a um inversor, sendo a usina composta por dez inversores.

2.1.3 DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO CC E CA

O inversor SG250HX possui “string box integrada” conforme figura 8, ou seja, ele possibilita a conexão direta das séries fotovoltaicas nas suas entradas, devido:

- Ter conexão para apenas duas séries por MPPT;
- Possuir chave seccionadora CC;
- Ter DPS CC tipo II interno;
- Possuir monitoramento inteligente de corrente das séries, eliminando a necessidade de fusíveis.

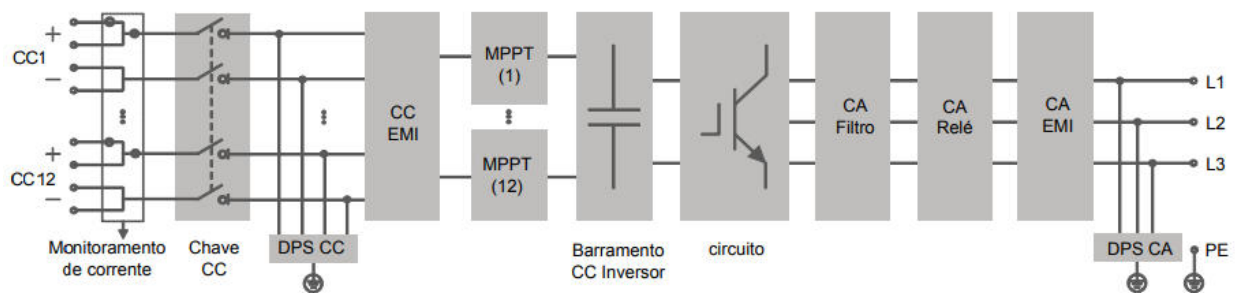


Figura 8: Diagrama do circuito interno do inversor SG250HX

Para a proteção no lado CA de baixa tensão (BT) da UFV, está previsto um quadro geral de baixa tensão (QGBT) CA conforme Figura 9. Todos os dez inversores da UFV são conectados ao mesmo quadro e cada inversor possui um disjuntor exclusivo, dimensionado da seguinte maneira:

$$I_{disj.inv} = I_{ca} \times 1,25 \quad (4)$$

$$I_{disj.inv} = 180,5 \times 1,25$$

$$I_{disj.inv} = 225,62 A$$

Foi determinada essa folga de 25% com base na corrente máxima de saída do inversor para garantir que não haja desarmes indevidos em horários de maior geração e temperatura, e aumentando a vida útil do disjuntor [6]. Desta forma escolheu o disjuntor tripolar com valor comercial de 225 A.

Da mesma forma se dimensionou o disjuntor geral, com uma folga de 25% sobre a corrente total dos inversores.

$$I_{disj.geral} = I_{ca} \times 10 \times 1,25 \quad (5)$$

$$I_{disj.geral} = 180,5 \times 10 \times 1,25$$

$$I_{disj.geral} = 2.256,25 A$$

Desta forma escolheu se o disjuntor tripolar com valor comercial de 2.250 A.

As especificações dos dispositivos do quadro CA BT são informadas abaixo:

- Proteção contra sobrecarga e curto-circuito de cada inversor:
 - Disjuntor tripolar caixa moldada 225 A;
 - Proteção tipo termomagnética curva C;
 - Tensão de operação: 800/460 V;
 - Capacidade de Interrupção: 20 kA;
 - Frequência: 60 Hz.

- Proteção geral:
 - Disjuntor tripolar caixa aberta 2.250 A;
 - Proteção tipo termomagnética curva C;
 - Tensão de operação: 800/460 V;
 - Capacidade de Interrupção: 60 kA;
 - Frequência: 60 Hz.

- Dispositivo de proteção contra surtos elétricos CA:
 - DPS – Classe II (IEC 61643-1);
 - Corrente de descarga nominal 20 kA;
 - Corrente de descarga máxima 45 kA;
 - Tensão máxima de operação contínua: 680 V;
 - Frequência de operação 60 Hz.
 - Tecnologia de proteção: varistor de óxido de zinco (MOV);

- Proteção contra sobrecarga e curto-circuito auxiliar:
 - Disjuntor tripolar DIN 25 A;
 - Proteção tipo termomagnética curva C;
 - Tensão de operação: 800/460 V;
 - Capacidade de Interrupção: 20 kA;
 - Frequência: 60 Hz.

- Proteção contra sobrecarga e curto-circuito DPS CA:
 - Disjuntor monopolar DIN 20 A;
 - Proteção tipo termomagnética curva C;
 - Tensão de operação: 800/460 V;
 - Capacidade de Interrupção: 5 kA;
 - Frequência: 60 Hz.

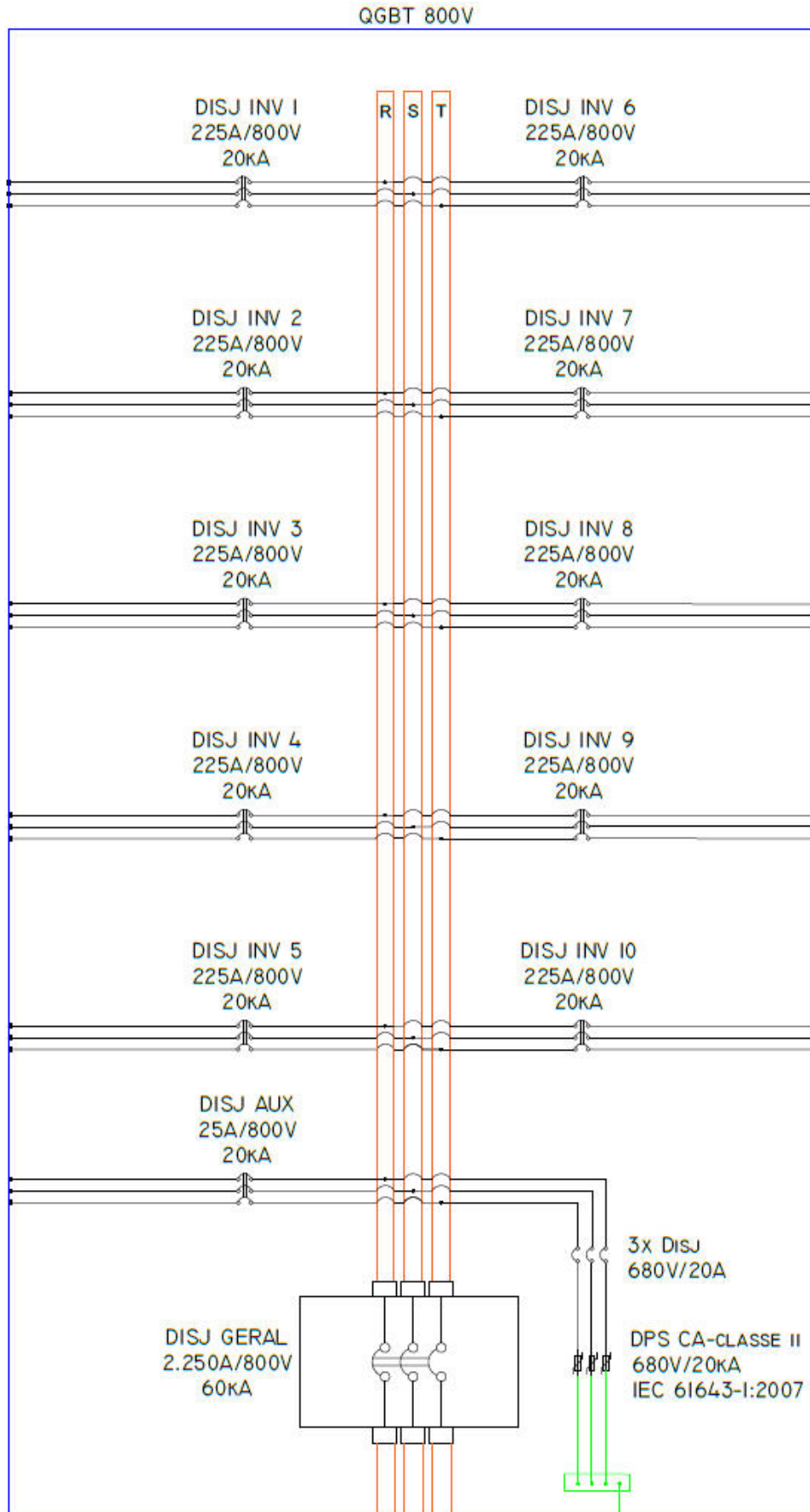


Figura 9: Quadro geral de baixa tensão CA

2.1.4 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS CC

As premissas para dimensionamento dos cabos CC da série e arranjo fotovoltaico são destacadas na Tabela 4.

Tabela 4: Premissas para dimensionamento de cabos CC.

Premissas e considerações
Cabos satisfazem NBR 16612 e 16690
Cabos 1,8 kV
Temperatura ambiente: 30°C
Temperatura de operação: 90°C
Cabos instalados ao ar livre protegidos do sol
Método de instalação com dois cabos unipolares encostados um ao outro na horizontal
Distância máxima da série fotovoltaica ao respectivo inversor: 100m
Condutividade do cobre em 90° C: 44 m/Ωmm ²
Queda de tensão máxima (relação ao ponto de máxima potência): 3%
Resistividade do solo considerada: 2,5 km/W

Conforme dados históricos do site Climatempo [7], a máxima temperatura registrada na cidade de Piumhi-MG foi de 28°C, por conta disso foi adotada a temperatura ambiente de 30°C para dimensionamento.

Apesar de haver trechos com cabos diretamente enterrados e ao livre protegidos do sol, foi escolhido para dimensionamento, o pior cenário em termos de capacidade de condução de corrente.

Não foi considerado dispositivo de proteção de sobrecorrente da série FV, apesar do inversor possuir monitoramento inteligente das entradas CC, com isso utilizou-se uma corrente de curto-circuito dos arranjos FV 25% acima da STC, conforme a norma ABNT NBR 16690 sugere.

A partir das premissas da Tabela 4, o dimensionamento dos cabos CC é desenvolvido de acordo com as diretrizes da ABNT NBR 16690, satisfazendo os critérios de seção transversal mínima, máxima condução de corrente e queda de tensão, simultaneamente. Os resultados dos cálculos são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5: Dimensionamento dos cabos CC de acordo com a ABNT NBR 16690.

Critérios	Bitola calculada
Seção transversal mínima	4 mm ²
Máxima condução de corrente	2,5 mm ²
Queda de tensão	6 mm ²
Bitola do cabo CC final	6 mm²

2.1.5 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS CA DE BAIXA TENSÃO

As premissas para dimensionamento dos cabos CA de baixa tensão são destacadas na Tabela 6. O dimensionamento leva em consideração a distância dos inversores ao QGBT da UFV. Estamos considerando o transformador elevador da UFV ao lado do QGBT, com isso este trecho será realizado por barramentos de cobre.

Tabela 6: Premissas para dimensionamento dos cabos CA baixa tensão.

Premissas e considerações
Isolação EPR/XLPE, cabo unipolar 1 kV de alumínio
Linha elétrica com três condutores carregados (um único circuito por linha elétrica)
Método de instalação: Cabos unipolares diretamente enterrados justapostos, com proteção mecânica adicional
Distância máxima dos inversores ao QGBT: 100 m
Distância máxima do QGBT ao transformador: 1 m
Queda de tensão máxima inferior a 2%
Temperatura do solo: 30°C
Proteções de sobrecorrente e curto-circuito devidamente dimensionadas
Tensão da linha elétrica: 800 V
Tipo de sistema: Trifásico
Resistividade do solo considerada: 2,5 km/W

Foi considerado para o dimensionamento dos cabos CA, no trecho entre inversores e QGBT, a potência nominal dos inversores e os disjuntores escolhidos, de modo que os cabos fiquem protegidos por eles. A corrente de projeto, após consideradas todas variáveis, resultou em 253 A, ou seja, para atender estas premissas o cabo dimensionado deve ter esta capacidade de condução de corrente ou superior.

As barras de cobre utilizadas no trecho entre o QGBT e o transformador elevador devem suportar a potência nominal da UFV e levar em consideração o disjuntor geral escolhido (2.250 A), com isso chegou-se ao modelo com 101,60 mm de largura e 11,48 mm ou 4x1/2", como é considerado comercialmente, que suporta até 2.625 A, conforme catálogo consultado [8].

A partir das premissas da Tabela 6, o dimensionamento dos cabos CA é desenvolvido de acordo com as diretrizes da ABNT NBR 5410, satisfazendo os critérios de seção transversal mínima, máxima condução de corrente e queda de tensão, simultaneamente. Parte-se do pressuposto que os dispositivos de proteção foram devidamente dimensionados na seção anterior, de forma que os critérios de sobrecarga e curto-circuito já estão sendo satisfeitos.

Os resultados dos dimensionamentos são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7: Dimensionamento dos cabos e barramento CA de acordo com a ABNT NBR 5410.

Trecho	Crêterios	Bitola calculada
Inversores ao QGBT da UFV	Se�o transversal mínima	50 mm ²
	Máxima condu�o de corrente	240 mm ²
	Queda de tensão	35 mm ²
	Bitola do cabo CA final	240 mm²
QGBT da UFV ao Transformador elevador	Dimensões do barramento CA final	4 x 1/2"

2.1.6 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS CA DE MÉDIA TENSÃO

As premissas para dimensionamento dos cabos CA de média tensão (MT) são destacadas na Tabela 8. O dimensionamento leva em considera o a distância do transformador a cabine primária da UFV.

Tabela 8: Premissas para dimensionamento de cabos CA MT.

Premissas e considera�es
Isola�o EPR/XLPE, cabo unipolar 15 kV de alumínio
Linha elétrica com três condutores carregados (um único circuito por linha elétrica)
Método de instala�o: Três cabos unipolares espaçados diretamente enterrados
Distância do transformador da UFV a cabine primária: 300 m
Fator de potência considerado: 0,92
Queda de tensão máxima inferior a 1%
Temperatura do solo: 30�C
Prote�es de sobrecorrente e curto-circuito devidamente dimensionadas
Tensão da linha elétrica: 13.800 V
Tipo de sistema: Trifásico
Resistividade do solo considerada: 2,5 km/W

Foi considerado para o dimensionamento desses cabos a potência total da UFV (2,5 MW) com um acréscimo de 5% em sua corrente nominal, sendo este o valor utilizado nas prote es de sobrecorrente do relé. A corrente de projeto, após consideradas todas variáveis, resultou em 129 A, ou seja, o cabo dimensionado deve ter esta capacidade de condu o de corrente ou superior. Os resultados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Dimensionamento dos cabos CA MT de acordo com a ABNT NBR 5419.

Trecho	Crêterios	Bitola calculada
Transformador a cabine primária da UFV	Se�o transversal mínima	25 mm ²
	Máxima condu�o de corrente	50 mm ²
	Queda de tensão	16 mm ²
	Bitola do cabo CA final	50 mm²

2.1.7 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS DE ATERRAMENTO DA UFV

Para o correto dimensionamento da malha de aterramento da UFV, será necessário realizar sondagens geelétricas em toda a área onde será construída a UFV, seguindo o número mínimo de pontos de medição conforme a norma ABNT NBR 7117:2020. Com base nessas sondagens se calcula a resistividade média do solo (Ohm x metro), utilizada para analisar a interação da malha de aterramento com o solo.

Através de um programa computacional, como o *TecAT*, é possível inserir os valores de resistividade, corrente de falta a terra, entre outros parâmetros e analisar uma malha preliminar pela perspectiva das tensões de toque e passo [9].

A Tabela 10 apresenta a seção transversal dos condutores de aterramento da UFV, devidamente dimensionados conforme ABNT NBR 5410 e 16690.

Tabela10: Dimensionamento dos condutores de aterramento do lado CC e CA da UFV.

Elemento da malha da UFV	Tipo	Valor
Eletrodos de aterramento	Cobre nu	50 mm ²
Condutor de aterramento	Cobre isolado	120 mm ²
Condutor de equipotencialização	Cobre isolado	16 mm ²
Condutor de proteção	Cobre isolado	120 mm ²

Para esse projeto iremos adotar um anel de aterramento com cabo de cobre nu 50mm² enterrados a no mínimo 50cm da superfície, circundando toda a UFV, conforme ABNT NBR 5410:2004. Todas as partes metálicas dos equipamentos, *trackers*, quadros, aterramento da cabine primária etc, serão conectados a esse anel, apenas o cercamento não será conectado, para se evitar possíveis altos valores de tensão de toque vistos pelo lado fora.

No lado CC da UFV, o condutor de equipotencialização utilizado para aterrar as partes metálicas expostas do arranjo fotovoltaico e *trackers* tem seção mínima de 16 mm² de cobre, conforme ABNT NBR 16690. No lado CA, para circuitos com condutores de fase acima de 16 mm², os condutores de proteção e aterramento podem ser de no mínimo a metade da seção das fases (ABNT NBR 5410:2004), com isso, como as fases dos inversores têm seção de 240mm² os condutores de aterramento e proteção irão ter 120mm².

A conexão entre a malha de aterramento da cabine primária e a malha de aterramento da UFV será realizada através de cabo de cobre nu 50mm² enterrado a no mínimo 50 cm da superfície. Os detalhes da malha de aterramento da cabine primária serão abordados nos próximos capítulos.

Todas as conexões entre cabos nus que forem ficar enterradas serão realizadas por conectores à compressão, por conta disso optou-se por utilizar somente cabos de cobre no sistema de aterramento. As demais utilizaram conectores apropriados, com o devido torque sugerido pelo fabricante.

2.1.8 ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Seguindo a linha de optar por equipamentos e marcas consagradas no mercado, propõe-se a instalação de *tracker* do tipo bifila modelo STI-H250. Este modelo vem sendo mundialmente utilizado e aqui no Brasil tem sido constantemente um pré-requisito dos contratantes que a UFV seja composta por ele como estrutura de fixação e seguimento solar.

A Tabela 11 apresenta algumas de suas características.

Tabela11: Especificações *tracker* STI-H250.

Parâmetros	Valor
Quantidade de fileiras por <i>tracker</i>	2
Quantidade máxima de módulos por fileira	60
Ângulo de rotação	+/- 55° (110°)
Pitch recomendado	4 – 8 m
Máximo declive N-S entre estacas	15%
Máximo declive L-O entre fileiras	10%
Rajadas de vento máxima	150km/h
Temperatura de operação	-10° a +50°C
Alimentação	Dedicada
Comunicação	RS485 ou Wi-Fi
Estrutura	Aço galvanizado a quente
Resistência a corrosão	C5
Fundações	Adaptáveis
Número de estacas por <i>tracker</i>	19
Controle de seguimento	NREL SOLPOS
Exatidão seguimento	+/-0,01°
Controle de sombras	Personalizável
Controle vento	Personalizável
Garantia	10 anos

Algumas das suas vantagens, retiradas do seu *datasheet*, são:

- Adaptável a diferentes declives do terreno;
- Compatível com variados modelos de módulos FV;
- Fácil acesso para limpeza dos módulos e aos componentes;
- Baixa manutenção;
- Possui metade dos componentes, se comparados com de uma fileira;
- Fácil integração com outros componentes de comunicação da UFV;
- Fácil montagem, não necessita solda, perfuração ou corte em campo;
- Alta confiabilidade.

Segundo o fabricante, confere-se um ganho de no mínimo 20% na geração de energia em relação a sistemas com estrutura fixa, ao se utilizar este modelo. Para este projeto serão necessários 50 *trackers* bifila STI-H250, com 120 módulos fotovoltaicos cada.

Tabela 12: Estimativa de materiais necessários para implantação da UFV.

Materiais	Quantidade
Módulos fotovoltaicos RSM110-8-545BMDG – 545Wp	6.000 und
Inversor Sungrow SG250HX – 250 kW	10 und
Tracker STI-H250	50 und
Skid 2,5 MW (QGBT 10 inversores 800 V + QGBT geral + QGBT auxiliar)	1 und
Transformador acoplamento, trifásico, à seco e ventilação forçada, 2,5 MVA, 13.8 kV / 0.8 kV, K=4, IP54, Dyn1	1 und
Transformador auxiliar, trifásico, à seco, 30 kVA, 13.8 kV / 0.22 kV, K=1, IP54, Dyn1	1 und
Transformador de aterramento, trifásico, isolado à seco, 300 kVA, 13,8 kV, ligação zigue-zague, ND 5.31 CEMIG	1 und
Cabine de entrada homologada na CEMIG, blindada, IP54, relé Pextron URP6100, classe 15 kV, 800 A, 60Hz, 2.5 MW	1 und
Sistema SCADA Elipse para UFV 2,5 MW	1 und
Sistema CFTV	1 und
Sala de controle/almojarifado/O&M em alvenaria 20m ²	1 und
Estação meteorológica	1 und
Cabo solar cobre 1,8 kV 6 mm ² preto	13.000 m
Cabo solar cobre 1,8 kV vermelho	13.000 m
Cabo cobre isolado 1 kV PVC 16 mm ² verde	500 m
Cabo cobre isolado 1 kV PVC 120 mm ² verde	200 m
Cabo cobre nu 50 mm ²	2.000 m
Cabo alumínio unipolar 1 kV EPR/XLPE 240mm ²	2.000 m
Cabo alumínio unipolar 15 kV EPR/XLPE 50mm ²	1.000 m
Fibra óptica	2.000m
Conector MC4 par (igual dos módulos FV)	240 und
Conector MC4 par (igual dos inversores)	240 und
Conectores bimetálicos	60 und
Conectores aterramento	200 und
Eletrodutos 80 mm	200 m
Caixas de passagem em concreto	20 und
Poste de transição rede 13,8 kV	1 und
Haste de aterramento 2,4 m, 254 microns, Ø5/8"	12 und
Caixa de inspeção malha de aterramento	10 und
Itens drenagem e captação de água	500 m
Furo e concretagem das estacas dos trackers	950 und
Fundações para skid, transformador e cabine primária	1 und
Cercamento do perímetro	1.000 m
Portão de entrada + portão pedestre + portão cabine	1 und
Via de acesso interno 5 m largura	300 m
Projetos, estudos e documentação de engenharia	1 und
Canteiro de obras + área de convivência + banheiros	1 und
Sistema de iluminação	1 und
Ferramentas UFV 2,5 MW	1 und

2.2 DIMENSIONAMENTO DA CABINE PRIMÁRIA

2.2.1 TOPOLOGIA ADOTADA

A Figura 10 mostra a topologia de cabine primária abrigada para geração distribuída solar fotovoltaica deste projeto. Como características principais, nota-se proteção e medição em média tensão. O emprego de religador trifásico no ponto de derivação da rede de MT da concessionária é demandado pela CEMIG, para esta faixa de potência. O disjuntor de proteção MT é passivo a vácuo, cujos comandos de *trip* são provenientes de um relé de proteção.

Os sinais de tensão e corrente lidos pelo relé são condicionados por meios de transformadores de corrente (TCs) e potencial (TPs). Exige-se três transformadores de corrente (um por fase) e três transformadores de potencial para implementação das proteções direcionais e de sincronismo. Dois transformadores de potencial exclusivos para o relé de proteção e para alimentação das cargas da subestação também são previstos. Por fim, exige-se somente proteções direcionais de corrente e potência. Proteções de sincronismo estão embarcadas nos inversores. [2]

Geração distribuída acima de 300 kVA - Ligada com inversor subestação com disjuntor e proteção em MT e conectado por religador em MT.

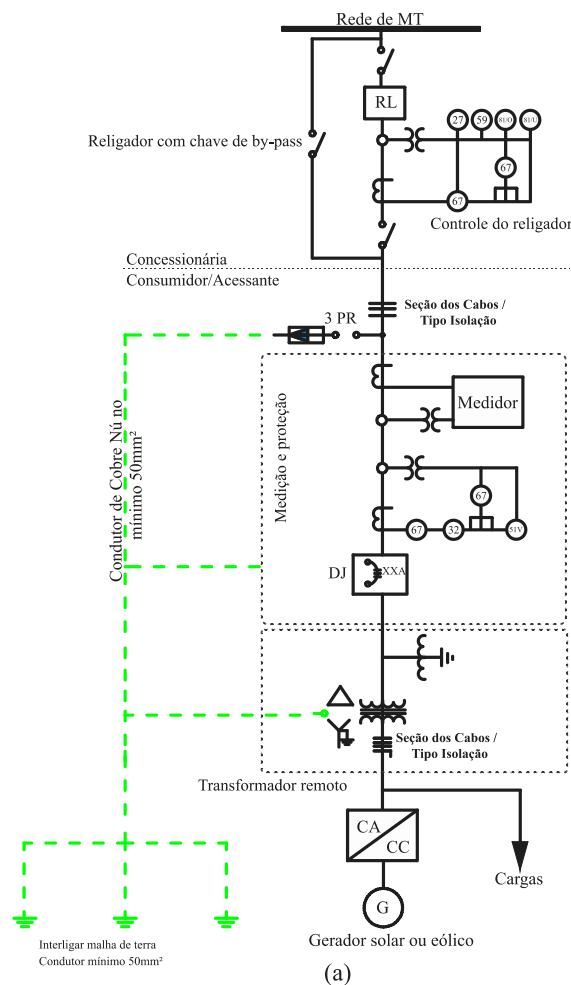


Figura 10: Topologia de subestação abrigada com potência instalada acima de 300 kVA.

2.2.2 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS E ELÉTRICAS DA SUBESTAÇÃO

A topologia deste projeto, após análise do ponto de vista econômico, foi definida com um transformador de potencial de 2,5 MW, para elevar a tensão de 800V proveniente dos inversores, para 13,8 kV conforme a rede local. Este transformador será alocado ao lado do *skid* conforme Figura 11, de modo a economizar em cabos de seções maiores, com isso será realizada uma rede de média tensão com aproximadamente 300 metros até a cabine primária.

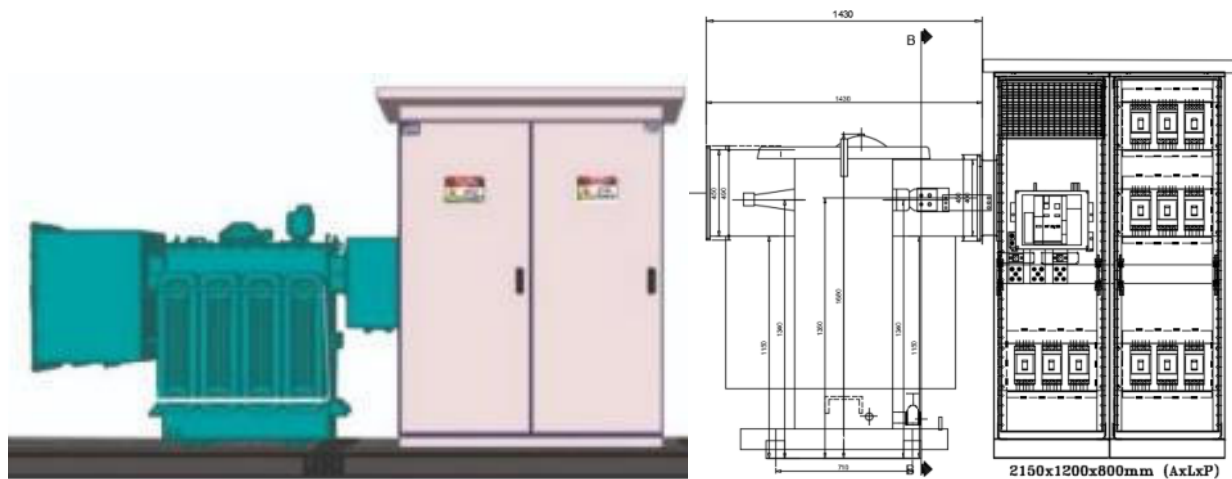


Figura 11: Representação do *skid* definido.

Definido este formato para usina, a cabine primária precisa somente conter os elementos de proteção e medição [2], para uma unidade geradora, atendida em 13,8 kV e com potência de geração de 2,5 MW. Optou-se por utilizar um modelo de cabine primária blindada, devido ao seu menor custo se comparada com uma em alvenaria e a rápida instalação, mostrado na Figura 12.

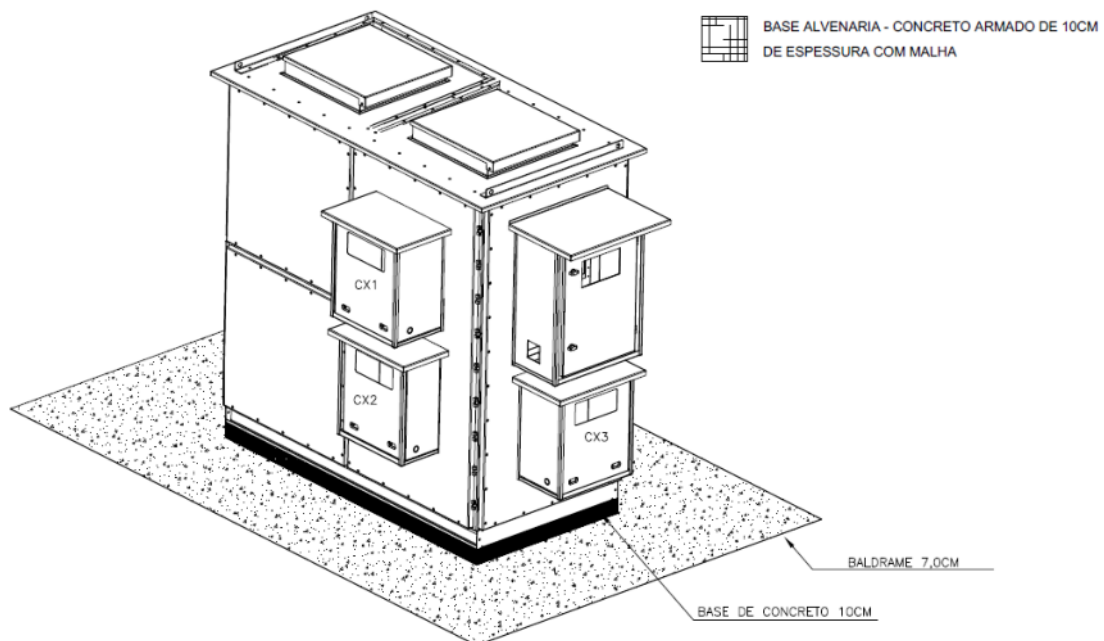


Figura 12: Cabine primária blindada homologada na CEMIG.

O modelo de cabine primária mostrado na Figura 12 é homologado na CEMIG, blindado, IP-54, permite instalação ao tempo, classe de tensão 15 kV, com disjuntor de média tensão a vácuo de 800 A, 17 kV, 60Hz, para potência de 2,5 MW, medição e proteção para uma UC, com relé Pextron URP 6100. Contemplando todos os itens exigidos pelas normas CEMIG ND.5.31 e ND.5.3.

A Tabela 13 apresenta o dimensionamento dos equipamentos da subestação: tirante da bucha de passagem, barramentos, cabos de MT de cobre, terminais de MT 15 kV, condutores de aterramento e base fusível da chave seccionadora do cubículo de transformação.

Tabela 13: Dimensionamento dos equipamentos da subestação.

Equipamento	Grandeza	Valor
Bucha de passagem MT 15kV	Diâmetro	3/8"
Barramento MT	Largura x espessura	1.1/2x1,4"
Barramento terra	Largura x espessura	1x1,4"
Cabos MT cobre ponto de entrega à mufla da subestação (ramal de entrada)	Seção nominal	50 mm ²
Terminais de MT 15kV (Muflas)	Método de instalação	Enfaixado, sem saia
Condutores de aterramento cobre nu	Seção transversal	50 mm ²
Base fusível da chave seccionadora	Corrente nominal	400 A
Para-raios poliméricos 10kA	Tensão nominal	12 kV
Nobreak 115V	Potência nominal	2 kVA

Este modelo de cabine primária mede 2,145 x 0,990 x 2,000 m (A x L x P) e será instalado num compartimento conforme Figura 13, protegido por gradil.

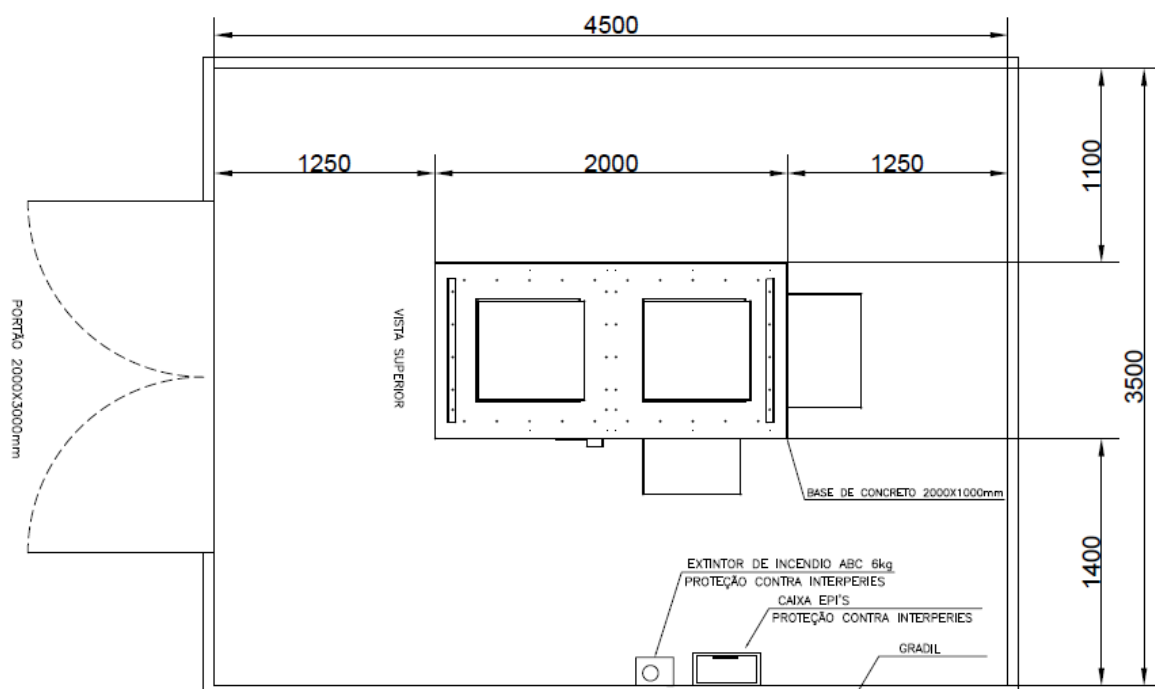


Figura 13: Compartimento para instalação da cabine primária.

2.2.3 COMPONENTES DO SISTEMA DE PROTEÇÃO: DISJUNTOR, RELÉ SECUNDÁRIO, TRANSFORMADORES DE TENSÃO E CORRENTE

O transformador de corrente é projetado conforme ABNT NBR 6856. A Figura 14 mostra o esquemático do TC, com as impedâncias considerada nos cálculos: impedância do secundário do TC Z_{tc} , impedância do cabo Z_{cabo} e impedância do relé $Z_{relé}$. Os critérios de sensibilidade e saturação são levados em consideração no projeto do TC. Neste caso, o RTC = 60 e TC 12,5VA 10P20, classe de exatidão 10% e fator de multiplicidade de corrente nominal igual a 20 são utilizados para atender ambos os critérios. O detalhamento e valores dos cálculos são mostrados na Tabela 14.

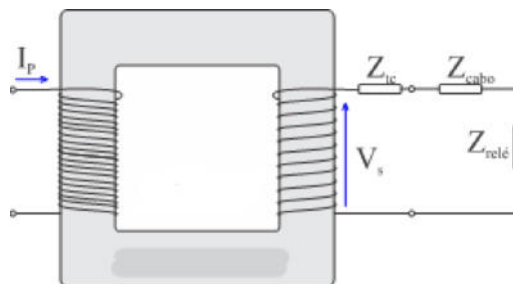


Figura 14: Esquemático utilizado para dimensionamento do TC

Conforme notado na Tabela 14, o critério de sensibilidade é satisfeito se a corrente de partida for superior a 10% da corrente primária dos TC de proteção para assegurar uma melhor exatidão na medição e monitoramento da instalação. O critério da saturação exige que o TC não sature sob a pior condição de curto-circuito primária vista pelo relé de proteção (falta trifásico de 4.622,1 A). Este critério é atendido se $V_{s,tc} \leq V_{s,max}$, onde $V_{s,tc}$ é a tensão induzida no secundário do TC sob condições de falta trifásica e $V_{s,max}$ é a tensão máxima induzida no secundário sem levar o relé à saturação.

Tabela 14: Memorial de cálculo do transformador de corrente.

Descrição	Equação	Valores
Corrente mínima para sensibilização do relé	$I_{pick-up,n}$	36 A
Corrente máxima para sensibilização do relé sem causar saturação	$I_{cc,3f}$	4.622,1 A
Critério de sensibilidade: Corrente primária do TC deve ser menor ou igual a $10 \times I_{pick-up,n}$	$I_{p,tc} \leq 10 \times I_{pick-up,n}$	$I_{p,tc} = 360$ A
Critério de saturação: tensão induzida no secundário do TC $V_{s,tc}$ não deve saturar, deve ser menor que a máxima tensão secundária induzida do relé escolhido $V_{s,max}$. TC 12,5VA 10P20 – 300:5	$V_{s,tc} \leq V_{s,max}$	$Z_{cabo} = 0,047 \Omega$ $Z_{relé} = 0,12 \Omega$ $Z_{tc} = 0,225 + j0,0109\Omega$ RTC = 60 $V_{s,max} = 50$ V $V_{s,tc} = 30,2$ V

Com relação ao dimensionamento dos transformadores de potencial (TP), a Tabela resume as principais especificações dos equipamentos projetados. Os sensores de tensão do relé de proteção, segundo dados do manual do fabricante, consomem 0,5 VA por fase, perfazendo um consumo total de 1,5 VA, inferior aos 75 VA escolhido, que garantem a precisão de 3% do equipamento. Dessa forma, os equipamentos garantem a precisão no envio da tensão para o relé de proteção.

Tabela 15: Especificações dos transformadores de potencial.

Parâmetro	Proteção	Cargas proteção	Cargas subestação
Tensão primária (kV)	13,8/√3	13,8/√3	13,8/√3
Tensão secundária (V)	115	115	115
RTV	70:1	70:1	70:1
Grupo de ligação	2	2	2
Frequência (Hz)	60	60	60
Tipo de uso	Interno	Interno	Interno
Polaridade	Subtrativa	Subtrativa	Subtrativa
Classe de isolamento (kV)	15	15	15
Tipo de isolamento	Resina epóxi	Resina epóxi	Resina epóxi
Carga nominal (VA)	75	1.013	940
Fator de sobretensão (%)	20	20	20
Classe de exatidão	3P	-	-
Potência térmica (VA)	500	1.500	1.500
Especificação	0,3P75	0,6P75	0,6P75
Quantidade (und)	3	1	1

Por outro lado, para TPs de alimentação da proteção e/ou emergência, pode-se projetá-lo atendendo os critérios da potência térmica do transformador. As Tabelas 16 e 17 mostram as demandas da carga da subestação e da proteção, exigindo dois TPs com potência térmica de 1.500 VA.

Tabela 16: Quadro de carga da subestação para alimentação auxiliar.

Carga	Qtde.	Potência individual			Potência total		FD	Demanda	
		kW	FP	kVA	kW	kVA		kW	kVA
Lâmpada fluorescente 2x40W	4	0,08	0,85	0,09	0,32	0,38	1	0,32	0,38
Lâmpada emergência	2	0,1	0,85	0,12	0,2	0,24	0,25	0,05	0,06
Tomada	4	0,21	0,85	0,25	0,85	1	0,5	0,43	0,5
Demanda total em kVA									0,94

Tabela 17: Quadro de carga da subestação para alimentação da proteção.

Carga	Qtde.	Potência individual			Potência total		FD	Demanda	
		kW	FP	kVA	kW	kVA		kW	kVA
Lâmpada disjuntor ON	1	0,003	0,85	0,003	0,003	0,003	0,5	0,001	0,002
Lâmpada disjuntor OFF	1	0,003	0,85	0,003	0,003	0,003	0,5	0,001	0,002
Lâmpada mola carregada	1	0,003	0,85	0,003	0,003	0,003	1	0,003	0,003
Motor carregamento mola	1	0,6	0,85	0,7	0,6	0,7	1	0,6	0,7
Bobinas de fechamento e abertura	2	0,085	0,85	0,1	0,17	0,2	1	0,17	0,2
Cargas no no-break	1	0,085	0,85	0,1	0,085	0,85	1	0,085	0,85
Carga relé	1	0,005	0,85	0,006	0,005	0,006	1	0,085	0,85
Demanda total em kVA									1,013

Finalmente, as especificações do disjuntor de MT são mostradas na Tabela 18.

Tabela 18: Especificações do disjuntor de MT.

Parâmetro	Valor
Tensão máxima de operação	17,5 kV
Tensão nominal de operação	13,8 kV
Corrente máxima de interrupção	16 kA
Tecnologia de interrupção	Á vácuo
Corrente nominal	800 A
Vida útil (ciclos de manobra)	30.000
Tempo de fechamento	≤ 70 ms
Tempo de abertura	≤ 35 ms
Tensão nominal de impulso	95 kV
Massa	36 kg
Tensão nominal de alimentação auxiliar	24~60 Vcc 110~220 Vca

2.2.4 COMPONENTES DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

Transformadores de corrente de medição são utilizados para fins de medição das correntes em um sistema de média tensão. A concessionária quem instala estes dispositivos. Por questões óbvias financeiras, é exigido características de boa precisão (ex.: 0,3%-0,6% de erro de medição) e baixa corrente de saturação (4 vezes a corrente nominal). Obs.: Podem saturar durante a ocorrência do curto-circuito, não trazendo prejuízos financeiros à concessionária com relação a consumo de energia elétrica (já que a duração do curto é muito pequena). O dimensionamento do TC de medição pode ser feito em função do fator térmico e demanda da instalação conforme Tabela 19. Para a demanda de 2.500 kVA, o transformador de corrente com fator térmico unitário de RTC igual a 200-5 atende as especificações de projeto.

Tabela 19: Dimensionamento de TCs de medição em 13,8 kV.

Transformador de corrente primário-secundário	Demanda	
	FT* = 1	FT* = 1,5
5-5	Até 100 kVA	Até 100 kVA
10-5	De 100 a 200 kVA	De 100 a 300 kVA
15-5	De 150 a 300 kVA	De 150 a 400 kVA
20-5	De 200 a 400 kVA	De 200 a 600 kVA
25-5	De 250 a 500 kVA	De 250 a 750 kVA
30-5	De 300 a 600 kVA	De 300 a 900 kVA
40-5	De 400 a 800 kVA	De 400 a 1200 kVA
50-5	De 500 a 1000 kVA	De 500 a 1500 kVA
75-5	De 750 a 1500 kVA	De 750 a 2250 kVA
100-5	De 1000 a 2000 kVA	De 1000 a 3000 kVA
150-5	De 1500 a 3000 kVA	De 1500 a 4500 kVA
200-5	De 2000 a 4000 kVA	De 2000 a 6000 kVA
300-5	De 3000 a 6000 kVA	De 3000 a 9000 kVA
400-5	De 4000 a 8000 kVA	De 4000 a 12000 kVA
*Fator térmico nominal		

No dimensionamento de TPs para medição sob fornecimento de 13,8kV, considera-se a Tabela 20.

Tabela 20: Dimensionamento de TPs de medição em 13,8 kV.

Relação de transformação	Medição
70:1	A três elementos

2.2.5 ATERRAMENTO DA SUBESTAÇÃO

O sistema de aterramento da cabine primária blindada foi projetado em observação às normas vigentes e será constituído por uma malha em cabos de cobre nu, têmpera meio-dura, de seção 50 mm^2 , instalados numa profundidade mínima de 50 cm, interligando os eletrodos verticais, constituídos por 12 hastes cobreadas em cobre eletrolítico $254 \mu\text{m}$, com diâmetro $5/8''$ e 2,4 m cravadas no solo.

A distância entre as hastes, vista na Figura 15, é igual ao comprimento das hastes utilizadas (2,4 m). Os eletrodos de aterramento devem ser cravados no solo com sua extremidade superior (incluindo conector ou ponto de solda) acessível para inspeção pela concessionária dentro de uma cava, com o topo de cada haste situada abaixo da linha de acabamento do piso. Cada cava deve ser revestida por argamassa ou tubo de PVC e protegida por tampa de concreto, ferro fundido ou policarbonato, que deve ficar no mesmo nível do acabamento do piso.

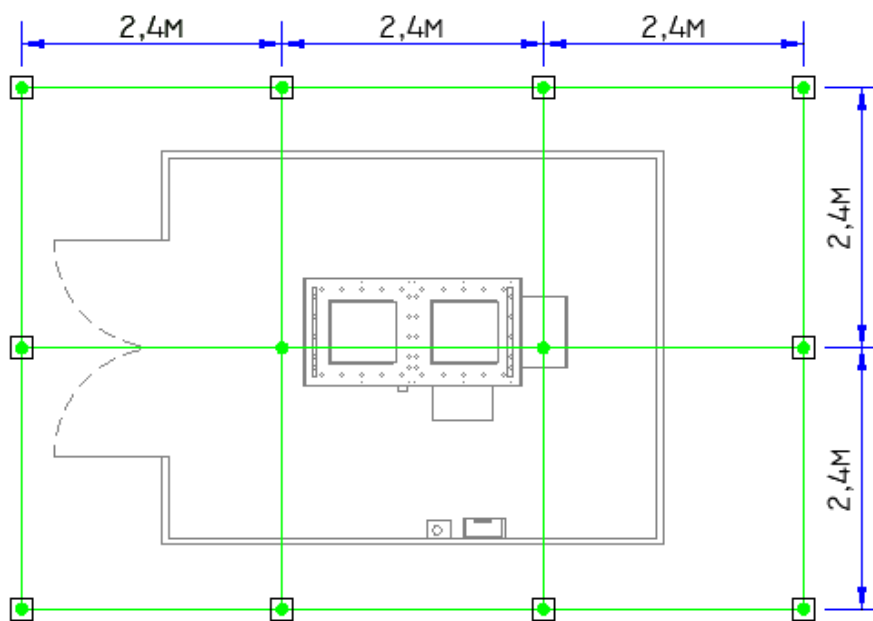


Figura 15: Malha de aterramento tipo quadrado cheio.

No piso da cabine blindada, será instalado um anel de aterramento, em cabo de cobre nu de seção 50 mm^2 , interligado à malha de aterramento em, no mínimo, quatro pontos.

Todas as partes metálicas não destinadas à condução de corrente, inclusive grades de proteção, portões de acesso, carcaça da cabine blindada, deverão estar interligadas ao anel de aterramento através de fio ou cabo de cobre de seção 50 mm^2 , com conexão por solda exotérmica ou conector apropriado.

2.3 ESTUDOS DE PROTEÇÃO

O objetivo deste capítulo é apresentar a memória de cálculo e parâmetros utilizados como base para estabelecer a proteção do sistema visando garantir a sua confiabilidade ao longo do período de operação. Todas as diretrizes aqui apresentadas para definição dos ajustes das proteções foram elaboradas com base nas orientações técnicas previstas na ND 5.31 da CEMIG.

2.3.1 CÁLCULO DAS CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO

Os valores base utilizados para os cálculos de curto-circuito estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21: Valores base utilizados nos estudos de proteção.

Grandezas	Símbolo	Valor
Potência aparente de base	S_b	100 MVA
Tensão primária de base	V_b	13,8 kV

Baseado na Tabela 21, a corrente de base (sistema pu) é definida como:

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} \times V_b} = \frac{100 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 13,8 \text{ kV}} = 4.183,7 \text{ A} \quad (6)$$

Os dados de nível de curto-circuito e impedância de sequência equivalente da subestação Piumhi II (CEMIG) foram fornecidos, através do parecer de acesso, conforme mostrado na Tabela 22.

Tabela 22: Impedância e correntes de curto-circuito fase-fase, fase-terra e trifásica na barra da SE Piumhi II.

Corrente de curto-circuito	Sequência + [A]	Sequência - [A]	Sequência 0 [A]
Falta fase-fase (L-L)	2.311,1L - 148,1°	2.311,1L 31,9°	0∠0°
Falta fase-terra (L-G)	1.600,6L - 148,7°	1.600,6L - 148,7°	1.600,6L - 148,7°
Falta fase-fase-terra(2L-G)	3.143,5L - 148,4°	1.478,8L 32,5°	1.665,0L 30,7°
Falta trifásica (3L)	4.622,1L - 148,1°	0∠0°	0∠0°
Impedância equivalente da barra da SE Piumhi	Sequência + [Ω]	Sequência - [Ω]	Sequência 0 [Ω]
	$Z_{eq}^+ = 0,04961 + j1,63238$	$Z_{eq}^- = 0,04963 + j1,63228$	$Z_{eq}^0 = 0 + j1,4504$

As informações da rede aérea de distribuição protegida (RDP) trifásica de 13,8 kV foram fornecidas no parecer de acesso e estão mostradas na Figura 16. Os cabos de alumínio são recobertos por isolamento XLPE 90°C 15 kV, apoiados em cruzetas com cabo mensageiro de sustentação mecânica.

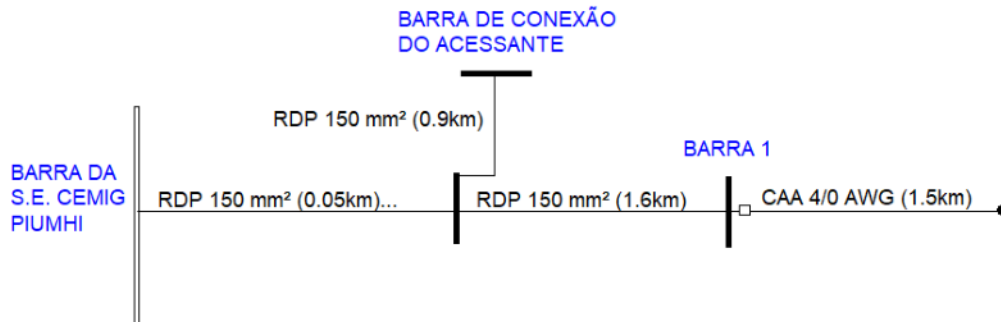


Figura 16: Configuração da rede aérea de distribuição protegida entre barra da SE CEMIG e barra do acessante.

Para os cálculos de curto-circuito, a resistência e reatância de seqüências dos cabos de alumínio das redes de distribuição compactas da concessionária são modeladas conforme Tabela 23.

Tabela 23: Dados de impedância de seqüência dos cabos da rede RDP da SE CEMIG até a barra de conexão do acessante. *Valores obtidos para uma temperatura de 90 °C.

Seção [mm ²]	Seqüência zero* - Z^0	Seqüência pos. e neg.* - $Z^+ = Z^-$
150	0,0982 + j0,0730 Ω /km	0,0080 + j0,0075 Ω /km
150	1,7680 + j1,3145 Ω /km	0,1441 + j0,1353 Ω /km
OBS.: Temperatura ambiente considerada de 30°C		

As impedâncias de seqüência dos cabos de alumínio da instalação do acessante, utilizadas no cálculo de curto-circuito, são mostradas na Tabela 24.

Tabela 24: Dados de impedância de seqüência dos cabos de alumínio utilizados na rede interna do acessante. *Valores obtidos para uma temperatura de 90 °C.

Seção [mm ²]	Seqüência zero* - Z^0	Seqüência pos. e neg.* - $Z^+ = Z^-$
50	0,6997 + j0,5114 Ω /km	0,1424 + j0,0524 Ω /km
240	0,2844 + j0,3647 Ω /km	0,0144 + j0,0161 Ω /km
OBS.: Temperatura ambiente considerada de 30°C.		

Os níveis de curto-circuito foram determinados em todas as barras onde é requerido a instalação de equipamentos ou dispositivos de proteção.

Para definição de alguns parâmetros da proteção, é necessário definir as características do transformador de potência instalado, cujas informações estão apresentadas na Tabela 25, a seguir.

Tabela 25: Características elétricas do transformador à seco.

Transformador de acoplamento	Valor
Potência aparente [kVA]	2.500
Tensão primária [V]	13.800
Tensão secundária [V]	800
Impedância [%]	6,5 %
Classe material isolante	ANAF
Grupo de ligação	Dyn1
Frequência [Hz]	60
X/R	8

A Figura 17 mostra um resumo das contribuições da CEMIG e da usina solar fotovoltaica para as correntes de curto-circuito nas diversas barras. O diagrama de impedâncias é mostrado ao lado para consulta.

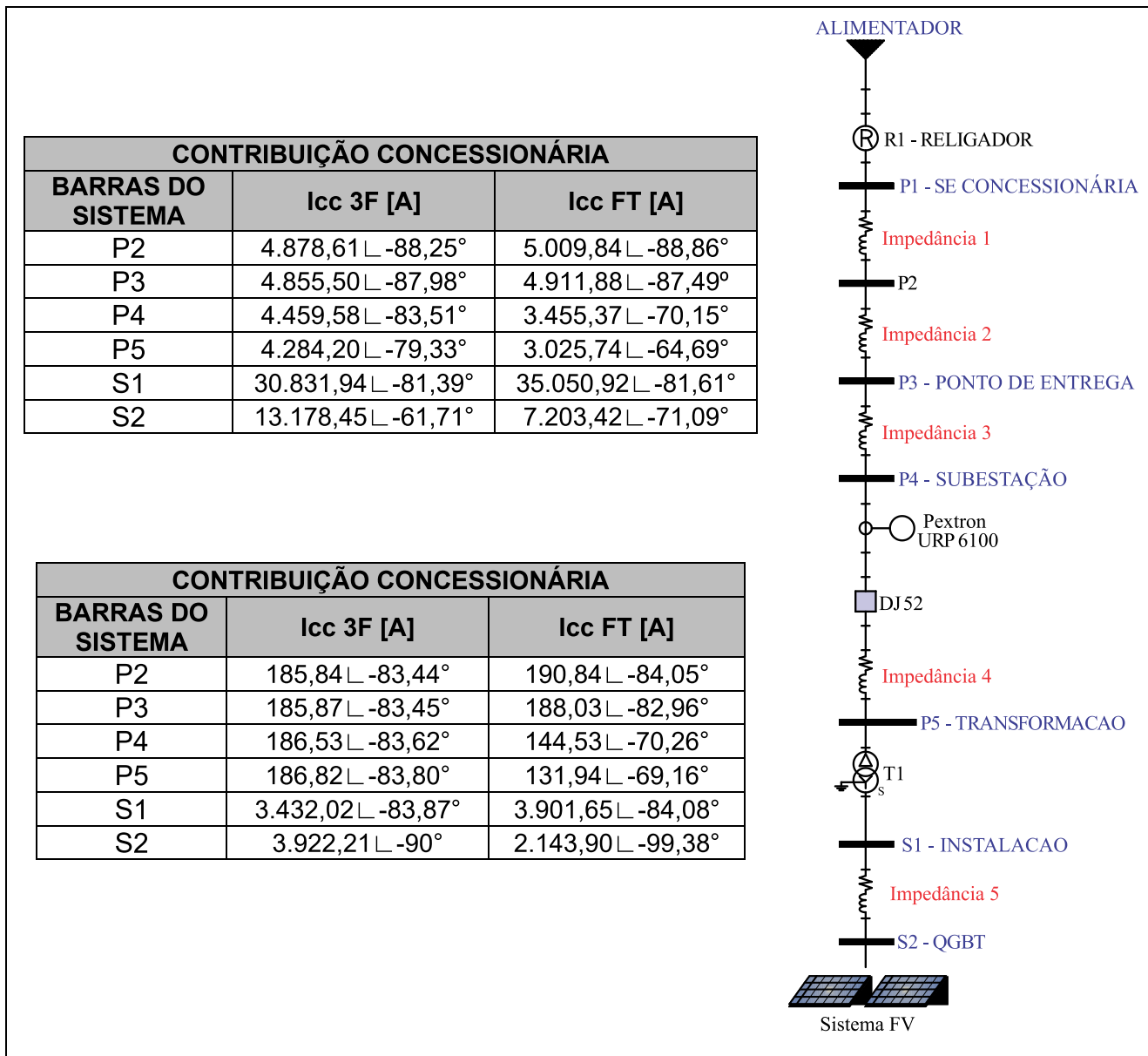


Figura 17: Resumo das contribuições da concessionária e da usina solar fotovoltaica (UFV) para as correntes de curto-circuito nas diversas barras.

Nos cálculos de curto-circuito apresentados na Figura 17, as seguintes premissas foram adotadas:

- As impedâncias de sequência foram obtidas através das Tabela 23 e Tabela 24. A impedância do transformador foi obtida conforme Tabela 25. A Tabela 26 mostra as impedâncias equivalentes de sequência positiva e zero do sistema, referenciadas à Figura 17.
- Assume-se que a corrente de curto-circuito dos geradores conectados via inversor é de 2 vezes o valor da corrente nominal do inversor;
- Testes em inversores trifásicos comerciais mostraram que a corrente pode atingir até duas vezes a corrente nominal por até 10 ciclos.

Tabela 26: Impedâncias equivalentes de sequência positiva e zero do sistema.

Referência na Figura	Comprimento [km]	Impedância eq. de sequência positiva [Ω]	Impedância eq. sequência zero [Ω]
Impedância 1	0,05	0,0982 + j0,0730	0,0080 + j0,0075
Impedância 2	0,9	1,7680 + j1,3145	0,1441 + j0,1353
Impedância 3	0,03	0,0142 + j0,0052	0,0699 + j0,0511
Impedância 4	0,27	0,1282 + j0,0472	0,6297 + j0,4602
Impedância 5	0,1	0,0144 + j0,0161	0,2844 + j0,3649

Portanto, de acordo com estas informações, os estudos de curto-circuito consideram a contribuição de corrente de uma UFV limitada em 2 pu com duração de até 10 ciclos (167 ms). Além disso, a corrente nominal da UFV para um fator de potência de 0,92 é de 114 A.

2.3.2 PARAMETRIZAÇÃO DAS FUNÇÕES DE PROTEÇÃO

A Tabela 27 apresenta as características das curvas de proteção de fase e neutro do religador para coordenação com a proteção do acessante.

Tabela 27: Ajustes de religadores para coordenação, fornecidos pela concessionária.

Ajuste de fase		Ajuste de neutro	
Pick-up	200 A	Pick-up	45 A
Curva	IEC VI (Muito inverso)	Curva	TD (Tempo definido)
Dial	0,25	Tempo	9,5 s
T. adicional	-	T. adicional	-

A Figura 17 apresenta a configuração para conexão do gerador fotovoltaico com potência nominal de 2,5 MW, instalados em consumidores atendidos através de subestação de entrada abrigada. As funções de proteção exigidas pela ND 5.31 para este acessante são:

- Função 32 (1) e (2) - Direcional de potência (atuação quando a injeção de potência ultrapassa 105% da potência nominal da UFV por 15 s; atuação quando a absorção de potência ultrapassa 105% da potência demandada da instalação por 15 s);
- Funções 67 (1) e (2), 67N (1) e (2) – Direcional de corrente de fase e neutro.

Além disso, as proteções serão parametrizadas no relé de proteção PEXTRON URP 6100, instalado em cubículo de proteção abrigado. A Tabela 28 apresenta um resumo das proteções implementadas no relé Pextron URP 6100 e suas respectivas parametrizações/ajustes conforme norma CEMIG ND.31. Conforme mostrado anteriormente, três TPs, conectados em estrela $13.800/\sqrt{3} - 115V (70:1)$ e três TCs 300:5 A são utilizados para adequar os sinais primários aos níveis requeridos pelo relé.

Tabela 28: Definição das proteções e parametrizações de acordo com a norma ND.31.

Código ANSI	Descrição	Parâmetro	Ajuste	Referência
32 (1)	Direcional de Potência (sentido CEMIG)	Potência Ativa	2,625 kW	Página ND 5.31 (170/171)
		Tempo	15 s	
32 (2)	Direcional de potência (sentido acessante)	Potência Ativa	2,415 kW	Página ND 5.31 (172/173)
		Tempo	15 s	
67 (1)	Direcional de sobrecorrente de fase (sentido CEMIG)	Pick-up (A)	120 A	Página ND 5.31 (172/173)
		Curva	EI	
		Dial	0,2 s	
		Tempo Adicional	-	
		Instantâneo	-	
		Ângulo	45°	
67 (2)	Direcional de sobrecorrente de fase (sentido acessante)	Pick-up (A)	110 A	Página ND 5.31 (172/173)
		Curva	EI	
		Dial	0,1s	
		Instantâneo	879 A	
		Tempo Adicional	-	
		Ângulo	45° (inverso)	
67N (1)	Direcional de sobrecorrente de neutro (sentido CEMIG)	Pick-up (A)	36 A	Página ND 5.31 (175)
		Curva	Tempo definido	
		Dial	-	
		Tempo Adicional	7 s	
		Instantâneo	-	
		Ângulo	110°	

67N (2)	Direcional de sobrecorrente de neutro (sentido acessante)	Pick-up (A)	33 A	Página ND 5.31 (175)
		Curva	Tempo definido	
		Dial	-	
		Tempo Adicional	1 s	
		Instantâneo	264 A	
		Ângulo	110° (inverso)	

2.3.3 ESTUDO DE SELETIVIDADE E COORDENAÇÃO

As Figuras 18 e 19 mostram os coordenogramas em papel formatado bi-log tempo \times corrente, onde se pode verificar a coordenação e seletividade da proteção dimensionada para qualquer valor de corrente. As correntes estão referidas ao primário. Além disso, os seguintes pontos de operação podem ser encontrados nos gráficos:

- Corrente nominal demandada da instalação (I_n ou I_{dem});
- Corrente nominal da UFV (I_{ufv});
- Correntes de partida do relé de fase e neutro (Pickup);
- Correntes ANSI e NANSI dos transformadores;
- Correntes de curto-circuito trifásico ($I_{cc,3f}$) e fase-terra ($I_{cc,ft}$) fornecidos pela CEMIG;
- Corrente de magnetização dos transformadores (I_{mag});
- Curva temporizada IEC muito inversa de fase, do religador;
- Curva temporizada IEC extremamente inversa de fase 67(1), sem unidade instantânea, do relé Pextron URP6100;
- Curva temporizada IEC extremamente inversa de fase 67(2), com unidade instantânea, do relé Pextron URP6100;
- Curva tempo definido de neutro 67N (1), sem unidade instantânea, do relé Pextron URP6100;
- Curva tempo definido de neutro 67N (2), com unidade instantânea, do relé Pextron URP6100.

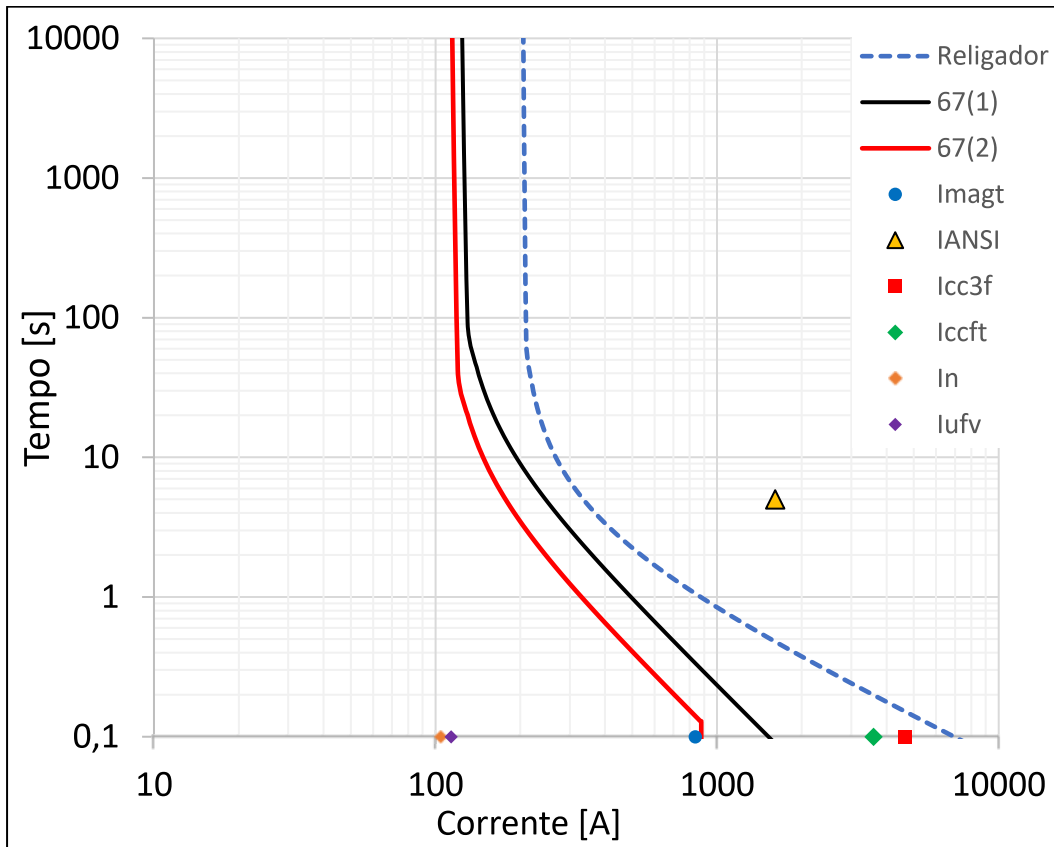


Figura 18: Coordenograma das proteções de fase.

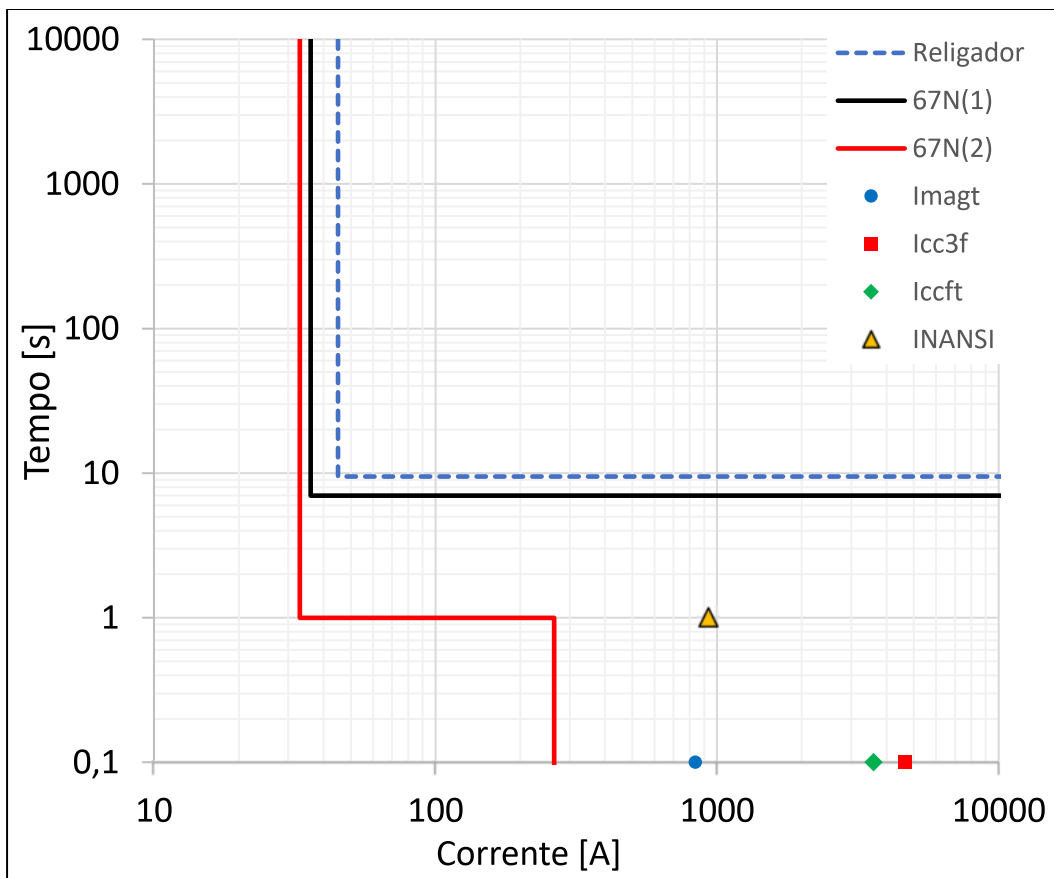


Figura 19: Coordenograma das proteções de neutro.

3- Análise de Viabilidade Econômica

Este capítulo tem como objetivo verificar a viabilidade econômica da implantação da usina fotovoltaica. A análise financeira não é única e o texto abaixo trata dos critérios adotados para classificar a viabilidade econômica do projeto, assim como as suas particularidades como suas receitas e despesas. Por fim, o estudo do fluxo de caixa mostra a taxa de retorno do investimento e o tempo que ele leva para dar retorno ao cliente.

3.1 REDUÇÃO DO CONSUMO

Conforme descrito anteriormente essa UFV destina-se a compensação do consumo de uma rede de filiais espalhada pela área de concessão da CEMIG. Sabe-se que o consumo somado de todas as unidades consumidoras ultrapassa a geração de energia prevista para a UFV, com isso faremos uma análise com base na economia obtida ao se destinar toda geração ao abatimento de parte desse consumo total.

As unidades consumidoras que receberão os créditos são enquadradas como subgrupo B3 convencional, ou seja, possuem duas tarifas (TUSD e TE) que podem ser abatidas. Já a unidade geradora terá sua demanda contratada enquadrada como subgrupo A4 Verde. A Tabela 29 mostra os valores atuais das tarifas dos respectivos subgrupos [10], somando-se os com impostos.

Tabela 29: Tarifas de energia e demanda contratada CEMIG.

Subgrupo	Modalidade	Composição	Unidade	Tarifa (c/ impostos)
B3	Convencional	TUSD+TE	kWh	R\$ 0,83
A4	Verde	TUSDc	kW	R\$ 21,06

Com base na geração de energia prevista de 6,46 GWh/ano, ao multiplicar-se pela tarifa a qual será compensada (R\$ 0,83), confere-se uma receita de R\$ 5.361.800,00 no primeiro ano. O gasto com demanda contratada, considerando um reajuste anual da conta de luz de 5%, fica em R\$ 663.390,00 no primeiro ano. Com isso obtém-se uma economia de R\$ 4.698.410 no primeiro ano de geração, somente analisando pelo aspecto das tarifas praticadas.

As unidades consumidoras que receberão os créditos para abatimento do consumo, ainda terão que pagar pelo custo de disponibilidade e pela taxa de iluminação pública [1].

Outros fatores que compõe a análise de viabilidade tais como gastos com manutenção, troca de equipamentos, taxas de atratividade e de queda na eficiência do painel serão abordados nas próximas seções.

3.2 ANÁLISE DE DESPESAS: MANUTENÇÃO, LIMPEZA, CONCESSIONÁRIA, TROCA DE EQUIPAMENTOS

Para o correto funcionamento da UFV devem ser previstas despesas com manutenção e limpeza dos módulos e vegetação, além de se considerar possíveis trocas de equipamentos após vencido o tempo de garantia. Além disso, deve-se considerar taxas de reajustes nos valores da tarifa de energia e dos valores monetários ao longo do tempo. A queda de eficiência dos módulos também deve ser considerada, a Tabela 30 mostra as taxas consideradas.

Tabela 30 – Taxas consideradas nos cálculos.

Taxas	% a.a.
Taxa de reajuste do preço da energia	5
Taxa de reajuste dos valores monetários	5
Taxa de diminuição de eficiência dos módulos	1
Taxa Mínima de Atratividade - TMA	10
Despesa com manutenção e limpeza	1

A localização privilegiada da UFV resultou na não necessidade de gastos com obras na rede da CEMIG, por estar próximo a subestação e a rede de média tensão que alimenta a cidade estar ao lado do terreno de implantação da UFV.

Apesar de estarem previstas 1% de peças sobressalentes no orçamento inicial para todos os equipamentos, está-se considerando a troca de todos os inversores findado o seu prazo de garantia, ou seja, após dez anos de uso. Para os *trackers* está-se considerando metade do gasto inicial para possíveis trocas de peças ou motores após terminado seu prazo de garantia de dez anos.

Para serviços de operação e manutenção está-se considerando 1% ao ano do valor do investimento inicial, valor este suficiente com folgas para execução dos seguintes trabalhos:

- Supervisão e manutenção preditiva;
- Despesas com internet, telefone e insumos;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção corretiva;
- Elaboração e apresentação de relatórios periódicos.

A Tabela 31 a seguir apresenta os valores considerados para os itens comentados até aqui, com foco nos investimentos, receitas e despesas num horizonte de 20 anos. Foi considerado esse período pois após 20 anos os módulos estariam com 80% da sua eficiência atual e estaria em tempo de haver outra troca dos inversores, fazendo uma análise conservadora.

Tabela 31 – Investimentos, receitas e despesas.

Ano	Investimento R\$	Produção kWh/ano	Valor B3 R\$/kWh	Receita R\$	Despesa Manutenção R\$	Despesa Demanda R\$
1	17.000.000,00	6.460.000	0,83	R\$ 5.361.800	170.000	663.390
2	0,00	6.395.400	0,92	R\$ 5.359.655	178.500	696.560
3	0,00	6.331.446	0,96	R\$ 5.566.189	187.425	731.387
4	0,00	6.268.132	1,01	R\$ 5.780.623	196.796	767.957
5	0,00	6.205.450	1,06	R\$ 6.003.255	206.636	806.355
6	0,00	6.143.396	1,11	R\$ 6.234.395	216.968	846.672
7	0,00	6.081.962	1,17	R\$ 6.474.367	227.816	889.006
8	0,00	6.021.142	1,23	R\$ 6.723.503	239.207	933.456
9	0,00	5.960.931	1,29	R\$ 6.982.150	251.167	980.129
10	0,00	5.901.321	1,35	R\$ 7.250.666	263.726	1.029.136
11	1.000.000,00	5.842.308	1,42	R\$ 7.529.425	276.912	1.080.592
12	0,00	5.783.885	1,49	R\$ 7.818.814	290.758	1.134.622
13	0,00	5.726.046	1,57	R\$ 8.119.231	305.296	1.191.353
14	0,00	5.668.786	1,64	R\$ 8.431.094	320.560	1.250.921
15	0,00	5.612.098	1,73	R\$ 8.754.834	336.588	1.313.467
16	0,00	5.555.977	1,81	R\$ 9.090.896	353.418	1.379.140
17	0,00	5.500.417	1,90	R\$ 9.439.745	371.089	1.448.097
18	0,00	5.445.413	2,00	R\$ 9.801.862	389.643	1.520.502
19	0,00	5.390.959	2,10	R\$ 10.177.745	409.125	1.596.527
20	0,00	5.337.049	2,20	R\$ 10.567.910	429.582	1.676.353

Como pode ser visto na Tabela 31, há um investimento inicial global de dezessete milhões de reais, destinado a compra do terreno, equipamentos, serviços e demais gastos inclusos na implantação. O investimento de um milhão de reais no ano 11 refere-se a troca de todos os inversores e de peças eletromecânicas dos *trackers*.

Com base na produção de energia estimada e o valor da tarifa do subgrupo B3, onde será abatido os créditos, tem-se a receita anual, considerando um decréscimo de 1% a cada ano na geração de energia e um reajuste de 5% anual da tarifa de energia.

Conforme descrito anteriormente o gasto com manutenção foi considerado em 1% do valor global da UFV, sendo reajustado a 5% ao ano estes gastos. A despesa com demanda é baseada na demanda contratada de 2.500 kW, tomando como base o valor de tarifa apresentado na Tabela 29.

3.3 FLUXO DE CAIXA

Em Finanças, o fluxo de caixa refere-se ao fluxo do dinheiro no caixa do negócio, ou seja, ao montante de caixa recolhido e gasto por um empreendimento durante um período definido [11]. Para este projeto está previsto o seguinte fluxo de caixa, presente na Tabela 32, num horizonte de 20 anos.

Tabela 32 – Fluxo de caixa em 20 anos.

Ano	Fluxo de Caixa	Saldo Acumulado	Fluxo Descontado	Saldo Descontado
1	-R\$ 12.471.590	-R\$ 12.471.590	-R\$ 12.471.590	-R\$ 12.471.590
2	R\$ 4.484.596	-R\$ 7.986.994	R\$ 3.706.278	-R\$ 8.765.312
3	R\$ 4.647.377	-R\$ 3.339.617	R\$ 3.491.643	-R\$ 5.273.670
4	R\$ 4.815.869	R\$ 1.476.252	R\$ 3.289.304	-R\$ 1.984.366
5	R\$ 4.990.264	R\$ 6.466.516	R\$ 3.098.561	R\$ 1.114.195
6	R\$ 5.170.755	R\$ 11.637.271	R\$ 2.918.756	R\$ 4.032.952
7	R\$ 5.357.544	R\$ 16.994.815	R\$ 2.749.267	R\$ 6.782.219
8	R\$ 5.550.839	R\$ 22.545.655	R\$ 2.589.508	R\$ 9.371.727
9	R\$ 5.750.853	R\$ 28.296.508	R\$ 2.438.923	R\$ 11.810.650
10	R\$ 5.957.805	R\$ 34.254.312	R\$ 2.296.992	R\$ 14.107.641
11	R\$ 5.171.921	R\$ 39.426.233	R\$ 1.812.727	R\$ 15.920.368
12	R\$ 6.393.434	R\$ 45.819.667	R\$ 2.037.145	R\$ 17.957.513
13	R\$ 6.622.583	R\$ 52.442.250	R\$ 1.918.326	R\$ 19.875.839
14	R\$ 6.859.613	R\$ 59.301.863	R\$ 1.806.351	R\$ 21.682.190
15	R\$ 7.104.778	R\$ 66.406.642	R\$ 1.700.827	R\$ 23.383.017
16	R\$ 7.358.338	R\$ 73.764.980	R\$ 1.601.389	R\$ 24.984.406
17	R\$ 7.620.559	R\$ 81.385.539	R\$ 1.507.687	R\$ 26.492.093
18	R\$ 7.891.717	R\$ 89.277.256	R\$ 1.419.395	R\$ 27.911.488
19	R\$ 8.172.092	R\$ 97.449.348	R\$ 1.336.202	R\$ 29.247.690
20	R\$ 8.461.975	R\$ 105.911.324	R\$ 1.257.819	R\$ 30.505.509

Facilmente pode ser visto na Tabela 32, que a economia gerada pelo sistema acumulada ao longo dos anos, faz com que todo o aporte depreendido inicialmente, seja rapidamente pago e comece a gerar lucros. Através da Figura 20 pode-se perceber visualmente o momento em que o investimento inicial se paga e o sistema começa a gerar lucro, entre o terceiro e quarto ano.

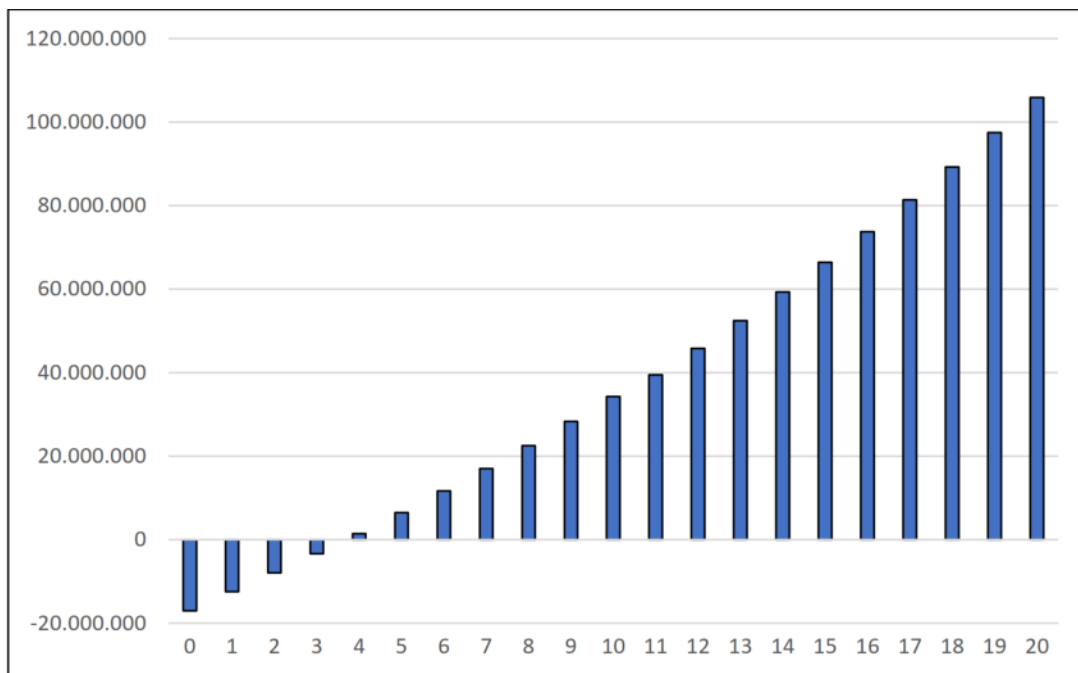


Figura 20 – Saldo acumulado e tempo de retorno do investimento.

3.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE

Para análise da viabilidade deste projeto foram avaliados os seguintes indicadores:

- **VPL** – Valor Presente Líquido: considera o valor do investimento no tempo. A análise por meio do VPL tem como finalidade medir o valor presente dos fluxos de caixa futuros gerados pela atividade;
- **TIR** - Taxa Interna de Retorno: é o indicador relacionado ao rendimento da atividade em um determinado período. O projeto é viável se a TIR for maior que a TMA escolhida (10%). Quanto maior a TIR, maior a viabilidade de realização do projeto em análise;
- **Payback simples**: indica o tempo necessário para que a atividade retorne o valor investido. Esse é um dos principais indicadores utilizados pelos investidores, pois quanto menor o tempo de retorno do investimento, menores serão os riscos e melhor será a liquidez do investimento;
- **Payback descontado**: é um indicador utilizado para avaliar o tempo de retorno, bem como os riscos e a viabilidade de um investimento. Difere-se do *payback* simples por descontar o custo de capital nos fluxos de caixa, ou seja, os valores das entradas e saídas são baseados no tempo presente;
- **LCOE** - Custo Nivelado de Energia: O LCOE é definido como a divisão dos custos totais do projeto, incluindo não somente o capital investido (Capex) mas também os custos operacionais (Opex), pela energia gerada ao longo de toda a operação da usina.

Tabela 33 – Resultados da viabilidade econômica

Indicadores	Resultados
VPL	R\$ 59.052.595
TIR	39,34%
Payback Simples	3,70 anos
Payback Descontado	4,65 anos
LCOE (R\$/kWh)	R\$ 0,39

A Tabela 33 apresenta os resultados obtidos pelos indicadores analisados e conclui-se que o projeto é extremamente viável, pois obteve-se:

- VPL do período analisado aproximadamente três vezes e meia maior que o investimento inicial;
- TIR muito superior a TMA definida, aproximadamente quatro vezes;
- *Payback* simples e descontado com um retorno muito rápido;
- LCOE com o preço (R\$/kWh) em menos da metade das tarifas de energia elétrica praticadas no mercado.

4- Projeto Elétrico

Este capítulo tem por objetivo demonstrar de forma gráfica e representativa os detalhes da UFV de forma macro, como sua localização e disposição dos componentes, as vistas da subestação e os diagramas unifilares e multifilares para um entendimento global do projeto proposto.

4.1 PLANTAS DE LOCALIZAÇÃO E SITUAÇÃO

A planta de localização também conhecida como locação ou implantação, representa uma vista superior do terreno com o objetivo de mostrar a localização da UFV. Essa planta deve fornecer informações sobre acessos, ruas adjacentes e paralelas, pontos de referência, topografia, coordenadas e quaisquer detalhes úteis a identificação do local. A planta de localização referente a este projeto em estudo pode ser mais bem visualizada no Anexo 1.

A planta de situação, representa uma vista superior do terreno com o objetivo de mostrar como ocorre a ocupação do projeto no terreno. Essa planta deve fornecer informações mais detalhadas sobre cercas, equipamentos, disposição dos componentes, ponto de entrega, divisas e quaisquer detalhes que auxiliem na compreensão do proposto. A planta de situação referente a este projeto em estudo pode ser mais bem visualizada no Anexo 1.

4.2 CORTES DA SUBESTAÇÃO

Conforme descrito anteriormente optou-se por utilizar o modelo de subestação com cabine blindada homologada na CEMIG. Na Figura 21 temos uma vista superior da cabine, que segundo o fabricante possui mais caixas de medição que o necessário visando uma flexibilidade do uso. Já na Figura 22 temos uma visão global da parte interna dos cubículos, mostrando a locação de cada componente que compõe a cabine primária.

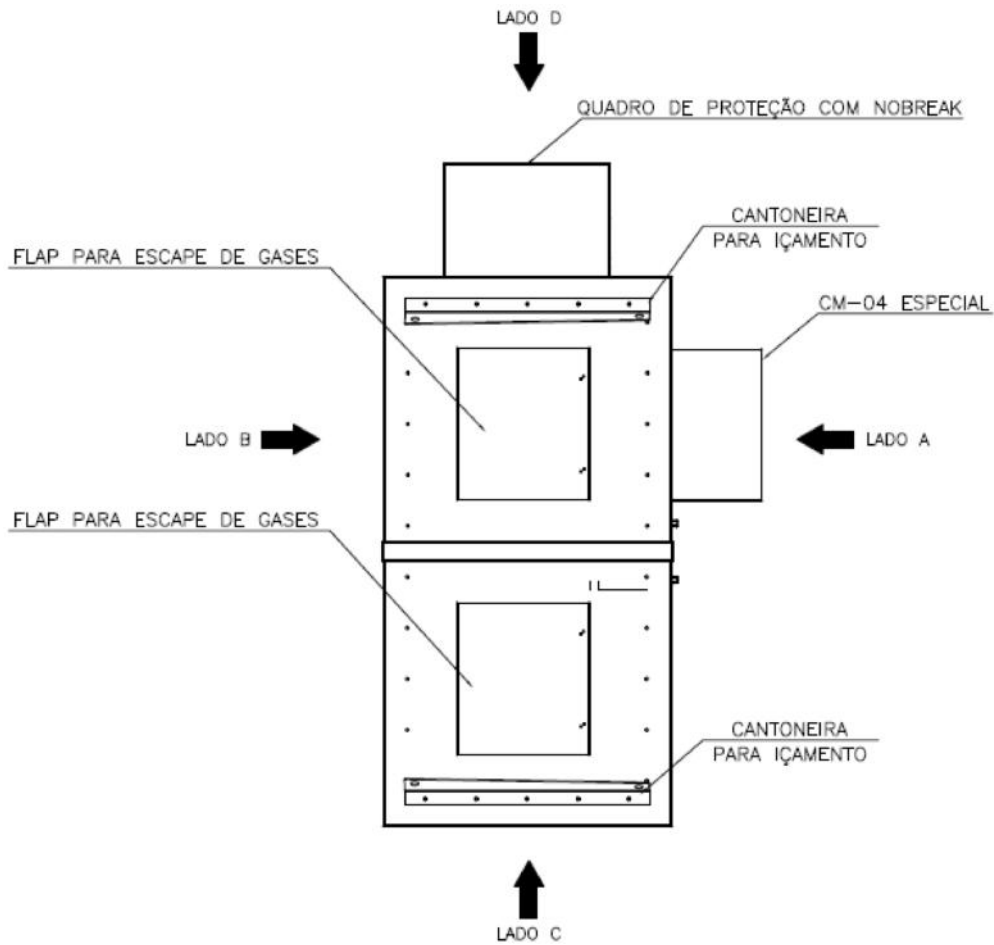


Figura 21 – Vista superior da cabine primária blindada.

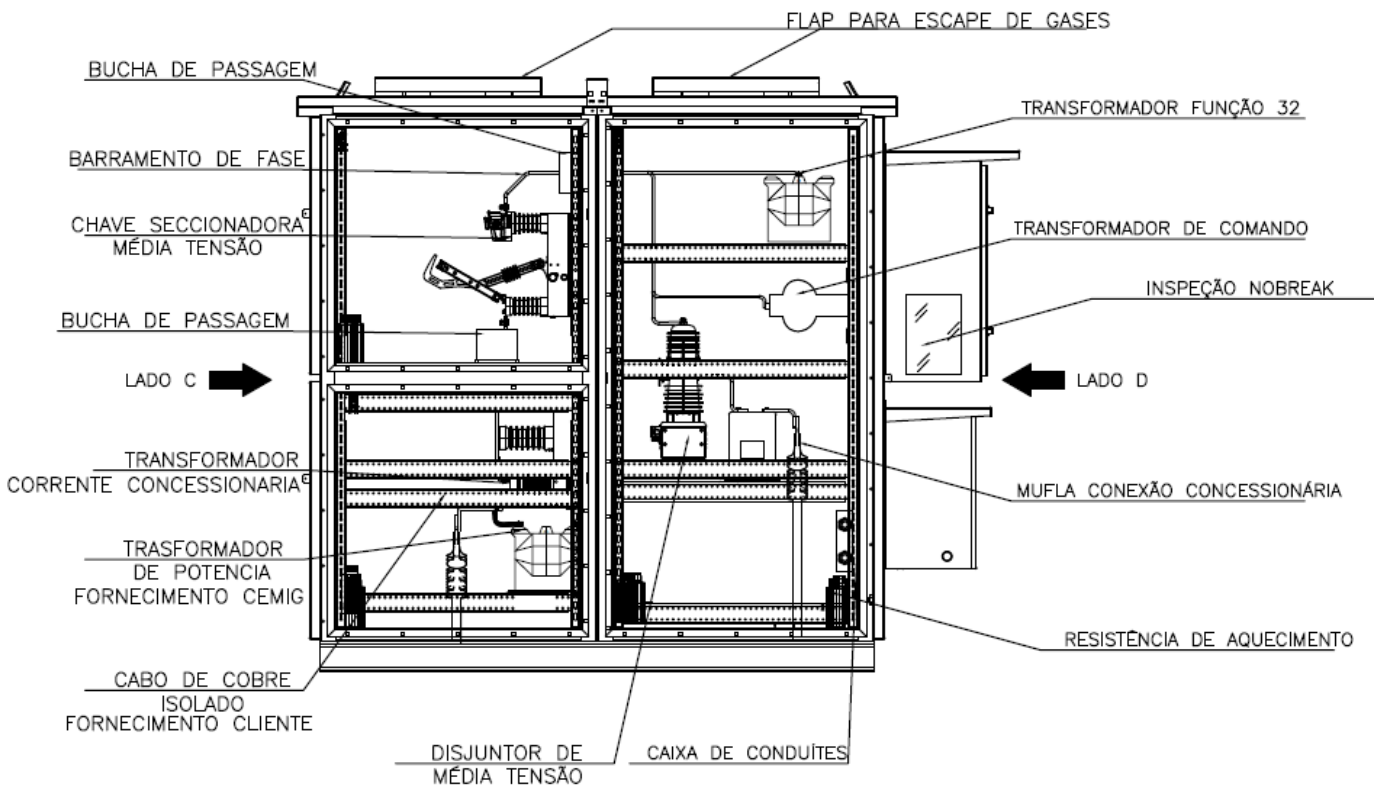


Figura 22 – Vista interna cabine – Observador no “Lado A”.

O ramal de entrada proveniente do poste dentro da propriedade chega para a cabine de forma subterrânea, dentro de eletroduto em aço galvanizado 4" envelopado em concreto e para que haja a entrada na subestação blindada utiliza-se muflas terminais de conexão mesma classe de tensão, do tipo contrátil, que garantem o isolamento. O primeiro cubículo da subestação é o de medição, que pode ser visto na Figura 23, que é de responsabilidade da CEMIG. A entrada é protegida contra descargas atmosféricas, através de para-raios em cada uma das fases. Este cubículo é lacrado, e o visor que mostra a medição realizada pela CEMIG está no cubículo de proteção.

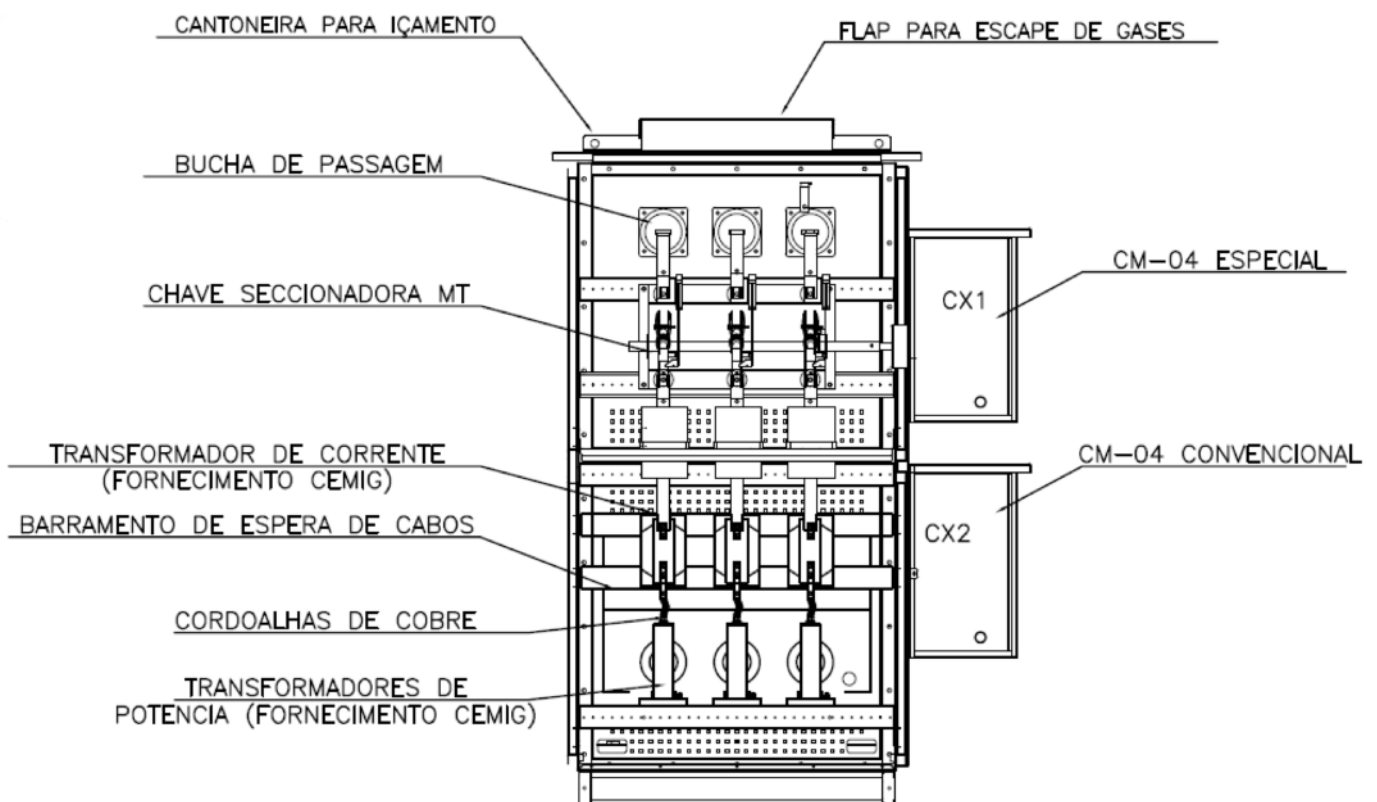


Figura 23 – Vista interna cabine – Observador no “Lado C”.

O cubículo de proteção, presente na Figura 24, é composto por um *nobreak* que alimenta o relé de proteção, ligado ao barramento de 13,8 kV através de um transformador de potencial. O relé de proteção monitora os barramentos fase, adquirindo os sinais de corrente e tensão através dos transformadores de corrente e potencial e envia o *trip* ao disjuntor MT à vácuo, que para uma dada corrente de pick-up, abre o circuito da planta de geração em conjunto com a chave seccionadora.

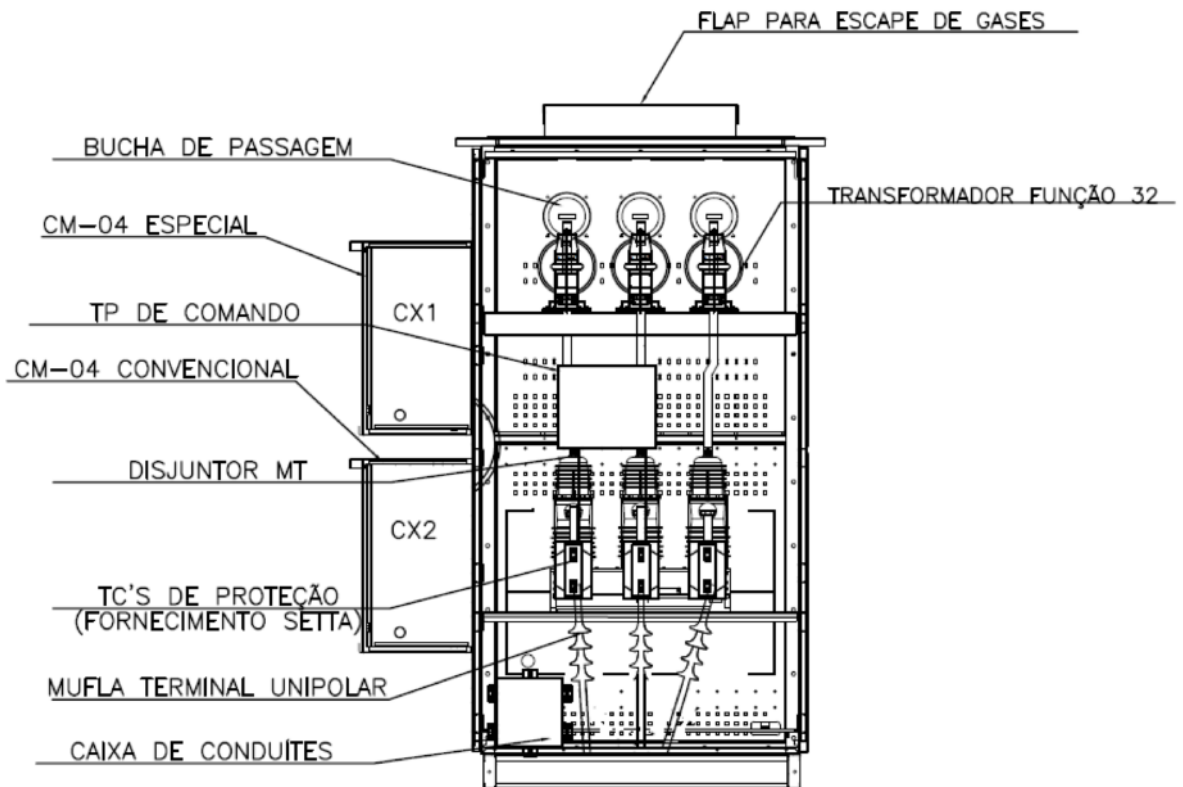


Figura 24 – Vista interna cabine – Observador no “Lado D”.

Os barramentos fase após o disjuntor MT, são conectados aos cabos provenientes da planta de geração através de muflas terminais de conexão tipo contrátil. Os cabos MT advindos da UFV também chegam para a cabine de modo subterrâneo.

4.3 PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA UNIFILAR

Com o objetivo de simplificar e generalizar o entendimento dos projetos elétricos fotovoltaicos, símbolos gráficos são utilizados para representar os diversos componentes destes sistemas. Toda planta elétrica deve conter: margem, conforme norma; etiqueta com todas as identificações do proprietário e informações básicas; legenda com a simbologia e especificação técnica; esquema unifilar ou multifilar, quando aplicável; detalhes de montagem, quando necessário; e especificação dos componentes elétricos.

O Anexo 2 apresenta o digrama unifilar completo da UFV, desde os módulos fotovoltaicos até a conexão com a rede da CEMIG em média tensão, contemplando todas as fases de geração, conversão CC-CA, transformação, proteção, medição entre outros aspectos pertinentes. Os principais componentes do sistema possuem as seguintes características elétricas:

- ✓ Módulos fotovoltaicos 545 Wp dispostos em 200 *strings* de 30 módulos FV cada, totalizando 3,27 MWp de potência CC instalada.
- ✓ Condutores CC polos positivo e negativo de cobre (uso em UFV) seção 6 mm², isolamento XLPE 1,8 kV (conecta o subarranjo FV à entrada CC do inversor) e condutor de equipotencialização de 16 mm² isolamento PVC 0,6 kV;
- ✓ Inversor FV 250 kW CA, 800V CA, e faixa de operação CC 600-1.500 V, 12 MPPTs, DPS CC interno, seccionadoras das MPPTs embutidas, utilizando dez unidades totalizando 2.5 MW de potência CA instalada;
- ✓ Condutores CA BT fase unipolares de alumínio seção 240 mm², isolamento XLPE 1 kV, diretamente enterrados (conecta a saída CA dos inversores ao QGBT) e condutor de proteção de cobre 120 mm² isolamento PVC 0,6 kV;
- ✓ Disjuntores de 225 A, 800 V, 20 kA, Curva C (proteção CA de cada inversor);
- ✓ Disjuntor de 2.250 A, 800 V, 60 kA, Curva C (proteção geral QGBT);
- ✓ Dispositivo de proteção contra surtos de 680 V (fase-terra), classe 2, corrente nominal (corrente projetada, na qual é capaz de desviar para o aterramento de proteção) de 20 kA;
- ✓ Barramento trifásico 4 x 1/2", 2.625 A, 800 V (conexão disjuntores - disjuntor geral - transformador);
- ✓ Transformador de acoplamento, trifásico, à seco e ventilação forçada, 2,5 MVA, 13.8 kV / 0.8 kV, K=4, IP54, Dyn1;
- ✓ Transformador de aterramento, trifásico, isolado à seco, 300 kVA, 13,8 kV, ligação zigue-zague, ND 5.31 CEMIG (proteção contra faltas à terra);
- ✓ Condutores CA MT fase unipolares de alumínio seção 50 mm², isolamento XLPE 15 kV, diretamente enterrados (conecta o lado de 13,8 kV do transformador a cabine primária);
- ✓ Cabine de entrada homologada na CEMIG, blindada, IP54, relé Pextron URP6100, classe 15 kV, 800 A, 60Hz, 2.5 MW e medidor de energia bidirecional;
- ✓ Condutores CA MT fase e reserva unipolares de cobre seção 50 mm², isolamento XLPE 15 kV, em eletroduto de aço galvanizado 4" envelopados em concreto no solo (ramal de entrada);
- ✓ Poste concreto 11 m/600 dan com estrutura de fixação, muflas terminais de 15 kV, chave seccionadora 400 A/15 kV, para-raios 12 kV/10 kA;
- ✓ Condutores CA MT fase unipolares de alumínio seção 50 mm², isolamento XLPE 15 kV, em rede aérea com cabo de aço para ancoragem (ramal de ligação);

4.4 PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA MULTIFILAR

O Anexo 3 apresenta o diagrama multifilar da UC, com enfoque nas ligações elétricas entre os componentes da usina solar fotovoltaica enumerados na seção anterior. Este diagrama traduz fielmente as conexões efetuadas no ato da instalação física do sistema.

4.5 MEMORIAL DESCRITIVO

O memorial descritivo é um documento elaborado antes de efetuar a instalação da usina solar fotovoltaica, na qual as informações do projeto devem estar descritas de forma detalhada e aprofundada. O objetivo, portanto, consiste em descrever os componentes presentes no sistema de microgeração ou minigeração de energia solar fotovoltaica presentes em uma unidade geradora, como:

- ✓ Dados do projetista, devidamente registrado no Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CREA), e da empresa responsável pelo projeto (se aplicável);

- ✓ Dados do titular da unidade consumidora e localização da UC (coordenadas geográficas, número da instalação, classe e característica de atendimento). O tipo de atividade desenvolvido na UC também é exigido, isto é, se é uma residência, escritório, escola, comércio, zona rural ou industrial, granja ou outra atividade econômica. O histórico ou média anual de consumo da UC pode ser anexado, em kWh/mês;

- ✓ Se o cliente enquadrar no fornecimento de BT, uma foto nítida do disjuntor do padrão de entrada deve ser anexada ao documento (deve permitir a identificação da corrente nominal do disjuntor);

- ✓ Se o cliente enquadrar no fornecimento de MT, a demanda contratada e forma de atendimento devem ser anexadas;

- ✓ Descrição detalhada técnica dos módulos fotovoltaicos, inversores, estruturas de fixação, dispositivo de proteção, aterramento e outros componentes pertinentes;

- ✓ Previsão da produção energética da usina solar fotovoltaica anual;

- ✓ Anexos: folha de dados dos módulos fotovoltaicos, inversores, certificação de conformidade do inversor, formulário de solicitação de acesso, projeto elétrico e ART.

O memorial descritivo completo da UFV objeto deste estudo pode ser visualizado na íntegra no Anexo 4.

5- Referências Bibliográficas

- [1] CEMIG. Cartilha de Faturamento para Geração Distribuída (GD) - Cemig [Online]. Available: https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2021/04/cartilha_de_faturamento_para_geracao_distribuida_cemig.pdf
- [2] CEMIG. ND 5.31 Requisitos Para Conexão de Acessantes Produtores de Energia Elétrica ao Sistema de Distribuição da Cemig D - Média Tensão - Cemig [Online]. Available: <https://novoportal.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/07/ND.5.31.pdf>
- [3] Solargis, [Online]. Available: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/brazil>. [Acesso em 31 07 2022]
- [4] Canal Solar, “O que é a lista Tier 1 e qual sua relação com a qualidade do módulo?,” 2019. [Online]. Available: <https://canalsolar.com.br/tier-1-qualidade-do-modulo/> [Acesso em 31 07 2022]
- [5] Canal Solar, “O que é o LCOE e como utilizar nos projetos fotovoltaicos?,” 2020. [Online]. Available: <https://canalsolar.com.br/o-que-e-o-lcoe-e-como-utilizar-nos-projetos-fotovoltaicos/> [Acesso em 31 07 2022]
- [6] Solaredge. [Online]. Available: <https://www.solaredge.com/br/solaredge-blog/por-que-o-disjuntor-do-inversor-cai> [Acesso em 31 07 2022]
- [7] Climatempo. [Online]. Available: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/2088/piumhi-mg> [Acesso em 31 07 2022]
- [8] Universo Elétrico. [Online]. Available: <http://www.universoeletrico.com.br/catalogo/pdf/tabelas.pdf> [Acesso em 31 07 2022]
- [9] Canal Solar. [Online]. Available: <https://canalsolar.com.br/sistema-de-aterramento-de-uma-usina-solar-fotovoltaica/> [Acesso em 31 07 2022]
- [10] Aneel. [Online]. Available: <https://antigo.aneel.gov.br/resultado-dos-processos-tarifarios-de-distribuicao> [Acesso em 31 07 2022]
- [11] Sebrae. [Online]. Available: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/fluxo-de-caixa-o-que-e-e-como-implantar,b29e438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD> [Acesso em 31 07 2022]

6- Anexos e Apêndices

Ordem de apresentação dos arquivos anexados ao final do texto:

1. PLANTAS DE LOCALIZAÇÃO E SITUAÇÃO;
2. PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA UNIFILAR;
3. PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA MULTIFILAR;
4. MEMORIAL DESCRITIVO;
5. FOLHA DE DADOS: MÓDULO FOTOVOLTAICO;
6. FOLHA DE DADOS: INVERSOR;
7. FOLHA DE DADOS: *TRACKER*.

MEMORIAL DESCRITIVO

Minigeração Distribuída

USINA FOTOVOLTAICA PIUMHI 2,5 MW

**Responsável Técnico:
Hugo Aparecido Alves Barros
CREA: 1412098750**

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	2
2.	OBJETIVO.....	2
3.	NORMAS DE REFERÊNCIA	3
4.	IDENTIFICAÇÃO	4
5.	LOCALIZAÇÃO	5
6.	DESCRIÇÃO GERAL	6
6.1.	USINA.....	6
6.2.	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	7
6.3.	INVERSORES	7
6.4.	RASTREADOR	8
6.5.	TRANSFORMAÇÃO	8
6.6.	QGBT	9
6.7.	CABEAMENTO CC.....	9
6.8.	CABEAMENTO CA	10
6.9.	ELETRODUTOS E CALHAS.....	10
6.10.	CONEXÃO	11
6.11.	PROTEÇÃO	11
6.12.	RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA.....	12
6.13.	ATERRAMENTO	13
7.	ESTÁGIO ATUAL	14
8.	CRONOGRAMA	14
9.	RESPONSABILIDADE TÉCNICA	14

1. INTRODUÇÃO

O presente memorial descritivo tem como objetivo apresentar informações técnicas sobre a Usina de Geração Fotovoltaica Piumhi, focando pontos específicos, necessários para apreciação e o entendimento adequado do empreendimento como parte integrante do processo de cadastramento e habilitação técnica junto a distribuidora de energia CEMIG.

A usina terá uma potência instalada de 2,5 MW, composta por 10 inversores de 250 kW cada e 6.000 painéis de 545 W cada, e irá ocupar uma área de 60.000 m².

Tabela 1. Características da UFV

USINA FOTOVOLTAICA					
UFV	Nº de Módulos	Pot. CC (kWp)	Nº de Inversores	Pot. Instalada(MW)	FDI
Piumhi	6.000	3,27	10	2,50	1,31

2. OBJETIVO

Este documento tem como objetivo apresentar uma descrição da solução construtiva adotada para implantação de uma Usina Solar Fotovoltaica 2,5 MW de potência nominal conectada à rede sobre estrutura com rastreamento solar a um eixo horizontal em terreno.

A Usina, por ser de potência superior a 75 kW e inferior a 5 MW se enquadrará dentro da Minigeração Distribuída conforme previsto na Resolução 687/2015 e revisões subsequentes.

3. NORMAS DE REFERÊNCIA

- Resolução ANEEL 414 - Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada;
- Resolução ANEEL 482 - Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências;
- Resolução ANEEL 687 - Altera a resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os módulos 1 e 3 dos procedimentos de distribuição – PRODIST;
- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST - módulo 3 e módulo 8;
- NTC903100 - Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária de Distribuição;
- NTC905200 – Acesso de Micro e Minigeração distribuída ao sistema CEMIG (com compensação de energia);
- ABNT NBR 5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão;
- ABNT NBR 14039 - Instalações Elétricas de Média Tensão
- ABNT NBR 16612 - Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores — Requisitos de desempenho;
- ABNT NBR 16690 Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto;
- ABNT NBR 16149 Sistemas Fotovoltaicos (FV) - Características de interface de conexão com a rede elétrica de distribuição;
- ABNT NBR 16274 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (FV) - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho;
- NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade;
- NR 18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção;
- NR 26 – Sinalização de Segurança.

4. IDENTIFICAÇÃO

A usina fotovoltaica será destinada a geração distribuída, enquadrada como autoconsumo remoto. Os dados da Sociedade de Propósito Específico (SPE) da usina estão listados abaixo.

Tabela 2: Identificação

Proprietário	
Tipo de GD:	Minigeração
SPE:	*
CNPJ ou CPF:	*
Endereço do proprietário:	*
Bairro/Distrito:	*
Município e Unidade da Federação:	*
Demanda a ser Contratada:	2.500 kW
Tipo de geração:	Solar Fotovoltaica

*Dados confidenciais

A usina não possui Unidade Consumidora (UC) cadastrada, portanto, será necessário realizar o cadastro do cliente junto a distribuidora solicitando uma nova ligação em Grupo A com demanda contratada de 2.500 kW.

Tabela 3. Identificação UC

Dados da UC:	
Número do Cliente:	Novo cliente
Número da Instalação:	Nova unidade consumidora
Titular da UC:	*
Classe:	A4 - Geração
CPF/CNPJ:	*
Rua/Av (Local Nova instalação), n.º.:	*
Complemento:	-
Bairro:	*
CEP:	*
Município e Unidade da Federação:	Piumhi, Minas Gerais

* Dados confidenciais

5. LOCALIZAÇÃO

A usina fotovoltaica estará situada conforme informado abaixo:



Figura 1 - Mapa de localização

Tabela 4: Local do Empreendimento

Caracterização do Local do Empreendimento:	
Endereço:	*
Município e Unidade da Federação:	Piumhi - MG
Coordenadas geográficas:	*
Altitude (m):	790 metros

* Dados confidenciais

6. DESCRIÇÃO GERAL

6.1. USINA FOTOVOLTAICA

Na Tabela abaixo são apresentadas as principais características da UFV:

Tabela 5: Dados de Instalação da UFV

Instalação:	
Tipo de Instalação	Tracker 1 eixo - NS
Orientação / Inclinação	Rastreamento 110° (-55° a +55°)
Potência módulo (Wp)	545
Tecnologia	Silício monocristalino
Quantidade de inversores (unid.)	10 x 250 kW
Quantidade módulos (unid.)	6.000
Potência nominal (MW)	2,50
Total potência pico (MWp)	3,27
Fator Dimensionamento	1,31

A descrição da configuração da usina solar é feita a partir da configuração das strings, passando pelos inversores, QGBT, transformador elevador instalado ao tempo e por fim subestação blindada. Assim, a usina é formada por:

- Sucessão de strings que se conectam aos inversores por cabos fotovoltaicos;
- Grupo de inversores que se conectam ao QGBT por cabos CA de BT;
- QGBT que se conecta ao transformador por barramentos CA BT;
- Transformador com isolamento a SECO para elevação da tensão de saída dos inversores, de 800 V trifásicos, para a tensão de conexão, de 13,8kV;
- Subestação blindada que é conectada em ambos os lados por cabos CA MT, com isolamento adequada.

6.2. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Os módulos fotovoltaicos utilizados serão do fabricante *Risen Solar Technology*, modelo bifacial RSM110-8-545BMDG, com potência de 545 Wp.

Tabela 6. Painéis fotovoltaicos

Dados Módulos Fotovoltaicos	
Potência do Módulo Fotovoltaico	545 W
Corrente máxima potência (Imp)	17,17 A
Tensão de operação máxima potência (Vmp)	31,76 Vcc
Tensão de circuito aberto (Voc)	38,10 Vcc
Corrente de curto-circuito (Isc)	18,18 A
Fabricante	Risen Solar Technology
Certificados	IEC 61215, IEC 61730 e IEC 61701

6.3. INVERSORES

Os inversores utilizados serão do fabricante *Sungrow Power Supply*, modelo SG250HX, com potência de 250 kW.

Tabela 7. Inversores

Dados do Inversor	
Potência Nominal do Inversor (kW)	250 kW
Máxima tensão de entrada	1500 V
Faixa de tensão de operação MPP	600 V ~ 1500 V
Números de MPPT	12
Tensão de saída	800 Vac
Corrente máxima de saída	180,5 A
Máxima Eficiência	99%
Eficiência Europeia	98,8%
Fabricante	Sungrow Power Supply

Na usina serão utilizados 10 inversores, totalizando uma potência instalada de 2,5 MW. Cada inversor é composto por 12 MPPTs e possui entrada para 24 strings.

Como o inversor utilizado já possui chave seccionadora CC, proteção de sobretensão e sobrecorrente para todas as entradas das strings, não será necessário a utilização de string box com proteções adicionais, possibilitando a conexão direta dos cabos positivos e negativos das strings nos seus respectivos conectores de entrada no inversor.

6.4. RASTREADOR

O rastreador utilizado será do fabricante STINorland, modelo STI-H250™ 2Vx60, composto por uma mesa. Cada mesa será composta por 2 x 60 módulos FV, todos em posição retrato.

Tabela 8. Características do Rastreador

Dados do Inversor	
Tipo	1 eixo horizontal – Norte/Sul
Configuração básica	2 x 60, posição retrato em 1 linha
Variação da inclinação	Até 110° (+55°/ -55°)
Área do Rastreador	Aprox. 250 m ²
Motor	Acionamento DC, tensão 24VDC, potência 100 W

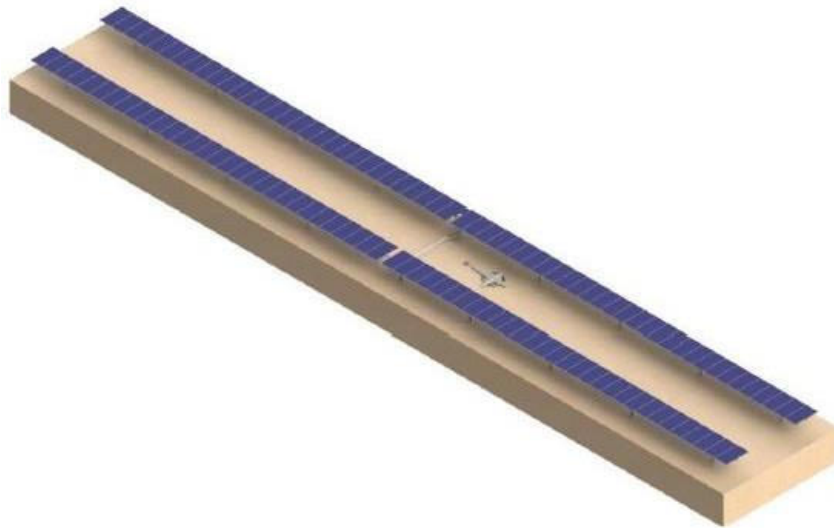


Figura 2. Visão geral do tracker.

A usina solar terá um conjunto de 50 rastreadores com 120 módulos FV. A supervisão do rastreamento será feita com utilização de cabo de fibra óptica.

6.5. TRANSFORMAÇÃO

A Estação de Transformação será ao tempo e será a responsável pela elevação da tensão de saída dos inversores de 800 V para a tensão do ponto de conexão de 13,8 kV. A estação de transformação estará localizada no campo de geração e será formada por um transformador trifásico de 2.500 kVA arrefecido a seco com impedância de 6,5%.

6.6. QGBT

O painel de Baixa Tensão será construído ao tempo. A montagem do painel deve ser em acordo com a norma NBR IEC 60439-1 e com as normas relativas aos equipamentos instalados. O painel deverá ser autossustentado. Deverá apresentar travamento contra abertura de porta e abertura de chave em carga.

O painel deverá suportar efeitos decorrentes de correntes de abertura/fechamento e condução até os níveis máximos de curto-circuito especificados. Outros requisitos elétricos a serem cumpridos:

- Grau de proteção mínimo: IP54
- Ventilação: Ar natural
- Tensão nominal: 800 V
- Frequência Nominal: 60 Hz
- Corrente Nominal: 2.250 A

6.7. CABEAMENTO CC

Todo o cabeamento em corrente contínua será realizado com cabo solar com proteção UV em cobre flexível com cobertura XLPE e isolamento HEPR mínimo de 1,5 kV, com secção unipolar transversal de no mínimo 6 mm². Os cabos serão resistentes à temperaturas de 90 °C.

No campo gerador, os cabos fotovoltaicos serão instalados em locais apropriados, capazes de suportar os esforços mecânicos permanentes e variáveis, como o peso dos cabos e a ação de intempéries. Deverá ser garantido que o local escolhido não acumule água e deverá ser evitado que os cabos fiquem frouxos ou tensionados. Em nenhum dos casos os cabos poderão sofrer estrangulamentos.

Os conectores dos cabos apresentarão grau de proteção mínimo IP-66, serão compatíveis com os conectores dos módulos e inversores e serão resistentes a temperatura de no mínimo 90 °C e raios UV.

6.8. CABEAMENTO CA

Os cabos no lado CA, utilizados para a conexão desde o inversor até o QGBT serão de alumínio e deverão atender a norma NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Os condutores serão dimensionados respeitando os limites máximos admissíveis para queda de tensão, máxima corrente admissível e perda energética total nos condutores. Para o dimensionamento dos mesmos, será admitida uma queda de tensão máxima de 2%.

Na Usina, os cabos de interconexão entre os inversores e o QGBT, transcorrerão diretamente enterrado e os parâmetros utilizados para o dimensionamento dos condutores dos inversores serão:

- Tensão: 800V;
- Potência: 250 kW;
- Fator de correção temperatura;
- Fator de correção agrupamento;

6.9. ELETRODUTOS E CALHAS

Todos os cabos deverão ser posicionados adequadamente em eletrodutos ou bandejas nas descidas e subidas, a fim de se evitar balanços, tensões mecânicas e estrangulamentos. Sob hipótese nenhuma serão instaladas curvas com deflexão superior à 90°.

Os eletrodutos instalados expostos a intempéries deverão ser produzidos em galvanização à fogo ou alumínio. Os eletrodutos corrugados enterrados serão dimensionados de acordo com norma NBR 5410, onde a taxa máxima de ocupação não deverá exceder 40% de sua área de secção para a passagem de três ou mais condutores.

No lado CA, o eletroduto estará, sempre que possível, fora do alcance de pessoas e animais, sobre parede ou enterrado. Todo eletroduto metálico deverá estar conectado à rede de equipotencialização da instalação.

6.10. CONEXÃO

Por se tratar de Minigeração Distribuída a usina solar deve ser conectada em média tensão, neste caso 13,5 kV, em subestação com disjuntor em média tensão. Para tal conexão a usina contará com uma cabine blindada homologada na CEMIG. O ponto de entrega estará localizado em linha de média tensão, a ser construída, à margem do terreno, próximo à subestação.

6.11. PROTEÇÃO

Todo o circuito CA de baixa tensão apresentará proteção por dispositivo termomagnético, com capacidade compatível com os níveis de curto-circuito do subsistema fotovoltaico e curva de disparo compatível com o manual do inversor atendendo os requisitos dispostos nas normas IEC 60947-2 e NBR 5410.

Tabela 9. Resumo de proteções segundo PRODIST 3.7

Proteção	
Equipamento	Potência Instalada maior que 500kW e menor ou igual a 5MW
Elemento de desconexão	Sim
Elemento de Interrupção	Sim
Transformador de acoplamento	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim
Proteção de sub e sobrefrequência	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Sim
sobrecorrente direcional	Sim
sobrecorrente com restrição de tensão	Sim
Relé de sincronismo	Sim
Anti-ilhamento	Sim
Medição	Medidor 4 Quadrantes

6.12. RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA

A operação da UFV deverá ser realizada somente por profissionais treinados, portando os equipamentos de proteção individual adequados.

Será fixada placa de Advertência de Geração Própria de dimensões 250 x 180mm confeccionada em aço inoxidável ou alumínio anodizado conforme requerimentos da Norma Técnica da Companhia Distribuidora. Na placa constará o seguinte texto: “CUIDADO – GERAÇÃO DISTRIBUÍDA” com gravação indelével.



Figura 3. Placa de advertência “Geração Própria”.

A Placa de Advertência será instalada nos seguintes locais:

- Na tampa da caixa do medidor.
- Na porta de entrada da Cabine de Medição e Proteção Geral Interna da Usina.
- Na tampa da caixa do servidor remoto (ao lado do medidor).
- Por se tratar de um ponto de entrega aéreo, no poste da conexão do ramal de ligação.
- Na estação de transformação.

As portas do cubículo de proteção e/ou medição em média tensão serão metálicas e deverão abrir para fora, além de possuir uma dimensão tal que permita a passagem folgada do maior equipamento da subestação. Nelas serão afixadas placas com a indicação “PERIGO DE MORTE” conforme ilustração abaixo:



Figura 4. Placa de advertência “PERIGO DE MORTE”.

6.13. ATERRAMENTO

Para esse projeto iremos adotar um anel de aterramento com cabo de cobre nu 50mm² enterrados a no mínimo 50cm da superfície, circundando toda a UFV, conforme ABNT NBR 5410:2004. Todas as partes metálicas dos equipamentos, trackers, quadros, aterramento da cabine primária etc. serão conectados a esse anel, apenas o cercamento não será conectado, para se evitar possíveis altos valores de tensão de toque vistos pelo lado fora.

O sistema de aterramento da cabine primária blindada foi projetado em observação às normas vigentes e será constituído por uma malha em cabos de cobre nu, têmpera meio-dura, de seção 50 mm², instalados numa profundidade mínima de 50 cm, interligando os eletrodos verticais, constituídos por 12 hastes cobreadas em cobre eletrolítico 254 µm, com diâmetro 5/8” e 2,4 m cravadas no solo.

A conexão entre a malha de aterramento da cabine primária e a malha de aterramento da UFV será realizada através de cabo de cobre nu 50mm² enterrado a no mínimo 50 cm da superfície.

7. ESTÁGIO ATUAL

O Projeto está na fase de análise de viabilidade técnica e econômica para poder proceder à fase de implantação.

8. CRONOGRAMA

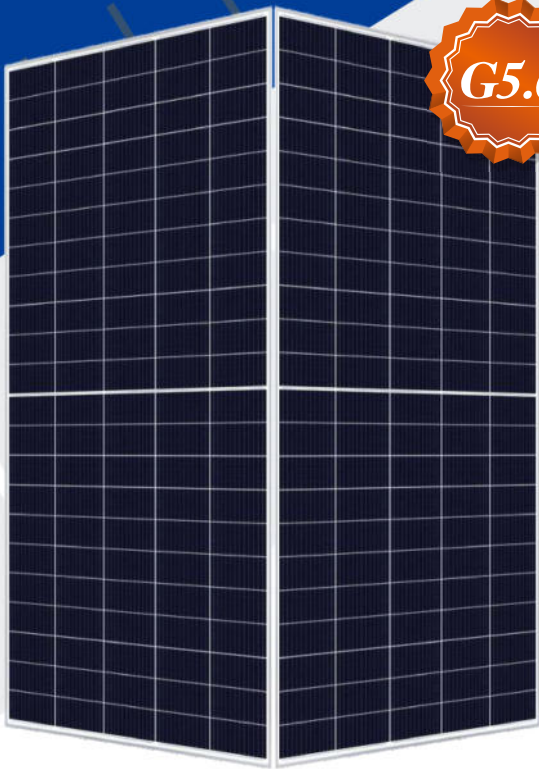
O tempo de execução para implantar a UFV do projeto é estimado em 5 meses, considerando que todo licenciamento do projeto ocorrerá e não haverá pendências na parte legal que possam atrasar o empreendimento.

9. RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Engenheiro Responsável pelas Informações Declaradas:	
Nome	Hugo Aparecido Alves Barros
CREA - RNP	1412098750
Região	CREA-MG



**HIGH PERFORMANCE
BIFACIAL PERC MONOCRYSTALLINE MODULE**



RSM110-8-530BMDG-550BMDG

110 CELL Mono PERC Module	530-550Wp Power Output Range
1500VDC Maximum System Voltage	21.0% Maximum Efficiency

KEY SALIENT FEATURES

- Global, Tier 1 bankable brand, with independently certified state-of-the-art automated manufacturing
- Bifacial technology enables additional energy harvesting from rear side (up to 30%)
- Industry leading lowest thermal co-efficient of power
- Industry leading 12 years product warranty
- Excellent low irradiance performance
- Excellent PID resistance
- Positive tight power tolerance
- Dual stage 100% EL Inspection warranting defect-free product
- Module Imp binning radically reduces string mismatch losses
- Warranted reliability and stringent quality assurances well beyond certified requirements
- Certified to withstand severe environmental conditions
 - ◆ Anti-reflective & anti-soiling surface minimise power loss from dirt and dust
 - ◆ Severe salt mist, ammonia & blown sand resistance, for seaside, farm and desert environments
 - ◆ Excellent mechanical resistance: wind load 2400Pa & snow load 5400Pa



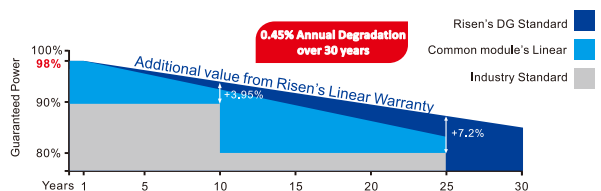
RISEN ENERGY CO., LTD.

Risen Energy is a leading, global tier 1 manufacturer of high-performance solar photovoltaic products and provider of total business solutions for residential, commercial and utility-scale power generation. The company, founded in 1986, and publicly listed in 2010, compels value generation for its chosen global customers. Techno-commercial innovation, underpinned by consummate quality and support, encircle Risen Energy's total Solar PV business solutions which are among the most powerful and cost-effective in the industry. With local market presence and strong financial bankability status, we are committed, and able, to building strategic, mutually beneficial collaborations with our partners, as together we capitalise on the rising value of green energy.

Tashan Industry Zone, Meilin, Ninghai 315609, Ningbo | PRC
Tel: +86-574-59953239 Fax: +86-574-59953599
E-mail: marketing@risenenergy.com Website: www.risenenergy.com

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

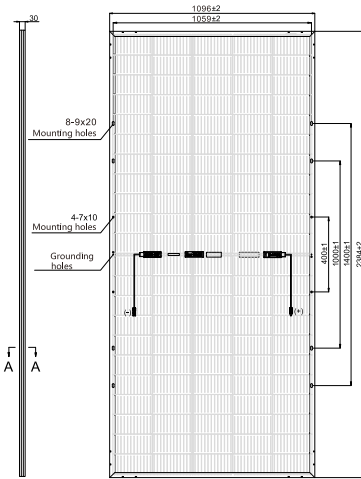
12 year Product Warranty / 30 year Linear Power Warranty



★ Please check the valid version of Limited Product Warranty which is officially released by Risen Energy Co., Ltd



Dimensions of PV Module Unit: mm



ELECTRICAL DATA (STC)

Model Number	RSM110-8-530BMDG	RSM110-8-535BMDG	RSM110-8-540BMDG	RSM110-8-545BMDG	RSM110-8-550BMDG
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	530	535	540	545	550
Open Circuit Voltage-Voc(V)	37.44	37.66	37.88	38.10	38.32
Short Circuit Current-Isc(A)	18.02	18.07	18.13	18.18	18.23
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	31.16	31.36	31.56	31.76	31.96
Maximum Power Current-Impp(A)	17.02	17.07	17.12	17.17	17.22
Module Efficiency (%) *	20.3	20.5	20.7	20.9	21.0

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.
Bifacial factor: 70%±5 * Module Efficiency (%): Round-off to the nearest number

Electrical characteristics with 10% rear side power gain

	583	589	594	600	605
Total Equivalent power -Pmax (Wp)	583	589	594	600	605
Open Circuit Voltage-Voc(V)	37.44	37.66	37.88	38.10	38.32
Short Circuit Current-Isc(A)	19.82	19.88	19.94	20.00	20.05
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	31.16	31.36	31.56	31.76	31.96
Maximum Power Current-Impp(A)	18.72	18.78	18.83	18.89	18.94

Rear side power gain: The additional gain from the rear side compared to the power of the front side at the standard test condition. It depends on mounting (structure, height, tilt angle etc.) and albedo of the ground.

ELECTRICAL DATA (NMOT)

Model Number	RSM110-8-530BMDG	RSM110-8-535BMDG	RSM110-8-540BMDG	RSM110-8-545BMDG	RSM110-8-550BMDG
Maximum Power-Pmax (Wp)	401.6	405.4	409.1	412.9	416.8
Open Circuit Voltage-Voc (V)	34.82	35.02	35.23	35.43	35.64
Short Circuit Current-Isc (A)	14.78	14.82	14.87	14.91	14.95
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	28.92	29.10	29.29	29.47	29.66
Maximum Power Current-Impp (A)	13.89	13.93	13.97	14.01	14.05

NMOT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Solar cells	Monocrystalline
Cell configuration	110 cells (5×11+5×11)
Module dimensions	2384×1096×30mm
Weight	33±0.5kg
Superstrate	High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass
Substrate	Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy type 6005-2T6, Silver Color
J-Box	Potted, IP68, 1500VDC, 3 Schottky bypass diodes
Cables	4.0mm ² (12AWG), Positive(+)350mm, Negative(-)350mm (Connector Included)
Connector	Risen Twinsel PV-SY02, IP68

TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	44°C±2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.25%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.04%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.34%/°C
Operational Temperature	-40°C~+85°C
Maximum System Voltage	1500VDC
Max Series Fuse Rating	35A
Limiting Reverse Current	35A

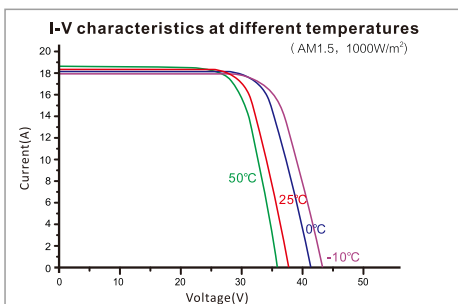
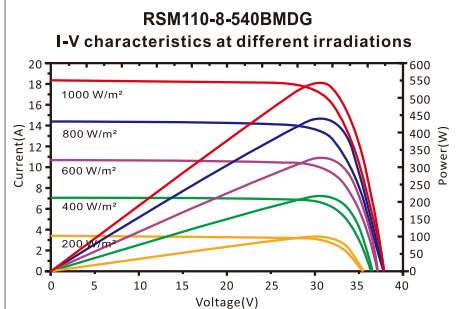
PACKAGING CONFIGURATION

	40ft(HQ)
Number of modules per container	700
Number of modules per pallet	35
Number of pallets per container	20
Packaging box dimensions (LxWxH) in mm	2401×1085×1235
Box gross weight[kg]	1225

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.

©2021 Risen Energy. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

THE POWER OF RISING VALUE



Our Partners:

Inversor string de múltiplos MPPTs para sistema de 1.500 V_{cc}



ALTO RENDIMENTO

- 12 MPPTs com máxima eficiência 99%
- Compatível com módulo bifacial
- Função anti-PID integrada e PID recovery



OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO INTELIGENTES

- Atualização de firmware remota e comissionamento sem toque
- Varredura e diagnóstico da curva IV online*
- Design sem fusíveis com monitoramento de corrente de string inteligente



BAIXO CUSTO

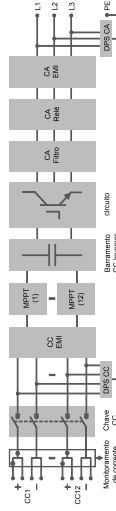
- Compatível com cabos CA de Al e Cu
- Conexão CC 2 em 1 ativada
- Comunicação de linha de energia (PLC)
- Opcional Função Q noturna



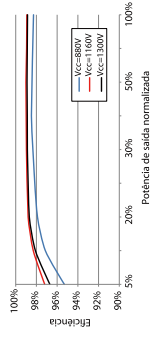
SEGURANÇA COMPROVADA

- IP66 e grau anticorrosivo C5
- Dispositivo de proteção contra surtos (DPS) tipo II para CC e para CA
- Compatível com segurança e código de rede globais

DIAGRAMA DO CIRCUITO



CURVA DE EFICIÊNCIA



Descrição do tipo	SG250HX
Entrada (CC)	
Tensão máxima de entrada FV	1.500 V
Tensão mínima de entrada FV / Tensão de entrada de inicialização	600 V / 600 V
Tensão nominal de entrada FV	1.160 V
Intervalo de tensão MPP	600 V - 1.500 V
Intervalo de tensão MPP para potência nominal	860 V - 1.300 V
Nº de entradas MPP independentes	12
Número máximo de strings FV por MPPT	2
Corrente de entrada máxima FV	26 A *12
Corrente máxima do conector de entrada	30 A
Corrente máxima de CC de curto-circuito	50 A * 12
Saída (CA)	
Potência de saída CA	250 kVA a 30 °C / 225 kVA a 40 °C/200 kVA a 50°C
Corrente de saída CA máxima	180.5 A
Tensão CA nominal	3 / PE, 800 V
Intervalo de tensão CA	680 - 880V
Frequência nominal da rede / Faixa de frequência da rede	50 Hz / 45 - 55 Hz; 60 Hz / 55 - 65 Hz
THD	< 3 % (em potência nominal)
Injeção de corrente CC	< 0.5 % In
Fator de potência em potência nominal / Fator de potência ajustável	> 0,99/0,8 adiantado - 0,8 atrasado
Fases de alimentação / fases de conexão	3 / 3
Eficiência	
Eficiência máxima	99.0 %
Eficiência europeia	98.7 %
Proteção	
Proteção de conexão CC reversa	Sim
Proteção contra curto-circuito CA	Sim
Proteção contra corrente de fuga	Sim
Monitoramento de rede	Sim
Monitoramento de falha de aterramento	Sim
Interruptor CC	Sim
Interruptor CA	Não
Monitoramento de corrente da string FV	Sim
Função Q noturna	Sim
Recuperação anti-PID ou PID	Recuperação anti-PID ou PID
Proteção de sobretenção	DPS CC tipo II / CA tipo II
Dados gerais	
Dimensões (L*A*P)	1.051*660*363 mm
Peso	95 kg
Método de isolamento	Sem transformador
Grado de proteção contra intrusão	IP66
Consumo de energia à noite	< 2 W
Intervalo da temperatura ambiente operacional	-30 a 60 °C
Faixa de umidade relativa permitida (sem condensação)	0 - 100 %
Método de resfriamento	Resfriamento de ar forçado inteligente
Altitude máxima de operação	4.000 m (redução de potência a > 3.000 m)
Visor	LED, Bluetooth+aplicativo RS485 / Opcional: PLC
Comunicação	RS485 / Opcional: PLC
Tipo de conexão CC	MC4 (máx. 6 mm ²)
Tipo de conexão CA	Terminal OT (máx. 300 mm ²)
Conformidade	IEC 62109, IEC 61727, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683, VDE-AR-N 4110:2018, VDE-AR-N 4120:2018, IEC 61000-6-3, EN 50438, UNE 206007-1:2013, P.O.12.3, UTE C15-712-1:2013, UL1741, UL1741SA, IEEES47, IEEES47, CSA C22.2 1071-01-2001, FCC Part15 Sub-part B Class A Limits, California Rule 21
Suporte à rede	Função Q noturna, LVRT, HVRT, controle de potência ativa e reativa e controle de taxa de rampa de potência

*: Compatível apenas com logger Sungrow e iSolarCloud



STInorland

STI-H250™

Dual-Row Tracker

V5



Index

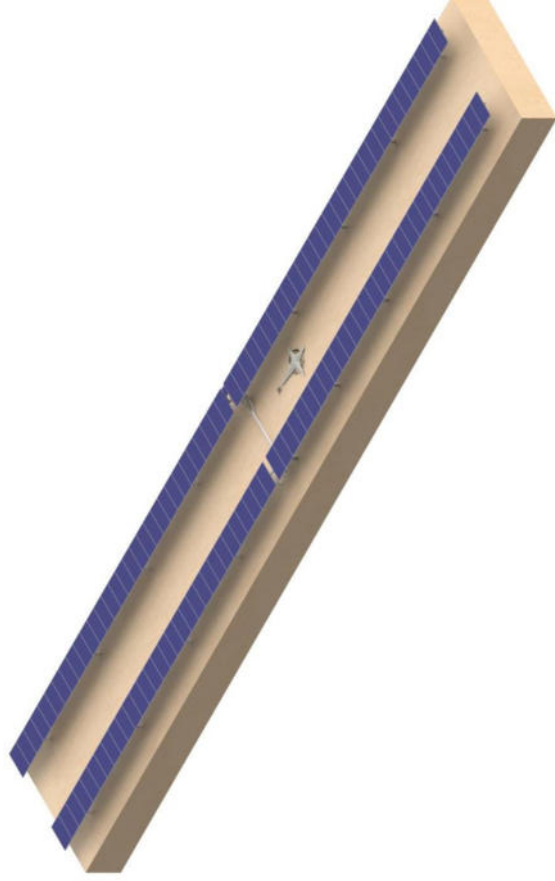
1. Description
2. Configuration
3. Technical data
4. Structure
5. Motor-Actuator
6. Communications
7. Advantages

Dual-row tracker

STI-H250™ is a **horizontal single-axis solar tracker with two rows.**

The motor and the actuator are in one of the rows. The second row is moved by an arm and connecting rods located at both sides of the actuator for a better stability.

Designed for PV modules in 1 portrait configuration instead of 2 portrait, in order to control and **minimize the risk associated to torsional forces under wind loads.** Much more robust approach according to our values.



Configurations

Recommended configuration:

In case of strings of 20 modules: 1V x 20+20+20

In case of strings of 30 modules: 1V x 30+30

Other possible configurations:

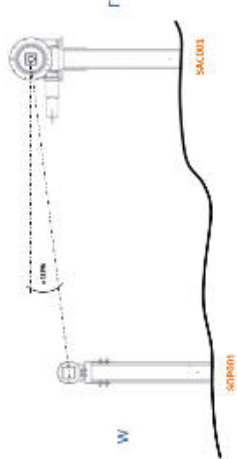
In case of strings of 21 modules: 1V x 32+31

In case of strings of 31 modules: 1V x 31+31



Technical Data

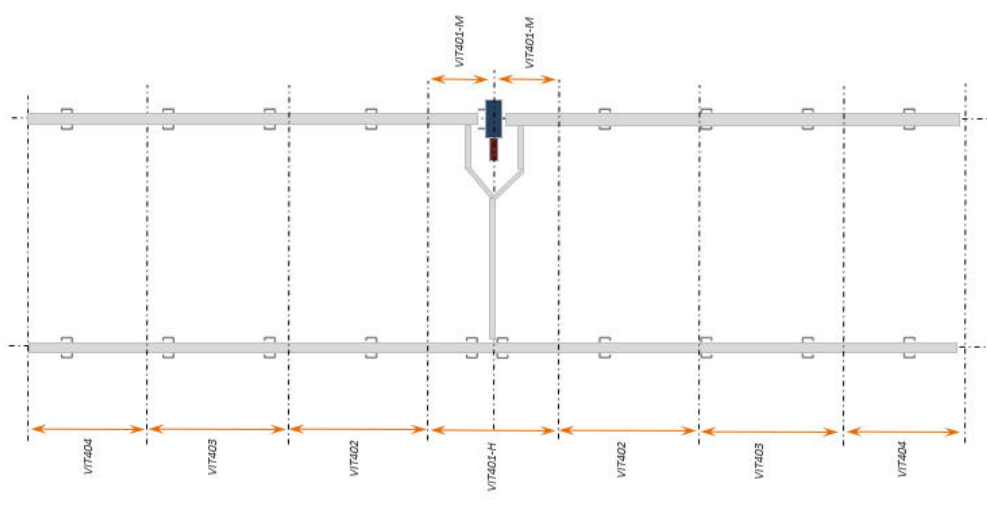
- Max. slope N-S: 15%
- Max. slope E-W between two rows on the same tracker: 10%
- Max. slope difference in N-S direction between two rows on the same tracker: 2%
- Max. slope E-W between two trackers: unrestricted



- Axis height: 1,200 mm (modules at 1,250 mm)
- Tilt: $\pm 55^\circ$
- Max. wind speed at 25° position windward: 150 km/h (can be adapted to other site conditions)
- Ground clearance: 450 mm (configurable)
- Distance between same tracker rows (Pitch): 4–8 m
- Operation temperatures from -10° to $+50^\circ$ (Celsius). Other options available
- Power supply: wired, self-powered with dedicated solar panel
- Communications: Wired or Wireless (Zigbee)

Structure

1. Supports, torsion beams and regulation components: Hot Dip Galvanized steel
2. Belts, module support: pre-galvanized steel or Magnelis
3. Structural bolts (including U bolts): Geomet 500D or Zinc-Nickel alloy
4. Bolts for modules: stainless steel with Precote®
5. Corrosion resistance: as per site needs/client request: C1 to C5
6. Foundations can be adapted as per geotechnical conditions. Available options include direct ramming, pre-drilling, micro piles, screws or ballasted.



Structure

7. Mounting tolerances:

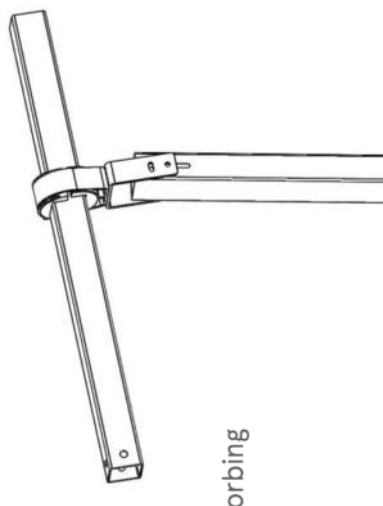
7.1. Plumbness N-S : +- 2°

7.2. Plumbness E-W: +- 1°

7.3. Max. Rotation: +- 3°

7.4. Height N-S: 40 mm SOP001, 50 mm SOP002 respect SAC001

7.5. Height E-W: 40 mm SOP001, 50 mm SOP002 respect SAC001

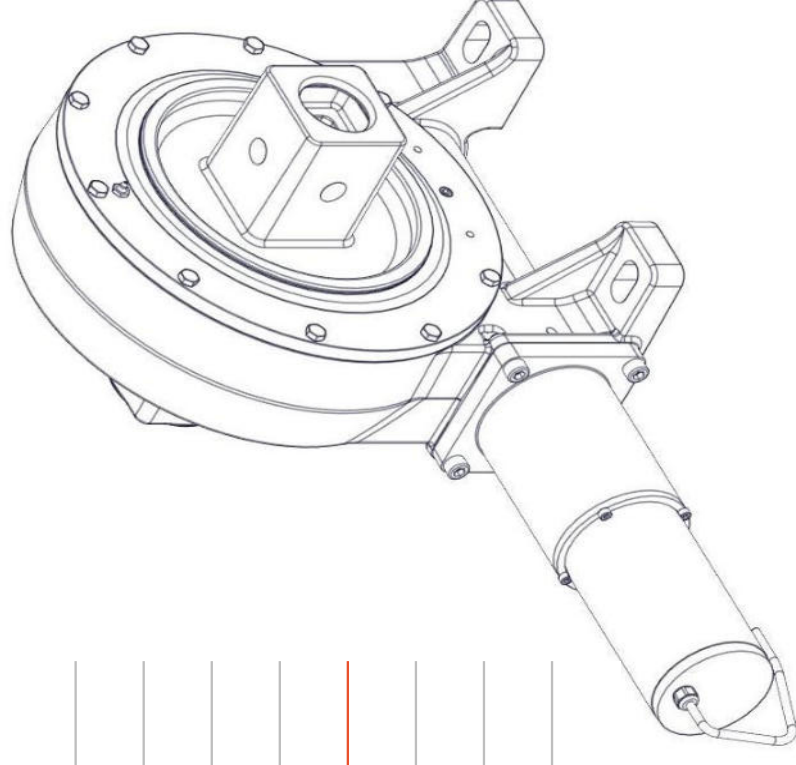


Rotation and Regulation Set

Allows the torque tube to turn while absorbing the installation deviations of the posts.

Motor-actuator

	Rated voltage	24 DC
	Rated speed	1,500 rpm
Motor-gear	Rated current	6 A
	Rated power	65 W
	IP class	66
	Max. holding torque	45 KNm
	Tracking time from 55° to 0°	5.1 minutes
Slewing wheel	Lubrication	Grease
	IP class	65



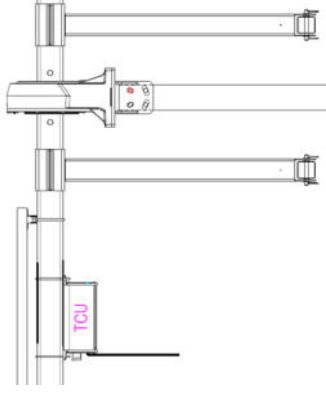
Motor-actuator

Item 1	Item 2	Size	Grade	Protection
Drive regulation plate (PRE002)	I -BEAM (SAC001)	8 X M16	8.8	Zinc Nickel
Drive regulation plate (PRE002)	Slewing Wheel	4 X M20	8.8	Zinc Nickel
Torque tube (VIT001)	Slewing wheel	8 x M20	8.8	Zinc Nickel

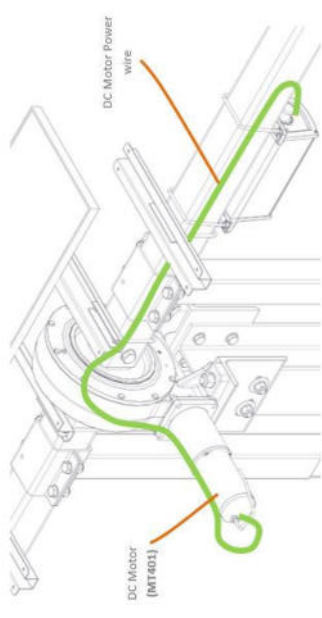
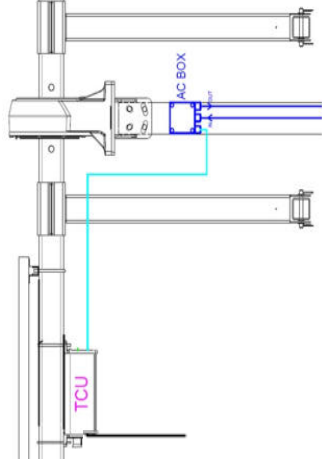


Power supply

- Self-powered from extra PV module or from the string

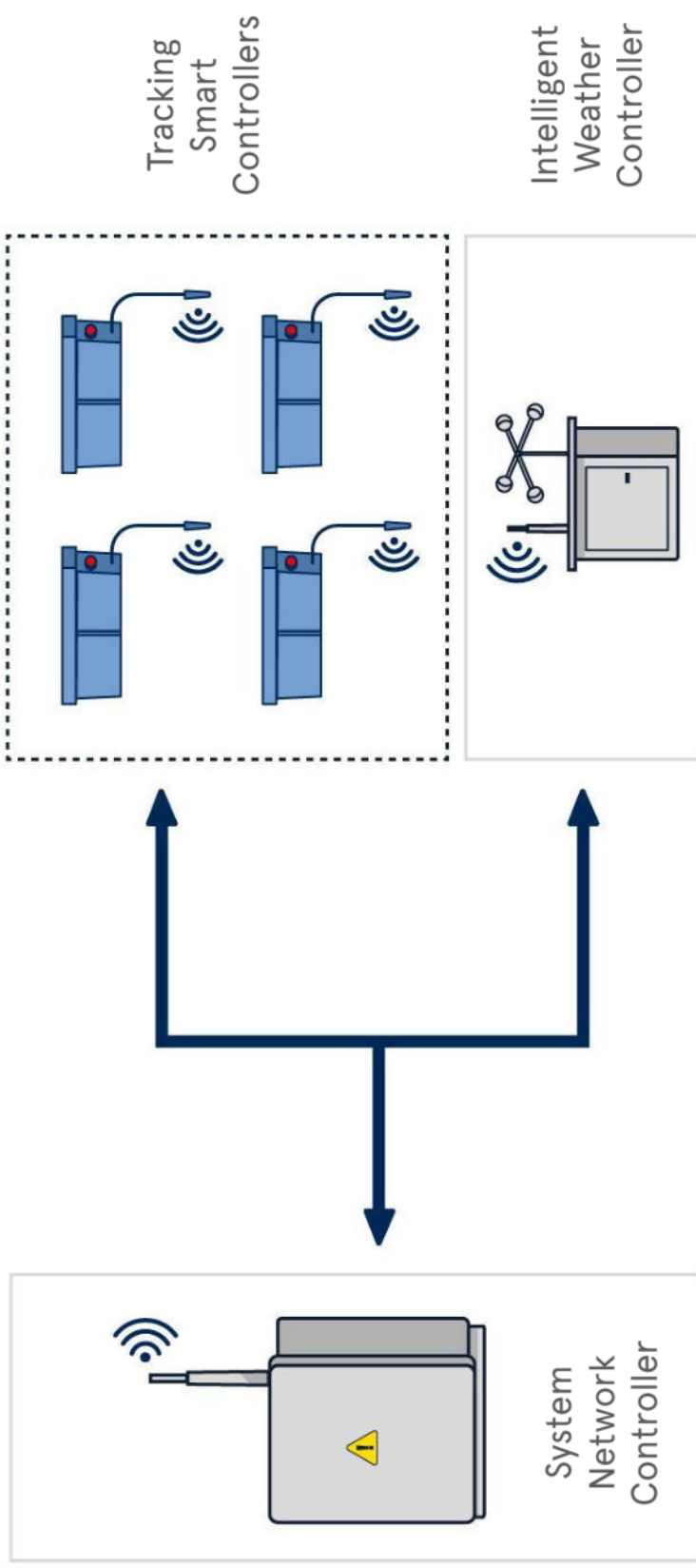


- Power supply from the grid AC



Motor powered from the Tracking Smart Controller

Communications



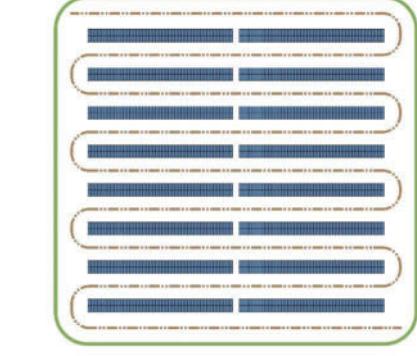
Advantages

1. Adaptable to high and/or changing slopes
2. Adaptable to irregular border conditions
3. Maximizes density (installed power per unit of surface)
4. Easier cleaning and access to all the components
5. Lowest maintenance
6. Half number of key components than single row trackers (motor, actuator, control system)
7. Highest reliability: minimized torsional forces and the associated risks

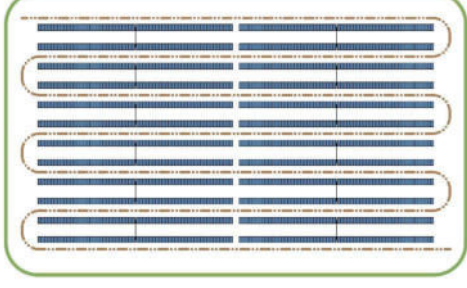


Advantages

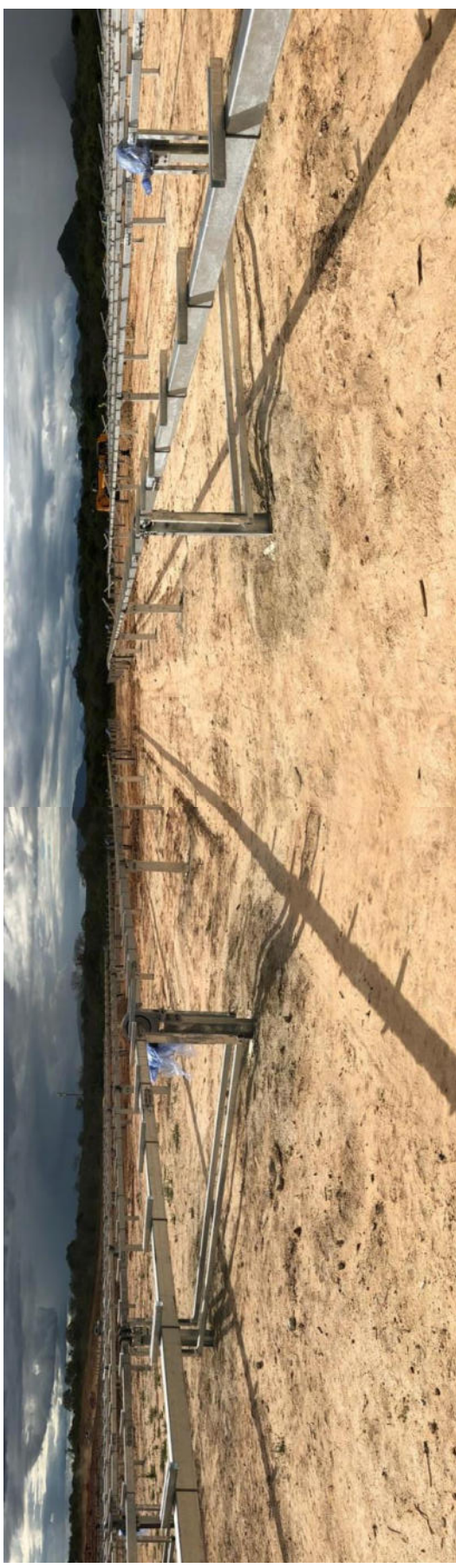
Corridor for O&M works every two rows



2Px45 independent row



1Px60x2 dual-row
(STI-H250™)



An aerial photograph of a solar farm. The solar panels are arranged in long, parallel rows across a green valley. In the background, there are rolling green hills, a small village with white houses and dark roofs, and majestic mountains with patches of snow under a clear blue sky. The overall scene is bright and clear.

stinorland

 stinorland.com



Coordenadoria de
Educação Aberta e a Distância