



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

**Dimensionamento de Sistema Fotovoltaico de 625 kW
para Indústria do Grupo A4 Tarifa Verde
ELT 554 - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

DISCENTE: Marcos Leal de Moraes
ORIENTADOR: Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira
CO-ORIENTADOR: Prof. João Marcus Soares Callegari.

Viçosa, 10 de fevereiro de 2022.

Aluno MARCOS LEAL DE MORAIS

Dimensionamento de Sistema Fotovoltaico de 625 kW para Indústria do Grupo A4 Tarifa Verde.

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.

Co-Orientador: Prof. João Marcus Soares Callegari.

Viçosa, 10 de fevereiro de 2022.

ATA DE APROVAÇÃO

Aluno MARCOS LEAL DE MORAIS

Dimensionamento de Sistema Fotovoltaico de 625 kW
para Indústria do Grupo A4 Tarifa Verde.

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 10 de fevereiro de 2022.

Presidente e Orientadores: Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira / Prof. João Marcus Soares Callegari

Universidade Federal de Viçosa

Membro Titular: Prof. Dr. Allan Cupertino.

Universidade Federal de Viçosa

Membro Titular: Prof. Dr. Erick Brito.

Universidade Federal de Viçosa

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho

A minha família, que sempre me apoiou e incentivou a perseverar nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde e força em momentos difíceis como foram estes últimos anos de pandemia no mundo, e por me iluminar a percorrer novos caminhos, que se mostraram tão estimulantes quanto desafiadores.

Aos professores do curso de Especialização em Sistemas Fotovoltaicos da Universidade Federal de Viçosa, pela qualidade e abrangência do conteúdo que nos foi apresentado.

E em particular, à minha esposa, fiel incentivadora e companheira nesta nova jornada que inicio.

RESUMO

Este trabalho diz respeito a um projeto de usina fotovoltaica para atender a uma empresa capixaba de médio porte do ramo metalúrgico, consumidora de média tensão trifásica 11,4 kV e 60 Hz, do Grupo A4 Tarifa Verde. Com uma demanda contratada de 610 kW e consumo mensal médio de 100 MWh, sendo 6% deste realizado no horário de ponta, a despesa mensal média do ano de 2021 ficou em R\$70.096,42, sendo 16% em custos fixos com tarifas e demanda contratada. O objetivo deste trabalho será conseguir uma redução de cerca de 70% na despesa com energia.

Com uma irradiação solar estimada em 5,12 kWh/m²dia no plano inclinado, foi dimensionado um sistema para geração de 625 kW, com 1495 módulos de 545 Wp e 5 inversores de 125 kW. Mas a demanda contratada precisará ser ajustada para igualar com a geração, um aumento de 15 kW ou 2,5%. A instalação dos módulos será feita sobre parte da cobertura metálica do galpão industrial, ocupando cerca de 4500 m² ou 36% da área total disponível. Os galpões possuem cobertura em 2 águas e uma orientação a 9°NE, possibilitando uma baixa perda na geração e adequada estrutura para montagem dos módulos.

A análise da viabilidade para 10 anos apresentou uma TIR de 26,7% a.a., um VPL de R\$3,2 milhões, um PB simples de 3,6 anos e um PB descontado de 4,5 anos, mostrando este ser um projeto bastante interessante e viável.

Palavras-chave: Indústria, Média Tensão, Sistema Fotovoltaico, Viabilidade Econômica

Lista de Figuras

Figura 1: Mapa de localização da empresa	14
Figura 2: Vista superior dos galpões	15
Figura 3: Pontos de distribuição interna de energia (transformadores)	15
Figura 4: Vista interna dos galpões	16
Figura 5: Layout proposto para instalação dos módulos	20
Figura 6: Detalhes do aterramento das caixas, segundo ECORI [4]	24
Figura 7: Detalhes do aterramento dos módulos e estruturas, segundo ECORI [4]	24
Figura 8: Formato ideal para interligação dos módulos.....	25
Figura 9: Detalhes da estrutura PHB de montagem em telha trapezoidal	26
Figura 10: Ilustração da cabine primária.....	26
Figura 11: Subestação de entrada – cubículos de medição e proteção.....	27
Figura 12: Plaqueta do disjuntor de entrada.....	28
Figura 13: Dados de curto-circuito da concessionária.....	28
Figura 14: Diagrama das impedâncias sequências (+), (-) e (0)	30
Figura 15: Coordenograma de proteção de fase	32
Figura 16: Coordenograma de proteção de neutro.....	32
Figura 17: Viabilidade do financiamento.....	36
Figura 18: Diagrama unifilar da UC após a instalação da usina solar fotovoltaica.	38
Figura 19: Local da instalação da unidade geradora fotovoltaica.....	60
Figura 20: Local de instalação dos inversores fotovoltaicos.....	60
Figura 21: Disjuntor do padrão de entrada da unidade consumidora.....	61
Figura 22: Placa de advertência.....	64

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Valores de referência da concessionária.....	13
Tabela 2 – Distribuição da carga nos transformadores.....	16
Tabela 3 – Comparativo de funções de proteção disponíveis dos relés Pextron	27
Tabela 4 – Valores base em MT e BT	29
Tabela 5 – Modelagem do cabo de média tensão.....	29
Tabela 6 – Impedância do transformador #16.....	29
Tabela 7 – Modelagem do cabo de baixa tensão.....	29
Tabela 8 – Modelagem da usina fotovoltaica	29
Tabela 9 – Parametrização das funções de proteção	31
Tabela 10 – Fluxo de caixa do projeto, previsão para 10 anos.....	35
Tabela 11 - Características dos módulos fotovoltaicos utilizado na instalação, na STC.....	62
Tabela 12 - Características dos inversores utilizados na instalação.....	62
Tabela 13 – Previsão da produção de energia.....	65

Lista de Abreviações

TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TEF	Taxa Efetiva de Financiamento
VPL	Valor Presente Líquido
TIR	Taxa Interna de Retorno
ROI	Retorno sobre o Investimento
PB_S	Retorno Simples sobre o Pagamento, ou <i>Payback</i> Simples
PB_D	Retorno Descontado sobre o Pagamento, ou <i>Payback</i> Descontado
NDG	Necessidade Diária de Geração
TE	Tarifa de Energia
TP	Tarifa Ponderada de Energia
UF	Usina Fotovoltaica de Geração de Energia
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
ERE	Energia Reativa Excedente
HSP	Horas de Sol Pleno, por dia
FP	Fator de Potência
STC	Condições Padrões de Teste, ou <i>Standard Test Conditions</i>

Lista de Símbolos

FC_0	Fluxo de caixa do período zero
FC_n	Fluxo de caixa no período n
W_{FV}	Potência necessária na geração fotovoltaica
T_{amb}	Temperatura ambiente
T_{oper}	Temperatura de operação da célula
Eff_{max}	Eficiência global máxima
MPP	Ponto de máxima potência
MPPT	Rastreamento do ponto de máxima potência
V_{oc}	Tensão de circuito aberto
I_{sc}	Corrente de curto-circuito
V_{MP}	Tensão no ponto de máxima potência
I_{MP}	Corrente no ponto de máxima potência
P_{MP}	Potência no ponto de máxima potência
P_{mod}	Produção diária do módulo
N_{mod}	Número de módulos
N_{inv}	Número de inversores

Sumário

1-	Análise do Local da Instalação	13
1.1	ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA	13
1.2	LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	14
1.3	ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO E PERDAS	17
2-	Dimensionamento da Cabine Primária e do Sistema Fotovoltaico	18
2.1	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	18
2.1.1	<i>DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....</i>	18
2.1.2	<i>DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES.....</i>	19
2.1.3	<i>DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO</i>	21
2.1.4	<i>DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.C.....</i>	22
2.1.5	<i>DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.A.....</i>	22
2.1.6	<i>ATERRAMENTO DA UF</i>	24
2.1.7	<i>ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO.....</i>	25
2.2	DIMENSIONAMENTO DA CABINE PRIMÁRIA	26
2.2.1	<i>CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS.....</i>	26
2.2.2	<i>COMPONENTES DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E PROTEÇÃO.....</i>	27
2.3	ESTUDOS DE PROTEÇÃO	28
2.3.1	<i>CONFIGURAÇÃO ATUAL DA PROTEÇÃO PRINCIPAL</i>	28
2.3.2	<i>NÍVEL DE CURTO-CIRCUITO DA CONCESSIONÁRIA.....</i>	28
2.3.3	<i>CÁLCULO DAS CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO.....</i>	29
2.3.4	<i>PARAMETRIZAÇÃO DA PROTEÇÃO DE RETAGUARDA</i>	31
2.3.5	<i>PARAMETRIZAÇÃO DA NOVA PROTEÇÃO PRINCIPAL.....</i>	31
2.3.6	<i>ESTUDO DE SELETIVIDADE E COORDENAÇÃO.....</i>	32
3-	Análise de Viabilidade Econômica.....	33
3.1	REDUÇÃO ESTIMADA NO CONSUMO	33
3.2	ORÇAMENTO DO SISTEMA	33
3.2.1	<i>MODULOS, INVERSORES E ESTRUTURAS DE MONTAGEM.....</i>	33
3.2.2	<i>SERVIÇO DE MONTAGEM.....</i>	33
3.2.3	<i>SERVIÇOS DE ENGENHARIA E CONTINGÊNCIAS</i>	33
3.2.4	<i>ORÇAMENTO TOTAL</i>	33
3.3	DESPESAS ADICIONAIS.....	34
3.3.1	<i>MANUTENÇÃO</i>	34
3.3.2	<i>LIMPEZA</i>	34
3.3.3	<i>AJUSTE NA DEMANDA CONTRATADA</i>	34
3.3.4	<i>SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS POR VIDA UTIL</i>	34
3.4	FLUXO DE CAIXA	35
3.5	ANÁLISE DA VIABILIDADE	35

3.5.1	TIR – TAXA INTERNA DE RETORNO	35
3.5.2	VPL – VALOR PRESENTE LÍQUIDO.....	35
3.5.3	PAYBACK – RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO	35
3.5.4	FINANCIAMENTO EXTERNO	35
4-	Projeto Elétrico	37
4.1	PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA UNIFILAR	37
4.2	MEMORIAL DESCRITIVO	38
5-	Conclusão.....	40
6-	Referencias Bibliográficas	41
7-	Anexos.....	42
7.1	CONTA DE ENERGIA DA EMPRESA	42
7.2	DATASHEET DOS MODULOS LONGI	42
7.3	DATASHEET DOS INVERSORES PHB.....	42
7.4	ORÇAMENTO DO KIT PELA PHB ELETRONICA	42
7.5	CABO BT COBRECOM SUPERATOX FLEX (H)EPR 90 - 0,6/1 kV	42
7.6	CABO MT INDUSCABOS TRIPLEX AL XLPE 90 - 8,7/15 kV	42
7.7	CABO SOLAR NEXANS ENERGYFLEX BR AFITOX 120 - 0,6/1 kV.....	42
7.8	REGISTRO INMETRO DO INVERSOR PHB.....	42
7.9	MEMORIAL DESCRITIVO	42
7.10	DIAGRAMA UNIFILAR DA USINA FOTOVOLTAICA	42
7.11	FORMULARIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO PARA MINI- GERAÇÃO DISTRIBUIDA	42

1- Análise do Local da Instalação

Este capítulo tem por objetivo analisar a capacidade de aproveitamento da irradiação solar disponível no local e identificar eventuais restrições para instalação de uma usina fotovoltaica, maximizando a geração.

1.1 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA

A empresa é consumidora da média tensão trifásica 11,4 kV e 60 Hz, do Grupo A4 em Tarifa Verde, com demanda contratada de 610 kW e consumo mensal aproximado de 100 MWh, conforme conta de consumo em Anexo 7.1. Ela utiliza atualmente de 80 a 90% da demanda contratada, e consome cerca de 6% da energia nos horários de ponta.

A Tabela 1 a seguir apresenta os valores praticados pela EDP no mercado, onde TE significa o custo da energia (matéria prima) e TUSD, o custo do serviço de distribuição prestado pela concessionária. Os descontos e ajustes dizem respeito à Resolução Normativa REN-77/2004 da Aneel [11]:

R\$/kWh	TUSD	DESCONTO (-)	AJUSTE (+)	TE	TOTAL
DEMANDA	R\$ 33,47000	R\$ 16,23764	R\$ 0,40264		R\$ 17,63501
PONTA	R\$ 1,30315	R\$ 0,59159	R\$ 0,02062	R\$ 0,43480	R\$ 1,16697
F PONTA	R\$ 0,08374			R\$ 0,26512	R\$ 0,34886

Tabela 1 – Valores de referência da concessionária

A empresa também faz aquisição de energia no mercado livre. Atualmente, seu custo com a TE é da ordem de 87% do valor de referência.

A empresa pagou, em outubro de 2021:

- R\$17,63501 por kW na demanda contratada,
- R\$0,31439 por kWh consumido fora da ponta,
- R\$1,11045 por kWh nos horários de ponta,
- R\$0,27926 por kWh no consumo da energia reativa excedente,
- 28,962% em impostos globais embutidos sobre demanda e consumo,
- R\$463,89 como Contribuição para Iluminação Pública, e
- R\$123,96 como Taxa para Disponibilização de Dados de Medição.

Analisando o histórico de consumo apresentado na conta, os valores mensais médios calculados para 13 meses foram:

- 96424 kWh fora de ponta,
- 6000 kWh na ponta,
- 102424 kWh no total, mais
- 5880 kWh como energia reativa excedente (ERE).

A existência de ERE na conta denota uma oportunidade para trabalho na correção do fator de potência, não abordado neste projeto. A empresa dispõe de sistema para correção do fator de potência, mas precisa ser atualizado.

Hoje a empresa necessita de apenas 50% da potência instalada, mas não há expectativas de aumento no consumo no médio prazo.

Concluindo, a conta média mensal de referência seria:

- a) R\$30.315,18 em consumo fora de ponta,
- b) R\$6.662,83 em consumo na ponta,
- c) R\$1.642,13 em energia reativa excedente,
- d) R\$10.757,36 em demanda contratada, e
- e) R\$20.131,07 em impostos aprox., mais
- f) R\$587,85 em taxas e contribuições fixas e obrigatórias.

O valor total médio mensal foi estimado em R\$70.096,42. Considerando que a usina fotovoltaica será dimensionada para compensar totalmente o consumo de energia, nota-se que:

- a) R\$12.399,48 é o valor fixo da conta sem impostos mais a ERE, e
- b) R\$5.055,24 são os impostos projetados, mais R\$587,85 em taxas e contribuições obrigatórias,
- c) 74,3% é o máximo percentual de redução possível com a implantação de um projeto de geração,
- d) Com a degradação progressiva na geração dos módulos, será mostrado mais a frente que a média do período de 25 anos é de 69,5%.

1.2 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A empresa está localizada na cidade da Serra, no estado do Espírito Santo, próximo à capital. Ela é estruturada basicamente em 2 prédios, um administrativo e outro industrial.

A Figura 1 apresenta o mapa de localização:

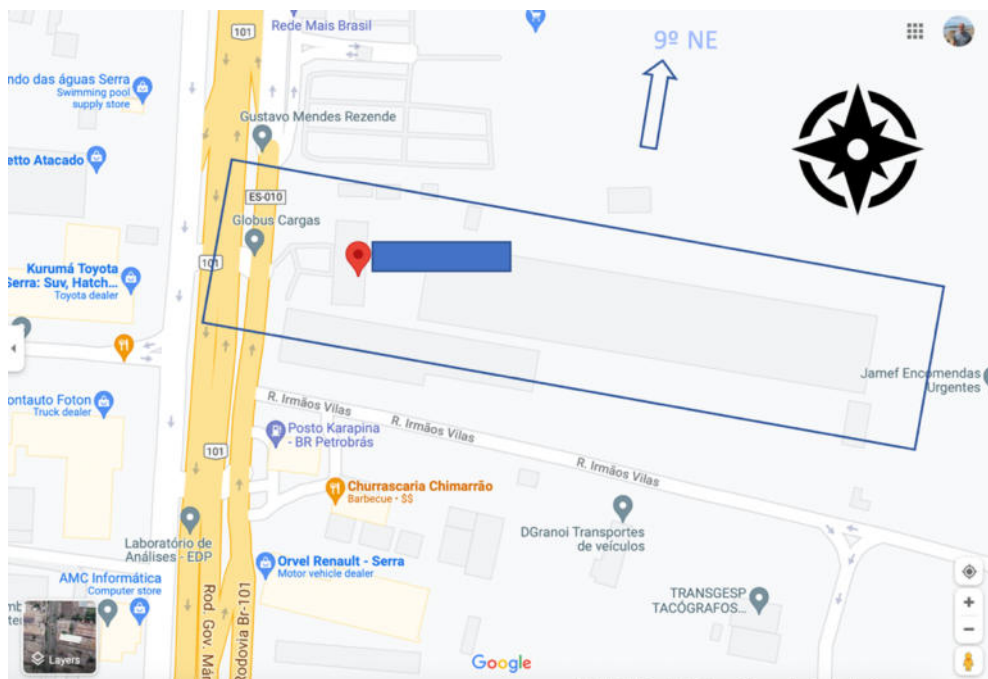


Figura 1: Mapa de localização da empresa

A área industrial de 12600 m² é composta pela união lateral de 3 galpões metálicos, todos com coberturas em 2 águas a 160°. As dimensões globais são 300x42 m, e apenas a superfície das coberturas com boa orientação solar será utilizada para a instalação dos módulos fotovoltaicos.



Figura 2: Vista superior dos galpões

A irradiação solar diária média na localidade, segundo dados do CRESESB/CEPEL [1], é de 5,12 kWh/m².dia no plano inclinado de 20°. Como as terças das coberturas dos galpões possuem ângulo interno de 160°, isto significa que já apresentam uma inclinação com relação ao plano horizontal de 10°. Assim, a estrutura de montagem dos módulos deve adicionar apenas uma inclinação relativa de 10 a 11°, aproveitando-se deste ângulo pré-existente.

A empresa dispõe de vários transformadores internos para distribuição de energia na baixa tensão, dedicados e próximos às máquinas operatrizes do processo fabril. A Figura 3 mostra a disposição espacial dos transformadores ao longo do prédio industrial, em postes.

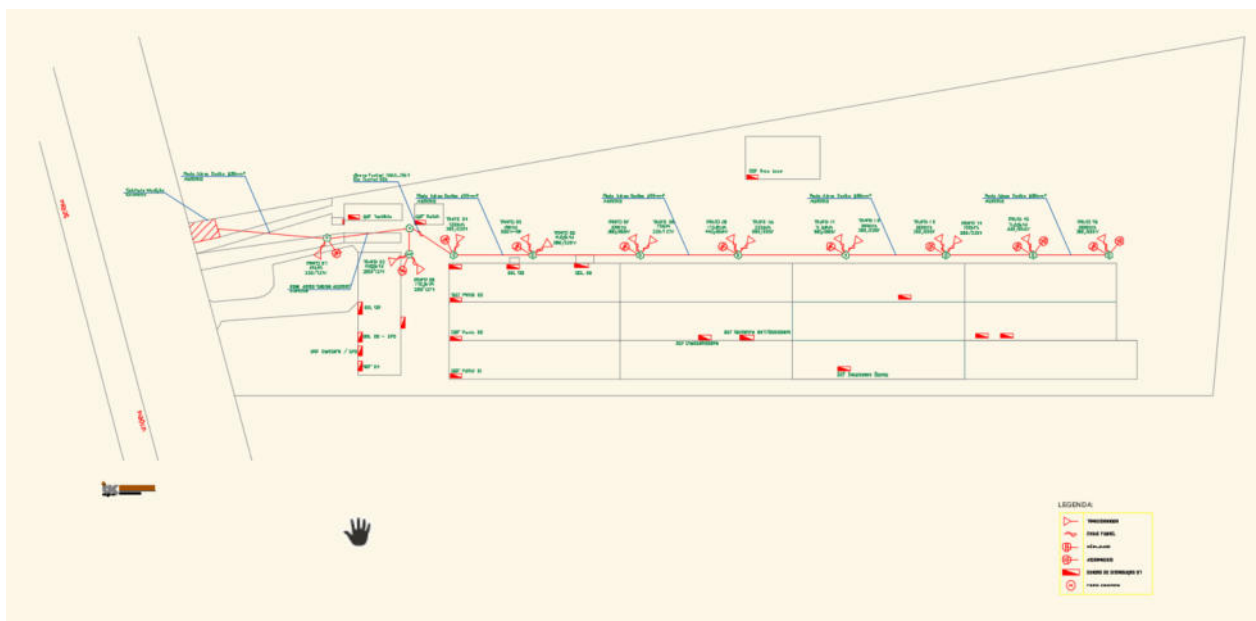


Figura 3: Pontos de distribuição interna de energia (transformadores)

São 6 transformadores de 220/127 V para cargas administrativas, mais 10 transformadores de 380-400-440/220 V para o processo produtivo, totalizando 3567,5 kVA de potência instalada. A Tabela 2 detalha as características de cada transformador.

ID	FASES	POTENCIA (kVA)	TENSAO_P (V)	CORRENTE_P (A)	TENSAO_S (V)	CORRENTE_S (A)	CARGA (kVA)	RATIO (%)	ELO FUS.	UTILIZAÇÃO
5	1	35	11400	2	220	92	22	63%	3H	ILUM+AC
1	3	45	11400	2	220	118	52	116%	5H	ILUM+AC
8	3	75	11400	4	220	197	69	92%	5H	MOTOR+AC
2	3	113	11400	6	220	295	94	84%	6K	ILUM+AC
3	3	113	11400	6	220	295	175	156%	6K	ILUM+AC
TOTAL		380		19		997	413	109%		
6	3	113	11400	6	380	171	72	64%	6K	MOTOR
11	3	113	11400	6	380	171	89	79%	6K	MOTOR
7	3	150	11400	8	380	228	435	290%	8K	MOTOR
14	3	150	11400	8	380	228	182	121%	8K	MOTOR
10	3	225	11400	11	380	342	497	221%	12K	MOTOR
12	3	300	11400	15	380	456	157	52%	15K	MOTOR
13	3	300	11400	15	380	456	382	127%	15K	MOTOR
16	3	1500	11400	76	380	2279	1369	91%	25K	MOTOR
4	3	113	11400	6	400	162	103	91%	6K	MOTOR
9	3	113	11400	6	440	148	74	65%	6K	MOTOR
15	3	113	11400	6	440	148	55	49%	6K	MOTOR
TOTAL		3188		161		4788	3415	107%		
TOTAL		3568		181		5785	3828	107%		

Tabela 2 – Distribuição da carga nos transformadores

Cada transformador possui uma chave fusível de 100 A - 15 kV O último transformador #16, de potência aparente 1500 kVA, será utilizado para interligar os inversores da usina fotovoltaica a rede.

Os inversores serão instalados internamente aos galpões, equidistantes a cada 50 m. Os cabos CA correrão livres sobre bandejas perfuradas fixadas às colunas metálicas, depois sairão via aérea a 5 m de altura até o último transformador externo ao final do galpão, para interconexão.

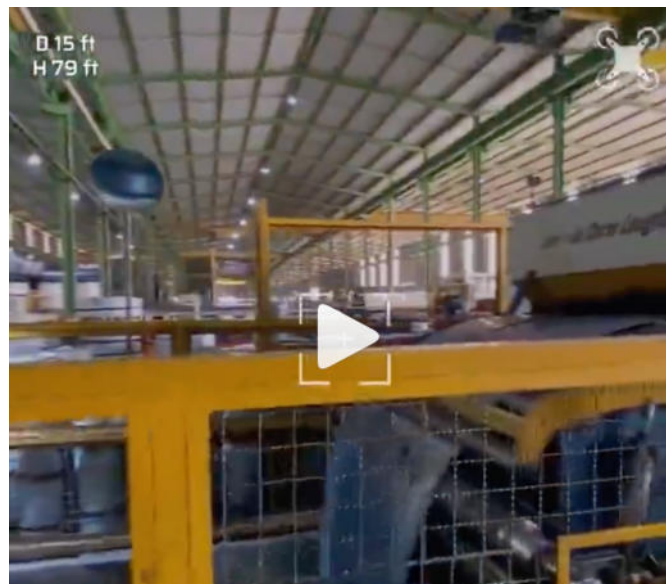


Figura 4: Vista interna dos galpões

As caixas de proteção CC já estão inclusas nos inversores e as respectivas caixas de proteção CA serão instaladas próximas.

1.3 ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO E PERDAS

Não foram visualizados problemas quanto a sombreamento por ocorrência de árvores ou outros prédios na localidade, por se tratar de uma área industrial aberta e pela orientação da superfície disponível para instalação dos módulos.

A queda máxima de tensão definida para a geração é de 4%, incluindo os ramais de baixa e média tensão até o padrão.

2- Dimensionamento da Cabine Primária e do Sistema Fotovoltaico

Este capítulo tem por objetivo mostrar o dimensionamento dos módulos, dos inversores, das estruturas de montagem, dos cabos CC e CA, assim como especificar as proteções e o aterramento necessário.

2.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A consulta ao site da ANEEL das tarifas de energia da concessionária revelou os seguintes valores:

- a) TE na ponta R\$434,80,
- b) TE fora de ponta R\$265,12.

Para o dimensionamento da geração da usina, o fator de ajuste do consumo na ponta foi calculado em:

$$FA = \frac{434,80}{265,12} = 1,64 \quad (1)$$

Assim, a necessidade diária de geração (NDG) pode ser estimada, de acordo com o consumo ponta e fora ponta apresentado no Capítulo anterior, como:

$$NDG = \frac{96424 + 6000 \times 1,64}{30} = 3542 \text{ kWh/dia.} \quad (2)$$

2.1.1 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A potência nominal dos módulos é definida para as condições da STC, onde a irradiância vale 1 kW/m² e a temperatura de operação da célula T_{oper} , 25 °C. Os módulos serão dimensionados para operar a uma temperatura ambiente $T_{amb} = 35$ °C. Assim, T_{oper} é estimada em 20 °C acima da T_{amb} e $T_{oper} = 55$ °C.

Para estimar a eficiência global na produção da usina, algumas considerações de perdas foram assumidas:

- i. Orientação: 0,10% (9°NE)
- ii. Sujeira: 10,00% (limpeza dos módulos)
- iii. Dif. entre módulos: 1,00% (construtivo)
- iv. Temperatura: 1,00%
- v. Efeito Jaule: 1,50%
- vi. MPPT: 0,10% (inversor)
- vii. Outras perdas: 1,97%.

A eficiência global máxima do sistema foi então calculada como:

$$Eff_{max} = 99,9 \times 90,0 \times 99,0 \times 99,0 \times 98,5 \times 99,9 \times 98,03 = 85\%. \quad (3)$$

Por definição, Horas de Sol Pleno (HSP) é a quantidade de horas por dia em que se concentraria uma hipotética irradiância solar constante de 1 kW/m² [2].

Ou seja, 1 HSP = 1 h/dia a 1 kW/m² = 1 kWh/m²dia. Assim, podemos dizer que uma irradiação local de 5,12 kWh/m²dia equivale a 5,12 HSP.

O cálculo da potência necessária na geração fica então simplificado para:

$$W_{FV} = \frac{3542}{0,850 \times 5,12} = 815 \text{ kW} \quad (4)$$

a) Características técnicas do módulo escolhido:

Fabricante:	Longi	
Modelo:	LRS-72HPH-545M	
Tipo:	Mono, 144-cells, bifacial	
Potência Nominal:	545 W	
Dimensões físicas:	2,256 x 1,133 m	
Rendimento:	21,3%	
Cabo solar dos módulos:	4 mm ²	
Tensão circuito aberto (V _{OC}):	49,65 V	na STC
Corrente curto-circuito (I _{SC}):	13,92 A	na STC
Tensão máxima potência (V _{MP}):	41,80 V	na STC
Corrente máxima potência (I _{MP}):	13,04 A	na STC
Coefic. térmico de potência (K _P):	-0,35%/C	para P _{MP}
Coefic. térmico de tensão (K _V):	-0,27%/C	para V _{OC}
Coefic. térmico de corrente (K _I):	+0,048%/C	para I _{SC}

b) Produção diária P_{mod} esperada de 1 módulo:

$$P_{\text{mod}} = 5,12 \times 2,256 \times 1,133 \times 0,213 \times 0,85 = 2,370 \text{ kWh/dia.} \quad (5)$$

c) Quantidade necessária de módulos N_{mod}:

$$N_{\text{mod}} = \frac{NDG}{P_{\text{mod}}} = \frac{3542}{2,370} = 1495 \text{ módulos.}$$

2.1.2 DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES

O cálculo da potência CC P_{inv} disponível para os inversores é dado por:

$$P_{\text{inv}} = \frac{1495 \times 545 \times 0,850}{1000} = 692 \text{ kW.} \quad (6)$$

a) Características técnicas do inversor escolhido:

Fabricante	PHB
Modelo	PHB125K-HT
Conexão CA	3Ø+PE / 3Ø+N+PE
Conexão CC	MC4
Topologia	sem transformador
Potência nominal	125 kW
Frequência nominal	60±2 Hz
Tensão nominal CA	380/220 V
Fator de potência (capacitivo/indutivo)	0,80
Corrente max CA	191,3 A

Eficiência max do inversor	98,6%	
Nr. Strings por MPPT	2	
Nr. MPPT's	12	
Eficiência max MPPT	99,9%	
Tensão de partida CC, por MPPT	200 V	
Faixa de tensão CC, por MPPT	180 a 1000 V	
Limite de tensão CC, por MPPT	1100 V	
Corrente max CC, por MPPT	30 A	
Conexão CC	caixa integrada	
Conexão CA_F	cabos 70 a 95 mm ²	
Conexão CA_N	cabos 35 a 50 mm ²	~50%
Montagem	vertical, fixado na parede	
Dimensões físicas	676x1005x340 mm	
Peso da caixa de potência	98,5 kg	
Ventilação forçada	sim	
Comunicação	wifi/bluetooth/serial/RS485	
Proteção de isolamento	IP66	
(poeira, maresia, água em alta pressão)		

b) Quantidade de inversores necessária:

$$N_{inv} = \frac{692}{125 \times 0,986} = 5 \text{ inversores} \quad (7)$$

c) Definição do arranjo de módulos nos inversores:

Nr. MPPT's	12
Nr. Strings, por MPPT	2
Módulos, por string	13
Módulos por inversor	312

O número de módulos máximo neste arranjo dos inversores, usando todas as entradas MPPT é de 1560. A diferença de 65 módulos equivale a 5x13 ou 1 entrada para string por inversor não utilizada.

d) Layout proposto para a montagem dos módulos na cobertura:

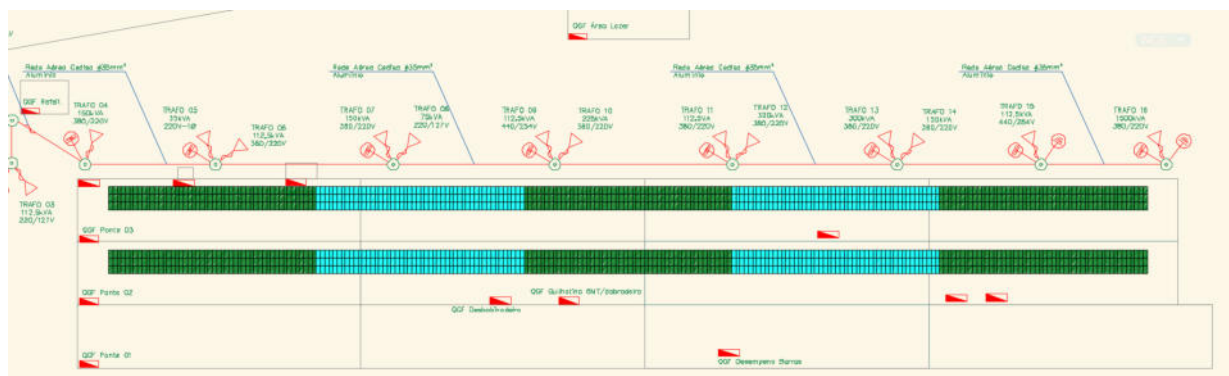


Figura 5: Layout proposto para instalação dos módulos

As seguintes observações podem ser feitas:

- i. Os blocos de cores significam grupos de 3x50 módulos;

- ii. Cada inversor será interligado a 2 grupos de 150 módulos (de mesma cor no esquema), correspondendo a 300 módulos, como será demonstrado a seguir;
- iii. Os inversores serão instalados dentro dos galpões, no alinhamento da linha de centro de cada bloco de módulos a fim de otimizar os cabos de interligação CC;
- iv. O pé direito dos galpões fabris é de 12 m.

e) Compatibilidade do arranjo de módulos definido com o inversor:

Conferindo os limites de tensão e corrente do inversor, para 20% de margem na tensão máxima da série e 5% de margem na corrente máxima do arranjo proposto:

$$\begin{aligned} V_{\max,série} &= 1,2 \times V_{oc,mod} \times 13 = 774,5 \text{ V} < 1000 \text{ V (OK)} \\ I_{\max,série} &= 1,05 \times I_{sc,mod} \times 2 = 29,2 \text{ A} < 30 \text{ A (OK)} \end{aligned} \quad (8)$$

E a operação no ponto de máxima potência (MP):

$$\begin{aligned} V_{MP,série} &= 41,80 \times 13 = 543,4 \text{ V} (180 \text{ V} < V_{MP,MPPT} < 1000 \text{ V}) \text{ (OK)} \\ I_{MP,série} &= 13,04 \times 2 = 26,1 \text{ A} < 30 \text{ A (OK)} \end{aligned} \quad (9)$$

2.1.3 DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO

a) Proteção lado CC – *String Box*:

O inversor escolhido possui as proteções CC integradas, por cada MPPT:

- i. DPS_CC Classe II 1P,
- ii. Seccionadora CC,

Além disso, possui as seguintes funções de proteção:

- iii. Falhas no arranjo fotovoltaico (string),
- iv. Falhas no DPS_CC.

b) Proteção lado CA - QDCA:

Adicionalmente a cada inversor, as seguintes proteções são necessárias:

- v. 4 DPS_CA Classe II 1P (3Ø+N) de 275 V – 45 kA,
- vi. Disjuntor CA 3P (Curva C) de 250 A,

Além disso, possui as seguintes funções de proteção (programáveis):

- vii. Monitoramento das tensões de entrada,
- viii. Resistência de isolamento contra terra,
- ix. Corrente de fuga para terra,
- x. Anti-ilhamento,
- xi. Curva de fator de potência,
- xii. Sub e sobre tensão de saída (27/59),
- xiii. Sub e sobre frequência de saída (81),
- xiv. Sobre corrente direcional de saída (67),
- xv. Direcional de potência de saída (32).

2.1.4 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.C.

A distância máxima estimada para a interligação de cada série fotovoltaica aos inversores é de 70 m.

$$L_{cc} = (25 + 30 + 12) \times 1,045 = 70 \text{ m} \quad (10)$$

O cabo solar de 4 mm² apresenta uma queda de tensão aproximada de 9,12 V/A.km. Assim, a queda observada em 0,070 km para 543,4 V e 13,04 A de cada série fotovoltaica é de 1,5% ou 8,32 V.

São 115 séries, o que significa um comprimento total $L_{cc,tot}$ de 8 km de cabo solar de 4,0 mm² a ser adquirido, isto é:

$$L_{cc,tot} = 70 \times 115 = 8 \text{ km, por polaridade.} \quad (11)$$

2.1.5 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS C.A.

A distância máxima estimada para a interligação dos inversores ao transformador #16 é de 300 m. Os cabos estarão ao ar livre, suspensos por bandeja perfurada, presa nas colunas metálicas do galpão.

A distância de interligação deste transformador #16 ao padrão (rede interna de 11,4 kV) é cerca de 1 km (extensão do prédio fabril até a cabine de medição e proteção, na subestação de entrada) e já foi anteriormente estabelecida em cabos de alumínio de 35 mm², que serão mantidos.

- a) Rede BT – Interligação dos inversores ao transformador #16:
(300 m a 380 V)

- i. Cálculo da corrente máxima $I_{BT,max}$ por condutor, por inversor:

$$I_{BT,max} = \frac{125000}{380\sqrt{3}} = 189,9 \text{ A.} \quad (12)$$

Conforme NBR-5410/2004, o limite de condução de corrente para o cabo multipolar flexível de cobre (Cu) de 95 mm², com isolamento de (H)EPR, método de instalação #13 (cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja perfurada, horizontal ou vertical) e método de referência E, é de 246 A.

Considerando $T_{amb} = 35 \text{ °C}$ internamente aos galpões, o fator de correção por temperatura para cabos com isolamento em (H)EPR é de 0,96. Aplicando-se esta correção, obtém-se 236 A. Assim:

$$I_{BT,max} = 189,9 \text{ A} < 236 \text{ A.} \quad (13)$$

- ii. Cálculo da impedância máxima admissível $Z_{BT,max}$ por condutor, considerando 4% de queda de tensão:

$$Z_{BT,max} = \frac{0,04 \times 380}{190 \times 0,3} = 0,267 \text{ V/A.km} \quad (14)$$

Aplicando-se novamente o fator de correção por temperatura, obtém-se 0,256 V/A.km. O valor tabelado pelo fornecedor Cobrecom para o cabo SUPERATOX FLEX HEPR 90 de 95 mm² (Anexo) é de 0,206 V/A.km. Assim:

$$Z_{BT,max} = 0,206 \leq 0,267 \text{ V/A.km.} \quad (15)$$

iii. Conclusão:

Na BT, deve ser utilizado um cabo multipolar flexível de cobre de 95 mm², com isolamento de (H)EPR a 0,6/1 kV. A isolamento e cobertura em material não halogenado é recomendada para utilização em locais com alta densidade de ocupação e/ou em condições difíceis de fuga. Isento de halogênio, apresenta baixa emissão de fumaça com pequeno desprendimento de gases não tóxicos e isentos de ácidos, minimizando os danos às pessoas, aos equipamentos e ao meio ambiente.

Como os inversores estão distribuídos de forma equidistante no galpão fabril, considera-se o comprimento médio dos cabos como a metade do comprimento máximo, ou seja, 150 m. Assim:

Total de cabos multipolares: $L_{CA,tot,BT} = 5 \times 300/2 = 750 \text{ m.}$

b) Rede MT – Interligação do transformador #16 ao padrão (rede já existente, composta por cabo de Alumínio (Al) de 35 mm²): (1000 m a 11,4 kV)

i. Cálculo da corrente máxima $I_{MT,max}$ por condutor, considerando todos os inversores:

$$I_{MT,max} = \frac{5 \times 125}{11,4 \times \sqrt{3}} = 31,7 \text{ A.} \quad (16)$$

Conforme NBR-14039/2021, o limite de condução de corrente para o cabo flexível de Al de 35 mm², com isolamento de XLPE, método de instalação #7 (cabo multiplexado, autossustentado, ao ar livre, exposto ao sol) e método de referência A2, é de 114 A. Aplicando-se o fator de correção de temperatura para 35° e exposição ao sol ($FC_{temp} = 0,92$), tem-se 105 A. Assim:

$$I_{MT,max} = 31,7 \text{ A} \leq 105 \text{ A.} \quad (17)$$

ii. Cálculo da impedância máxima admissível para o condutor, considerando-se 1% de queda:

$$Z_{MT,max} = \frac{0,01 \times 11400}{31,7 \times 1} = 3,602 \text{ V/A.km} \quad (18)$$

Aplicando-se novamente o fator de correção por temperatura, obtém-se 3,313 V/A.km. O valor tabelado por fornecedor (Induscabos - Triplex Al 8,7/15 kV) para esta dimensão de cabo é de 1,650 V/A.km. Assim:

$$Z_{MT,max} = 1,650 \leq 3,313 \text{ V/A. km.} \quad (19)$$

iii. Conclusão:

Na situação atual da MT, o cabo multiplexado de alumínio de 35 mm², autossustentado, com isolamento em XLPE 90 de 8,7/15 kV, atende aos requisitos estabelecidos de 1% para queda máxima em 1 km de extensão.

2.1.6 ATERRAMENTO DA UF

O condutor de aterramento do galpão fabril interliga o eletrodo de aterramento da subestação de entrada ao Barramento de Equipotencialização Principal (BEP) do galpão. Cada circuito no galpão possui seu próprio condutor de neutro e de proteção. O Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) do galpão também está integrado ao BEP. Todas as massas da instalação fotovoltaica, como dos inversores, dos módulos e das caixas de conexão CA e CC devem estar ligadas a condutores de proteção e vinculadas ao BEP do galpão. Segundo dados do fabricante do inversor, a impedância entre o cabo neutro e o cabo terra deve ser sempre menor que 10 Ω.

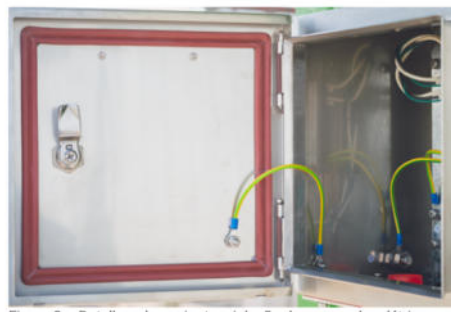


Figura 6: Detalhes do aterramento das caixas, segundo ECORI [4]

Toda série fotovoltaica deve dispor de seu condutor de proteção, em toda sua extensão. O aterramento deve ter pleno contato com o alumínio da moldura dos módulos e penetrar na sua camada superficial de óxido. Os furos nas molduras com a identificação de aterramento só podem ser utilizados para esse fim, nunca para montagem, sob risco de perda da garantia pelo fornecedor. De acordo com a norma NBR-16690/2019, o condutor de proteção deve ser de cobre nu, com seção mínima de 6 mm².

Um exemplo de como deve ser feito o aterramento e equipotencialização dos módulos fotovoltaicos é apresentado na Figura 7.



Figura 7: Detalhes do aterramento dos módulos e estruturas, segundo ECORI [4]

O condutor deve ser colocado entre a arruela plana e a côncava, esta voltada para cima, e não deve estar em contato com a moldura para evitar corrosão galvânica. Todos os parafusos, porcas, arruelas, arruelas de pressão e outros equipamentos relevantes devem ser feitos de aço inoxidável.

A interligação dos módulos da série fotovoltaica deve sempre obedecer ao formato linear compacto, sem laços, a fim de evitar a formação de campos magnéticos e aumentar a tensão induzida por descargas atmosféricas (vide exemplo ilustrativo da Figura 8, segundo NBR-16.690/2019, pág.40).

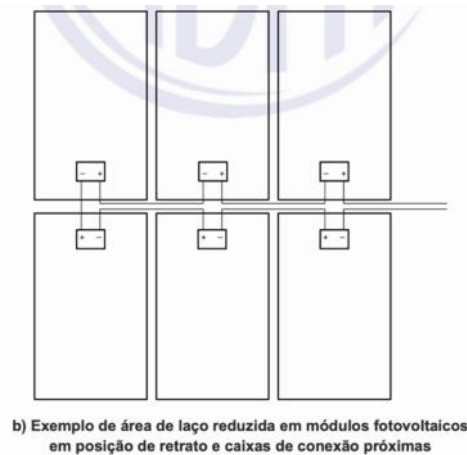


Figura 8: Formato ideal para interligação dos módulos

2.1.7 ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO

Serão adotadas estruturas de montagem próprias para telhas metálicas trapezoidais de alumínio, de galpão industrial. Apenas uma das faces das coberturas dos galpões serão utilizadas.

Os módulos serão instalados na posição retrato, por meio de trilhos suspensos em apoios que se fixarão nas terças da estrutura da cobertura. Nestes apoios, é possível regular-se a posição dos módulos para conferir a inclinação ideal especificada para absorção da energia, neste caso 21° (conforme dados do Estimate [3]). Como a cobertura já possui uma inclinação de cerca de 10° , a estrutura dos módulos deverá adicionar uma inclinação relativa de apenas 11° , totalizando os 21° necessários.

A Figura 9 exemplifica a estrutura utilizada pelo fornecedor PHB para sustentação dos módulos.



**Gancho de Sustentação
Telha Metálica
Trapezoidal**

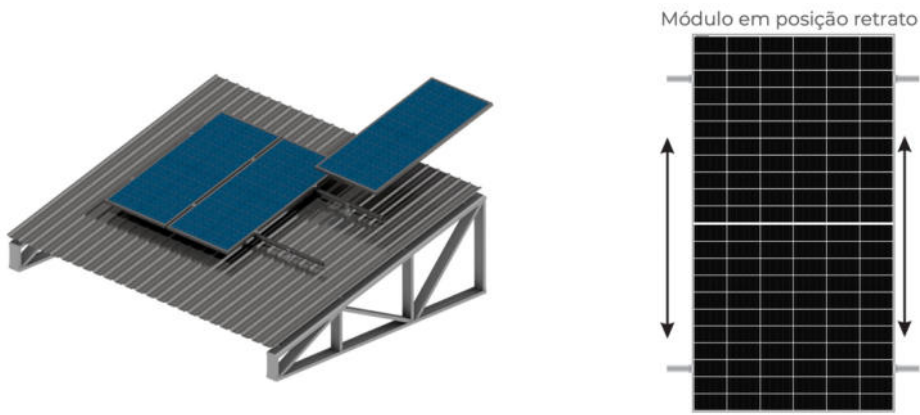


Figura 9: Detalhes da estrutura PHB de montagem em telha trapezoidal

É importante também prever uma alimentação auxiliar de 127 V e 60 Hz assim como pontos de iluminação sobre a cobertura, para facilitar os processos de manutenção e limpeza. Uma limpeza frequente, pelo menos a cada 2 meses, será de grande importância para a estabilização da eficiência energética da usina.

2.2 DIMENSIONAMENTO DA CABINE PRIMÁRIA

2.2.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

A subestação de entrada é abrigada numa área de 7x5 m, com 35 m², e possui apenas os cubículos de medição e proteção. O pé direito da subestação de entrada é de 5,5 m, conforme ilustrado na Figura 10. O fornecimento é aéreo, com ramal de ligação de no máximo 30 m de comprimento.



Figura 10: Ilustração da cabine primária

A fim de minimizar as perdas, os transformadores de distribuição se encontram espalhados ao longo do ramal de média tensão que sai da subestação e acompanha o prédio administrativo e os galpões fabris. Uma chave seccionadora na saída do cubículo de proteção, de 15 kV / 100 A, permite a isolação do ramal industrial. A Figura 11 mostra o diagrama unifilar da subestação de entrada.

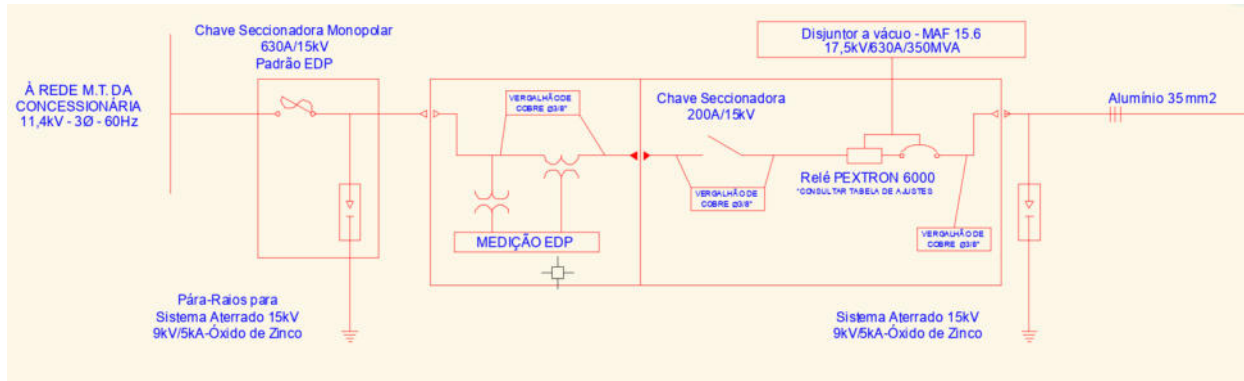


Figura 11: Subestação de entrada – cubículos de medição e proteção

Dois para-raios poliméricos de óxido de zinco para tensão nominal de 15 kV, operação contínua a 9 kV e descarga de 5 kA, protegem os ramais de entrada e saída da subestação.

2.2.2 COMPONENTES DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E PROTEÇÃO

a) Sistema de medição, composto por:

- i. Transformador de potencial – TP,
- ii. Transformador de corrente – TC, a seco, e RTC=40 (200/5 A).

b) Sistema de proteção, composto por:

- i. chave seccionadora de 200 A / 15 kV,
- ii. relé (atual) de proteção secundária Pextron URPE 7104, unidirecional, com as funções básicas de sobrecorrente instantânea e temporizada, para fases e neutro, 50/51 e 50N/51N. Para a instalação do sistema fotovoltaico, este relé deve ser substituído por um relé bidirecional Pextron URP 6000. A Tabela 3 apresenta a descrição comparativa das proteções possíveis de serem implementadas no relé URPE 7104 (antigo) e URP 6000 (atual),

URPE7104	DESCRIÇÃO	URP600X
	Direcional de sobrecorrente de neutro	67N
	Direcional de sobrecorrente de sensor de terra	67GS
62BF	Falha de disjuntor temporizado	62BF (50BF/51BF)
	Sobretensão de neutro (sobretensão residual)	59N (64G)
	Sobrecorrente temporizada de fase com restrição por tensão	51V
	Sobrecorrente temporizada de sequência negativa de fase (desequilíbrio das correntes de fase)	51Q (46)
51N	Sobrecorrente temporizada de neutro	51N
	Sobrecorrente temporizada de fase com controle de torque	51C
	Sobrecorrente instantânea de sequência negativa de fase	50Q
50N	Sobrecorrente instantânea de neutro	50N
51GS	Sobrecorrente instantânea/temporizada de sensor de terra	50GS / 51GS
	Sequência de fase (falta de fase).	47 (48)
	Direcional de potência Ativa / Reativa	32P / 32Q
	Subtensão alimentação auxiliar	27-0
	Oscilografia	98
86	Bloqueio	86
	Frequência	81
	Salto vetorial	78
74	Alarme de continuidade da Bobina e falha no circuito da Bobina.	74
	Direcional de sobrecorrente de fase	67
	Sobretensão de fase	59
51	Sobrecorrente temporizada de fase	51
50	Sobrecorrente instantânea de fase	50
	Subcorrente	37
	Subtensão	27
	Sincronismo	25

Tabela 3 – Comparativo de funções de proteção disponíveis dos relés Pextron

iii. disjuntor de entrada a vácuo, Beghim modelo MAF 15.6, tripolar, com comando central e capacidade nominal de interrupção para 350 MVA, 17,5 kV e 630 A, e circuito auxiliar de 127 V.



Figura 12: Plaqueta do disjuntor de entrada

2.3 ESTUDOS DE PROTEÇÃO

A parametrização das proteções primária e secundária precisa ser revista de forma a garantir a boa harmonia e coordenação entre os sistemas, tanto da concessionária quanto da empresa. A proteção secundária, da empresa, deve atuar sempre antes da proteção primária implementada pela concessionária (religador). O coordenograma é a ferramenta utilizada para analisar esta harmonia entre sistemas.

2.3.1 CONFIGURAÇÃO ATUAL DA PROTEÇÃO PRINCIPAL

O atual relé de proteção secundária, o PEXTRON URPE 7104, possui a seguinte configuração:

- a) Parametrização de fase – 50/51:
 - Ajuste temporizado de corrente: 95 A
 - Curva de atuação do relé: MI
 - Dial de tempo: 0,3 s
 - Ajuste instantâneo de corrente: 650 A
- b) Parametrização de neutro – 50N/51N:
 - Ajuste temporizado de corrente: 19 A
 - Curva de atuação do relé: MI
 - Dial de tempo: 0,2 s
 - Ajuste instantâneo de corrente: 190 A

2.3.2 NÍVEL DE CURTO-CIRCUITO DA CONCESSIONÁRIA

Os dados abaixo foram fornecidos pela concessionária:

DADOS DE CURTO CIRCUITO NO PONTO DE ENTRADA DE ENERGIA (PEE) DO CLIENTE:	
Corrente curto circuito (I _{cc}) trifásico (Simétrico):	3623A
Corrente curto circuito (I _{cc}) trifásico (Assimétrico):	4765A
Corrente curto circuito (I _{cc}) bifásico (Simétrica):	3138A
Corrente curto circuito fase-terra (Simétrico):	3068A
Impedância Equivalente Sequência Positiva:	
R1(pu)=0,2322	X1(pu)=4,9303
Impedância Equivalente Sequência Zero:	
R1(pu)=0,7830	X1(pu)=2,0354

Figura 13: Dados de curto-circuito da concessionária

2.3.3 CÁLCULO DAS CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO

Valores base em MT			Valores base em BT		
Potência aparente de base	100	MVA	Potência aparente de base	100	MVA
Tensão de base	11,4	kV	Tensão de base	0,380	kV
Corrente de base	5064	A	Corrente de base	151934	A
Impedância de base	1,29960	Ω	Impedância de base	0,00144	Ω

Tabela 4 – Valores base em MT e BT

a) Impedância da linha de Transmissão (fornecidas pela concessionária):

$$Z_+ = (0,2322 + j*4,9303) \%$$

$$Z_0 = (0,7830 + j*2,0354) \%$$

b) Impedância do cabo de média tensão:

Bitola do cabo de alumínio na MT		35	mm ²
Distância		1,000	km
Sequência +	R+	0,868	Ω
	X+	0,159	Ω
Sequência -	R-	0,868	Ω
	X-	0,159	Ω
Sequência 0	R0	0,868	Ω
	X0	0,159	Ω

Tabela 5 – Modelagem do cabo de média tensão

c) Impedância do transformador de distribuição #16:

Impedância de placa	6	%
Potência nominal de placa	1500	kVA
Tensão MT nominal de placa	11,4	kV
Tensão BT nominal de placa	0,380	kV
X/R	4,1498	adm
Impedância corrigida	4,0000	pu
Resistência corrigida	0,9371	pu
Reatância corrigida	3,8887	pu

Tabela 6 – Impedância do transformador #16

d) Impedância do cabo de baixa tensão:

Bitola do cabo de cobre na BT		95	mm ²
Distância		0,300	km
Sequência +	R+	0,132	Ω
	X+	0,050	Ω
Sequência -	R-	0,132	Ω
	X-	0,050	Ω
Sequência 0	R0	0,132	Ω
	X0	0,050	Ω
Número de condutores por fase		1	adm

Tabela 7 – Modelagem do cabo de baixa tensão

e) Impedância do sistema fotovoltaico:

Potência nominal do sistema FV	692	kW
Fator de potência normativo	0,92	adm
Tensão de parametrização	380	V
Corrente nominal do sistema FV	1143	A
Fator de sobrecorrente (FS)	2	adm
Impedância do sistema na falta*	66,5	pu

Tabela 8 – Modelagem da usina fotovoltaica

f) Modelagem das impedâncias de sequência positiva, negativa e zero:

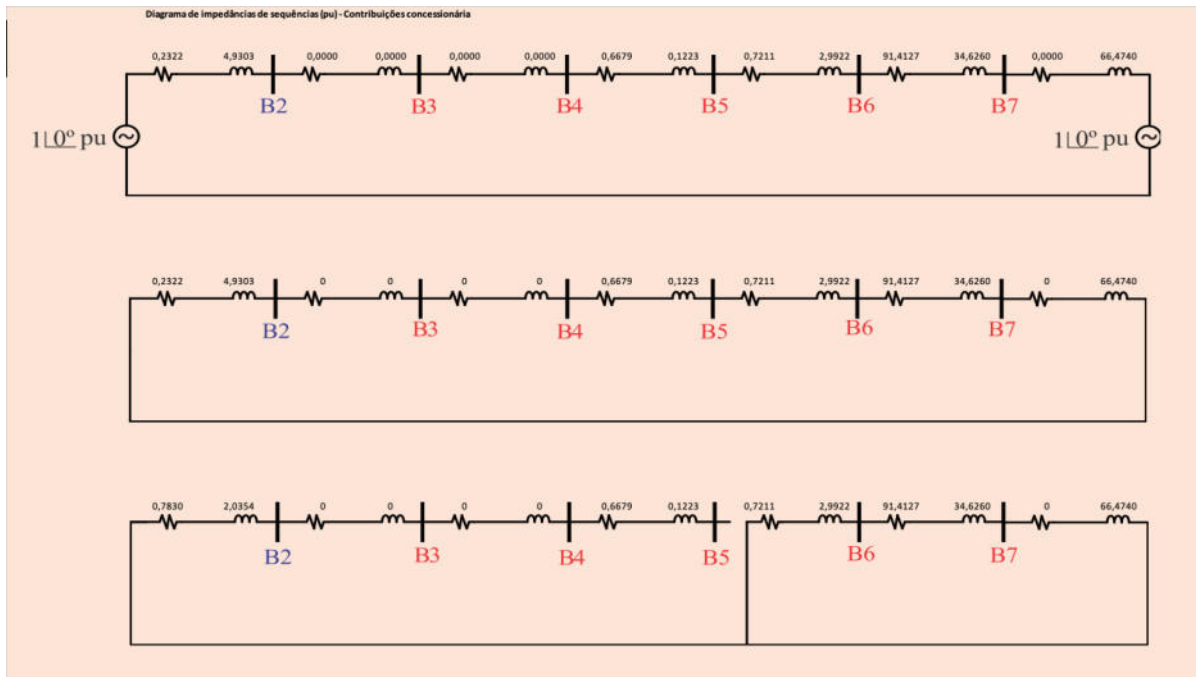


Figura 14: Diagrama das impedâncias seqüências (+), (-) e (0)

g) Correntes de curto-circuito na barra B2 (1,3 kA) – Ponto de Acesso:

Corrente C-C 3Ø:	1054,5 A
Corrente C-C 2Ø:	913,3 A
Corrente C-C 1Ø:	1297,8 A

h) Corrente de curto-circuito na barra B6 (24,5 kA) – Aterramento Y do Secundário do Trafo #16:

Corrente C-C 3Ø:	19480,3 A
Corrente C-C 2Ø:	16870,4 A
Corrente C-C 1Ø:	24484,2 A

i) Corrente de curto-circuito na barra B7 (3,2 kA) – Inversores:

Corrente C-C 3Ø:	3202,6 A
Corrente C-C 2Ø:	2773,5 A
Corrente C-C 1Ø:	3199,5 A

Segundo a norma NBR-5410/2004, o condutor de proteção PEN deve ter seção não inferior a 50% dos condutores de fase.

Além disso, deve atender ao seguinte critério de seção mínima:

$$S_{PEN} \geq \sqrt{(I_k^2 \cdot t)} / k \quad (20)$$

onde $k=143$ para PEN constituído por veia de cabo multipolar, $t \leq 5s$ é o tempo que o condutor deve suportar a falha, e I_k é a corrente de falha. Assim, como $S_{PEN} = 50 \leq 95 \text{ mm}^2$, dimensionamento anterior confirmado.

2.3.4 PARAMETRIZAÇÃO DA PROTEÇÃO DE RETAGUARDA

O religador da concessionária deve ser configurado conforme a seguir:

- a) Ajuste na proteção de fase da concessionária:
 - Corrente primária de partida temporária: 200 A
 - Curva IEC temporizada: MI (alpha=13,5 e n=1)
 - Dial de tempo: 0,1 s
- b) Ajuste na proteção de neutro da concessionária:
 - Corrente primária de partida temporária: 40 A
 - Curva IEC temporizada: tempo definido (alpha=1 e n=1)
 - Dial de tempo: 8 s

2.3.5 PARAMETRIZAÇÃO DA NOVA PROTEÇÃO PRINCIPAL

A demanda contratada precisará ser ajustada para 625 kW, seguindo a produção da usina. Além disso, as seguintes funções do novo relé a ser adquirido, o Pextron URP 6000, precisam ser configuradas:

U _n	Tensão Nominal	11,4	kV		Padrão de fornecimento
D	Demanda Contratada	625	kW		com usina fotovoltaica
Idem	Corrente Demandada	34	A		
FP	Fator de Potencia	0,92	-	min	Indutivo/Capacitivo
32 (1)	Direcional de Potencia	656	kW	15 s	Acessante >> EDP
32 (2)	Direcional de Potencia	656	KW	15 s	EDP >> Acessante
67 (1)	Direcional de Corrente	37	A	Extrema Inversa (k=80; α=2, DT=0,2s)	Acessante >> EDP
		desativada	A	Instantanea	evitar atuação indevida por descordenação
67N (1)	Direcional de Corrente de Neutro	12	A	t=6s	Acessante >> EDP
		desativada	A	Instantanea	evitar atuação indevida por descordenação
67 (2)	Direcional de Corrente	34	A	Extrema Inversa (k=80; α=2, DT=0,1s)	EDP >> Acessante
		614	A	Instantanea	Magnetização do transformador
67N (2)	Direcional de Corrente de Neutro	11	A	t=0,3s	EDP >> Acessante
		184	A	Instantanea	Magnetização do transformador
27	Subtensão, por fase	9,1	kV	5 s	Tempo para atuação
		8,0	kV	1,5 s	Tempo para atuação
59	Sobretensão, por fase	12,5	kV	5 s	Tempo para atuação
		13,7	kV	0,5 s	Tempo para atuação

Tabela 9 – Parametrização das funções de proteção

2.3.6 ESTUDO DE SELETIVIDADE E COORDENAÇÃO

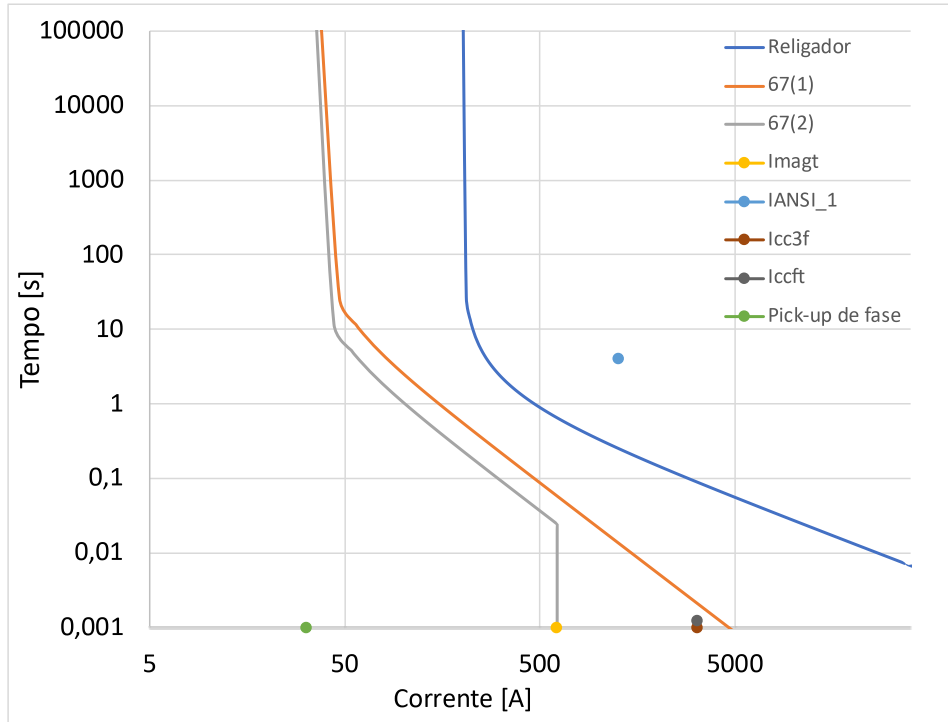


Figura 15: Coordenograma de proteção de fase

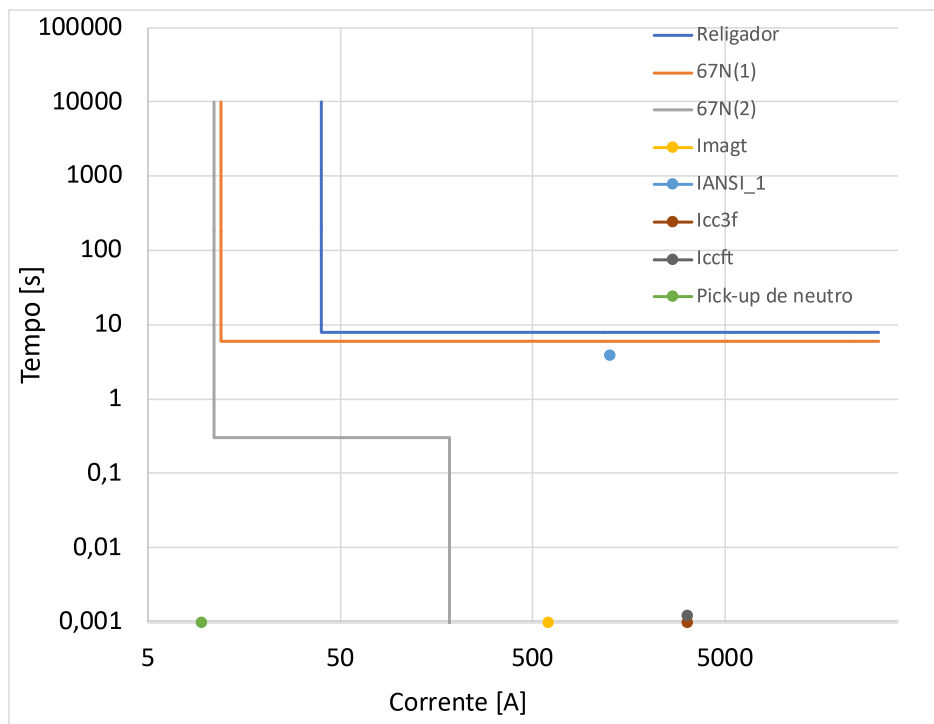


Figura 16: Coordenograma de proteção de neutro

Nas Figuras 15 e 16, é possível verificar que a atuação do relé principal está sempre adiantada com relação a do religador da concessionária.

3- Análise de Viabilidade Econômica

Este capítulo tem por objetivo analisar economicamente a solução proposta e sinalizar eventuais necessidades de alteração no escopo do projeto, visando sua viabilidade.

3.1 REDUÇÃO ESTIMADA NO CONSUMO

Conforme apresentado anteriormente na Seção 1.1, 70% é o máximo percentual de redução possível na conta de energia da empresa, com a implantação de um projeto de geração.

E a demanda contratada precisará ser ajustada em 2,5%, seguindo a produção da usina fotovoltaica de 625 kW.

3.2 ORÇAMENTO DO SISTEMA

3.2.1 MÓDULOS, INVERSORES E ESTRUTURAS DE MONTAGEM

Os equipamentos do sistema fotovoltaico foram orçados em R\$2.401.252,24 pela PHB Eletrônica, mais o relé Pextron 6000, orçado em R\$13.900,00.

3.2.2 SERVIÇO DE MONTAGEM

O serviço de montagem do sistema foi orçado em R\$407.387,50, ou R\$0,50/Wp instalado, conforme detalhes a seguir:

- a) 1495 módulos de 545 Wp a instalar, totalizando 815 kWp, mais 5 inversores de 125 kWp e cabos;
- b) 10 técnicos eletricitas, salários e encargos;
- c) 10 auxiliares técnicos, salários e encargos;
- d) 1 engenheiro eletricitista, salários e encargos, como coordenador da obra e responsável técnico da instalação;
- e) Diárias de hospedagem, alimentação e transporte para todos;
- f) 5 equipes de 1 técnico + 1 auxiliar são responsáveis por montar 300 módulos cada;
- g) As outras 5 equipes são responsáveis por instalar 1 inversor cada e passar os cabos de média e baixa tensão, interligando-os aos equipamentos ao final da montagem;
- h) Kit individual de EPI's para trabalho em altura e com eletricidade;
- i) Kit individual de ferramentas;
- j) Certificações para todos os colaboradores da obra em NR10 e NR35;
- k) Prazo estimado de 30 dias úteis, ou 6 semanas para conclusão.

3.2.3 SERVIÇOS DE ENGENHARIA E CONTINGÊNCIAS

Foi reservado mais 10% dos custos com materiais para contingências.

3.2.4 ORÇAMENTO TOTAL

O total a investir pela empresa é de R\$3.064.054,96.

3.3 DESPESAS ADICIONAIS

3.3.1 MANUTENÇÃO

Foi estimado um custo mensal R\$13.636,00, o equivalente a 0,5% do valor do investimento, para cobrir despesas com pessoal, material e serviços de manutenção relativos à conservação do sistema de geração fotovoltaico.

3.3.2 LIMPEZA

Foi estimado um custo mensal de R\$3636,00 relativo a 1 colaborador totalmente dedicado à limpeza bimestral de todos os módulos fotovoltaicos, a forma de garantir o bom desempenho do processo de geração de energia.

a) Salário:	R\$2424,00	(2 SM em 2022)
b) Encargos s/ salário:	50%	
c) Turno de trabalho: Administrativo	5 dias/semana;	8,8 horas/dia.
d) Total de módulos:	1495	
e) Disponibilidade:	305 dias	férias + feriados nacionais
f) Frequência da limpeza: bimestral	6 vezes no ano,	100% módulos
g) Takt-time:	3,34 / hora	~ 18 min por módulo

3.3.3 AJUSTE NA DEMANDA CONTRATADA

A nova demanda contratada deve refletir a potência dos inversores do sistema fotovoltaico. Assim, os 610 kW devem ser ampliados para 625 kW, representando um custo adicional de 15 kW a R\$17,54874 mais 28,962% em impostos embutidos, num total mensal de R\$370,55.

3.3.4 SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS POR VIDA ÚTIL

A vida útil da usina foi estimada em 25 anos, baseada na garantia de produção que o fabricante estipula para os módulos fotovoltaicos, e correspondem a maior parte do investimento. Os inversores são equipamentos eletrônicos sensíveis, e devem ser substituídos a cada 15 anos. Assim, foi estimado um custo adicional de R\$325.000,00 para a troca dos 5 equipamentos.

3.4 FLUXO DE CAIXA

Fluxo de Caixa	Saldo Acumulado Simples	Fluxo Descont.	Saldo Acumulado Descontado
-R\$ 2.462.833	-R\$ 2.462.833	-R\$ 2.462.833	-R\$ 2.462.833
R\$ 638.318	-R\$ 1.824.515	R\$ 585.613	-R\$ 1.877.220
R\$ 677.647	-R\$ 1.146.868	R\$ 570.362	-R\$ 1.306.858
R\$ 711.468	-R\$ 435.400	R\$ 549.384	-R\$ 757.474
R\$ 738.365	R\$ 302.965	R\$ 523.076	-R\$ 234.398
R\$ 765.970	R\$ 1.068.936	R\$ 497.828	R\$ 263.430
R\$ 794.277	R\$ 1.863.213	R\$ 473.602	R\$ 737.032
R\$ 823.275	R\$ 2.686.488	R\$ 450.360	R\$ 1.187.392
R\$ 852.952	R\$ 3.539.440	R\$ 428.068	R\$ 1.615.460
R\$ 883.289	R\$ 4.422.729	R\$ 406.691	R\$ 2.022.150
R\$ 914.266	R\$ 5.336.995	R\$ 386.196	R\$ 2.408.346

Tabela 10 – Fluxo de caixa do projeto, previsão para 10 anos

3.5 ANÁLISE DA VIABILIDADE

3.5.1 TIR – TAXA INTERNA DE RETORNO

A taxa interna de retorno calculada para a série de fluxo de caixa de 10 anos ficou em 26,7%.

3.5.2 VPL – VALOR PRESENTE LÍQUIDO

O valor presente líquido da série foi calculado em R\$3.173.001,87.

3.5.3 PAYBACK – RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO

O retorno sobre os investimentos foi calculado de duas formas: simples e descontado.

O retorno simples, sem correção monetária da inflação, ficou em 3,6 anos. E o retorno descontado, com a correção, ficou em 4,5 anos.

3.5.4 FINANCIAMENTO EXTERNO

Um estudo adicional foi feito para verificar a viabilidade de se adotar um financiamento externo, conforme regras de mercado hoje em vigor:

- Carência de 120 dias,
- Prazo de pagamento de 5 anos,
- Taxa anual efetiva para financiamento de 14,0%.

A análise global do efeito do financiamento sobre o retorno do investimento está na Figura 17 a seguir:

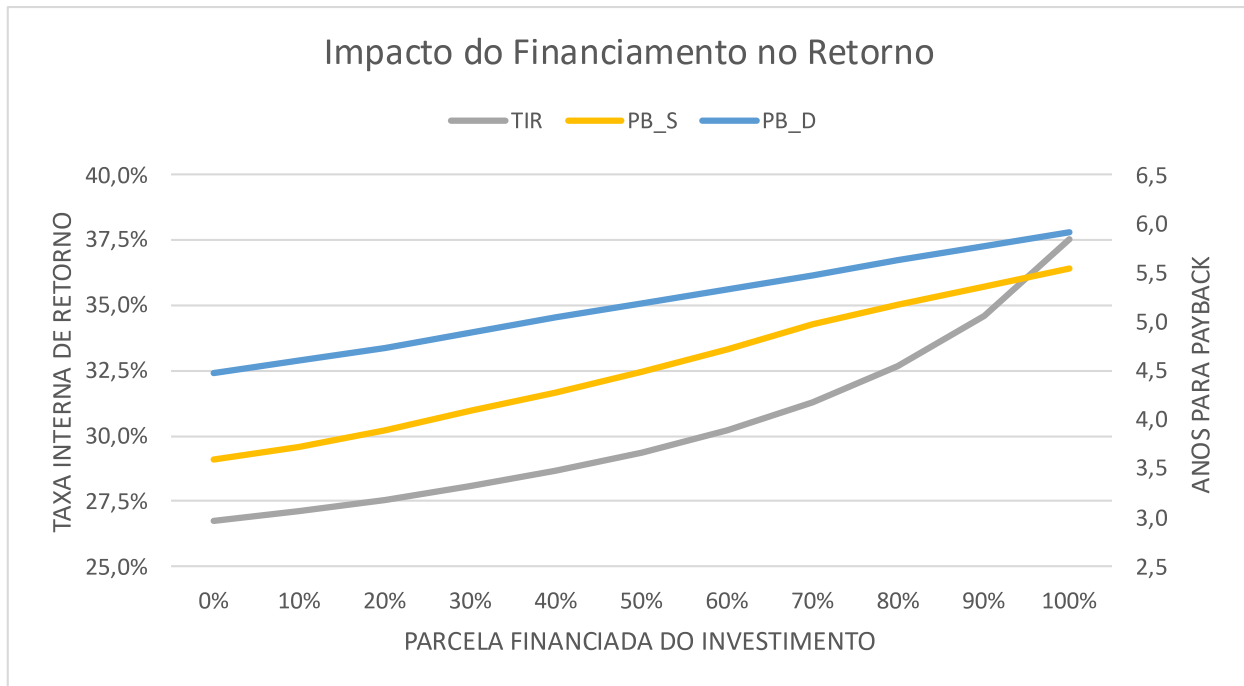


Figura 17: Viabilidade do financiamento

O estudo mostra que o financiamento pode ser uma alternativa bastante interessante para as empresas que não queiram se descapitalizar. Há uma degradação esperada no payback de 1,5 a 2,0 anos, aproximadamente, mas em contrapartida a TIR pode evoluir positivamente em até 10%.

Em resumo, é uma opção interessante a ser considerada na avaliação da viabilidade global do projeto pela empresa.

4- Projeto Elétrico

4.1 PROJETO ELÉTRICO: DIAGRAMA UNIFILAR

A Figura 18 apresenta o digrama unifilar da instalação elétrica trifásica (3F+N) com tensão fase-fase (ou de linha) de 380 V eficaz. Uma usina solar fotovoltaica é conectada à esta UC, de onde as seguintes características elétricas do sistema podem ser enumeradas:

- ✓ Medidor de energia bidirecional;
- ✓ Disjuntor CA tripolar a vácuo de 630 A do padrão de entrada;
- ✓ Condutores CA em alumínio, para distribuição da média tensão, bitola de 35 mm² e isolamento XLPE para 8,7/15 kV, dispostos aéreos em postes / leito ao longo do galpão fabril.
- ✓ Transformador #16 de distribuição de potência aparente de 1500 kVA, 380/220 V, impedância 6%;
- ✓ Carga atual instalada da unidade consumidora de 610 kW, evoluindo para 625 kW em função da usina fotovoltaica;
- ✓ Condutores CA em cobre, para conexão dos inversores ao transformador #16, bitola de 95 mm² e isolamento (H)EPR para 1 kV, dispostos aéreos em bandeja perfurada internamente ao galpão fabril;
- ✓ DPS CA - dispositivos de proteção contra surtos (fase-terra) em CA - de 275 V, classe 2, corrente nominal de 45 kA;
- ✓ Disjuntores CA tripolar de 250 A;
- ✓ Inversores FV de 125 kW para 380 V_{CA} e faixa de operação de 180 a 1000 V_{CC}, com 12 MPPTs e 2 entradas para séries fotovoltaicas por MPPT;
- ✓ 13 módulos por série fotovoltaica;
- ✓ Dispositivo de seccionamento CC de 35 A / 1 kV, para isolamento do lado CC da string box;
- ✓ DPS CC - dispositivo de proteção contra surtos em CC - de 1 kV, classe 2, corrente nominal de 20 kA;
- ✓ Condutores "solar" CC, para conexão das séries fotovoltaicas aos inversores, de bitola 4 mm² e isolamento XLPE para 1 kV;
- ✓ Módulos fotovoltaicos de 545 Wp, dispostos em 2 séries de 13 módulos por MPPT dos inversores, totalizando 815 kWp de potência instalada.

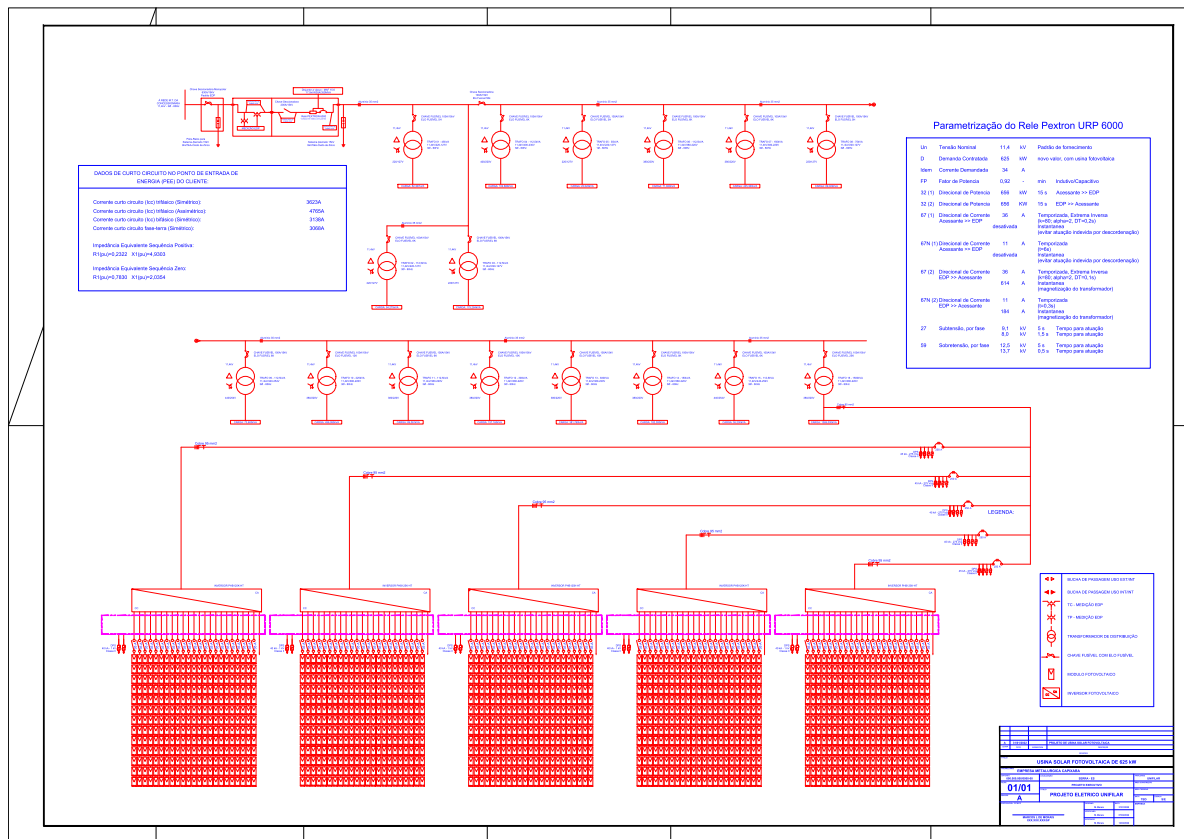


Figura 18: Diagrama unifilar da UC após a instalação da usina solar fotovoltaica.

4.2 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 em uma unidade consumidora de pessoa física. Os seguintes itens devem ser abordados neste documento:

- ✓ 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 a empresa 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 a empresa 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.

5- Conclusão

A indústria brasileira atualmente sofre muita concorrência, seja no mercado externo ou interno, e a eficiência na gestão dos custos diretos é determinante na definição da sua sobrevivência.

Na indústria mecânica da transformação, em particular, a energia elétrica assume uma importância especial pela intensidade com que participa dos processos fabris, sejam de potência ou de controle. Assim, viabilizar uma usina fotovoltaica para geração de energia num ambiente industrial competitivo significa dar um folego adicional para a empresa competir num ambiente hostil, sempre de forma sadia, sem comprometer a qualidade ou prazos de entrega, e mantendo a rentabilidade mínima que garante a sua continuidade.

O projeto em questão mostra a viabilidade econômica desta geração e sua complexidade inerente, como a escolha dos espaços necessários para a instalação dos equipamentos, a concorrência com outros sistemas industriais existentes e o financiamento dos custos, por exemplo.

É um projeto viável do ponto de vista estratégico, apresentando retornos coerentes com o ambiente de negócios em que a empresa está inserida, e dando previsibilidade na evolução de uma parcela de seus custos diretos bastante importante, garantindo condições para que outros investimentos estratégicos em ativos de longo prazo possam ser também realizados com mais confiança.

Além disso, a geração de energia limpa fotovoltaica contribui para minimizar as emissões globais de carbono na atmosfera e tornar a empresa ainda mais verde e sustentável, contribuindo inclusive para uma divulgação positiva de sua imagem perante seus clientes.

6- Referencias Bibliográficas

- [1] CRESESB, [Online]. Available:
<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>
- [2] HORAS DE SOL PLENO, [Online]. Available:
<https://blog.entecsolar.com.br/o-que-e-tabela-hsp-e-qual-e-a-tabela-do-brasil>
- [3] ESTIMATE, [Online]. Available:
https://www.gesep.ufv.br/?page_id=1083
- [4] Artigo no Blog da ECORI Energia Solar, [Online]. Available:
<https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/sistema-de-aterramento-vs-sistema-fotovoltaico-e-o-que-ainda-nao-te-contaram>
- [5] PRODIST, Aneel, [Online]. Available:
<https://www.aneel.gov.br/prodist>
- [6] NBR-5410/2008 – Instalações elétricas de baixa tensão
- [7] NBR-14.039/2021 - Instalações elétricas de média tensão
- [8] NBR-16.690/2012 - Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos
- [9] NBR-16.612/2020 – Cabos de potência CC para sistemas fotovoltaicos
- [10] NBR-10.899/2013 - Energia solar fotovoltaica - Terminologia
- [11] Aneel REN-77/2004 - Procedimentos vinculados à redução das tarifas
- [12] IEC-60.364-7-712/2017 – Low voltage electrical installations
- [13] Greener, “ESTUDO ESTRATÉGICO MERCADO FOTOVOLTAICO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA”, 2019.

7- Anexos


- 7.1 CONTA DE ENERGIA DA EMPRESA**
- 7.2 DATASHEET DOS MODULOS LONGI**
- 7.3 DATASHEET DOS INVERSORES PHB**
- 7.4 ORÇAMENTO DO KIT PELA PHB ELETRONICA**
- 7.5 CABO BT COBRECOM SUPERATOX FLEX (H)EPR 90 - 0,6/1 kV**
- 7.6 CABO MT INDUSCABOS TRIPLEX AL XLPE 90 - 8,7/15 kV**
- 7.7 CABO SOLAR NEXANS ENERGYFLEX BR AFITOX 120 - 0,6/1 kV**
- 7.8 REGISTRO INMETRO DO INVERSOR PHB**
- 7.9 MEMORIAL DESCRITIVO**
- 7.10 DIAGRAMA UNIFILAR DA USINA FOTOVOLTAICA**
- 7.11 FORMULARIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO PARA MINI-GERAÇÃO DISTRIBUIDA**



EDP Espírito Santo Distribuição de Energia S.A.
Rua Florentino Faller, nº 80 - 1º, 2º e 3º Andar
Salas 101, 102, 201, 202, 301 e 302 - Edifício Maxxi I
Bairro Enseada do Suá - Vitória - ES - CEP 29050-310
CNPJ 28.152.650/0001-71 Insc. Estadual 080.250.16-5
Nota Fiscal / Conta de Energia Elétrica nº 077.126.217

Emissão autorizada pelo
Regime Especial REOA nº 021/2020
Processo nº 2020-9DS46

1 / 3

Cliente / Endereço de Entrega	Número da Instalação	Conta do Mês Outubro/2021
	Central de Atendimento 0800 721 5671	Período de Faturamento
	83081874 	Emissão: 01/11/2021 Leitura Anterior: 30/09/2021 Leitura Atual: 31/10/2021 Nº dias de Faturamento: 31 PREV. PRÓXIMA LEITURA 30/11/2021

Bandeiras Tarifárias	Local de Consumo
Bandeira Tarifária Vigente na Data de Faturamento: ESCASSEZ HÍDRICA Nº dias Fat. Bandeira Escassez Hídrica : 31 dias (01/10/2021 a 31/10/2021)	
Informações sobre o sistema de bandeiras tarifárias estão disponíveis no site da ANEEL (www.aneel.gov.br)	

Dados do Contrato	Demonstrativo de Valores	
Grupo: A Subgrupo: A4 Modalidade Tarifária: VERDE LIVRE Classe/Subclasse: INDUSTRIAL Tipo de Fornecimento: TRIFÁSICO Tensão Nominal: Tensão Contratada: 11.400 V Perdas Transformação: Demanda Ponta: Demanda Fora Ponta: 610,0000 Período de Faturamento: 01/10/2021 A 31/10/2021 Horário de Ponta: 18:00:00 A 21:00:00	Descrição	Valor R\$
	Fornecimento de energia elétrica	34.116,58
	Consumo	11.551,99
	Demanda	8.456,25
	Demanda não utilizada	2.248,48
	ERE-Energia Reativa Excedente	1.979,18
	Tributos	B. Cálculo
	PIS	307,05
	PIS	23.457,29
	PIS demanda não utilizada	2.430,79
	utilizada	307,05
	COFINS	23.457,29
	COFINS demanda não utilizada	2.430,79
	ICMS	31.685,79
	Disponibilização dados medição	123,96
	Contribuição de Ilum. Pública - Lei Municipal 5125/2019	463,89

Data de Vencimento	Valor Total a Pagar (R\$)
13/12/2021	34.704,43

Mensagem
EM ADEQUAÇÃO À REN 932/21, ONDE SE LÊ: IGP-M, LEIA-SE: IPCA. VOCÊ NÃO ESTÁ SOZINHA! EM CASO DE VIOLÊNCIA DOMÉSTICA LIGUE 180. ATENDIMENTO PSICOSSOCIAL MULHER-SERRA 3328-7500,99836-2909



Central de Atendimento Poder Público e Grandes Clientes - Telefone: 0800 721 5671
 Horário Comercial: de segunda a sexta-feira - das 08h00 às 17h00
 e-mail: grandesclientes.es@edpbr.com.br
 Atendimento emergencial 24 horas - 0800 721 0707
 Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL: Tel. 167
 (Ligação gratuita de telefones fixos e móveis)



2 / 3

Local de Consumo	Aviso
	Agradecemos a pontualidade no pagamento

Detalhes de Faturamento						
Descrição	Quantidade Faturada	X	Preço Unitário	(TUSD + TE)	Total (R\$)	
TUS - Energia Ponta	4.678,5600 KWH		1,30315000	+	0,00000000	6.096,87
TUS Energia FPonta	97.043,9400 KWH		0,08374000	+	0,00000000	8.126,46
Desc.RES77/04 TUS-Energia Pta						2.767,77 -
Ajuste desc. Res77 Energia Pta 07/2021						96,43
TUS - Demanda	479,5200 KW		33,47000000	+	0,00000000	16.049,53
Desc. REN nro.77/04 - Demanda						7.786,28 -
Ajuste desc. Res77 Demanda 07/2021						193,00
TUS - Demanda Não Utilizada	130,4800 KW		33,47000000	+	0,00000000	4.367,17
Desc. REN nro.77/04 - Demanda						2.118,69 -
TUS - ERE-Energia Reat. Exced.	7.087,2300 KWH		0,00000000	+	0,27926000	1.979,18

Dados de Leitura					
Descrição	Medidor	Leitura Anterior	Leitura Atual	Constante Multiplicação	Quantidade Apurada
Energia Ativa Ponta	14573600	758.584	775.912	0,27000	4.678,5600 KWH
Energia Ativa Fora Ponta	14573600	11.752.674	12.112.096	0,27000	97.043,9400 KWH
Demanda Máxima Ponta	14573600	0	323	1,08000	348,8400 KW
Demanda Máxima FPonta	14573600	0	444	1,08000	479,5200 KW
Energia Reativa Ponta	14573600	182.067	187.485	0,27000	1.462,8600 KVH
Energia Reativa FPonta	14573600	6.455.420	6.707.460	0,27000	68.050,8000 KVH
DMCR Ponta	14573600	0	1.335	0,27000	360,4500 KW
DMCR Fora Ponta	14573600	0	1.852	0,27000	500,0400 KW
ERE Ponta	14573600	17.411	17.701	0,27000	78,3000 KWH
ERE Fora Ponta	14573600	525.949	551.908	0,27000	7.008,9300 KWH
Demanda Contratada		0	0	0,00000	610,0000 KW

VALID



Central de Atendimento Poder Público e Grandes Clientes - Telefone: 0800 721 5671
 Horário Comercial: de segunda a sexta-feira - das 08h00 às 17h00
 e-mail: grandesclientes.es@edpbr.com.br
 Atendimento emergencial 24 horas - 0800 721 0707
 Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL: Tel. 167
 (Ligação gratuita de telefones fixos e móveis)



3 / 3

Local de Consumo	Mensagem (Continuação)

Informações Importantes

- Informações Suplementares, Condições Gerais de Fornecimento, Tarifas, Contribuição de Iluminação Pública, Produtos, Serviços Prestados, Impostos se encontram a disposição para consulta em nossas Lojas Comerciais e no site da EDP: www.edponline.com.br.
- É direito do Cliente, conforme Módulo 8-PRODIST, solicitar apuração dos indicadores DIC, FIC, DMIC, a qualquer tempo assim como receber uma compensação financeira quando houver violação dos padrões de continuidade.
- Os valores relativos aos nossos serviços são cobrados apenas nas contas de energia elétrica.
- O atraso no pagamento da fatura incidirá multa de 2%, juros moratórios de 1% ao mês e atualização monetária que serão incluídos na fatura do próximo mês.
- O pagamento, mesmo após o vencimento, deve ser realizado na rede de bancos ou agentes arrecadadores credenciados amplamente divulgada em sua localidade.
- A EDP não possui cobradores domiciliares.
- Para pagamento em cheque, a quitação da conta de energia elétrica estará condicionada à sua compensação.

Histórico de Consumo

Mês/Ano	Energia Ativa			Demanda		Ultrapassagem		Dem.Reat.Excedente		En. Reat. Excedente	Total da Fatura R\$
	Ponta	Fora Ponta	Reservado	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta		
10/21	4678.6	97043.9			479.5			500.0	7087.2		34.704,43
09/21	6093.1	94537.8			563.8			544.1	5807.7		33.988,80
08/21	6782.4	96657.3			562.7			500.9	3233.3		33.615,00
07/21	8326.3	102148.8			499.0			460.6	725.8		31.927,42
06/21	6407.6	84398.5			536.8			541.4	8551.2		30.041,43
05/21	7254.1	103808.5			568.1			551.6	15859.0		36.520,18
04/21	5147.8	91034.3			516.2			508.4	7561.9		30.027,48
03/21	7023.0	117334.7			590.8			575.1	9701.6		36.829,57
02/21	5678.1	90322.0			524.9			509.8	6331.0		29.834,55
01/21	6009.7	100020.4			513.0			496.5	5963.5		31.436,92
12/20	4895.1	84893.1			517.3			504.6	4051.4		29.218,71
11/20	4934.0	91547.3			556.2			463.6	798.9		27.920,20
10/20	4771.7	99766.1			569.2			506.8	771.1		28.706,90

Hi-MO 5m

LR5-72HPH 525~550M

- Based on M10-182mm wafer, best choice for ultra-large power plants
- Advanced module technology delivers superior module efficiency
 - M10 Gallium-doped Wafer
 - Smart Soldering
 - 9-busbar Half-cut Cell
- Excellent outdoor power generation performance
- High module quality ensures long-term reliability

12 12-year Warranty for Materials and Processing

25 25-year Warranty for Extra Linear Power Output

Complete System and Product Certifications

IEC 61215, IEC 61730, UL 61730
 ISO 9001:2008: ISO Quality Management System
 ISO 14001: 2004: ISO Environment Management System
 TS62941: Guideline for module design qualification and type approval
 OHSAS 18001: 2007 Occupational Health and Safety

LONGI



Hi-MO 5m

LR5-72HPH 525~550M

21.5%
MAX MODULE
EFFICIENCY

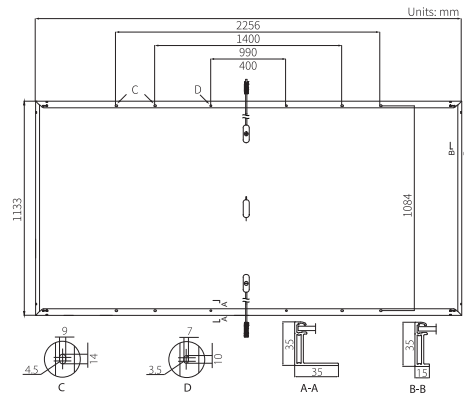
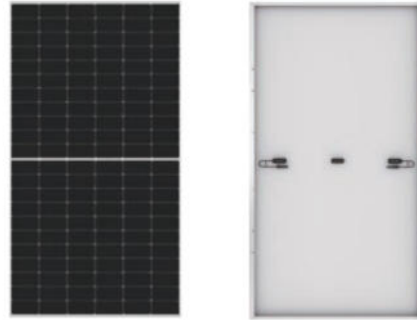
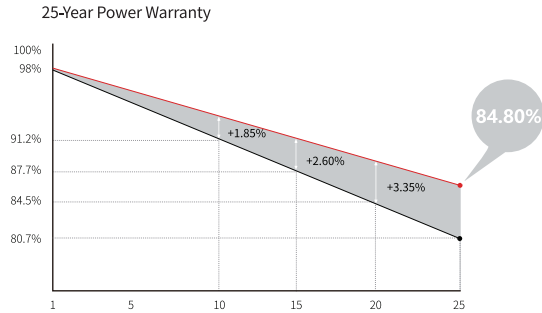
0~+5W
POWER
TOLERANCE

<2%
FIRST YEAR
POWER DEGRADATION

0.55%
YEAR 2-25
POWER DEGRADATION

HALF-CELL
Lower operating temperature

Additional Value



Mechanical Parameters

Cell Orientation	144 (6×24)
Junction Box	IP68, three diodes
Output Cable	4mm ² , positive 400 / negative 200mm length can be customized
Glass	Single glass, 3.2mm coated tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy frame
Weight	27.2kg
Dimension	2256×1133×35mm
Packaging	31pcs per pallet / 155pcs per 20' GP / 620pcs per 40' HC

Electrical Characteristics

STC : AM1.5 1000W/m² 25°C Test uncertainty for Pmax: ±3%

	525	530	535	540	545	550
Power Class	525	530	535	540	545	550
Maximum Power (Pmax/W)	525	530	535	540	545	550
Open Circuit Voltage (Voc/V)	49.05	49.20	49.35	49.50	49.65	49.80
Short Circuit Current (Isc/A)	13.65	13.71	13.78	13.85	13.92	13.98
Voltage at Maximum Power (Vmp/V)	41.20	41.35	41.50	41.65	41.80	41.95
Current at Maximum Power (Imp/A)	12.75	12.82	12.90	12.97	13.04	13.12
Module Efficiency(%)	20.5	20.7	20.9	21.1	21.3	21.5

Operating Parameters

Operational Temperature	-40°C ~ +85°C
Power Output Tolerance	0 ~ +5 W
Voc and Isc Tolerance	±3%
Maximum System Voltage	DC1500V (IEC/UL)
Maximum Series Fuse Rating	25A
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C
Protection Class	Class II
Fire Rating	UL type 1 or 2

Mechanical Loading

Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s

Temperature Ratings (STC)

Temperature Coefficient of Isc	+0.048%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.270%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.350%/°C



Floor 19, Lujiazui Financial Plaza, Century Avenue
826, Pudong Shanghai, China
Tel: +86-21-80162606
Web: en.longi-solar.com

Specifications included in this datasheet are subject to change without notice. LONGI reserves the right of final interpretation. (20201231V12)

INVERSOR SOLAR FOTOVOLTAICO TRIFÁSICO PHB

73kW(220/127V)
125kW (380/220V)



Adequados para sistemas comerciais e industriais. Possui design moderno e inovador que facilita o manuseio e instalação.

PHB73K-HT INVERSOR FOTOVOLTAICO

PHB125K-HT INVERSOR FOTOVOLTAICO

Atende as Normas: ABNT NBR 16149; ABNT NBR 16150; ABNT NBR IEC 62116.

Possui a garantia de 7 anos para defeito de fabricação. (consultar o termo de garantia).

String Box integrada, reduzindo tempo e área de instalação.

Configuração de saída permite conexão com a rede usando 3 Fases + Neutro ou 3 Fases. Redução de custo do sistema com a eliminação do neutro.

EXCELENTE DESEMPENHO

- ✓ Eficiência Máxima de até 98,6%
- ✓ Eficiência do MPPT > 99,9%
- ✓ THDi menor que 3%
- ✓ Tensão de partida 200V
- ✓ 12X MPPT

ALTA SEGURANÇA

- ✓ IP66 anti-poeira e à prova d'água
- ✓ Atende as normas brasileiras;
- ✓ Atende as tensões módulo 8 PRODIST
- ✓ Registro do INMETRO:
PHB73K-HT 004919/2021
PHB125K-HT 004920/2021

PROJETO ORIENTADO PARA O CLIENTE

- ✓ LCD em português
- ✓ Fácil e rápida instalação
- ✓ Peso 98,5 kg
- ✓ Adequado para instalações, comerciais e industriais
- ✓ Interface de comunicação: Bluetooth, RS485, SERIAL e WI-FI
- ✓ String Box Integrada
- ✓ Saída configurável: (3F+N) ou (3F)



Rua São Bernardino nº 12
Pq. Anhanguera - CEP: 05120-050
São Paulo - SP



(11) 3648-7830
contato@phb.com.br



Dados técnicos

Dados da Entrada CC		
Modelo	PHB73K-HT	PHB125K-HT
Max. Tensão CC [V]	800	1100
Faixa de Operação SPMP [V]	180~650	180~1000
Tensão CC de Partida [V]	200	200
Corrente CC Máxima [A]	12*30A	12*30A
Número de Strings / MPPT	24/12	24/12
Conector CC	MC4	
String Box Integrada	Interruptor/ Seccionador CC (IEC60947-1 e IEC60947-3) DPS CC classe II (EN50539-11)	
Dados da Saída CA		
Potência CA Nominal [W]	73000	125000
Max. Corrente CA [A]	191,3	191,3
Saída Nominal CA	220/127Vca; 60Hz	380/220Vca; 60Hz
Faixa de Operação CA	101,6~139,7Vca; 57,5~62Hz	176~242Vca; 57,5~62Hz
THD	<3%	
Fator de Potência	Unitário (0.8 Capacitivo. / 0.8 Indutivo)	
Conexão CA	Trifásico (3F+N+PE) ou (3F+PE)	
Eficiência		
Max. Eficiência	98,4%	98,6%
Eficiência SPMP	>99,9%	
Segurança do Equipamento		
Monitoramento de corrente de fuga	Integrado	
Proteção Anti-ilhamento	AFD	
Monitoramento de Rede	VDE-AR-N 4105, VDE 0126-1-1/A1, RD1699, G59/2, AS4777.2/3	
NBR (Normas Brasileiras)	ABNT NBR 16149, 16150 e ABNT NBR IEC 62116	
Normas de Referência		
EMC	EN 61000-6-1, EN 61000-6-2 e EN 61000-6-3, EN 61000-6-4	
Segurança	IEC 62109-1, AS3100	
Dados Gerais		
Dimensões (L*A*P) [mm]	1005*676*340	
Peso Líquido [kg]	98,5	
Ambiente de Operação	Interno ou Externo	
Montagem	Fixado na parede	
Temperatura de Operação	-30~60°C	
Umidade relativa	0~100%	
Altitude [m]	<4000m	
Grau de Proteção IP	IP66	
Topologia	Sem Transformador	
Ventilação	Ventilação Forçada	
Display	LCD (Português)	
Comunicação	Bluetooth/SERIAL / RS485/ Wi-Fi	
Cor	Vermelho	
Garantia [anos]	7/10/15/20/25 (opcional)	

A PHB Solar mantém uma estrutura de equipamentos calibrados, "setups" de testes e técnicos treinados, para proporcionar aos seus clientes um rápido serviço de reparo.



Rua São Bernardino nº 12
Pq. Anhanguera - CEP: 05120-050
São Paulo - SP



(11) 3648-7830
contato@phb.com.br



Data: 17/01/2022

Validade: 24/01/2022

Integrador: Heverton Augusto Pereira

Cliente: Heverton Augusto Pereira

Proposta: 220117724255

PHB SOLAR

Orçamento de Sistema
Fotovoltaico

Composição básica do kit.

LISTA DE MATERIAIS

ITEM	UNIDADE	QUANTIDADE
1 - 6016007006 - MODULO 545WP - MONO - HC; (LR5-72HPH-545M) LONGI	PC	1500
2 - 6000012609 - PHB125K-HT, INVERSOR FV TRI 380V/12MPPT/DPS II	PC	5
3 - 6006023601 - QDCA/106,CJ.QUADRO DE PROT.CA-SOLAR(250A DJ. AC)TRIFÁSICO 380V	PC	5
4 - 2034001103 - GRAMPO TERMINADOR 35MM EM ALUMÍNIO	PC	120
5 - 2034001905 - EMENDA P/ PERFIL DE ALUMINIO	PC	540
6 - 2034002003 - GRAMPO DE ATERRAMENTO	PC	60
7 - 2034002102 - ABRAÇADEIRAS DE AÇO PARA CABOS	PC	1500
8 - 2034002508 - CLIP DE AÇO P/ ATERRAMENTO ESTRUTURA - MÓDULOS	PC	2940
9 - 2034005307 - GRAMPO INTERMEDIÁRIO 35MM EM ALUMÍNIO	PC	2940
10 - 2034021307 - JUMPER DE ATERRAMENTO P/ PERFIL ALUMINIO	PC	540
11 - 2034033803 - HOOK DE ALUMINIO A5# 45MM - METALICA C/ PARAFUSO MÉTRICO M8 E PORCA AUTOTRAVANTE	PC	2400
12 - 2034063109 - PERFIL DE ALUMINIO ANODIZADO P/ MODULOS FV (5,86M)	PC	600
13 - 0835000107 - CABO SOLAR PRETO COM PROTEÇÃO UV 4,0MM2	M	3000
14 - 0835000305 - CABO SOLAR VERMELHO COM PROTEÇÃO UV 4,0MM2	M	3000
15 - 0835000503 - CABO SOLAR VD/AM COM PROTEÇÃO UV 6,0MM2	M	270
16 - 1011050909 - CONECTOR MC4 MACHO+FEMEA P/ MODULO LONGI	PC	150

Data: 17/01/2022

Validade: 24/01/2022

Integrador: Heverton Augusto Pereira

Cliente: Heverton Augusto Pereira

Proposta: 220117724255

PHB SOLAR

Orçamento de Sistema
Fotovoltaico

Composição básica do kit.

ESTRUTURA

LAYOUT		NÚMERO DE FILEIRAS	MÓDULOS POR FILEIRA	TOTAL DE MÓDULOS
	Retrato	30	50	1500

Data: 17/01/2022
Validade: 24/01/2022
Integrador: Heverton Augusto Pereira
Cliente: Heverton Augusto Pereira
Proposta: 220117724255

PHB SOLAR
Orçamento de Sistema
Fotovoltaico

Pagamento.

PAGAMENTO À VISTA

Valor do kit	R\$ 2.401.252,24
Frete	R\$ 0,00
Total	R\$ 2.401.252,24

Dados bancários

Banco	Bradesco (237)
Agência	1998-4
C/C	606-8

PHB ELETRÔNICA LTDA

Rua São Bernardino, 12 - Pq. Anhanguera

São Paulo - SP - Brasil - CEP 05120-050

Tel.:(11)3835-8300

CNPJ: 53.977.021/0001-28

CNPJ Filial 03 - Barueri: 53.977.021/0005-51

Inscr. Est: 111.173.296.110

PHB Eletrônica Ltda Rua São Bernardino 12
São Paulo - SP - 05120-050 Fone: (11)3835-8300

5



CABO SUPERATOX FLEX HEPR 90 °C

0,6/1 kV (2, 3 e 4 condutores)



Descrição: Para tensões nominais até 0,6/1 kV, formado por fios de cobre nu, eletrolítico, têmpera mole, encordoamento Classes 4 e 5 (flexíveis), isolado com composto termofixo Etileno Propileno (HEPR NÃO HALOGENADO), de alto módulo para 90 °C, veias torcidas entre si, formando o núcleo, Cobertura com polimérico, tipo poliolefinico não halogenado para 90 °C, com características de não propagação e auto-extinção do fogo e com baixa emissão de fumaça.

Normas básicas aplicáveis: Requisitos do produto - NBR 13248 da ABNT - Cabos de potência e condutores isolados sem cobertura, não halogenados e com baixa emissão de fumaça, para tensões até 1 kV - Requisitos de desempenho. Formação do condutor e Resistência elétrica - NBR NM-280 da ABNT/Mercosul.

Aplicação: São indicados nos circuitos de alimentação e distribuição de energia elétrica para até 0,6/1 kV, nas instalações fixas comerciais, residenciais e industriais que requeiram flexibilidade nas instalações de painéis, caixas de derivação e etc. Para utilização em locais com alta densidade de ocupação e/ou em condições difíceis de fuga (Estádios de futebol, shopping center, hospitais, escolas, cinemas, teatros, hotéis, torres comerciais e residenciais, centro de convenções e metrô), conforme recomendado pelas normas NBR 5410 e 13570 da ABNT. Os cabos SUPERATOX FLEX HEPR 90 °C 0,6/1 kV da COBRECOM oferecem maior segurança por apresentarem



IFC/COBRECOM CABO SUPERATOX FLEX HEPR 90°

características especiais de não propagação e auto-extinção de fogo e baixa emissão de fumaça, sendo isento de halogênio, resultando um pequeno desprendimento de gases não tóxicos e isentos de ácidos, minimizando os danos às pessoas, equipamentos e ao meio ambiente.

Cores: Isolação - Conforme tabela abaixo (Cores especiais, consultar dpto de vendas)
- Cobertura - Preto.

Acondicionamento: Em rolos de 100 metros, bobinas de madeira com 500 metros ou lances específicos sob consulta.

SEÇÃO NOMINAL mm²	REFERÊNCIA	CLASSE ENCORD.	DIÂMETRO DO CONDUTOR mm	ESPESSURA		DIÂMETRO EXTERNO mm	PESO LÍQUIDO kg / 100m	RESISTÊNCIA ELÉTRICA MÁX. Ω/km @ 20 °C	COR DA ISOLAÇÃO	COR DA COBERTURA	ACOND.
				ISOLAÇÃO mm HEPR mm	COBERT. mm ATOX mm						
2 x 1,5	182.04	C4 / C5	1,5	0,7	1,0	7,8	7,99	13,3	●●	●	○■
2 x 2,5	182.05	C4 / C5	1,9	0,7	1,0	8,6	10,62	7,98	●●	●	○■
2 x 4	182.06	C4 / C5	2,5	0,7	1,1	9,8	14,48	4,95	●●	●	○■
2 x 6	182.07	C4 / C5	3,1	0,7	1,1	11,2	20,59	3,30	●●	●	○■
2 x 10	182.08	C5	4,0	0,7	1,2	13,4	29,99	1,91	●●	●	○■
2 x 16	182.09	C5	5,1	0,7	1,2	17,0	45,03	1,21	●●	●	○■
2 x 25	182.10	C5	6,5	0,9	1,3	21,0	77,46	0,780	●●	●	■
2 x 35	182.11	C5	7,3	0,9	1,4	23,6	102,65	0,554	●●	●	■
2 x 50	182.12	C5	9,0	1,0	1,5	27,4	138,27	0,386	●●	●	■
3 x 1,5	183.04	C4 / C5	1,5	0,7	1,0	8,3	9,68	13,3	●●○	●	○■
3 x 2,5	183.05	C4 / C5	1,9	0,7	1,0	9,4	13,16	7,98	●●○	●	○■
3 x 4	183.06	C4 / C5	2,5	0,7	1,1	10,6	18,42	4,95	●●○	●	○■
3 x 6	183.07	C4 / C5	3,1	0,7	1,1	11,7	24,16	3,30	●●○	●	○■
3 x 10	183.08	C5	4,0	0,7	1,2	14,3	37,98	1,91	●●○	●	○■
3 x 16	183.09	C5	5,1	0,7	1,2	18,1	60,44	1,21	●●○	●	○■
3 x 25	183.10	C5	6,5	0,9	1,4	22,6	99,36	0,780	●●○	●	■
3 x 35	183.11	C5	7,3	0,9	1,4	25,2	130,94	0,554	●●○	●	■
3 x 50	183.12	C5	9,0	1,0	1,6	29,4	178,13	0,386	●●○	●	■
3 x 70	183.13	C5	10,4	1,1	1,7	34,1	250,70	0,272	●●○	●	■
3 x 95	183.14	C5	12,0	1,1	1,8	37,8	321,20	0,206	●●○	●	■
3 x 120	183.15	C5	14,0	1,2	1,9	42,5	409,37	0,161	●●○	●	■
4 x 1,5	184.04	C4 / C5	1,5	0,7	1,0	9,5	12,78	13,3	●●○●	●	○■
4 x 2,5	184.05	C4 / C5	1,9	0,7	1,1	10,6	17,20	7,98	●●○●	●	○■
4 x 4	184.06	C4 / C5	2,5	0,7	1,1	11,6	22,56	4,95	●●○●	●	○■
4 x 6	184.07	C4 / C5	3,1	0,7	1,2	13,3	32,34	3,30	●●○●	●	○■
4 x 10	184.08	C5	4,1	0,7	1,2	15,9	50,10	1,91	●●○●	●	○■
4 x 16	184.09	C5	5,1	0,7	1,3	19,9	79,62	1,21	●●○●	●	■
4 x 25	184.10	C5	6,5	0,9	1,4	24,7	124,27	0,780	●●○●	●	■
4 x 35	184.11	C5	7,3	0,9	1,5	27,8	165,06	0,554	●●○●	●	■
4 x 50	184.12	C5	9,0	1,0	1,6	32,3	225,13	0,386	●●○●	●	■
4 x 70	184.13	C5	10,4	1,1	1,8	37,5	317,81	0,272	●●○●	●	■
4 x 95	184.14	C5	12,0	1,1	1,9	41,8	410,22	0,206	●●○●	●	■
4 x 120	184.15	C5	14,0	1,2	2,0	46,9	521,04	0,161	●●○●	●	■

C = Classe / Pesos e dimensões nominais

○ Rolo ■ Bobina



Cabo Triplex AL

8,7/15 kV a 20/35 kV



Construção

- 1 **Condutor Neutro:** Cordoalha de fios de aço zincado classe A categoria HS ou Condutor encordoado de liga alumínio-magnésio-silício (CAL).
- 2 **Condutor Fase:** Alumínio nu, liga 1350, encordoado circular compactado (Classe 2), bloqueado contra penetração longitudinal de água.
- 3 **Blindagem do Condutor:** Camada de composto termofixo semicondutor.
- 4 **Isolação:** Composto termofixo de polietileno reticulado XLPE 90 °C
- 5 **Blindagem da Isolação:** Camada de composto termofixo semicondutor de fácil remoção a frio
- 6 **Blindagem Metálica:** Fios de cobre nu, bloqueada contra penetração longitudinal de água.
- 7 **Separador:** Fita não higroscópica de poliéster, aplicada em hélice cobrindo 100 % do cabo.
- 8 **Cobertura:** Composto de polietileno termoplástico PE ST7.
- 9 **Fita de Espinar:** Dois fios de aço recobertos com uma camada de composto de polietileno termoplástico PE.

Identificação

Condutor neutro nu + 3 condutores gravados fase 1, fase 2 e fase 3.

Aplicação

O **CABO TRIPLEX AL** é indicado principalmente para: áreas densamente arborizadas, área com elevados índices de poluição, orla marítima. Amplamente utilizado pelas concessionárias de energia elétrica, em saídas de subestações, travessias de viadutos, pontes, em circuitos expressos onde é exigida alta confiabilidade.

Acondicionamento

São normalmente acondicionados em bobinas de madeira.

Especificações

ABNT NBR 9024: Cabos de potência multiplexados alto – sustentado, com isolação extrudada XLPE para tensões de 10 kV a 35 kV, com cobertura – requisitos de desempenho

Cabo Triplex AL [8,7/15 kV]

REFERÊNCIA	CONDUTOR		COBERTURA		PESO TOTAL (kg/km)
	SEÇÃO NOMINAL (mm ²)	DIÂMETRO NOMINAL (mm)	ESPESSURA NOMINAL (mm)	DIÂMETRO NOMINAL (mm)	
3805.04.115	35	7,1	1,5	22,9	1.987
3805.04.116	50	8,3		24,1	2.166
3805.04.117	70	9,9	1,6	25,9	2.463
3805.04.118	95	11,8	1,7	28	2.825
3805.04.119	120	13,2	1,7	29,4	3.118
3805.04.120	150	14,3	1,7	30,5	3.408
3805.04.121	185	16,3	1,8	32,7	3.870
3805.04.122	240	18,5	1,9	35,1	4.504
3805.04.123	300	20,5	2	37,3	5.151
3805.04.124	400	23,3	2,1	40,3	6.060
3805.04.125	500	26,2	2,2	43,4	7.175

Cabo Triplex AL [12/20 kV]

REFERÊNCIA	CONDUTOR		COBERTURA		PESO TOTAL (kg/km)
	SEÇÃO NOMINAL (mm ²)	DIÂMETRO NOMINAL (mm)	ESPESSURA NOMINAL (mm)	DIÂMETRO NOMINAL (mm)	
3808.04.115	35	7,1	1,6	25,1	2.218
3808.04.116	50	8,3		26,3	2.408
3808.04.117	70	9,9	1,7	28,1	2.723
3808.04.118	95	11,8		30	3.078
3808.04.119	120	13,2	1,8	31,6	3.411
3808.04.120	150	14,3		32,7	3.711
3808.04.121	185	16,3	1,9	34,9	4.195
3808.04.122	240	18,5	2	37,3	4.852
3808.04.123	300	20,5		39,3	5.486
3808.04.124	400	23,3	2,1	42,3	6.422
3808.04.125	500	26,2	2,2	45,4	7.563



CABO INDULINK AL 8,7/15 kV

Seção (mm²)	RCC a 20 °C (ohm/km)	RCC a 90 °C (ohm/km)	RCA S=D 3cond.	XI 3 cond. S=D (Ω/km)	XI 3 cond. S=2D (Ω/km)	XI 3 cond. trifólio (Ω/km)	C (μF/km)	Xc (Ω.km)	Susceptancia capacitiva (S.m)	Corrente (A) ao ar, trifólio	Corrente (A), diret. enterrado, trifólio
35	0,868	1,112863	1,11301	0,17645	0,22866	0,15905	0,1891	14027	0,0713	142	99
50	0,641	0,821826	0,82205	0,16855	0,22075	0,15115	0,2084	12729	0,0786	171	117
70	0,443	0,567970	0,56831	0,16071	0,21291	0,14331	0,2339	11340	0,0882	214	142
95	0,320	0,410272	0,41079	0,15337	0,20557	0,13597	0,2640	10048	0,0995	262	169
120	0,253	0,324371	0,32506	0,14861	0,20081	0,13121	0,2861	9273	0,1078	303	192
150	0,206	0,264113	0,26501	0,14448	0,19668	0,12708	0,3112	8523	0,1173	346	215
185	0,164	0,210264	0,21144	0,14122	0,19342	0,12382	0,3316	8000	0,1250	398	243
240	0,125	0,160263	0,16190	0,13656	0,18876	0,11916	0,3691	7186	0,1392	472	281
300	0,100	0,128210	0,13034	0,13341	0,18562	0,11601	0,4003	6626	0,1509	541	316
400	0,078	0,099747	0,10262	0,12961	0,18181	0,11220	0,4439	5975	0,1674	635	361
500	0,061	0,077567	0,08137	0,12636	0,17856	0,10896	0,4890	5424	0,1843	735	409

CABO INDULINK AL 12/20 kV

Seção (mm²)	RCC a 20 °C (ohm/km)	RCC a 90 °C (ohm/km)	RCA S=D 3cond.	XI 3 cond. S=D (Ω/km)	XI 3 cond. S=2D (Ω/km)	XI 3 cond. trifólio (Ω/km)	C (μF/km)	Xc (Ω.km)	Susceptancia capacitiva (S.m)	Corrente (A) ao ar, trifólio	Corrente (A), diret. enterrado, trifólio
35	0,868	1,112863	1,11301	0,18338	0,23558	0,16598	0,1646	16116	0,0620	144	99
50	0,641	0,821826	0,82203	0,17514	0,22735	0,15774	0,1806	14689	0,0681	174	117
70	0,443	0,567970	0,56829	0,16686	0,21907	0,14946	0,2017	13152	0,0760	217	143
95	0,320	0,410272	0,41076	0,15858	0,21078	0,14118	0,2265	11709	0,0854	264	170
120	0,253	0,324371	0,32502	0,15406	0,20626	0,13665	0,2447	10839	0,0923	306	193
150	0,206	0,264113	0,26495	0,14917	0,20137	0,13176	0,2654	9993	0,1001	348	216
185	0,164	0,210264	0,21136	0,14616	0,19836	0,12876	0,2822	9399	0,1064	400	244
240	0,125	0,160263	0,16179	0,14114	0,19335	0,12374	0,3131	8473	0,1180	472	282
300	0,100	0,128210	0,13022	0,13735	0,18956	0,11995	0,3387	7832	0,1277	541	317
400	0,078	0,099747	0,10246	0,13326	0,18546	0,11586	0,3745	7083	0,1412	634	363
500	0,061	0,077567	0,08117	0,12976	0,18196	0,11236	0,4115	6446	0,1551	733	412

CABO INDULINK AL 15/25 kV

Seção (mm²)	RCC a 20 °C (ohm/km)	RCC a 90 °C (ohm/km)	RCA S=D 3cond.	XI 3 cond. S=D (Ω/km)	XI 3 cond. S=2D (Ω/km)	XI 3 cond. trifólio (Ω/km)	C (μF/km)	Xc (Ω.km)	Susceptancia capacitiva (S.m)	Corrente (A) ao ar, trifólio	Corrente (A), diret. enterrado, trifólio
50	0,641	0,821826	0,82202	0,18278	0,23498	0,16538	0,1563	16970	0,0589	174	117
70	0,443	0,567970	0,56827	0,17403	0,22623	0,15663	0,1736	15276	0,0655	217	143
95	0,320	0,410272	0,41073	0,16531	0,21751	0,14791	0,1940	13674	0,0731	264	170
120	0,253	0,324371	0,32497	0,16046	0,21266	0,14306	0,2089	12700	0,0787	306	193
150	0,206	0,264113	0,26489	0,15527	0,20748	0,13787	0,2258	11749	0,0851	348	216
185	0,164	0,210264	0,21128	0,15201	0,20422	0,13461	0,2394	11078	0,0903	400	244
240	0,125	0,160263	0,16168	0,14660	0,19881	0,12920	0,2646	10026	0,0997	472	282
300	0,100	0,128210	0,13007	0,14254	0,19475	0,12514	0,2854	9293	0,1076	541	317
400	0,078	0,099747	0,10227	0,13809	0,19030	0,12069	0,3146	8433	0,1186	634	363
500	0,061	0,077567	0,08093	0,13427	0,18647	0,11687	0,3446	7697	0,1299	733	412

CABO INDULINK AL 20/35 kV

Seção (mm²)	RCC a 20 °C (ohm/km)	RCC a 90 °C (ohm/km)	RCA S=D 3cond.	XI 3 cond. S=D (Ω/km)	XI 3 cond. S=2D (Ω/km)	XI 3 cond. trifólio (Ω/km)	C (μF/km)	Xc (Ω.km)	Susceptancia capacitiva (S.m)	Corrente (A) ao ar, trifólio	Corrente (A), diret. enterrado, trifólio
50	0,641	0,821826	0,82201	0,19295	0,24515	0,17555	0,1325	20020	0,0500	174	117
70	0,443	0,567970	0,56825	0,18365	0,23585	0,16625	0,1462	18143	0,0551	217	143
95	0,320	0,410272	0,41069	0,17481	0,22701	0,15741	0,1622	16349	0,0612	264	170
120	0,253	0,324371	0,32492	0,16915	0,22135	0,15175	0,1739	15250	0,0656	306	193
150	0,206	0,264113	0,26482	0,16397	0,21618	0,14657	0,1872	14170	0,0706	348	216
185	0,164	0,210264	0,21119	0,16002	0,21222	0,14262	0,1979	13403	0,0746	400	244
240	0,125	0,160263	0,16156	0,15412	0,20632	0,13672	0,2176	12192	0,0820	472	282
300	0,100	0,128210	0,12990	0,15004	0,20224	0,13264	0,2339	11343	0,0882	541	317
400	0,078	0,099747	0,10204	0,14511	0,19732	0,12771	0,2565	10339	0,0967	634	363
500	0,061	0,077567	0,08062	0,14086	0,19306	0,12346	0,2800	9475	0,1055	733	412

Cabo Energyflex BR Afitox 120° (Cu) - 0.6/1 kV

Contact

Departamento de Comunicação
nexans.brazil@nexans.com

DADOS DIMENSIONAIS

Seção transversal do condutor [mm ²]	Diâmetro do condutor [mm]	Espessura da isolamento [mm]	Espessura nominal da cobertura [mm]	Diâmetro Externo [mm]	Massa aproximada [kg/km]
2,5	1,97	0,7	0,8	5,5	43
4	2,45	0,7	0,8	6	59
6	2,95	0,7	0,8	6,5	74
10	3,92	0,7	0,8	7,5	116
16	4,93	0,7	0,9	8,5	183
35	7,46	0,9	1,1	12	378
50	9,31	1,0	1,2	14,5	525
70	10,8	1,1	1,2	19	720
95	12,74	1,1	1,3	18,5	948
120	14,68	1,2	1,3	20,5	1180
150	16,23	1,4	1,4	22,5	1477
185	18,39	1,6	1,6	26	1808
240	20,35	1,7	1,7	28,5	2307

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Seção transversal do condutor [mm ²]	Reatância indutiva [Ohm/km]	Resis. elét. máx. CC a 20°C [Ohm/km]	Max. DC resist. cond. 90°C [Ohm/km]	Resistência elétrica máxima CA 60Hz 90°C [Ohm/km]	Queda de tensão [V/A.km]	Avaliação de corrente DC permissível [A]	current rating in air 30°C - trefoil [A]
2,5	0,1255	8,21	10,469	10,469	14,64	37	29
4	0,1223	5,09	6,490	6,49	9,12	50	40
6	0,114	3,39	4,323	4,323	6,11	65	53
10	0,0994	1,95	2,486	2,486	3,55	90	74
16	0,0918	1,24	1,581	1,581	2,29	121	101
35	0,0846	0,565	0,720	0,721	1,09	200	169
50	0,0814	0,393	0,501	0,502	0,78	242	207
70	0,079	0,277	0,353	0,353	0,57	310	268
95	0,0764	0,21	0,268	0,269	0,45	377	328
120	0,0779	0,164	0,209	0,211	0,37	437	383
150	0,0819	0,132	0,168	0,17	0,32	504	444
185	0,0806	0,108	0,138	0,14	0,27	575	510
240	0,08	0,0817	0,1042	0,108	0,23	679	607

All drawings, designs, specifications, plans and particulars of weights, size and dimensions contained in the technical or commercial documentation of Nexans is indicative only and shall not be binding on Nexans or be treated as constituting a representation on the part of Nexans.
Generated 27/01/22 www.nexans.com.br Page 4 / 4



27/08/2021

Registro 004919/2021 | Avaliação da Conformidade

BRASIL
(HTTPS://GOV.BR)Avaliação da Conformidade **Procurando algo?** **Buscar**[Pagina inicial \(http://www.inmetro.gov.br/\)](http://www.inmetro.gov.br/)[/ Qualidade \(http://www.inmetro.gov.br/qualidade/\)](http://www.inmetro.gov.br/qualidade/) / [Registro de objeto \(../\)](#)[/ Consultar registros concedidos](#)

☰ Registro de Objeto [Consultar registros concedidos](#)



🔍 Detalhes do Registro 004919/2021

Status
Ativo**Concessão**
02/08/2021**PHB ELETRONICA LTDA**

Rua São Bernardino, 12 Cep:05120-050 | Parque Anhanguera - São Paulo - SP

Tel: (Telefone) 11 38358300 - rogerio@phb.com.br (mailto:rogerio@phb.com.br) - **CNPJ:****(CNPJ)**53.977.021/0001-28**Programa de Avaliação da Conformidade**

Sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica (módulo, controlador de carga, inversor e bateria)

Portaria Inmetro

nº (número) 4 de 04/01/2011

Nome de Família

Trifásico 125000W

Certificado

Não aplicável

↕Pesquisar histórico de alterações

Data	Alteração	Marca	Modelo	Descrição
02/08/2021	Incluído	PHB	PHB125K-HT	Inversor solar fotovoltaico conectado a rede

registro.inmetro.gov.br/consulta/detalhe.aspx?pag=1&NumeroRegistro=004919/2021

1/2

Projeto Elétrico do Sistema de Geração Distribuída da UC xxxxxxx	
Dados do Responsável Técnico	
Nome:	Marcos Leal de Moraes
CREA	xxxxxxx
Endereço profissional:	R. Coronel Schwab Filho, 310 – 1403 / Vitória / ES
Telefone:	(27) 99997-5742
E-mail:	Marcosleal.morais@gmail.com
Dados do Contratante	
Nome:	Empresa Metalúrgica Capixaba
Endereço:	Serra-ES
Latitude:	-20,xxxxxx°
Longitude:	-40,xxxxxx°
Telefone:	(27) XXXX-XXXX
E-mail:	xxxxxxxxxx@xxxxx.com.br
Características do Projeto:	
Tipo de Projeto:	Minigeração Distribuída
Classe/Subclasse:	Urbana
UC Existente:	xxxxxxxxxxxx
Carga total instalada da UC (kW):	610 kW
Carga Total de Geração (kWp):	625 kW
Tipo de Geração:	Autoconsumo
Previsão de ligação:	XX/XX/2022

1. OBJETIVO DO PROJETO

Projeto de geração distribuída da unidade consumidora (UC) xxxxxxxx, localizada no município da Serra, Espírito Santo, latitude (Y): -20,xxxxxx° e longitude (X): -40,xxxxxx°.

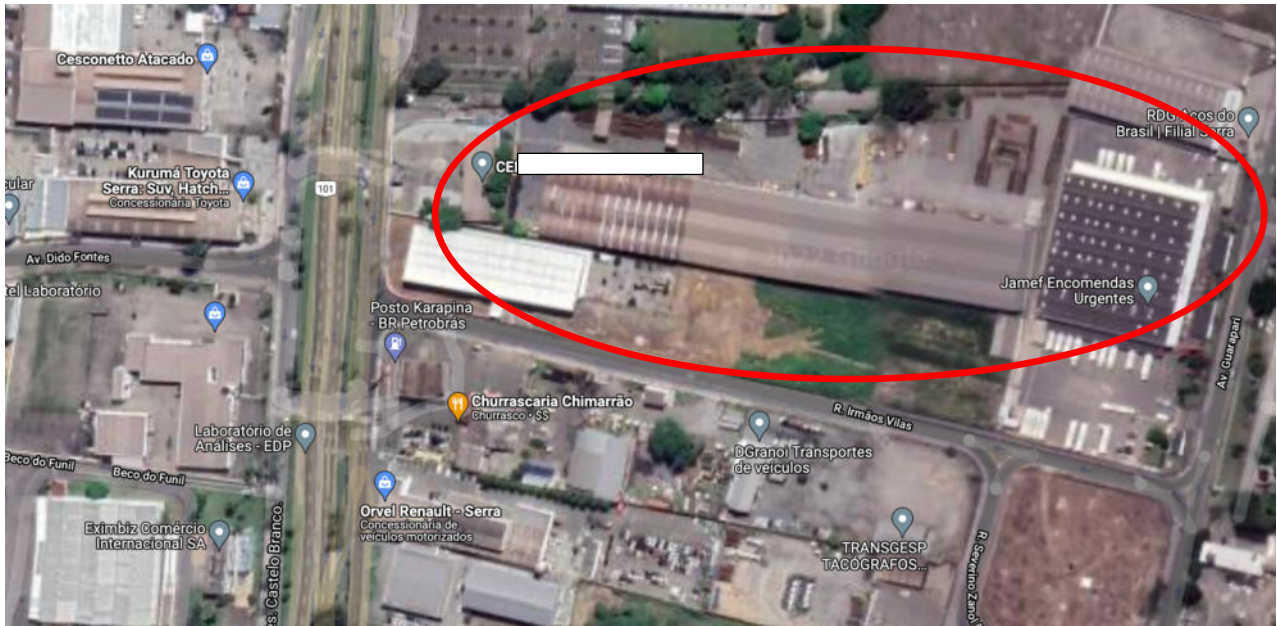


Figura 19: Local da instalação da unidade geradora fotovoltaica.

Os inversores serão instalados na vertical, apoiados internamente nas colunas metálicas dos galpões fabris conforme indicados na Figura 20 abaixo, e a cerca de 1,5 m do chão, de forma a garantir fácil acesso em sua manutenção. Os cabos de saída CA correrão aéreos em bandejas perfuradas, também apoiadas nas colunas.



Figura 20: Local de instalação dos inversores fotovoltaicos.

2. PADRÃO DE ENTRADA

A instalação atual da empresa é de nr. xxxxxx, Grupo A, Subgrupo A4, Modalidade Tarifária Verde, Classe Industrial. O atendimento é aéreo, trifásico 11,4 kV, e a demanda contratada está em 610 kW.

Possui diversos transformadores de conexão à rede de MT, distribuídos ao longo do ramal que sai da subestação própria e alimenta os galpões fabris, sendo o último (#16) de 1500 kVA, 11,4 kV para 380 V, o escolhido para interconectar os inversores fotovoltaicos.

O disjuntor geral do padrão de entrada da empresa é o Beghim tripolar a vácuo, de 630 A:



Figura 21: Disjuntor do padrão de entrada da unidade consumidora.

3. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

São 1495 módulos ao total, resultando em 815 kW de potência de pico. Os módulos serão instalados sobre parte da cobertura dos galpões, com inclinação favorável à absorção da energia. Os galpões dispõem de 12.600 m², sendo apenas a metade da cobertura apropriada para a instalação fotovoltaica pela sua inclinação e orientação. Serão utilizadas as coberturas de 2 galpões, totalizando 4.500 m², para acomodar 3.821 m² em módulos. O layout está apresentado no projeto elétrico. As características e especificações técnicas dos módulos utilizados neste sistema, o LR5-72HPH-545M da empresa Longi, estão apresentadas a seguir na

Informações adicionais podem ser encontradas na folha de dados em anexo. Os valores de tensão, corrente e potência apresentados são válidos para na STC, ou seja, 25°C e 1000W/m².

Módulo Fotovoltaico da Longi	
Modelo	LR5-72HPH-545M
Potência de pico	545 W
Tecnologia da célula	silício monocristalino
Garantia de produtividade	12 anos
Garantia de queda linear na produção	25 anos

Tensão de máxima potência	42 V
Corrente de máxima potência	13 A
Tensão de circuito aberto	49,65 V
Corrente de curto-circuito	13,92 A
Eficiência	21,3 %
Peso unitário	27,2 kg
Dimensões	2,256 x 1,133 x 0,035 m

Tabela 11 - Características dos módulos fotovoltaicos utilizado na instalação, na STC

4. INVERSORES

As principais características e especificações técnicas do inversor PHB125K-HT de 125 kW CA utilizado neste sistema estão apresentadas na Tabela 12. Informações adicionais podem ser encontradas na folha de dados e nos testes de certificação, em anexo.

O inversor é capaz de atender às 8 tensões diferentes do *Prodist*. Este inversor está devidamente homologado junto ao INMETRO e conta com certificação na ANATEL do seu sistema de monitoramento Wi-Fi. Além disso, atende às normas ABNT-NBR-16149, ABNT-NBR-16150 e ABNT-NBR-IEC-62116. O inversor possui 12 rastreadores de máxima potência (MPPT) e cada um permite 2 entradas de arranjos de módulos por rastreador. Serão conectados 13 módulos em série por arranjo, totalizando 24 séries e 312 módulos por inversor. Serão utilizados 5 inversores, conforme apresentado no projeto elétrico em anexo. Todos os requisitos de proteção, segurança e qualidade para conexão exigidos pela norma técnica PT.DT.PDN.03.14.011 - CONEXÃO DE MICRO E MINIGERADORES AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO 03 EM MÉDIA OU ALTA TENSÃO são atendidos pelos inversores.

Inversor Fotovoltaico da PHB	
Modelo	PHB125K-HT
Máxima potência fotovoltaica de entrada	126,8 kW
Máxima tensão de entrada c.c.	1100 V
Faixa de operação MPPT	180 – 1000 V
Tensão de partida c.c.	200 V
Corrente máxima c.c.	30 A por MPPT
Número de MPPTs	12
Potência nominal de saída	125,0 kW
Máxima corrente c.a.	191,3 A
Saída nominal c.a.	380/220 V, 60 Hz
Taxa de distorção harmônica, máx.	3%
Eficiência global, máx.	98,6%
Peso unitário	98,5 kg
Dimensões	1,005 x 0,676 x 0,340 m

Tabela 12 - Características dos inversores utilizados na instalação

5. PLACA DE ADVERTÊNCIA:

Junto ao padrão de entrada e próximo a caixa de medição/proteção, será instalada uma placa de advertência com os seguintes dizeres: "CUIDADO – RISCO DE CHOQUE ELÉTRICO – GERAÇÃO PRÓPRIA".

Segue detalhamento: 25 cm

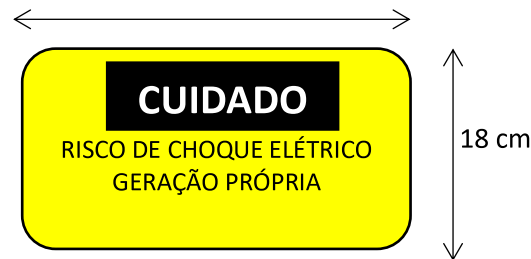


Figura 22: Placa de advertência

6. ATERRAMENTO:

O sistema de aterramento da usina solar fotovoltaica será devidamente conectado ao aterramento da UC via barramento de equipotencialização dos galpões industriais. Os cabos de aterramento dos módulos fotovoltaicos, assim como os cabos de energia CC, são apropriados para instalação externa, sujeitos a insolação e intempéries.

A bitola para aterramento entre as estruturas metálicas e a caixa de proteção (*string box*) é de 6 mm² conforme recomendado pela IEC/TS 62548:2013 e ABNT NBR 16690. A conexão da moldura dos módulos com o cabo terra será executada por *clips* de aterramento, *jumpers* entre os perfis e grampos terminador específicos para aterramento.

7. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

Para a proteção dos equipamentos do sistema, das instalações e das pessoas, serão incorporados aos circuitos CC e CA os seguintes dispositivos:

1. Circuito CC, incorporada ao inversor:
 - DPS (Dispositivo de Proteção Contra Surto);
 - Chave Seccionadora.
2. Circuito CA, em quadro de conexão próximo ao inversor:
 - DPS;
 - Disjuntor Tripolar Termomagnético;

Todos os equipamentos serão condicionados em quadros elétricos com proteção para intempéries, devidamente sinalizados para a proteção e instrução de pessoal autorizado, em caso de manutenção.

8. ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO

Os módulos serão montados em perfis fixados nas terças das coberturas metálicas dos galpões, sobre as telhas trapezoidal, com ângulo de inclinação de 21°. Perfis e suportes são confeccionados em alumínio anodizado 6063-T5 e periféricos em aço inox 304, para garantir resistência à corrosão. Os sistemas de fixação da estrutura resistem a rajadas de vento com velocidades até 120 km/h.

9. PREVISÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA

De acordo com o CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – a irradiação da Serra no plano inclinado é 5,12 kWh/m²/dia. A previsão da energia diária produzida pelo arranjo fotovoltaico pode ser calculada segundo a equação (1):

$$E = NGA\eta, \quad (1)$$

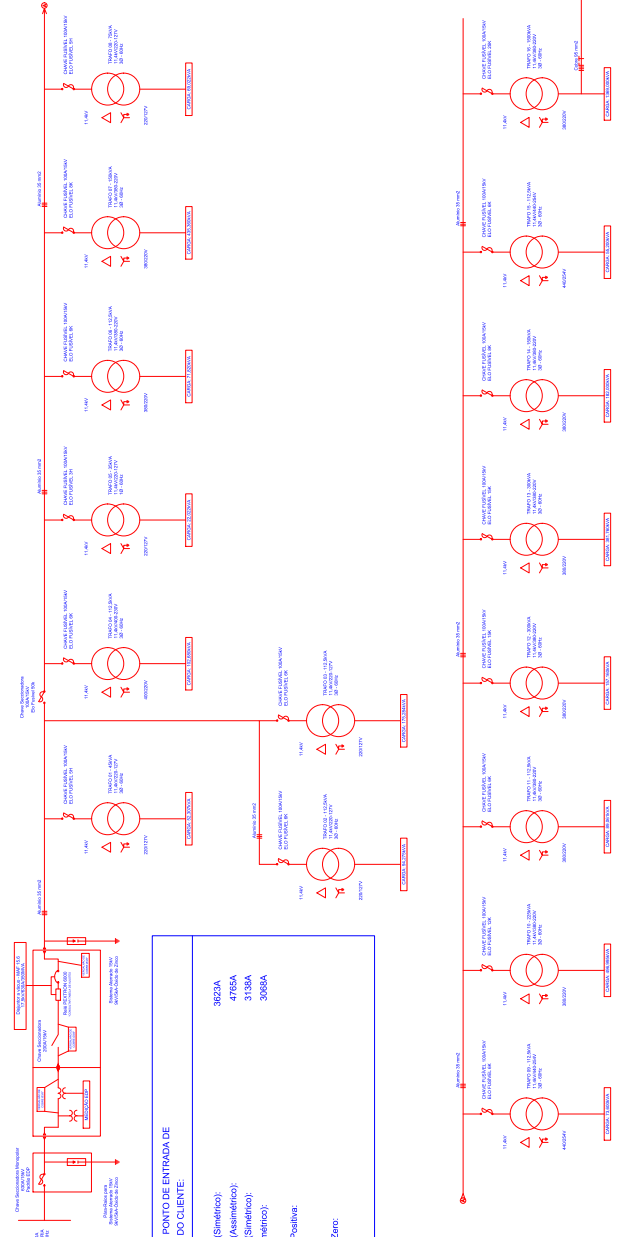
onde as variáveis estão definidas a seguir:

Número de módulos (N)	1495
Irradiação solar média de Serra-ES (G)	5,12 kWh/m ² /dia
Área do módulo (A)	2,556 m ²
Eficiência do módulo (η)	21,3 %
Previsão de produção de energia, por dia (E)	4.167,3 kWh/dia
Previsão de produção de energia, por mês (E _m)	125 MWh/mês

Tabela 13 – Previsão da produção de energia

Parametrização do Relé Pextron URP 8000

Un	Tensão Nominal	11,4 kV	Padão de fornecimento
D	Demanda Contratada	625 kW	renovar, com usina fotovoltaica
I	Corrente Demandada	34 A	
FP	Fator de Potência	0,92	- min Indutivo/Capacivo
32 (1)	Direcional de Potência	656 kW	15 s - Acelerante >> EDP
32 (2)	Direcional de Potência	656 kW	15 s - EDP >> Acelerante
67 (1)	Direcional de Corrente Acelerante >> EDP	36 A	Temporizada, Estreita Inversa (alpha=2, DT=0,2s)
67 (2)	Direcional de Corrente Acelerante >> EDP	36 A	Temporizada, Estreita Inversa (alpha=2, DT=0,2s)
67N (1)	Direcional de Corrente Acelerante >> EDP	11 A	Temporizada (n=8)
67N (2)	Direcional de Corrente Acelerante >> EDP	11 A	Temporizada (n=8)
67 (2)	Direcional de Corrente EDP >> Acelerante	36 A	Temporizada, Estreita Inversa (n=8, alpha=2, DT=0,1s)
67N (2)	Direcional de Corrente EDP >> Acelerante	614 A	Temporizada, Estreita Inversa (n=8, alpha=2, DT=0,1s)
67N (1)	Temperatura Instantânea	184 A	Temporizada (n=0,3s)
67N (2)	Temperatura Instantânea	184 A	Temporizada (n=0,3s)
27	Subtensão, por fase	9,1 kV	Tempo para atuação
27	Subtensão, por fase	8,0 kV	Tempo para atuação
27	Subtensão, por fase	7,0 kV	Tempo para atuação
59	Subtensão, por fase	13,5 kV	Tempo para atuação
59	Subtensão, por fase	12,7 kV	Tempo para atuação

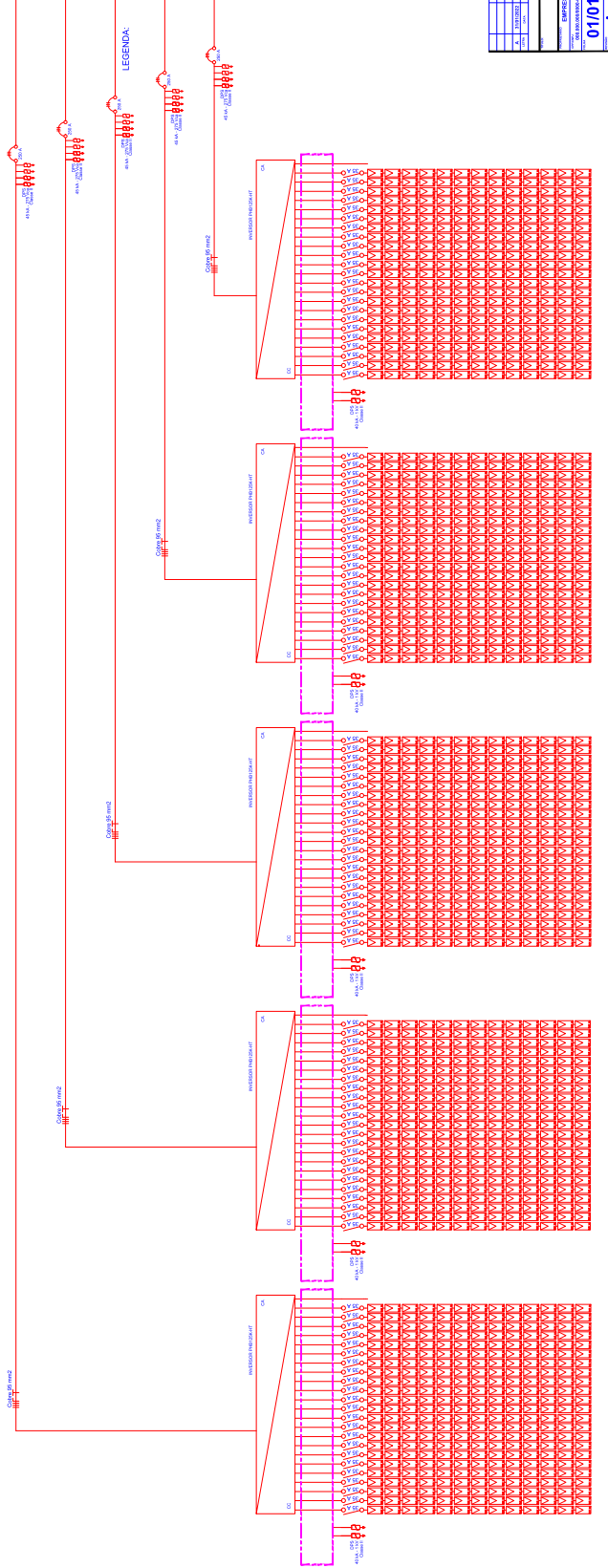


DADOS DE CURTO CIRCUITO NO PONTO DE ENTRADA DE ENERGIA (PEE) DO CLIENTE:

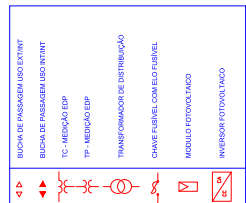
3820A
 4750A
 4750A
 3800A

Corrente curto circuito (cc) trifásico (Simétrico)
 Corrente curto circuito (cc) bifásico (Assimétrico)
 Corrente curto circuito (cc) bifásico (Simétrico)
 Corrente curto circuito fase terra (Simétrico)

Impedância Equivalente Sequência Positiva:
 $R1(pu)=0,2322 \quad X1(pu)=4,9303$
 Impedância Equivalente Sequência Zero:
 $R1(pu)=0,7830 \quad X1(pu)=2,0354$



LEGENDA:



PROJETO DE USINA SOLAR FOTOVOLTAICA	
PROJETO Nº	01/01
USINA SOLAR FOTOVOLTAICA DE 625 KW	
EMPRESA MANTENEDORA	ENFERMIA MENTAL MARIANA CAMPANA
PROJETO Nº	01/01
PROJETO DATA	12/01/2023
PROJETO LOCAL	
PROJETO ESCALA	
PROJETO AUTORA	
PROJETO APROVADO	
PROJETO DATA	
PROJETO LOCAL	
PROJETO ESCALA	
PROJETO AUTORA	
PROJETO APROVADO	
PROJETO DATA	
PROJETO LOCAL	
PROJETO ESCALA	
PROJETO AUTORA	
PROJETO APROVADO	
PROJETO DATA	
PROJETO LOCAL	
PROJETO ESCALA	
PROJETO AUTORA	
PROJETO APROVADO	



PADRÃO TÉCNICO

TÍTULO

CONEXÃO DE MICRO E MINIGERADORES AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO EM MÉDIA OU ALTA TENSÃO

CÓDIGO
PT.DT.PDN.03.14.011

VERSÃO
03

VIGÊNCIA
INÍCIO: 22/11/2017
FIM: CONDICIONADO

Formulário de solicitação de acesso para minigeração distribuída

1 - Identificação da Unidade Consumidora – UC

Código da UC: XXXXXX	Grupo B: .	Grupo A: . A4	Classe: VERDE
Titular da UC: EMPRESA METALURGICA CAPIXABA			
Rua/Av.: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX			
Nº: XXXX	Complemento: XXXX	Bairro: XXXXXX	
Cidade: SERRA		CEP: XXXXX-XXX	
E-mail: XXXXXXXXXX@XXXXX.XXX.XX			
Telefone: (27) XXXXX-XXXX		Celular: (27) XXXX-XXXX	
CNPJ/CPF: xxx.xxx.xxx/xxxx-xx			

2 - Dados da Unidade Consumidora

Localização em coordenadas:	Latitude: 20.20555º S	Longitude: 40.269000º O	
Potência instalada (kW): 610	Tensão de atendimento (V): 11400		
Tipo de conexão:	Monofásica .	Bifásica .	Trifásica . SIM
Transformador particular (kVA):	75 .	112,5 .	225 . Outro: 1500
Tipo de instalação:	Posto de transformação .	Cabine .	Subestação SIM.
Tipo de ligação do transformador: DELTA-ESTRELA			
Impedância percentual do transformador: 6%			
Tipo de ramal:	Aéreo . Cabo Alumínio 35 mm2	Subterrâneo .	

3 - Dados da Geração

Potência instalada da geração (kW): 625			
Tipo da fonte de Geração:	Hidráulica .	Solar . SIM	Eólica .
Biomassa .	Cogeração qualificada .	Outra (especificar):	

4 - Documentação a ser anexada

9. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de minigeração
10. Projeto elétrico das instalações de conexão, memorial descritivo
11. Estágio atual do empreendimento, cronograma de implantação e expansão
12. Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção
13. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede
14. Dados necessários ao registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: www.aneel.gov.br/scg;
15. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a . porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI e VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012
16. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver)
17. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)

Responsável/Área: Sr. XXXXXXXXXXXXXXXX
Endereço: SERRA-ES
Telefone: (27)XXXX-XXXX
E-mail: XXXXXXXXXX@XXXXX.XXX.XX

6 – Solicitante

Nome/Procurador Legal: MARCOS LEAL DE MORAIS
Telefone: (27)99997-5742
E-mail: marcosleal.morais@gmail.com

_____ Serra-ES _____	__29__ / __01__ / __2022__	_____
Local	Data	Assinatura do Responsável

Este documento constitui uma cópia não controlada gerada em 22/11/2017

Este documento constitui uma cópia não controlada gerada em 22/11/2017



Coordenadoria de
Educação Aberta e a Distância