



Sistemas Fotovoltaicos Isolados e Conectados à Rede Elétrica

ELT 554 – Trabalho de Conclusão de Curso

Autossuficiência em Energia Elétrica do IFMG – Campus Ponte Nova

Candidato: Gustavo Reis de Moraes

Orientador: Prof. Me. William Caires Silva Amorim





Unidade Consumidora – Local da instalação

- A UC foco do trabalho: IFMG – Campus Ponte Nova



Vista frontal do *campus*



Unidade Consumidora e Usina FV



Vista aérea da UC



Usina FV existente na unidade



Consumo

INSTITUTO FEDERAL DE E C E TECNOLOGIA MG
PCA ANGELO VIEIRA MARTINS 87 EC
CENTRO
35430-035 PONTE NOVA, MG
CNPJ 10.626.896/0013-06

Referente a
DEZ/2019
Código de Débito Automático
008056851242

Nº DO CLIENTE
7200899070

NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE U - Nº 034504709 - PTA Nº 45.000014006.81

REIMPRESSÃO

Classe Poder Público Trifásico	Subclasse GD - Poder Público Federal	Datas de Leitura Anterior Atual Próxima 14/11 13/12 15/01	Datas da Nota Fiscal Emissão Apresentação 16/12 20/12	Nº DA INSTALAÇÃO 3003266996
---	---	--	--	--

Informações Técnicas					
Tipo de Medição	Medição	Leitura Anterior	Leitura Atual	Constante de Multiplicação	Consumo kWh
Energia kWh	GPB169000734	50	85	40	1.400
Energia Injetada	GPB169000734	44	62	40	720

Informações Gerais
SALDO ATUAL DE GERAÇÃO: 0,00 kWh.
Tarifa vigente conforme Res Aneel nº 2.550, de 21/05/2019.
Retenção de 5,85%, valor R\$ 33,43,
conforme Art. 64 da lei nº 9430, de 27/12/96.
Unidade faz parte de sistema de compensação de energia.
O pagamento desta conta não quita débitos anteriores.
Para estes, estão sujeitas penalidades legais vigentes
(multas) e/ou atualização financeira (juros) baseadas no
vencimento das mesmas.
É dever do consumidor manter os dados cadastrais sempre
atualizados e informar alterações da atividade
exercida no local.
Leitura realizada conforme calendário de faturamento
NOV/2019 Band. Vermelha - DEZ/2019 Band. Amarela

Indicadores de Qualidade de Fornecimento

Ponte Nova-Mês: 10/2019		Valores Permitidos		
Apurado Mensal	Mensal	Trimestral	Anual	
DIC 0,00	5,55	11,10	22,21	
FIC 0,00	3,30	6,60	13,20	
DMIC 0,00	3,20	-	-	
DICRI -	12,22	-	-	

Tensão: Nominal= 127/220 V. Min = 117/202 V. Máx = 133/231 V
Valor Encargo Uso Sist. Distribuição: R\$ 640,57

Valores Faturados			
Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Energia Elétrica kWh	1.400	0,83505046	1.169,05
Energia Injetada kWh HFP	720	0,83505046	-601,23
Encargos/Cobranças			
Contrib Ilum Publica Municipal			38,61
Multa 2% conta de 11/2019 sobre R\$ 198,91			3,98
Juros mora 1%am: 6 dia(s) sobre R\$198,91			0,40
Variação do IGP-M: R\$199,31			0,12
Imposto Retido - COFINS			-17,16
Imposto Retido - IRPJ			-6,85
Imposto Retido - PIS/PASEP			-3,71
Imposto Retido - CSLL			-5,71
Tarifas Aplicadas (sem impostos)			
Energia Elétrica kWh		0,65735172	
Bandeira Amarela			5,20
Bandeira Vermelha			19,87

Informações de Faturamento

PARCELAS	VALOR(R\$)	%	PARCELAS	VALOR(R\$)	%
Energia	192,22	33,85	Enc. setoriais	54,27	9,56
Distribuição	134,01	23,80	Tributos	120,82	21,28
Transmissão	20,88	3,68	Totais	567,82	100,00
Perdas	46,61	8,03			

Histórico de Consumo

MES/ANO	CONSUMO kWh	MEDIA kWh/D	Dias
DEZ/19	1.400	48,27	29
NOV/19	2.000	47,61	42
OUT/19	1.560	91,76	17
SET/19	2.240	67,87	33
AGO/19	1.480	49,33	30
JUL/19	1.920	60,00	32
JUN/19	2.040	70,34	29
MAI/19	2.360	78,66	30
ABR/19	2.920	104,28	28
MAR/19	2.840	88,75	32
FEV/19	2.040	68,00	30
JAN/19	1.160	36,25	32
DEZ/18	2.160	72,00	30

VENCIMENTO 07/01/2020	VALOR A PAGAR R\$ 577,50
--	---

Reservado ao Fisco
E7CD.3B78.CFEA.7648.7DF4.3BC0.5C20.97D4

Base de cálculo (R\$)	ICMS Aliquota (%)	Valor (R\$)	PASEP Valor (R\$)	COFINS Valor (R\$)
567,82	18	102,21	3,30	15,31

Ouvidoria CEMIG: 0800 728 3838 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Telefone: 167 - Ligação gratuita de telefones fixos e móveis

CEMIG	Unidade de leitura 10040115	Conta Contrato 008056851242	Vencimento 07/01/2020	Total a pagar R\$577,50 Dezembro/2019
--------------	---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------	--



Histórico de Produção e Consumo da UC

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(2)-(3)+(4)
Data	Produção (kWh)	Produção Injetada (kWh)	Consumo Faturado (kWh)	Consumo Real (kWh)
01/2019	-	-	1160,0	1160,0
02/2019	-	-	2040,0	2040,0
03/2019	-	-	2840,0	2840,0
04/2019	-	-	2920,0	2920,0
05/2019	-	-	2360,0	2360,0
06/2019	-	-	2040,0	2040,0
07/2019	-	-	1920,0	1920,0
08/2019	1291,4	0,0	1480,0	2771,4
09/2019	995,5	0,0	2240,0	3235,5
10/2019	2486,2	0,0	1560,0	4046,2
11/2019	2294,8	1760,0	2000,0	2534,8
12/2019	2531,3	720,0	1400,0	3211,3
01/2020	2377,9	2160,0	760,0	977,9
02/2020	0,0	600,0	1760,0	1160,0
03/2020	764,9	0,0	2960,0	3724,9
04/2020	2080,2	1320,0	920,0	1680,2
05/2020	2096,7	1760,0	680,0	1016,7
06/2020	2140,3	1800,0	760,0	1100,3
07/2020	2287,3	1680,0	680,0	1287,3



Expansão de Cargas na UC

Local	Descrição	Uso dias/ano	Horas diárias	Consumo INMETRO (kWh/mês)	Consumo Total Anual (kWh)
Gabinete	09000 BTU's: HTQE09B2NA	200,0	8,0	17	906,7
Direção Geral	09000 BTU's: HTQE09B2NA	200,0	8,0	17	906,7
Tec. da Informação	09000 BTU's: HTQE09B2NA	365,0	24,0	17	4964,0
Assistência Estudantil	09000 BTU's: ICST09FER4-02	200,0	8,0	17	906,7
Administração	12000 BTU's: HVFE12B2IA ELGIN	200,0	8,0	23	1226,7
Registro Acadêmico	12000 BTU's: KFR-34W/C	200,0	8,0	28	1488,0
Setor Pedagógico	12000 BTU's: EICS12FER4-02	200,0	8,0	19	1013,3
Sala Professores 02	18000 BTU's: GWC18QD-D3DNB8M/O	150,0	10,0	34	1710,0
Sala Professores 01	36000 BTU's: 38CCU036515MC	150,0	10,0	73	3650,0
Sala 01	60000 BTU's: PVFE60B2CB	150,0	6,0	113	3390,0
Sala 02	60000 BTU's: PVFE60B2CB	150,0	6,0	113	3390,0
Sala 03	60000 BTU's: PVFE60B2CB	150,0	6,0	113	3390,0
Sala 04	60000 BTU's: PVFE60B2CB	150,0	6,0	113	3390,0
Sala 05	60000 BTU's: PVFE60B2CB	150,0	6,0	113	3390,0
Sala 06	60000 BTU's: PVFE60B2CB	150,0	6,0	113	3390,0
Quadra poliesportiva	Iluminação LED	50,0	4,0	5	960,0
CONSUMO TOTAL ANUAL PROJETADO					38072,1
CONSUMO MENSAL MÉDIO A SER ADICIONADO					3172,7

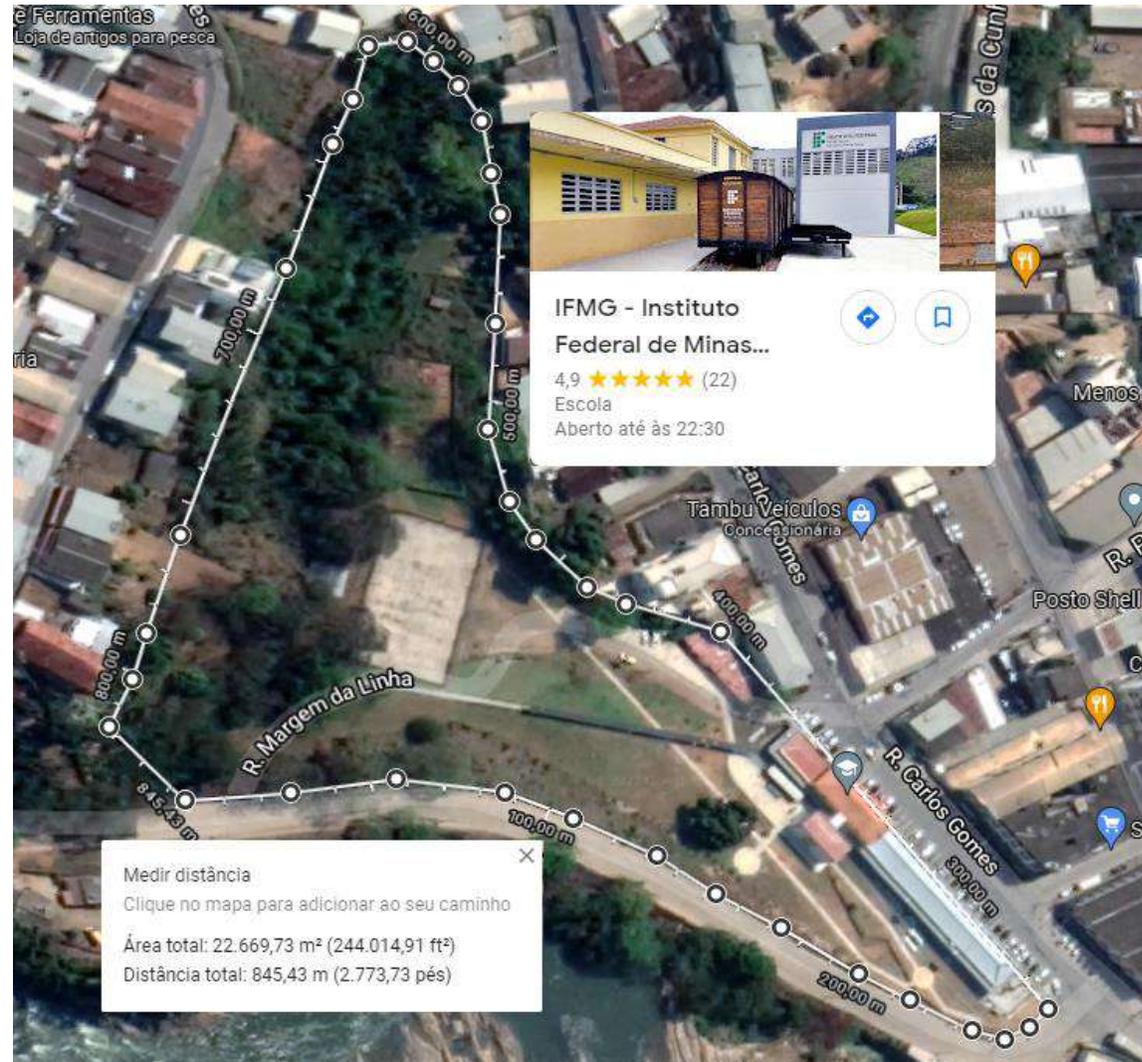
Consumo total em 2019: **31.079 kWh**

Consumo total acumulado: **69.151 kWh**



Localização

20°25'08.3"S
42°54'47.8"O





Localização da Usina FV Existente





Padrão de Entrada e Medidor Bidirecional



Local do medidor de energia bidirecional existente



Medidor bidirecional existente e disjuntor principal



Sombreamento



Diagramas de caminho do sol obtido através do aplicativo 'O caminho do sol'



Dimensionamento do Sistema FV

- Histórico de consumo considerado: 2019

Data	Consumo Real (kWh)	Consumo dos novos equipamentos (kWh)	Consumo total (kWh)
jan/19	1160,00	3172,70	4332,70
fev/19	2040,00	3172,70	5212,70
mar/19	2840,00	3172,70	6012,70
abr/19	2920,00	3172,70	6092,70
mai/19	2360,00	3172,70	5532,70
jun/19	2040,00	3172,70	5212,70
jul/19	1920,00	3172,70	5092,70
ago/19	2771,40	3172,70	5944,10
set/19	3235,50	3172,70	6408,20
out/19	4046,20	3172,70	7218,90
nov/19	2534,80	3172,70	5707,50
dez/19	3211,30	3172,70	6384,00
Média mensal			5762,63

- Produção atual: média de 2.286 kWh/mês
- Produção necessária: média de 3.477 kWh/mês



Dimensionamento dos Módulos FV

- Nova usina com módulos Canadian Solar CS6W-540

DADOS ELÉTRICOS | STC*

CS6W	525MS	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS
Máx. Potência Nominal (Pmax)	525 W	530 W	535 W	540 W	545 W	550 W
Opt. Tensão de Operação (Vmp)	40,7 V	40,9 V	41,1 V	41,3 V	41,5 V	41,7 V
Opt. Corrente de Operação (Imp)	12,90 A	12,96 A	13,02 A	13,08 A	13,14 A	13,20 A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	48,6 V	48,8 V	49,0 V	49,2 V	49,4 V	49,6 V
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	13,75 A	13,80 A	13,85 A	13,90 A	13,95 A	14,00 A
Eficiência de Módulo	20,5%	20,7%	20,9%	21,1%	21,3%	21,5%





Dimensionamento dos Módulos FV

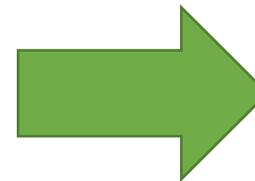
$$W_{\text{módulo}} = \text{Irradiância} * A * \epsilon * \phi$$

Irradiância=4,82 kWh/m².dia

Área de 2,56m² de cada módulo

$\epsilon = 0,211$

$\phi=0,80$



$$W_{\text{módulo}} = 2,086 \text{ kWh/dia}$$



Dimensionamento dos Módulos FV

$$\begin{aligned}\text{Consumo médio diário} &= \frac{\text{média mensal consumo} - \text{média mensal de produção da usina existente}}{365/12} \\ &= \frac{5762,6 - 2286,8}{365/12} = 114,27 \text{ kWh/dia}\end{aligned}$$

$$\text{Número de Módulos} = \frac{\text{Consumo médio diário}}{W_{\text{módulo}}} = \frac{114,27}{2,086} \cong 55 \text{ módulos}$$

$$P_{\text{arranjo}} = 55 * 540 = 29.700W$$



Dimensionamento do Inversor

Nova usina com inversor Growatt MAC 30KTL3-XL

- Potência máxima de entrada CC – 39kW
- Faixa tensão: 200V-1000V
- MPPT: 3
- Strings por MPPT: 4
- Máxima corrente entrada: 52A

- Potência de saída CA – 30kW
- Tensão saída CA: 127V/220V
- Máxima corrente saída: 87,4A





Dimensionamento do Inversor

Potência máxima de 39.000 W ou 39 kW.

$$\square P_{inv}^{m\acute{a}x} > P_{arranjo} \rightarrow P_{inv}^{m\acute{a}x} > N * P_{m\acute{o}dulos} \rightarrow 39000W > N * 540 \rightarrow N < 72;$$

$$\square I_{inv}^{m\acute{a}x} > 1,1 * I_{SC} \rightarrow 52 > 1,1 * 13,90 \rightarrow 52 > 15,29 \quad (\text{pode-se implantar paralelamente at\acute{e} 3 conjuntos de m\acute{o}dulos: 45,87A);$$

$$\square V_{inv}^{m\acute{a}x} > 1,2 * N * V_{OC} \rightarrow 1100 > 1,2 * N * 49,2 \rightarrow N < 18,6 \text{ m\acute{o}dulos em s\acute{e}rie};$$

Proposta: 6 strings com 10 m\acute{o}dulos cada, sendo 2 strings por MPPT.

$$W_{TOTAL} = 60 * 4,82 * 2,56 * 0,211 * 0,80 = 124,97 \text{ kWh/dia}$$



Proteção do Sistema Fotovoltaico

- DPS CC de 500V e de 20 kA.
- Fusíveis CC para isolar e proteger os arranjos: de 500V e 32A.
- Chaves seccionadoras e caixa com grau de proteção, para cada arranjo, com proteção de 32A e 500V.
- DPS CA: 175V.
- Chave seccionadora CA tripolar 100A.



Dimensionamento do Sistema – Cabos CC e CA

- CC 4mm²

- pelo critério de queda de tensão →

$$S = \frac{L \cdot I_b}{\sigma \cdot V_m} = \frac{2 \cdot 80 \cdot 15,29}{44 \cdot 0,03 \cdot 492} = 3,77 \text{mm}^2 \rightarrow 4 \text{mm}^2$$

- pelo critério da capacidade de corrente, a seção 4,0mm² conduz 40A

- CA 25mm²

- pelo critério de queda de tensão → 6,0mm²
- pelo critério de capacidade de corrente, para $I_b = 87,4A$, o cabo será de 25mm²
- pelo critério da seção mínima para circuitos de força → 2,5mm²

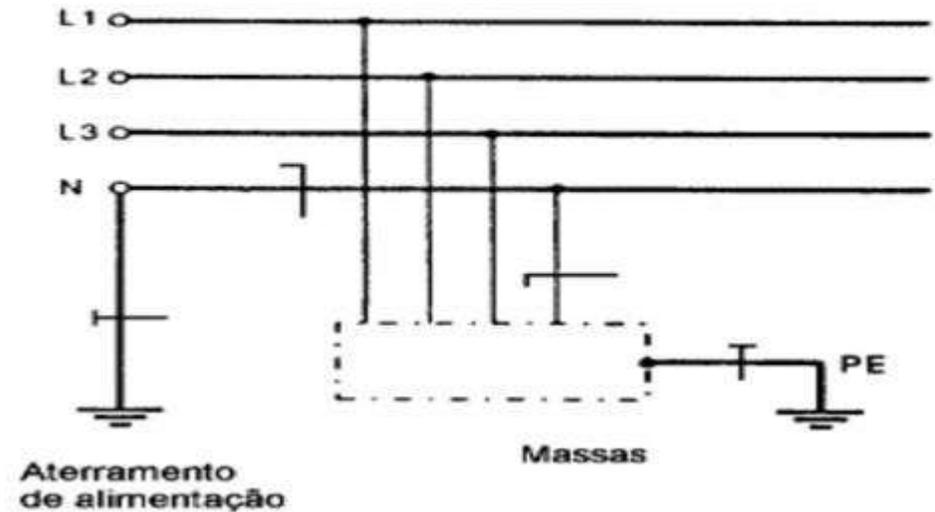




Aterramento

- A nova usina proposta será interligada aos circuitos de aterramento através do quadro principal de distribuição de circuitos, e também serão utilizados trilhos cravados no solo para estrutura de sustentação.

ESQUEMA TT





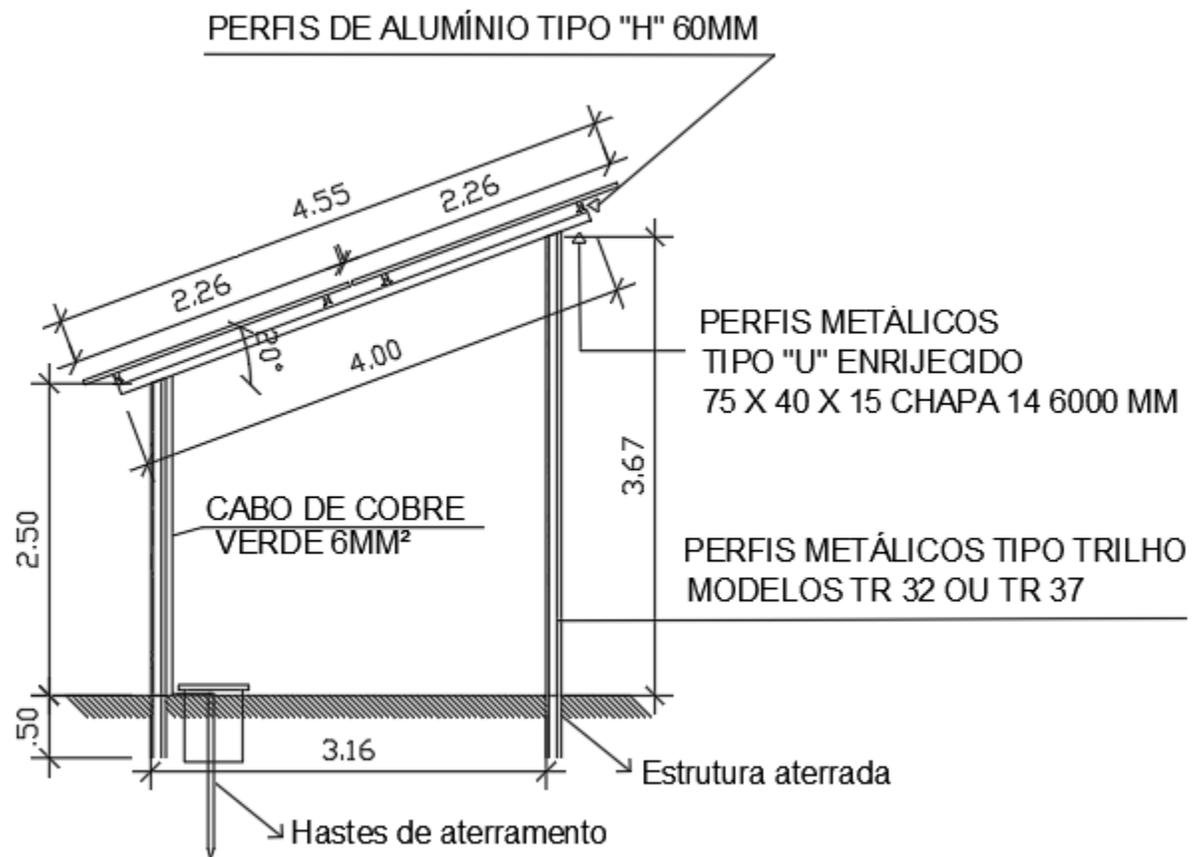
Estrutura do Sistema FV

- Serão utilizados trilhos como pilares de apoio;
- Os trilhos metálicos são instalados a cada 4,00 metros, e o mais nivelados possível de cada um dos lados da área a ser ocupada pelos módulos.





Sistema FV - Estrutura



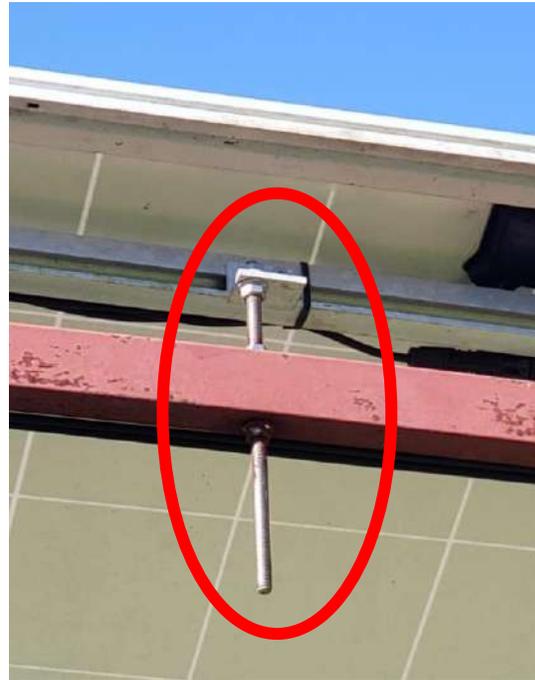
VISTA LATERAL DOS MÓDULOS E ESTRUTURA METÁLICA



Sistema FV - Estrutura



Trilhos utilizados como sustentação



Fixação dos perfis H nos perfis tubulares



Parafusos de fixação



Usina Ativa: Verificação do Dimensionamento

- Inversor 20000TL3-S
- 63 módulos Canadian Solar MAXPOWER CS6U-325 (3 strings de 21)
- Transformador 380V – 220V

☐ $P_{inv}^{m\acute{a}x} > N * P_{m\acute{o}dulos} \rightarrow 25000W > N * 325 \rightarrow N < 77$

☐ $I_{inv}^{m\acute{a}x} > 1,1 * I_{SC} \rightarrow 37,5A > 1,1 * 9,34A \rightarrow 37,5A > 10,27A$ (pode-se instalar até 3 conjuntos paralelamente)

☐ $V_{inv}^{m\acute{a}x} > 1,2 * N * V_{OC} \rightarrow 1000 > 1,2 * 21 * 45,5 \rightarrow 1000 > 1147$ ✘

Recalculando: $V_{inv}^{m\acute{a}x} > 1,2 * N * V_{OC} \rightarrow 1000 > 1,2 * N * 45,5 \rightarrow N < 18,3$ módulos por string



Usina Ativa: Verificação do Dimensionamento

- Recomendações para esta usina:
 - A ampliação do número de módulos para 6 conjuntos de 13 módulos CS6U-325, equilibrando as entradas CC, e atingindo a totalidade permitida pelo fabricante, e respeitando os parâmetros;
 - Realizar manutenção do equipamento, para que o mesmo opere fornecendo o máximo de energia possível, seguindo o mesmo plano da nova usina.



Viabilidade Econômica

- Possibilidade de redução de 96% no total:

- $\% \text{ redução} = 1 - \frac{\text{valor fatura compensada}}{\text{valor fatura não compensada}} = 1 - \frac{122,61}{2958,28} = 1 - 0,04 = 0,96 = 96\%$

- Considerações:

- Limpezas serão realizadas 4 vezes/ano, num custo de R\$126,24 por dia, durante 3 dias por limpeza, totalizando R\$1.514,88;
 - Manutenções preventivas através de contrato de manutenção elétrica existente (já é realizado);
 - Manutenções corretivas através de contrato de manutenção elétrica existente (por demanda).



Viabilidade Econômica

Reajuste da conta de energia:	6%
Número de trafos	0
Taxa de juros do financiamento	-
Taxa mínima de atratividade	-
Tarifa Energia (R\$)	0,84
Iluminação pública (R\$)	38,61
Mínimo - Trifásico	100

Informações de tarifação

Potência do módulo (Wp)	540
Número de módulos	60
Potência do inversor (kW)	30
Número de inversores	1
Potência dos inversores (kW)	30
Preço dos insumos	R\$ 122.466,11
Custos administração pública (R\$) – 35%	R\$ 42.863,14
Custo total	R\$ 165.329,25

Investimento total

Radiação (kWh/m ² *dia)	4,82
Perdas sombreamento	6,0%
Perdas geografia (não alinhado para o norte)	7,0%
Perdas do cabo	7,0%
Radiação considerada (kWh/m ² *dia)	4,2
Eficiência do sistema	80,00%
Módulo fotovoltaico (Wp)	540
Eficiência do módulo	21,10%
Perda de eficiência do módulo por ano	1%
Área do módulo (m ²)	2,56
Produção por módulo (kWh/ano)	828,05
Número de módulos (mínimo)	60
Potência total de módulos	32.400
Troca dos Inversores (em 10 anos)	R\$22.384,00
Área da Usina (m²)	153,80

Informações gerais da usina



Viabilidade Econômica – Fluxo de Caixa

Ano	Invest. R\$	Tarifa R\$/kWh	Iluminação Publica R\$	Pagamento Mínimo	Despesa Manutenção R\$	Produção kWh	Energia Expirada (kWh)	Saldo energia 5 anos
0	165329,25	0,84	463,32	1008,00	1514,88	49683		7973
1	0	0,89	491,12	1068,48	1590,62	49186		15449
2	0	0,94	520,59	1132,59	1670,16	48694		22433
3	0	1,00	551,82	1200,54	1753,66	48207		28930
4	0	1,06	584,93	1272,58	1841,35	47725		34945
5	0	1,12	620,03	1348,93	1933,41	47248	7973	26973
6	0	1,19	657,23	1429,87	2030,08	46775	7476	19497
7	0	1,26	696,66	1515,66	2131,59	46308	6984	12512
8	0	1,34	738,46	1606,60	2238,17	45845	6497	6015
9	0	1,42	782,77	1702,99	2350,08	45386	6015	0
10	22384,05	1,50	829,74	1805,17	2467,58	44932	5538	0
11	0	1,59	879,52	1913,48	2590,96	44483		2.773
12	0	1,69	932,29	2028,29	2720,51	44038		5.101
13	0	1,79	988,23	2149,99	2856,53	43598	4135	966
14	0	1,90	1047,52	2278,99	2999,36	43162	3676	0
15	0	2,01	1110,37	2415,73	3149,33	42730	3222	0
16	0	2,13	1177,00	2560,67	3306,79	42303	2773	0
17	0	2,26	1247,62	2714,31	3472,13	41880	2328	0
18	0	2,40	1322,47	2877,17	3645,74	41461	1639	0
19	0	2,54	1401,82	3049,80	3828,03	41046		0
20	0	2,69	1485,93	3232,79	4019,43	40636		0



Viabilidade Econômica – Orçamento do IFMG/Ponte Nova

ANO	Orçamento total	Valor de capital investido	% do orçamento
2016	R\$ 1.139.726,31	R\$ 70.357,35	6,17%
2017	R\$ 1.023.201,47	R\$ 33.716,18	3,30%
2018	R\$ 1.017.131,71	R\$ 90.194,71	8,87%
2019	R\$ 1.357.199,81	R\$ 166.658,51	12,28%
2020	R\$ 1.073.275,88	R\$ 175.601,18	16,36%
2021	R\$ 1.034.317,31	R\$ 196.121,72	18,96%
2022	R\$ 1.079.141,00	R\$ 57.435,93	5,32%
MÉDIA	R\$1.103.427,64	R\$112.869,37	10,18%

Orçamentos IFMG – Ponte Nova e capacidade de investimento

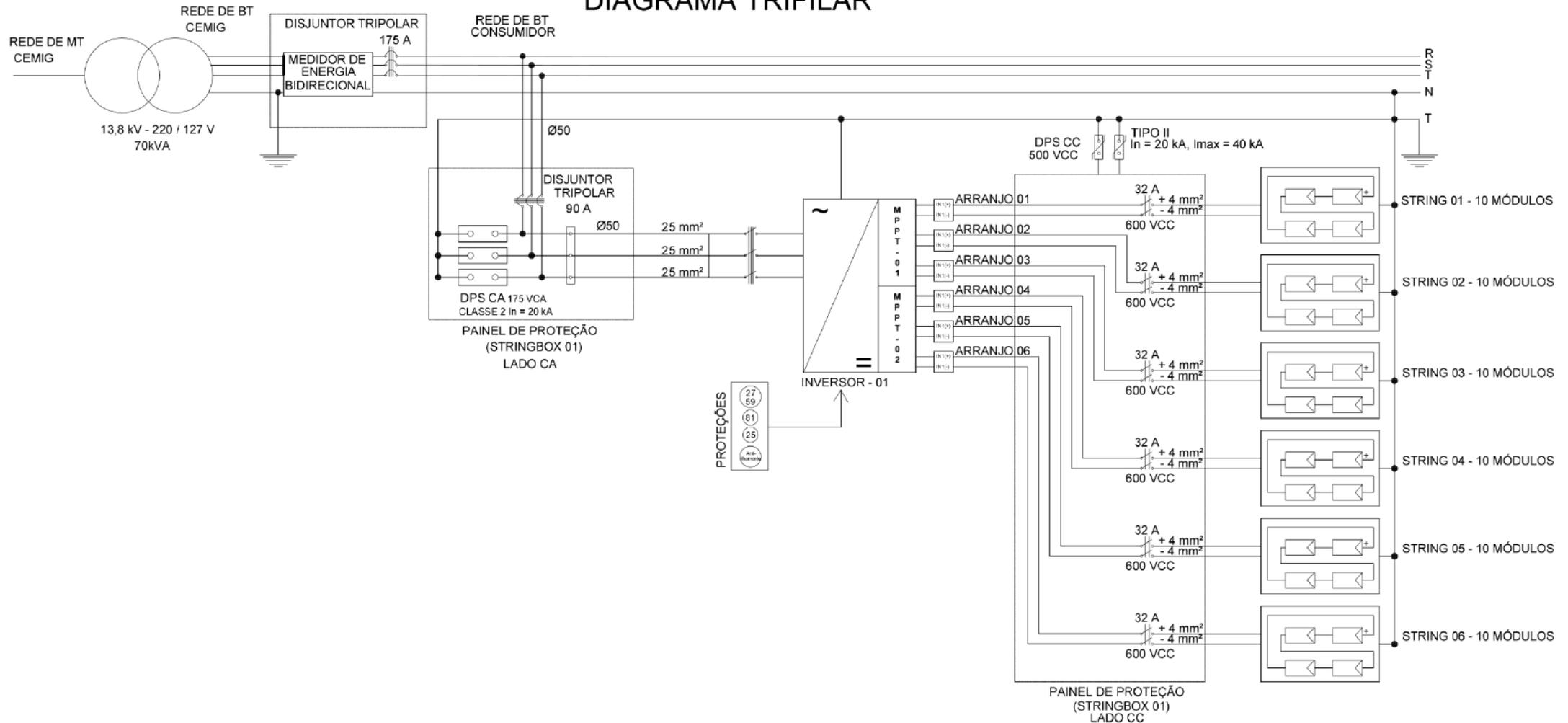
VPL (TMA = 9%)	R\$ 325.004
TIR	30,79%
Payback Simples	3,6
Payback Descontado	4,5

Parâmetros financeiros comparativos



Projeto Elétrico

DIAGRAMA TRIFILAR





ELT 554 – Trabalho de Conclusão de Curso

Obrigado!



Dúvidas?

Gustavo Reis de Moraes

gustavo.moraes@ifmg.edu.br