

Universidade Federal de Uberlândia

Faculdade de Engenharia Elétrica

Curso de Engenharia de Elétrica - Sistemas de Energia

Projeto de uma subestação para uma planta tipicamente industrial no setor de produção de vidro de 13800V/380V em conformidade com a norma da CEMIG ND 5.3

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação

por

Guilherme Abner Cota

Orientador: Prof. Antônio Carlos Delaiba

Uberlândia, Janeiro 2020

Guilherme Abner Cota

**Projeto de uma subestação para uma planta tipicamente industrial no setor
de produção de vidro de 13800V/380V em conformidade com a norma da
CEMIG ND 5.3**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Elétrica - Sistemas de Energia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Prof. Antônio Carlos Delaiba

Uberlândia

2019

Agradecimentos

*Eu gostaria de agradecer a todos que me apoiaram
durante esta jornada, especialmente para:*

*Minha família por todo aconselhamento e motivação ao
longo da graduação.*

*A Equipe de Competição Cerrado Baja SAE por todo
aprendizado e experiências que pode me proporcionar*

Minha companheira Keila Almeida por todo apoio dado.

*Finalmente eu gostaria de agradecer o Prof. Antônio
Carlos Delaiba por todo conhecimento transmitido.*

*O maior bem do homem
é uma mente inquieta.*

Isaac Asimov

RESUMO

Este trabalho trata de um projeto de uma Subestação abrigada para suprir a demanda energética de uma planta industrial típica de uma fábrica de vidros.

O projeto foi elaborado a partir de uma relação de cargas típicas que compõe uma instalação industrial no setor de produção de vidro seguindo os requisitos normativos da concessionária de energia CEMIG, respectivamente a norma ND 5.3. Nele foram feitos todos os cálculos que justificam a escolha dos equipamentos, arranjos e *layout* da Subestação com base nos requisitos normativos.

Palavras-chave: Subestação, Indústria, CEMIG, ND 5.3, Projeto.

ABSTRACT

This work deals with an substation project to supply the energy demand of a typical industrial plant of a glass factory.

The project was elaborated from a typical load relation that composes an industrial installation in the glass production sector, following the normative requirements of the power utility CEMIG, respectively the ND 5.3 standard. Was made all calculations that justify choosing Substation equipments, arrangements and layout based on regulatory requirements.

Keywords: Substation, Industry, CEMIG, ND 5.3, Project.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Subestação típica de distribuição.....	12
Figura 2	Representação do sistema em p.u..	26
Figura 3	Onda de sobretensão normalizada para descargas atmosféricas.	30
Figura 4	Onda de sobretensão cortada.	30
Figura 5	Disjuntor de média tensão á vácuo modelo VD4.....	34
Figura 6	Disjuntor tipo caixa aberta modelo Emax E4.	36
Figura 7	TC Modelo BCS 10B - Fabricante Brasformer.	42
Figura 8	TP Modelo IPSG - Fabricante Zilmer.	46
Figura 9	Seccionadora sob carga modelo SR - Fabricante Sarel.	48
Figura 10	Forma de onda padronizada de corrente de descarga.	49
Figura 11	Níveis máximos de proteção de pára-raios.	51
Figura 12	Para-raio polimérico modelo PBP 12/10 - Fabricante Balestro.	52
Figura 13	Tabela 28 - Capacidade de condução de corrente para cabos de média tensão 8,7/15 kV.	54
Figura 14	Método de instalação para condutores em baixa tensão.....	56
Figura 15	Relação bitola x capacidade de condução de corrente de acordo com método de instalação.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Relação de cargas.	15
Tabela 2	Relação de cargas com fator de potência.	21
Tabela 3	Parâmetros do transformador	31
Tabela 4	Comparativo dos parâmetros do disjuntor média tensão	34
Tabela 5	Comparativo dos parâmetros do disjuntor geral em baixa tensão	36
Tabela 6	Tabela comparativa dos parâmetros do TC de proteção	43
Tabela 7	Relação: Grupo de ligação x Fator de sobretensão (NBR 6855 [12])	45
Tabela 8	Comparativo dos parâmetros do TP de proteção	46
Tabela 9	Comparativo dos parâmetros do para-raio	53

LISTA DE SIGLAS

I_{cc}	Corrente de curto-circuito
S_{cc}	Potência de curto-circuito
Z_{ent}	Impedância de entrada
Z'_{ent}	Impedância de entrada referida ao secundário
Z_{eq}	Impedância equivalente
S_b	Potência de base
I_b	Corrente de base
Z_b	Impedância de base
V_b	Tensão de base
Z_t	Impedância do transformador
C_{TC}	Carga TC
L_C	Comprimento de condutor
Z_C	Impedância de condutor
P_T	Potência térmica
I_{Term}	Corrente térmica TC
t_T	Tempo de suportabilidade a corrente térmica
t_{OP}	Tempo de operação da proteção
F_{TCC}	Fator térmico de curto-circuito
$V_{imp1/20}$	Tensão residual para impulso de corrente ingreme 1/20 us
$V_{imp8/20}$	Tensão residual para impulso de descarga atmosférica 8/20 us
$V_{imp30/60}$	Tensão residual para impulso de manobra 30/60 us
I''_K	Valor RMS da corrente de curto-circuito simétrica
TP	Transformador de Potencial
TC	Transformador de Corrente
$TAFI$	Tensão Aplicada a Frequência Industrial
NBI	Nível Básico de Impulso
$ANEEL$	Agência Nacional de Energia Elétrica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos	11
1.2	Estrutura do trabalho	11
1.3	Motivação	11
1.4	Introdução teórica	11
2	ESTUDO DE CASO	14
2.1	Introdução	14
2.2	Relação de cargas de uma típica fábrica de vidros temperados	14
3	PROJETO	17
3.1	Introdução	17
3.2	Transformador	17
3.2.1	Informações preliminares	17
3.2.1.1	Número de fases do sistema	18
3.2.1.2	Frequência do sistema	19
3.2.1.3	Nível de curto-circuito do sistema	19
3.2.1.4	Potência nominal do transformador	21
3.2.1.5	Tipo do transformador	22
3.2.1.6	Classe de tensão	22
3.2.1.7	Tipo de ligação	23
3.2.1.8	Impedância percentual	23
3.2.1.9	Classe de temperatura	28
3.2.1.10	Isolante	28
3.2.1.11	Sistema de arrefecimento	28
3.2.1.12	Derivações no enrolamento	29
3.2.1.13	TAFI	29
3.2.1.14	NBI	29
3.2.1.15	Regime de serviço	30
3.3	Equipamentos de proteção	31

3.3.1	Disjuntores	32
3.3.1.1	Introdução	32
3.3.1.2	Disjuntor de entrada - Média tensão	32
3.3.1.3	Disjuntor geral - Baixa tensão	34
3.3.2	Transformadores de corrente	36
3.3.3	Transformador de potencial	42
3.3.4	Chave seccionadora	46
3.3.5	Para-raio.....	49
3.4	Condutores	52
3.4.1	Condutores de média tensão	53
3.4.2	Condutores de baixa tensão	55
3.4.3	Barramentos.....	58
3.5	Aterramento	59
4	CONCLUSÃO	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

O objetivo desse trabalho é proporcionar ao autor a aplicação do conhecimento adquirido na graduação para a elaboração de um projeto e servir de experiência para futuros projetos.

1.2 Estrutura do trabalho

Este trabalho é estruturado em quatro capítulos, são eles: Introdução, Estudo de caso, Projeto e Conclusão. O primeiro capítulo trata do objetivo, da estrutura do trabalho, da motivação e uma breve introdução ao tema Subestações para relembrar os principais conceitos ligados ao tema. No segundo capítulo é feito uma breve abordagem do projeto que trata-se de um estudo de caso. No terceiro capítulo é feito o desenvolvimento do projeto, onde são especificados os equipamentos que compõem a subestação e o terceiro e último capítulo trata da conclusão do projeto.

1.3 Motivação

Este trabalho foi motivado pela necessidade e desejo do autor de trabalhar com projetos elétricos, portanto servirá como base para enfrentar desafios que serão recorrentes na carreira. Outra motivação é o desejo de aplicar o conhecimento adquirido na graduação, que aos olhos do autor é o objetivo da instituição, formar profissionais que saibam aplicar o conhecimento científico para promover o desenvolvimento da sociedade.

1.4 Introdução teórica

Antes de tratar do projeto propriamente dito é importante relembrar os principais conceitos, terminologias, classificações e arranjos no que diz respeito a subestações de energia.

Uma Subestação é definida de acordo com a ND 5.3 [1] como uma estação com uma ou mais das funções de gerar, medir, controlar a energia elétrica ou transformar suas

ente. Este tipo possui um cliente particular como a principal fonte de fornecimento de energia. Os requisitos técnicos e o tipo de construção dessa instalação podem variar bastante, pois depende muito dos requisitos do cliente. Este tipo de subestação é o que será tratado neste trabalho.

O terceiro tipo é conhecido como estação de comutação, geralmente são grandes e se localizam nos pontos finais das linhas de transmissão, fornecem energia elétrica para para os circuitos que alimentam as estações de distribuição.

O quarto e último tipo é a de distribuição. Estes são os tipos mais comuns em sistemas de energia elétrica e fornecem os circuitos de distribuição que abastecem diretamente a clientes diversos. Eles estão normalmente localizados perto dos centros de carga.

Os elementos típicos que compõem uma subestação são: Para-raio, Centelhador (opcional), Chave lâmina de terra, Transformadores de Potencial para proteção e medição, Transformadores de corrente de proteção e medição, Transformador de Força (não se aplica pra subestações de comutação), Disjuntor, Relé microprocessado, Chave bypass, isoladores, barramentos, etc.

2 ESTUDO DE CASO

2.1 Introdução

O Estudo de caso desse trabalho assim como dito na introdução trata-se do projeto de uma subestação de energia para uma planta tipicamente industrial no setor de fabricação de vidro.

A principal informação preliminar para iniciar o projeto de uma subestação que irá atender uma indústria é a relação de cargas dela. Essa informação foi obtida a partir da relação de cargas típicas que compõem uma indústria de vidro. Foi considerado um industria que produz vidro temperado.

Uma planta industrial típica em geral possui uma demanda energética alta em função das diversas máquinas que a compõe, na sua maioria essas máquinas são acionadas por motores elétricos que no montante representam uma parcela significativa da demanda energética. Fazem parte da carga instalada também máquinas que trabalham com temperaturas elevadas, obtidas a partir de fenômenos elétricos como indução e efeito joule, ou mesmo proveniente da queima de gases. De qualquer maneira a demanda energética dessas máquinas também representam uma parcela significativa da potência instalada. Uma fábrica de vidro não poderia ser diferente. As máquinas para processamento de vidros servem para temperar, moldar, cortar, lapidar, furar, lavar, estocar e expedir o material. Em sua maioria essas máquinas são acionadas por motores elétricos trifásicos, sendo alguns controlados por conversores de frequência. Existem também os fornos que servem para temperar e dar forma ao vidro.

2.2 Relação de cargas de uma típica fábrica de vidros temperados

Para o projeto da subestação em questão buscou-se relacionar todas as cargas típicas de uma planta industrial para produção de vidro temperado.

A produção desse vidro envolve o uso de grandes fornos para alterar o estado físico da matéria-prima (sílica, água, ferro, carbonato de sódio, dolomita, pedra calcária, barri-

lha, sobras de vidro, etc) e dar condições para as reações químicas necessárias. Depois de produzidos as lâminas de vidro são necessários mesas de corte, lapidadoras e furadeiras para dar forma ao vidro. Depois de moldado o vidro precisa ser transportado por meio de pontes rolantes. São necessários ainda no processo de laminação compressores de alta pressão, sendo esses acionados por motores elétricos.

O levantamento das cargas necessárias para produção de vidro temperado estão organizadas na tabela a seguir de acordo com a quantidade, a descrição do equipamento e a respectiva potência em Watts assim como o montante de potência:

Tabela 1: Relação de cargas.

QUANT.	DESCRIÇÃO	POT. UNITÁRIA (W)	POT. TOTAL (W)
1	FORNO DE TEMPERA HORIZONTAL FH2751 SGLASS - 3Ø - 380V	370000	370000
1	FORNO DE TEMPERA HORIZONTAL FH2770 SGLASS - 3Ø - 380V	630000	630000
1	MESA DE CORTE - 3Ø - 380V	16000	16000
6	LAPIDADORA RETILÍNEA - 3Ø - 380V	15000	90000
4	FURADEIRA DUPLO CABEÇOTE - 3Ø - 380V	4000	16000
2	LAVADORA HORIZONTAL 3Ø - 380V	21000	42000
1	PONTE ROLANTE - 15 TONELADAS 3Ø - 380V	20000	20000
1	COMPRESSOR DE PARAFUSO 15CV - 3Ø - 380V	11100	11100
60	LÂMPADA VAPOR METÁLICO 250W + REATOR 25W	275	16500
2	LÂMPADA VAPOR METÁLICO 400W + REATOR 25W	425	850
30	LÂMPADA FLUORESCENTE 110W + REATOR 20W	130	3900
20	LÂMPADA FLUORESCENTE 32W + REATOR 8W	40	800
34	TOMADA MONOFÁSICA 300W	300	10200
6	TOMADA TRIFÁSICA 5KW - 380V	5000	30000
5	COMPUTADOR	500	2500
2	IMPRESSORA	1000	2000
1	COPIADORA	1300	1300
1	EQUIPAMENTOS DE REDE	500	500
1	SERVIDOR	1000	1000
1	MINI-SPLIT AR COND. 12000 BTU/h	1300	1300
6	MINI-SPLIT AR COND. 30000 BTU/h	3600	21600

A partir da tabela acima é possível notar que os fornos representam a maior parcela da potência instalada conforme dito anteriormente. Nota-se também que será necessário um setor administrativo que irá contar com computadores, servidores e copiadoras. Considerando que as cargas serão instaladas em um grande galpão no terreno da indústria percebe-se que quantidade de lâmpadas é elevada, isso se justifica pois em geral esses galpões além de serem grandes e possuem um pé direito alto, além do mais a parte externa do galpão deve ser também iluminada.

O somatório das potências totais da relação de cargas gera um montante de 1.287.550 W. Esse valor representa a potência instalada, é necessário conhecer a demanda da planta.

A ND 5.3 [1] no item 4.2.3 diz: "Para todos os cálculos deve ser considerada como corrente nominal aquela relativa à demanda provável (em kW, ou em kVA, considerando fator de potência 0,92) acrescida de 5%.", portanto a seguir são feitas as considerações a respeito da demanda dessa instalação.

É possível notar que os fornos representam a maior parcela da potência instalada. Os fornos assim como as cargas listadas foram consideradas com regime de funcionamento contínuo, ou seja, funcionam 24 horas por dia, 7 dias por semana:

- MESA DE CORTE - 3Ø - 380V
- LAPIDADORA RETILÍNEA - 3Ø - 380V
- FURADEIRA DUPLO CABEÇOTE - 3Ø - 380V
- LAVADORA HORIZONTAL 3Ø - 380V
- PONTE ROLANTE - 15 TONELADAS 3Ø - 380V
- COMPRESSOR DE PARAFUSO 15CV - 3Ø - 380V

Essas cargas correspondem a 93% da potência instalada, assim por mais que as outras cargas possuam um regime de funcionamento diferente como por exemplo as lâmpadas que permanecem maior parte do dia desligadas e as tomadas que são utilizados apenas uma parcela do quantidade instalada podemos considerar o fator de demanda unitário, assim a demanda é igual a potência instalada.

Para efeito de cálculo e especificação de componentes será considerado a demanda acrescida de 5% com base em um fator de potência de 0,92 conforme requisitado em [1]:

$$Demanda = \frac{1.287.550}{0,92} * 1,05 = 1.469.486 \quad (2.1)$$

Assim os cálculo para especificação dos componentes será feito com base em uma demanda de 1.469.486 VA.

3 PROJETO

3.1 Introdução

A partir da relação de cargas da indústria será especificado nessa seção os componentes da subestação, sendo eles, transformador de força, disjuntor em média tensão, TPs, TCs, chaves seccionadoras, para-raios, condutores de média tensão, condutores de baixa tensão e barramento de média tensão e aterramento. Todos os cálculos para a especificação foram feitos com base na teoria pertinente a cada equipamento e com base nos requisitos normativos aplicados.

3.2 Transformador

A especificação de um transformador é constituída por diversas informações que vão desde as características de projeto até operação e manutenção. A especificação deve ser criteriosa e deve-se possuir o máximo de informações preliminares possíveis pois o transformador é o item de maior valor em uma subestação. Assim caso a especificação resulte em um transformador inadequado à subestação e venha ocorrer falhas, essas poderão ser onerosas.

Este estudo se limitará as especificações elétricas que devem ser fornecidas pelo projetista e em conformidade a norma que rege a sua especificação em condições normais de operação. Para transformadores de potência a norma correspondente é a ABNT NBR 5356:2007 [4]. Além de estar em conformidade com a norma mencionada o transformador deve seguir os critérios estabelecidos na ND 5.3 [1].

3.2.1 Informações preliminares

As informações preliminares necessárias para a especificação de transformadores de potência envolvem o sistema elétrico onde o mesmo irá operar, as principais são estão resumidas abaixo e serão detalhadas posteriormente:

- Número de fases do sistema.

- Frequência do sistema.
- Nível de curto-circuito do sistema.
- Potência nominal do transformador.
- Tipo do transformador.
- Classe de tensão primária e secundária.
- Tipo de ligação.
- Impedância percentual.
- Classe de temperatura.
- Isolante.
- Sistema de arrefecimento
- Derivações no enrolamento (TAPs).
- TAFI
- NBI
- Regime de serviço.

Outras informações podem ser necessárias dependendo do local da instalação e do tipo de serviço realizado nas intermediações do transformador como por exemplo: nível de ruído audível, vibração, nível de tensão de rádio interferência, intensidade de descargas parciais, etc. Para este estudo iremos nos limitar as informações descritas acima.

3.2.1.1 Número de fases do sistema

O sistema aqui considerado é a entrada de energia fornecido pela concessionária de energia no local das instalações da indústria, CEMIG.

De acordo com o Módulo 3 do PRODIST [5] as concessionárias são obrigadas a fornecerem em média tensão níveis padronizados de energia a três fios (fases) são eles: 13,8 kV e 34,5 kV. A concessionária CEMIG tem por padrão a distribuição em média

tensão 13,8 kV em três fases, portanto o número de fases do sistema é três e a tensão de entrada é 13,8 kV.

3.2.1.2 Frequência do sistema

A frequência de todo o Sistema Elétrico brasileiro é padronizado pela ANEEL em 60 [Hz], assim a frequência do sistema é de 60 [Hz].

3.2.1.3 Nível de curto-circuito do sistema

O acesso ao sistema de distribuição de energia em média tensão requer mais critérios quando para consumidores em baixa tensão. A ND 5.3 [1] estabelece que deve ser feito a proteção do ramal de entrada da unidade consumidora em média tensão. Essa proteção deve contemplar no mínimo a proteção de sobrecorrente de modo coordenado com o fusível da concessionária. Assim a elaboração de um projeto de proteção em média tensão para subestação e a coordenação é necessário a informação da corrente de curto-circuito ou potência de curto-circuito no ramal de entrada da unidade consumidora. Essas informações são cedidas pela concessionária.

Para o projeto em questão, conforme dito anteriormente trata-se de um estudo de caso, portanto buscou-se obter o maior número de informações preliminares possíveis para elaboração do projeto, uma dessas informações é a corrente de curto-circuito no local da instalação, informação essa cedida pela CEMIG. A corrente de curto-circuito considerada para o projeto foi o de uma instalação industrial de médio porte sediada na área industrial de Uberlândia, assim a informação cedida a respeito da corrente de curto-circuito no ramal de entrada da indústria é de:

$$I_{cc}(A) = 3.369 / \underline{79,4^\circ}$$

Para fins de especificação do transformador torna-se interessante saber a potência de curto-circuito no ramal de entrada da subestação. Essa informação pode ser obtida pela seguinte relação:

$$S_{cc}(VA) = \sqrt{3} * U * I_{cc} \quad (3.1)$$

Onde:

S_{cc} = Potência de curto-circuito do sistema em VA.

U = Tensão no ramal de entrada em volts.

I_{cc} = Corrente de curto-circuito em ampères.

$$S_{cc}(VA) = \sqrt{3} * 13.800 * 3.369 / \underline{79,4^\circ} \quad (3.2)$$

Logo:

$$S_{cc} = 80,526853 \text{ MVA}$$

A partir dessas informações é possível elaborar o projeto de proteção do sistema e a coordenação com o fusível da concessionária além de estabelecer o nível de curto-circuito em que o transformador e os demais equipamentos da subestação estarão sujeitos.

Outra informação importante que pode ser calculada nesse momento é a impedância de entrada pois a mesma somada a impedância do transformador, ambas referenciadas ao secundário irá influenciar no nível de curto-circuito do secundário e assim influenciar na proteção no secundário do transformador. Assim:

$$Z_{ent}(\Omega) = \frac{V_{np}^2}{S_{cc}} \quad (3.3)$$

Onde:

V_{np}^2 = Tensão nominal no primário do transformador.

$$Z_{ent}(\Omega) = \frac{13.800^2}{80,526853 * 10^6} \quad (3.4)$$

Portanto:

$$Z_{ent} = 2,365 (\Omega)$$

Essa informação será usada posteriormente para definir o nível de curto-circuito do secundário assim quando for especificado a impedância percentual do transformador.

Podemos concluir então que o nível de curto-circuito em que o transformador a ser especificado estará sujeito é de 80,526853 MVA.

3.2.1.4 Potência nominal do transformador

A potência nominal do transformador deve ser igual ou superior a demanda máxima da fábrica de modo que não ocorra aquecimento devido a sobrecargas. sendo o ideal que a potência do transformador seja superior, assim garante-se uma margem de segurança e até mesmo possibilidade de futuras ampliações. A potência pode até ser igual ou inferior desde que o fator de demanda seja baixo.

Os fabricantes de transformadores fornecem os transformadores com potência nominal expressa em (VA), portanto para se determinar a potência instalada em (VA) foi feito o levantamento do fator de potência de cada carga descrita na tabela 1 com base nos catálogos dos fabricantes dos equipamentos. Abaixo estão relacionados as cargas com seus respectivos fator de potência, assim como sua potência em VA.

Tabela 2: Relação de cargas com fator de potência.

QUANT.	DESCRIÇÃO	POT. UNITÁRIA (W)	POT. TOTAL (W)	F.P.	POT. TOTAL (VA)
1	FORNO DE TEMPERA HORIZONTAL FH 2751 - 3Ø - 380V	370000	370000	0,88	420445
1	FORNO DE TEMPERA HORIZONTAL FH 2770 - 3Ø - 380V	630000	630000	0,91	692308
1	MESA DE CORTE - 3Ø - 380V	16000	16000	0,92	17391
6	LAPIDADORA RETILÍNEA - 3Ø - 380V	15000	90000	0,9	100000
4	FURADEIRA DUPLO CABEÇOTE - 3Ø - 380V	4000	16000	0,89	17978
2	LAVADORA HORIZONTAL 3Ø - 380V	21000	42000	0,94	44681
1	PONTE ROLANTE - 15 TONELADAS 3Ø - 380V	20000	20000	0,82	24390
1	COMPRESSOR DE PARAFUSO 15CV - 3Ø - 380V	11100	11100	0,85	13059
60	LÂMPADA VAPOR METÁLICO 250W + REATOR 25W	275	16500	0,95	17368
2	LÂMPADA VAPOR METÁLICO 400W + REATOR 25W	425	850	0,95	895
30	LÂMPADA FLUORESCENTE 110W + REATOR 20W	130	3900	0,95	4105
20	LÂMPADA FLUORESCENTE 32W + REATOR 8W	40	800	0,95	842
34	TOMADA MONOFÁSICA 300W	300	10200	0,92	11087
6	TOMADA TRIFÁSICA 5KW - 380V	5000	30000	0,92	32609
5	COMPUTADOR	500	2500	0,7	3571
2	IMPRESSORA	1000	2000	0,7	2857
1	COPIADORA	1300	1300	0,7	1857
1	EQUIPAMENTOS DE REDE	500	500	0,7	714
1	SERVIDOR	1000	1000	0,7	1429
1	MINI-SPLIT AR COND. 12000 BTU/h	1300	1300	0,8	1625
6	MINI-SPLIT AR COND. 30000 BTU/h	3600	21600	0,8	27000

O somatório das potências totais em VA gera montante de 1.436.221 (VA). Esse valor servirá de referência para a especificação do transformador porém conforme dito anteriormente a ND 5.3 [1] pede que os cálculos para especificação de equipamentos sejam feitos com base na demanda acrescida de 5% com base em um fator de potência de 0.92, esse valor foi calculado anteriormente resultando em 1.469.486 VA, portanto para a especificação da potência do transformador é ideal que o mesmo tenha uma potência igual ou superior a esse valor. O transformador comercializado com potência próximo a esse valor e superior ao mesmo é de 1.500 kVA. Dessa maneira fica definido a potência do transformador a ser usado.

Algumas considerações a respeito do levantamento do fator de potência das cargas descritas na Tabela 2 são:

O fator de potência dos equipamentos específicos para produção do vidro como fornos, mesa de corte, lapidadora, furadeira, lavadeira, etc. foram extraídos de catálogos dos fabricantes.

Para as lâmpadas foi considerado o fator de potência dos reatores também extraído de catálogos de fabricantes.

As tomadas monofásicas e trifásicas tiveram como base um fator de potência de referência de 0,92.

Equipamentos como Computadores, Impressoras, Copiadoras e Servidores que apresentam em sua entrada fonte chaveada apresentam baixo fator de potência devido a sua característica de funcionamento, assim foi considerado o fator de potência típico de fontes chaveada para uso em produtos eletrônicos.

Para os ares-condicionados foi considerado o fator de potência de 0,8 conforme sugerido na norma técnica da CEMIG ND 5.1 [6].

3.2.1.5 Tipo do transformador

O tipo do transformador a ser definido diz respeito ao seu arranjo mecânico: Transformador trifásico ou banco de transformadores monofásicos conectados entre si.

A norma técnica que serve de diretriz para esse projeto, ND 5.3 [1] requer que seja feito o uso de transformador trifásico, assim fica definido que o tipo do transformador da subestação em questão será esse.

3.2.1.6 Classe de tensão

A classe de tensão segundo a ANEEL [7] é a "Tensão para a qual os equipamentos são projetados e fabricados para sua operação", ou seja, trata-se do valor máximo de

tensão eficaz que o mesmo deve suportar operando em condições nominais.

O transformador foi considerado para uma subestação instalada na cidade de Uberlândia-MG e portanto estará sujeito a disponibilidade de tensões fornecida pela concessionária de energia CEMIG. A distribuição de energia fornecida pela mesma é em média tensão em 13.800 Volts e baixa tensão em 220/127 Volts via transformadores de distribuição.

Para a indústria em questão é interessante ter a tensão secundária em 380 Volts pois a maioria das máquinas e equipamentos trabalham nesse nível de tensão. Assim fica definido a relação do transformador que será de 13.800 V/380 V. Para esses valores de tensões a NBR 5356/2016 [4], estabelece as seguintes classes: Para o primário em 13.800 V a classe de tensão é de 15 kV e para o secundário até 1 kV.

3.2.1.7 Tipo de ligação

O tipo de ligação do transformador define o arranjo de ligação entre os enrolamentos e consequentemente influencia nos níveis de tensão, no defasamento angular elétrico e no aterramento do mesmo.

O esquema de ligação do enrolamento primário deve ser do tipo Delta conforme especificado na ND 5.3 [1]. Isso pois a concessionária disponibiliza em média tensão apenas três fases, além do mais esse tipo de ligação possui algumas vantagens como: fornecer um caminho de circulação para da componente de 3° harmônico internamente ao transformador sem causar interferências ao secundário. A mesma norma estabelece que o esquema de ligação do secundário deve ser do tipo Dny1 [4], ou seja, estrela com neutro acessível, além do mais essa ligação proporciona dois níveis de tensão (de fase e de linha), o que é vantajoso para ligar demais cargas que não operam em 380 V como lâmpadas e computadores.

3.2.1.8 Impedância percentual

De acordo com [8] define-se como impedância percentual, à queda de tensão na impedância total do transformador, quando percorrida pela corrente nominal, expressa em

porcentagem da tensão nominal do mesmo quando um dos lados está com os terminais em curto-circuito. A impedância percentual independe do lado em que é feito o ensaio, trata-se de um parâmetro construtivo e de características dos materiais que o compõe.

A impedância percentual somada a impedância de entrada do sistema é quem limita a corrente de curto-circuito, portanto é um parâmetro extremamente importante de projeto.

Para definir qual deve ser a impedância percentual do transformador será utilizado o sistema de cálculo por unidade (pu), considerando a potência do transformador como potência base e a tensão no secundário do transformador como tensão base:

- $S_b = 1.500$ (kVA)

- $V_b = 380$ (V)

Logo é possível determinar a impedância base:

$$Z_b(\Omega) = \frac{V_b^2}{S_b} \quad (3.5)$$

Onde:

Z_b = Impedância base em Ohms.

V_b = Tensão base em Volts.

S_b = Potência base em VA.

$$Z_b(\Omega) = \frac{380^2}{1.500 * 10^3} \quad (3.6)$$

$$Z_b = 96,267 \times 10^{-3} (\Omega)$$

É possível determinar também a corrente base:

$$I_b(A) = \frac{S_b}{\sqrt{3} * V_b} \quad (3.7)$$

$$I_b(A) = \frac{1.500 * 10^3}{\sqrt{3} * 380} \quad (3.8)$$

$$I_b = 2.279 \text{ (A)}$$

Com esses dados é preciso calcular a impedância de entrada refletida para o secundário e a corrente de curto-circuito em p.u. para determinar a impedância equivalente:

Conforme calculado no item 2.3.1.3:

- Impedância de entrada referida ao primário: 2,365 (Ω).

Referindo ao secundário:

$$Z'_{ent}(\Omega) = Z_{ent} * \frac{V^2_{ns}}{V^2_{np}} \quad (3.9)$$

Onde:

Z'_{ent} = Impedância de entrada do sistema referida ao secundário em Ohms.

Z_{ent} = Impedância de entrada do sistema em Ohms.

V_{ns} = Tensão nominal no secundário do transformador em Volts.

V_{np} = Tensão nominal no primário do transformador em Volts.

$$Z'_{ent}(\Omega) = 2,365 * \frac{380^2}{13800^2} \quad (3.10)$$

$$Z'_{ent} = 1,79325 \times 10^{-3} \text{ (}\Omega\text{)}$$

Buscando limitar a corrente de curto-circuito no secundário do transformador definiu-se como critério de projeto que o nível de curto-circuito no secundário do transformador não poderá ter um valor acima de 30 kA. Esse critério de projeto se justifica no fator econômico pois dessa maneira os disjuntores poderão ter capacidade de interrupções menores e portando serão mais baratos. Assim a corrente de curto-circuito em p.u. será dada pela seguinte relação:

$$I_{cc}(pu) = \frac{30 * 10^3}{2279} \quad (3.11)$$

$$I_{cc} = 13,1637 \text{ (p.u.)}$$

Já impedância de entrada em p.u. fica:

$$Z'_{ent}(pu) = \frac{1,79325 * 10^{-3}}{96,267 * 10^{-3}} \quad (3.12)$$

$$Z'_{ent} = 0,01862794 \text{ (p.u.)}$$

A imagem a seguir ilustra a situação (Figura 2).

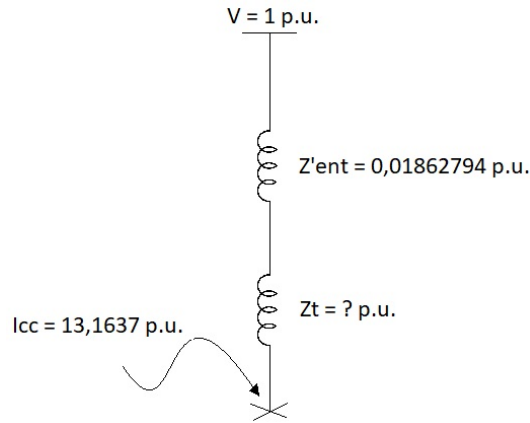


Figura 2: Representação do sistema em p.u..

Fonte: Autor.

Para determinar a impedância do transformador que somada a impedância de entrada do sistema limitará a corrente de curto-circuito no secundário do transformador em 30 kA é feito o seguinte cálculo:

$$Vb(p.u.) = (Z'ent(p.u.) + Zt(p.u.)) * Icc(p.u.) \quad (3.13)$$

Substituindo os valores de Vb , $Z'ent(p.u.)$ e $Icc(p.u.)$ calculados anteriormente encontramos:

$$Zt = 0,05734 \text{ (p.u.)}$$

$$Zt (\%) = 5,734 \%$$

Portanto fica definido que o transformador a ser adquirido deve ter uma impedância percentual mínima de 5,734 %. Fabricantes disponibilizam transformadores de 1500 kVA com impedância percentual de 6% valor próximo ao calculado.

Tendo definido a potência do transformador e a impedância percentual e tendo a informação da corrente de curto-circuito no local da instalação será verificado a seguir a suportabilidade térmica do mesmo em caso de curto-circuito até a atuação da proteção. Esse ponto de suportabilidade é definido por um valor de sobrecorrente suportável por

um determinado tempo, chamado de ponto ANSI e é definido pela ND 5.3 como:

$$I_{ANSI} = \frac{100}{Z_{\%}} * I_n \quad (3.14)$$

A norma define que o tempo de suportabilidade para esse valor de corrente para um transformador de 1500 kVA é de 4 segundos. Assim:

$$I_{ANSI} = \frac{100}{6} * 62,75 = 1.045,83A \quad (3.15)$$

O transformador a ser escolhido deve suportar uma sobrecorrente de 1.045,83 A por um tempo de 4 segundos, porém a corrente de curto-circuito no local da instalação é de 3369 A, assim considerando a atuação da proteção em 0,1 segundos (100 ms) a verificação da suportabilidade térmica pode ser feita pela teoria da Integral de Joule:

$$I_{ANSI}^2 * t_1 = I_{CC}^2 * t_2 \quad (3.16)$$

Onde:

I_{ANSI} = Sobrecorrente suportável em ampères.

t_1 = Tempo de suportabilidade de sobrecorrente em segundos.

I_{CC} = Corrente de curto-circuito em ampères.

t_2 = Tempo de suportabilidade de sobrecorrente em segundos.

Assim:

$$1.045,83^2 * 4 = 3.369^2 * t_2 \quad (3.17)$$

$t_2 = 0,4$ segundos

Portanto é verificado que o transformador suporta a corrente de curto-circuito por um tempo de 0,4 segundos. Considerando o tempo de atuação da proteção em 0,1 segundos, valor próximo ao prático verifica-se que o transformador escolhido suporta o curto-circuito disponível no local da instalação sem se danificar.

3.2.1.9 Classe de temperatura

A classe de temperatura do transformador é definida de acordo com o ambiente em que o mesmo irá operar, leva-se em conta a temperatura ambiente de referência e a elevação máxima de temperatura que pode ocorrer sem prejudicar o equipamento. O valor da temperatura ambiente máxima deve ser 40 °C, conforme estabelecido na NBR 5356-2 [4]. A elevação de temperatura considerada para este projeto foi de 105 °C resultando na classe de temperatura F pois o transformador deverá operar em uma sala em alvenaria que faz parte da estrutura fabril que possui fornos de elevada temperatura. Assim a máxima temperatura que o transformador pode atingir sem se danificar de acordo com a classe escolhida é 155 °C.

3.2.1.10 Isolante

O projeto da subestação foi considerado de forma que a mesma fique em local abrigado, ou seja, em uma sala técnica de alvenaria com as devidas proteções contra contatos acidentais e acessível somente por pessoal treinado e autorizado.

Conforme disposto na ND 5.3 [1] caso a subestação fizer parte integrante da edificação, somente será permitido o emprego de transformadores com isolamento e encapsulamento em epóxi. Portanto fica definido que o transformador a ser empregado no projeto será com isolante a ar, dito seco com encapsulamento em epóxi.

3.2.1.11 Sistema de arrefecimento

O sistema de arrefecimento a ser adotado no projeto deve estar de acordo com a ND 5.3 [1] que diz: "Deverá ser utilizada ventilação forçada para a subestação construída em locais com atmosfera poluída ou se dentro da subestação existir transformador. Neste caso deverá ter uma vazão mínima de 2.500 (m³/h) para cada 500 kVA de potência instalada". Assim para um transformador de 1500 kVA o sistema de arrefecimento deve ter uma vazão mínima de 7.500 (m³/h).

3.2.1.12 Derivações no enrolamento

As derivações no enrolamento permitem a mudança da relação de tensões do transformador. São essenciais nos casos de fornecimento de energia em níveis de tensão não padronizados ou mesmo em níveis precários de tensão, porém esses casos não se aplicam a realidade desse projeto já que a CEMIG fornece energia em níveis padronizados de energia conforme dito no item 2.3.1.1.

Tipicamente para transformadores com tensão primária de 13.800 V os fabricantes fornecem derivações que resultem nas seguintes tensões: 13,8 / 13,2 / 12,6 / 12 / 11,4 kV. Por padrão essas serão as derivações adotadas para a especificação do transformador.

3.2.1.13 TAFI

Definido como Tensão Aplicada a Frequência Industrial é a sobretensão suportável pelo equipamento em um intervalo de 1 minuto sem que ocorra danos ao mesmo.

O ensaio consiste em aplicar uma tensão, tal que, corresponda no mínimo a tensão nominal de pico com frequência de 60 Hz nos enrolamentos primários curto-circuitados sendo o secundário também curto-circuitados e aterrado.

Conforme definido na NBR5356-5 [4] para um transformador com classe de tensão primária de 15 kV o TAFI deve ser de 34 kV eficaz.

3.2.1.14 NBI

O NBI, Nível Básico de Isolamento é a capacidade do isolamento de suportar descargas atmosféricas. Trata-se do valor de pico de tensão suportável pelo transformador quando sujeito a uma descarga atmosférica.

Descargas atmosféricas possuem um padrão de comportamento típico, ou seja, uma forma de onda típica normalizada pela NBR 5356 [4] conforme mostrado na figura 3 a seguir.

A onda de sobretensão possui algumas características padronizadas como o tempo para atingir o valores de crista em $1,2\mu s$ e tempo de descida de $50\mu s$. Existe ainda

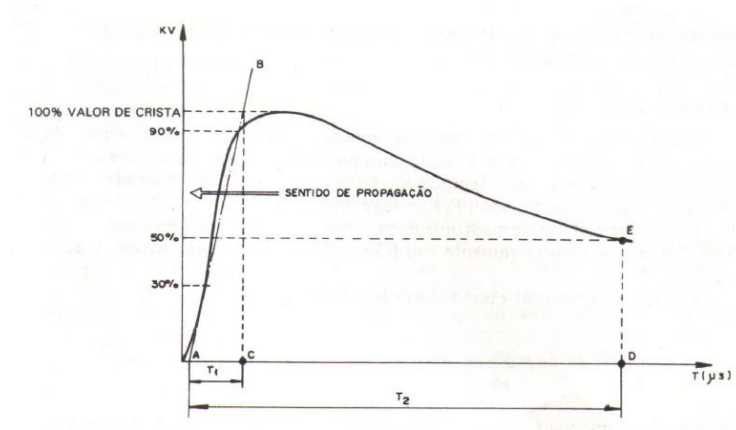


Figura 3: Onda de sobretensão normalizada para descargas atmosféricas.

Fonte: [9].

outra exigência para sobretensões na NBR 5356 [4] que é a onda de crista cortada que é caracterizada por possuir na ordem 110% do valor de crista da onda padronizada porém o corte é feito para um tempo longo entre $2\mu s$ e $6\mu s$. A figura 4 a seguir ilustra a situação.

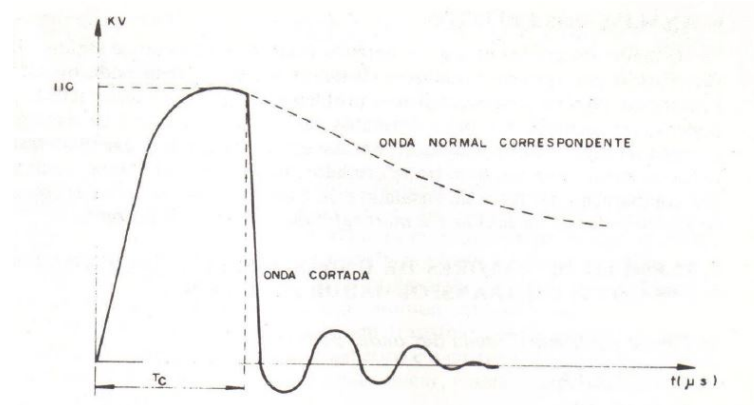


Figura 4: Onda de sobretensão cortada.

Fonte: [9].

Conforme a NBR 5356-5 [4] os valores suportáveis de impulso atmosférico pleno (Figura 2) e cortado (Figura 3) para um transformador com classe de tensão primária de 15 kV é de 95 kV e 105 kV respectivamente. Portanto fica definido que o transformador a ser escolhido deve atender esses requisitos.

3.2.1.15 Regime de serviço

O regime de serviço considerado para esse projeto foi o contínuo (S1) por se tratar de uma planta industrial de produção contínua e com fator de demanda unitário.

Feito os cálculos e as considerações acima a respeito dos requisitos do transformador fazendo uma busca em catálogos de fabricantes é possível encontrar um transformador com parâmetros praticamente iguais aos especificados. O transformador escolhido foi o da fabricante WEG, a folha de dados encontra-se em anexo, a tabela 3 a seguir resume os dados do transformador calculado e especificado:

Tabela 3: Parâmetros do transformador

Parâmetros do Transformador		
	Calculado	Especificado
Potência (kVA)	1.500	1.500
Frequência (Hz)	60	60
Classe de tensão primária (kV)	15	15
Classe de tensão secundária (V)	1	1
Tensões no primário (V)	13.800/13.200/12.600/ 12.000/11.400	13.800/13.200/12.600/ 12.000/11.400
Tensões no secundário (V)	380/220	380/220
Ligação	Delta-Estrela	Delta-Estrela
NBI (kV)	95	95
TAFI (kV)	34	34
Grupo de ligação	Dyn1	Dyn1
Classe de temperatura	F (155)	F (155)
Isolante	Ar	Ar
Impedância percentual (%)	5,734	6
Regime de serviço	Contínuo	Contínuo
Sistema de arrefecimento	Forçado (externo)	Forçado (externo)

3.3 Equipamentos de proteção

Feito a especificação do principal elemento da subestação, o transformador, é necessário agora especificar os equipamentos de proteção, são eles: disjuntores e para-raios. Para especificar esses equipamentos são necessários outros como: transformadores de potencial e corrente, relé microprocessado e chaves seccionadora que serão especificado em seguida.

3.3.1 Disjuntores

3.3.1.1 Introdução

Os disjuntores são essenciais para a proteção do sistema contra diversas anormalidades no sistema elétrico desde de sobrecargas e curto-circuitos a afundamento de tensão, falta de fase, etc. Em subestações seu uso é obrigatório. A ND 5.3 [1] torna obrigatório uso de disjuntor em média tensão com pelo menos a função de sobrecorrente como requisito de aprovação do projeto. A norma porém não especifica o uso de disjuntor em baixa tensão, ou seja, no secundário do transformador. Como forma de garantir uma proteção extra aos circuitos em baixa tensão será feito a especificação de um disjuntor geral para esses, porém o mesmo não deverá fazer parte das instalações da subestação ficando assim em um painel comumente chamado de QGBT (Quadro Geral de Baixa Tensão) fora da sala que abriga os equipamentos da subestação.

3.3.1.2 Disjuntor de entrada - Média tensão

A ND 5.3 [1] estabelece as condições para o uso de disjuntor em média tensão. Antes porém vale ressaltar que o tipo da subestação de acordo com a ND 5.3 [1] ficou definida como a número 2, essa definição será comentada em detalhes posteriormente.

O item 4.2 da ND 5.3 [1] diz: "Exceto para a Subestação n° 1 e para as Subestações n° 3 e 5, as demais subestações terão sua proteção geral constituída por disjuntor instalado no lado de média tensão". Assim para o subestação definida é obrigatório a proteção em média tensão com disjuntor.

O item 4.4 da mesma norma lista os requisitos mínimos que o disjuntor deve atender, são eles:

- Tensão nominal de 15 kV para sistemas com tensão de operação de 13,8 kV.
- Frequência de operação 60 Hz.
- Corrente nominal mínima 350 A.
- Capacidade de interrupção simétrica mínima de 10 kA.

Outra consideração importante diz respeito ao sistema de extinção de arco, a ND

5.3 [1] estabelece que para subestações abrigadas que fazem parte das instalações devem ser a vácuo ou SF6. Assim conforme dito na introdução a subestação fará parte das instalações e portanto deverá atender esse requisito normativo.

Para especificar a corrente do disjuntor será considerado a demanda máxima acrescida de 5% com base em um fator de potência de 0,92 conforme recomenda ND 5.3 [1]. Esse cálculo foi feito no item 2.2 e gerou um valor de 1.469.486 VA:

$$In(A) = \frac{Demanda}{\sqrt{3} * Vnp} \quad (3.18)$$

Onde:

In = Corrente nominal do disjuntor.

Demanda = Demanda em VA acrescida de 5% com base em um fator de potência de 0,92 (1.469.486 VA).

Vnp = Tensão nominal em média tensão (13.800 V).

$$Inp = 61,48 \text{ A}$$

Outra informação importante é a corrente de curto-circuito no ramal de entrada. Conforme informado no item 2.3.1.3 a corrente é de 3369 A.

Com as informações a respeito dos requisitos mínimos do disjuntor e das correntes nominais e de curto-circuito é possível especificar um disjuntor para média tensão do tipo comandado por relé microprocessado. O disjuntor escolhido foi o modelo VD4/R 17.06.12 ilustrado na figura 5 a seguir, da fabricante ABB que possui as seguintes características:

- Tensão nominal: 17,5 kV.
- TAFI: 38 kV.
- NBI: 95 kV.
- Frequência: 50-60 Hz.
- Corrente nominal: 630 A.
- Poder de interrupção nominal: 12,5 kA.
- Corrente de breve duração (3 segundos): 12,5 kA.
- Poder de fechamento (kA crista): 31,5 kA.

- Isolação: Vácuo.



Figura 5: Disjuntor de média tensão á vácuo modelo VD4.
Fonte: ABB.

Para operar o disjuntor é necessário uma unidade microprocessada ajustável que opere a partir das informações de transformadores de potencial e de corrente que serão especificados posteriormente. Foi escolhido o relé URPE7104 da fabricante Pextron que possui as funções de sobrecorrente (51) e atuação instantânea (50).

Para sintetizar as informações a respeito dos requisitos do disjuntor, do que foi calculado e do que foi especificado foi elaborada a tabela a seguir:

Tabela 4: Comparativo dos parâmetros do disjuntor média tensão

Parâmetros disjuntor em média tensão (13800 V)			
	Requisitos	Calculado	Especificado
Tensão nominal (kV)	= ou > 15	13.8	17.5
Frequência (Hz)	60	60	60
Corrente nominal (A)	= ou > 350	61,48	630
Capacidade de interrupção simétrica (kA)	= ou > 10	3.369	12.5

3.3.1.3 Disjuntor geral - Baixa tensão

Como forma de proteger os circuitos que derivam do secundário do transformador atuando como proteção geral em baixa tensão foi considerado um disjuntor do tipo caixa

aberta, o mesmo irá atuar de maneira coordenada com o disjuntor no primário do transformador garantido assim uma redundância do sistema de proteção.

Para especificar o disjuntor é necessário antes as informações da corrente nominal e a corrente de curto-circuito onde o mesmo será instalado. A corrente nominal para a demanda conforme pede a ND 5.3 é:

$$I_n = 2.233 \text{ A}$$

A corrente de curto circuito no secundário do transformador é obtida da seguinte maneira:

$$I_{cc}(A) = \frac{I_n}{Z_{eq}\%} * 100 \quad (3.19)$$

Onde:

I_{cc} = Corrente de curto-circuito no secundário do transformador em ampères.

I_n = Corrente nominal a partir da demanda.

$Z_{eq}\%$ = Impedância de entrada em porcentagem somada a impedância do transformador em porcentagem.

Para corrente de 2233 A, impedância de entrada de 1,863 % e impedância do transformador de 6%:

$$I_{cc} = 28,4 \text{ kA}$$

A partir dos cálculos efetuados conclui-se que será necessário o uso de um disjuntor com corrente nominal acima de 2233 A, capacidade de interrupção acima de 28,4 kA para a tensão de 380 V. Feito as considerações acima a respeito dos parâmetros elétricos do projeto ao qual o disjuntor deve atender foi escolhido o disjuntor do tipo caixa aberta com ajuste microprocessado da linha Emax da fabricante ABB ilustrado na figura a seguir (Figura 6).

A tabela a seguir sintetiza os parâmetros calculados e os parâmetros do equipamento escolhido.



Figura 6: Disjuntor tipo caixa aberta modelo Emax E4.
Fonte: ABB.

Tabela 5: Comparativo dos parâmetros do disjuntor geral em baixa tensão

	Requisitos	Especificado
Tensão nominal (V)	mín. 380	Até 690 V
Corrente nominal (A)	> 2.280	3.200 A (Ajustável de 0,4 à 1*In)
Frequência (Hz)	60	60
Capacidade de interrupção em 380V (kA)	30	75

3.3.2 Transformadores de corrente

Os transformadores de corrente sevem para reproduzir em seu enrolamento secundário a corrente que circula pelo enrolamento primário porém em menor valor. Como características fundamentais devem reproduzir com precisão e não saturar devido a circulação da corrente de curto-circuito. Será considerado para esse trabalho a especificação do TC destinado ao circuito de proteção já que o de medição é de fornecimento da concessionária de energia.

Será aqui considerado como guia de especificação as informações contidas na ND 5.3 [2] e na NBR 6856 [10] que trata das características que os TCs comercializados devem atender, além de apresentar como devem ser especificados.

A NBR 6856 [10] faz a diferenciação quanto a finalidade do TC, sendo ela: medição e proteção. Os TCs destinados a medição devem apresentar um erro percentual menor se comparados aos destinados a proteção. Segundo a NBR 6856 [10] considera-se um TC para serviço de proteção aquele que o erro de corrente (classe de exatidão) não ultrapasse

o valor especificado desde a corrente secundária nominal até uma corrente igual a 20 vezes o valor da corrente secundária. O valor padronizado do erro percentual para esses são: 5% e 10%.

Esses TCs são ainda divididos em dois grupos: alta impedância e baixa impedância. Essa caracterização é feita pelas letras A e B respectivamente na composição da codificação que caracteriza o TC. Essa codificação é composta pela informação do erro percentual seguido do caractere de identificação de alta ou baixa impedância seguido do valor de tensão que surge em seus terminais secundários quando percorrido por uma corrente 20 vezes a corrente secundária. Essa informação é obtida multiplicando-se a impedância do TC com a corrente secundária vezes o fator de sobrecorrente de 20. Assim um TC com classe de exatidão 10B100 corresponde a um TC de baixa impedância que apresenta 10% de erro quando percorrido por uma corrente de 20 vezes a corrente secundária de 5 ampères vezes uma impedância de 1 ohm: $1 \cdot 20 \cdot 5 = 100 \text{ V}$.

Segundo item 4.9 Características para especificação da NBR 6856 [10], para se especificar um TC as seguintes informações são necessárias:

- 1 - Tensão nominal.
- 2 - Corrente primária nominal.
- 3 - Relação nominal.
- 4 - Tensão máxima.
- 5 - Nível de isolamento.
- 6 - Frequência.
- 7 - Carga nominal.
- 8 - Exatidão.
- 9 - Fator térmico nominal.
- 10 - Corrente térmica.
- 11 - Corrente suportável de curta duração.
- 12 - Interior ou exterior.

A tensão nominal de operação do TC é de 13,8 kV, fabricantes disponibilizam TC com tensão de 15 kV.

Para o cálculo segundo item considera-se para efeito de cálculo a corrente relativa a demanda acrescida de 5% com base em um fator de potência de 0,92 conforme recomenda a ND 5.3 [1]. Esse cálculo foi feito anteriormente resultando em 61,48 A. O ideal é que a corrente primária do TC seja superior a esse valor. Analisando a ND 5.3 [1] a mesma recomenda na tabela 6 do item 5 que para uma demanda entre 1500 kVA e 3000 kVA o TC deve ter uma relação mínima de 150/5.

Esse poderia ser um valor de relação a ser considerado porém é importante levar em conta que para a especificação da corrente nominal primária e consequentemente da relação, o TC não deve apresentar saturação magnética para a máxima corrente de curto-circuito da instalação pois isso acarretaria em um percentual de erro maior do que o esperado. Para que isso não ocorra basta verificar se o fator de sobrecorrente ao qual o TC mantém sua exatidão multiplicado pela corrente nominal primária é superior ao valor da máxima corrente de curto-circuito da instalação, pois dessa maneira garante-se que caso o TC fique submetido a corrente de curto-circuito o mesmo irá reproduzir em seu secundário a corrente dentro da classe de exatidão especificada.

O fator de sobrecorrente a ser utilizado conforme a NBR 6856 [10] para TC de proteção é 20. Assim sabendo que a corrente de curto-circuito é de 3379 A e o fator de sobrecorrente é de 20 a relação de transformação padronizada próxima que garante que o TC não irá apresentar saturação é de 200/5, conforme se verifica a seguir:

$$200 * 20 = 4.000 > 3.379 \quad (3.20)$$

Tendo definido a corrente nominal primária e a relação de transformação é necessário especificar a tensão máxima (TAFI) e o nível de isolamento (NBI) que segundo a tabela 8 da NBR 6856 [10] para um TC submetido a uma tensão nominal de 13800 V devem ser 34 kV e 95 kV respectivamente, já a frequência deve ser 60 Hz para atender o padrão brasileiro.

Para especificar o item 7, carga nominal deve-se levantar as informações da potência dos equipamentos aos quais o TC irá se conectar, ou seja, irá supri-los, deve-se ainda levar

em conta a impedância do condutor de interligação do TC a esses equipamentos.

Nesse caso o TC será conetado diretamente a entrada de corrente do relé de proteção, definido anteriormente como o URPE7104 do fabricante PEXTRON. Consultando seu catálogo encontra-se que a potência requerida para cada entrada de corrente é de 0,2 VA, dessa maneira como serão usados três transformadores de corrente, cada um deverá suprir essa demanda além de suprir a perda causada pela impedância do condutor de interligação. O catálogo do relé informa que a secção mínima do condutor de interligação deve ser 2,5 mm e segundo a ND 5.3 o lance de interligação do TC aos equipamentos não deve ser superior a 12,5 m. Como parâmetro de projeto será considerado para cálculo do consumo gerado pela impedância do condutor o lance máximo. Checando o catálogo do fabricante de condutores flexíveis de cobre NAMBEI encontra-se a impedância por quilômetro do condutor de seccção 2,5 mm²: 7,98 (Ω/Km), assim a potência mínima que o TC deve ter será dado pela seguinte relação:

$$C_{TC} = \sum C_{AP} + L_C * Z_C * I_S^2 \quad (3.21)$$

Onde:

C_{TC} = Carga do TC em VA.

C_{AP} = Carga dos aparelhos conectados ao secundário do TC em VA.

L_C = Comprimento do condutor de interligação TC-Equipamento em metros.

Z_C = Impedância do condutor de interligação TC-Equipamento em (Ω/m).

I_S = Corrente no secundário do TC em ampères.

Assim, para cada TC o seguinte cálculo é feito:

$$C_{TC} = 0,2 + (12,5 * 0,00798 * 5^2) \quad (3.22)$$

Onde:

$C_{TC} = 2,69$ VA.

Dessa maneira fica definido que a potência que o TC a ser escolhido deve suprir deve ser superior a 2,69 VA. Comercialmente os fabricantes disponibilizam as seguintes faixas de potência: 12,5 VA, 25 VA, 50 VA, 100 VA, etc. Por questões econômicas será escolhido a potência de 12,5 VA que atende com boa margem de segurança a demanda calculada. A impedância do TC de 12,5 VA é de $0,5 \Omega$ de acordo com a tabela 10 da NRB 6856, portanto sua designação será referida a tensão em seus terminais secundários para um fator de sobrecorrente de 20 vezes a corrente nominal secundária de 5 ampères:

$$V_S = 0,5 * 20 * 5 = 50V. \quad (3.23)$$

Assim considerando um TC do tipo baixa impedância e classe de exatidão 10% sua designação fica definida como: 10B50. Isso quer dizer que o mesmo mantém sua classe de exatidão de 10% para um fator de sobrecorrente de 20 vezes a corrente secundária desde que a carga não seja superior a 5Ω .

Tendo definido a carga do TC outro parâmetro a ser definido é seu fator térmico. O fator térmico de um TC é aquele em que se pode multiplicar a corrente primária nominal para se obter a corrente que pode conduzir continuamente, na frequência nominal e com cargas especificadas, sem que sejam excedidos os limites de elevação de temperatura definidos por norma. A NBR 6856 [10] especifica os seguintes fatores térmicos nominais: 1,0 – 1,2 – 1,3 – 1,5 – 2,0. Será aqui considerado para esse projeto o fator térmico de 1,5.

Outro parâmetro importante na especificação de um TC é a corrente térmica nominal, ou seja, o valor eficaz da corrente primária simétrica que o TC pode suportar por um tempo definido, em geral, igual a 1s, estando com enrolamento secundário em curto-circuito, sem que sejam excluídos os limites de elevação de temperatura especificados por norma. Por se tratar de um parâmetro térmico a definição da corrente térmica é feita com base na integral de joule, dado pela seguinte relação [11]:

$$I_{Te_r}^2 * t_T = I_{C_C}^2 * (t_{OP} + 0,042) \quad (3.24)$$

Onde:

I_{Ter} = Corrente térmica (A).

t_T = Tempo de suportabilidade à corrente térmica, 1 segundo.

I_{CC} = Corrente de curto-circuito simétrica primária (A).

t_{OP} = Tempo de operação da proteção (s).

O fator de 0,042 é um fator de segurança recomendado na literatura citada. Assim considerando a atuação da proteção em um tempo de 100 ms (0,1 segundo) e sabendo que a corrente de curto-circuito no primário do TC é a corrente de curto-circuito da instalação informada anteriormente como 3369 A, temos:

$$I_{Ter} = 3.369 * \sqrt{(0,1 + 0,042)} \quad (3.25)$$

Assim:

$$I_{Ter} = 1.269,54 \text{ A.}$$

O TC a ser escolhido deve portanto ter uma corrente térmica superior ao valor encontrado. Existem ainda a definição de fator térmico de curto-circuito dado pela seguinte relação:

$$F_{TCC} = \frac{I_{Ter}}{I_{np}} \quad (3.26)$$

Onde:

I_{Ter} = Corrente térmica (A).

I_{np} = Corrente nominal primária.

Calculando:

$$F_{TCC} = \frac{1269,54}{200} \quad (3.27)$$

Temos aproximadamente:

$$F_{TCC} = 6,3.$$

Os fabricantes de TC disponibilizam F_{TCC} típicos de 80-120-160-240-320-400. Nesse caso o F_{TCC} de 80 atende bem os requisitos.

Um outro fator a ser considerado é a corrente suportável de curta duração de um TC, também chamada de corrente dinâmica que é o valor de impulso da corrente de curto-circuito assimétrica que circula no primário do transformador de corrente e que este pode suportar, por um tempo estabelecido de meio ciclo de onda de 60 Hz, estando os enrolamentos secundários em curto-circuito sem que seja afetado mecanicamente, em virtude das forças eletrodinâmicas envolvidas. Esse valor é normalmente 2,5 vezes a corrente térmica nominal. Fabricantes disponibilizam TC com a corrente dinâmica de 200 vezes a corrente nominal primária, que atende com uma larga faixa de segurança o projeto em questão.

Por último basta definir o tipo do TC quanto ao seu uso: interior ou exterior. Considerando que o projeto em questão é um subestação abrigada fica definido o uso como interior.

Feito a especificação dos parâmetros do TC de proteção foi escolhido o TC da linha BCS do fabricante BRASFORMER cujo modelo é o BCS 10B ilustrado na figura 7 a seguir.



Figura 7: TC Modelo BCS 10B - Fabricante Brasformer.

Fonte: Brasformer.

A tabela 6 a seguir resume com os parâmetros calculados e especificados.

3.3.3 Transformador de potencial

O transformador de potencial propicia a redução das tensões para níveis compatíveis com instrumentos através do acoplamento magnético entre o primário e secundário.

Tabela 6: Tabela comparativa dos parâmetros do TC de proteção

	Requisitos	Calculado	Especificado
Tensão nominal (kV)	15	13.8	15
Corrente primária nominal (A)	150	200	200
Relação nominal (A)	$150/5 = 30$	$200/5 = 40$	$200/5 = 40$
TAFI (kV)	34	34	34
NBI (kV)	95	95	95
Frequência (Hz)	60	60	60
Carga nominal (VA)	-	2.69	12.5
Exatidão (% erro de corrente)	5 ou 10	10	10
Fator térmico nominal	-	1.5	1.5
Corrente térmica (A)	-	1.269,54	16.000
Corrente de curta-duração (kA)	-	$2,5 \cdot I_{Ter} = 3,2$	40
Finalidade	Interior	Interior	Interior

A norma que define as características as quais devem atender os TPs é a NBR 6855 [12]. A NBR 6855 lista quais devem ser informações necessárias para especificação de um TP, são elas:

- 1 - Tensão primária, secundária e relação de transformação.
- 2 - TAFI e NBI.
- 3 - Frequência.
- 4 - Carga.
- 5 - Classe de exatidão.
- 6 - Potência térmica nominal.
- 7 - Grupo de ligação.
- 8 - Interior ou exterior.

Começando pelo primeiro item, tensão primária, esta deve ser de 13800 Volts já que é a tensão de entrada da subestação. Para definir a relação de transformação basta definir a tensão secundária. Será considerado para esse projeto um TP que tenha tensão secundária de 220 Volts para compatibilidade de tensões com os aparelhos a serem alimentados por ele. A relação de transformação será a seguinte:

$$RTP = \frac{13.800}{220} \quad (3.28)$$

$$RTP = 62,73 \quad (3.29)$$

O TAFI e o NBI são padronizados por classe de tensão, sendo 15 kV a classe de tensão para a tensão de operação de 13800 Volts o TAFI e o NBI devem ser 34 kV e 95 kV respectivamente. A frequência deve ser de 60 Hz para atender o padrão brasileiro.

A carga assim como para o TC deve ser especificada a partir das informações das potências dos aparelhos ligados ao secundário do TP e deve-se ainda considerar as perdas devido aos condutores. O TP será responsável por garantir alimentação principal do relé de proteção, segundo a ND 5.3 [1] o relé deve ainda ser alimentado a partir de um nobreak porém o TP não será responsável por garantir a alimentação do nobreak pois esse deve ser de 1000 Watts, o nobreak será alimentado em baixa tensão no circuito de saída do transformador de força.

O esquema de ligação dos TPs necessários ao projeto será o recomendado no catálogo do fabricante do relé que consta em anexo, portanto serão necessários dois TP e as cargas ligadas em seus secundários serão: o relé de proteção, as respectivas entradas de sinal do relé, as bobinas de fechamento e abertura do disjuntor geral em média tensão e uma fonte de corrente-contínua. O próprio fabricante do relé sugere que sejam usados dois TP de 100 VA, será considerado portanto a recomendação já que a quantidade de cargas a serem alimentadas pelo TC é alta e ainda deve-se levar em conta as perdas nos condutores.

A classe de exatidão de um TP diz respeito ao erro de relação de transformação para uma dada faixa de potência. As classes padronizadas pela NBR 6855 [12] são de 0,3; 0,6 e 1,3; isso implica por exemplo no caso da classe 0,3 que o mesmo pode apresentar um erro de relação de transformação de até 3% dentro da faixa de potência especificada. A ND 5.3 [1] não especifica qual deve ser a classe de exatidão do TC de proteção, será considerado para esse projeto uma classe de exatidão intermediária, sendo escolhida a classe de 0,6 tendo em vista a proteção principal e exigida pela ND 5.3 [1] é a de sobrecorrente relacionada ao TC e portanto o TP não necessita de um classe de exatidão que garanta o menor erro possível. Essa escolha tem como consequência a vantagem econômica já que quanto melhor a classe mais caro se torna o TP.

A potencia térmica de um TP depende de alguns fatores, são eles: o grupo de

ligação e o fator de sobretensão. A NBR 6855 [12] padroniza os seguintes grupos de ligação:

- Grupo 1 – TPIs projetados para ligações entre fases;
- Grupo 2 – TPIs projetados para ligações entre fase e terra em sistemas eficazmente aterrados;
- Grupo 3 – TPIs projetados para ligação entre fase e terra de sistemas nos quais não se garante a eficácia do aterramento.

Conforme dito anteriormente o esquema de ligação dos TPs será o recomendado no catálogo do fabricante do relé e portanto será ligado entre fases. A relação entre o grupo de ligação e o fator de sobretensão está sintetizado na tabela 6 a seguir.

Tabela 7: Relação: Grupo de ligação x Fator de sobretensão (NBR 6855 [12])

Grupo de ligação	Fator de sobretensão	
	Contínuo	30s
1	1.15	1.15
2	1.15	1.5
3	1.9	1.9

A potência térmica de um TP segundo a NBR 6855 [12] é dado pela seguinte relação:

$$P_T(VA) = F_{STCONT}^2 * Carga \quad (3.30)$$

Sendo o grupo de ligação do TP a ser escolhido o grupo 1 a potência térmica portanto será:

$$P_T(VA) = (1,15)^2 * 100 \quad (3.31)$$

$$P_T = 132,25 \text{ VA}$$

Para concluir a especificação do TP resta a informação se o mesmo é para aplicação interior ou exterior. Considerando que a subestação é do tipo abrigada será então interior. Outra importante consideração é que a ND 5.3 [1] especifica que o mesmo deve ser com isolamento em resina epóxi.

Tendo feito os cálculos dos parâmetros necessários a especificação do TP foi escolhido o modelo IPSG da fabricante Zilmer, ilustrado na figura 8 a seguir.



Figura 8: TP Modelo IPSG - Fabricante Zilmer.

Fonte: Zilmer.

A tabela abaixo sintetiza os parâmetros requisitados, o que foi calculado e os parâmetros do TP escolhido:

Tabela 8: Comparativo dos parâmetros do TP de proteção

	Calculado	Especificado
Tensão nominal (V)	13.800	15.000
Tensão primária (V)	13.800	15.000
Tensão secundária (V)	220	240
Relação de transformação	62,7	62,5
TAFI (kV)	34	34
NBI (kV)	95	95
Frequência (Hz)	60	60
Carga nominal (VA)	100	100
Classe de exatidão	0.6	0.6
Potência térmica nominal	132.25	750
Grupo de ligação	1	1
Uso	Interior	Interior

3.3.4 Chave seccionadora

Segundo a ND 5.3 [1] deve ser previsto antes da proteção em média tensão chave seccionadora do tipo com abertura tripolar sob carga, sem fusível, 15 ou 25 ou 35 kV, a depender a tensão da rede local e corrente nominal mínima de 200A.

Para se especificar uma chave seccionadora é preciso das seguintes informações:

- Tensão nominal
- Corrente nominal
- TAFI
- NBI
- Corrente simétrica em 1 segundo

A tensão nominal deve ser 13.800 Volts e a corrente nominal deve ser no mínimo igual ou superior a 200 A. O TAFI e o NBI devem ser 34 e 95 kV respectivamente devido a classe de tensão de 15 kV para a tensão de 13800 volts de acordo com a NBR 14.039 [13].

O parâmetro de maior importância na especificação da chave é a suportabilidade ao curto-circuito da instalação. Isso é feito com base na informação da corrente de curta-duração simétrica suportável pela chave no tempo de 1 segundo. Utilizando o conceito de integral de Joule é possível verificar se a corrente de curto-circuito disponível no local da instalação da mesma é capaz de danificá-la. A relação para se determinar o que foi exposto é a seguinte:

$$I_1^2 * t_1 = I_2^2 * t_2 \quad (3.32)$$

Onde:

I_1 = Máxima corrente de curta duração simétrica por 1 segundo.

t_1 = 1 segundo.

I_2 = Corrente de curto-circuito do local a ser instalada a chave.

t_2 = tempo a ser obtido.

A partir dessa relação obtém-se o tempo em que a chave suporta a corrente de curto-circuito disponível no local da instalação sem que ocorra danos a mesma. O tempo obtido deve ser inferior ao tempo de atuação da proteção, dessa maneira garante-se que o equipamento não seja danificado.

Com essas informações pode ser então especificado uma chave que atenda as especificações. Consultando o catálogo do fabricante de equipamentos de média tensão SAREL encontra-se a chave de modelo SR ilustrada na figura 9 a seguir com as seguintes

características:

- Tensão nominal: 15 kV
- Corrente nominal: 400 A
- TAFI: 34 kV
- NBI: 95 kV
- Corrente de curta duração simétrica: 16 kA/1 segundo.

Tendo escolhido a chave torna-se necessário verificar se o tempo em que a mesma suporta a corrente de curto-circuito é inferior ao tempo de atuação da proteção, logo, sabendo que corrente de curto-circuito no ramal de entrada é de 3369 A:

$$(16.000^2) * 1 = (3.369^2) * t_2 \quad (3.33)$$

De onde obtém-se:

$$t_2 = 22,55 \text{ segundos.}$$

O tempo de atuação da proteção considerada para esse projeto é de 0,1 segundos, muito inferior à 22,55 segundos. Dessa maneira em caso de curto-circuito não ocorrerá danos a chave até a atuação da proteção.



Figura 9: Seccionadora sob carga modelo SR - Fabricante Sarel.

Fonte: Sarel.

3.3.5 Para-raio

O para-raio é essencial pra proteção de equipamentos em caso de sobretensões, sejam de origem atmosférica ou de manobra, ele é composto de uma resistência não linear que varia seu valor em função da tensão, em geral essa resistência é de Óxido de Zinco (ZnO).

Segundo as normas técnicas IEC e NBR, a classificação de um pára-raio é feita de acordo com a corrente de descarga nominal, sendo essa a corrente de impulso que flui através do mesmo, caracterizada pela sua forma de onda, amplitude e polaridade, características essas padronizadas com uma forma de onda do tipo 8/20 s, conforme imagem a seguir:

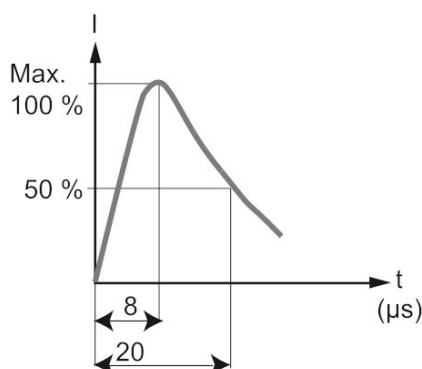


Figura 10: Forma de onda padronizada de corrente de descarga.
Fonte: Autor.

A forma de onda representa o impulso de uma corrente proveniente de uma descarga atmosférica que atinge seu valor máximo em 8 micro-segundos e 50% do seu valor máximo em 20 micro-segundos. Esse valor máximo é padronizado como 5 ou 10 kA para para-raios classe de distribuição. Além da caracterização da corrente de descarga do para-raio outras características são necessárias. A proteção oferecida por um para-raio deve abranger:

- Tensão residual para impulso de corrente íngreme;
- Tensão residual para impulso de corrente de descarga atmosférica;
- Tensão residual para impulso de corrente de manobra.

A especificação de um para-raio envolve determinar sua corrente descarga, tensão nominal, tensão de operação contínua (COV), tensão residual para impulso de corrente ingreme, tensão residual para impulso de corrente de descarga atmosférica e tensão residual para impulso de corrente de manobra.

Um para-raio é conectado entre fase e terra portanto sua tensão de operação para o caso de um sistema trifásico é dados pela seguinte relação:

$$V_{FT} = \frac{V_{FF}}{\sqrt{3}} \quad (3.34)$$

Onde:

V_{FT} = Tensão fase-terra em Volts.

V_{FF} = Tensão fase-fase, 13800 Volts.

Assim: $V_{FT} = 7.967,43$ Volts.

A tensão nominal do para-raio a ser escolhido deve portanto ser maior que o valor calculado para não atuar em caso de pequenas flutuações de tensão, a literatura recomenda um fator de 25%, assim:

$$V_N = 1,25 * 7.967,43 \quad (3.35)$$

Assim: $V_N = 10$ kV.

A tensão de operação contínua (COV) é a tensão em que o mesmo estará sujeito, ou seja, sua tensão de trabalho. Sabendo que o para-raio é ligado entre fase e terra o valor será o calculado anteriormente, logo:

$$COV = 7.967,43 \text{ V}$$

A tensão residual para impulso de corrente ingreme é a tensão de característica 1/20 us, ou seja, atinge seu máximo em 1 micro-segundo e metade do valor máximo em 20 micro-segundos, essa também é chamada de corrente de frente rápida, diz respeito tensão a qual o para-raio atua quando percorrido por um impulso dessa característica. Para sua especificação pode-se considerar os valores apresentados na figura 11 abaixo, obtidos das normas técnicas publicadas pela IEC [14][15]:

Tensão Nominal U_r (kVef)	Tensão residual - Forma de onda aplicada					
	Impulso de frente rápida 1/20 μs		Impulso atmosférico 8/20 μs		Imp. de manobra 30/60 μs	
	10 kA	20 kA	10 kA	20 kA	10 kA	20 kA
3 a 29	2,6 a 4,0. U_r	-----	2,3 a 3,6. U_r	-----	2,0 a 2,9. U_r	-----
30 a 132	2,6 a 3,7. U_r	2,6 a 3,1. U_r	2,3 a 3,3. U_r	2,3 a 2,8. U_r	2,0 a 2,6. U_r	2,0 a 2,3. U_r
144 a 342	2,6 a 3,7. U_r	2,6 a 3,1. U_r	2,3 a 3,3. U_r	2,3 a 2,8. U_r	2,0 a 2,6. U_r	2,0 a 2,3. U_r
360 a 756	2,6 a 3,1. U_r	2,6 a 3,1. U_r	2,3 a 2,8. U_r	2,3 a 2,8. U_r	2,0 a 2,3. U_r	2,0 a 2,3. U_r

Figura 11: Níveis máximos de proteção de pára-raios.

Fonte: [15].

Considerando um para-raio com corrente de descarga de 10 kA característica requerida pela ND 5.3 e tensão nominal de 10 kV conclui-se que a relação da Tensão residual para impulso de corrente ingrine com a Tensão nominal é apresentada na tabela da figura 6 é:

$$V_{Imp1/20} = 2,6\hat{a}4,0 * V_N \quad (3.36)$$

Considerando a relação máxima de 4 e tendo calculado a tensão nominal como 10 kV concluimos que a Tensão residual para impulso de corrente ingrine deve ser igual ou superior a 40 kV.

A determinação da Tensão de impulso atmosférico pode também ser feita de acordo com a tabela da figura 6 onde a relação com a tensão nominal é dada por:

$$V_{Imp8/20} = 2,3\hat{a}3,6 * V_N \quad (3.37)$$

Considerando a relação máxima de 3,6 e tensão nominal de 10 kV será necessário um para-raio que atue para um impulso de descarga atmosférico em 36 kV ou superior.

A tensão de impulso de manobra é o valor limite de tensão para atuação em caso de sobretensões proveniente de manobra de equipamentos, em geral, banco de capacitores, a forma de onda tem uma característica diferente das apresentadas anteriormente sendo esta de maior duração tanto para atingir o valor máximo quanto para atingir metade desse valor. Essa forma de onda é caracterizada pelo tempo 30/60 us, assim leva-se 30 microsegundos para atingir o pico e 60 microsegundos para atingir metade do valor de pico.

Assim como feito anteriormente para as outras características será feito a especificação com base nas relações presentes na tabela da figura 6. Assim temos a seguinte relação:

$$V_{Imp30/60} = 2,0\hat{a}2,9 * V_N \quad (3.38)$$

Considerando a máxima relação de 2,9 e tensão nominal de 10 kV devemos obter um para-raio tal que apresente uma Tensão para impulso de manobra de 29 kV ou superior.

Feito a especificação dos parâmetros foi escolhido o para-raio de modelo PBP 12/10 da fabricante Balestro ilustrado na figura 12 a seguir.



Figura 12: Para-raio polimérico modelo PBP 12/10 - Fabricante Balestro.
Fonte: Balestro.

A ND 5.3 [1] apresenta quais devem ser as características do para-raio em função da tensão. A tabela a seguir sintetiza os dados calculados, requeridos e os dados do produto escolhido.

Feito a escolha do para-raio é possível perceber que os parâmetros do para-raio escolhido atendem os parâmetros que foram calculados assim como os requisitos da ND 5.3.

3.4 Condutores

O projeto da subestação envolve a especificação dos equipamentos de transformação, seccionamento, proteção já especificados anteriormente e envolve também a especificação dos condutores tanto de média tensão quanto de baixa tensão. Esse trabalho será feito aqui agora.

Tabela 9: Comparativo dos parâmetros do para-raio

	Requisitos	Calculado	Especificado
Tensão nominal (kV)	12	10	12
Corrente de descarga nominal (kA)	10	10	10
Tensão de operação contínua (kV)	-	7.967,43	10.2
Tensão residual máxima para corrente ingreme (10kA - 1us de frente) (kV)	48	40	43.9
Tensão residual máxima para corrente de descarga nominal (10kA - 8/20 us) (kV)	43	36	39.6
Tensão residual para corrente de impulso de manobra (30/60 us) (kV)	-	29	32
Material	Óxido de zinco (ZnO)	-	ZnO
Invólucro	Polímero	-	Polímero

3.4.1 Condutores de média tensão

A subestação do projeto em questão irá dispor de um ramal de entrada subterrâneo. Os cabos de média tensão portanto serão especificados com base nesse arranjo. A norma que serve de diretriz para a especificação da seção dos condutores de média tensão é a NBR 14039 [13], já o condutor a ser considerado será o requerido na ND 5.3 como sendo o condutor de cobre com isolamento EPR/XLPE 8,7/15 kV.

A NBR sugere como critério de especificação o método da capacidade de corrente com base no tipo de arranjo dos condutores. Do item 6.2.5.1 da norma temos:

”Os métodos de referência são os métodos de instalação para os quais a capacidade de condução de corrente foi determinada por cálculo. São eles:

A - Cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e cabos tripolares ao ar livre.

B - Cabos unipolares espaçados ao ar livre.

C - Cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e cabos tripolares em canaletas fechadas no solo.

D - Cabos unipolares espaçados em canaleta fechada no solo.

E - Cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e cabos tripolares em eletroduto ao ar livre.

F - Cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e cabos tripolares em banco de dutos ou eletrodutos enterrados no solo.

Etc.

Tendo em vista será utilizado um condutor por fase e um para o neutro que os cabos estarão agrupados em um único eletroduto enterrado no solo o método de referência a ser usado é o F. Tendo definido o método de instalação é necessário saber a corrente nominal da instalação. A corrente a ser considerada de acordo com a ND 5.3 [1] é aquela com base na demanda acrescida de 5%, tendo como base um fator de potência de 0,92. Calculada anteriormente a corrente considerada é de 61,48 A. Tendo em mãos a corrente e o método de instalação é necessário consultar a Tabela 28 da NBR 14.039 [13] (Capacidade de condução de corrente em ampères para os métodos de referência A, B, C, D, E, F, G, H e I) ilustrada na figura 13 a seguir.

Tabela 28 - Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A, B, C, D, E, F, G, H e I

- cabos unipolares e multipolares - condutor de cobre, isolação de XLPE e EPR
 - temperatura de 90 °C no condutor
 - temperaturas: 30 °C (ambiente); 20 °C (solo)

Métodos de instalação definidos na tabela 25										
	Seção mm ²	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Tensão nominal menor ou igual a 8,7/15 kV	10	87	105	80	92	67	55	63	65	78
	16	114	137	104	120	87	70	81	84	99
	25	150	181	135	156	112	90	104	107	126
	35	183	221	164	189	136	108	124	128	150
	50	221	267	196	226	162	127	147	150	176
	70	275	333	243	279	200	154	178	183	212
	95	337	407	294	336	243	184	213	218	250
	120	390	470	338	384	278	209	241	247	281
	150	445	536	382	433	315	234	270	276	311
	185	510	613	435	491	357	263	304	311	347
	240	602	721	509	569	419	303	351	358	395
	300	687	824	575	643	474	340	394	402	437
	400	796	959	658	734	543	382	447	453	489
	500	907	1100	741	829	613	426	502	506	542
	630	1027	1258	829	932	686	472	561	562	598
	800	1148	1411	916	1031	761	517	623	617	655
	1000	1265	1571	996	1126	828	555	678	666	706

Figura 13: Tabela 28 - Capacidade de condução de corrente para cabos de média tensão 8,7/15 kV.

Fonte: NBR 14.039 [13].

Consultando a tabela é possível perceber que o condutor de 16 mm^2 atenderia os requisitos já possui capacidade de condução de corrente de 70 ampères no método de instalação F sendo a corrente nominal da instalação 61,48 ampères, porém é necessário prever uma margem de segurança para o caso de sobrecargas. Considerando um sobrecarga de 20% chegamos em 73,78 A e portanto a melhor escolha é o cabo de 25 mm^2 que possui capacidade de condução de corrente de 90 A para o método de instalação escolhido.

Feito a especificação do condutor pelo critério da capacidade de condução de corrente é necessário verificar os fatores de correção aplicáveis. Os principais fatores de correção são: Para temperatura do solo diferente de 20°C em linhas subterrâneas, Resistividade térmica do solo diferente de 2,5 (K.m/W) e cabos em bancos de dutos. Nenhum dos fatores citados são aplicáveis já que a temperatura típica do solo do local da instalação é de 20°C , assim como a resistividade que apresentaria valores diferentes do sugerido em caso de solos arenosos o que não é o caso e por último caso tivesse mais de um eletroduto com cabos carregados próximos entre si o que também não é o caso da instalação.

Escolhido a bitola dos condutores de fase convém esclarecer que a ND 5.3 [1] requer que o condutor neutro proveniente da rede da Cemig seja interligado a malha de aterramento da subestação por meio de um condutor de cobre nú de 70 mm^2 . Pode ser feito ainda uma verificação se a especificação da bitola está correta pois a ND 5.3 recomenda a bitola de cabo de acordo com a demanda em kVA, assim encontramos que para uma demanda de até 3.100 kVA em 13.800 V o condutor de 25 mm^2 pode ser usado, considerando que a demanda do projeto é de 1.500 kVA o condutor escolhido atende os requisitos.

3.4.2 Condutores de baixa tensão

Assim como feito para o condutor de média tensão o critério a ser usado para a escolha do condutor de baixa tensão será o de capacidade de corrente a depender do método de instalação. Os condutores de baixa tensão serão responsáveis por conduzir energia da saída do transformador até o quadro de distribuição em baixa tensão (QGBT) externo a subestação. Esses cabos serão dispostos em leito feito em alvenaria enterrado no solo.

A norma que serve de referência para a especificação desses condutores é a NBR 5410. A especificação é feita com base na capacidade de corrente do condutor em função do método de instalação padronizado pela norma.

O método de instalação conforme a NBR 5410 [16] é o D conforme figura 6 a seguir extraída da norma.

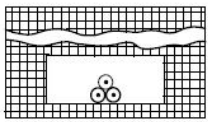
61A		Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto enterrado ou em canaleta não ventilada no solo	D
-----	---	--	---

Figura 14: Método de instalação para condutores em baixa tensão.

Fonte: NBR 5410 [16].

A corrente a ser considerada para fins de cálculo é aquela relativa a demanda acrescida de 5% com base em um fator de potência de 0,92 como pede a ND 5.3 [1]. Em baixa tensão essa corrente é de 2.280 ampères conforme calculado anteriormente no tópico 3.2.1.1. O valor é muito alto para apenas um condutor, deverá ser usado portanto mais de um condutor por fase. Considerando o uso de 6 condutores por fase a corrente de cada condutor portanto deverá ser de:

$$I = 2.280/6 \quad (3.39)$$

$$I = 380 \text{ A.}$$

Será necessário um condutor capaz de conduzir 380 ampères de acordo com o método de instalação D. A tabela 32 da NBR 5410 [16] (figura 15) representada a seguir estabelece a relação da bitola do condutor com a capacidade de condução de corrente e o método de instalação.

Analizando a tabela conclui-se que será necessário o condutor de 300 mm² que possui capacidade de condução de 396 ampères o que garante assim uma margem de segurança para o caso de sobrecargas. Portanto serão usados seis condutores por fase de 300 mm² cada em cada fase. O condutor de neutro conforme a 5410 [16] pode ter bitola tal que seja metade da fase, assim será usado para o neutro três condutores de 300 mm²

Tabela 32 - Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D
- condutores isolados, cabos unipolares e multipolares - cobre e alumínio, isolamento de EPR ou XLPE; temperatura de 90°C no condutor;
- temperaturas - 30°C (ambiente); 20°C (solo)

Seções nominais mm ²	Métodos de instalação definidos na tabela 28											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179	173	144
70	200	179	183	164	253	222	221	194	269	229	213	178
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278	252	211
120	278	249	253	227	354	312	305	268	382	322	287	240
150	318	285	290	259	407	358	349	307	441	371	324	271
185	362	324	329	295	464	408	395	348	506	424	363	304
240	424	380	386	346	546	481	462	407	599	500	419	351
300	486	435	442	396	628	553	529	465	693	576	474	396

Figura 15: Relação bitola x capacidade de condução de corrente de acordo com método de instalação.

Fonte: NBR 5410 [16].

na cor azul claro.

Feito a especificação do condutor pelo critério da capacidade de condução de corrente é necessário verificar os fatores de correção aplicáveis. Os principais fatores de correção são os seguintes: Para temperatura do solo diferente de 20 °C em linhas subterrâneas, resistividade térmica do solo diferente de 2,5 (K.m/W) e agrupamentos de circuitos. Assim como para o cabo de média tensão especificado anteriormente os dois primeiros não são aplicáveis e terceiro também não por se tratar de um único circuito que irá ocupar o leito.

3.4.3 Barramentos

A interligação dos equipamentos em média tensão após o ramal de entrada até os terminais de alta tensão do transformador será feito com barramento circular de cobre, também conhecido como vergalhão. Isso é feito pois o barramento e sua estrutura de suporte possui boa capacidade para suportar os esforços mecânicos causados por um curto-circuito. O barramento de cobre a ser definido deverá ter capacidade de condução de corrente de acordo com a potência do transformador conforme orienta o item 4.2 da ND 5.1 [1]. A corrente nominal no primário do transformador é de 62,75 A, porém adotaremos como critério de projeto um fator de sobrecorrente de 25% para suportar eventuais distúrbios elétricos, portanto a corrente que o barramento a ser escolhido deverá conduzir será de 78,4 A. O critério a ser considerado para especificação será através da seção mínima do condutor capaz de conduzir a corrente desejada e posteriormente a verificação se a seção escolhida é capaz de suportar os efeitos térmicos de um curto-circuito de modo que não ocorra o recozimento da barra sob o efeito de aquecimento excessivo.

Fabricantes de barramentos de cobre disponibilizam barramentos circulares nas seguintes medidas: 1/4", 3/8", 1/2" e 5/8" que correspondem as seções 31,67 mm², 71,26 mm², 126,68 mm² e 197,93 mm² respectivamente. A capacidade de corrente de cada um de acordo com a tabela do fabricante é 76 A, 165 A, 274 A e 479 A.

O barramento escolhido será o de bitola de 3/8" já que o de 1/4" possui capacidade de condução de corrente inferior a desejada. Escolhido a bitola do barramento é necessário verificar se o mesmo suporta a corrente de curto-circuito até o tempo de atuação da proteção sem que seja danificado por efeitos térmicos. Essa verificação é feita a partir da seção mínima do condutor dado pela seguinte expressão:

$$S_{min} = K * I_K'' * \sqrt{t_{OP}} \quad (3.40)$$

Onde o fator K está relacionado as propriedades do condutor e temperaturas inicial e final. O valor de K para condutores rígidos pode ser aproximado por K=11,2 segundo [17], Assim:

$$S_{min} = 11,2 * I_K'' * \sqrt{t_{OP}} \quad (3.41)$$

Onde:

S_{min} = Seção mínima do condutor em mm^2 .

I_K'' = Valor RMS da componente de simétrica da corrente de curto-circuito em kA.

t_{OP} = Tempo de atuação da proteção em segundos.

A corrente de curto-circuito simétrica é de 3,369 kA conforme informado anteriormente no tópico 3.1.1.3. O tempo de atuação da proteção será considerado como sendo 100 ms, ou seja, 0,1 s. Para esses valores a expressão 3.36 resulta em uma seção mínima de:

$$S_{min} = 11,93 \text{ mm}^2$$

A seção escolhida de $71,26 \text{ mm}^2$ referente ao barramento de bitola 3/8" atende os esforços térmicos pois é maior que a seção mínima requerida.

A ND 5.3 [1] recomenda as distâncias entre as barras de fase e terra de modo a garantir que os esforços mecânicos em caso de curto-circuito não prejudiquem a estrutura, para a tensão de 13,8 kV as distâncias são as seguintes:

- Fase-fase: distância mínima de 150 mm e recomendada de 200 mm.
- Fase-neutro: distância mínima de 115 mm e recomendada 150 mm.

3.5 Aterramento

O aterramento de uma subestação proporciona maior segurança a pessoas além de garantir um referencial de tensão nulo necessário para o correto funcionamento dos equipamentos. A ND 5.3 [1] estabelece alguns critérios para o projeto da malha de aterramento, um deles é a quantidade de eletrodos em função da capacidade de transformação, são eles:

- Capacidade de transformação da subestação menor ou igual a 150 kVA - 4 eletrodos.
- Capacidade de transformação da subestação maior que 150 kVA e menor que 500 kVA - 9 eletrodos.
- Capacidade de transformação da subestação maior ou igual a 500 kVA - 12 eletrodos.

A norma estabelece que a distância entre quaisquer eletrodos deve ser, no mínimo,

igual ao comprimento dos eletrodos utilizados (2400 mm). Outros critérios a serem seguidos são: interligação das hastes por condutor de cobre nu, rígido, seção mínima de 50 mm², conector ou solda exotérmica. Interligação de todas as partes metálicas não condutoras por meio de condutor de cobre nu, rígido, seção mínima de 25 mm². Além do aterramento de todas as partes metálicas, devem ser conectados à malha de aterramento o condutor neutro proveniente da rede da Cemig, o neutro do transformador e o condutor neutro que será levado à instalação consumidora.

A capacidade de transformação da subestação desse projeto é de 1.500 kVA portanto deverá ser usado 12 eletrodos de 2.400 mm separados entre si por no mínimo seu tamanho. O desenho da malha de aterramento ilustrando a disposição dos eletrodos e os da interligação dos mesmo encontra-se no anexo.

4 CONCLUSÃO

O estudo de caso desse trabalho foi desenvolvido visando elaborar o projeto de uma subestação típica de um cliente industrial no setor de produção de vidro. O projeto contempla a especificação de cada equipamento presente na subestação, desde de equipamentos para proteção, chaveamento, transformação, a especificação dos condutores de média e baixa tensão além de barramentos. Além da especificação feita de acordo com a norma da concessionária Cemig, ND 5.3 foram elaborados os desenhos requeridos assim como a lista de materiais. Conforme dito na introdução trata-se um trabalho prático e aplicado.

A especificação de cada equipamento foi feita de maneira criteriosa com base na teoria pertinente ao mesmo. Teorias essas aprendidas na graduação.

Vale ressaltar que o projeto completo requerido pela norma da concessionária que guia este trabalho abrange também o estudo da proteção e seletividade que não foi considerado nesse trabalho por se tratar de outra área de estudo e de um assunto extenso que pode ser abordado em um trabalho a parte. Fazendo uma analogia seria como se o projeto da proteção e seletividade fosse feito por outro departamento e agregado ao projeto em questão para ser submetido a aprovação da concessionária, fato esse muito recorrente em empresas de projetos elétricos.

O objetivo do trabalho foi alcançado, ou seja, proporcionar ao autor uma aplicação do conhecimento adquirido, gerando assim uma experiência na elaboração de projetos que será importante para sua carreira.

A motivação para elaboração desse trabalho que consistia no desejo do autor de atuar como projetista permanece, porém no sentido de aprimorar os conhecimentos e evoluir profissionalmente para enfrentar desafios cada vez maiores.

A principal sugestão de continuidade deste trabalho é a elaboração do projeto da proteção e seletividade que inclui os cálculos para obtenção dos parâmetros do ajuste do

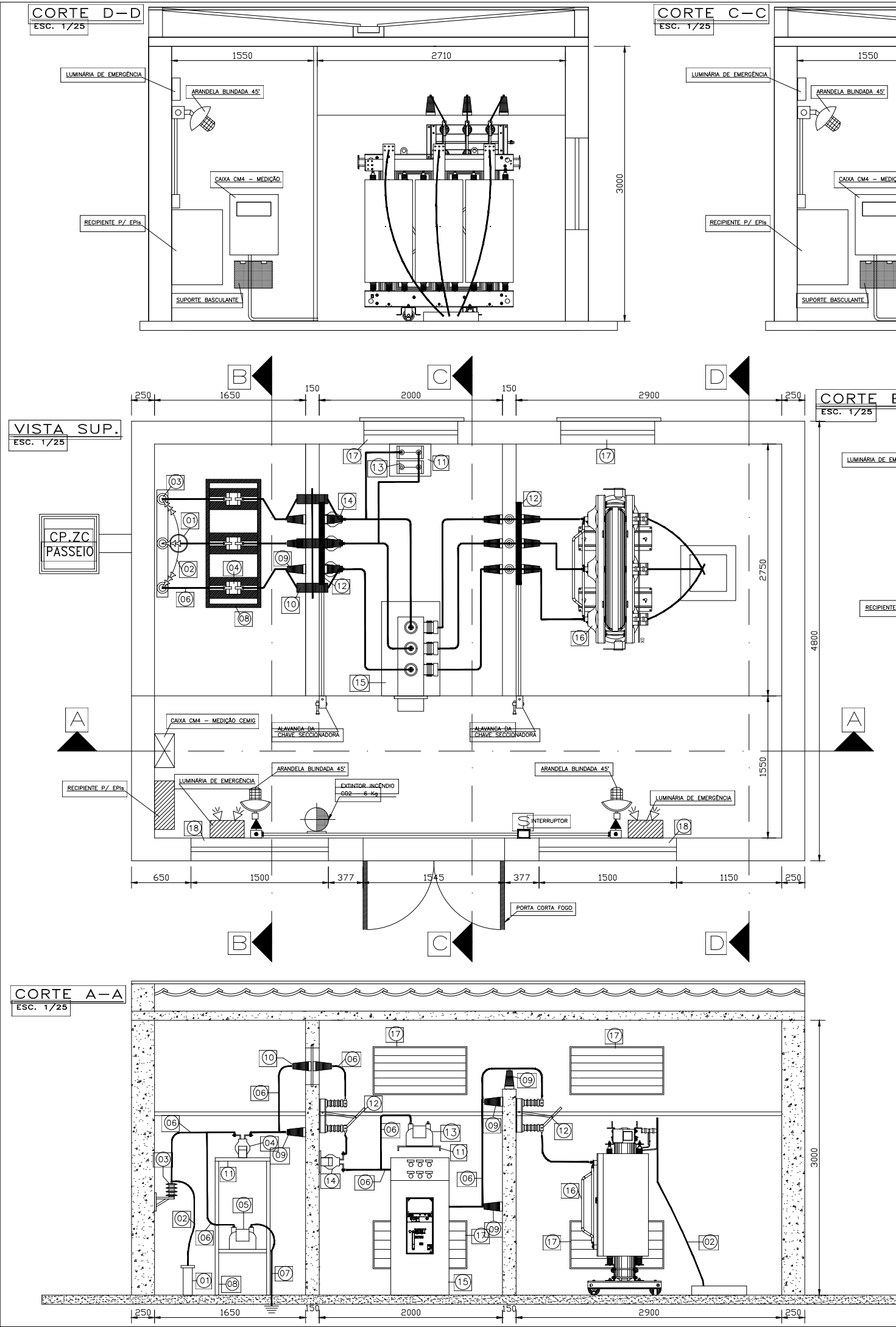
relé de proteção de modo a garantir a seletividade entre a proteção via fusível oferecida pela concessionária e o disjuntor geral da subestação.

Um outra sugestão de continuidade deste trabalho seria uma busca por maiores informações a respeito do perfil de carga em um indústria de vidro para um estudo de demanda detalhado pois algumas suposições foram feitas ao seu respeito e podem na prática apresentar alguma divergência o que impacta na especificação de alguns equipamentos, ou seja, certos equipamentos poderiam ter menor capacidade de condução de corrente e menor potência o que influencia economicamente o projeto.

REFERÊNCIAS

- [1] COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, Cemig, *Fornecimento de Energia Elétrica em Média Tensão Rede de Distribuição Aérea ou Subterrânea-ND 5.3*, Belo Horizonte, 2019.
- [2] MCDONALD, John D., *Electric Power Substations Engineering*, Boca Raton, 3º ed, 2012.
- [3] COMPANHIA ENERGÉTICA DO CEARÁ, Coelce, *Fornecimento de Energia Elétrica em Alta Tensão-69kV*, Fortaleza, 2014
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 5656 - Transformadores de potência*, 2016.
- [5] AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, ANEEL, *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional-PRODIST - Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição*, 2017.
- [6] COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, Cemig, *Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária Rede de Distribuição Aérea-Edificações Individuais -ND 5.1*, Belo Horizonte, 2013.
- [7] ANEEL, *Classe de Tensão*, www.aneel.gov.br, Acessado em Novembro de 2019.
- [8] CAMACHO, J. R, AGUIAR, A. L. *Transformadores de Potência*, Uberlândia, 2014.
- [9] Oliveira, J. C., Cogo, J. R., Abreu, J. P. G. *Transformadores Teoria e Ensaio*, Itajubá, 2º ed, 2018.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 6856:2015 - Transformador de corrente - Especificação e ensaios*, 2015.
- [11] J. M. Filho, *Manual de Equipamentos Elétricos*, 4º ed, 2013.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 6855:2018 - Transformador de potencial indutivo - Requisitos e ensaios*, 2018.

- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 14039:2005 - Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV*, 2005.
- [14] IEC 60099-4 “Surge Arresters - Part 4: ”Metal-Oxide surge arresters without gaps for a.c. systems”, 2001.
- [15] FRANCO ENGENHARIA, *Para-raios para aplicação em redes de distribuição, subestações e linhas de transmissão*, 2003.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 5410:2008 - Instalações elétricas de baixa tensão*, 2008.
- [17] DELAIBA A. C., *Subestações*, Uberlândia, 2001.



LEGENDA SUBESTAÇÃO

- 01 - ELETRODUTO DE ACO ZINCADO DE Ø100mm.
- 02 - CABO UNIPOLAR COM ISOLAMENTO PARA 15 KV, #25mm².
- 03 - PARA-RAIO POLEMÉRICO 12 KV - 10 KA.
- 04 - TRANSFORMADOR DE CORRENTE COM ISOLAMENTO PARA 15KV (FORNECIMENTO CEMIG).
- 05 - TRANSFORMADOR DE POTENCIAL COM ISOLAMENTO PARA 15KV (FORNECIMENTO CEMIG).
- 06 - VERGALHÃO DE COBRE DE BITOLA 9,52mm(3/8").
- 07 - CABO DE COBRE NU #50,0 mm² (ATERRAMENTO FERRAGENS E EQUIPAMENTOS).
- 08 - SUPORTE METÁLICO PARA TC E TP CONFORME DESENHO COMPLEMENTAR 9 ND5.3.
- 09 - ISOLADOR DE PEDESTAL COM ISOLAMENTO PARA 15KV, USO INTERNO.
- 10 - BUCHA DE PASSAGEM USO INTERNO COM ISOLAMENTO PARA 15KV.
- 11 - SUPORTE METÁLICO PARA FIXAÇÃO DOS TPs.
- 12 - CHAVE SECCIONADORA TRIPOLAR MANOBRA SOB CARGA, 15KV, 400A.
- 13 - TRANSFORMADOR DE POTENCIAL DE 100VA, ISOLAMENTO P/ 15KV - 13,8KV/220V CLASSE DE EXATIDÃO DE 0.6P100.
- 14 - TRANSFORMADOR DE CORRENTE PARA PROTEÇÃO, USO INTERNO, ISOLAMENTO 15KV, CORRENTE NOMINAL PRIMARIA DE 200A, CORRENTE SECUNDARIA 5A, CLASSE DE EXATIDÃO DE 0.6P100.
- 15 - DISJUNTOR AUTOMATICO TRIPOLAR A VÁCUO, 17.5KV, 630A, 12,5 KA.
- 16 - TRANSFORMADOR TRIFASICO A SECO DE 1500KVA, 13.8 KV, 380/220V, 60 Hz. (WEG)
- 17 - JANELA TIPO VENEZIANAS PARA VENTILAÇÃO DE 1,00 x 0,50 m.
- 18 - JANELA TIPO VENEZIANAS PARA VENTILAÇÃO DE 1,50 x 0,50 m.

NOTAS GERAIS

- 1 - DEVERÁ SER FIXADO NA PORTA DE ACESSO DA SUBESTAÇÃO TIPO CORTA FOGO A PLACA DE IDENTIFICAÇÃO COM OS SEGUINTE DIZERES: "PERIGO DE MORTE - ALTA TENSÃO".
- 2 - TODAS AS FERRAGENS E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS DA SUBESTAÇÃO DEVERÃO SER LIGADOS AO SISTEMA DE ATERRAMENTO DA SUBESTAÇÃO ATRAVÉS DE CABO DE COBRE NU BITOLA 50mm². TODAS AS LIGAÇÕES DE CONDUTORES DEVERÃO SER FEITAS COM SOLDAS TIPO EXOTERMICA.
- 3 - FIXAR PRÓXIMO DAS CHAVES SECCIONADORAS COM MANOBRA SEM CARGA PLACA DE ADVERTÊNCIA COM OS SEGUINTE DIZERES: "ESTA CHAVE NÃO DEVERÁ SER MANOBRADA COM CARGA".
- 4 - DEVERÁ CONTER DENTRO DA SUBESTAÇÃO PRÓXIMO DA PORTA DE ACESSO OS SEGUINTE EQUIPAMENTOS DE SEGURANÇA: ÓCULOS, LUVAS COM ISOLAÇÃO PARA 20 KV, CAPACETES E EXTINTOR DE INCENDIO 602 DO LADO DE FORA DA SUBESTAÇÃO ABRIGADA PRÓXIMO DA PORTA DE ACESSO.

(Local para selo de análise de conformidade com as normas CEMIG e ABNT)		Informações complementares:	
		PARA USO DA CEMIG	
		Carga Instalada (KW): 1.287,550	
		Demanda (KW): 1.287,55	
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA AV. JOÃO NAVES DE ÁVILA, 2121 - BAIRRO SANTA MÔNICA UBERLÂNDIA-MG			
Título/Conteúdo: PLANTA BAIXA CABINE DE MEDIÇÃO E TRANSFORMAÇÃO CORTES A-A, B-B, C-C, D-D, PLANTA ATERAMENTOS VISTA DETALHE GRADIL, LEGENDA E NOTAS GERAIS			
Nome do Empreendimento: INDÚSTRIA DE VIDRO		Finalidade:	
Endereço:		Bairro:	Cidade: UBERLÂNDIA-MG
Número e data da ART de Projeto:		Número e data da ART de Execução:	
Proprietário:		CNPJ/CPF/Identidade:	Telefone:
Contratante:		CNPJ/CPF/Identidade:	Telefone:
Endereço completo para correspondência:			
Endereço:		CEP:	CIDADE: UBERLÂNDIA-MG
RT. Proj. / Execução:		CREA / Região:	Folha:
Eng. Eletricista: GUILHERME ABNER COTA		01/02	

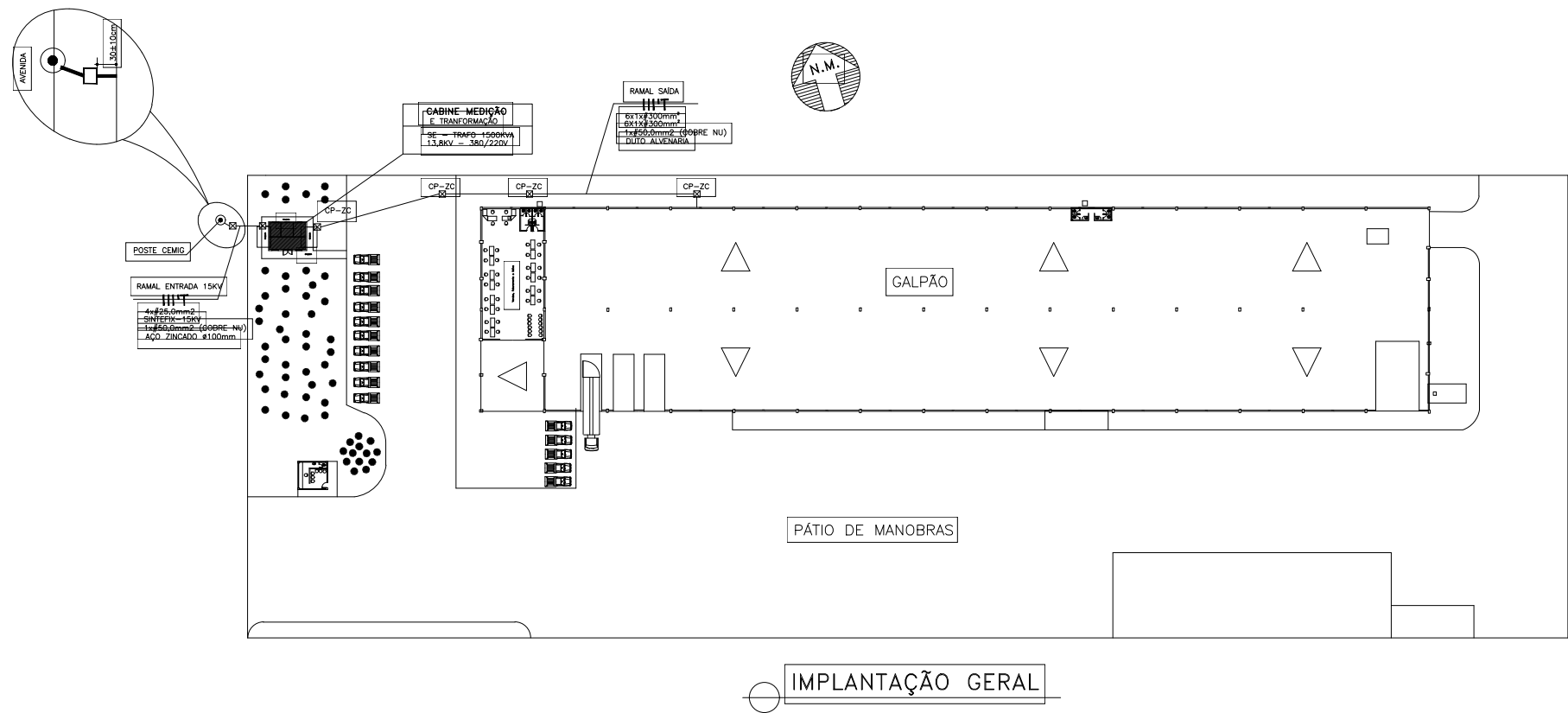
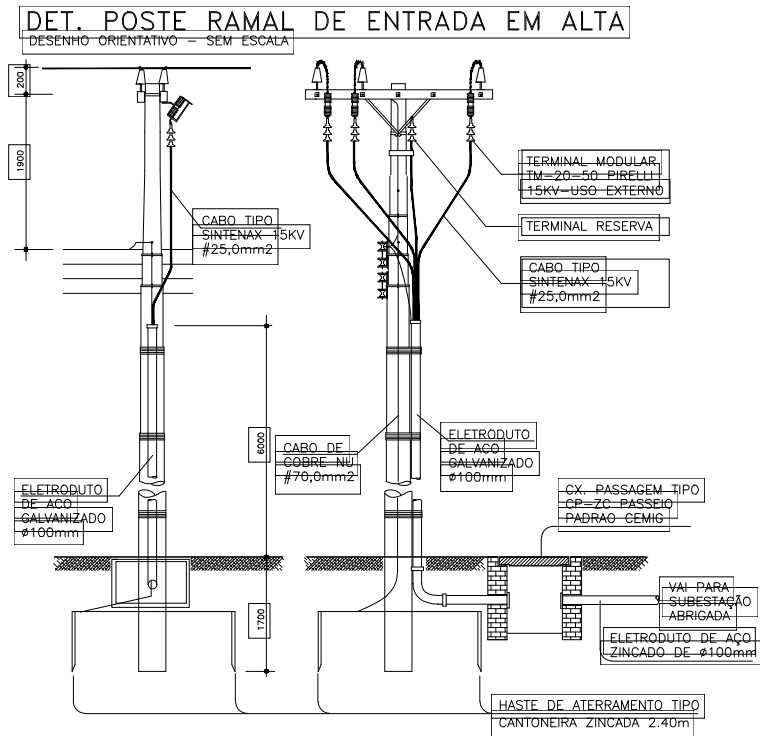
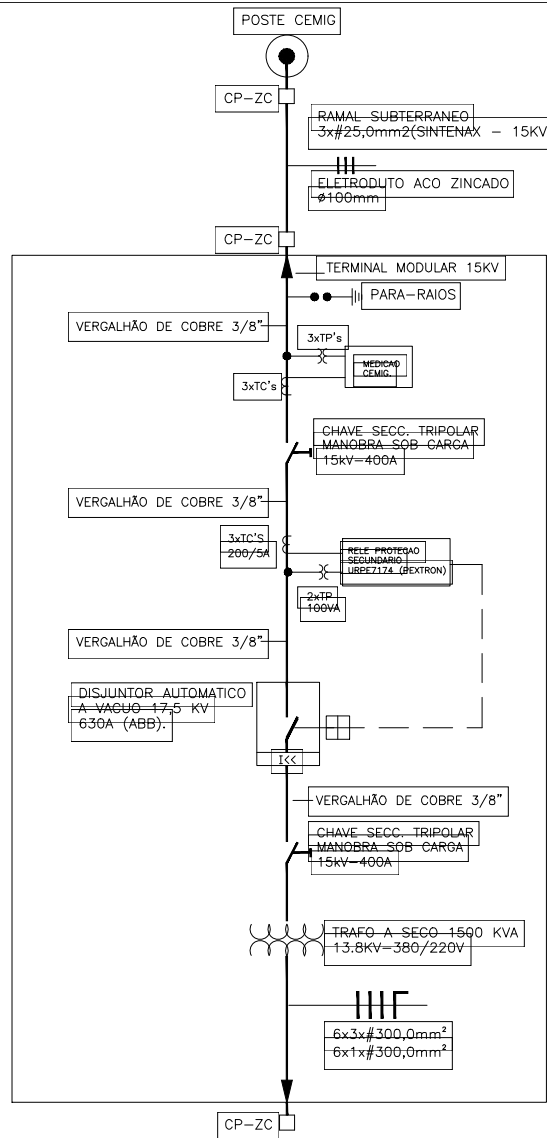


DIAGRAMA UNIFILAR GERAL – SUBESTAÇÃO



CARGA INSTALADA

QTIDADE	DESCRICAO	POT. UNIT. (W)	POT. TOTAL (W)
01	FORNO DE TEMPERA HORIZONTAL FH2751 SGLASS - 3ø - 380V	370000	370000
01	FORNO DE TEMPERA HORIZONTAL FH2770 SGLASS - 3ø - 380V	630000	630000
01	MESA DE CORTE 16KW - 3ø - 380V	16000	16000
06	LAPIDADORA RETILINEA - 3ø - 380V	15000	90000
04	FURADEIRA DUPLO CABEÇOTE - 3ø - 380V	4000	16000
02	LAVADORA HORIZONTAL 3ø - 380V	21000	42000
01	PONTE ROLANTE - 15 TONELADAS 3ø - 380V	20000	20000
01	COMPRESSOR AR TIPO PARAFUSO - 3ø -380V - 15CV	11100	11100
60	LÂMPADAS VAPOR METÁLICO 250W + REATOR	275	16500
02	LÂMPADAS VAPOR METÁLICO 400W + REATOR	425	850
30	LÂMPADAS FLUORESCENTES H0-110W + REATOR	130	3900
20	LÂMPADAS FLUORESCENTES 32W + REATOR	40	800
34	TOMADAS MONOFASICAS DE 300W	300	10200
06	TOMADAS TRIFASICAS DE 5KW - 380V	5000	30000
05	COMPUTADOR	500	2500
02	IMPRESSORA	1000	2000
01	COPIADORA	1300	1300
01	EQUIPAMENTOS DE REDE	500	500
01	SERVIDOR	1000	1000
01	MINI-SPLIT AR COND. 12000 BTU/h	1300	1300
06	MINI-SPLIT AR COND. 30000 BTU/h	3600	21600
CARGA INSTALADA			1.287.550



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

AV. JOÃO NAVES DE ÁVILA, 2121 - BAIRRO SANTA MÔNICA
UBERLÂNDIA-MG

Título/Conteúdo:

IMPLANTAÇÃO GERAL E LOCAÇÃO CABINE MEDIÇÃO E SUBESTAÇÃO
DIAGRAMA UNIFILAR GERAL E DETALHE DO RAMAL DE ENTRADA

Nome do Empreendimento:

INDÚSTRIA DE VIDRO

Endereço:

Número e data da ART de Projeto:

Proprietária:

Contratante:

Endereço completo para correspondência:

Endereço:

Bairro:

RT. Proj. / Execução:

Eng. Eletricista: GUILHERME ABNER COTA

Finalidade:

Bairro:

Número e data da ART de Execução:

CNPJ/CPF/Identidade:

CNPJ/CPF/Identidade:

CEP:

CIDADE:

CREA / Região:

Folha:

UBERLÂNDIA-MG

Informações complementares:

Carga Instalada (KW):

1.287,550

Demanda (KW):

1.287,55

P
A
R
A

U
S
O

D
A

C
E
M
I
G

02/02

