



## Estudo de Caso de um Projeto Elétrico de uma Subestação de 138 Kv

Adriano Longarreti, Camila Knies, Carlos Cesar dos Santos, Nelton Amaral  
longarreteadriano@gmail.com, camilaknies@hotmail.com, carloscesar\_camila@outlook.com,  
dtroxnil@hotmail.com

Professor Orientador: Clodoaldo Schutel Furtado Neto

Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica Márcio J. K. Senhorinha

### Resumo

O presente trabalho apresenta um embasamento para iniciar um projeto elétrico de uma subestação com nível de tensão de 138 kV, mediante ao estudo de caso de uma subestação já existente de uma empresa do ramo metalúrgico. Serão apresentados os passos para o acesso ao sistema de distribuição, juntamente com os documentos necessários para a aprovação do projeto elétrico, junto à concessionária local, no caso a Celesc. Para a elaboração do projeto será respeitado às exigências da concessionária local, sendo utilizadas as normas técnicas brasileiras como base para especificações dos componentes, seguindo os procedimentos e orientações dos órgãos regulamentadores, como ANEEL e ONS. O trabalho contemplará a definição do tipo de subestação e arranjo de barras para posterior dimensionamento dos principais equipamentos da subestação, sendo lembrado também das exigências mínimas de proteção para uma subestação com nível de tensão de 138 kV.

### Palavras-chave:

Subestação. Concessionária local. Equipamentos. Projeto. Procedimentos.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente a eletricidade se tornou a principal fonte de luz, calor e força utilizada no mundo. De acordo com SILVA (2012) A energia elétrica está ligada a grande parte dos avanços tecnológicos que alcançamos. Obtida a partir de todos os outros tipos de energia, a eletricidade é transportada e chega aos consumidores no mundo inteiro, por meio de sistemas elétricos complexos, compostos de quatro etapas: geração, transmissão, distribuição e consumo. As subestações são de grande importância para o sistema elétrico, e estão presentes em todas essas etapas.

O desenvolvimento de um projeto de subestação envolve inúmeros fatores e grande complexidade, precisa oferecer grande confiabilidade, pois tem a responsabilidade de garantir

a distribuição de energia elétrica constante e em boa qualidade para indústrias e demais consumidores. Para o desenvolvimento do projeto, a grande dificuldade é a não existência de uma norma regulamentadora específica da concessionária local sobre projetos de subestações, com nível de tensão em 138 kV, e a quantidade de material de pesquisa disponível que não é vasta. Estas questões permitem o seguinte questionamento: O desenvolvimento do projeto está certo/aceitável?

Conforme Barros e Gedra (2009), grande parte das instalações comerciais, industriais e até mesmo residenciais de grande porte recebem energia em uma tensão elevada e necessitam de uma subestação para reduzi-la aos níveis de utilização. Com o crescimento dos investimentos em fontes de geração de energia no país, como a eólica e a solar, em decorrência da crise de escassez de água, que prejudicam a geração de energia nas hidrelétricas, resultam em investimentos para construção de novas subestações.

Este trabalho visa o estudo de caso de um projeto de uma subestação de energia elétrica de uma indústria metalúrgica, rebaixando a tensão de alimentação de 138 kV para 13,8 kV. Para isso, terá como objetivo geral, analisar os estudos do projeto elétrico de uma subestação de 138 kV, comparando os resultados encontrados com o projeto real. Para atingir este objetivo será necessário: acessar os dados da concessionária responsável pela distribuição; definir a disposição elétrica dos barramentos; elaborar o diagrama unifilar; definir e dimensionar os principais equipamentos de uma subestação; dimensionar a malha de aterramento; comparar os resultados encontrados com o projeto de uma subestação real, de uma indústria metalúrgica de Santa Catarina.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

Neste capítulo será apresentada a fundamentação teórica do trabalho e a descrição de todo o desenvolvimento do projeto.

### **2.1 Subestações**

Subestação, de acordo com Duailibe (1999, p.4) pode ser definida como um conjunto de equipamentos de manobras e/ou transformação, usado para dirigir o fluxo de energia em um sistema de potência, possibilitando a sua diversificação através de rotas alternativas,

possuindo dispositivos de proteção capazes de detectar os diferentes tipos de faltas que podem ocorrer no sistema e de isolar onde estas faltas ocorrem.

Segundo a NBR 5460/1992, subestação pode ser definido como:

Parte de um sistema elétrico de potência, concentrada em um dado local, compreendendo primordialmente as extremidades de linhas de transmissão e/ou distribuição, com os respectivos dispositivos de manobra, controle e proteção, incluindo obras civis e estruturas de montagem, podendo incluir também transformadores, conversores e/ou outros equipamentos.

As subestações são classificadas de diversas maneiras. De acordo com Muzy (2012), as subestações podem ser classificadas de diferentes formas:

a) Classificação quanto ao nível de tensão:

- Baixa Tensão (BT): Tensão nominal até 1kV;
- Média Tensão (MT): Tensão nominal até 34,5kV;
- Alta Tensão (AT): Tensão nominal até 230kV;
- Extra Alta Tensão (EAT): Tensão nominal acima 230kV;

b) Classificação quanto à relação de tensão de entrada e tensão de saída:

- Subestação Seccionadora ou de Manobra: Interliga diferentes sistemas do mesmo nível de tensão;
- Subestação Transformadora: Converte tensão em um nível diferente, podendo ser uma SE transformadora elevadora ou uma SE transformadora abaixadora.

c) A classificação quanto ao tipo de instalação:

- Desabrigada ou ao tempo: Instalada em ar livre, exposta às condições atmosféricas como chuva, poluição, vento, sol, maresia, entre outros.
- Abrigada: Instalada em edificações.

d) Classificação quanto ao isolamento:

- Convencional ou isolada a ar: É aquela que o isolante entre os equipamentos é o ar atmosférico.
- Isolada a gás ou compacta: É aquela que o meio isolante entre os equipamentos é um gás diferente do ar atmosférico, o mais utilizado é o SF<sub>6</sub>;
- Híbrida: É aquela que utiliza os dois tipos de isolamento no mesmo projeto, tanto equipamentos isolados a ar, quanto equipamentos isolados a gás.

### 2.1.1 Arranjos de Barramentos

É definida como a disposição elétrica relativa dos barramentos de uma subestação, entre si e em relação aos dispositivos elétricos dos circuitos. Após a seleção do tipo de subestação, a definição mais importante do projeto é a de configuração de barramento. Se a configuração de barra estiver aquém das necessidades do sistema, pode-se comprometer sua integridade, se estiver além haverá desperdício no investimento (FRONTIN, 2013).

Os principais tipos de barramento comumente aplicados conforme cita Macdonald (2007) são: barra simples, barra dupla com disjuntor duplo, barra principal e transferência, barra dupla com disjuntor simples e barra em anel.

### 2.1.2 Principais Equipamentos

Uma subestação é composta por diversos equipamentos. De acordo com Dalrosso (2011) os principais são: para raios, transformador de potencial, transformadores de corrente, seccionadores, disjuntores, transformadores de potência, relés de proteção, dimensionamento do condutor de malha.

a) Para raios: Segundo Dalrosso (2011, p.25), os para-raios são utilizados para proteger as instalações e equipamentos dos sistemas de potência contra sobre tensão do tipo atmosférico e de manobras. Em geral, são conectados paralelamente com o equipamento a ser protegido, tipicamente entre fase e terra para instalações trifásicas. São responsáveis por funções de grande importância nos sistemas elétricos, contribuindo, decisivamente, para a sua confiabilidade, economia e continuidade de serviço, porque, estando conectados próximos aos principais equipamentos da subestação, impedem que as sobre tensões alcancem valores superiores aqueles para os quais os equipamentos foram projetados (DAJUZ et al., 1985).

b) Transformador de Potencial: Os transformadores de potencial têm a funcionalidade de permitirem que os instrumentos de medição e proteção, possam operar com segurança e sem a necessidade de possuir tensão de isolamento da rede a qual estão conectados. Na sua forma mais simples o transformador de potencial é constituído de um enrolamento primário de muitas espiras e um enrolamento secundário através do qual é obtido a tensão desejada, normalmente é padronizada a tensão de 115 V. Assim os instrumentos de medição e proteção, são dimensionados em tamanhos menores com a bobinas e os demais componentes com isolamento baixa. (MAMEDE FILHO, 2010)

c) Transformador de Corrente: Transformadores de corrente são equipamentos que possibilitam os instrumentos de medição e proteção funcionarem sem que estejam trabalhando com a corrente nominal do circuito. Em sua forma mais simples o TC é constituído de um

primário com poucas espiras e um secundário, por onde normalmente a corrente é de 5 A. Esta transformação se dá pelo fenômeno de conversão eletromagnética, corrente elevada no primário se transforma em pequenas correntes no secundário (MAMEDE FILHO; 2010).

d) Seccionadores: Os seccionadores de alta tensão podem desempenhar diversas funções nas subestações, sendo a mais comum a de manobras de circuitos por necessidade operativa ou de isolar equipamentos do sistema elétrico para manutenção (CARVALHO et al., 1995).

e) Disjuntores: Para tomar a decisão na escolha de um disjuntor, tem a necessidade de verificar se o disjuntor cumpre com as funções na rede elétrica e atenda as características nominais especificadas, sendo a mais importante a capacidade nominal de interrupção. Após o conhecimento destes valores deve-se definir qual será o meio de extinção do arco em casos de aberturas com carga, o meio isolante e o tipo de mecanismo de operação a ser utilizado para melhor atender as características escolhidas (CARVALHO et al., 1995).

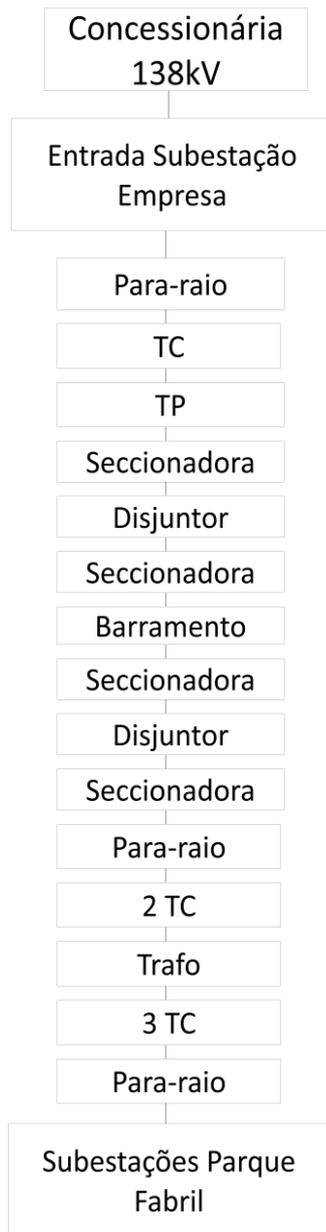
f) Transformador de Potência: Segundo a NBR 5356/1993 – Transformador é um elétrico estático que, por indução eletromagnética, transforma tensão e corrente alternadas entre dois ou mais enrolamentos, sem mudança de frequência.

g) Relés de Proteção: Segundo a ABNT os relés são dispositivos, onde os mesmos são operados quando acontece alguma variação ou alteração no equipamento ou instalação. Já outras normas caracterizam os relés de forma que tem a função de detectar, falhas, perigo ou condições fora do normal, assim após a constatação de alguma anomalia no circuito os mesmos agem, manobrando algum dispositivo, abrindo o circuito ou gerando avisos.

h) Malha de Aterramento: Para operar corretamente o Sistema de Energia Elétrica e uma adequada continuidade de serviço, com desempenho seguro do sistema de proteção, garantindo os limites de segurança dos operadores e manutenções, o aterramento merece um cuidado especial (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995).

A Figura 1 mostra um diagrama de blocos de uma subestação:

**Figura 1 – Diagrama de blocos de uma Subestação**



Fonte: Dos autores (2023)

## 2.2 Projeto Elétrico

Será desenvolvido neste capítulo, cada etapa de um projeto elétrico de uma subestação, contemplando o dimensionamento e definições de seus principais componentes. Os parâmetros que serão utilizados são os de uma subestação de uma indústria de Santa Catarina. Essa indústria conta com uma potência instalada de 120 MW, com uma demanda fora de ponta de 79 MW e na ponta de 66 MW. A subestação rebaixa uma tensão de 138 kV para 13,8 kV, para posteriormente distribuir ao parque fabril. Estes parâmetros foram

escolhidos para o dimensionamento dos equipamentos da subestação, para o posteriormente ser feito o estudo de caso. Figura 2 mostra uma visão geral da subestação base de estudo.

**Figura 2 – Subestação de estudo**



Fonte: Dos autores (2023)

Abaixo estão listados os módulos e as principais características dessa subestação:

- a) 01 Barramento principal em 138 kV;
- b) 01 Entrada de Linha 138 kV com modulo de medição de faturamento;
- c) 01 Modulo de Transferência;
- d) 04 Conexões em 138 kV para os quatro trafos;
- e) 04 Transformadores de força, 138/13,2 kV, 45/67 MVA com comutação sob carga;
- f) Altitude máxima de instalação: 1000 m.

A Tabela 1 apresenta as características do sistema de 138 kV de alimentação da subestação, os mesmos serão utilizados como base para os cálculos e definições do projeto.

**Tabela 1 - Características da alimentação da Subestação**

Característica	Valor / Descrição
Tensão nominal eficaz	138 kV
Tensão máxima de linha operativa	145 kV
Frequência nominal	60 Hz
Neutro	Efetivamente Aterrado

Fonte: Dos autores (2023)

### 2.2.1 Acesso ao Sistema de Distribuição

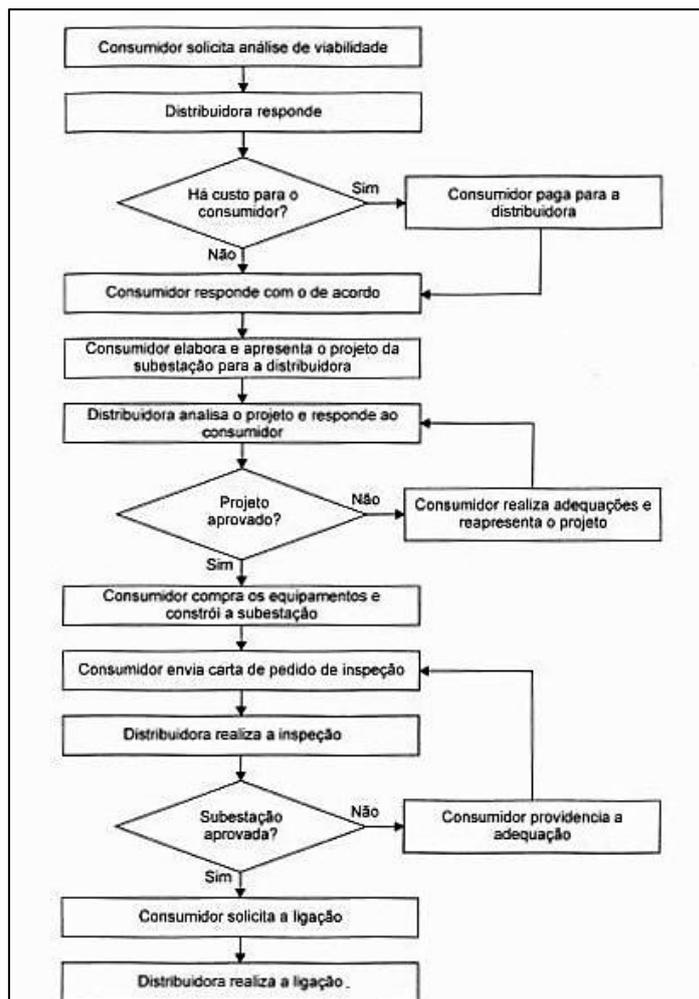
Para desenvolver um projeto de subestação é preciso ter acesso ao sistema de distribuição, que fornecerá informações de necessárias para o desenvolvimento da subestação.

Para ter o acesso esse sistema de distribuição, existem procedimentos a serem seguidos conforme estabelecido pela ANEEL no módulo 3 do PRODIST. Será explicado apenas as etapas referentes ao acesso por subestação privada de consumidor.

A distribuidora acessada deve disponibilizar, de forma atualizada em sua página na *internet*, área específica destinada a servir como guia de acesso ao sistema de distribuição, a relação de documentos e exigências a ser apresentada que pode variar entre distribuidoras.

A Figura 3 apresenta o fluxograma para o procedimento de ligação de uma subestação:

**Figura 3 - Fluxograma do procedimento de ligação de uma subestação**



Fonte: BARROS, GEDRA (2009) p.41

A distribuidora deste projeto é a Celesc, esta estabelece três etapas para o acesso a sua rede de distribuição, sendo elas: consulta de acesso, solicitação de acesso e parecer de acesso. Nesta última etapa é realizado o parecer de acesso e assinatura do contrato de conexão e uso do sistema elétrico.

### 2.2.2 Definição do Tipo de Subestação

Analisando as condições, como custo do investimento e área disponível para a instalação, a opção por uma subestação convencional é a escolha mais adequada. Como foi definido pelo contratante, a utilização de quatro trafos de grande porte, conforme ilustrado na figura abaixo, que ocupam um grande espaço, a escolha por uma subestação convencional é justificada. Uma subestação blindada é descartada pelo alto custo de investimento.

**Figura 4 – Disposição dos Trafos**



Fonte: Dos autores (2023)

Pela necessidade de rebaixar a tensão de 138 kV para 13,8 kV, a subestação é classificada como rebaixadora, também é dado a denominação de alta tensão por conta de sua tensão de alimentação.

### 2.2.3 Escolha do Tipo de Arranjo de Barra

Segundo módulo 3 do PRODIST, o arranjo de barras deve ser definido entre o acessante e acessada, de modo a otimizar o número de circuitos e aspectos operacionais, prevendo futuras expansões. Como o projeto em análise está na concessão da Celesc, foi seguido suas orientações.

Após a escolha do arranjo, o mesmo é analisado pela Divisão de Subestações da Celesc para posterior aprovação. Nesta etapa, a Celesc alinha todas as informações e requisitos necessários para a obra. Geralmente os técnicos da Celesc vão ao local e definem o projeto, juntamente com os requisitos do sistema avaliados pela Divisão de Planejamento. Em muitos casos são realizadas reuniões com os projetistas, sendo fornecidas todas as informações necessárias para o projeto.

Para a escolha do arranjo foram seguidas as premissas da ONS, estabelecidas no submódulo 2.3 dos procedimentos de rede. Este define que as subestações com isolamento a ar, devem adotar uma das seguintes configurações para os arranjos de barramento, em função de sua classe de tensão:

Barramentos de tensão inferior a 230 kV: arranjo barra simples, com possibilidade de evolução para arranjo barra principal e transferência; ou arranjo barra principal e transferência.

Analisando as opções e levando em conta fatores como requisitos de manutenção, operacionais, custo de implantação, área disponível para instalação e expansões futuras, o arranjo de barra principal e transferência, atende a maioria dos quesitos, sendo a escolha mais adequada.

Este tipo de arranjo em condições normais de operação, apenas o barramento principal permanece energizado. O barramento de transferência tem utilização em momentos de falhas ou surtos, ou em eventuais manutenções necessárias.

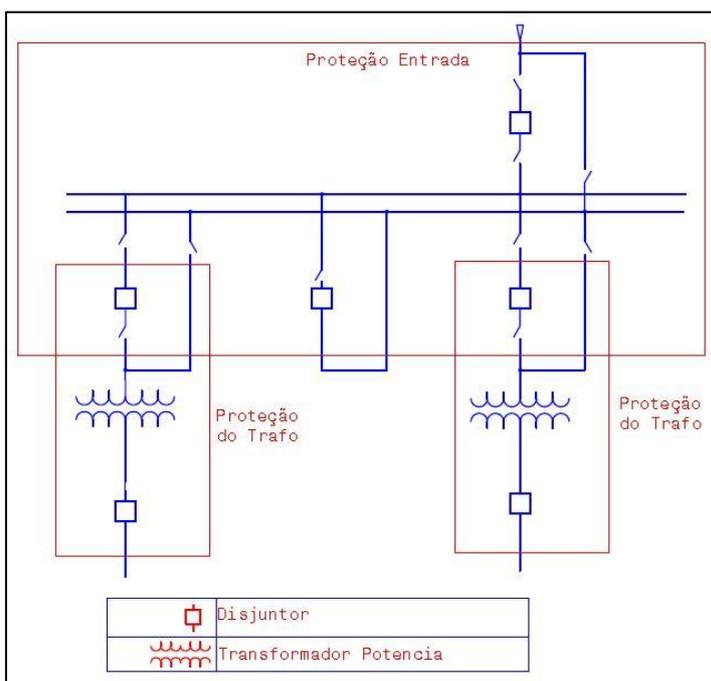
### 2.2.4 Diagrama Unifilar

Com a definição do arranjo de barra e dos quatro transformadores de saída estabelecida, a base do diagrama unifilar está pronta. O arranjo estabelece os posicionamentos dos disjuntores, seccionadoras, transformadores. Será definido a seguir o critério para posicionamento dos para-raios, TP's e TC's.

Segundo a ANEEL no módulo 3 do PRODIST estabelece que devem ser instalados pelo menos para-raios nas entradas de linha. O transformador de potência para alta tensão dispõe de para-raios integrados, para sua própria proteção.

Para o posicionamento dos TC's e TP's o fator determinante é a função que irá desempenhar, podendo ser faturamento, proteção ou apenas medição. Para proteção é recomendado dividir o sistema em algumas zonas de atuação, a Figura 5 ilustra a divisão do sistema com a zona de proteção do transformador e a zona de proteção do barramento.

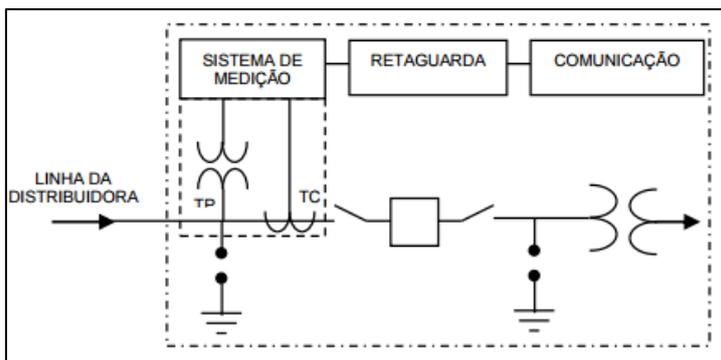
**Figura 5 - Divisão do sistema por zona de proteção**



Fonte: Dos autores (2023)

Para o sistema de medição e faturamento, o módulo 5 do PRODIST estabelece que o Sistema de Medição para Faturamento (SMF) deve ser instalado na unidade consumidora, o mais próximo possível do ponto de conexão. A Figura 2 ilustra genericamente uma ligação de um SMF de um consumidor livre. Sendo assim é definido a presença de um TP e um TC na entrada de linha da subestação.

**Figura 6 - SMF de um consumidor livre**



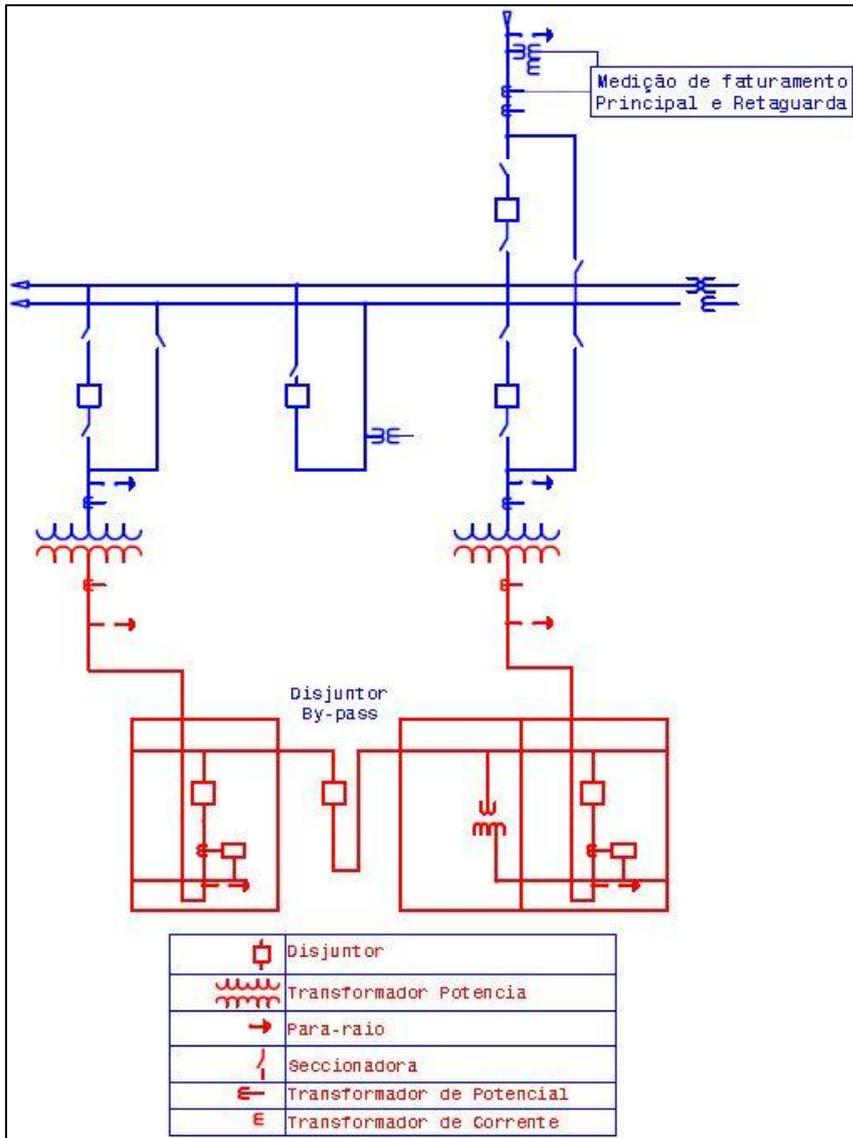
Fonte: PRODIST (2023)

Definido pela ANEEL, no módulo 3 do PRODIST, que a proteção de subestações de alta e média tensão deve contemplar no mínimo a proteção de sobrecorrente de fase e de neutro (50/51 e 50/51N). A proteção da entrada do projeto será feita por um núcleo do mesmo TC de medição que será localizado na entrada de linha.

A Celesc estabelece que para proteção dos transformadores de potência deve ser utilizada a função diferencial (87), onde é comparado os valores de corrente de entrada e saída, ou seja, teremos um TC do lado de alta e outro do lado de baixa para cada trafo. Também é exigido a função de sobrecorrente do neutro (50/51N), realizada por um TC instalado no neutro do trafo. Os três TC's citados acima, são integrados no trafo do projeto em estudo.

A fim de ter necessidades de controle, manutenção e operativas, é conveniente a instalação de pelo menos um TP em cada barramento. No projeto será instalado um TP no barramento principal e outro no barramento de transferência. Após todas essas definições, pode-se ser desenvolvido o diagrama unifilar básico, com o posicionamento de todos seus principais equipamentos, conforme apresentado na Figura 7. O mesmo contempla apenas o circuito de dois transformadores.

**Figura 7 - Diagrama unifilar básico**



Fonte: Dos autores (2023)

### 2.2.5 Dimensionamento dos Principais Equipamentos

Para as definições dos principais equipamentos da subestação, será utilizado as NBR's, ou IEC's conforme recomendação da ABNT. Também será levado em consideração as premissas estabelecidas no submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede da ONS. Todos os equipamentos terão que atender as seguintes condições básicas: altitude sobre o nível do mar: até 1000 m; temperatura ambiente: -5°C a 40°C; uso exterior.

### 2.2.5.1 Para-raio

O trafos do projeto em estudo dispõe de um para-raio no enrolamento de alta e outro no enrolamento de baixa, os mesmos já estão dimensionados para a aplicação de tal transformador, sendo assim não é necessário especificar a caracteriza do mesmo.

As principais características que devem ser consideradas para a definição dos para-raios são:

- a) Tipo construtivo: definido no submódulo 2.3 dos procedimentos de rede, os para-raios devem ser do tipo estação, a óxido metálico, sem centelhador.
- b) Tensão nominal: é estabelecida conforme a Equação 1, sendo adotado os valores de 145 kV para a tensão máxima de operação, 0,8 para fator de aterramento e o valor padronizado de 1,05 para o fator de segurança.

#### **Equação 1 – Tensão Nominal**

$$V_{nom} = 145k \times 0,8 \times 1,05$$

$$V_{nom} = 121,8 \text{ kV}$$

Devido aos valores padronizados, a escolha do para-raio que melhor se enquadra é o de 120 kV.

- c) frequência nominal: 60 Hz;
- d) corrente nominal de descarga: definido segundo a NBR 5424/1981, é padronizada em 10kA para sistemas com tensão de 69 kV à 230 kV, pois são os que asseguram os melhores níveis de proteção;

### 2.2.5.2 Transformador de Potencial

Na escolha do tipo de transformados de potencial, a Celesc disponibiliza em seu site o documento “Materiais e fornecedores certificados pela DVEN para subestações e linhas de transmissão”, o qual determina o uso do TP indutivo, sendo o tipo mais usado para o nível de tensão de 138 kV, devido ao menor custo em relação a outros, como o capacitivo.

Para estabelecer as especificações do TP, é levada em consideração qual sua aplicação na subestação, podendo ser: medição para faturamento, medição, proteção. Os principais parâmetros que devem ser considerados serão apresentados a seguir:

- a) Grupo de ligação: é estabelecido a partir da alimentação do sistema e o modo que o mesmo está aterrado, o projeto em estudo se encaixa no grupo 2;
- b) Relação nominal: é consultado na tabela abaixo, levando em consideração o grupo de ligação e a tensão de alimentação. A relação definida para o projeto em estudo está destacada abaixo;

**Tabela 2 - Tensões Primárias e Relações Nominais**

Grupo 1 para ligação de fase para fase		Grupos 2 e 3 para ligação de fase para neutro			
Tensão primária nominal  (V)	Relação nominal	Tensão primária nominal  (V)	Relação nominal		
			Tensão secundária nominal (V)		
			Aprox. 115/3	115/√3	Aprox. 115
115	1:1				
230	2:1				
402,5	3,5:1				
460	4:1				
2300	20:1	2300√3	36:1	20:1	12:1
3450	30:1	3450√3	52,5:1	30:1	17,5:1
4025	35:1	4025√3	60:1	35:1	20:1
4600	40:1	4600√3	72:1	40:1	24:1
6900	60:1	6900√3	105:1	60:1	35:1
8050	70:1	8050√3	120:1	70:1	40:1
11500	100:1	11500√3	180:1	100:1	60:1
13800	120:1	13800√3	210:1	120:1	70:1
23000	200:1	23000√3	360:1	200:1	120:1
34500	300:1	34500√3	525:1	300:1	175:1
46000	400:1	46000√3	720:1	400:1	240:1
69000	600:1	69000√3	1050:1	600:1	350:1
		138000√3	2100:1	1200:1	700:1
		230000√3	3600:1	2000:1	1200:1

Fonte: NBR 6855 (2009, pg.10)

- c) nível de isolamento de tensão: para definição é consultado a tabela de níveis de tensão suportáveis da NBR 6855/2009, o TP tem que atender os níveis de isolamento de tensão destacados abaixo;

**Tabela 3 - Níveis de Tensão Suportáveis**

Tensão máxima do equipamento U <sub>max</sub> (kV)	Tensão suportável nominal à frequência industrial durante 1 min (kV)	Tensão suportável nominal de impulso atmosférico (kV crista)
0,6	4	
1,2	10	30
7,2	20	40 60
15	34	95 110
24,2	50	125 150
36,2	70	150 170 200
72,5	140	350
92,4	185	450
145	230 275	550 650
242	360 395	850 950

Fonte: NBR 6855 (2009, pg. 11)

- d) frequência nominal: 60 Hz;
- e) classe de exatidão: é estabelecida conforme a NBR 6855/2009, segue os valores padronizados na tabela abaixo:

**Tabela 4 - Classe exatidão**

Classe exatidão	Aplicação
0,3	Medição para faturamento
0,6	Proteção e medição sem faturamento
1,2	Medição

Fonte: Adaptado NBR 6855/2009

### 2.2.5.3 Transformador de Corrente

Para a escolha do tipo de transformados de corrente, a Celesc disponibiliza em seu site o documento “Materiais e fornecedores certificados pela DVEN para subestações e linhas de transmissão”, o qual determina o uso do TC com isolamento em papel-óleo.

O trafos do projeto em estudo já dispõe de TC’s integrados, os mesmos estão dimensionados para sua potência e aplicação, assim, dispensando o dimensionamento e definição dos parâmetros para os mesmos.

Conforme visto no diagrama unifilar, além dos TC’s dos trafos, o mesmo dispõe dos TC’s de entrada de linha. As principais características a serem estabelecidas para a escolha do TC’s serão citadas abaixo:

- a) Corrente nominal primário e secundário: a corrente nominal do primário é estabelecida segundo Equação 2, e a corrente do secundário é padronizada em 5 A;

#### Equação 2 – Corrente Nominal do Primário

$$I_P = \frac{4 \times 67 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 138 \text{ kV}} = 1121,2 \text{ A}$$

- b) Relação nominal: é definida através da Tabela 4 ou Tabela 5, tendo em conta o valor encontrado para  $I_p = 1121,2$ , é adotado a relação de 240:1 para relação simples, ou 240x480:1 para relação dupla.

**Tabela 4 - Relação nominais simples**

Corrente primária nominal (A)	Relação nominal	Corrente primária nominal (A)	Relação nominal	Corrente primária nominal (A)	Relação nominal
5	1:1	100	20:1	1000	200:1
10	2:1	150	30:1	1200	240:1
15	3:1	200	40:1	1500	300:1
20	4:1	250	50:1	2000	400:1
25	5:1	300	60:1	2500	500:1
30	6:1	400	80:1	3000	600:1
40	8:1	500	100:1	4000	800:1
50	10:1	600	120:1	5000	1000:1
60	12:1	800	160:1	6000	1200:1
75	15:1			8000	1600:1

Abaixo a tabela apresenta as relações nominais duplas.

**Tabela 5 - Tabela de relações nominais dupla**

Corrente primária nominal (A)	Relação nominal
5 x 10	1 x 2 : 1
10 x 20	2 x 4 : 1
15 x 30	3 x 6 : 1
20 x 40	4 x 8 : 1
25 x 50	5 x 10 : 1
30 x 60	6 x 12 : 1
50 x 100	10 x 20 : 1
75 x 150	15 x 30 : 1
100 x 200	20 x 40 : 1
150 x 300	30 x 60 : 1
200 x 400	40 x 80 : 1
250 x 500	50 x 100 : 1
300 x 600	60 x 120 : 1
400 x 800	80 x 160 : 1
500 x 1000	100 x 200 : 1
600 x 1200	120 x 240 : 1
800 x 1600	160 x 320 : 1
1000 x 2000	200 x 400 : 1
1200 x 2400	240 x 480 : 1
1500 x 3000	300 x 600 : 1
2000 x 4000	400 x 800 : 1
2500 x 5000	500 x 1000 : 1

Fonte: NBR 6856 (2015, pg. 12)

c) Tensão máxima e nível de isolamento:

- Tensão suportável nominal a frequência industrial: 275 kV;
- Tensão suportável nominal de impulso atmosférico: 650 kV.

d) Frequência: 60 Hz;

e) Classe de exatidão e fator-limite: definido a partir da seguinte tabela:

**Tabela 6 - Classe de exatidão**

Classe exatidão	Aplicação
0,3 / 0,6 / 1,2	Medição para faturamento

3,0	Medição sem fins de faturamento
0,3S~0,6S	Serviço de medição
5P~10P	Proteção

Fonte: NBR 6856/2009

O fator-limite de exatidão é aplicado somente aos TC's de proteção, sendo padronizado nos seguintes valores: 5, 10, 15, 20 e 30. A Celesc estabelece o uso do valor FS=20, assim pode ser calculado a equação 3:

### Equação 3 – Valor de Corrente atende Fator Limite de Exatidão

$$I_{NTC} \geq \frac{I_{CS}}{FS} = \frac{7,743 \text{ kA}}{20} = 387,15 \text{ A}$$

$$1200 \text{ A} \geq 387,15 \text{ A}$$

Onde:

$I_{NTC}$ : Corrente nominal do TC

$I_{CS}$ : Corrente curto circuito trifásica simétrica

FS: Fator de segurança

Com a equação satisfeita, pode-se afirmar que este valor de corrente nominal atende ao fator limite de exatidão estabelecido como 20.

- f) Número de núcleos: Para o TC de entrada, haverá dois núcleos que estão destinados, um para medição de faturamento e retaguarda, e outro para proteção de entrada;

#### 2.2.5.4 Seccionadora

Para dimensionamento da seccionadora, os principais parâmetros a serem considerados são:

- Tensão nominal: 145 kV;
- Nível de isolamento nominal: conforme Tabela , estabelecido em 275 kV a tensão suportável nominal de curta duração a frequência industrial e 650 kV para a tensão suportável nominal de impulso atmosférico;

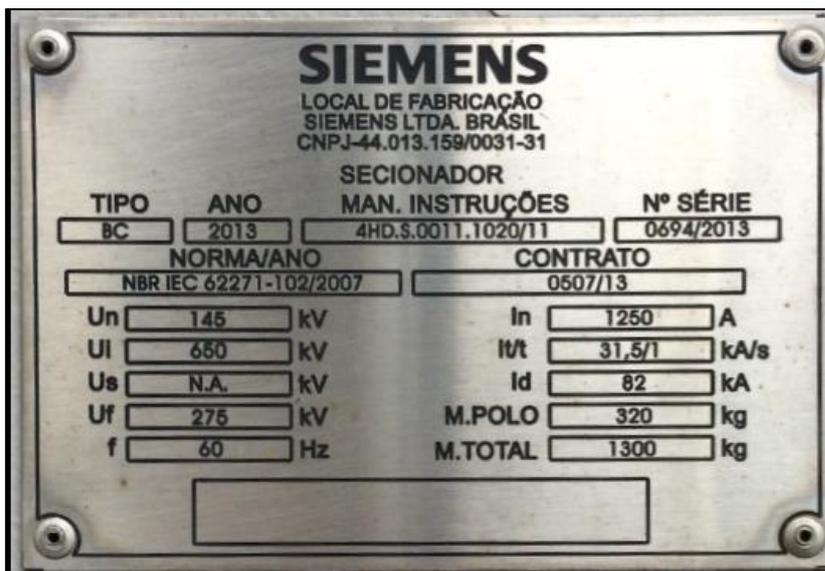
- c) Frequência nominal: 60 Hz;
- d) Corrente nominal de regime contínuo: abaixo será definido o valor para os seccionadores de entrada, transferência e dos seccionadores dos alimentadores dos trafos, pois os mesmos estarão submetidos a valores distintos de corrente.
- Seccionadores de entrada e transferência: definido a partir da corrente máxima de trabalho que foi calculada na equação 2.2, com resultado de 1121,2 A. A IEC 60059 compreende como os valores padrões para corrente de equipamentos de manobra os seguintes números: 1 – 1.25 – 1.6 – 2 – 2.5 – 3.15 – 4 – 5 – 6.3 – 8 e os seus produtos por  $10^n$ . Levando em consideração os valores padronizados acima, foi definido em 1250 A a corrente nominal das seccionadoras (ABNT NBR IEC 60694, p. 28, 2006);
  - Seccionadoras dos alimentadores dos trafos: com o valor de corrente máximo calculado a partir da Equação 4, com resultado de 280,3 A. Foi verificado catálogos dos fabricantes homologados pela Celesc, e a corrente mínima para seccionadores de 145 kV é de 1250 A. Portanto foi adotado o valor de 1250 A para todos os seccionadores da subestação.

#### **Equação 4 – Valor de Corrente Máximo**

$$I_p = \frac{67 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 138 \text{ kV}} = 280,3 \text{ A}$$

Abaixo a Figura 8 mostra os valores nominais da plaqueta da seccionadora instalada na subestação em estudo.

Figura 8 - Plaqueta dados da seccionadora



Fonte: Dos autores (2023)

#### 2.2.5.5 Disjuntor

Os critérios para o dimensionamento dos disjuntores, para que o mesmo possa cumprir seu papel, de interrupção da linha em caso de surto ou manobra, são os seguintes:

- Meio de extinção: Consultando o documento de equipamentos homologados da Celesc “Materiais e Fornecedores Certificados pela Dven Para Subestações e Linhas de Transmissão”, para disjuntores com nível de tensão de 138 kV, todos utilizam a tecnologia SF6 como meio de extinção;
- Tensão nominal do disjuntor: 145 kV;
- Nível de isolamento: conforme a Tabela 3 - Níveis de Tensão Suportáveis, a tensão nominal suportável a frequência industrial é de 275 kV e a tensão suportável nominal de impulso atmosférico é de 650 kV;
- Frequência nominal do disjuntor: 60 Hz;
- Corrente nominal: abaixo será definido o valor para os disjuntores de entrada, transferência e dos disjuntores dos alimentadores dos trafos, pois os mesmos estarão submetidos a valores distintos de corrente.
  - Disjuntor de entrada e transferência: a corrente é calculada a partir da equação 2.2, onde o valor é de 1121,2 A, a corrente nominal do disjuntor é definida em 1250 A, devido a padronização de correntes nos disjuntores;

- Disjuntor dos alimentadores dos trafos: com o valor de corrente máxima calculado na equação 2.2, com resultado de 280,3 A, foi verificado catálogos dos fabricantes homologados pela Celesc, e a corrente mínima para disjuntores de 145 kV é de 1250 A. Portanto foi adotado o valor de 1250 A para todos os disjuntores da subestação.

#### 2.2.5.6 Transformador de Potência

Os trafos do projeto em questão foram pré-definidos pelo contratante, porém, se fosse necessário definí-los, deveriam ser analisados os seguintes critérios:

- a) Potência nominal: a qual deve ser estabelecida a partir da demanda e sempre levar em consideração a possibilidade de futuras ampliações do parque fabril;
- b) Tensão nominal primária: 138 kV;
- c) Tensão nominal secundária: 13,8 kV
- d) Nível de isolamento: a tensão nominal suportável a frequência industrial é de 275 kV e a tensão suportável nominal de impulso atmosférico é de 650 kV;
- e) Frequência: 60 Hz;
- f) Regime de trabalho: contínuo;

#### 2.2.5.7 Relés de Proteção

Os requisitos de proteção para os acessantes são definidos de acordo com as necessidades técnicas no PTA (Parecer Técnico de Acesso), que se trata de um documento fornecido pela Celesc após a solicitação de acesso. Os requisitos de proteção são mais criteriosos quando se trata de um autoprodutor ou produtor independente de energia.

Para o caso da entrada da subestação de unidade consumidora de alta tensão, é necessário, no mínimo, a proteção de sobrecorrente de fase (50/51) e de neutro (50/51N), com unidade instantânea e temporizada (PRODIST, 2023). No projeto, tal proteção será realizada pelo TC de entrada de linha, o mesmo TC que já é utilizado para o sistema de medição para faturamento. É exigido um núcleo diferente para cada aplicação.

Como a linha de alimentação da subestação em estudo é de distribuição, é necessário atender apenas as exigências estabelecidas pela ANEEL e a concessionária local. Os procedimentos de rede da ONS não se aplicam as distribuidoras, porém, a Celesc utiliza os documentos da ONS como referência.

Como base para a proteção dos transformadores foi seguido as orientações da ONS do modulo 2.6 dos procedimentos de rede, onde é especificado que para os transformadores com nível de tensão inferior a 345 kV, devem dispor de três conjuntos independentes de proteção:

- a) Proteção unitária ou restrita (87);
- b) Proteção gradativa ou irrestrita (51, 51G e 51N);
- c) Proteção intrínseca.

Proteções unitária ou restrita é realizada pela função diferencial percentual (87), onde o objetivo é comparar as correntes de entrada e saída do trafo, atuando apenas quando ocorrer uma falta interna, que resultara em uma diferença percentual de corrente. Essa função será desempenhada pelos TC's de entrada e saída dos trafos.

A proteção gradativa ou irrestrita utiliza as funções de sobrecorrente temporizada de fase (51) e de neutro (51N) são vinculadas a cada um dos enrolamentos do transformador. Tais funções também são realizadas pelos TC's de entrada e saída do trafo.

As proteções intrínsecas, para detecção de faltas internas no trafo, devem ter no mínimo as seguintes proteções apresentadas pela Tabela 7:

**Tabela 7 - Proteções intrínsecas**

Proteção	Descrição
20	Válvula operada eletricamente
26	Dispositivo térmico do equipamento
49	Relé térmico
63	Relé de pressão

Fonte: ONS (2023)

### 3. METODOLOGIA

Foi realizado um estudo com embasamento bibliográfico juntamente com o projeto que foi aplicado pela empresa responsável, comparando os valores encontrados a fim de garantir a aceitação do estudo. O levantamento da documentação necessária foi feito junto a concessionária responsável da região, neste caso a CELESC.

As primeiras definições a serem tomadas no projeto foram o tipo de subestação e do tipo de arranjo, seguindo as recomendações da ONS e ANELL nos documentos Procedimentos de Rede e PRODIST.

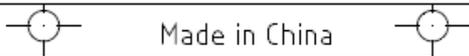
A definição dos principais parâmetros dos equipamentos da subestação foi realizada seguindo as NBR's ou IEC's e recomendações da CELESC. A comparação dos resultados foi realizada com as placas de identificações dos equipamentos da subestação já existente, a fim de validar os resultados.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será comparado os parâmetros encontrados no capítulo 3 com os valores reais dos equipamentos da subestação já existente, afim de validar os cálculos ou justificar a diferença. Realçando que foram definidos apenas os principais parâmetros de cada equipamento.

- a) Para-raios: os para-raios que serão comparados são os da entrada de linha, onde os parâmetros do mesmo são apresentados na Figura 9, sendo ela a placa de identificação do equipamento.

**Figura 9 – Placa identificação para-raio**

<b>SIEMENS</b>			
PARA-RAIOS DE ÓXIDO DE ZINCO		3EL1120-1PH22-4XT1	
Tensão nominal	120 kV	Número de série	xxx
Max. TOC	96 kV	Ano de fabricação	20xx
Nível básico de impulso	731 kV	Peso total da unidade completa	22,5 kg
Tensão de referência	124,8 kV	Classe de alívio de sobrepressão	65 kA
Norma técnica de projeto e ano de sua edição IEC60099-4,Ed1.2,2001-12		Corrente nominal descarga (8/20µs)	10 kA
Tensão residual com	10 kA 8/20 µs		318,0 kV
Tensão residual com	10 kA 1/2 µs		337,1 kV
Tensão residual com	1 kA 30/60 µs		254,4 kV
Número do manual de instrução			928 00061 179
			

Fonte: Siemens (2023)

A Tabela 10 apresenta os valores definidos para os para-raios no capítulo 2.2.

**Tabela 10 – Valores definidos para os para-raios**

<b>TIPO CONSTRUTIVO</b>	ÓXIDO METÁLICO
<b>TENSÃO NOMINAL</b>	120 kV
<b>FREQUÊNCIA NOMINAL</b>	60 Hz
<b>CORRENTE NOMINAL DE DESCARGA</b>	10 kA

Fonte: Dos autores (2023)

Comparando os valores da tabela com a placa de identificação é visto que são idênticos, sendo assim, são válidos os parâmetros encontrados para o para-raio.

- b) Transformadores de potencial: a Figura 11 é a plaqueta de identificação do TP de medição.

**Figura 11 – Placa de identificação TP**

**ARTECHE** TRANSFORMADOR DE POTENCIAL INDUTIVO

TIPO  N°  ANO  USO  GRUPO

Umôx/NI  kV Norma/Ano  Fst pu  cont.

f  Hz M-Oleo  kg Fst pu  30s

P térm  VA M-Total  Kg

U prim.  V Oleo

U sec.     V

Terminais

Rn

Exatidão

H1  1X1   
 1X2   
 1X3   
H2  2X1   
 2X2   
 2X3

ESTANQUEIDADE TOTAL - PROIBIDO DESMONTAR - Industria Argentina

Fonte: Artech (2023)

A Tabela 12 apresenta os valores definidos para os TP's de medição no capítulo 2.2.

**Tabela 12 – Valores definidos para os TP's**

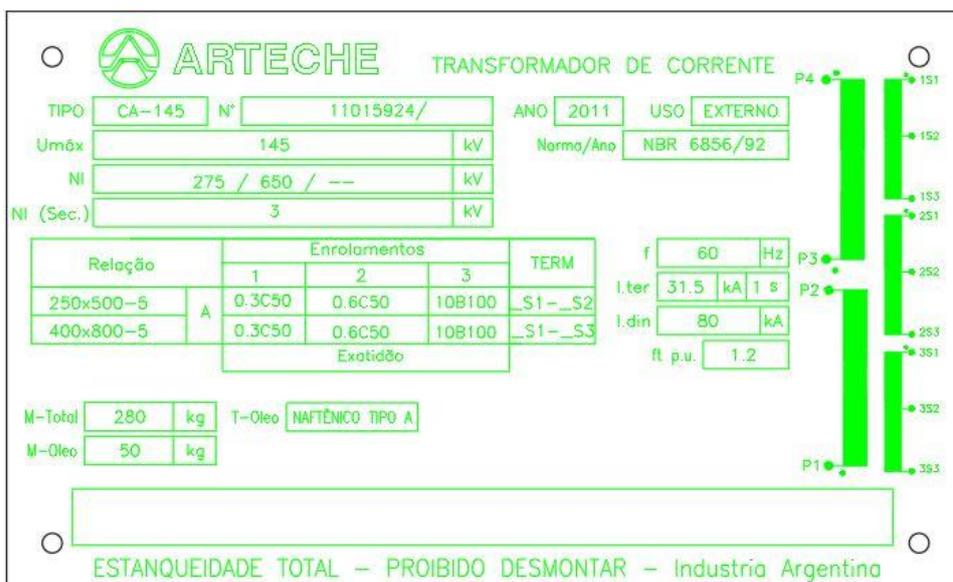
<b>RELAÇÃO NOMINAL</b>	700:1
<b>NÍVEL DE ISOLAMENTO</b>	275/650 Kv
<b>FREQUÊNCIA</b>	60 Hz
<b>CLASSE DE EXATIDÃO</b>	0.3

Fonte: Dos Autores (2023)

Comparando os valores da tabela com a placa de identificação é visto que são idênticos, sendo assim, são validos os parâmetros encontrados para o transformador de potencial.

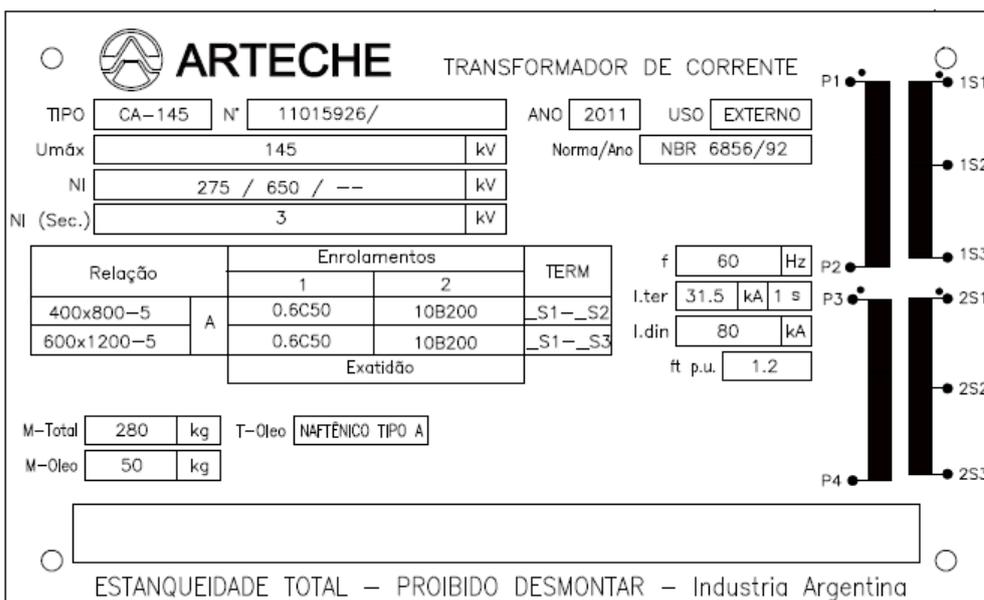
- c) Transformadores de corrente: a Figura 12 e Figura 13 são as plaquetas de identificação dos TC's de medição e proteção respectivamente.

**Figura 12 – Placa de identificação TC's de medição**



Fonte: Artech (2023)

**Figura 13 - Placa de identificação TC's de proteção**



Fonte: Artech (2023)

A tabela 10 apresenta os valores definidos para os tc's de medição no capítulo 2.2.

**Tabela 10 – Valores definidos para os TC's de medição**

<b>RELAÇÃO NOMINAL</b>	250X500–5 A
<b>NIVEL DE ISOLAMENTO</b>	275/650 kV
<b>FREQUENCIA</b>	60 Hz
<b>CLASSE DE EXATIDÃO</b>	0.3

Fonte: Dos Autores (2023)

A Tabela 11 apresenta os valores definidos para os tc's de proteção no capítulo 2.2.

**Tabela 11 - Valores definidos para os TC's de proteção**

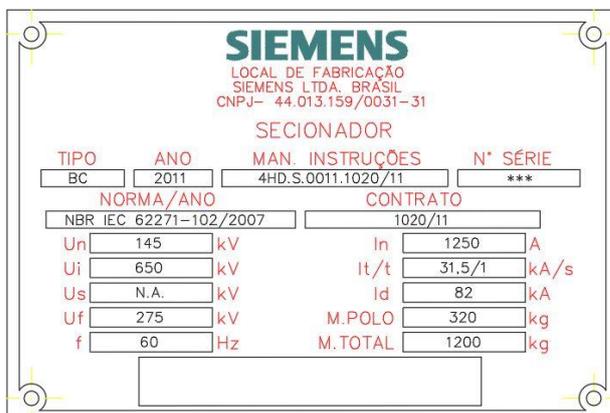
<b>RELAÇÃO NOMINAL</b>	400X800-5 A
<b>NIVEL DE ISOLAMENTO</b>	275/650 kV
<b>FREQUÊNCIA</b>	60 Hz
<b>CLASSE DE EXATIDÃO</b>	0.6

Fonte: Dos Autores (2023)

Comparando os valores das tabelas com as placas de identificações, é visto que ambos coincidem os resultados, sendo assim, são válidos os parâmetros encontrados para o transformador de corrente de proteção e medição.

- d) Seccionadoras: a Figura 10 abaixo é a plaqueta de identificação dos seccionadores da planta física.

**Figura 10 – Placa de identificação dos seccionadores**



Fonte: Siemens (2023)

A Tabela 12 apresenta os valores definidos para os seccionadores no capítulo 2.2.

**Tabela 12 – Valores definidos para os seccionadores**

<b>TENSÃO NOMINAL</b>	145 kV
<b>NÍVEL DO ISOLAMENTO</b>	275/650 Kv
<b>FREQUÊNCIA</b>	60 Hz
<b>CORRENTE NOMINAL</b>	1250 A

Fonte: Dos autores (2023)

Comparando os valores da tabela com a placa de identificação é visto que são idênticos, sendo assim, são validos os parâmetros encontrados para os seccionadores.

e) Disjuntores: a Figura 14 é a plaqueta de identificação do disjuntor de entrada.

**Figura 14 – Placa de identificação disjuntor**

		
LOCAL DE FABRICAÇÃO: SIEMENS LTDA. – BRASIL CNPJ Nº 44.013.159/0031-31		
DISJUNTOR A GÁS SF6 PARA EXTERIOR		
Tipo	3AP1 FG	
Nº de série	(*)	
Ano de fabricação	(*)	
Tensão nominal		
	145 kV	
Tensão suportável nominal de impulso atmosférico		
	650 kVcr	
Tensão suportável nominal a frequência industrial à seco		
	275 kVef	
Frequência nominal		
	60 Hz	
Corrente nominal		
	3150 Aef	
Capacidade de interrupção nominal em curto-circuito simétrica		
	40 kAef	
Duração corrente de curto-circuito		
	1 s	
Capacidade de estabelecimento nominal em curto-circuito		
	104 kAcr	
Capacidade de interrupção em discordância de fases		
	10 kAef	
Sequência nominal de operações		
	0-0,3s-CO-1min.-CO	
Fator do primeiro pólo		
	1,5	
Gás SF6 (20°C)	Pressão nominal	6,0 bar
	Baixa pressão 1º estágio	5,2 bar
	Baixa pressão 2º estágio	5,0 bar
	Massa do gás SF6	8,0 kg

Fonte: Siemens (2023)

A Tabela 13 apresenta os valores definidos para os disjuntores no capítulo 2.2.

**Tabela 13 – Valores definidos para os disjuntores**

<b>MEIO DE EXTINÇÃO</b>	Gás SF6
<b>TENSÃO NOMINAL</b>	145 Kv
<b>NÍVEL DO ISOLAMENTO</b>	275/650 Kv
<b>FREQUÊNCIA</b>	60 Hz
<b>CORRENTE NOMINAL</b>	1250 A

Fonte: Dos Autos (2023)

Comparando os valores da tabela com a placa de identificação é visto que são idênticos, sendo assim, são válidos os parâmetros encontrados para os disjuntores.

## **CONCLUSÕES**

O estudo de caso tinha como objetivo esclarecer como iniciar um projeto elétrico de uma subestação com nível de tensão de 138 kV, buscando as informações junto aos órgãos regulamentadores, coordenadores e da concessionária local, definindo qual arranjo de barra à ser utilizado e o que melhor se enquadraria no projeto. Além disso, foi visto quais equipamentos devem ser utilizados em uma subestação com nível de tensão de 138 kV, determinando os principais parâmetros a serem observados no momento da escolha dos mesmos e como deve ser a disposição dos equipamentos na subestação.

No decorrer do desenvolvimento do projeto, verificou-se que os órgãos de regulamentação e coordenação, Aneel e ONS respectivamente, deixam claro os requisitos mínimos para o projeto de uma subestação e acesso a rede de distribuição da concessionária local. E enfatizam que a concessionária local deve disponibilizar ao acessante, toda a documentação necessária para o projeto e acesso a rede de distribuição, no site da concessionária local. Para o projeto em questão, não foi possível acessar estas informações no site da concessionária local, sendo necessário seguir apenas os procedimentos dos órgãos regulamentadores e de coordenação.

Ao realizar a definição dos principais parâmetros dos equipamentos, foi levado em consideração o pior caso, para assim garantir o pleno funcionamento da subestação, com alta confiabilidade, tendo em vista que o fornecimento contínuo de energia elétrica é de extrema importância, não apenas financeiramente, mas também levando em conta os riscos de

acidentes, devido ao número alto de fornos de indução, que dependem da energia elétrica para o seguro funcionamento.

Para dimensionar os parâmetros dos equipamentos foram seguidas as normas técnicas brasileiras e quando há ausência de alguma, a ABNT indica o uso de normas internacionais.

A principal dificuldade encontrada na realização do estudo de caso foi obter os procedimentos e critérios mínimos para a elaboração do projeto junto a concessionária local. Pois os documentos não são disponibilizados no site, sendo grande parte dos documentos que são disponibilizados no site são para níveis de tensão até 36,2 kV.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Deus por nos dar força em períodos de crise, pandemia, e adaptação para um novo recomeço, e termos chegado ao fim dos 5 anos cumprindo todas as metas.

Aos professores que repassaram seus conhecimentos com muita dedicação e compreensão durante todo esse período.

Aos nossos familiares por todo incentivo e motivação.

À todos amigos e colegas do curso, que contribuíram de forma relevante para nosso crescimento pessoal, acadêmico e profissional.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **PRODIST - MÓDULO 3**: Acesso ao Sistema de Distribuição. Revisão 7 ed. Brasília: Aneel, 2023. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 10 abril 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **PRODIST - MÓDULO 5**: Sistemas de Medição. Revisão 5 ed. Brasília: Aneel, 2023. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 10 abril 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 5460**: Sistemas Elétricos de Potência. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 5424**: Guia de aplicação de para-raios de resistor não linear em sistemas de potência. Rio de Janeiro, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 6855**: Transformador de potencial indutivo. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 6856**: Transformador de corrente. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 6935**: Seccionadores, chaves de terra e de aterramento rápido. Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15751**: Sistemas de aterramento de subestações - Requisitos. [s.i.]: Abnt, 2013. 47 p. (ABNT, 2013)

BARROS, Benjamin Ferreira; GEDRA, Ricardo Luis. **Cabine Primária: Subestações de Alta Tensão de Consumidor**. São Paulo: Erica, 2009.

CARVALHO, Antonio Carlos Cavalcanti de et al. **Disjuntores e Chaves: Aplicação em Sistemas de Potencia**. Niterói: Eduff, 1995.

D'AJUZ, Ary et al. **EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS: ESPECIFICAÇÃO E APLICAÇÃO EM SUBESTAÇÕES DE ALTA TENSÃO**. [s.i.]: Furnas, 1985. Disponível em: <<http://www.dee.ufrj.br/~acsl/grad/equipamentos/EquipamentosFurnas.pdf>>. Acesso em: 15 abril 2023.

DALROSSO, Ricardo Gomes. **Projeto de subestação de médio porte**. 2011. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

DUAILIBE, Paulo. **Subestações: Tipos, Equipamentos e Proteção**. 1999/11. Disponível em: <<http://www.vieiraevarela.com.br/arquivos/SE.pdf>>. Acesso em: 23 março 2023.

FRONTIN, Sergio de Oliveira. **EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO: Prospecção e Hierarquização de Inovações Tecnológicas**. Brasília: Teixeira, 2013. Disponível em: <

[https://institucional.taesa.com.br/wp-content/uploads/2018/11/INOVAEQ\\_Livro\\_Completo.pdf](https://institucional.taesa.com.br/wp-content/uploads/2018/11/INOVAEQ_Livro_Completo.pdf)>. Acesso em 24 março 2023.

KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge Mário. **Aterramento Elétrico**. 3. ed. Porto Alegre: Sagra - D.c. Luzzatto, 1995. 214 p. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfHvUAD/aterramento-eletrico-geraldo-kindermann#>>. Acesso em: 09 abril 2023.

MACDONALD, John D. **ELECTRIC POWER SUBSTATIONS ENGINEERING**. 2. ed. New York: Crc Press, 2007.

MAMEDE FILHO, João. **Manual de equipamentos elétricos**. 3 ed. RIO DE JANEIRO: LTC, 2010.

MUZY, Gustavo Luiz Castro de Oliveira. **Subestações Elétricas**. 2012. 122 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. **SUBMÓDULO 2.3**: Requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos. Brasília: ONS, 2023. Disponível em: <http://www.ons.org.br/>>. Acesso em: 10 abril 2023.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. **SUBMÓDULO 2.6**: Requisitos mínimos para os sistemas de proteção, de registro de perturbações e de teleproteção. Brasília: ONS, 2023. Disponível em: <http://www.ons.org.br/>>. Acesso em: 10 abril 2023.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. **SUBMÓDULO 12.2**: Instalação do sistema de medição para faturamento. Brasília: ONS, 2023. Disponível em: <http://www.ons.org.br/>>. Acesso em: 10 abril 2023.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. **SUBMÓDULO 12.1**: Medição para faturamento: visão geral. Brasília: ONS, 2023. Disponível em: <http://www.ons.org.br/>>. Acesso em: 10 abril 2023.

SILVA, Marcelo Lopes. **Modelo de Data Warehouse para a análise de ocorrências de perturbações e desligamentos forçados no Sistema Interligado Nacional**. 2012/12.

Disponível em:< <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/9137/1/monopoli10005667.pdf>>.

Acesso em 01 abril 2023.