

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL  
CURSO DE BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Greice Scherer Ritter

**FERRAMENTA PARA IMPLEMENTAÇÃO OU EXPANSÃO DE  
SUBESTAÇÃO DE UNIDADE CONSUMIDORA**

Cachoeira do Sul, RS  
2023

**Greice Scherer Ritter**

**FERRAMENTA PARA IMPLEMENTAÇÃO OU EXPANSÃO DE SUBESTAÇÃO DE  
UNIDADE CONSUMIDORA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharel em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Bacharel em Engenharia Elétrica.**

ORIENTADORA: Prof.<sup>a</sup> Laura Lisiane Callai dos Santos

Cachoeira do Sul, RS  
2023

**Greice Scherer Ritter**

**FERRAMENTA PARA IMPLEMENTAÇÃO OU EXPANSÃO DE SUBESTAÇÃO DE  
UNIDADE CONSUMIDORA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharel em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Bacharel em Engenharia Elétrica.**

**Aprovado em 11 de julho de 2023:**

---

**Laura Lisiane Callai dos Santos, Dr. (UFSM)**  
(Orientadora)

---

**Dion Lenon Prediger Feil, Dr. (UFSM)**

---

**Gustavo Guilherme Koch, Dr. (UFSM)**

Cachoeira do Sul, RS  
2023

NUP: 23081.088803/2023-25

Prioridade: Normal

**Homologação de ata de defesa de TCC e estágio de graduação**

125.322 - Bancas examinadoras de TCC: indicação e atuação

**COMPONENTE**

Ordem	Descrição	Nome do arquivo
3	Ata de defesa de trabalho de conclusão de curso (TCC) (125.322)	Folha assinaturas.pdf

**Assinaturas**

**20/07/2023 09:55:00**

LAURA LISIANE CALLAI DOS SANTOS (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR (Ativo))  
31.06.00.00.0.0 - COORDENAÇÃO ACADÊMICA - UFSM-CS - C\_ACA\_UFSM/CS

**20/07/2023 10:06:26**

DION LENON PREDIGER FEIL (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR (Ativo))  
31.06.00.00.0.0 - COORDENAÇÃO ACADÊMICA - UFSM-CS - C\_ACA\_UFSM/CS

**20/07/2023 11:03:13**

GUSTAVO GUILHERME KOCH (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR (Ativo))  
31.06.00.00.0.0 - COORDENAÇÃO ACADÊMICA - UFSM-CS - C\_ACA\_UFSM/CS



Código Verificador: 2992858

Código CRC: 4a4f7ef9

Consulte em: <https://portal.ufsm.br/documentos/publico/autenticacao/assinaturas.html>



## RESUMO

### FERRAMENTA PARA IMPLEMENTAÇÃO OU EXPANSÃO DE SUBESTAÇÃO DE UNIDADE CONSUMIDORA

AUTORA: Greice Scherer Ritter  
ORIENTADORA: Laura Lisiane Callai dos Santos

Unidades consumidoras são definidas por um conjunto de instalações de um único cliente caracterizadas pela entrega de energia elétrica em um só ponto, com medição individualizada. Para instalações com carga instalada superior a 75kW o fornecimento de energia elétrica pela concessionária deve ser em tensão primária, ou seja, em média tensão. Devido ao aumento da demanda por novas instalações de subestações de unidades consumidoras houve, também, aumento expressivo na procura por expansão das subestações já existentes. Dessa forma, o presente trabalho apresenta o desenvolvimento de uma metodologia e uma ferramenta computacional para implementação ou expansão de subestação de unidade consumidora de acordo com as normas da Concessionária Paulista de Força e Luz (CPFL- Energia). A ferramenta foi desenvolvida através do programa de planilhas Excel no qual possibilita o dimensionamento de todos os equipamentos necessários para o desenvolvimento de um projeto de subestação de média tensão como: transformador de distribuição, transformador de corrente e potencial, chaves seccionadoras, para-raios, disjuntores, relés, chaves fusíveis e equipamentos auxiliares. Além disso, para os casos em que o transformador é instalado em postos abrigados, a ferramenta proporciona o dimensionamento da cabine de alvenaria. Através da metodologia adotada, a ferramenta desenvolvida proporcionou resultados positivos e confiáveis, demonstrando a validação dos dados através da comparação com projetos de subestações já existentes. Ademais, desempenha papel importante como ferramenta de auxílio e aprendizado em ambientes de ensino em sala de aula. De linguagem simples e didática proporciona aos alunos de engenharia a experiência de realizar um projeto de subestação de média tensão passo a passo de acordo com projetos reais. Com isso, a ferramenta possibilita um ambiente otimizado e prático para o projetista sendo ele, engenheiro ou estudante de engenharia.

**Palavras-chave:** Subestações consumidoras. Ferramenta. Dimensionamento. Projetos. Ensino.

## ABSTRACT

### TOOL FOR IMPLEMENTATION OR EXPANSION OF CONSUMER UNIT SUBSTATION

AUTHOR: Greice Scherer Ritter  
ADVISOR: Laura Lisiane Callai dos Santos

Consumer units are defined by a set of facilities of a single customer characterized by the delivery of electric power at a single point, with individualized metering. For installations with an installed load of more than 75kW the electric power supply by the concessionaire must be at primary voltage, i.e. medium voltage. Due to the increase in demand for new consumer substations, there has also been a significant increase in demand for the expansion of existing substations. Thus, this paper presents the development of a methodology and a computational tool for implementation or expansion of substation of consumer units according to the standards of the Concessionária Paulista de Força e Luz (CPFL - Energia). The tool was developed through the Excel spreadsheet program in which allows the dimensioning of all equipment necessary for the development of a project of medium voltage substation as: distribution transformer, current and potential transformer, disconnecting switches, lightning arresters, circuit breakers, relays, fuse switches and auxiliary equipment. Furthermore, for cases in which the transformer is installed in sheltered stations, the tool provides the dimensioning of the masonry cabin. Through the methodology adopted, the tool developed provided positive and reliable results, demonstrating the validation of the data through comparison with existing substation projects. Furthermore, it plays an important role as an aid and learning tool in classroom teaching environments. The simple and didactic language provides engineering students with the experience of carrying out a medium voltage substation project step by step according to real projects. With this, the tool provides an optimized and practical environment for the designer, whether he is an engineer or engineering student.

**Keywords:** Consuming substations. Tool. Dimensioning. Design. Teaching.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de Subestações de Energia Elétrica .....	13
Figura 2 – Transformador de distribuição .....	15
Figura 3 – Transformador de corrente de média tensão .....	16
Figura 4 – Transformador de Potencial 15kV. ....	16
Figura 5 – Chave seccionadora 15kV abertura com carga. ....	17
Figura 6 – Para-raio polimérico 15kV. ....	17
Figura 7 – Chave fusível. ....	18
Figura 8 – Disjuntor a vácuo de média tensão. ....	19
Figura 9 – Relé de proteção para baixa e média tensão. ....	19
Figura 10 – Diagrama unifilar de uma subestação consumidora de média tensão com medição em média tensão .....	35
Figura 11 – Entrada de serviço da rede primária .....	37
Figura 12 – Ramal de ligação aéreo. ....	38
Figura 13 – Ramal de entrada subterrâneo. ....	39
Figura 14 – Metodologia desenvolvida na ferramenta. ....	53
Figura 15 – Dados gerais de entrada. ....	54
Figura 16 – Equipamentos de acordo com os dados de entrada. ....	56
Figura 17 – Equipamentos da subestação com demanda igual ou superior a 300kVA. ....	57
Figura 18 – Equipamentos da subestação com demanda inferior a 300kVA. ....	58
Figura 19 – Respostas para os questionamentos sobre a primeira tela. ....	61
Figura 20 – Respostas sobre a primeira tela da ferramenta. ....	62
Figura 21 – Nota para a primeira tela. ....	62
Figura 22 – Respostas sobre a segunda tela. ....	63
Figura 23 – Respostas para os questionamentos sobre a segunda tela. ....	63
Figura 24 – Respostas sobre a terceira tela. ....	63
Figura 25 – Respostas sobre a quarta tela. ....	64
Figura 26 – Respostas dos questionamentos sobre a quinta tela. ....	64
Figura 27 – Respostas sobre a quinta tela. ....	65
Figura 28 – Respostas sobre a quinta tela da ferramenta. ....	65
Figura 29 – Respostas sobre a ferramenta em geral. ....	65
Figura 30 – Respostas sobre a ferramenta de modo geral. ....	66
Figura 31 – Diagrama unifilar de subestação de 112,5kVA .....	67
Figura 32 – Ferramenta- Levantamento de carga .....	68
Figura 33 – Ferramenta- Dados gerais de entrada .....	68
Figura 34 – Ferramenta- Dimensionamento dos equipamentos. ....	69
Figura 35 – Ferramenta- Dimensionamento dos equipamentos- Elos fusíveis .....	69
Figura 36 – Ferramenta- Equipamentos previstos pela norma .....	70
Figura 37 – Ferramenta- Ramais e barramentos .....	70
Figura 38 – Diagrama unifilar de subestação de 500kVA. ....	71
Figura 39 – Ferramenta- Levantamento de carga da unidade consumidora. ....	72
Figura 40 – Ferramenta- Inserção dos dados gerais de entrada. ....	72
Figura 41 – Ferramenta- Dimensionamento dos equipamentos de transformação e me- dição. ....	73
Figura 42 – Ferramenta- Dimensionamento dos equipamentos de proteção. ....	73
Figura 43 – Ferramenta- Dimensionamento dos elos Fusíveis. ....	74

Figura 44 – Ferramenta- Dimensionamento dos equipamentos previstos pela norma.	74
Figura 45 – Ferramenta- Dimensionamento dos ramais e barramentos. ....	75
Figura 46 – Ferramenta- Dimensionamento da cabine de alvenaria. ....	75



## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Fator de demanda para iluminação e tomadas e carga mínima .....	23
Quadro 3.2 – Demanda de aparelhos .....	25
Quadro 3.3 – Potências mínimas e tipos de aparelhos eletrodomésticos .....	26
Quadro 3.4 – Fator de potência aproximado de equipamentos. ....	27
Quadro 3.5 – Conversão de CV ou HP de motores trifásicos para kVA .....	29
Quadro 3.6 – Conversão de CV ou HP de motores monofásicos para kVA .....	30
Quadro 3.7 – Fator de demanda para ar condicionado tipo janela. ....	31
Quadro 3.8 – Dados de aparelhos de ar condicionado do tipo janela. ....	32
Quadro 3.9 – Coeficiente de simultaneidade .....	33
Quadro 3.10 – Transformador .....	36
Quadro 3.11 – Dimensionamento dos cabos do ramal de ligação .....	37
Quadro 3.12 – Dimensionamento dos cabos do ramal de entrada .....	38
Quadro 3.13 – Ramal de entrada subterrâneo em classe de tensão primária. ....	40
Quadro 3.14 – Dimensionamento de barramento de uso interno. ....	41
Quadro 3.15 – Correntes nominais e relação de transformação. ....	42
Quadro 3.16 – Correntes padronizadas para escolha do disjuntor termomagnético. ..	45
Quadro 3.17 – Capacidade de interrupção do disjuntor. ....	45
Quadro 3.18 – Elos fusíveis no poste de saída do Ramal .....	47
Quadro 3.19 – Dimensionamento de elos fusíveis instalados no posto de transforma- ção ao tempo. ....	48

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1	Caracterização e Justificativa .....	9
1.2	Objetivos .....	10
1.2.1	Objetivo Geral .....	10
1.2.2	Objetivos Específicos .....	10
1.3	Organização dos capítulos .....	10
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
2.1	Introdução às subestações .....	12
2.1.1	Classificação das subestações .....	12
2.2	Equipamentos da subestação .....	15
2.2.1	Trabalhos relacionados .....	20
2.3	Considerações finais do capítulo .....	21
<b>3</b>	<b>MANUAL PARA DIMENSIONAMENTO DE SUBESTAÇÃO DE MÉDIA TENSÃO</b> .....	<b>22</b>
3.1	Demanda de iluminação e tomadas de uso geral .....	23
3.2	Demanda geral de aparelhos .....	24
3.3	Demanda geral para motores .....	28
3.4	Demanda geral de ar condicionado do tipo janela e aparelhos especiais ...	31
3.5	Demanda Geral de entrada .....	34
3.6	Dimensionamento dos equipamentos da subestação de unidade consumidora .....	34
3.6.1	Transformador .....	35
3.6.2	Ramal de ligação e entrada aérea em tensão primária .....	37
3.6.3	Barramento de uso interno para tensão primária de distribuição .....	41
3.6.4	Transformador de corrente (TC) .....	41
3.6.5	Cálculo de saturação para TC's .....	43
3.6.6	Disjuntor termomagnético .....	44
3.6.7	Transformador de Potencial (TP) .....	46
3.7	Proteção em média tensão .....	46
3.7.1	Elos fusíveis localizados no poste de saída do Ramal .....	46
3.7.2	Elos fusíveis instalados no posto de transformação ao tempo para proteção de transformadores .....	47
3.7.3	Proteção para posto de transformação acima de 300kVA .....	48
3.7.4	Proteção de sobrecorrente .....	49
3.7.5	Para-raios .....	50
3.7.6	Fontes auxiliares .....	50
3.7.7	Falta de fase e subtensão .....	50
3.8	Medição em média tensão .....	50
3.9	Proteção em baixa tensão .....	51
3.9.1	Sobrecorrente e Subtensão .....	51
3.10	Medição em baixa tensão .....	51
3.11	Considerações finais do capítulo .....	52
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>53</b>
4.1	Dados gerais de entrada .....	54
4.2	Dimensionamento dos equipamentos .....	55

4.3	Dimensionamento dos ramais e barramentos .....	58
4.4	Dimensionamento da cabine de alvenaria.....	59
4.5	Considerações finais do capítulo.....	60
<b>5</b>	<b>AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA E ESTUDOS DE CASO .....</b>	<b>61</b>
5.1	Avaliação da ferramenta .....	61
5.2	Estudo de Caso 1 .....	66
5.3	Estudo de caso 2.....	71
5.4	Considerações finais .....	76
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>77</b>
6.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	78
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>79</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Caracterização e Justificativa

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para o ano de 2023 a previsão é de expansão da matriz geradora no Brasil. A capacidade instalada de geração terá aumento de cerca de 10,3 GW (Ministério de Minas e Energia, 2023)

As fontes renováveis de energia serão responsáveis por 90% da ampliação do setor de geração em 2023. Em destaque a geração solar que terá papel majoritário na expansão da capacidade instalada no país (Ministério de Minas e Energia, 2023).

Devido ao constante crescimento energético, é necessário que haja contínuo planejamento e melhorias para o Sistema Elétrico de Potência (SEP) em todas as suas bases (MENDES, 2018). Desde a geração de energia elétrica em todas suas fontes, passando pela transmissão responsável por transportar energia elétrica a grandes distâncias, até a chegada nas concessionárias e conseqüentemente ao consumidor final.

Para a entrega de energia elétrica até o consumidor final, as subestações desempenham papel primordial no Sistema Elétrico. São através delas, que é possível mudar os parâmetros elétricos como tensão e corrente, ou até mesmo, frequência.

Na saída das unidades geradoras é necessário o emprego de uma subestação elevadora para a conexão com as linhas de transmissão. A subestação é responsável pela transformação de tensão e, neste caso, é feito a elevação do nível de tensão e conseqüentemente diminuição da corrente para transmitir energia com o mínimo de perdas possíveis por efeito Joule. Já na conexão entre as linhas de transmissão, é necessária uma subestação abaixadora para diminuir os parâmetros elétricos para nível de distribuição.

Por fim, através das redes de distribuição são interligadas as subestações consumidoras residenciais e comerciais de média tensão. Elas são responsáveis pelo abaixamento de tensão da rede primária de distribuição (15kV, 25kV e 34,5 kV) para níveis coincidentes aos equipamentos dessas unidades (380/220V e 220/127V).

A fim de evitar problemas relacionados à operação inadequada de uma subestação elétrica, é necessário que ela seja mantida dentro de suas condições nominais (FRANÇA, 2012). Para isso, as subestações devem ser dimensionadas de acordo com a demanda de projeto. O dimensionamento correto dos equipamentos fornece segurança e o correto funcionamento para o atendimento aos consumidores.

Projetos de subestações consumidoras, assim como as demais subestações e projetos elétricos, são elaborados a partir de normativas regentes de cada concessionária. As normas estabelecem parâmetros mínimos a serem seguidos, além de estabelecer segurança aos projetos e usuários envolvidos.

O desenvolvimento da ferramenta para implementação ou expansão de subestações de unidades consumidoras tem como objetivo facilitar e otimizar o processo de ela-

boração de projetos.

Neste sentido, o propósito é unificar todas as normativas referentes a implementação de subestações de unidades consumidoras pela concessionária Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL). Para que a ferramenta forneça ao projetista, a partir dos dados de demanda, o dimensionamento dos equipamentos e parâmetros da subestação. Ademais, a partir da ferramenta será possível a expansão de subestações já existentes para possível troca de equipamentos devido a mudança de demanda geral das unidades consumidoras.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Desenvolvimento de uma ferramenta para implementação ou expansão de subestações de unidades consumidoras na área de concessão da CPFL- Energia.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Para atender o objetivo geral do trabalho serão necessários os seguintes objetivos específicos:

- Sintetizar as diversas normas que abrangem subestações consumidoras pela CPFL;
- Avaliar o uso de determinados equipamentos conforme as normas do Gerenciamento Eletrônico de Documentos (GED) ;
- Dimensionar os equipamentos de uma subestação consumidora a partir da demanda geral;
- Desenvolver ferramenta no programa de planilhas Excel aplicável a um ambiente de trabalho prático e de ensino;
- Otimizar o processo de planejamento e elaboração dos projetos;

## **1.3 Organização dos capítulos**

Para alcançar os objetivos definidos, o trabalho foi dividido em 6 capítulos, incluindo este introdutório. O segundo capítulo apresenta o referencial teórico com o tema introdutório às subestações de energia elétrica. São abordadas as classificações das subestações quanto ao nível de tensão, função e aplicação. Além disso, discorre sobre o tema de Geração Distribuída (GD).

O terceiro capítulo apresenta as normas da concessionária CPFL- Energia com base nos consumidores de média tensão. Essas normas possibilitam o dimensionamento dos equipamentos de uma subestação consumidora como: transformador de potência, transformador de corrente e tensão, disjuntor, relé, para-raio e chave seccionadora. Ademais, apresenta os equipamentos auxiliares utilizados nas Subestações de Energia Elétrica (SE's), bem como ramais de entrada e barramentos.

O quarto capítulo ilustra a metodologia que será utilizada na ferramenta para o dimensionamento da subestação consumidora. Serão especificados os critérios para medição e proteção, os equipamentos necessários para cada tipo de demanda e o dimensionamento da cabine de alvenaria.

No capítulo 5 é apresentada a avaliação da ferramenta pela turma de engenharia elétrica para a utilização da ferramenta em ambiente de ensino. Também, 2 estudos de caso que comparam os resultados do dimensionamento gerado pela ferramenta com projetos reais.

O sexto e último capítulo apresenta a conclusão do trabalho e também sugestões para trabalhos futuros como forma de aprimorar a ferramenta.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta o referencial teórico com o tema subestações de energia elétrica e geração distribuída no Brasil.

### 2.1 Introdução às subestações

As subestações de energia elétrica (SE) são instalações que servem como ponto de conexões entre as linhas de transmissão e distribuição. Sua função é adequar os níveis de tensão e correntes das redes que as interligam. As SE atuam de forma a proporcionar proteção ao sistema elétrico além de, controlar o fluxo de potência entre a geração e a carga (GONÇALVES, 2017)

#### 2.1.1 Classificação das subestações

As subestações são classificadas quanto ao nível de tensão, função e aplicação na rede. Os níveis de tensão de uma subestação são classificados em 5 faixas de tensões distintas, sendo essas, baixa tensão, média tensão, alta tensão, extra-alta tensão e ultra-alta tensão (ANGST, 2019). Os níveis variam desde a baixa tensão de 380/220V a 1kV até as subestações ultra-alta tensão com níveis de tensão acima de 800kV.

- Subestações de baixa tensão: 380/220V até 1kV.
- Subestações de média tensão: 1kV a 34,5kV.
- Subestações de alta tensão: 34,5kV a 230kV.
- Subestações de extra-alta: 230kV a 800kV.
- Subestações ultra-alta tensão: acima de 800kV.

Quanto a função da subestação, classificam-se em: elevadoras, abaixadoras, de manobra e de conversão (MUZY, 2012). Com objetivo de elevar o nível de tensão, as subestações elevadoras estão localizadas nas saídas das usinas de geração de energia elétrica. Este tipo de instalação se deve a necessidade de elevar o nível de tensão da geração para interligação com as linhas de transmissão. As linhas de transmissão enviam energia elétrica a longas distâncias e por isso necessitam operar em altas tensões a fim de minimizar as perdas por efeito Joule (GONÇALVES, 2017).

As subestações abaixadoras têm como função reduzir o nível de tensão. Normalmente situam-se entre as linhas de transmissão (alta tensão) e as linhas de distribuição

(média tensão) mas, também, são utilizadas em indústrias, concessionárias, grandes consumidores e outros, que necessitam de rebaixamento de tensão (OLIVEIRA, 2022).

Subestações de manobra ou subestações seccionadoras não operam com mudança de níveis de tensão, sua função é seccionar e manobrar redes de transmissão do sistema elétrico. Este tipo de subestação é utilizada para minimizar o espalhamento de defeitos (FRANÇA, 2012) bem como, redirecionar a rede. Os tipos de equipamentos utilizados nessas instalações são majoritariamente iguais às subestações convencionais, o que as diferem é apenas a não utilização do transformador de potência (GONÇALVES, 2017).

Com função de converter o nível da frequência da rede, as subestações conversoras são utilizadas em redes de corrente contínua (CC). A conversão de frequência neste tipo de subestação ocorre de forma a interligar redes CC com redes de corrente alternada (CA), assim como redes CA para CC (OLIVEIRA, 2022).

Quanto a aplicação na rede, as subestações podem ser: central de transmissão, receptadora de transmissão, subtransmissão ou subestações consumidoras (SANTOS, 2011). A Figura 1 detalha as etapas em que as subestações são aplicadas ao longo da rede elétrica.

Figura 1 – Tipos de Subestações de Energia Elétrica



Fonte: Autoria própria, 2023.

Com função de elevar o nível de tensão da saída das unidades geradoras, as subestações centrais de transmissão possibilitam a transformação dos níveis de tensão ade-



quados para as linhas de transmissão. A fim de, amenizar as perdas devido as longas distâncias, faz-se necessário a utilização de subestações centrais de transmissão para transformar em altas tensões a energia a ser transmitida (SANTOS, 2011).

Interligadas junto as subestações centrais de transmissão, as subestações receptoras de transmissão atendem em alta tensão grandes clientes consumidores. Diferentemente, as subestações de subtransmissão ou distribuição transportam energia dos ramais primários, nível de tensão de distribuição, até o consumidor final, como também, alimentam as subestações consumidoras (SANTOS, 2011).

Subestação consumidora ou de cliente, são caracterizadas pelo fornecimento de energia elétrica em tensão primária, maior ou igual a 2,3kV. São compostas por instalações, ramais, equipamentos elétricos e demais componentes no qual fornecem energia apenas a um ponto de entrega, com medição individual em mesma propriedade (CPFL Energia, 2021). Estes tipos de subestação são instalados em locais com demanda superior a 75kW (CPFL, 2022), que necessitam de transformação do nível de tensão primária, de distribuição, para baixa tensão.

As subestações ainda podem ser classificadas quanto a instalação, podem ser abrigadas ou ao tempo. Com instalações a céu aberto, as subestações ao tempo ou externas estão sujeitas às intempéries atmosféricas e frequentemente necessitam de manutenção. Já as subestações do tipo abrigadas são construídas internamente em cabines metálicas ou em alvenaria, são menos suscetíveis as condições climáticas (GONÇALVES, 2017).

Com a expansão de geração distribuída nos últimos anos, a demanda por instalações conectadas a rede de distribuição se intensificou. A mini geração distribuída com potência instalada entre 75kW e 5MW são conectadas através das redes de distribuição e unidades consumidoras (CPFL, 2022). Neste caso, é necessário a instalação de subestação para rebaixar o nível de tensão de média (13,8KV) para baixa tensão (380/220/110V).

A crescente utilização da geração solar para múltiplas unidades consumidoras e, também, para geração compartilhada colabora para o crescimento de projetos de expansão de SE's, conforme os dados do Empresa de Pesquisa Energética (2022). Afinal, os equipamentos de uma subestação são dimensionados a partir da demanda máxima da unidade consumidora, e por portabilidade, se a demanda cresce os equipamentos precisam ser redimensionados e substituídos. O que torna indispensável o estudo acerca de projetos de SE's pelos profissionais de engenharia elétrica para acompanhar a tendência de mercado. Evidentemente, com a grande demanda por projetos de subestações, ferramentas que auxiliam o projetista no dimensionamento dos equipamentos são grandes aliadas. Pois desta forma, de maneira dinâmica, as ferramentas oferecem agilidade e praticidade aos profissionais.

## 2.2 Equipamentos da subestação

As SE compreendem conjunto de instalações elétricas com nível de tensão alta ou média formados por equipamentos elétricos e demais acessórios (CPFL Energia, 2021). Este agrupamento de equipamentos, em conjunto, possibilitam a transformação de grandezas elétricas para níveis adequados ao consumo. Além disso, a mudança de tensão e corrente por equipamentos transformadores viabilizam a atuação do sistema de proteção por meio de medições.

Entre os equipamentos indispensáveis em uma subestação, o transformador de potência ou de distribuição é o equipamento responsável pela mudança no nível de tensão. O rebaixamento ou elevação de tensão nas redes possibilitam reduzir as perdas de energia e os custos de transmissão (FRANÇA, 2012). A Figura 2 apresenta um modelo de transformador de distribuição.

Figura 2 – Transformador de distribuição



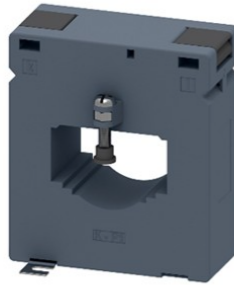
Fonte: (WEG, 2023)

Na Figura 2 identifica-se um transformador de distribuição trifásico da fabricante WEG. Possui núcleo magnético tipo Jencore, permitindo otimização nas perdas em vazio e redução de corrente de excitação. São equipamentos destinados a redes de distribuição de energia, edifícios residenciais e comerciais, indústrias e empreendimentos em geral. Este equipamento pode ser instalado em postes ou plataformas.

Os transformadores de corrente (TC) são equipamentos que protegem o circuito contra alta tensão vinda do circuito primário da rede. O TC transforma o nível de corrente do circuito primário para níveis menores, porém proporcionais, de forma a adequar-se aos equipamentos de medição e proteção da subestação e condutores (HELDT, 2016).

Este equipamento é instalado em série com a rede de alimentação. O circuito primário do TC se localiza conectado com a rede e o seu circuito secundário interligado aos dispositivos de controle como medidores e relés de proteção (HELDT, 2016). A Figura 3 apresenta um tipo de transformador de corrente de média tensão.

Figura 3 – Transformador de corrente de média tensão



Fonte: (Siemens, 2019)

A Figura 3 apresenta um transformador de corrente 4NC para medição, do tipo janela da marca Siemens. Este modelo permite circular uma corrente de até 1,3 vezes a corrente nominal de modo contínuo no TC.

Semelhante ao TC, o transformador de potencial (TP) é um equipamento de transformação de tensão para níveis apropriados aos instrumentos de medição e proteção da subestação. A potência nominal deste equipamento é baixa e a tensão do secundário é estabelecida em 115V ou  $115/\sqrt{3}$ V (CHAPMAN, 2013). A figura 4 apresenta um transformador de potencial de média tensão.

Figura 4 – Transformador de Potencial 15kV.

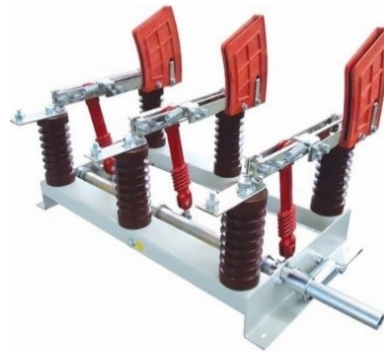


Fonte: (Rehtom Eletromecânica, 2023)

O primeiro transformador de potencial apresentado na Figura 4 é um equipamento com tensão máxima de 24kV para uso em instalações abrigada. O segundo TP também é utilizado em subestações abrigadas, porém, a tensão máxima deste modelo é de 15kV. Já o último TP apresentado na Figura 4, são equipamentos utilizados para instalações ao tempo, a tensão máxima de operação é de até 15kV.

As chaves seccionadoras ou também chamadas de seccionadores, são equipamentos de manobra responsáveis por segmentar circuitos elétricos quanto a passagem de corrente. O papel principal deste equipamento dentro da subestação é de isolar o sistema em caso de operação ou defeitos. A chave possui dois estados, fechada há passagem de corrente e aberta há interrupção de condução da corrente (FRANÇA, 2012). A Figura 5 apresenta uma chave seccionadora de média tensão em abertura com carga.

Figura 5 – Chave seccionadora 15kV abertura com carga.



Fonte: (Sieletric, 2023)

A Figura 5 apresenta um modelo de chave seccionadora de abertura com carga. Este equipamento possui tensão de operação de 15kV e corrente para abertura com carga de até 400A.

Encarregado de proteger a subestação contra sobretensões causadas por descargas atmosféricas ou por manobras, os para-raios localizam-se normalmente na entrada e saídas das linhas e, também, próximos a equipamentos como o transformador (MENDES, 2018). Quando ocorre anormalidades no sistema este equipamento atua enviando sobretensão para a terra, de modo a proteger os equipamentos da SE (FRANÇA, 2012). A Figura 6 apresenta um modelo de para-raio de 15kV.

Figura 6 – Para-raio polimérico 15kV.



Fonte: (A cabine, 2023)

A Figura 6 apresenta um para-raio polimérico de 15kV. Este é um equipamento de distribuição que protege redes e equipamentos em diferentes segmentos, industriais, empresariais e outros tipos de empreendimentos.

Além dos para-raios, as chaves fusíveis também são destinadas à proteção do sistema. Os fusíveis são equipamentos autodestrutivos, quando há carga acima do previsto eles rompem a condução protegendo o sistema (MENDES, 2018). A Figura 7 mostra uma chave fusível.

Figura 7 – Chave fusível.



Fonte: (ATS Elétrica, 2023)

A chave fusível apresentada na Figura 7 possui tensão nominal de 15kV e atua na proteção de sobrecorrentes. Possui proteção em seu entorno com isolamento em porcelana.

Com suma importância na proteção da subestação, os disjuntores são capazes de cessar elevadas correntes de curto-circuito. Este equipamento tem função de suportar a corrente nominal da rede em todo seu tempo de operação, assim como as anormalidades do sistema, de acordo com as especificações técnicas. Além disso, atua de forma a eliminar o arco elétrico durante a operação de chaveamento sem perder qualidade técnica (SANTOS, 2011). Caracteriza-se por ser um equipamento mecânico de manobra a ser capaz de cessar ou conduzir sobre condições normais e, também, anormais no sistema (GONÇALVES, 2017).

Disjuntores devem ser acompanhados de relés de proteção para que tenham característica de proteção. Os relés identificam as correntes de curto-circuito e mandam o sinal para atuação do disjuntor quanto a abertura ou não do circuito. Sem os relés os disjuntores são destinados apenas a manobra, sem a capacidade proteção (GONÇALVES, 2017).

Os disjuntores são classificados por seu meio extintor: disjuntor a óleo, a vácuo e hexafluoreto de enxofre. Os três tipos de disjuntores baseiam-se no princípio de extinguir o arco elétrico a fim de evitar derretimento dos terminais e danos aos equipamentos da subestação (SANTOS, 2011). A Figura 8 mostra um modelo de disjuntor a vácuo de média tensão.

O disjuntor apresentado pela Figura 8 é fabricado pela WEG. A interrupção deste

Figura 8 – Disjuntor a vácuo de média tensão.



Fonte: (Weg, 2023)

equipamento é feita em uma estrutura de cerâmica denominada de ampola a vácuo. Esta estrutura é isolada e possui uma alta taxa de vácuo em seu interior para abrigar seus contatos físicos e móveis. Dessa forma, minimiza o desgaste dos contatos em casos de curto-circuito e reduz a energia gerada pelo arco elétrico.

O relé, por sua vez, é um equipamento chave na estrutura de proteção de uma SE. Sua principal finalidade é atuar como sensores contra defeitos que eventualmente ocorrem na rede. São equipamentos sensíveis e muito eficientes ao atuar com rapidez no envio do sinal para abertura dos disjuntores (FRANÇA, 2012). Na Figura 9 é demonstrado um modelo de relé de proteção para baixa e média tensão.

Figura 9 – Relé de proteção para baixa e média tensão.



Fonte: (Plenobras, 2023).

O equipamento especificado na Figura 9 é fabricado pela Schneider Electric. Este modelo de relé de proteção V11F, possui 4 entradas e 8 saídas e atende redes de média e baixa tensão.

Existem alguns principais tipos de relés quanto a sua atuação: de sobrecorrente instantâneo e temporizado, religamento, sobretensão, subtensão, sobretensão com restrição a tensão, sincronismo e bloqueio (MENDES, 2018). Os relés possuem número de identificação quanto a sua atuação, conforme a American National Standards Institute

(ANSI).

- Relé de sobrecorrente instantâneo (50) é responsável por detectar sobrecorrente sem retardo intencional quando a corrente do sistema elétrico é maior que o seu ajuste.
- Relé de sobrecorrente temporizado (51) tem a função de detecção de sobrecorrente após um certo tempo. Possibilita a melhor coordenação entre as zonas de proteção.
- Relé de religamento (79) atua na redução do tempo de interrupção da energia elétrica.
- Relé de sobretensão (59) tem função de proteção contra sobretensões de maior tempo de duração.
- Relé de subtensão (27) é responsável por evitar o prolongamento de casos de subtensão no sistema.
- Relé de sobretensão com restrição de tensão (51V) diferencia sobrecarga e curto-circuito no sistema.
- Relé de sincronismo (25) atua na sincronização com geradores, linhas de transmissão ou tensões de barras. Compara os valores de tensão (módulo e ângulo).
- Relé de bloqueio (86) exercem atuação nos circuitos de disparos e fechamentos dos disjuntores.

Os equipamentos descritos são fundamentais para o funcionamento de uma SE. Em conjunto, atuam na proteção, medição e transformação dos parâmetros elétricos. Mas, além dos equipamentos, é necessário prever a interligação da SE com a rede de distribuição.

Para o processo de interligação à rede é necessário o emprego de dois ramais: ramal de entrada e ramal de ligação. O ramal de ligação é conjunto de condutores e demais acessórios que fazem o vínculo entre a rede da concessionária e o ponto de entrega, são dimensionados e instalados pela própria concessionária. A partir desde ramal tem-se o ramal de entrada, que compreende como o conjunto de condutores e acessórios instalados entre o ponto de entrega e a medição (CPFL ENERGIA, 2021). Após o desenvolvimento do referencial teórico, será apresentado uma revisão dos trabalhos relacionados acerca do tema.

### 2.2.1 Trabalhos relacionados

A primeira etapa realizada para desenvolvimento deste trabalho foi a busca por trabalhos relacionados com o tema "projeto de subestações". Através da pesquisa foi identificado alguns trabalhos que contribuíram com o estudo acerca do tema.

A monografia de (SANTOS, 2011) apresenta um projeto de uma subestação tipo abrigada de 600 kVA, de classe de tensão de 15 kV. Neste trabalho, ele aborda os aspectos técnicos, proteção, equipamentos e normas. Apresenta, também, o diagrama unifilar da subestação, com os cálculos de curto-circuito e o dimensionamento da proteção.

O trabalho desenvolvido por (OLIVEIRA, 2022) é fundamentado no desenvolvimento de um projeto de uma subestação de entrada de energia para conexão de uma usina solar fotovoltaica pela rede de distribuição de energia. O trabalho especifica todos os cálculos para dimensionamento dos equipamentos da subestação de média tensão e visa contribuir com o conhecimento acerca deste tema.

Com tema "Projeto de Modernização de Subestação Consumidora", (FRANÇA, 2012) teve como objetivo o diagnóstico da situação atual de uma subestação com intuito de realizar um projeto de troca e modernização dos equipamentos que a compõe. Já para (ANGST, 2019), o objetivo foi desenvolver uma ferramenta de apoio para orçamento e dimensionamento de subestações de energia elétrica em média tensão.

As monografias de (SANTOS, 2011), (OLIVEIRA, 2022) e (FRANÇA, 2012) abordaram o tema de subestações consumidoras, desenvolveram projetos, cálculos e os devidos dimensionamentos dos equipamentos das subestações. Porém, não foi desenvolvido ferramentas que consigam auxiliar o projetista no processo de elaboração dos projetos. O autor (ANGST, 2019) desenvolveu uma ferramenta com objetivo final o orçamento dos equipamentos da subestação.

Neste sentido, este trabalho, intitulado como "Ferramenta para implementação ou expansão de subestação de unidade consumidora", objetiva desenvolver uma ferramenta para realizar projetos de subestações consumidoras de forma dinâmica. A partir dessa ferramenta o projetista conseguirá realizar novos projetos e também, avaliar a expansão de subestações já existentes. Desta forma, a ferramenta oferecerá ao projetista praticidade e otimização no tempo na elaboração dos projetos em seu dia a dia de trabalho.

### **2.3 Considerações finais do capítulo**

Neste capítulo pode-se entender que as subestações desempenham papel primordial no Sistema Elétrico, desde o processo da geração de energia até entrega para o consumidor final. Para os consumidores de média tensão, a crescente utilização da geração solar tem colaborado para o crescimento de projetos de subestações e estudos acerca do tema.

Os equipamentos descritos no capítulo são fundamentais para o funcionamento de uma SE. Em conjunto atuam na proteção, medição e transformação dos parâmetros elétricos. Além disso, os ramais de entrada são os responsáveis por realizar o transporte da energia da rede até a entrada do poste particular onde se situam os postos de transformação, medição e proteção.



### 3 MANUAL PARA DIMENSIONAMENTO DE SUBESTAÇÃO DE MÉDIA TENSÃO

As normas técnicas têm papel importante no desenvolvimento de projetos elétricos, bem como nas demais áreas nas quais são aplicadas. Elas são estabelecidas a partir do consenso de profissionais e aprovadas pelos mesmos, as quais definem regras e diretrizes a serem seguidas com objetivo de torná-las padrão, para que os projetos desenvolvidos se tornem mais eficientes e seguros a partir delas.

Para o desenvolvimento da ferramenta para implementação ou expansão de subestação de unidade consumidora foram adotadas as normas vigentes da Concessionária CPFL energia. A principal norma a ser seguida é o GED-119 que trata do fornecimento de energia elétrica a edifícios de uso coletivo. Além do GED-119, são utilizados os GED-2855, GED-2856, GED-2858, GED -2859 e GED- 2861 referentes ao fornecimento de tensão primária 15kV, 25kV e 34,5kV a clientes de média tensão.

O primeiro passo para desenvolver um projeto de uma subestação consumidora é determinar a carga instalada da unidade, ou seja, determinar a soma das potências nominais em kW das cargas instaladas do local (CPFL ENERGIA, 2021). O cálculo da carga instalada e demanda é imprescindível para o projeto, já que a partir deste dado serão dimensionados os equipamentos da subestação e medição.

De acordo com a CPFL ENERGIA (2021), a carga instalada de unidades consumidoras acima de 75kW possuirão atendimento da concessionária em média tensão, trifásico em 60Hz. Para isso, alguns critérios para medição deverão ser seguidos:

- A medição deverá ser aplicada no lado de média tensão quando o transformador particular for igual ou acima de 300kVA.
- A medição para o lado de baixa tensão deverá ser aplicada somente quando o transformador particular for de até 300kVA.

A demanda só é necessária para os casos em que a carga instalada for maior que 25kW. Para edificações de uso residencial, deve ser levado em consideração no dimensionamento apenas as áreas úteis da edificação, tornando como base 5W/m<sup>2</sup>. Além disso, só deverá entrar no cálculo de carga instalada equipamentos elétricos e aparelhos em que a potência for maior que 1000W. As demais cargas inferiores a 1000W, apenas para satisfazer o cálculo de carga, já englobam parte do somatório das cargas das tomadas de uso geral (TUG), método adotado pela concessionária CPFL. Para edificações com finalidade comercial ou industrial têm-se uma pequena diferença no cálculo de demanda. Para edificações com finalidade industrial considera-se a demanda máxima, ou seja, demanda de 100%. Já para edificações com finalidade comercial considera-se a demanda de 75% do calculado.

### 3.1 Demanda de iluminação e tomadas de uso geral

As cargas de iluminação e tomadas de uso geral deverá ser calculada com base no Quadro 3.1. O Quadro apresenta valores de cargas e o fator de demanda que deverá ser considerado no cálculo.

Quadro 3.1 – Fator de demanda para iluminação e tomadas e carga mínima

<b>Tipo de Local</b>	<b>Carga Mínima (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Fator de Demanda</b>
Auditórios, Salões para Exposição e similares	10	1,00
Bancos, Lojas e similares	30	1,00
Barbearias, Salões de Beleza e similares	30	1,00
Clubes e similares	20	1,00
Escolas e similares	30	1,00 para os primeiros 12kW 0,50 para o que exceder a 12kW
Escritórios	30	1,00 para os primeiros 20kW 0,70 para o que exceder a 20kW
Garagens Comerciais e similares	5	1,00  0,40 para os primeiros 50kW
Hospitais e similares	20	0,20 para o que exceder a 50kW
Hotéis e similares	20	0,50 para os primeiros 20kW 0,40 para o que exceder a 20kW
Igrejas e similares	10	1,00
Restaurantes e similares	20	1,00
Indústrias	Conforme declarado pelo interessado	1,00

Fonte: (CPFL-energia, 2023)

As lâmpadas utilizadas no Quadro 3.1 são do tipo incandescentes e válidas apenas para uso interno, para outros tipos de lâmpadas é preciso consultar tabelas e catálogos dos respectivos fabricantes.

Para unidades consumidoras que possuem cozinha, considerar apenas para este ambiente um fator de demanda de 1,00 para tomadas e iluminação.

Para o cálculo de demanda geral da entrada referente às tomadas de uso geral e iluminação utiliza-se a equação (1). Neste cálculo leva-se em consideração a área útil da edificação, que neste exemplo será de apartamentos, e ainda, a área de administração. Além disso, a equação (1) utiliza a potência por metro quadrado adotada como 5W/m<sup>2</sup> e o fator de potência.

A soma das demandas da área útil dos apartamentos e da área de administração formam a demanda geral das tomadas de uso geral e iluminação da edificação.

$$D_{ilum+tomad} = \frac{A_{apto} \cdot \frac{W}{m^2}}{FP} \cdot \frac{A_{adm} \cdot \frac{W}{m^2}}{FP} \quad (1)$$

Em que:

$A_{apto}$  = Área útil do apartamento (m<sup>2</sup>)

$\frac{W}{m^2}$  = Potência por metro quadrado adotada pela norma (w/m<sup>2</sup>)

$A_{adm}$  = Área da administração (m<sup>2</sup>)

$FP$  = Fator de potência

Além da demanda de iluminação e tomadas, é necessário o cálculo de demanda referente aos aparelhos com potência superior a 1000W utilizados na edificação.

### 3.2 Demanda geral de aparelhos

De acordo com o CPFL ENERGIA (2021) a demanda de aparelhos é calculada a partir da carga declarada juntamente ao fator de demanda e o número de aparelhos total da edificação. O fator de demanda constante conforme o número de aparelhos é possível encontrar no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Demanda de aparelhos

Número de equipamentos	Chuveiro elétrico	Torneira elétrica, aquecedor de passagem e ferro elétrico	Aquecedor central	Fogão elétrico	Máq. Secar roupa, máq. Lavar Louça, forno elétrico e forno microondas
1	1	0,96	1	1	1
2	0,8	0,72	0,71	0,6	1
3	0,65	0,62	0,61	0,48	1
4	0,55	0,57	0,6	0,4	1
5	0,5	0,54	0,57	0,37	0,8
6	0,39	0,52	0,54	0,35	0,7
7	0,36	0,5	0,53	0,33	0,62
8	0,33	0,49	0,51	0,32	0,6
9	0,31	0,48	0,5	0,31	0,54
10 a 11	0,3	0,46	0,5	0,3	0,5
12 a 15	0,29	0,44	0,5	0,28	0,46
16 a 20	0,28	0,42	0,47	0,26	0,4
21 a 25	0,27	0,4	0,46	0,26	0,38
26 a 35	0,26	0,38	0,45	0,25	0,32
36 a 40	0,26	0,36	0,45	0,25	0,26
41 a 45	0,25	0,35	0,45	0,24	0,25
46 a 55	0,25	0,34	0,45	0,24	0,25
56 a 65	0,24	0,33	0,45	0,24	0,25
65 a 75	0,24	0,32	0,45	0,24	0,25
76 a 80	0,24	0,31	0,45	0,23	0,25
81 a 90	0,23	0,31	0,45	0,23	0,25
91 a 100	0,23	0,3	0,45	0,23	0,25
101 a 120	0,22	0,3	0,45	0,23	0,25
121 a 150	0,22	0,29	0,45	0,23	0,25
151 a 200	0,21	0,28	0,45	0,23	0,25
201 a 250	0,21	0,27	0,45	0,23	0,25
251 a 350	0,2	0,26	0,45	0,23	0,25
351 a 450	0,2	0,25	0,45	0,23	0,25
451 a 800	0,2	0,24	0,45	0,23	0,25
800 a 1000	0,2	0,23	0,45	0,23	0,25

Fonte: (CPFL-energia, 2023)

O Quadro 3.2 apresenta o fator de demanda para cada tipo de aparelho conforme o número de unidades presentes na instalação. Os aparelhos devem atender no mínimo a potência individual descrito no Quadro 3.3. Utilizar a potência do aparelho caso seja superior ao descrito no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Potências mínimas e tipos de aparelhos eletrodomésticos

<b>Aparelho</b>	<b>Potência (W)</b>
Aquecedor central	2000
Aspirador de pó	400
Batedeira	200
Chuveiro	5400
Enceradeira	300
Esterilizador	200
Exaustor	300
Ferro passar autom.	1000
Ferro de passar	500
Geladeira	600
Liquidificador	200
Máq. de costura	100
Máquina lavar roupa	500
Máquina lavar louça	2000
Ventilador	100
Forno microondas	1500
Rádio	100
Freezer	1000
Secador cabelo	1000
Televisor cores	300
Vídeo Cassete	100
TV braco/preto	200
Secadora de roupa	2500 a 6000
Torneira elétrica	3000

Fonte: (CPFL-energia, 2023).

Através do Quadro 3.3 o projetista poderá comparar as potências mínimas da norma com os aparelhos eletrodomésticos da instalação. Estes valores são mínimos para atender o projeto por norma. Para encontrar o fator de potência adequado para cada tipo de equipamento utiliza-se o Quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Fator de potência aproximado de equipamentos.

TIPO DE EQUIPAMENTO	FATOR DE POTÊNCIA
Lâmpadas incandescentes	1
Chuveiro, torneira, aquecedor, ferro de passar, fogão ou outros com resistência de aquecimento	1
Lâmpada fluorescente, néon, vapor de sódio ou mercadoria e outras de descarga através de gases:	
a) sem compensação de fator de potência	0,5
b) Compensado de fator de potência	0,95
Máquina de solda:	
a) Solda a arco	0,5
b) Solda a resistência	0,8
Aparelhos Eletrodomésticos a motor (1HP)	0,67
Ar Condicionado	Vide tabela 11

Fonte: (CPFL-energia, 2023).

O quadro 3.4 apresenta o fator de potência para cada tipo de equipamento. Com todos os valores mínimos já declarados pelos quadros, calcula-se a demanda para cada tipo de aparelho individualmente através da equação (2).

$$D = \frac{N_{\text{aparelhos}} \cdot Pot_{\text{aparelho}} \cdot F_{\text{demanda}}}{FP} \quad (2)$$

Em que:

$D$  = Demanda total do aparelho (VA)

$N_{\text{aparelhos}}$  = Número de aparelhos

$Pot_{\text{aparelhos}}$  = Potência individual do aparelho (W)

$F_{\text{demanda}}$  = fator de demanda referente ao tipo de aparelho

$FP$  = Fator de potência

A partir do somatório de todas as demandas de cada aparelho tem-se a demanda total de aparelhos que compõe a edificação conforme a equação (3).

$$D_{totalap} = D_{aparelho1} + D_{aparelho2} + D_{aparelhox} \dots \quad (3)$$

Em que:

$D_{totalap}$  = Demanda total de aparelhos (VA)

$D_{aparelho1}$  = Demanda total de determinado aparelho (VA)

$D_{aparelho2}$  = Demanda total de outro tipo de aparelho (VA)

$D_{aparelhox}$  = Demais demandas se houver outros tipos de aparelhos (VA)

Além dos equipamentos básicos de uma unidade consumidora, os motores devem fazer parte do cálculo de demanda geral, conforme a próxima seção.

### 3.3 Demanda geral para motores

Para projetos que contenham motores elétricos devem ser inseridos na demanda estes equipamentos, porém, alguns critérios devem ser seguidos.

- Os motores elétricos são equipamentos que necessitam de conversão de suas unidades CV ou HP para kVA para incluírem-se no cálculo da demanda, através das Figuras 3.5 e 3.6.
- O motor de maior potência deverá ser aplicado um fator de demanda máximo de 100%.
- Os demais motores aplica-se fator de demanda de 50%.
- Caso os motores possuam mesma potência, considera-se apenas um motor com fator de demanda máximo de 100% e os demais com 50%.
- Para motores que necessariamente partam simultaneamente, deve se somar suas potências e considerar apenas como um motor.
- Para motores de grande porte ou especiais, o cliente deve fornecer o fator de potência e o rendimento destes motores para o cálculo.

Para a conversão de CV ou HP para kVA em motores trifásicos utiliza-se o Quadro 3.5. Para conversão de motores monofásicos utiliza-se o Quadro 3.6. Em ambos os Quadros se encontra o fator de potência para desenvolvimento da equação (4) e (5).

Com os dados necessários dos motores como a potência em KVA, fator de potência e rendimento, calcula-se a potência aparente final através das equações (4) e (5).

Quadro 3.5 – Conversão de CV ou HP de motores trifásicos para kVA

POTÊNCIA NOMINAL CV OU HP	POTÊNCIA ABSORVIDA PELA REDE		CORRENTE A PLENA CARGA (A)		CORRENTE DE PARTIDA (A)		COS ( ) MÉDIO
	kW	kVA	380V	220V	380V	220V	
1/3	0,39	0,65	0,98	1,7	4,1	7,1	0,61
1/2	0,58	0,87	1,3	2,3	5,8	9,9	0,66
3/4	0,83	1,26	1,9	3,3	9,4	16,3	0,66
1	1,05	1,52	2,3	4	11,9	20,7	0,69
1 1/2	1,54	2,17	3,3	5,7	19,1	33,1	0,71
2	1,95	2,7	4,1	7,1	25	44,3	0,72
3	2,95	4,04	6,1	10,6	38	65,9	0,73
4	3,72	5,03	7,6	13,2	43	74,4	0,74
5	4,51	6,02	9,1	15,8	57,1	98,9	0,75
7 1/2	6,57	8,65	12,7	22,7	90,7	157,1	0,76
10	8,89	11,54	17,5	30,3	116,1	201,1	0,77
12 1/2	10,85	14,09	21,3	37	156	270,5	0,77
15	12,82	16,65	25,2	43,7	196,6	340,6	0,77
20	17,01	22,1	33,5	58	243,7	422,1	0,77
25	20,92	25,83	39,1	67,8	275,7	477,6	0,81
30	25,03	30,52	46,2	80,1	326,7	566	0,82
40	33,38	39,74	60,2	104,3	414	717,3	0,84
50	40,93	48,73	73,8	127,9	528,5	915,5	0,84
60	49,42	58,15	88,1	152,6	632,6	1095,7	0,85
75	61,44	72,28	109,5	189,7	743,6	1288	0,85
100	81,23	95,56	144,8	250,8	934,7	1619	0,85
125	100,67	117,05	177,3	307,2	1162,7	2014	0,86
150	120,09	141,29	214	370,8	1455,9	2521,7	0,85
200	161,65	190,18	288,1	499,1	1996,4	3458	0,85

Fonte: (CPFL-energia, 2023)

Com o Quadro 3.5 é possível adquirir os dados necessários para a conversão de CV ou HP para kVA de motores trifásicos a partir da equação (4) e (5). Para motores monofásicos utiliza-se o Quadro 3.6.



Quadro 3.6 – Conversão de CV ou HP de motores monofásicos para kVA

POT. ABSORVIDA PELA REDE	POT. ABSORVIDA PELA REDE	CORRENTE A PLENA CARGA (A)	CORRENTE A PLENA CARGA (A)	CORRENTE DE PARTIDA (A)	CORRENTE DE PARTIDA (A)	
kW	kVA	380V	220V	380V	220V	COS ( ) MÉDIO
0,42	0,66	5,9	3	27	14	0,63
0,51	0,77	7,1	3,5	31	16	0,66
0,79	1,18	11,6	5,4	47	24	0,67
0,9	1,34	12,2	6,1	63	33	0,67
1,14	1,56	14,2	7,1	68	35	0,73
1,67	2,35	21,4	10,7	96	48	0,71
2,17	2,97	27	13,5	132	68	0,73
3,22	4,07	37	18,5	220	110	0,79
5,11	6,16	-	28	-	145	0,83
7,07	8,84	-	40,2	-	210	0,8
9,31	11,64	-	52,9	-	260	0,8
11,58	14,94	-	67,9	-	330	0,78
13,72	16,94	-	77	-	408	0,81

Fonte: (CPFL-energia, 2023)

Pelo Quadro 3.6 obtém-se os dados para conversão de motores monofásicos.

$$kVA = \frac{HP \cdot 0,746}{\cos\varphi \cdot \eta} \quad (4)$$

$$kVA = \frac{CV \cdot 0,736}{\cos\varphi \cdot \eta} \quad (5)$$

Em que:

*HP* = Potência do motor (HP)

*CV* = Potência do motor (CV)

*cosφ* = Fator de potência do motor

*η* = Rendimento ou fator de demanda

Além da demanda referente a motores, conforme a seção 3.4, deve-se realizar o cálculo de demanda para ar condicionado do tipo janela e aparelhos especiais.

### 3.4 Demanda geral de ar condicionado do tipo janela e aparelhos especiais

A demanda deve ser calculada separadamente, também, para aparelhos de ar condicionados. Alguns critérios devem ser seguidos para ar condicionados centrais e do tipo janela. Ar condicionado central deve considerar os critérios a seguir:

- Para um único aparelho para toda a edificação ou um aparelho central para cada unidade consumidora comercial ou industrial, considera-se a demanda de 100%.
- Para sistemas de refrigeração que possuam Fan-Coil considera-se a demanda de 75%.

Para os tipos de ar condicionados de janela, o fator de demanda verifica-se a partir do Quadro 3.7. O fator de demanda depende do tipo de aplicação, comercial ou residencial e pelo número de aparelhos. O Quadro 3.8 demonstra os dados do ar condicionado deste tipo.

Quadro 3.7 – Fator de demanda para ar condicionado tipo janela.

NÚMERO DE APARELHOS	FATOR DE DEMANDA (*)	FATOR DE DEMANDA (*)
	RESIDENCIAL	COMERCIAL
1 a 10	1	1
11 a 20	0,86	0,9
21 a 30	0,8	0,82
31 a 40	0,78	0,8
41 a 50	0,75	0,77
51 a 75	0,7	0,75
76 a 100	0,65	0,75
acima de 100	0,6	0,75

Fonte: (CPFL-energia, 2023).

O Quadro 3.7 apresenta os dados referentes as unidades consumidoras residenciais ou comerciais, levando em consideração o número de aparelhos utilizado nessas instalações. O Quadro 3.8 apresenta os parâmetros elétricos de acordo com a potência desses equipamentos.

Quadro 3.8 – Dados de aparelhos de ar condicionado do tipo janela.

(BTU/h)	7100		8500		10000		12000	
(kcal/h)	1775		2125		2500		3000	
Tensão (V)	110	220	110	220	110	220	110	220
Corrente (A)	10	5	14	7	15	7,5	17	8,5
Potência (VA)	1100	1100	1550	1550	1650	1650	1900	1900
Potência(w)	900	900	1300	1300	1400	1400	1600	1600
(BTU/h)	14000	18000	21000	30000				
(kcal/h)	3500	4500	5250	7500				
Tensão (V)	220	220	220	220				
corrente (A)	9,5	13	14	18				
Potência (VA)	2100	2860	3080	4000				
Potência(w)	1900	2600	2800	3600				

Fonte: (CPFL-energia, 2023).

Além disso, algumas unidades consumidoras utilizam aparelhos especiais como: máquinas de solda, aparelhos de raio x, retificadores e equipamentos de eletrólise, fornos elétricos a arco e de indução, máquinas injetoras, etc. Neste caso, deve-se seguir os seguintes critérios em relação à potência destes equipamentos:

- O equipamento de maior potência em kVA considera-se a demanda de 100%.
- Os demais equipamentos, a demanda é de 60%.
- Se os equipamentos de maiores potências coincidirem mesma potência em kVA, considera-se apenas um equipamento como o maior, 100%, e os demais como 60%.
- Caso houver equipamentos não descritos na norma, deverá ser apresentado o memorial descritivo do cálculo de demanda com os devidos fatores de demanda atualizados.

O Quadro 3.9 deverá ser utilizada apenas em casos de projetos aplicados a edifícios residenciais. O fator de demanda é atribuído ao número de unidades consumidoras do conjunto residencial, excluindo-se a administração. O fator de demanda é multiplicado

após o dimensionamento de toda a carga do conjunto, exceto da administração. A seguir soma-se a demanda das unidades consumidoras, já inserido o coeficiente, com a demanda da administração para obter-se a demanda geral. O Quadro 3.9 apresenta os fatores de simultaneidade.

Quadro 3.9 – Coeficiente de simultaneidade

Nº de Apartamentos	Fatores	Nº de Apartamentos	Fatores
-	-	79 a 87	0,65
2 a 3	0,98	88 a 96	0,64
4 a 6	0,97	97 a 102	0,63
7 a 9	0,96	103 a 105	0,62
10 a 12	0,95	106 a 108	0,61
13 a 15	0,91	109 a 111	0,6
16 a 18	0,89	112 a 114	0,59
19 a 21	0,87	115 a 117	0,58
22 a 24	0,84	118 a 120	0,57
25 a 27	0,81	121 a 126	0,56
28 a 30	0,79	127 a 129	0,55
31 a 33	0,77	130 a 132	0,54
34 a 36	0,76	133 a 138	0,53
37 a 39	0,75	139 a 141	0,52
40 a 42	0,74	142 a 47	0,51
43 a 45	0,73	148 a 150	0,5
46 a 48	0,72	150 acima	0,5
49 a 51	0,71		
52 a 54	0,7		
55 a 57	0,69		
58 a 63	0,68		
64 a 69	0,67		
70 a 78	0,66		

Fonte: (CPFL-energia, 2023)

Através do Quadro 3.9 aplica-se o coeficiente de simultaneidade ao final do levantamento de carga. Após realizar o levantamento de todos os tipos de equipamentos, calcula-se a demanda geral de entrada da unidade consumidora.

### 3.5 Demanda Geral de entrada

As subestações de energia são dimensionadas a partir da demanda geral total das unidades consumidoras. Dessa forma, a demanda geral de entrada do projeto é atribuída ao somatório de todas as demandas calculadas individualmente para cada tipo de carga conforme a equação 6. Os tipos de cargas que contribuem para o cálculo de demanda geral de entrada são de iluminação, tomadas, aparelhos eletrodomésticos, motores elétricos, ares condicionados e aparelhos especiais. Todos os aparelhos superiores a 1000W incluem-se ao cálculo de demanda. A demanda geral deverá ser em kVA para o dimensionamento dos equipamentos da subestação.

$$D_{geral_{entr}} = D_{ilum+tomad} + D_{aparelhos} + D_{motores} + D_{arcond} + D_{aparelhos_{esp}} \quad (6)$$

Em que:

$D_{geral_{entr}}$  = Demanda total referente a iluminação e tomadas de uso geral

$D_{aparelhos}$  = Demanda total referente aos aparelhos

$D_{motores}$  = Demanda total referente aos motores

$D_{arcond}$  = Demanda total referente aos ares condicionados

$D_{aparelhos_{esp}}$  = Demanda total referente aos aparelhos especiais

Por fim, com a demanda geral da unidade consumidora conhecida, é possível dimensionar os equipamentos da subestação de média tensão. O projeto será desenvolvido conforme as normas da concessionária CPFL- Energia.

### 3.6 Dimensionamento dos equipamentos da subestação de unidade consumidora.

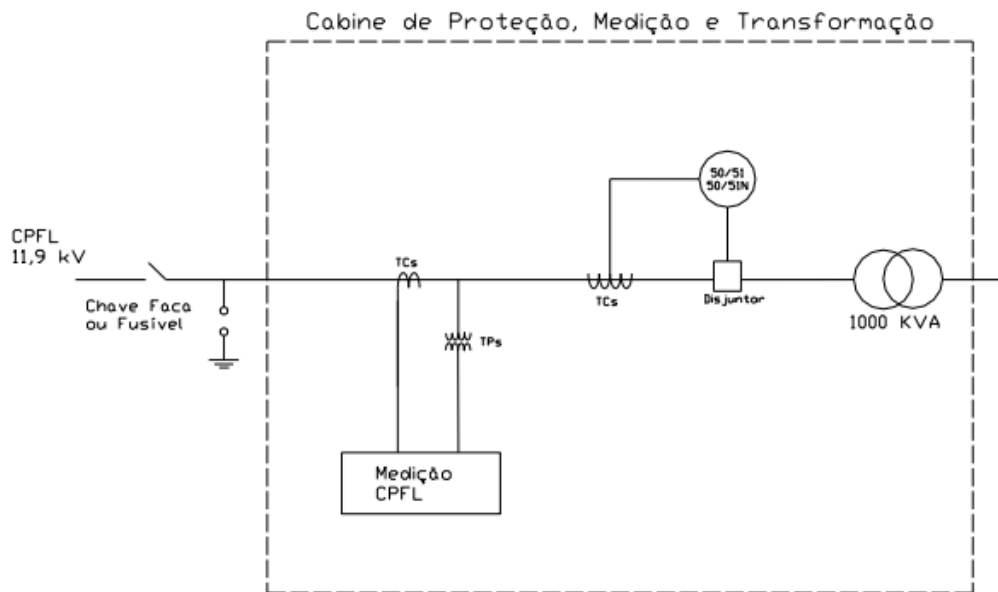
Para a elaboração de um projeto de uma subestação de energia, todos os equipamentos deverão ser dimensionados a partir da demanda geral de entrada. Conforme o (CPFL-energia, 2023) alguns equipamentos são definidos em quadros seguindo-se sempre o valor de referência da demanda geral de entrada calculado.

Para o atendimento de edifícios de uso coletivo (CPFL ENERGIA, 2021) é necessário o dimensionamento de uma subestação de média tensão trifásica. Esta subestação deverá rebaixar o nível de tensão da rede para níveis compatíveis as cargas dos consumidores a serem atendidos. Para tanto, o projeto deverá possuir cabine de proteção, medição e transformação. Estes espaços possuem equipamentos que, em conjunto, possibilitam a transformação do nível de tensão. A cabine de medição atua de forma a medir e transformar os parâmetros elétricos de corrente e tensão para níveis adequados aos equipamentos da subestação. Já o posto de proteção atua contra sobretensões e sobrecorrentes, desarmando o circuito quando estes ocorrerem.

Os equipamentos principais a serem dimensionados são: elos fusíveis e chaves

seccionadoras, transformador de corrente (TC), transformador potencial (TP), transformador de potência, disjuntor e pára-raio. Além disso, deverão ser dimensionados os barramentos, cabos e ramais de entrada e ligação. A Figura 10 apresenta o diagrama unifilar genérico de uma SE consumidora de média tensão.

Figura 10 – Diagrama unifilar de uma subestação consumidora de média tensão com medição em média tensão



Fonte: (CPFL-energia, 2023)

O diagrama unifilar da figura 10 representa uma subestação de energia elétrica de média tensão genérica, com medição e proteção no lado de média tensão. Porém, em outros casos a medição e proteção deverá ser no lado de baixa tensão, conforme as seções 3.9 e 3.10. Assim, com base na demanda geral de entrada e do diagrama unifilar, o projetista dá início ao dimensionamento dos equipamentos que compõe a SE. O transformador deve ser o primeiro equipamento a ser definido, pois a partir dele poderá ser realizado o dimensionamento dos demais equipamentos e ramais.

### 3.6.1 Transformador

O dado de demanda geral de entrada é o parâmetro para o dimensionamento do transformador pelo Quadro 3.10. Os valores admitidos para os equipamentos devem ser, obrigatoriamente, igual ou maior, próximo à demanda geral calculada. Dessa forma, acarretará o correto funcionamento, segurança e integridade da subestação.

Quadro 3.10 – Transformador

<b>Equipamento</b>	<b>Dimensões (mm)</b>	<b>Peso com óleo (Kg)</b>	<b>Espaço mínimo do compartimento individual (mm)</b>
Transformador (kVA) 75	1125 x 825 x 1040	505	2000 x 2600
Transformador (kVA) 112,5	1410 x 905 x 1060	640	
Transformador (kVA) 150	1455 x 905 x 1150	765	
Transformador (kVA) 225	1705 x 1070 x 1250	1090	
Transformador (kVA) 300	1770 x 1270 x 1320	1250	
Transformador (kVA) 500	2000 x 1250 x 1420	1780	
Transformador (kVA) 750	1730 x 1600 x 2250	3065	2500 x 2600
Transformador (kVA) 1000	1730 (1860) x 1950	3650	
Transformador (kVA) 1500	1810 (2030) x 2050	4885	
Disj. Pequeno volume de óleo	845 x 660 x 1560	150 (210)	1400 x 2600 (2000) x 2600
Prateleira para TP e TC	1300 x 450 x 1400	-	
Mufas	-	-	1000 x 2600

Fonte: (CPFL-energia, 2023).

Após o transformador de potência, pode-se definir os ramais de ligação com a rede primária de distribuição. Para transformadores até 300kVA o transformador pode ser instalado em poste com entrada aérea. Para equipamentos de potência superior a 300kVA é definido que os equipamentos devem ser instalados em cabines abrigadas, devido ao peso e número de equipamentos, nesse sentido o ramal de entrada será subterrâneo.

### 3.6.2 Ramal de ligação e entrada aérea em tensão primária

O ramal de ligação é utilizado também no trecho de ramal de entrada até o posto de transformação ou cabine primária (CPFL-energia, 2023). Os cabos para os ramais são dimensionados através da demanda calculada para suportar e satisfazer as grandezas elétricas do projeto. O dimensionamento é feito com base no Quadro 3.11.

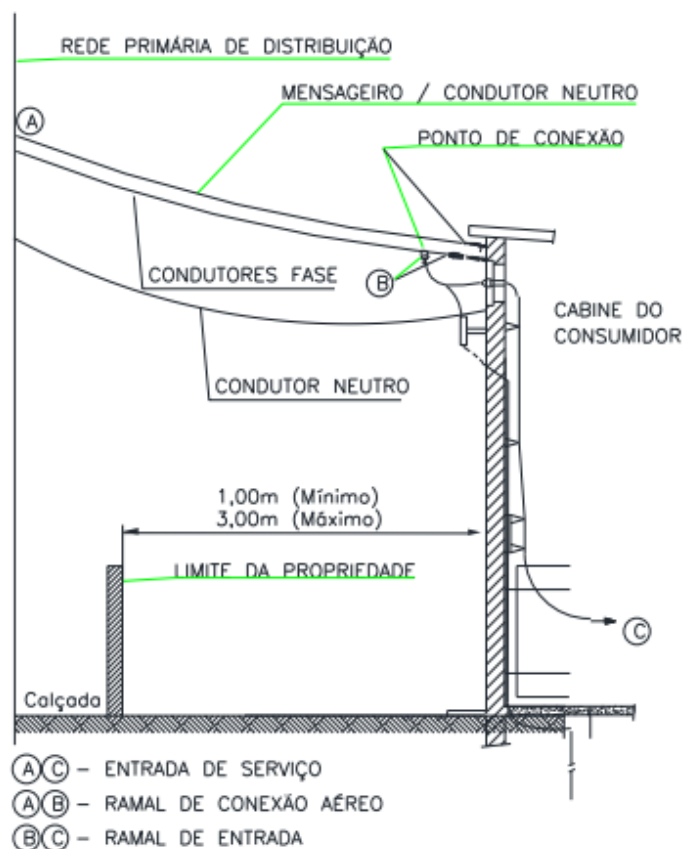
Quadro 3.11 – Dimensionamento dos cabos do ramal de ligação

Demanda Calculada (kVA)	Cabo Coberto
Até 1500	70 mm <sup>2</sup> [1/0AWG CA]
1501 a 1900	70 mm <sup>2</sup> [1/0AWG CA]
1901 a 2500	70 mm <sup>2</sup> [1/0AWG CA]

Fonte: (CPFL-energia, 2023)

A Figura 11 apresenta a entrada de serviço da rede primária. Nela são identificados os condutores de fase e neutro e o ponto de ligação com o poste de conexão com a cabine do consumidor.

Figura 11 – Entrada de serviço da rede primária



Fonte: (CPFL-energia, 2023)

Pela Figura 11 identifica-se o trecho entre A e C que compreende como a entrada



de serviço interligada a rede de distribuição.

Para o trecho que compreende entre o ponto de entrega, denominado ramal de ligação e o transformador aéreo conforme ou, para os casos em que houver ramal subterrâneo instalado no poste no interior da propriedade, entre o ponto de entrega do cabo subterrâneo a mufla utiliza-se o Quadro 3.12.

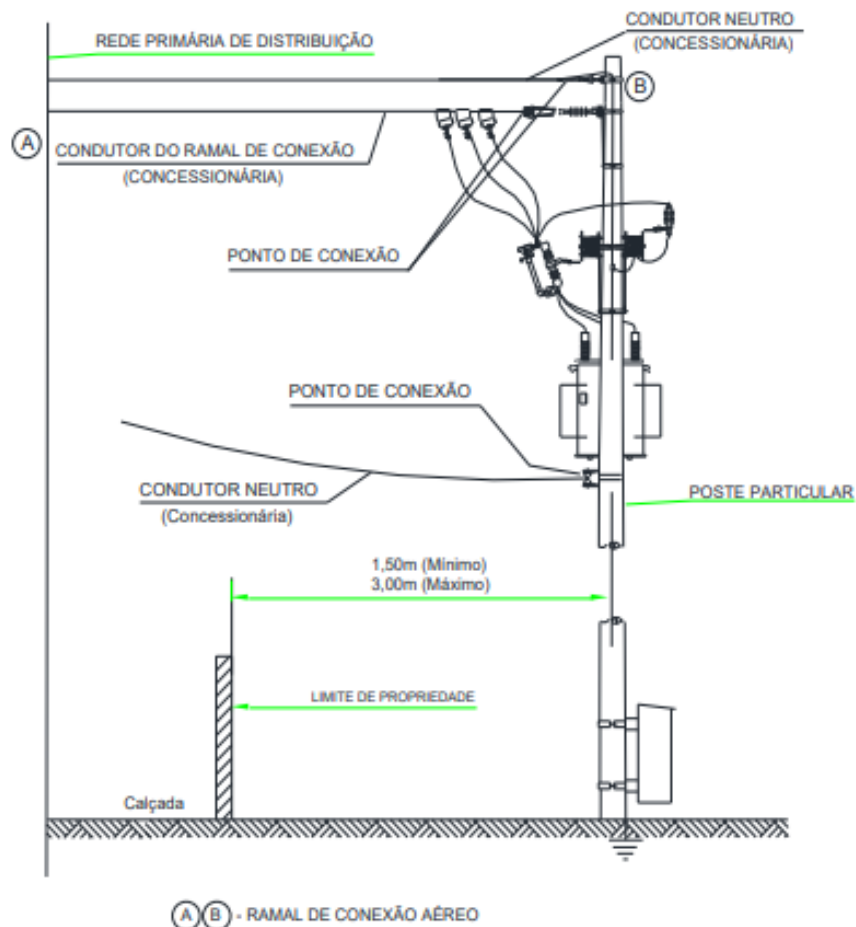
Quadro 3.12 – Dimensionamento dos cabos do ramal de entrada

Demanda calculada (kVA)	Condutor Nu de Cobre (mm <sup>2</sup> )
até 300	fio 16 [16]
301 a 1900	cabo 35 [16]
1901 a 2500	cabo 50 [16]

Fonte: (CPFL-energia, 2023)

O Quadro 3.12 apresenta o dimensionamento do condutor nu de cobre para dimensionamento através da demanda calculada. A Figura 12 apresenta a ligação do ramal de ligação aéreo.

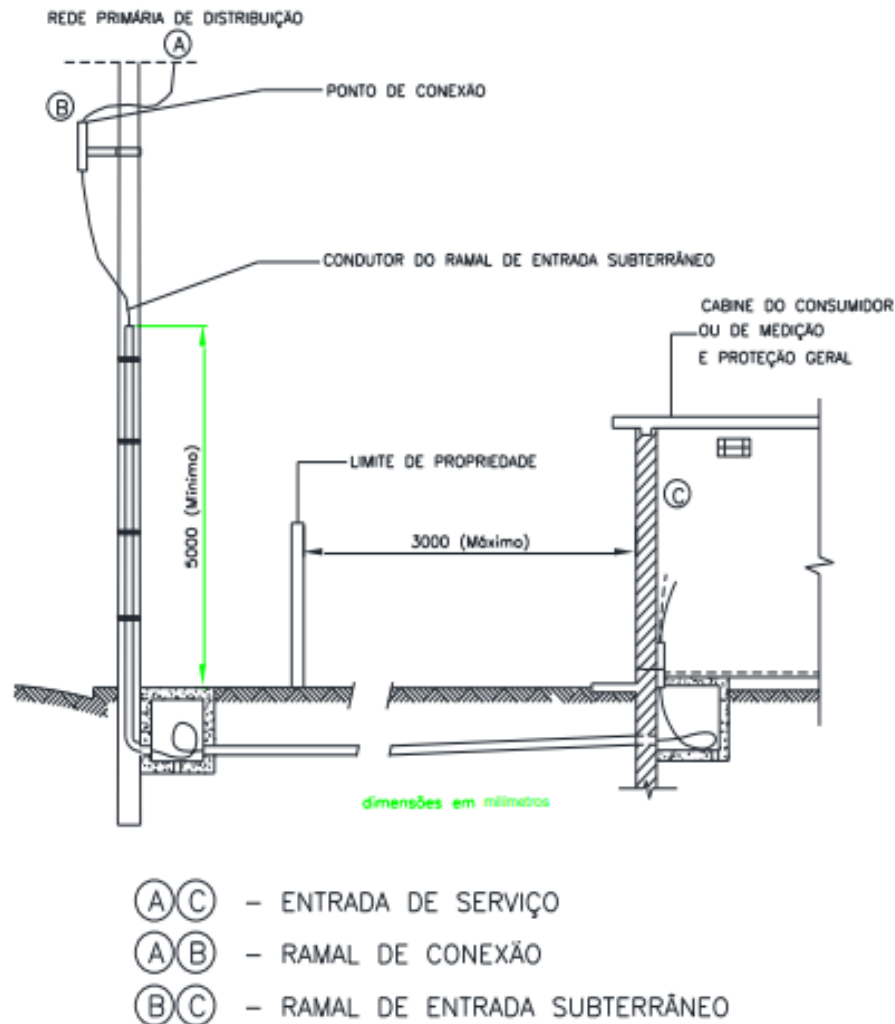
Figura 12 – Ramal de ligação aéreo.



Fonte: (CPFL-energia, 2023)

O ramal de ligação apresentado na Figura 12 faz a interligação da entrada da unidade consumidora com a rede de distribuição. Já a Figura 13 apresenta o ramal de entrada subterrâneo.

Figura 13 – Ramal de entrada subterrâneo.



Fonte: (CPFL Energia, 2022)

Pela Figura 13 identifica-se o trecho entre B e C denominado por ramal de entrada subterrâneo. O ramal se conecta com o ponto de conexão no poste e a cabine da subestação. Através do Quadro 3.13 é possível dimensionar o cabo de entrada subterrâneo.

Quadro 3.13 – Ramal de entrada subterrâneo em classe de tensão primária.

Seção (mm <sup>2</sup> )	Ampacidade (A)	Eletroduto no poste (pol)	Diâmetro interno do duto subterrâneo (mm (pol))
10	42	4	100 (4)
16	55		
25	70		
35	83		
50	98	5	125 (4)
70	120		
95	143	6	150 (6)
10	55	4	100 (4)
16	70		
25	90		
35	108		
50	127	5	125 (5)
70	154		
95	184	6	150(6)
16	56	4	100 (4)
25	71		
35	84		
50	100	5	125 (5)
70	121		
95	145	6	150 (6)
16	72	4	100 (4)
25	92		
35	109		
50	128	5	125 (5)
70	156		
95	186	6	150 (6)

Fonte: (CPFL-energia, 2023)

O quadro 3.13 determina a bitola dos cabos do ramal subterrâneo de acordo com o nível de tensão (primária). O projetista tem a opção de escolher o tipo de material do condutor, cobre ou alumínio. Essa escolha deve atender as condições e requisitos do projeto, seja pela capacidade de condução de corrente do cabo (ampacidade) ou o custo, fator muitas vezes determinante. Além disso, necessita-se de atenção na escolha da bitola

dos cabos e dutos em relação ao espaço e condições físicas de instalações, dentre outros fatores. Outro condutor a ser definido é o barramento de uso interno.

### 3.6.3 Barramento de uso interno para tensão primária de distribuição.

A partir da demanda determina-se o diâmetro e peso dos barramentos e tubos. Com os parâmetros de cada material, o projetista tem a opção de avaliar as possibilidades e escolher o melhor condutor conforme a necessidade do projeto. Os barramentos são dimensionados para suportar temperaturas de 30°C até 50°C. Atendendo a base de 50% do limite térmico do material. Os tubos de diâmetros IPS classificam –se como:

- IPS  $\frac{1}{4}$  : Ø externo de 13,7mm com seção útil de 76,5mm<sup>2</sup> e parede de 2,10mm.
- IPS  $\frac{3}{8}$  : Ø externo de 17,2mm com seção útil de 107mm<sup>2</sup> e parede de 2,28mm.
- IPS  $\frac{1}{2}$  : Ø externo de 21,3mm com seção útil de 160mm<sup>2</sup> e parede de 2,74mm.

Os dados para dimensionamento do barramento de uso interno são apresentados no Quadro 3.14.

Quadro 3.14 – Dimensionamento de barramento de uso interno.

Demanda (kVA)	barramento							
	Vergalhão				Tubo			
	Cobre		Alumínio		Cobre		Alumínio	
	Ø mm	kg/m	Ø mm	kg/m	Ø IPS	Kg/m	Ø IPS	Kg/m
até 1300	5,16	0,187	6,35	0,085	1/4	0,68	3/8	0,29
1301 a 1800	6,35	0,281	9,53	0,192				
1801 a 2500	9,53	0,634	12,7	0,342	3/8	0,96	1/2	0,44
2501 a 5000	12,7	1,127	15,87	0,535				

Fonte: (CPFL-energia, 2023)

O Quadro 3.14 dispõe dos dados para a escolha do barramento quanto a demanda do projeto. Eles podem ser de alumínio ou cobre, para vergalhão ou tubo. Na próxima seção será apresentado o dimensionamento do transformador de corrente e verificação de saturação.

### 3.6.4 Transformador de corrente (TC)

O transformador de corrente tem objetivo de proteção e medição no sistema, e para isso devem retratar com precisão as correntes de defeito. O equipamento pode sofrer saturação se a corrente ultrapassar 20 vezes a corrente nominal primária, ou seja, se ocorrer

elevada indução magnética. Através da equação (7), é calculado a corrente nominal para posteriormente realizar a escolha do TC através da relação de transformação.

$$I_{np} = \frac{I_{cc3\phi}}{20} \quad (7)$$

Em que:

$I_{np}$  = Corrente nominal primária (A)

$I_{cc3\phi}$  = Corrente de curto-circuito (A)

Com o valor da corrente nominal determinada  $I_{np}$ , define-se a relação de transformação conforme a norma da ABNT pelo Quadro 3.15.

Quadro 3.15 – Correntes nominais e relação de transformação.

Corrente Nominal Primária	Relação de transformação	Corrente Nominal Primária	Relação de transformação
5	1 : 1	300	60 : 1
10	2 : 1	400	80 : 1
15	3 : 1	500	100 : 1
20	4 : 1	600	120 : 1
25	5 : 1	800	160 : 1
30	6 : 1	1000	200 : 1
40	8 : 1	1200	240 : 1
50	10 : 1	1500	300 : 1
60	12 : 1	2000	400 : 1
75	15 : 1	2500	500 : 1
100	20 : 1	3000	600 : 1
125	25 : 1	4000	800 : 1
150	30 : 1	5000	1000 : 1
200	40 : 1	6000	1200 : 1
250	50 : 1	8000	1600 : 1

Fonte: (Maria Sabrina Pereira, 2016)

A identificação da relação nominal de transformação se dá pelo Quadro 3.15. Deve ser escolhida a corrente primária nominal superior e mais próxima da calculada pela equação (7).

Porém, para TC's com finalidade de proteção, é necessário realizar a verificação de saturação. Neste procedimento, é possível verificar se a tensão máxima do equipamento está abaixo do ponto de saturação. Se a tensão máxima for inferior ao ponto de saturação satisfaz ao projeto, caso contrário, está fora do padrão do projeto. Este procedimento é definido pelas equações de (8) a (14).

As máximas correntes de curto-circuito nas barras de média tensão são distintas em

relação a cada classe de tensão. Para sistemas de tensão máxima de operação de 15kV a corrente de curto-circuito máxima é de 10,6 kA. Para sistemas com classe de tensão de 24,2 kV a corrente máxima de curto-circuito é de 8,0 kA. Com isso, poderá ser realizado a verificação da saturação dos TC's.

### 3.6.5 Cálculo de saturação para TC's

Para o cálculo de saturação deve-se utilizar os dados do relé e condutores. Sendo assim, o primeiro passo é definir as impedâncias. O cálculo para impedância total se dá pela equação (8), a impedância da fiação pela equação (9) e a impedância do relé através da equação (10).

$$Z_{total} = Z_{fiação} + Z_{relé} + Z_{TC} \quad (8)$$

Em que:

$Z_{total}$  = Impedância total dos equipamentos e fiação (ohm)

$Z_{fiação}$  = Impedância da fiação (ohm)

$Z_{relé}$  = Impedância do relé (ohm)

$Z_{TC}$  = Impedância do transformador de corrente (ohm)

A impedância da fiação é calculada pela equação (9):

$$Z_{fiação} = 0,02 \cdot \frac{L}{S} \quad (9)$$

Em que:

$Z_{fiação}$  = Impedância da fiação (ohm)

$L$  = Comprimento do condutor (m)

$S$  = Bitola do condutor (mm)

A impedância do relé calcula-se pela equação (10):

$$Z_{relé} = Z_{fase} + 3 \cdot Z_{neutro} \quad (10)$$

Em que:

$Z_{relé}$  = Impedância do relé (ohm)

$Z_{fase}$  = Impedância requerida pela unidade de fase (ohm)

$Z_{neutro}$  = Dado disponível no catálogo do relé.

A impedância do TC, normalmente, é encontrada no catálogo do fabricante.

A corrente de curto-circuito simétrica deverá ser calculada pela equação (11) para que posteriormente encontre-se a tensão de saturação conforme a equação (12).

$$I_{cc} = \frac{I_{cc3\phi sim}}{RTC} \quad (11)$$

Em que:

$I_{cc}$  = Corrente de curto-circuito (A)

$I_{cc3\phi sim}$  = Corrente de curto-circuito trifásico (A)

$RTC$  = Relação de transformação do TC

A tensão de saturação se dá pela equação (12).

$$V_{sat} = I_{cc} \cdot Z_{total} \quad (12)$$

Em que:

$V_{sat}$  = Tensão de saturação (V)

$I_{cc}$  = Corrente de curto-circuito (A)

$Z_{total}$  = Impedância total dos equipamentos e fiação (ohm)

Para finalizar, pode-se verificar se a tensão máxima de saturação do TC escolhido corresponde com o sistema, ou seja, não haverá possibilidade de saturação. Conforme equação (13).

$$V'_{sat} = Z_{TC} \cdot (20 \cdot I_N) \quad (13)$$

Em que:

$V'_{sat}$  = Tensão de saturação para teste (V)

$Z_{TC}$  = Impedância do transformador de corrente (ohm)

$I_N$  = Corrente nominal (A)

Em que  $I_N$  encontra-se pela equação (14).

$$I_{np} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot Vff} \quad (14)$$

Em que:

$P$  = Potência do(s) transformador(es) (KVA)

$Vff$  = Tensão de projeto (kV)

O TC estará dentro do padrão se  $V_{sat} < V'_{sat}$ .

Após a escolha do TC, pode-se dimensionar o disjuntor termomagnético.

### 3.6.6 Disjuntor termomagnético

Para a escolha do disjuntor necessita-se conhecer a corrente nominal do projeto. A partir da corrente nominal determina-se qual o disjuntor mais apropriado (CPFL ENERGIA, 2021). Estes valores são atribuídos para cargas iguais nas três fases conforme o Quadro 3.16.

Quadro 3.16 – Correntes padronizadas para escolha do disjuntor termomagnético.

Correntes nominais padronizadas	Correntes nominais padronizadas
100	250
125	300
150	350
160	400
175	450
200	500
225	600

Fonte: (CPFL Energia, 2021)

As correntes nominais são padronizadas e devem seguir este padrão em todos os projetos para a escolha do disjuntor termomagnético, conforme o Quadro 3.16.

Além disso, outro fator determinante para escolha do disjuntor é a capacidade de interrupção. Este limite de interrupção define a capacidade em que o disjuntor tem de suportar um curto-circuito. Os parâmetros para escolha são demonstrados no Quadro 3.17.

Quadro 3.17 – Capacidade de interrupção do disjuntor.

TRANSFORMADOR	CAPACIDADE DE INTERRUPTÃO (kA)	Z% CONSIDERADO
15	1,3	3,23
30	2,5	
45	4	
75	7	
112,5	10	
150	12,5	
225	15	4,16
250	16	
300	20	
500	32	
750	48	
1000	65	

Fonte: (CPFL ENERGIA, 2021)

O Quadro 3.17 identifica a capacidade de interrupção do disjuntor em relação à potência do transformador utilizado no projeto. Após a escolha do disjuntor, é possível dimensionar o transformador de potencial (TP).



### 3.6.7 Transformador de Potencial (TP)

Para a escolha dos transformadores de potencial, deve-se considerar a tensão nominal do sistema, circuito primário, e as cargas que serão conectadas no secundário.

Ainda, conforme a (CPFL, 2022), na cabine de medição localizada no lado de alta tensão recomenda-se a instalação de um TP auxiliar de potência adequada. Este equipamento deve ser ligado após a medição e antes da chave do disjuntor geral para alimentar as lâmpadas e tomadas da cabine. O transformador de potencial (TP) deve ter proteção contra sobrecorrente e ser dimensionado conforme as recomendações do fabricante.

Após o dimensionamento dos TP's, serão dimensionados os sistemas de proteção e medição em alta e baixa tensão.

## 3.7 Proteção em média tensão

Para projetos em que a carga instalada for superior a 300kVA utiliza-se a proteção no lado de média tensão.

### 3.7.1 Elos fusíveis localizados no poste de saída do Ramal

A escolha dos elos fusíveis relaciona-se com a capacidade do(s) transformador(es) em kVA e a tensão conforme o Quadro 3.18. Este equipamento de proteção localiza-se no poste de saída do ramal. Para transformadores com capacidade igual ou acima de 300kVA, em paralelo, soma-se as capacidades e escolhe-se a proteção mais próxima e superior.

Quadro 3.18 – Elos fusíveis no poste de saída do Ramal

	ELO FUSÍVEL	ELO FUSÍVEL	ELO FUSÍVEL
CAPACIDADE TRANSFORMADOR(ES) (kVA)	11 kV ou 11,4 kV	11,9 kV ou 13,8kV	23,1 kV ou 34,5kV
15	10 K	15 K	15 K
30	10 K	15 K	15 K
45	10 K	15 K	15 K
75	10 K	15 K	15 K
112,5	10 K	15 K	15 K
150	15 K	15 K	15 K
225	25 K	25 K	15 K
300	25 K	25 K	15 K
500	A ser definido pela concessionária	A ser definido pela concessionária	A ser definido pela concessionária
2 x 300	A ser definido pela concessionária	A ser definido pela concessionária	A ser definido pela concessionária
750 ou maior	A ser definido pela concessionária	A ser definido pela concessionária	A ser definido pela concessionária

Fonte: (CPFL-energia, 2023)

O Quadro 3.18 direciona o projetista para a escolha dos elos fusíveis conforme a classe de tensão e a capacidade do(s) transformador(es). Além dos elos fusíveis localizados no poste de saída do ramal, devem ser dimensionados os elos fusíveis instalados no posto de transformação ao tempo para proteção dos transformadores.

### 3.7.2 Elos fusíveis instalados no posto de transformação ao tempo para proteção de transformadores

A proteção geral em baixa tensão permite a coordenação seletiva junto a proteção em média tensão. Esta proteção deve assegurar a proteção do transformador contra as sobrecorrentes. A escolha do equipamento se dá pelo Quadro 3.19.

Quadro 3.19 – Dimensionamento de elos fusíveis instalados no posto de transformação ao tempo.

	ELO FUSÍVEL	ELO FUSÍVEL	ELO FUSÍVEL
CAPACIDADE DO (S) TRANSFORMADOR(ES) (kVA)	11 kV ou 11,4 kV	11,9 kV ou 13,8kV	23,1 kV ou 34,5kV
15	2 H	1 H	1 H
30	3 H	2 H	1 H
45	5 H	3 H	2 H
75	6 K	5 H	3 H
112,5	6 K	6 K	5 H
150	8 K	8 K	5 K
225	12 K	12 K	6 K
300	15 K	15 K	8 K

Fonte: (CPFL-energia, 2023).

O Quadro 3.19 especifica o tipo de elos fusíveis que deverão ser instalados no posto de transformação ao tempo, conforme a capacidade do(s) transformador(es). Para a proteção do posto de transformação acima de 300kVA outros critérios deverão ser atendidos também.

### 3.7.3 Proteção para posto de transformação acima de 300kVA

Para os casos em que a demanda de projeto for superior a 300kVA, deverá ser previsto um disjuntor geral trifásico ou um religador trifásico comandado por relé microprocessado com função de proteção. Os equipamentos devem seguir as seguintes características:

- I. Classe de tensão: 15kV, 25kV ou 34,5kV
- II. Corrente nominal: referente a capacidade instalada dos transformadores do projeto
- III. Capacidade mínima de interrupção (simétrica):
  - (a) Classe de 15kV: 250MVA
  - (b) Classe de 25kV: 500MVA
  - (c) Classe de 34,5kV: 630MVA
- IV. Nível básico de isolamento (NBI):
  - (a) Classe de 15kV: 95kV

- (b) Classe de 25kV: 125kV
- (c) Classe de 34,5kV: 145KV

V. Frequência: 60Hz.

VI. Religamento automático somente quando:

- (a) Não for causar situação de perigo no restabelecimento
- (b) Quando o comando de abertura for por tensão
- (c) Quando o relé empregado para religamento for de bloqueio função (86) e, que no momento de atuação, as proteções de sobrecorrente acione o relé de modo a impedir o fechamento do disjuntor e/ou religador.

Além do disjuntor trifásico, devem ser instalados os equipamentos de proteção de sobrecorrente.

#### 3.7.4 Proteção de sobrecorrente

Para devida proteção nos casos de sobrecorrente, deve-se utilizar os seguintes equipamentos e parâmetros:

- I. Relés digitais/microprocessados de sobrecorrente secundários, com função 50/51 (operação instantânea e temporizada).
- II. Estes relés são interligados ao circuito primário dos TCs do tipo seco. Os TCS devem ser dimensionados para não ocorrer saturação.
- III. Os relés digitais/microprocessados devem ser instalados nas 3 fases e no terra, respeitando-se as correntes mínimas de atuação de 80% das correntes mínimas dos equipamentos a montante.
- IV. As proteções do projeto deverão ser mais rápidas (300ms) que as proteções da concessionária CPFL, para as correntes de defeitos menores ou iguais as correntes de curto-circuito no ponto de conexão.
- V. Relé de terra: alimentado por uma ligação do tipo estrela formado por 3 TCs individuais. Pode –se substituir os 3 TCs por um único TC do tipo janela.

Além de todos os equipamentos de proteção já mencionados, deve ser previsto a utilização dos equipamentos para-raios.

### 3.7.5 Para-raios

Os para-raios são equipamentos de proteção contra descargas atmosféricas. Segundo o GED-2855, para proteção em média tensão utiliza-se um conjunto de para-raios que possui características de acordo com a tensão nominal e classe de tensão do projeto.

Para tensão nominal de 12kV e classe de tensão de 15kV ou 21kV, utiliza-se um conjunto de para-raios com invólucro polimérico, a óxidos metálicos, sem centelhador e que possua desligador automático. Para sistemas com classe de 25kV, 30kV e 34,5kV a corrente de descarga nominal deverá ser 10kA. Além disso, a subestação consumidora deve conter fontes auxiliares.

### 3.7.6 Fontes auxiliares

Para a perfeita atuação dos relés eletrônicos e bobinas de abertura do disjuntor durante curto-circuito, o projeto deve conter as seguintes fontes auxiliares:

- I. Banco de bateria e carregador
- II. No-break
- III. TPs, trip capacitivo e relés de subtensão (função 27)
- IV. Chave faca com abertura sem carga no lado de entrada do disjuntor e após a medição

Para casos em que projetos possuam equipamentos de cargas sensíveis deve-se prever a proteção de falta de fase e subtensão.

### 3.7.7 Falta de fase e subtensão

Para projetos que possuam motores, casos especiais ou cargas sensíveis deve possuir um relé de falta de fase. Para os casos em que possuem apenas casos especiais e cargas sensíveis, utiliza-se um relé de subtensão.

Em conjunto com a proteção, a medição em média tensão também deverá ser dimensionada.

## 3.8 Medição em média tensão

Para os casos em que a capacidade instalada de projeto for superior a 300kVA ou o projeto prever a utilização de mais de um transformador, independente da potência, a medição deverá ser na média tensão, a CPFL instalará os seguintes equipamentos:

- 3 transformadores de corrente, classe 15kV, 25kV ou 34,5kV, instalação interna e relação a ser determinada para cada caso;

- 3 transformadores de potencial de instalação interna, classe 15kV de relação  $(13.800/\sqrt{3})/115V$  ou  $(11.500/\sqrt{3})/115V$ , 25kV de relação  $(23100/\sqrt{3})/115V$  e  $(34,5/\sqrt{3})/115V$
- 1 chave de aferição;
- 1 medidor eletrônico com recursos para medição de energia ativa, reativa, demanda e tarifação horosazonal.

Em contrapartida, se a proteção e medição for em baixa tensão, alguns equipamentos não serão necessários como no lado de média tensão.

### 3.9 Proteção em baixa tensão

A utilização de proteção em baixa tensão deve ser efetuada quando a capacidade instalada do projeto for de até 300kVA.

#### 3.9.1 Sobrecorrente e Subtensão

Para a proteção geral em baixa tensão, para os casos em que os postos de transformação seja de até 300kVA, deve-se conter um disjuntor após o medidor.

Além disso, o condutor de neutro não deve possuir nenhum dispositivo capaz de causar sua interrupção, pois deve atuar em continuidade.

A concessionária CPFL não exige a utilização de equipamentos de subtensão para a proteção em baixa tensão. Além do sistema de proteção, faz-se necessário o emprego de equipamentos de medição.

### 3.10 Medição em baixa tensão

Para projetos com capacidade instalada de até 300kVA, a medição é indireta e obrigatória no lado de baixa tensão. Porém, se o projeto demandar mais de um transformador, independente da potência, a medição obrigatoriamente deve ser em média tensão (CPFL, 2022).

Os seguintes equipamentos deverão integrar a medição em baixa tensão:

- 3 TC's de classe 600V, relação de transformação deve ser avaliada para cada caso,
- 1 chave de aferição,
- 1 medidor eletrônico com capacidade de medição de energia ativa, reativa, demanda e tarifação horosazonal.

Conhecidas as normas e dimensionamento dos equipamentos, define-se a metodologia em que o trabalho irá adotar para elaboração da ferramenta no Excel.

### **3.11 Considerações finais do capítulo**

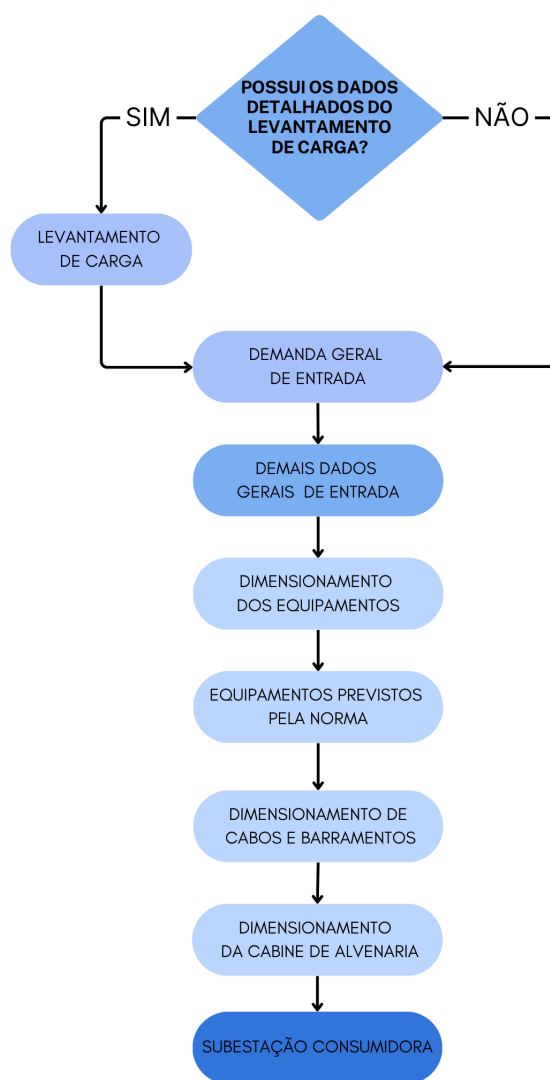
Através deste capítulo, pode-se entender o passo a passo para realização de um levantamento de carga até obter o dado de demanda geral de entrada na unidade consumidora. Este é o principal dado para a definição se a medição e proteção da subestação será instalado antes ou depois do posto de transformação.

Sendo assim, para demandas inferiores a 300kVA o posto de medição e proteção será localizado no lado de baixa tensão, já para demandas iguais ou superiores será no lado de média tensão. E, para cada caso terá que ser definido os equipamentos que serão utilizados.

## 4 METODOLOGIA

O presente trabalho tem como propósito a criação de uma ferramenta através do software de planilhas eletrônicas Excel para dimensionamento de uma subestação consumidora. Através desta proposta, foi desenvolvida uma metodologia para que o projetista, sendo ele, engenheiro ou estudante de engenharia, tenha a capacidade de realizar um projeto de subestação de média tensão passo a passo na ferramenta. Neste sentido, a metodologia elaborada dividiu-se em etapas, sendo essas, as principais: os dados de entrada, o dimensionamento dos equipamentos, ramais, barramentos e cabine de alvenaria. A Figura 14 apresenta um fluxograma das etapas desenvolvidas na ferramenta.

Figura 14 – Metodologia desenvolvida na ferramenta.



Fonte: Autoria própria.

Para o desenvolvimento da metodologia apresentada na Figura 14, foi levado em consideração a fluidez e didática na utilização da ferramenta. Dessa forma, a primeira



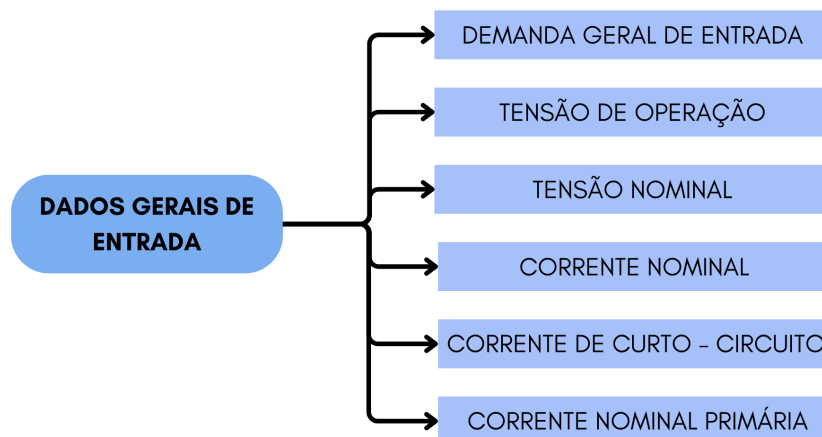
etapa do projeto inicia-se no levantamento de carga, no qual o usuário pode adicionar os dados individuais das potências dos equipamentos, conforme o capítulo 3. Caso o usuário não disponibilizar dos dados individuais, há a opção de editar a demanda geral de entrada de forma direta.

O terceiro passo, se deve à edição dos dados de entrada para o dimensionamento da subestação. A partir desta etapa, a ferramenta automaticamente dimensiona e atribui os resultados das demais etapas que conferem ao dimensionamento de todos os equipamentos necessários para a subestação, bem como a cabine de alvenaria onde os equipamentos serão alocados. Posteriormente, é possível gerar um memorial descritivo automático com os dados do cliente e projeto.

#### 4.1 Dados gerais de entrada

Os dados de entrada são as informações mais importantes para o dimensionamento, para isso, os dados devem ser informados na ferramenta corretamente. Em um projeto de subestação consumidora, os dados principais utilizados para dimensionamento dos equipamentos são as tensões, correntes e demanda geral de entrada. A Figura 15 apresenta os dados de entrada detalhados para um projeto.

Figura 15 – Dados gerais de entrada.



Fonte: Autoria própria.

O fluxograma da Figura 15 apresenta os dados necessários para elaboração de um projeto de SE. Em primeiro plano, é necessário que o projetista possua a demanda geral de entrada, ou seja, o levantamento de quanto a unidade consumidora consome de energia elétrica. Este dado pode ser indicado previamente nos projetos das unidades consumidoras pelas construtoras, engenheiros, arquitetos ou afins. Nos casos em que o projetista não tenha este dado, é possível realizar o levantamento de carga e obter o dado de demanda geral de entrada, conforme o capítulo 3 deste trabalho.

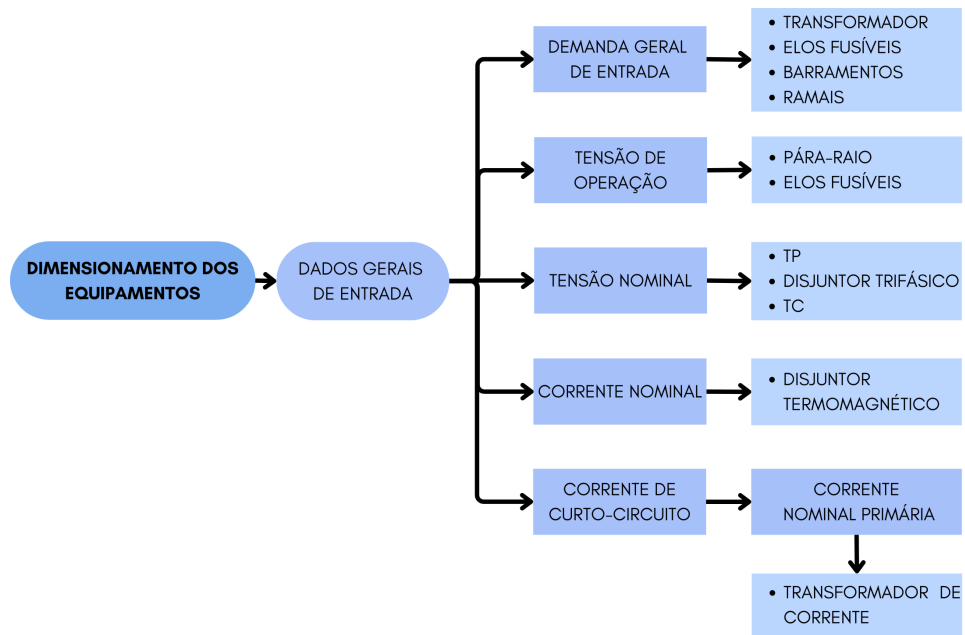
Toda unidade consumidora que obtiver a demanda de entrada maior ou igual a 75kVA faz-se necessário um atendimento de energia em média tensão através de subestações individuais ou compartilhadas. Conforme o GED 2855, o fornecimento em tensão primária de distribuição é feito em 15kV, 25kV ou 34,5kV, porém, deve ser consultado a distribuidora local para verificar a disponibilidade de alimentadores nessas tensões. Para o correto funcionamento de todos os elementos correlacionados a SE, a tensão de operação deve ser menor que a tensão nominal. A partir disso, com a tensão de operação determina-se a corrente nominal do sistema. Por fim, a corrente de curto-circuito deve ser informada pela concessionária para o exato ponto de ligação de entrada da subestação, pois esse dado difere ao longo da rede. E, através da corrente de curto-circuito, sabe-se a corrente nominal primária.

Dessa forma, com a edição destes dados de entrada na ferramenta é realizado o dimensionamento automático de todos os equipamentos, ramais, barramentos e cabine de alvenaria de acordo com as normas da concessionária CPFL-Energia. Posteriormente, é especificado cada equipamentos de acordo com seus parâmetros de entrada e definições para cada nível de demanda.

## **4.2 Dimensionamento dos equipamentos**

Conforme discorrido no item anterior, após a inserção dos dados de entrada na ferramenta, ela retorna automaticamente com o dimensionamento dos equipamentos e demais componentes da subestação. Cada equipamento depende de um ou mais dados de entrada conforme apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Equipamentos de acordo com os dados de entrada.

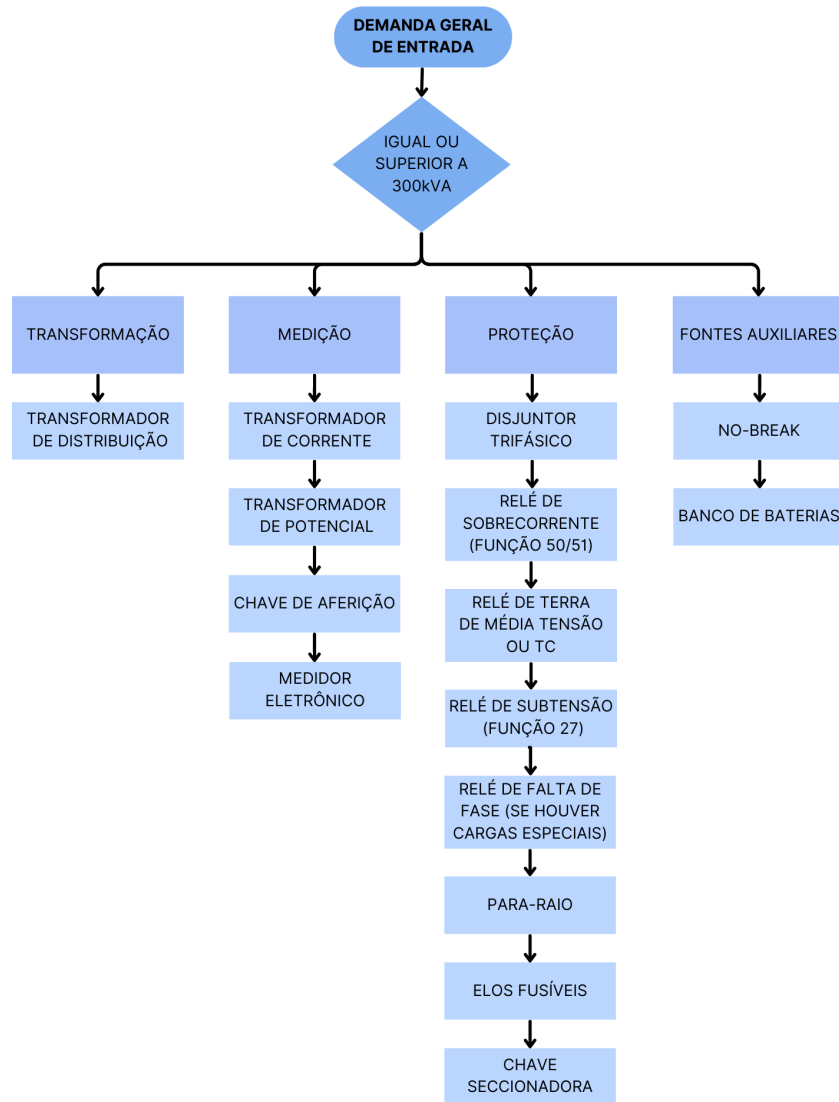


Fonte: Autoria própria.

A escolha dos equipamentos depende exclusivamente dos parâmetros elétricos e demanda geral da unidade consumidora, conforme a Figura 16. Porém, além dos equipamentos dimensionados, as normas que abrangem as subestações consumidoras ainda estabelecem a utilização de mais alguns equipamentos obrigatórios e não obrigatórios, com parâmetros pré-definidos. Esses equipamentos incluem relés com diferentes funções, chaves seccionadoras, medidores, chaves de aferição, no-break e banco de baterias.

A definição dos equipamentos de medição e proteção da subestação depende da demanda geral de entrada. A norma estabelece que demandas inferiores a 300kVA a medição e proteção devem ser dispostas no lado de baixa tensão e demandas iguais ou superiores a 300kVA no lado de média tensão. Essa definição impacta na utilização ou não de determinados equipamentos, conforme as Figuras 17 e 18.

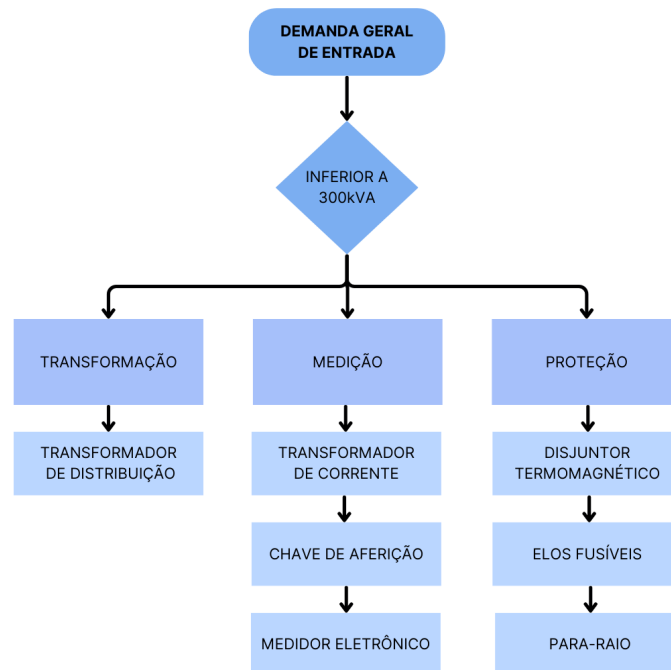
Figura 17 – Equipamentos da subestação com demanda igual ou superior a 300kVA.



Fonte: Autoria própria.

Conforme determinado pelos GED's, unidades consumidoras com demanda igual ou superior a 300kVA requerem maior nível de proteção e medição. Isto se deve ao fato de que, antes do posto de transformação, os níveis de tensão e corrente são superiores, exigindo, dessa forma, maior proteção das instalações e equipamentos. Do contrário, para demanda inferior a 300kVA a medição e proteção devem ser localizadas no lado de baixa tensão conforme a Figura 18.

Figura 18 – Equipamentos da subestação com demanda inferior a 300kVA.



Fonte: Autoria própria.

Neste tipo de instalação, há necessidade de um número menor de equipamentos de medição e proteção, já que os níveis de tensão e correntes são menores, comparados ao caso de medição e proteção do lado de média tensão. Além dos equipamentos que compõem a subestação, devem ser dimensionados ainda os ramais e barramentos que formam a instalação.

#### 4.3 Dimensionamento dos ramais e barramentos

Conforme a Figura 14, a próxima etapa da metodologia é o dimensionamento dos ramais e barramentos. Esses condutores devem ser de acordo com a demanda geral de entrada da unidade consumidora. Dessa forma, os condutores dimensionados devem atender o nível de demanda desta unidade, ou seja, devem suportar aos parâmetros elétricos, com propósito à continuidade da energia sem causar prejuízos aos equipamentos e unidade consumidora. Além disso, o projetista deve optar pelo material desses condutores, cobre ou alumínio e o tipo de barramento que irá utilizar, vergalhão ou tubo. Ademais, cada material deve ser escolhido conforme a necessidade de projeto, como o diâmetro do condutor, seção, ampacidade e no caso do barramento, o peso e o diâmetro. Esses fatores devem ser dimensionados atentamente, pois impactam no espaço útil da construção e no orçamento. Na próxima seção é apresentado o dimensionamento da cabine de alvenaria.

#### 4.4 Dimensionamento da cabine de alvenaria

A última etapa de projeto, conforme a Figura 14, é o dimensionamento da cabine de alvenaria, para os casos em que o transformador for abrigado. Para determinar as dimensões internas e totais de uma SE de alvenaria até dois transformadores, deve-se dimensionar o posto de transformação, medição e proteção. Para o posto de transformação com dois transformadores, ou seja, dois compartimentos, com base no Quadro 3.10, utilizam-se as seguintes características:

- Comprimento do primeiro transformador + 1000mm;
- Largura do primeiro transformador + 1000mm;
- Comprimento do segundo transformador + 1000mm.
- Largura do segundo transformador + 1000mm.

Após isso, já que o comprimento dos postos de transformação, medição e proteção é um único valor, considera-se o comprimento calculado do maior transformador.

Para o dimensionamento do posto de proteção utiliza-se:

- Comprimento do disjuntor + 1000mm;
- Largura do disjuntor + 1000mm;

Em que, um disjuntor de média tensão tem aproximadamente 700mm de largura e 900mm de comprimento. Mas, como o comprimento do posto é um único valor, do maior transformador, define-se este como o comprimento do posto de proteção. Para o posto de medição utiliza-se o espaço mínimo de 1600 mm de largura e o comprimento refere-se ao comprimento do maior transformador.

Por fim, somam-se as larguras dos postos de transformação, medição e proteção para a largura total da cabine. Para se determinar o comprimento (profundidade) da cabine, utiliza-se o valor do comprimento do maior posto de transformação mais 1200mm, valor definido para que seja possível realizar manobras dentro da cabine.

Para definir a altura da cabine utiliza-se a equação 15.

$$H_{SE} = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5. \quad (15)$$

Em que:

$H_{SE}$  = altura total da subestação (mm);

$H_1$  = altura do maior transformador (mm);

$H_2$  = 200 mm ou 250mm (valor que permite a curvatura do barramento), depende do valor tabelado do transformador;

$$H_3 = 600\text{mm};$$

$$H_4 = 250\text{mm};$$

$H_5 = 160\text{mm}$  (para tensão de operação 13,8kV e 23,1kV) ou 270mm para tensão de operação de 34,5kV.

Dessa forma, obtém-se o dimensionamento da cabine de alvenaria.

#### **4.5 Considerações finais do capítulo**

A metodologia desenvolvida e apresentada neste capítulo, promove um maior entendimento de todos os passos que devem ser realizados para o dimensionamento de uma subestação de média tensão. Através das etapas, o projetista insere os dados gerais de entrada e a ferramenta dimensiona automaticamente os equipamentos, ramais e barramentos necessários para o projeto. Além disso, para os casos em que o projetista projetar o uso de cabine de alvenaria, pode ser realizado o dimensionamento conforme os equipamentos utilizados na subestação.

Através disso, a metodologia foi realizada por etapas de forma com que o projetista, sendo ele, engenheiro ou estudante de engenharia, tenha a capacidade de realizar um projeto de subestação de média tensão de forma intuitiva e otimizada.

## 5 AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA E ESTUDOS DE CASO

Para validação da metodologia proposta e da ferramenta desenvolvida, são apresentados a avaliação da ferramenta pela turma de engenharia elétrica durante o processo de desenvolvimento da mesma e 2 estudos de caso. O primeiro estudo de caso visa o dimensionamento de uma subestação de 112,5 kVA e o segundo estudo de caso dimensiona uma subestação de 500kVA, ambos na ferramenta para comparar os resultados com um projeto já existente e implementado.

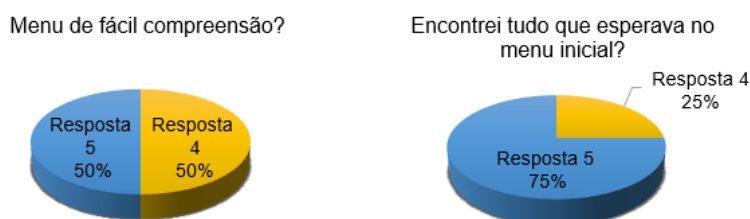
### 5.1 Avaliação da ferramenta

O propósito deste recurso é avaliar a aplicabilidade da ferramenta em ambiente de ensino de engenharia elétrica. Neste sentido, um formulário foi elaborado e aplicado para captar a percepção dos alunos sobre a ferramenta.

O formulário visa a avaliação de cada etapa de elaboração do projeto na ferramenta, quanto sua didática, clareza, layout e funcionalidade. Para que, dessa forma, sobre o olhar do aluno, fosse obtido um feedback quanto a aplicabilidade desta metodologia no ambiente de ensino. Nesse sentido, a ferramenta foi disponibilizada em uma aula prática de dimensionamento de subestações de média tensão, para uma turma de alunos da disciplina de Instalações Elétricas, do curso de Engenharia Elétrica. Vale ressaltar que a ferramenta foi aplicada quando estava em processo de desenvolvimento e para isso utilizou-se a avaliação para melhoramento da versão final.

A metodologia baseou-se no aluno utilizar a ferramenta sem instruções previamente informadas pelo professor. Para que, através da metodologia adotada, o aluno pudesse ou não, realizar o projeto da subestação de maneira prática e sem auxílio. Ao final dos exercícios práticos foi disponibilizado o questionário com 18 perguntas. Dentre essas, perguntas, avaliações, críticas e/ou sugestões visando-se o aperfeiçoamento da ferramenta. A avaliação considerou notas de 1 a 5, sendo 1 a nota mais baixa e 5 a mais alta. A Figura 19 questiona sobre a primeira tela da ferramenta.

Figura 19 – Respostas para os questionamentos sobre a primeira tela.

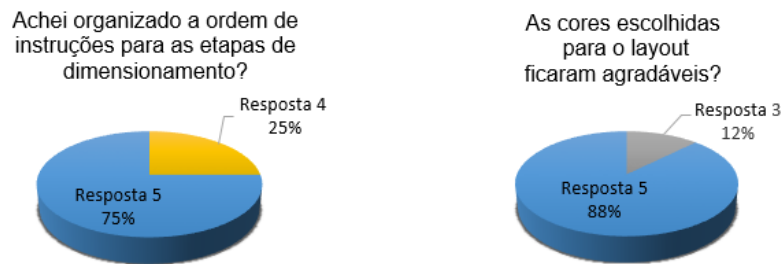


Fonte: Autoria própria.



De acordo com as avaliações, pode-se notar que o primeiro contato com a ferramenta foi considerado satisfatória e de fácil entendimento. O menu inicial é importante para identificar as etapas de dimensionamento do projeto que serão realizadas. A Figura 20 tem como objetivo avaliar a organização e layout da tela inicial.

Figura 20 – Respostas sobre a primeira tela da ferramenta.



Fonte: Autoria própria.

Através da Figura 20, identifica-se que houve uma avaliação satisfatória para o modo geral de exibição do menu inicial. O layout da ferramenta e organização colabora para o melhor entendimento e visualização das informações. Já na Figura 21, os alunos avaliaram de modo geral a tela inicial.

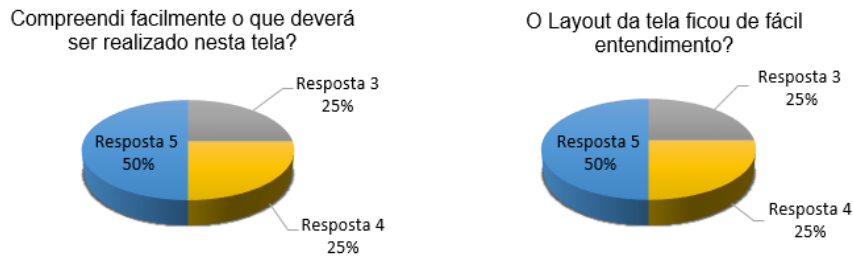
Figura 21 – Nota para a primeira tela.



Fonte: Autoria própria.

A avaliação total para a tela inicial da ferramenta foi considerada satisfatória, visto que, de maneira geral, as avaliações de didática, compreensão, organização e layout do menu foram muito boas também. A Figura 22 apresenta as avaliações de acordo com a segunda tela da ferramenta denominada “levantamento de carga”.

Figura 22 – Respostas sobre a segunda tela.

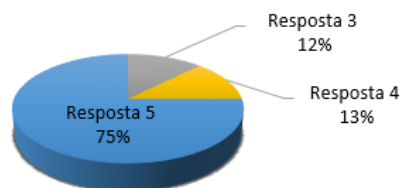


Fonte: Autoria própria.

De acordo com a Figura 22, observa-se avaliações boas e muito boas, o que sugere que pode ser aprimorado ainda mais essa tela. A Figura 23 questiona o aluno sobre o que esperar sobre o processo seguinte da elaboração do projeto.

Figura 23 – Respostas para os questionamentos sobre a segunda tela.

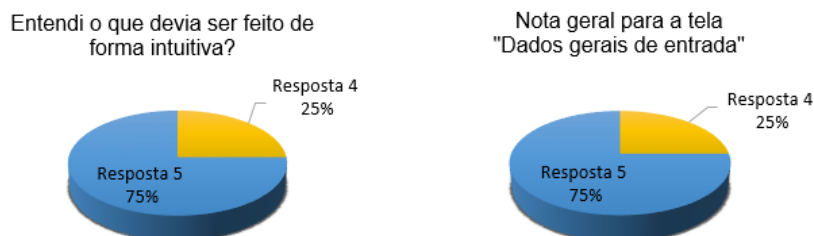
Após gerar o dado de "Demanda geral de entrada" é intuitivo sobre o que esperar da próxima etapa?



Fonte: Autoria própria.

Através da Figura 23, nota-se que, as etapas da segunda tela foram claras suficientemente a ponto de o aluno identificar intuitivamente os próximos passos a serem declarados na ferramenta. Isto sugere que, de maneira geral, a abordagem didática da segunda tela foi satisfatória para ensino. A Figura 24 apresenta as avaliações de acordo com a pergunta: Para a terceira tela denominada dados gerais de entrada.

Figura 24 – Respostas sobre a terceira tela.

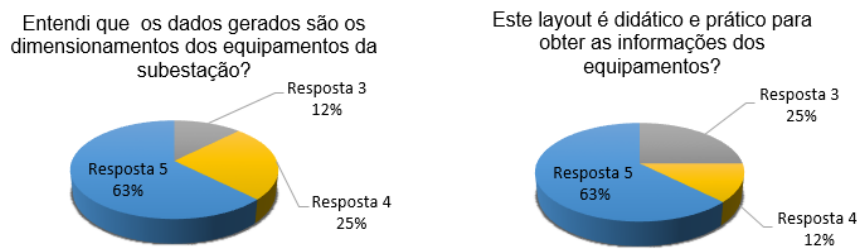


Fonte: Autoria própria.

Os resultados identificados através da Figura 24 sugere que, um dos menus mais importantes de inserção de dados foi de fácil entendimento. Neste sentido, reduz-se o risco

de erros nos projetos por falta de informações nos dados de entrada do dimensionamento da subestação, o que torna a ferramenta e o projeto dimensionado confiável. A Figura 25 apresenta as avaliações de acordo com a quarta tela, com a pergunta: para a tela denominada dimensionamento dos equipamentos.

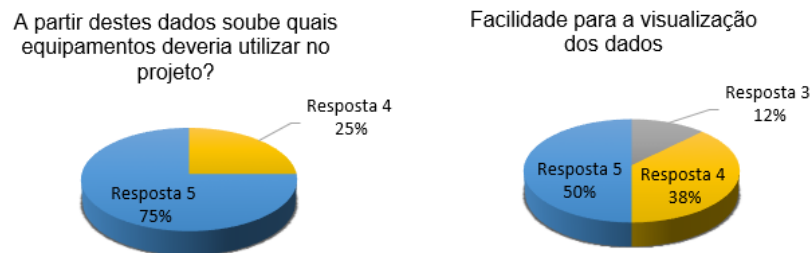
Figura 25 – Respostas sobre a quarta tela.



Fonte: Autoria própria.

A quarta tela da ferramenta dimensiona automaticamente os equipamentos da subestação. Neste sentido, a tela deve ser clara e de fácil entendimento para que os dados dos equipamentos sejam identificados corretamente. De acordo com a Figura 25, a avaliação foi satisfatória, porém, algumas avaliações sugerem, ainda, maior aprimoramento no layout. A Figura 26 complementa a avaliação da quarta tela de dimensionamento dos equipamentos.

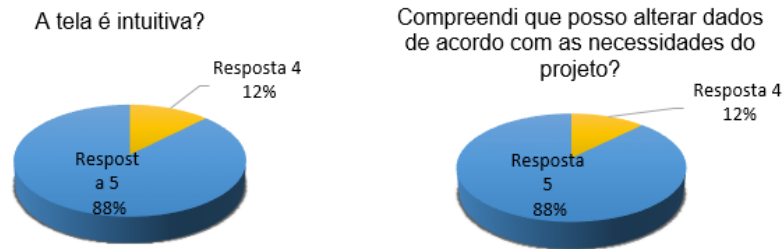
Figura 26 – Respostas dos questionamentos sobre a quinta tela.



Fonte: Autoria própria.

Quanto a facilidade para identificar os equipamentos necessários para o projeto, houve avaliação positiva, de acordo com a Figura 26. Porém, requer aprimoramento na visualização dos dados. A Figura 27 apresenta as avaliações de acordo com a pergunta: sobre a quinta tela denominada ramais e barramentos.

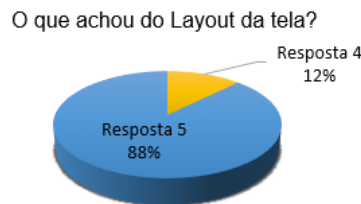
Figura 27 – Respostas sobre a quinta tela.



Fonte: Autoria própria.

A quinta tela denominada ramais e barramentos foi considerada intuitiva, de fácil entendimento e configuração dos dados, conforme a Figura 27. Este processo do dimensionamento é importante, pois o projetista decide quais tipos de materiais e diâmetros dos condutores serão utilizados para atender a demanda elétrica do projeto. A Figura 28 questiona o aluno sobre a forma visual da página.

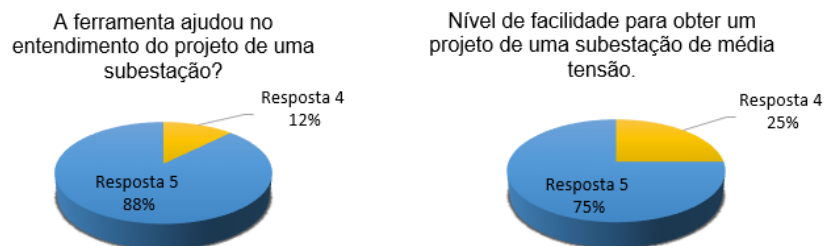
Figura 28 – Respostas sobre a quinta tela da ferramenta.



Fonte: Autoria própria.

Segundo os dados apresentados na Figura 28, o layout da tela de ramais e barramentos foi satisfatória. Sendo assim, a boa visualização dos dados contribui para a correta escolha das opções de condutores oferecidas ao projetista, além de maior conforto visual. As Figuras 29 e 30 reúnem informações gerais sobre a ferramenta.

Figura 29 – Respostas sobre a ferramenta em geral.



Fonte: Autoria própria.

De modo geral, através da Figura 29, pode-se entender que a metodologia utilizada

na elaboração da ferramenta ajuda no processo de aprendizagem dos alunos de graduação. A Figura 30 demonstra se o aluno considera a ferramenta aplicável a um ambiente de ensino.

Figura 30 – Respostas sobre a ferramenta de modo geral.

Aplicabilidade da ferramenta a um ambiente de ensino.



Fonte: Autoria própria.

Através da percepção da turma de Instalações Elétricas, a ferramenta é aplicável a um ambiente de ensino. Com isso, considera-se que a ferramenta contribuirá muito para melhor fixação do conteúdo e visualização.

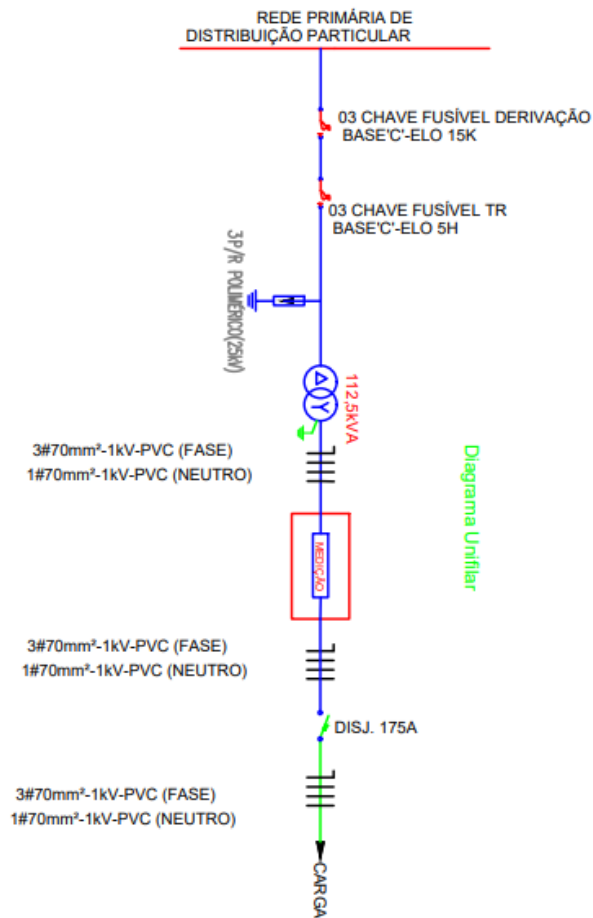
Por fim, foi disponibilizado uma pergunta no qual o aluno pode marcar diante das alternativas as que mais caracterizavam as justificativas para a utilização ou não utilização da ferramenta. As justificativas com maiores índices de marcação foram envolvendo a redução no tempo de elaboração dos projetos, facilidade, praticidade, didática e confiabilidade. Com isso, conclui-se que, o objetivo principal do desenvolvimento deste trabalho foi atingido, pois os usuários da ferramenta identificaram os benefícios da utilização da mesma de acordo com as necessidades do projeto.

O objetivo final da realização deste questionário foi obter um feedback dos usuários quanto a ferramenta desenvolvida. Além disso, captar sugestões e críticas para o aperfeiçoamento desta metodologia a fim de, melhorar o processo de ensino e aprendizado em projetos de subestações de média tensão.

## 5.2 Estudo de Caso 1

Para o estudo de caso 1, foi dimensionado na ferramenta uma SE com dados de entrada de um projeto real. Para este estudo de caso foi considerado um projeto de 112,5kVA com medição e proteção no lado de baixa tensão, já executado por Engenheiro Eletricista. A Figura 31 apresenta o diagrama unifilar do projeto da subestação de média tensão.

Figura 31 – Diagrama unifilar de subestação de 112,5kVA



Fonte: Projeto cedido.

Para o dimensionamento deste projeto de subestação de unidade consumidora foram considerados os seguintes dados de entrada:

- Demanda geral de entrada: 112,5kVA
- Tensão Nominal: 25kV
- Tensão de Operação: 23,1kV
- Corrente de curto-circuito: 10kA

Através dos dados de entrada foi possível realizar o dimensionamento da subestação consumidora na ferramenta. A Figura 32 apresenta a tela da ferramenta referente a inserção dos dados de levantamento de carga para encontrar a demanda geral de entrada da unidade consumidora.

Figura 32 – Ferramenta- Levantamento de carga

**PASSO 1**

**LEVANTAMENTO DE CARGA**

**ILUMINAÇÃO**  

POTÊNCIA TOTAL	UNIDADE
0	VA

**APARELHOS**  

POTÊNCIA TOTAL	UNIDADE
0	VA

**TOMADAS**  

POTÊNCIA TOTAL	UNIDADE
0	VA

**APAR. ESPECIAIS**  

POTÊNCIA TOTAL	UNIDADE
0	VA

**MOTORES**  

POTÊNCIA TOTAL	UNIDADE
0	VA

SE VOCÊ TIVER OS DADOS DETALHADOS (DADOS FINAIS JÁ CALCULADOS COM O FATOR DE DEMANDA), ADICIONE EM SEUS RESPECTIVOS ESPAÇOS. A FERRAMENTA IRÁ CALCULAR A DEMANDA GERAL DE ENTRADA DE FORMA AUTOMÁTICA.

**PASSO 2**

(SE NÃO VOCÊ NÃO TIVER OS DADOS DETALHADOS ADICIONE A DEMANDA DIRETO AQUI)

112500	VA
--------	----

\*Neste caso, você deve zerar as potências dos equipamentos

**PASSO 3**

**DEMANDA GERAL DE ENTRADA DA UNIDADE CONSUMIDORA**

112500	VA
--------	----

Fonte: Autoria Própria

Para este caso, a Figura 32 demonstra a inserção da demanda de entrada de forma direta, pois não há informação dos dados de levantamento de carga da unidade consumidora. Dessa forma, a unidade consumidora possui 112,5kVA de demanda geral de entrada. A próxima etapa do dimensionamento é apresentada na Figura 33.

Figura 33 – Ferramenta- Dados gerais de entrada

**DADOS DE ENTRADA**

TENSÃO DE OPERAÇÃO: 23100 V

TENSÃO NOMINAL: 25000 V

CORRENTE NOMINAL: 170,93 A

DEMANDA GERAL: 112500 VA

CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO: 10000 A

CORRENTE NOMINAL PRIMÁRIA: 500 A

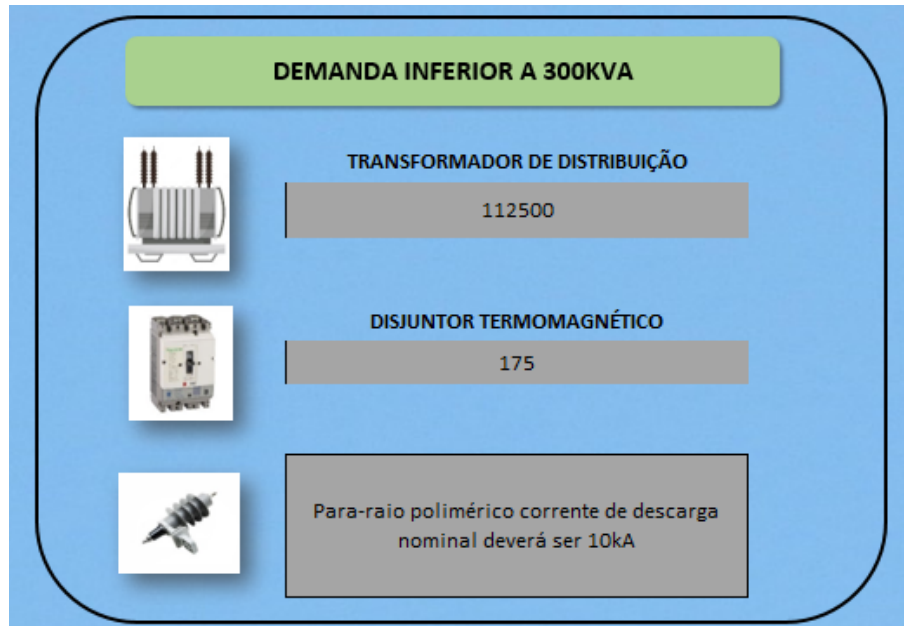
A TENSÃO NOMINAL DEPENDE DA DISPONIBILIDADE DE ALIMENTADORES DA SUBESTAÇÃO ( DE DISTRIBUIÇÃO) QUE ATENDE A CONCESSIONÁRIA

A CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO É FORNECIDA PELA CONCESSIONÁRIA

Fonte: Autoria Própria

Para esta etapa do dimensionamento na ferramenta demonstrada na Figura 33, é inserido os dados gerais de entrada conforme o projeto disponibilizado. Na próxima etapa, a ferramenta gera automaticamente os dados dos equipamentos necessários para a subestação.

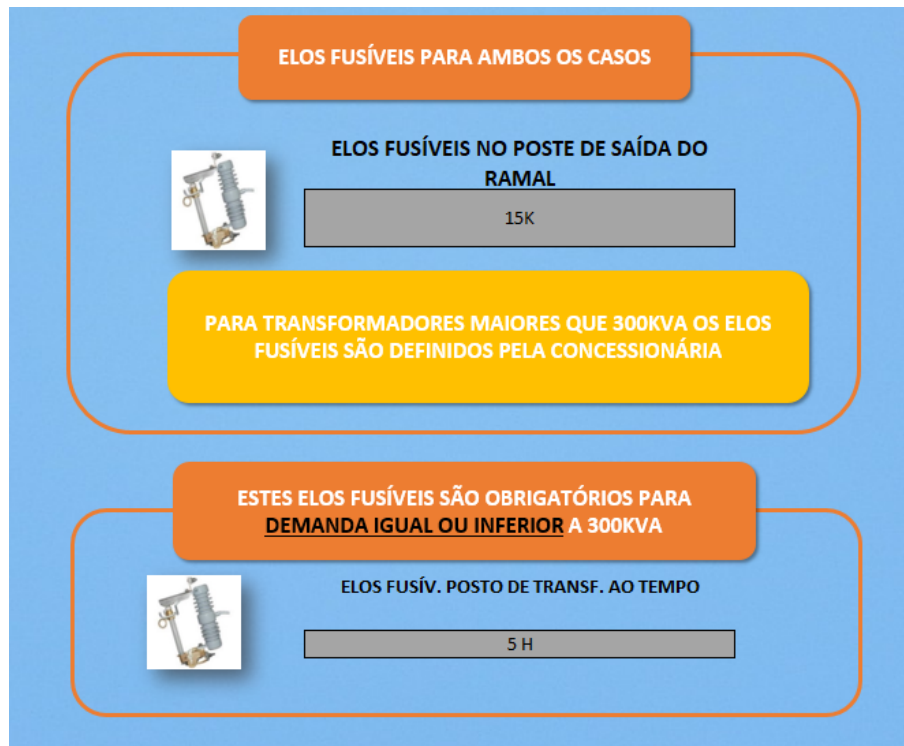
Figura 34 – Ferramenta- Dimensionamento dos equipamentos.



Fonte: Autoria Própria

Conforme a Figura 34 apresenta, para demanda inferior a 300kVA, neste caso 112,5kVA, utiliza-se o transformador de distribuição, disjuntor termomagnético e para-raio. Além disso, é definido os elos fusíveis, conforme a Figura 35.

Figura 35 – Ferramenta- Dimensionamento dos equipamentos- Elos fusíveis

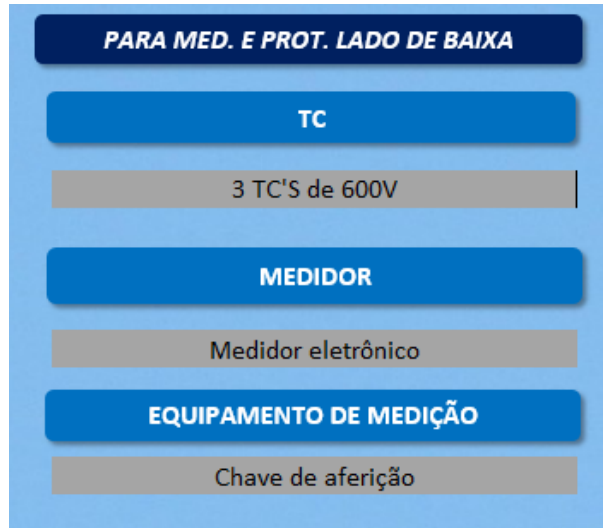


Fonte: Autoria Própria



A Figura 35 dimensiona os elos fusíveis da saída do ramal e para o posto de transformação ao tempo que deverão ser utilizados no projeto. Além desses equipamentos, terão de ser utilizados outros equipamentos de medição e proteção já estipulado pela norma, conforme a Figura 36.

Figura 36 – Ferramenta- Equipamentos previstos pela norma



Fonte: Autoria Própria

Serão utilizados transformadores de corrente, medidores e chave de aferição, de acordo com a Figura 36. Além disso, são dimensionados os ramais de entrada, como apresenta a Figura 37.

Figura 37 – Ferramenta- Ramais e barramentos



Fonte: Autoria Própria

Para o dimensionamento dos ramais de entrada deve ser escolhido pelo projetista a entrada aérea ou entrada subterrânea, conforme a Figura 37. Para este caso, o ramal utilizado no projeto já existente foi o ramal aéreo. Além disso, a ferramenta disponibiliza o dimensionamento da cabine de alvenaria, mas neste caso não será necessário, pois o

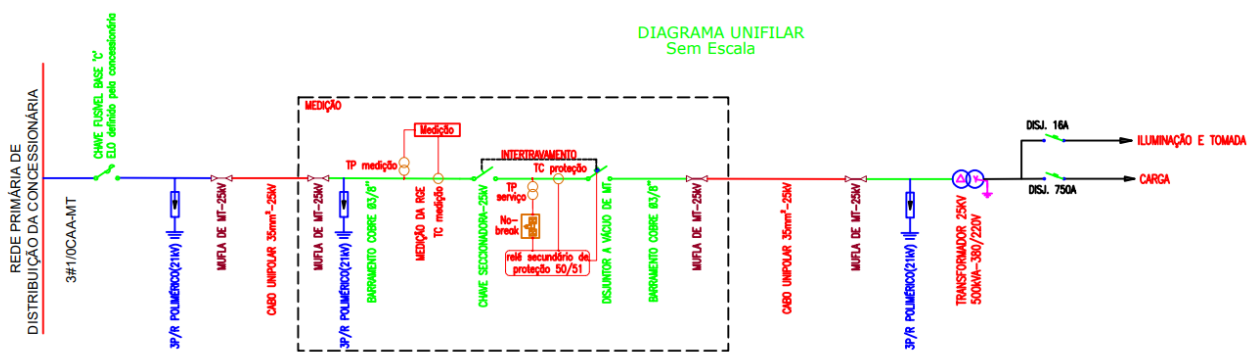
transformador foi instalado em poste de concreto e o restante dos equipamentos em uma caixa de medição.

Ao comparar os dados do diagrama unifilar da Figura 31 e os dados do dimensionamento da subestação gerados pela ferramenta, percebe-se que os dados estão de acordo. Desta forma, a ferramenta desenvolvida neste trabalho pode ser utilizada para dimensionamentos de subestações de média tensão para demandas inferiores a 300kVA em ambiente prático de trabalho. No próximo estudo de caso a ferramenta é testada para demandas iguais e superiores a 300kVA.

### 5.3 Estudo de caso 2

Para o segundo caso foi dimensionado uma subestação de 500kVA com medição e proteção no lado de média tensão. A Figura 38 apresenta o diagrama unifilar de um projeto já realizado e implementado.

Figura 38 – Diagrama unifilar de subestação de 500kVA.



Fonte: Projeto cedido.

Para o dimensionamento deste projeto de subestação de unidade consumidora foram considerados os seguintes dados de entrada:

- Demanda geral de entrada: 500kVA
- Tensão Nominal: 25kV
- Tensão de Operação: 23,1kV
- Corrente de curto-circuito: 10kA

Através dos dados de entrada foi possível realizar o dimensionamento da subestação consumidora de 500kVA na ferramenta. A Figura 39 apresenta a tela da para levantamento de carga.

Figura 39 – Ferramenta- Levantamento de carga da unidade consumidora.

**PASSO 1**

**LEVANTAMENTO DE CARGA**

**ILUMINAÇÃO**  

POTÊNCIA TOTAL	UNIDADE
0	VA

**APARELHOS**  

POTÊNCIA TOTAL	UNIDADE
0	VA

**TOMADAS**  

POTÊNCIA TOTAL	UNIDADE
0	VA

**APAR. ESPECIAIS**  

POTÊNCIA TOTAL	UNIDADE
0	VA

**MOTORES**  

POTÊNCIA TOTAL	UNIDADE
0	VA

SE VOCÊ TIVER OS DADOS DETALHADOS (DADOS FINAIS JÁ CALCULADOS COM O FATOR DE DEMANDA) , ADICIONE EM SEUS RESPECTIVOS ESPAÇOS. A FERRAMENTA IRÁ CALCULAR A DEMANDA GERAL DE ENTRADA DE FORMA AUTOMÁTICA.

**PASSO 2**

(SE NÃO VOCÊ NÃO TIVER OS DADOS DETALHADOS ADICIONE A DEMANDA DIRETO AQUI)

500000	VA
--------	----

\*Neste caso, você deve zerar as potências dos equipamentos

**PASSO 3**

**DEMANDA GERAL DE ENTRADA DA UNIDADE CONSUMIDORA**

500000	VA
--------	----

Fonte: Autoria Própria

Como não há informações sobre o levantamento de carga detalhado da unidade consumidora, adiciona-se na ferramenta o dado de demanda geral de forma direta, conforme a Figura 39. Após isso, na próxima etapa é inserido os dados gerais de entrada como apresentado na Figura 40.

Figura 40 – Ferramenta- Inserção dos dados gerais de entrada.

**DADOS DE ENTRADA**

**TENSÃO DE OPERAÇÃO** 23100 V

**TENSÃO NOMINAL** 25000 V

**CORRENTE NOMINAL** 0,00 A

**DEMANDA GERAL** 500000 VA

**CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO** 10000 A

**CORRENTE NOMINAL PRIMÁRIA** 500 A

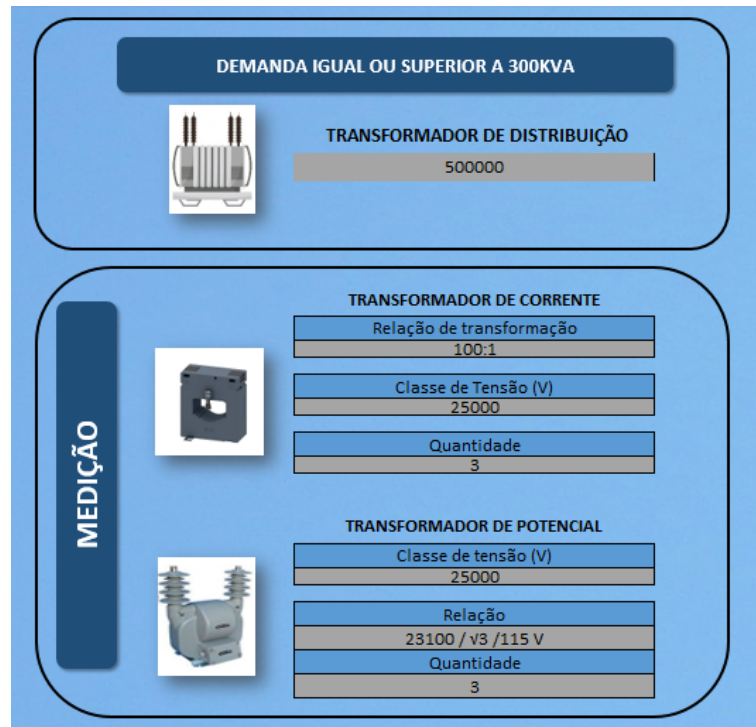
A TENSÃO NOMINAL DEPENDE DA DISPONIBILIDADE DE ALIMENTADORES DA SUBESTAÇÃO ( DE DISTRIBUIÇÃO) QUE ATENDE A CONCESSIONÁRIA

A CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO É FORNECIDA PELA CONCESSIONÁRIA

Fonte: Autoria Própria

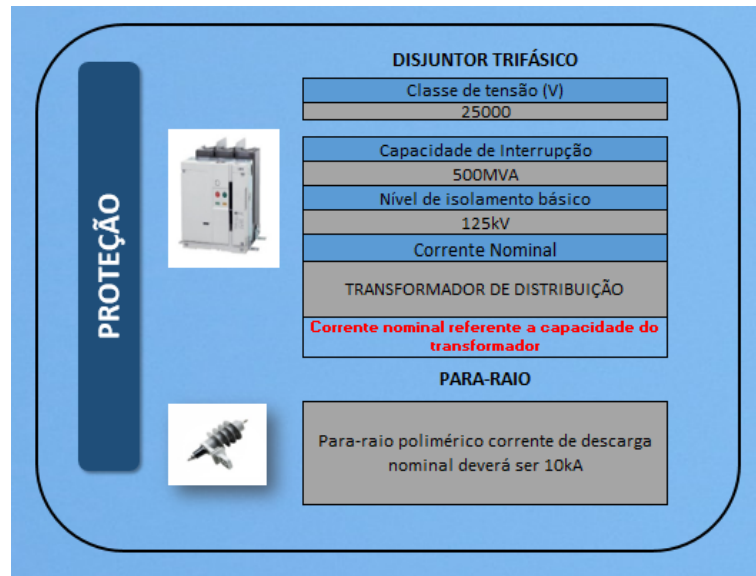
Após a inserção de dados a ferramenta gera automaticamente os dados dos equipamentos a serem utilizados neste projeto conforme as Figuras 41 e 42.

Figura 41 – Ferramenta- Dimensionamento dos equipamentos de transformação e medição.



Fonte: Autoria Própria

Figura 42 – Ferramenta- Dimensionamento dos equipamentos de proteção.

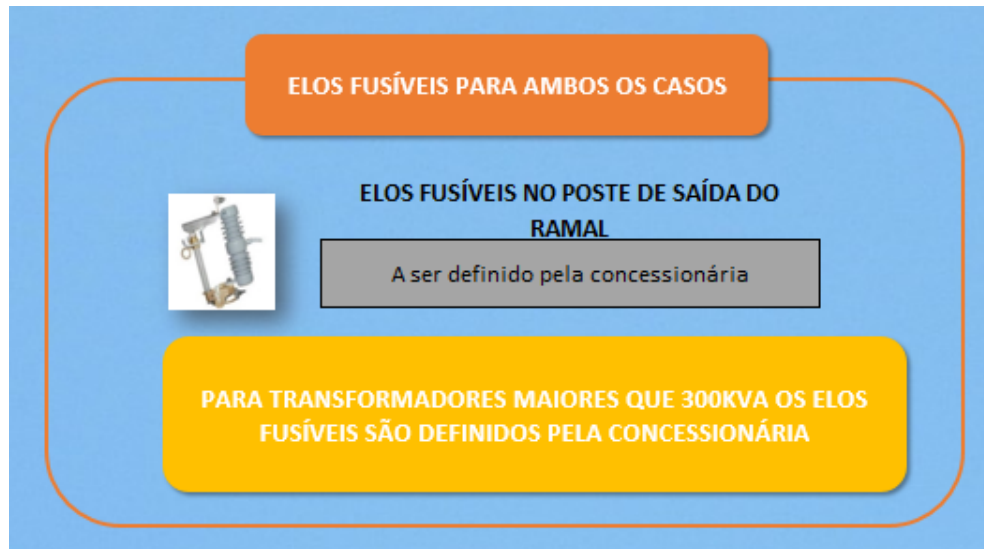


Fonte: Autoria Própria

Como apresentado nas Figuras 41 e 42 a ferramenta disponibiliza dados detalhados dos equipamentos para que os projetistas tenham referência para a compra do equipamento com os parâmetros corretos. Estas informações extras não são apresentadas nos

diagramas unifilares. Ainda nesta etapa, conforme a Figura 43 são dimensionados os elos fusíveis.

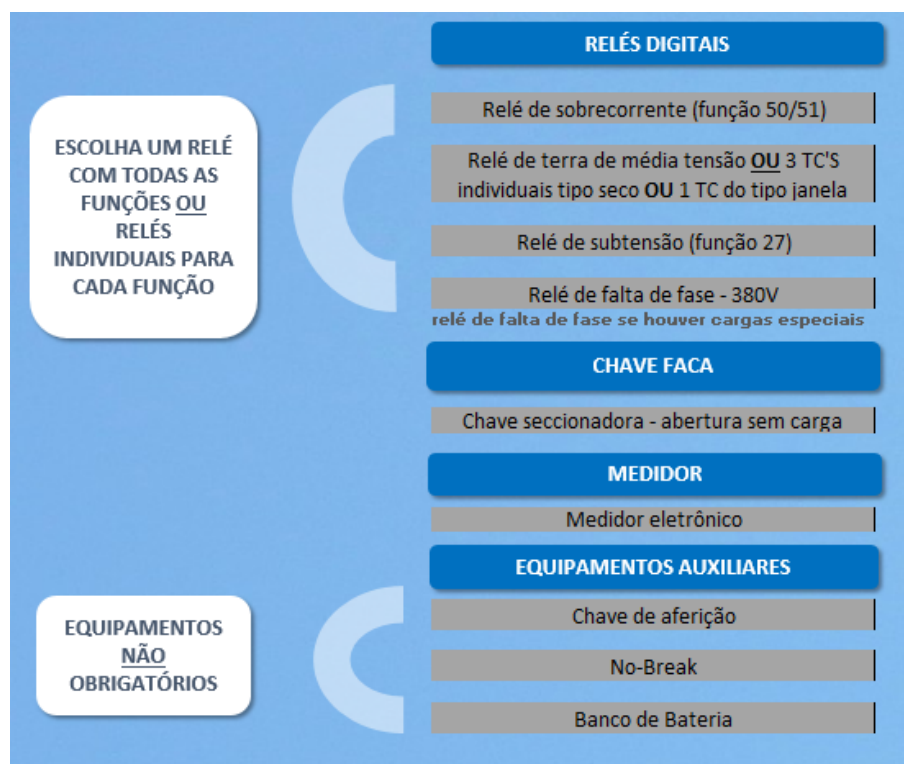
Figura 43 – Ferramenta- Dimensionamento dos elos Fusíveis.



Fonte: Autoria Própria

Como apresentado na Figura 43, demandas superiores a 300kVA os elos fusíveis são definidos pela concessionária. Na sequência, a Figura 44 apresenta os demais equipamentos previstos pela norma.

Figura 44 – Ferramenta- Dimensionamento dos equipamentos previstos pela norma.



Fonte: Autoria Própria

A norma estabelece a utilização de alguns equipamentos já pré-dimensionados e outros como equipamentos auxiliares, ou seja, depende da escolha do projetista a utilização destes, conforme a Figura 44. A Figura 45 apresenta o dimensionamento dos ramais e barramentos.

Figura 45 – Ferramenta- Dimensionamento dos ramais e barramentos.

**RAMAIS DE LIGAÇÃO**

UTILIZAR RAMAIS AÉREOS PARA DEMANDAS INFERIORES, IGUAIS E SUPERIORES A 300kVA.

DEMANDAS SUPERIORES A 300kVA PODE UTILIZAR RAMAL AÉREO OU SUBTERRÂNEO

**CABO COBERTO - RAMAL DE LIGAÇÃO AÉREO**  
10AWGCA 70 mm<sup>2</sup>

**CABO - COBRE NU - RAMAL DE LIGAÇÃO AÉREO**  
cabo 35 [16]

**RAMAL SUBTERRÂNEO**

Cobre

SEÇÃO (mm)  
50

AMPACIDADE  
137

Diâmetro mínimo do duto no poste (pol)  
4

Diâmetro interno mínimo do duto  
103

**BARRAMENTO DE USO INTERNO**

VERGALHÃO

Cobre

φ (mm)  
5,16

TUBO

Cobre

φ (mm)  
0,25

PARA DEMANDAS IGUAIS OU SUPERIORES A 300kVA

ESCOLHA VERGALHÃO OU TUBO

- IPS ↓ : φ externo de 13,7mm com seção útil de 76,5mm<sup>2</sup> e parede de 2,10mm.
- IPS ↓ : φ externo de 17,2mm com seção útil de 107mm<sup>2</sup> e parede de 2,28mm.
- IPS ↓ : φ externo de 21,3mm com seção útil de 160mm<sup>2</sup> e parede de 2,74mm.

Fonte: Autoria Própria

Para este projeto, o ramal de ligação escolhido foi o aéreo. Como mostra a Figura 45 o barramento de uso interno pode ser do tipo vergalhão ou tubo e é definido pelo projetista. Mas, neste caso, não possui esta informação no projeto disponibilizado. Por fim, através da Figura 46, define-se o dimensionamento da cabine de alvenaria.

Figura 46 – Ferramenta- Dimensionamento da cabine de alvenaria.

**DIMENSIONAMENTO DA CABINE DE ALVENARIA**

POTÊNCIA DO MAIOR TRANSFORMADOR  
500000

POTÊNCIA DO MENOR TRANSFORMADOR  
0

DIMENSÕES DO POSTO DE TRANSFORMAÇÃO

DIMENSÕES DO POSTO DE MEDIÇÃO

DIMENSÕES DO POSTO DE PROTEÇÃO

LARGURA TRANSF.  
1250

LARGURA TRANSF.  
0

LARGURA  
2250

LARGURA  
1600

LARGURA  
1700

COMPRIMENTO TRANSF.  
2000

COMPRIMENTO TRANSF.  
0

COMPRIMENTO  
3000

COMPRIMENTO  
3000

COMPRIMENTO  
3000

ALTURA TRANSF.  
1485

**DIMENSÃO DA CABINE DE ALVENARIA**

LARGURA (m)  
6,800

COMPRIMENTO (m)  
4,200

ALTURA (m)  
2,495

Fonte: Autoria Própria

Para este projeto, o dimensionamento provável da cabine de alvenaria é de 6,8m x4,2m x2,495m, de acordo com a Figura 46. Com o dimensionamento da subestação de 500kVA pela ferramenta, pode-se comparar com o projeto executado apresentado na Figura 38.

Ao comparar os dois dimensionamentos percebe-se que, os valores apresentados no diagrama unifilar coincidem com o dimensionamento da ferramenta. Porém, muitos detalhes de equipamentos, ramais e cabine são apresentados detalhadamente na ferramenta, mas não são apresentados no diagrama unifilar. Com isso, conclui-se que a ferramenta pode ser utilizada para dimensionamento de subestações consumidoras para demandas iguais e superiores a 300kVA em ambiente prático de trabalho, já que possui todos os parâmetros de dimensionamento definidos pela norma da concessionária CPFL-Energia.

#### **5.4 Considerações finais**

Através dos estudos de casos foi possível obter um feedback positivo para a aplicabilidade da ferramenta em ambiente prático de trabalho e de ensino em sala de aula. A linguagem simples, layout de fácil visualização e inserção de dados permite que a ferramenta seja um importante recurso de auxílio para o projetista na elaboração de projetos. Já que é possível, a partir dos dados gerais de entrada obter o dimensionamento automático de todos os equipamentos necessários para uma subestação de média tensão. Dessa forma, otimiza o tempo na elaboração dos projetos e, em sala de aula, permite que o aluno compreenda todas as etapas para desenvolver um projeto.

## 6 CONCLUSÃO

As subestações desenvolvem papel crucial no Sistema Elétrico de Potência. Através delas, podem ser modificados os parâmetros elétricos de acordo com a sua função na rede. Nas unidades consumidoras, as subestações são responsáveis por transformar a energia de tensão primária das redes de distribuição para níveis correspondentes as cargas da unidade. Nesse sentido, o emprego de subestações de média tensão são indispensáveis para atender os consumidores com elevadas demandas de cargas. O conjunto de equipamentos das SE's realizam além da transformação, a medição e a proteção. Com esse sistema, as SE's atendem todas as necessidades de cargas das unidades bem como, fornecem segurança e maior confiabilidade na entrega de energia elétrica.

A metodologia adotada neste trabalho foi aplicada a uma ferramenta computacional para implementação ou expansão de subestação de unidade consumidora, segundo as normas da Concessionária Paulista de Força e Luz (CPFL- Energia). A ferramenta foi desenvolvida através do programa de planilhas Excel no qual possibilitou o dimensionamento de forma automatizada de todos os equipamentos necessários para o desenvolvimento de um projeto de subestação de média tensão como: transformador de distribuição, transformador de corrente e potencial, chaves seccionadoras, para-raios, disjuntores, relés, chaves fusíveis e equipamentos auxiliares. Além disso, para os casos em que o transformador é instalado em postos abrigados, a ferramenta proporciona o dimensionamento da cabine de alvenaria.

A escolha dos equipamentos tem como parâmetro os dados gerais de entrada da subestação: tensão nominal, tensão de operação, corrente nominal, corrente de curto-circuito, corrente nominal primária e a demanda geral de entrada da unidade consumidora. Através destes dados a ferramenta retorna o dimensionamento da subestação por etapas, com a possibilidade de escolha de determinados parâmetros. Dessa forma, permite ao projetista a melhor compreensão, visualização e manipulação dos dados dentro da ferramenta.

Através da metodologia adotada, a ferramenta desenvolvida proporcionou resultados positivos e confiáveis. Demonstrando a validação dos dados através da comparação com projetos de subestações já existentes, tanto para demandas inferiores, iguais ou superiores a 300kVA. Ademais, desempenha papel importante como ferramenta de auxílio e aprendizado em ambientes de ensino em sala de aula. De linguagem simples e didática proporciona aos alunos de engenharia a experiência de realizar um projeto de subestação de média tensão passo a passo de acordo com projetos reais. Com isso, a ferramenta possibilita um ambiente otimizado e prático para o projetista sendo ele, engenheiro ou estudante de engenharia. Por fim, considera-se que os objetivos iniciais deste trabalho foram concluídos de forma satisfatória.



## **6.1 Sugestões para trabalhos futuros**

A fim de tornar este trabalho mais completo, como sugestão de trabalhos futuros têm-se:

- Inserir os demais acessórios secundários utilizados na subestação;
- Criar o dimensionamento de postes, cabines metálicas blindadas e plataformas;
- Inserir banco de dados de fabricantes dos equipamentos;
- Criar um memorial descritivo automático;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A cabine. *Para Raio Polimérico 15 Kv*. A.Cabine, 2023. Disponível em: <<https://www.acabine.com.br/para-raio-polimerico-15-kv>>.

ANGST, C. F. M. **Desenvolvimento de ferramenta de apoio para orçamento e dimensionamento de subestações de energia elétrica em média tensão**. 2019. 67 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santo Ângelo, 2019. Acesso em 10 jan. 2023.

ATS Elétrica. **Chave fusível**. ATS Elétrica, 2023. Disponível em: <<http://www.atseletrica.com.br/chave-fusivel.php>>.

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. [S.l.]: AMGH editora, 2013.

CPFL. **Fornecimento em Tensão Primária 15kV, 25kV e 34,5kV- Volume 1**. CPFL energia, 2022. Acesso em 18 dez. 2022. Disponível em: <<https://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-2855.pdf>>.

CPFL Energia. **Conexo aos Sistemas Elétricos de Subtransmissão da CPFL: Versão futura**. CPFL energia, 2021. Acesso em 16 jan. 2023. Disponível em: <<https://bityli.com/1NsxJ>>.

CPFL ENERGIA. **Fornecimento de Energia Elétrica a Edifícios de uso Coletivo**. CPFL Energia, 2021. Acesso em 1 jan. 2023. Disponível em: <<https://bityli.com/830Fi>>.

CPFL Energia. **Fornecimento em Tensão Primária 15kV, 25kV e 34,5kV- Volume 4.1 - desenhos**. CPFL energia, 2022. Acesso em 10 jan. 2023. Disponível em: <<https://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-2859.pdf>>.

CPFL-energia. **Fornecimento em Tensão Primária 15kV, 25kV e 34,5kV- Volume 2 - tabelas**. CPFL energia, 2023. Acesso em 1 jan. 2023. Disponível em: <<https://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-2856.pdf>>.

FRANÇA, R. de C. **Projeto de modernização de subestação consumidora**. 2012. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

GONÇALVES, J. P. L. **Estudo do Projecto Eléctrico de uma Subestação Elevadora**. 2017. 158 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2017.

HELDT, V. **Análise de atividades de montagem em subestações de transmissão de energia elétrica de alta tensão**. 2016. 49 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2016.

Maria Sabrina Pereira. **Transformador de corrente (TC)**. Ensinando Elétrica, 2016. Acesso em 10 jan. 2023. Disponível em: <<https://ensinandoelettrica.blogspot.com/2016/03/transformador-de-corrente-tc.html>>.

MENDES, D. C. V. P. **Subestações: guia de projeto e estudo de caso**. 2018. 102 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Federal do Ceará Centro de Tecnologia, Fortaleza, 2018.

Ministério de Minas e Energia. **ANEEL sinaliza novo recorde para expansão da geração em 2023**: Expansão, se alcançada, será a maior já verificada no Brasil desde a fundação da ANEEL em 1997. 2023. Acesso em 15 jan. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-sinaliza-novo-recorde-para-expansao-da-geracao-em-2023>>.

MUZY, G. L. C. de O. **Subestações elétricas**. 2012. 122 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

OLIVEIRA, N. C. S. **Projeto de subestação para conexão de usina de minigeração distribuída em sistema de média tensão**. 2022. 188 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

Plenobras. **Relé de proteção**. Plenobras, 2023. Acesso em 16 jan. 2023. Disponível em: <<https://bityli.com/b5gBG>>.

Rehtom Eletromecânica. **Transformador de potencial**. Rehtom Eletromecânica, 2023. Disponível em: <<https://www.rehtom.com.br/transformador-de-potencial>>.

SANTOS, S. T. S. **Projeto de uma subestação tipo abrigada de 600 kVA**. 2011. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, pages = 78, pagename = , Note = , 2011.

Sieletric. **Chave seccionadora 15kV abertura com carga**. Sieletric, 2023. Disponível em: <<https://www.sieletric.com.br/produto/chave-seccionadora-15kv-abertura-com-carga>>.

Siemens. **Transformadores de corrente 4NC**. Siemens, 2019. Disponível em: <<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:96ccbbdd-34bd-4a81-bc54-c7c8ff61f667/fichas-tecnicas-tranf-corrente-4nc.pdf>>.

Weg. **Disjuntor a Vácuo de Média Tensão VBW**. WEG, 2023. Disponível em: <<https://bityli.com/PWKWd>>.

WEG. **Transformador de Distribuição Pequeno (até 300 kVA)**. WEG, 2023. Disponível em: <<https://bityli.com/IMXN7>>.