

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

FELIPE SERVILHA BATISTI

**ANÁLISE COMPARATIVA DE TIPOLOGIAS DE CABINES DE MEDIÇÃO E
PROTEÇÃO EM MÉDIA TENSÃO 13,8 KV CONFORME A NORMA TÉCNICA
COPEL NTC 903100**

CURITIBA

2025

FELIPE SERVILHA BATISTI

**ANÁLISE COMPARATIVA DE TIPOLOGIAS DE CABINES DE MEDIÇÃO E
PROTEÇÃO EM MÉDIA TENSÃO 13,8 KV CONFORME A NORMA TÉCNICA
COPEL NTC 903100**

**Comparative analysis of medium-voltage 13.8 kV metering and protection cabin
typologies according to Copel technical standard NTC 903100**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação,
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de Controle e
Automação do curso de Engenharia de Controle e
Automação da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Eng. Luiz Erley Schafranski

CURITIBA

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

FELIPE SERVILHA BATISTI

**ANÁLISE COMPARATIVA DE TIPOLOGIAS DE CABINES DE MEDIÇÃO E
PROTEÇÃO EM MÉDIA TENSÃO 13,8 KV CONFORME A NORMA TÉCNICA
COPEL NTC 903100**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação,
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de Controle e
Automação do curso de Engenharia de Controle e
Automação da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 19 / novembro / 2025

Carlos Henrique Mariano
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Vilmair Ermenio Wirmond
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carlos Alberto Dallabona
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Luiz Erley Schafranski
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2025

“Inteligência é a capacidade de se adaptar
às mudanças.” (Stephen Hawking, 2010)

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo comparativo das soluções construtivas aplicadas às cabines de medição e proteção em média tensão de 13,8 kV, em conformidade com os requisitos da norma técnica COPEL NTC 903100 – Fornecimento em Tensão Primária de Distribuição. A análise contempla quatro tipologias de cabines: alvenaria, pré-fabricada mista, pré-fabricada metálica convencional e pré-fabricada metálica certificada. O estudo fundamenta-se em revisão teórica, avaliação dos equipamentos que compõem a entrada de serviço e desenvolvimento de um estudo de caso em um complexo hospitalar, no qual foram analisados os critérios técnicos e operacionais exigidos por instalações de média criticidade. A metodologia considera parâmetros relacionados ao custo de implementação, área construída, prazo de execução, confiabilidade e continuidade do serviço, segurança operacional, manutenção e durabilidade, conforme práticas usuais do setor e dados obtidos junto a profissionais especializados. Os resultados mostram que as soluções pré-fabricadas metálicas apresentam menores prazos de execução e menor área requerida, enquanto a cabine metálica certificada se destaca pela conformidade a ensaios de tipo, incluindo arco interno, e pela padronização construtiva. Já as cabines de alvenaria e mistas apresentam maior dependência da obra civil e maior variação de desempenho, decorrente da ausência de ensaios como conjunto. A comparação evidencia que a escolha da solução mais adequada deve considerar as necessidades operacionais e os requisitos técnicos da instalação, podendo a cabine metálica certificada oferecer maior previsibilidade e segurança para sistemas que demandam alta disponibilidade de energia.

Palavras-chave: Cabine primária; média tensão; painéis elétricos; entrada de energia; NTC 903100.

ABSTRACT

This work presents a comparative study of the constructive solutions applied to medium-voltage metering and protection cabinets operating at 13.8 kV, in accordance with the requirements of COPEL technical standard NTC 903100 – Primary Distribution Voltage Supply. The analysis covers four cabinet typologies: masonry, mixed prefabricated, conventional prefabricated metallic, and certified prefabricated metallic solutions. The study is based on theoretical review, evaluation of the equipment that composes the service entrance, and the development of a case study conducted in a hospital complex, where technical and operational criteria required for medium-criticality installations were assessed. The methodology considered objective parameters related to implementation cost, built area, execution time, reliability and service continuity, operational safety, maintenance, and durability, based on common industry practices and data obtained from specialized professionals. The results indicate that prefabricated metallic solutions present shorter execution times and reduced area requirements, while the certified metallic cabinet stands out due to type-test compliance— including internal arc classification— and standardized construction. Masonry and mixed solutions, on the other hand, show greater dependency on civil works and higher performance variability resulting from the absence of complete type tests. The comparison demonstrates that the choice of the most adequate solution must consider operational needs and the technical requirements of the installation, with the certified metallic cabinet offering greater predictability and safety for systems that demand high availability of electrical energy.

Keywords: Primary cubicle; medium voltage; electrical panels; power supply; NTC 903100.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Consumo total de energia elétrica no Brasil em julho do ano de 2014 à 2024.	12
Figura 2 – Consumo total de energia elétrica no Brasil por classe em julho de 2024.	12
Figura 3 – Consumo total de energia elétrica no Brasil por região em julho de 2024.	13
Figura 4 – Diagrama de blocos do SEP	21
Figura 5 – Diagrama unifilar do sistema elétrico de potência	22
Figura 6 – Sistema simplificado de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	23
Quadro 1 – Grupo A Consumidores de energia em Alta Tensão	24
Figura 7 – Diagrama unifilar cabine de medição e proteção COPEL	27
Figura 8 – Arranjo Cabine Pré-fabricada ou metálica	28
Figura 9 – Arranjo Cabine Baixa em Alvenaria	28
Figura 10 – Arranjo Cabine Alta em Alvenaria	29
Figura 11 – Arranjo Cabine Pré-fabricada ou metálica	30
Figura 12 – Arranjo Cabine Baixa em Alvenaria	30
Figura 13– Esquema ligação TP.....	32
Figura 14– TP de uso interno cabine.....	33
Quadro 2 – Grupo de ligação dos TPs.....	33
Quadro 3 – características do transformador de potencial 13,8 kV aplicação em Entradas de Serviço	34
Figura 15 – TC esquema de ligação.....	35
Figura 16 – TC de uso interno cabine.....	36
Quadro 4 - Características do transformador de corrente 13,8 kV aplicação em Entradas de Serviço	36
Figura 17 – Disjuntor isolado a ar Evopact HVX - Schneider	37
Figura 18 – Disjuntor isolado a SF6 Evopact SF1	38
Quadro 5 – Características do Disjuntor 13,8 kV para aplicação em entrada de serviço.....	38
Figura 19 – Seccionadora isolado a ar de uso abrigado	39

Figura 20 – Seccionadora isolado em SF6 uso abrigado	40
Quadro 6 – Características da Chave Seccionadora 13,8 kV para entrada de serviço.....	40
Figura 21 – Para-raios	41
Quadro 7 – Função ANSI	42
Figura 22 – Relé de Proteção P3U30 - Schneider	42
Figura 23 – Cabine 01 de média tensão em alvenaria – visão externa	43
Figura 24 – Cabine 02 de média tensão em alvenaria – visão externa	44
Figura 25 – Cabine em alvenaria – visão interna.....	45
Figura 26 – Cabine em alvenaria – visão interna.....	45
Figura 27 – Cabine medição e proteção pré-fabricada mista	46
Figura 28 – Cabine pré-fabricada mista	47
Figura 29 – Cabine pré-fabricada mista – módulo entrada / medição concessionária	48
Figura 30 – Cabine pré-fabricada mista – módulo seccionamento.....	48
Figura 31 – Cabine pré-fabricada mista – módulo proteção geral	48
Figura 32 – Cabine de medição em média tensão metálica convencional externa	50
Figura 33 – Cabine de medição em média tensão metálica convencional interna	50
Figura 34 – Cabine de medição em média tensão metálica convencional.....	51
Figura 35 – Cabine de medição em média tensão compacta certificada	52
Figura 36 – Cabine de medição em média tensão compacta certificada	53
Figura 37 – Classificação IAC-AFL SM6.....	54
Figura 38 – Mecanismo de operação do SM6	54
Figura 39 – Sistema <i>Conected Enabled Plus</i> do SM6	55
Figura 40 – Sala elétrica do complexo hospitalar	56
Figura 41 – Diagrama unifilar atual do sistema elétrico do complexo hospitalar	57
Figura 42 – Diagrama unifilar do hospital atendido pela rede Copel em 13,8 kV	58
Figura 43 – Vista interior cabine alvenaria.....	59
Figura 44 – Vista interior cabine alvenaria modulo medição e proteção	60
Quadro 8 – Lista de material cabine alvenaria.....	60

Quadro 9 – Prazos fabricação cabine alvenaria	62
Quadro 10 – Manutenção cabine alvenaria	64
Figura 45 – Desenho externo cabine pré-fabricada mista	66
Figura 46 – Desenho interno cabine pré-fabricada mista	66
Quadro 11 – Lista materiais cabine pré-fabricada mista	67
Quadro 12 – Prazo fabricação cabine pré-fabricada mista.....	68
Figura 47 – Vista frontal interna cabine pré-fabricada metálica convencional..	71
Quadro 13 – Lista material cabine pré-fabricada metálica convencional	71
Quadro 14 – Prazo fabricação cabine pré-fabricada metálica convencional	73
Figura 48 – Vista frontal interna cabine pré-fabricada metálica certificada.....	75
Quadro 15 – Lista material cabine pré-fabricada metálica certificada	76
Quadro 16 – Prazo fabricação cabine pré-fabricada metálica certificada	77
Quadro 17 – Comparação das soluções em cabines conforme norma NTC 903100 COPEL	79

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Tema	11
1.1.1	Delimitação do Tema.....	11
1.2	Problemas e premissas	14
1.3	Objetivos	14
1.3.1	Objetivo Geral.....	14
1.3.2	Objetivos Específicos	15
1.4	Justificativa.....	15
1.5	Procedimentos metodológicos	16
1.6	Estrutura do trabalho	19
2	SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA - SEP.....	20
2.1	Classificação dos consumidores de energia elétrica primária	23
2.2	Cabines de média tensão em conformidade a norma técnica COPEL NTC 903100	24
2.3	Arranjos da cabine de medição e proteção em atendimento a um ou mais transformadores com potência superior a 300 kVA.....	26
2.3.1	Ramal de Ligação Aéreo e Medição em A.T.	27
2.3.2	Ramal de Entrada Subterrâneo e Medição em A.T.	29
2.4	Equipamentos que compõem a cabine de medição e proteção em média tensão.....	31
2.4.1	Transformador de Potencial (TP)	31
2.4.2	Transformador de Corrente (TC)	34
2.4.3	Disjuntores de média tensão	36
2.4.4	Seccionadora de média tensão	38
2.4.5	Para-raios	40
2.4.6	Relé de Proteção.....	41
3	ASPECTOS CONSTRUTIVOS DE CABINES DE MEDIÇÃO E PROTEÇÃO	43
3.1	Solução em cabine alvenaria.....	43
3.2	Solução em cabine pré-fabricada mista	46
3.3	Solução em cabine pré-fabricada metálica convencional	49
3.4	Solução em cabine pré-fabricada metálica certificada	52
4	ESTUDO DE CASO HOSPITAL	56
4.1	Características de projeto	56
4.2	Solução em cabine alvenaria.....	59

4.2.1	Custo de Implementação.....	60
4.2.2	Tamanho da Área Construída	61
4.2.3	Prazo de Execução	62
4.2.4	Continuidade e Confiabilidade de Serviço	63
4.2.5	Segurança Operacional	63
4.2.6	Facilidade de Manutenção	64
4.2.7	Durabilidade	65
4.3	Solução em cabine pré-fabricada mista	65
4.3.1	Custo de Implementação.....	66
4.3.2	Tamanho da Área Construída	68
4.3.3	Prazo de Execução	68
4.3.4	Continuidade e Confiabilidade de Serviço	69
4.3.5	Segurança Operacional	69
4.3.6	Facilidade de Manutenção	70
4.3.7	Durabilidade	70
4.4	Solução em cabine pré-fabricada metálica convencional	71
4.4.1	Custo de Implementação.....	71
4.4.2	Tamanho da Área Construída	72
4.4.3	Prazo de Execução	72
4.4.4	Continuidade e Confiabilidade de Serviço	73
4.4.5	Segurança Operacional	74
4.4.6	Facilidade de Manutenção	74
4.4.7	Durabilidade	74
4.5	Solução em cabine pré-fabricada metálica certificada	75
4.5.1	Custo de Implementação.....	75
4.5.2	Tamanho da Área Construída	76
4.5.3	Prazo de Execução	77
4.5.4	Continuidade e Confiabilidade de Serviço	78
4.5.5	Segurança Operacional	78
4.5.6	Facilidade de Manutenção	78
4.5.7	Durabilidade	79
4.6	Comparação das soluções em cabines.....	79
4.7	Discussão e Resultados	80
5	CONCLUSÃO	82
	REFERÊNCIAS.....	84

1 INTRODUÇÃO

1.1 Tema

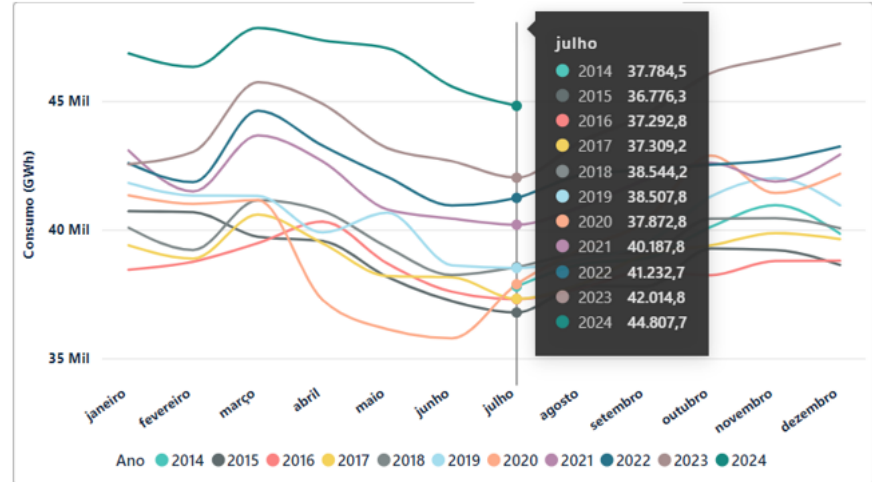
O setor elétrico brasileiro está em constante evolução no que representa a transição energética, impulsionada pela necessidade de descarbonização e modernização do setor elétrico, tem provocado mudanças significativas nos regulamentos e normas técnicas que orientam o desenvolvimento de infraestruturas e soluções energéticas. Esse novo cenário exige atenção redobrada na escolha das tecnologias aplicadas, uma vez que decisões técnicas inadequadas podem comprometer a eficiência energética, a segurança operacional e a competitividade econômica dos projetos. Assim, compreender os efeitos dessa transição no contexto regulatório torna-se essencial para a seleção de alternativas viáveis e sustentáveis no planejamento e execução de sistemas elétricos. (REVISTA O SETOR ELÉTRICO, 2024).

1.1.1 Delimitação do Tema

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) é uma entidade vinculada ao Ministério de Minas e Energia, responsável por estudos e pesquisas no setor energético brasileiro. Ela disponibiliza o Painel de Monitoramento do Consumo de Eletricidade no Brasil, que permite a análise dinâmica das estatísticas mensais de consumo de eletricidade por classe. A ferramenta oferece gráficos interativos e filtros por ano, proporcionando uma análise detalhada do comportamento de consumo de energia elétrica no Brasil (EPE, 2024).

A Figura 1 apresenta um panorama do consumo total de energia elétrica no Brasil durante o mês de julho, abrangendo os anos de 2014 a 2024, permitindo assim uma análise e comparação do comportamento ao longo desse período. Demonstrando um aumento significativo no consumo.

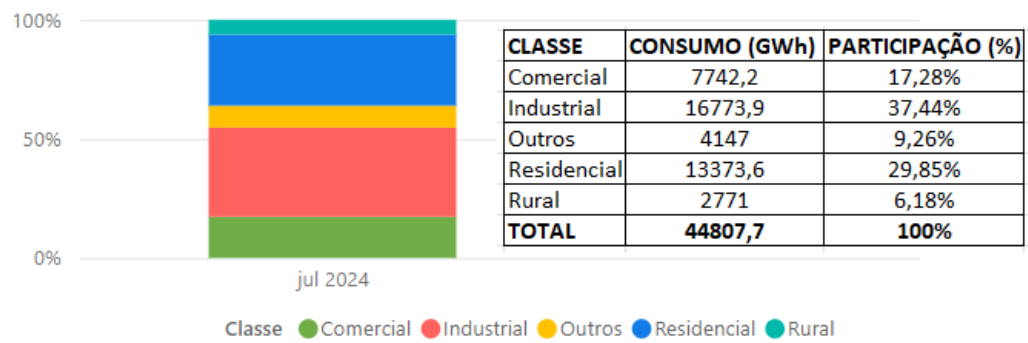
Figura 1 – Consumo total de energia elétrica no Brasil em julho do ano de 2014 à 2024.



Fonte: EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2024.

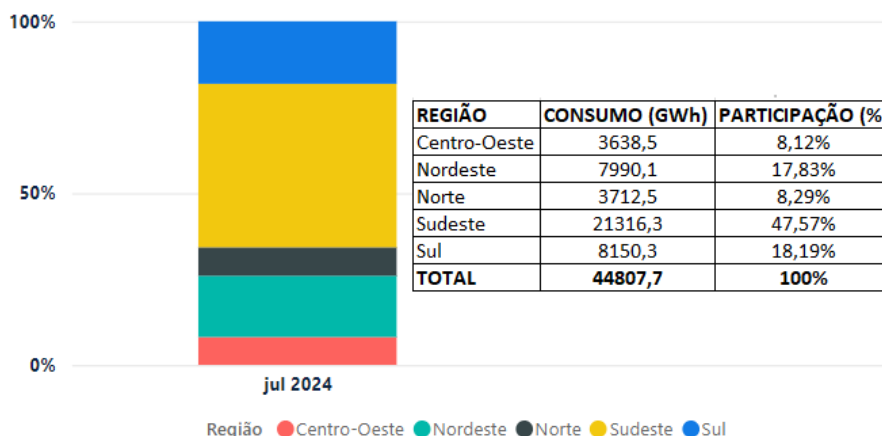
As Figuras 2 e 3 retratam o consumo de energia elétrica em julho de 2024, evidenciando que as classes industrial, residencial e comercial concentram a maior parte desse consumo. Além disso, a região Sudeste e Sul se destacam como as principais consumidoras de energia elétrica no país, representando ao todo 65,76%.

Figura 2 – Consumo total de energia elétrica no Brasil por classe em julho de 2024.



Fonte: EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2024.

Figura 3 – Consumo total de energia elétrica no Brasil por região em julho de 2024.



Fonte: EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2024.

O crescimento contínuo do consumo de energia elétrica no Brasil está diretamente associado ao avanço tecnológico, caracterizado pela expansão da automação industrial, pela digitalização de processos, pela interligação de redes e pelo uso crescente de sistemas inteligentes. Esses fatores têm elevado a demanda energética, especialmente em setores industriais e em grandes centros comerciais, que consomem parcela significativa da energia produzida no país. Como consequência, essas instalações recebem energia em média ou alta tensão e, para isso, devem atender integralmente às normas técnicas estabelecidas pela concessionária de energia à qual estão conectadas.

Diante desse contexto, este trabalho desenvolve um estudo de caso aplicado a um hospital localizado na cidade de Curitiba, no estado do Paraná, atendido pela Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL). Essa unidade consumidora necessita receber energia em média tensão por meio de uma cabine de subestação. Assim, o estudo compara e analisa tecnicamente as tipologias das diferentes alternativas de construção dessa cabine, considerando as particularidades técnicas do projeto do consumidor.

A análise terá foco no módulo de medição e proteção, desconsiderando o módulo de transformação não pela ausência de transformador, mas porque, para este tipo de instalação, o transformador é acomodado em outro local, conforme práticas usuais e alternativas previstas na norma técnica COPEL NTC 903100 – Fornecimento em Tensão Primária de Distribuição. Dessa forma, o módulo de transformação não

compõe o escopo deste estudo, uma vez que não interfere na comparação entre as soluções de cabines analisadas.

1.2 Problemas e premissas

Os consumidores apresentam especificidades em seus projetos. Segundo Mamede (2015), o desenvolvimento de um projeto elétrico industrial precisa ser precedido pela compreensão das condições de fornecimento e das características operacionais do cliente. Além disso, é fundamental que, durante a fase de projeto, sejam avaliados os planos de expansão do cliente, com detalhes sobre o aumento de carga e a localização de sua instalação, levando em conta fatores como flexibilidade, acessibilidade, confiabilidade e continuidade dos serviços.

Um dos principais desafios em projetos de instalações elétricas de média tensão é a especificação inadequada de componentes e sistemas, o que pode comprometer a segurança e a eficiência da instalação. Conforme estabelecido pela NBR 14039, norma brasileira que trata das instalações de média tensão, essa má especificação pode resultar em sobrecargas, aquecimento excessivo, além de aumentar o consumo de energia e oferecer riscos curto, médio e longo prazo (ABNT, 2005).

Esse trabalho se baseia em um estudo de caso, sendo um hospital, levando em consideração as particularidades elétricas de projeto desse consumidor. Cada projeto tem suas especificidades, que precisam ser minuciosamente avaliadas, visto que esse consumidor está conectado à rede de distribuição da COPEL e, portanto, sujeitos às exigências da NTC 903100, norma que define as exigências para fornecimento em tensão primária de distribuição de média tensão. Uma especificação incorreta do tipo de cabine de média tensão pode levar a diversas falhas mencionadas acima. Além disso, essas falhas podem comprometer a continuidade do serviço, elevar os custos de manutenção e colocar em risco a integridade dos equipamentos e a segurança das pessoas envolvidas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar uma análise comparativa das tipologias de cabines de medição e proteção em média tensão previstas na norma COPEL NTC 903100, avaliando suas

características técnicas, construtivas e operacionais aplicadas ao estudo de caso de um hospital.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Elaborar um referencial teórico da norma COPEL NTC 903100, focado na cabine de média tensão em 13,8 kV sem transformação.
- Estudar o conceito de cabine de média tensão em alvenaria.
- Estudar o conceito de cabine de média tensão pré-fabricada mista.
- Estudar o conceito de cabines de média tensão pré-fabricada metálica, convencional e certificada.
- Compor um levantamento das particularidades técnicas do estudo de caso.
- Realizar uma análise comparativa entre as soluções de cabines de média tensão que atendam aos requisitos normativos, assegurando eficiência energética e segurança operacional, considerando os aspectos técnicos relevantes do estudo de caso.

1.4 Justificativa

Conforme discutido por Rodrigues et al. (2017), a energia elétrica é fundamental para a vida moderna, especialmente em função dos avanços tecnológicos, como o aumento da automação industrial e a interconexão de redes de informação. Indústrias e grandes complexos comerciais representam uma parcela significativa do consumo energético no país, o que faz com que optem frequentemente pelo fornecimento em média tensão.

Essa escolha não se deve apenas ao custo mais baixo em comparação ao fornecimento em baixa tensão, mas também a fatores como maior confiabilidade, melhor qualidade da energia, redução de quedas de tensão e possibilidade de atender cargas mais elevadas com maior estabilidade operacional.

No entanto, para adotar essa modalidade, é necessário que os consumidores atendam às normas estabelecidas pelas concessionárias, como a COPEL, que regulamenta o fornecimento em média tensão primária de distribuição por meio da norma NTC 903100. Essa norma segue as diretrizes definidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), especialmente as disposições do PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica, bem como as recomendações da

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Com base nesses referenciais, a NTC 903100 apresenta as soluções aplicáveis às cabines de média tensão e aos requisitos mínimos para instalação.

Para a escolha da solução mais adequada, é importante que o consumidor considere não apenas o custo imediato, mas também os impactos tecnológicos a médio e longo prazo.

Inserido nesse contexto, é possível afirmar que a análise realizada neste trabalho pode servir como referência para a avaliação de outros estudos de caso. A situação apresentada no estudo do hospital foi examinada em profundidade para demonstrar as particularidades técnicas envolvidas na escolha e implementação de uma cabine de média tensão.

Contudo, os resultados obtidos também podem beneficiar outros consumidores que necessitam de uma entrada de energia em média tensão e que precisam implantar uma cabine de subestação. Assim, este trabalho torna-se uma fonte de consulta sobre as possíveis soluções, destacando suas vantagens e desvantagens, para aqueles que buscam compreender qual alternativa melhor se adequa às suas necessidades.

1.5 Procedimentos metodológicos

A metodologia adotada neste trabalho fundamenta-se em uma análise comparativa técnica, com base documental e normativa, das diferentes tipologias de cabines de medição e proteção em média tensão previstas pela Norma Técnica COPEL NTC 903100. Não se trata de um estudo de viabilidade econômica, mas sim de uma avaliação técnico-constructiva e operacional, aplicada a um estudo de caso real de consumidor do grupo A4.

O desenvolvimento do estudo foi estruturado em quatro etapas principais:

Etapa 1 – Pesquisa bibliográfica e normativa

Inicialmente, realizou-se um levantamento do arcabouço teórico e regulamentar relacionado às instalações de média tensão, abrangendo:

- Normas técnicas da COPEL, especialmente a NTC 903100;

- Normas ABNT aplicáveis (NBR 14039, NBR IEC 62271-200, NBR 6855 e NBR 6856);
- Literatura técnica referente a subestações, SEP e equipamentos primários;
- Publicações institucionais (ANEEL, EPE, fabricantes de equipamentos).

Essa etapa permitiu identificar os requisitos técnicos mínimos, as exigências de segurança, e os padrões construtivos aplicáveis às diferentes soluções de cabine.

Etapa 2 – Caracterização técnica das tipologias de cabines

Com base na NTC 903100 e nos catálogos dos fabricantes, foram detalhadas as quatro soluções aceitas pela concessionária:

1. Cabine em alvenaria;
2. Cabine pré-fabricada mista;
3. Cabine pré-fabricada metálica convencional;
4. Cabine pré-fabricada metálica certificada.

Para cada tipologia foram analisados:

- Composição construtiva e materiais;
- Organização interna dos módulos de medição e proteção;
- Nível de padronização e ensaios aplicáveis;
- Requisitos construtivos mínimos conforme a norma;
- Equipamentos obrigatórios;
- Limitações operacionais e de segurança.

Essa etapa constituiu a base para a comparação entre as alternativas.

Etapa 3 – Estudo de caso em instalação hospitalar

O estudo de caso consiste em uma instalação hospitalar atendida em 13,8 kV (grupo A4), cuja infraestrutura requer modernização do sistema de medição e proteção.

Foram avaliados:

- O diagrama unifilar existente;
- A organização dos compartimentos elétricos;

- As restrições ambientais e operacionais do local;
- Os requisitos normativos específicos para entrada subterrânea;
- A adequação das soluções disponíveis à realidade da instalação.

Essa etapa permitiu contextualizar a aplicação prática das tipologias analisadas.

Etapa 4 – Análise comparativa técnica

A partir das informações coletadas, realizou-se uma análise comparativa entre as quatro tipologias, utilizando critérios técnicos definidos com base na literatura e nas normas da concessionária:

- Complexidade construtiva;
- Área ocupada;
- Prazo típico de execução;
- Continuidade e confiabilidade do serviço;
- Segurança operacional;
- Facilidade de manutenção;
- Durabilidade.

Para cada critério, a tipologia foi avaliada qualitativamente (baixo, médio ou alto), considerando práticas de mercado, recomendações normativas e características observadas no estudo de caso.

Essa análise permitiu identificar as vantagens e limitações de cada alternativa e determinar qual solução apresenta maior aderência às necessidades técnicas e normativas do consumidor estudado.

Etapa 5 – Consolidação e síntese dos resultados

Por fim, os resultados foram organizados em uma matriz comparativa, permitindo:

- Visão integrada das características das quatro tipologias;
- Identificação da alternativa tecnicamente mais robusta;
- Discussão fundamentada das razões que justificam a escolha da cabine metálica certificada no contexto do estudo de caso.

Síntese da Metodologia

A metodologia aplicada caracteriza-se como:

- Pesquisa descritiva e documental;
- Análise comparativa técnica baseada em normas;
- Estudo de caso aplicado;
- Sem caráter econômico-financeiro, exclusivamente técnico-operacional.

1.6 Estrutura do trabalho

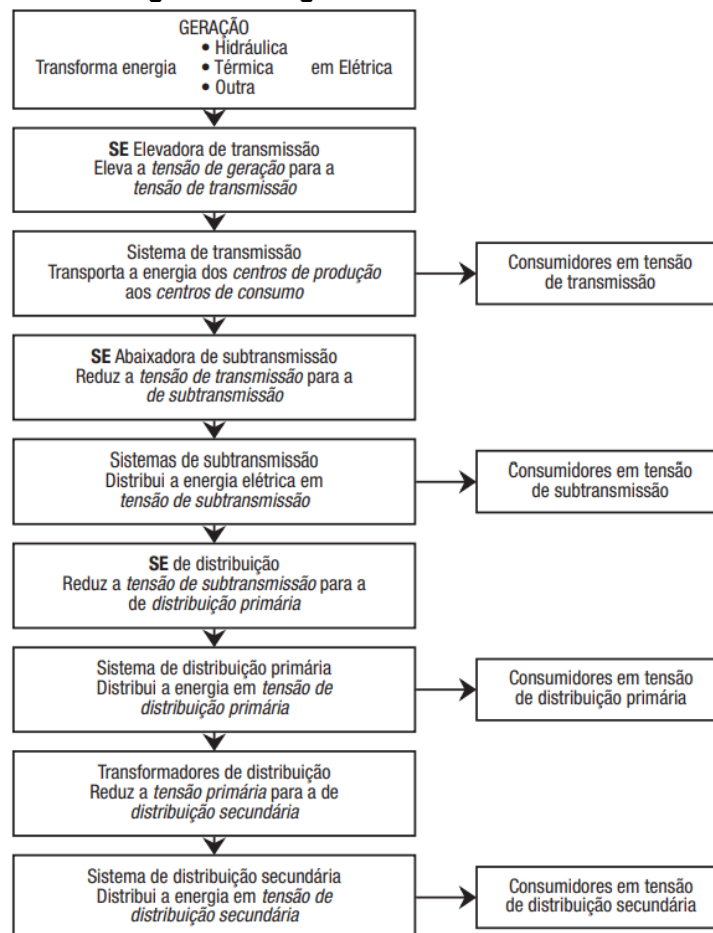
- Capítulo 1 – Introdução.
 - Apresenta o contexto do estudo, a problemática, os objetivos, a justificativa e a delimitação do tema.
- Capítulo 2 – Setor Elétrico de Potência (SEP).
 - Descreve os principais conceitos do setor elétrico, abordando características do fornecimento em média tensão e os requisitos estabelecidos pelas concessionárias.
- Capítulo 3 – Aspectos construtivos de cabines de medição e proteção.
 - Detalha os tipos de cabines previstos na norma COPEL NTC 903100, suas características técnicas, configurações e requisitos normativos.
- Capítulo 4 – Estudo de caso hospital.
 - Apresenta a análise aplicada ao hospital em Curitiba, descrevendo condições de fornecimento, particularidades técnicas e comparação entre as alternativas de cabines.
- Capítulo 5 – Conclusão.
 - Sintetiza os resultados obtidos, destacando as vantagens das soluções avaliadas e as contribuições do estudo.

2 SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA - SEP

Para que a energia elétrica chegue a todos os consumidores, grandes usinas que utilizam diversas fontes de força motriz, como hidráulica, térmica, nuclear, eólica e solar, são conectadas entre si e às subestações dos principais centros de consumo por extensas linhas de transmissão em altas e extraaltas tensões. Essas redes formam complexos sistemas de transmissão que, em conjunto com as redes de subtransmissão e distribuição, compõem os sistemas elétricos de potência (Bichels, 2018, p. 19).

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) é a base para o fornecimento de energia elétrica em larga escala, sendo composto por diferentes componentes que atuam de maneira integrada para garantir a geração, transmissão, distribuição e utilização de energia. O SEP é, portanto, um sistema complexo que deve ser projetado, operado e mantido de acordo com padrões técnicos e normas que garantam sua segurança, confiabilidade e eficiência.

Os sistemas elétricos de potência têm a função precípua de fornecer energia elétrica aos usuários, grandes ou pequenos, com a qualidade adequada, no instante em que for solicitada. Isto é, o sistema tem as funções de produtor, transformando a energia de alguma natureza, por exemplo, hidráulica, mecânica, térmica ou outra, em energia elétrica, e de distribuidor, fornecendo aos consumidores a quantidade de energia demandada, instante a instante (Kagan, 2017, p. 2), resultando no diagrama de blocos do sistema, ilustrado pela Figura 4.

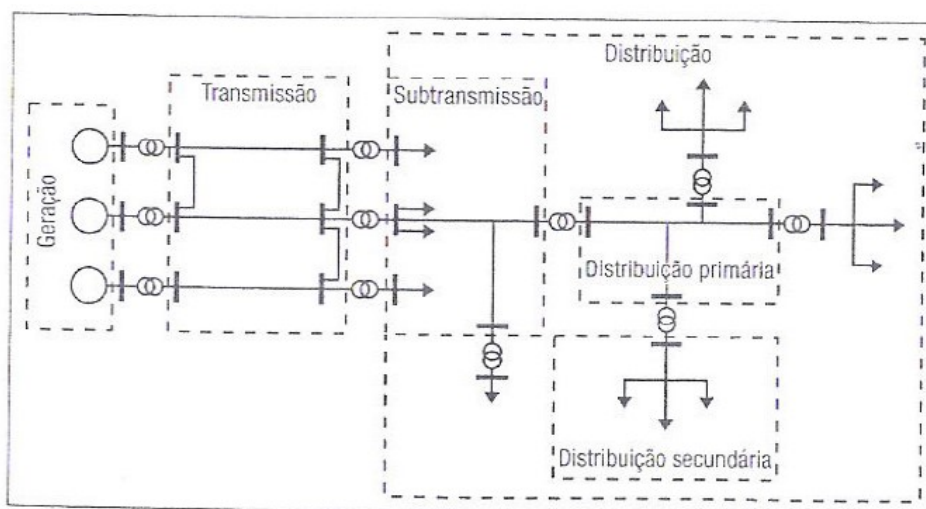
Figura 4 – Diagrama de blocos do SEP

Fonte: KAGAN – Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica, 2017.

O sistema elétrico de potência é formado por três grandes blocos descritos abaixo e ilustrados na Figura 5:

- Geração, possui a função de converter alguma forma de energia em energia elétrica;
- Transmissão, possui a função de transporte da energia elétrica dos centros de produção aos de consumo;
- Distribuição, possui a função de distribuir a energia elétrica recebida do sistema de transmissão aos grandes, médios e pequenos consumidores.

Figura 5 – Diagrama unifilar do sistema elétrico de potência



Fonte: KAGAN – Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica, 2017.

Ainda para Kagan (2017), as redes de distribuição primária, também chamadas de redes de média tensão, têm origem nas subestações de distribuição e desempenham um papel fundamental no Sistema Elétrico de Potência. Essas redes são responsáveis por transportar a energia elétrica em níveis intermediários de tensão, normalmente entre 13,8 kV e 34,5 kV, até pontos próximos aos consumidores. Nesses locais, encontram-se equipamentos essenciais para a proteção, transformação e controle do fluxo de energia elétrica.

Os consumidores atendidos pela rede primária incluem indústrias de porte médio, instalações comerciais de grande porte e conjuntos empresariais. Em algumas situações específicas, sistemas de iluminação pública podem ser alimentados pela rede de média tensão, especialmente em vias de grande extensão, corredores urbanos ou locais nos quais o fornecimento é realizado diretamente pelo circuito primário devido à distância dos transformadores ou à necessidade de atender cargas distribuídas ao longo do percurso.

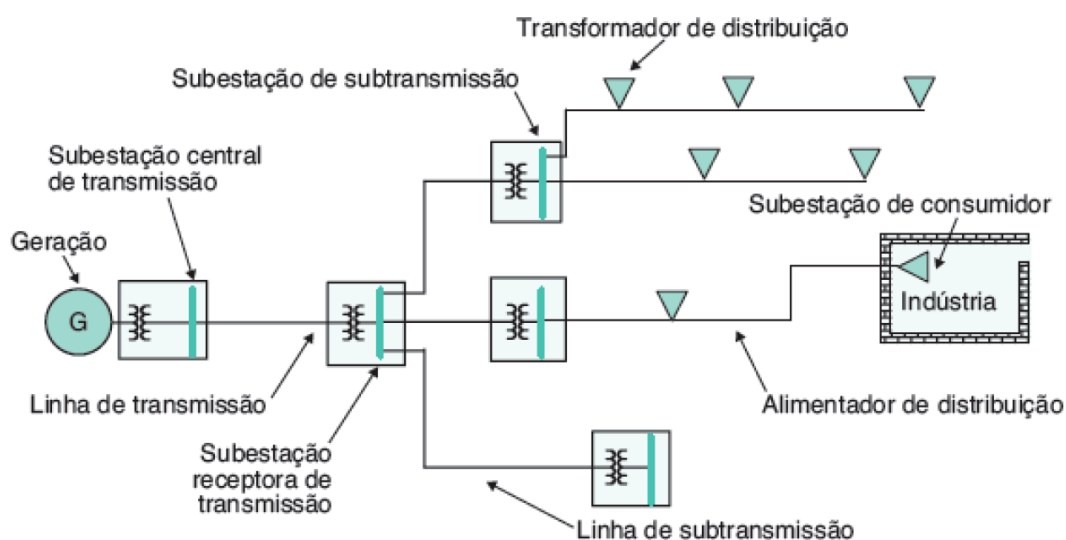
Em complemento, Almeida (2015) destaca que a eletricidade desempenha um papel fundamental na sociedade e na indústria. Nos últimos anos, a demanda por energia elétrica aumentou significativamente e tende a continuar crescendo. Por essa razão, a qualidade e a confiabilidade no fornecimento são cada vez mais importantes para o Sistema Elétrico de Potência. O desempenho eficiente do sistema depende de estudos que assegurem uma operação segura e adequada, assim como de

planejamentos e expansões estruturadas, garantindo que o contínuo aumento de carga não comprometa sua funcionalidade.

Nesse contexto de distribuição de energia em média tensão, o SEP é diretamente influenciado pelas escolhas tecnológicas empregadas nas subestações e nos sistemas de medição, a qualidade dos equipamentos e a capacidade de resposta dos sistemas de proteção a falha, podendo contribuir para a melhoria da confiabilidade do sistema.

Para MAMEDE (2017), a subestação é um conjunto de equipamentos que tem como função modificar as características da energia elétrica, ajustando a tensão e a corrente para que possam ser distribuídas aos pontos de consumo em níveis adequados. Elas podem ser classificadas em subestação central de transmissão, subestação receptora de transmissão, subestação de subtransmissão e subestação de consumidor, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Sistema simplificado de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica



Fonte: MAMEDE– Instalações Elétricas Industriais, 2017.

2.1 Classificação dos consumidores de energia elétrica primária

Para MAMEDE (2017) a subestação de consumidor é construída em propriedade privada e alimentada por linhas de distribuição primária e possuem posto de medição primária, proteção primária e posto de transformação. Sendo que a legislação em vigor define que consumidores com potência instalada entre 50 kW e 2.500 kW devem ser atendidos em tensão primária pela concessionária local. As concessionárias possuem normas específicas para a construção dessas subestações,

incluindo diretrizes de projeto, proteção e aterramento, em conformidade com a NBR 14039 para instalações elétricas de alta tensão.

Segundo a ANEEL (2021), em sua resolução normativa nº 1.000, de 07/12/2021, os consumidores de energia elétrica são classificados conforme consumo de energia elétrica e à demanda de potência ativa. Os consumidores são subdivididos entre os que recebem energia em tensão maior ou igual a 2,3 kV (Grupo A) ou tensão menor que 2,3 kV (Grupo B). Assim, o grupo de consumidores de energia em alta tensão são novamente divididos em subgrupos, conforme destacado na Quadro 1.

Quadro 1 – Grupo A Consumidores de energia em Alta Tensão

Grupo A – Consumidores de energia com consumidores maior ou igual a 2,3 kV	
Subgrupo de Consumidor	Tensão de Fornecimento
A1	Maior ou igual a 230 kV
A2	Entre 88 kV e 138 kV
A3	Igual a 69 kV
A3a	Entre 30 kV e 44 kV
A4	Entre 2,3 kV e 25 kV
AS	Subterrânea inferior a 2,3 kV

Fonte: ANEEL, 2021.

De acordo com o Módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET), as modalidades tarifárias são definidas com base no consumo de energia elétrica e na demanda de potência ativa, levando em consideração o grupo tarifário do consumidor. Assim, consumidores podem escolher entre diferentes tarifas, ajustadas de acordo com o horário de uso diário, o que permite tarifas diferenciadas em horários de maior ou menor demanda.

2.2 Cabines de média tensão em conformidade a norma técnica COPEL NTC 903100

A normalização consiste em estabelecer normas técnicas que assegurem a qualidade, segurança e eficiência de produtos e serviços. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tem como objetivo promover o desenvolvimento tecnológico e a competitividade, além de proteger o consumidor. Entre os principais benefícios da normalização estão a facilitação do comércio nacional e internacional, a redução de

custos e a eliminação de desperdícios. A normalização também contribui para a inovação e a sustentabilidade, ao estabelecer padrões que promovem o uso eficiente de recursos e garantem a interoperabilidade entre diferentes sistemas e produtos.

A Norma Fornecimento em Tensão Primária de Distribuição estabelece padrões construtivos que, associados às demais prescrições, visam à uniformização de procedimentos e à adoção de padrões dentro das exigências técnicas e da segurança recomendadas pelas normas brasileiras (NTC 903100, Abril/2018, p. 2).

Também a Norma Técnica COPEL NTC 903100, edição de 2018, define as condições gerais para o fornecimento de energia elétrica às instalações de unidades consumidoras que operam com tensões nominais de 13,8 kV (sistema triângulo) e 34,5 kV (sistema estrela), por meio das redes primárias de distribuição aérea da Companhia Paranaense de Energia (COPEL).

É relevante destacar que a NTC 903100 atua em conjunto com outras normas, incluindo a Norma Regulamentadora Nº 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Todos os profissionais envolvidos nas fases de projeto, construção, montagem, operação e manutenção de instalações elétricas devem seguir essa norma, que estabelece os requisitos mínimos necessários para assegurar a segurança de pessoas, trabalhadores e terceiros durante atividades em sistemas elétricos.

Também dentro da delimitação deste trabalho, destaca-se a norma NBR IEC 62271-200 – Conjuntos de Manobra e Controle de Alta Tensão. Esta norma estabelece os requisitos para conjuntos de manobra e controle com invólucro metálico para corrente alternada, aplicáveis a tensões nominais superiores a 1 kV, até 52 kV, inclusive, tanto para instalações internas quanto para externas.

O consumidor deve solicitar o atendimento em fornecimento em média tensão juntamente com a apresentação do projeto da entrada de serviço à COPEL para aprovação. Após a execução da entrada de serviço, será realizada a vistoria das instalações, seguindo as orientações constantes na carta de aprovação do projeto. A ligação e o fornecimento somente serão efetivados após a aprovação dessa vistoria. Durante a execução da obra ou, a qualquer momento, caso haja modificações no

projeto elétrico previamente aprovado, o projeto atualizado deverá ser encaminhado novamente à COPEL para nova análise.

O critério para a definição da proteção em instalações com potência de transformação superior a 300 kVA estabelece que a proteção geral deve ser realizada por meio de um disjuntor de média tensão com atuação por relé secundário. Essa exigência se deve ao fato de que, acima desse limite de potência, as correntes de curto-circuito tornam-se mais elevadas, o que exige dispositivos de proteção mais precisos, seletivos e capazes de realizar o desligamento automático em condições de falha.

O relé secundário deve estar conectado a transformadores de corrente e de potencial instalados à montante do disjuntor. Além disso, deve ser instalada uma chave seccionadora com operação sem carga a jusante da medição, acompanhada de um dispositivo de intertravamento mecânico entre o disjuntor e a seccionadora, garantindo a segurança operacional durante manobras e manutenções.

Assim, a norma define as seguintes alternativas de cabines com proteção e medição em média tensão, que serão abordadas nos próximos capítulos deste trabalho:

- Cabine de Alvenaria
- Cabine Pré-Fabricada Mista
- Cabine Pré-Fabricada Metálica
 - Metálica Convencional
 - Metálica Compacta Certificado

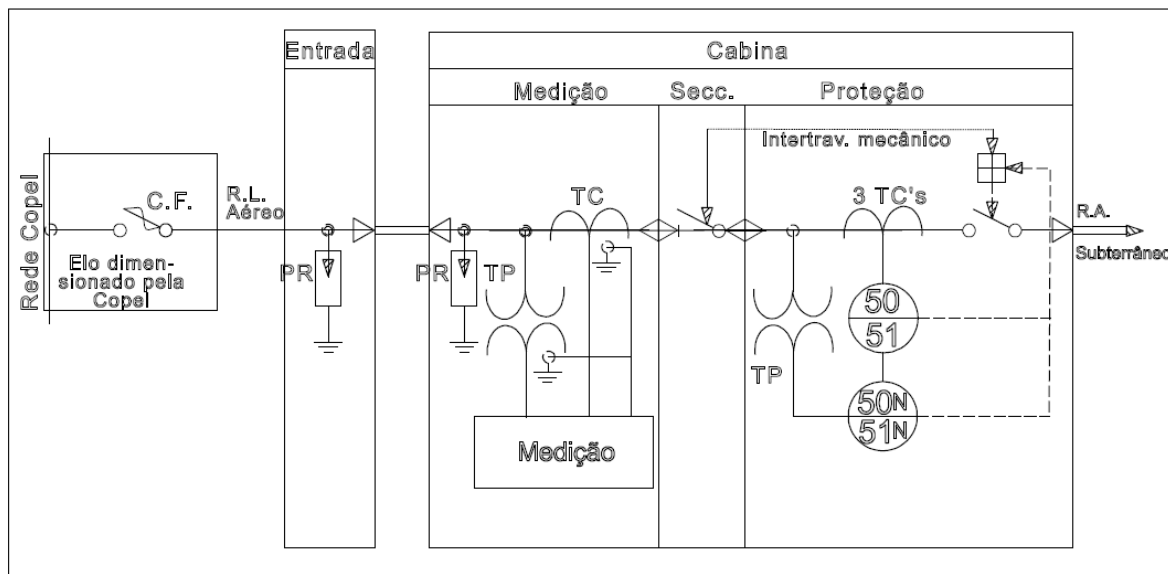
2.3 Arranjos da cabine de medição e proteção em atendimento a um ou mais transformadores com potência superior a 300 kVA

A NTC 903100, edição de 2018, descreve os arranjos e o padrão construtivo das cabines conforme suas entradas, sendo elas:

- Ramal de Ligação Aéreo e Medição em Alta Tensão (A.T.).
- Ramal de Entrada Subterrâneo e Medição em Alta Tensão (A.T.).

Independentemente do tipo de ramal adotado, a norma estabelece o diagrama unifilar obrigatório, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Diagrama unifilar cabine de medição e proteção COPEL



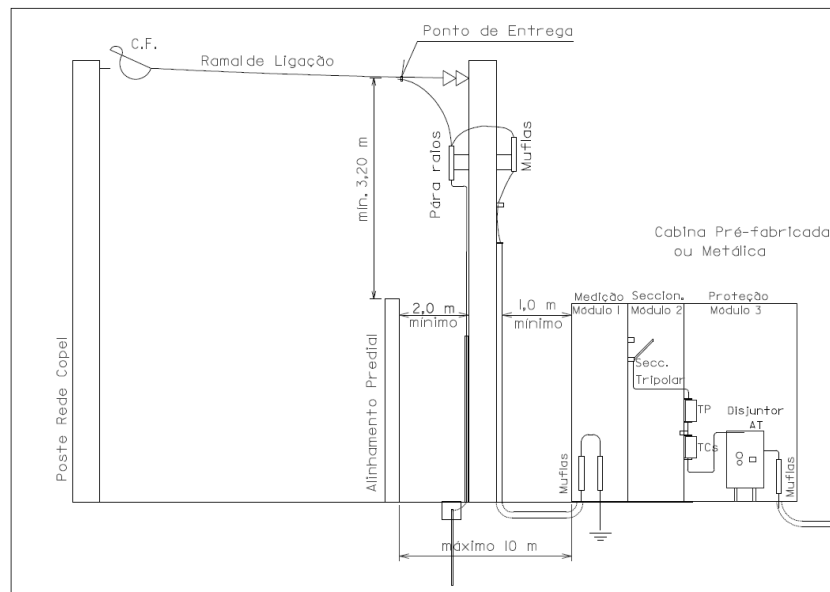
Fonte: NTC 903100, Abril/2018.

2.3.1 Ramal de Ligação Aéreo e Medição em A.T.

A NTC 903100 apresenta diferentes configurações de arranjos para cabines de medição e proteção em alta tensão (A.T.) conforme o tipo de entrada adotada pelo consumidor. No caso de ramais aéreos, a norma estabelece padrões construtivos que devem ser seguidos para garantir segurança, conformidade técnica e atendimento aos parâmetros de instalação definidos pela concessionária.

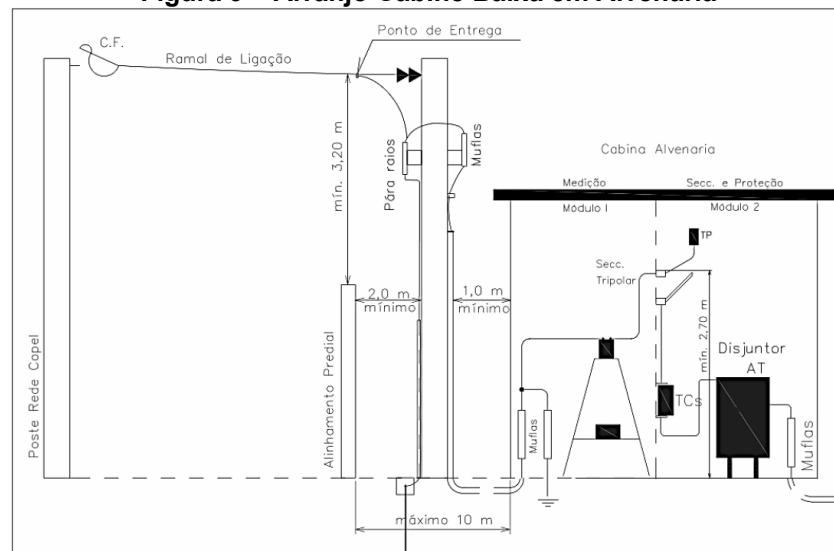
Nas figuras a seguir são apresentados os principais arranjos previstos para cabines com medição em alta tensão, incluindo opções com cabines pré-fabricadas, metálicas e estruturas em alvenaria. Cada figura ilustra a disposição dos módulos, o ponto de entrega, os equipamentos essenciais, os espaçamentos mínimos e os limites construtivos exigidos pela norma, permitindo ao leitor compreender de forma clara como cada alternativa é estruturada.

A Figura 8 apresenta o arranjo padrão com cabine pré-fabricada ou metálica, utilizado quando o consumidor dispõe de uma área organizada para a instalação do conjunto de medição e proteção. Esse arranjo destaca os módulos de medição e proteção, o disjuntor, o ponto de entrega e os afastamentos mínimos recomendados para garantir segurança operacional e acessibilidade.

Figura 8 – Arranjo Cabine Pré-fabricada ou metálica

Fonte: NTC 903100, Abril/2018.

A Figura 9 apresenta o arranjo com cabine baixa em alvenaria, solução comumente utilizada quando o consumidor opta por uma estrutura construída no próprio local. O arranjo evidencia os módulos internos, o posicionamento do disjuntor, o seccionamento, o ponto de entrega e os limites de altura e recuos obrigatórios definidos pela norma.

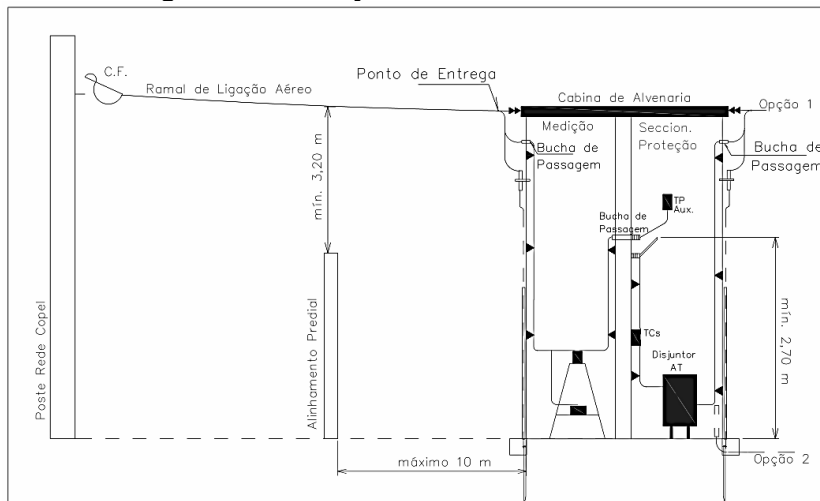
Figura 9 – Arranjo Cabine Baixa em Alvenaria

Fonte: NTC 903100, Abril/2018.

A Figura 10 apresenta a solução com cabine alta em alvenaria, recomendada em situações onde se exige maior elevação para atender ao nível adequado de instalação dos equipamentos ou quando o terreno disponível impõe limitações

construtivas. O arranjo mostra a disposição verticalizada dos módulos, as buchas de passagem, o disjuntor, os pontos de medição e os afastamentos normativos.

Figura 10 – Arranjo Cabine Alta em Alvenaria



Fonte: NTC 903100, Abril/2018.

2.3.2 Ramal de Entrada Subterrâneo e Medição em A.T.

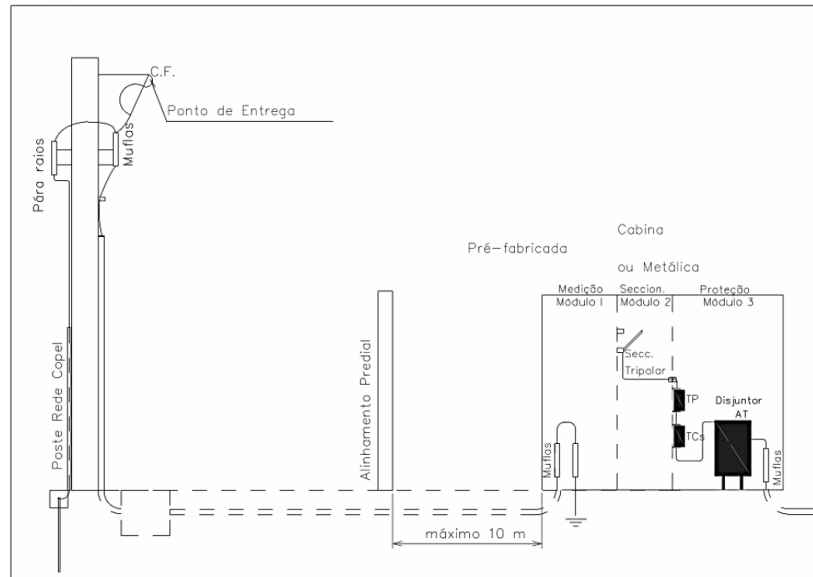
Para consumidores cuja entrada de energia ocorre por meio de ramal subterrâneo, a NTC 903100 apresenta diferentes padrões construtivos para a instalação da cabine de medição e proteção em alta tensão. Esse tipo de arranjo é adotado quando o fornecimento subterrâneo se mostra necessário por questões técnicas, urbanísticas, arquitetônicas ou de segurança.

Assim como no caso dos ramais aéreos, a norma define alternativas de implantação que variam conforme o tipo de cabine utilizada e o espaço disponível no local da obra. Nas figuras a seguir são apresentados os principais arranjos previstos para o atendimento subterrâneo, destacando-se o traçado do ramal, o ponto de entrega, a disposição dos módulos internos e os afastamentos mínimos exigidos para garantir a operação segura da instalação.

A Figura 11 ilustra o arranjo de entrada subterrânea com cabine pré-fabricada ou metálica, comum em situações que exigem montagem rápida e padronizada. Nesse modelo, o ramal subterrâneo chega diretamente ao ponto de entrega e segue até a cabine, onde os módulos de medição e proteção estão dispostos segundo o padrão definido pela concessionária. São apresentados os limites de profundidade, o

alinhamento do ramal predial, o módulo de medição, o módulo de proteção e a localização do disjuntor de alta tensão.

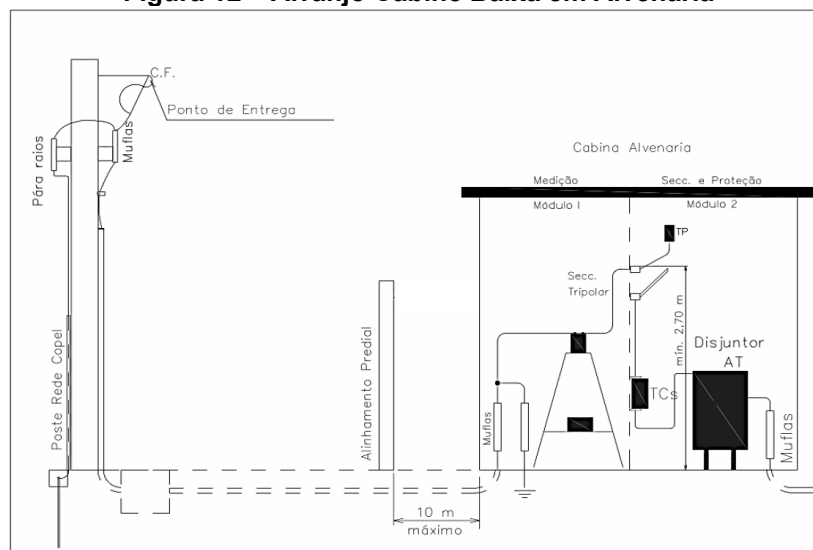
Figura 11 – Arranjo Cabine Pré-fabricada ou metálica



Fonte: NTC 903100, Abril/2018.

A Figura 12 apresenta a alternativa para cabines baixas em alvenaria, quando o consumidor opta por estrutura construída no próprio local. O arranjo evidencia a chegada do ramal subterrâneo, a posição do ponto de entrega, o módulo de medição, o módulo de proteção, o disjuntor em alta tensão e os espaçamentos mínimos de instalação. Esse padrão é utilizado quando há disponibilidade de área e quando se busca uma solução integrada à edificação existente.

Figura 12 – Arranjo Cabine Baixa em Alvenaria



Fonte: NTC 903100, Abril/2018.

2.4 Equipamentos que compõem a cabine de medição e proteção em média tensão

A NTC 903100 (Abril/2018) descreve que a cabine pode ser abrigada ou ao tempo e é um termo genérico para designar um agrupamento de equipamentos elétricos, compostos por módulo de Medição, onde estão localizados os equipamentos e acessórios para a medição de energia, o módulo de Proteção, localizados os equipamentos e acessórios para a proteção e o módulo de Transformação, onde está localizado o transformador e acessórios.

E assim como explicado por MAMEDE (2017), as subestações são divididas em compartimentos denominados postos ou cabines, cada um desempenhando uma função bem definida, como:

- a) Posto de medição primária, onde estão localizados os equipamentos auxiliares da medição, como os transformadores de corrente e de potencial. Esses equipamentos são fornecidos, instalados e mantidos pela concessionária, sem custo direto para o consumidor, e permanecem como propriedade da empresa de energia. Esse posto é de uso exclusivo da concessionária, sendo seu acesso devidamente lacrado, de modo a impedir a entrada de pessoas não autorizadas.
- b) Posto de proteção primária, destinado à instalação de chaves seccionadoras, fusíveis ou disjuntores responsáveis pela proteção geral e pelo seccionamento da instalação.
- c) Posto de transformação, está destinado à instalação dos transformadores de força

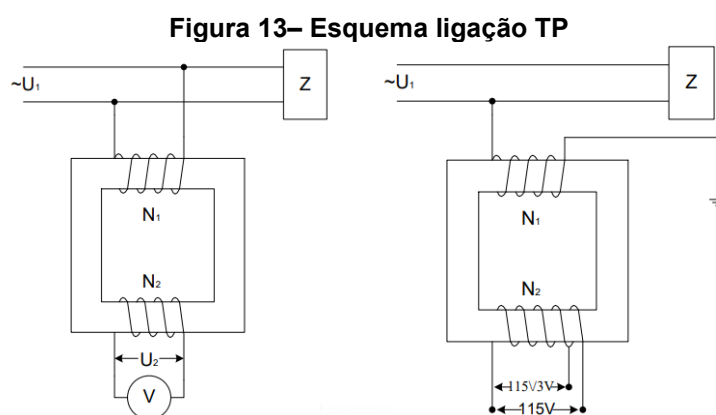
No estudo de caso abordado será referenciado apenas as soluções de cabines contemplando os módulos de Medição e Proteção, pois o módulo de transformação em geral é considerando o próprio equipamento transformador, não interferindo na análise e objetivo dos estudos.

2.4.1 Transformador de Potencial (TP)

MAMEDE (2013) define os transformadores de potencial indutivo (TPs) como equipamentos destinados a adequar o nível de tensão do circuito primário, realizando

o rebaixamento da tensão para valores compatíveis com instrumentos de medição e proteção. Dessa forma, os TPs permitem que esses instrumentos operem corretamente sem estarem diretamente expostos à tensão nominal do sistema.

Um TP é constituído por um enrolamento primário e um enrolamento secundário, a partir dos quais se obtém uma tensão secundária padronizada, geralmente 115 V ou $115/\sqrt{3}$ V, conforme a necessidade da aplicação e o tipo de ligação adotado. Esses valores são definidos para garantir compatibilidade com relés, medidores e demais equipamentos de proteção. A Figura 13 apresenta um esquema típico de ligação de TP.



Fonte: Santos, 2021.

A norma NBR 6855/2021, que trata de transformadores de potencial indutivo com isolamento sólida para tensões iguais ou inferiores a 52 kV, estabelece requisitos construtivos e operacionais para esses equipamentos, incluindo parâmetros de isolamento, precisão, potência térmica e categorias de desempenho. Esses critérios asseguram que o TP opere dentro dos limites para os quais foi projetado.

Os Transformadores de Potencial possuem duas aplicações principais no sistema elétrico: medição e proteção. Para medição, podem ser utilizados tanto para faturamento quanto para controle operacional. Para proteção, sua função está associada aos sistemas de relés, tornando fundamental a correta especificação das classes de exatidão e dos níveis de precisão. A observância desses critérios garante que o TP contribua adequadamente para a seletividade e a confiabilidade do sistema.

A Figura 14 apresenta um TP de uso interno, aplicado em cabines de média tensão. Já o Quadro 2 apresenta os grupos de ligação normalizados para TPs

utilizados em sistemas de distribuição, destacando as condições de operação, fatores de sobretensão permitidos e os tipos de ligação entre primário e secundário.

Figura 14– TP de uso interno cabine



Fonte: TP Brasformer modelo BPS11, 2025.

Quadro 2 – Grupo de ligação dos TPs

Grupo de ligação	Fator de sobretensão nominal	Duração	Forma de conexão do enrolamento primário e condições do sistema de aterramento
1	1,2	Contínuo	Entre fases de qualquer sistema
2	1,2	Contínuo 30 s	Entre fase e terra de um sistema com neutro eficazmente aterrado
	1,5		
3a	1,2	Contínuo	Entre fase e terra de um sistema de neutro não eficazmente aterrado , com remoção automática da falha
	1,9	30 s	
3b	1,2	Contínuo	Entre fase e terra de um sistema de neutro não eficazmente aterrado , sem remoção automática da falha
	1,9	Contínuo (ver NOTA 2)	

NOTA 1 Redução de tempos nominais é permissível mediante acordo entre o fabricante e usuário.

NOTA 2 Este fator de sobretensão torna-se necessário, em virtude das sobretensões que podem ocorrer em um sistema trifásico não aterrado, durante faltas de fase para a terra. Por não ser possível definir a duração de tais faltas, esta condição deve ser considerada como regime contínuo. Embora os TP destinados sejam capazes de suportar em regime contínuo tal condição, isto não significa que eles possam ser instalados em circuitos cuja tensão nominal exceda a 120 % da tensão primária nominal.

Fonte: NTC 903100 – Fornecimento em tensão primária de distribuição - COPEL.

Transformadores de Potencial podem ser construídos em diferentes formatos e materiais isolantes, variando conforme o ambiente de instalação e o nível de tensão. A NTC 903100 especifica as características mínimas para TPs aplicados em serviços de medição e proteção em 13,8 kV, apresentadas no Quadro 3. Entre essas características constam a tensão máxima de operação, frequência nominal, níveis de isolamento, meio dielétrico, exatidão, potência térmica e relação nominal.

Quadro 3 – características do transformador de potencial 13,8 kV aplicação em Entradas de Serviço

Uso	Interno	Externo
Tensão máxima	15 kV	15 kV
Frequência nominal	60 Hz	60 Hz
Frequência industrial / Nível de isolamento	34/95 kV	34/110 kV
Meio dielétrico	Massa Isolante (Epóxi)	Óleo Isolante ou Resina Cicloalifática
Exatidão	*	*
Potência térmica nominal	*	*
Tensão primária nominal	13,8 kV	13,8 kV
Relação nominal	120:1	120:1
Grupo de ligação	1	1

Fonte: NTC 903100 – Fornecimento em tensão primária de distribuição - COPEL.

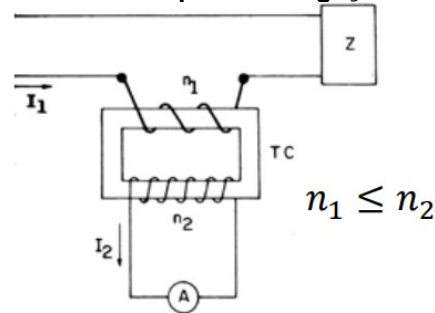
2.4.2 Transformador de Corrente (TC)

Para MAMEDE (2013), os transformadores de corrente (TCs) são dispositivos eletromagnéticos monofásicos utilizados para reduzir a corrente de circuitos de alta intensidade para níveis menores, permitindo medições e funções de proteção com precisão e segurança. Seu princípio de funcionamento baseia-se na indução eletromagnética: a corrente que circula no enrolamento primário gera um campo magnético que induz uma corrente proporcional no enrolamento secundário, possibilitando a utilização de amperímetros, relés e sistemas de proteção elétrica.

A relação de transformação do TC é definida por normas e pelos requisitos do projeto, de modo que a corrente secundária resultante seja proporcional à corrente primária. Os valores secundários padronizados são geralmente 5 A ou 1 A, representando a corrente obtida quando a corrente primária atinge o valor correspondente à relação de transformação especificada. Dessa forma, o TC adapta o nível de corrente para permitir a operação segura de equipamentos de medição e proteção, sem que estes estejam diretamente conectados ao circuito primário, garantindo segurança operacional e facilidade de manutenção.

A Figura 15 apresenta o esquema típico de ligação de um TC, indicando a relação entre o número de espiras no primário e no secundário, bem como o posicionamento relativo do dispositivo no circuito.

Figura 15 – TC esquema de ligação



Fonte: Santos, 2021.

A norma NBR 6856/2021, que trata de transformadores de corrente com isolamento sólida para tensões iguais ou inferiores a 52 kV, estabelece os requisitos construtivos e elétricos mínimos para esses equipamentos, incluindo a relação nominal, tensão máxima, frequência, nível de isolamento, classe de exatidão, número de núcleos, fator térmico nominal e corrente térmica.

Os TCs são amplamente utilizados em redes de distribuição, subestações e instalações industriais, onde precisão e segurança são fundamentais. A instalação adequada deve considerar aspectos como aterramento, posicionamento e a relação entre o número de espiras no primário e no secundário.

Assim como os TPs, os TCs possuem duas aplicações principais no sistema elétrico: medição e proteção. Para ambas as finalidades, a correta especificação das classes de exatidão e dos níveis de precisão, conforme as normas técnicas, é essencial. A observância desses critérios garante que o TC opere dentro das características previstas em projeto, contribuindo para a confiabilidade do sistema elétrico.

A Figura 16 apresenta um exemplo de TC de uso interno, aplicado em cubículos de média tensão. Já o Quadro 4, conforme a NTC 903100, apresenta as principais características elétricas exigidas para TCs de 13,8 kV aplicados em serviços de proteção, incluindo tensões suportáveis, fator térmico, corrente dinâmica e corrente nominal.

Figura 16 – TC de uso interno cabine

Fonte: TC Brasformer modelo BCS12, 2025.

Quadro 4 - Características do transformador de corrente 13,8 kV aplicação em Entradas de Serviço

Uso	Interno	Externo
Tensão máxima	15 kV	15 kV
Frequência nominal	60 Hz	60 Hz
Frequência industrial / Nível de isolamento	34 / 95 kV	34 / 110 kV
Meio dielétrico	Massa Isolante (Epóxi)	Óleo Isolante ou Resina Cicloalifática
Exatidão	10%	10%
Fator térmico nominal	*	*
Corrente térmica nominal (I _{th})	*	*
Corrente dinâmica nominal	*	*
Corrente primária nominal (I _n)	*	*
Corrente secundária nominal	5 A	5 A
Fator de Sobre corrente (FS)	20xI _n	20xI _n

Fonte: NTC 903100 – Fornecimento em tensão primária de distribuição.

2.4.3 Disjuntores de média tensão

Disjuntores de média tensão são componentes essenciais no controle e na proteção de redes elétricas que operam em níveis de tensão entre 1 kV e 36 kV. Eles desempenham a função de interromper automaticamente circuitos em situações de sobrecarga ou curto-circuito, evitando danos a equipamentos e reduzindo riscos à segurança. Esses dispositivos são projetados para operar grandes correntes de falha de forma rápida e segura, sendo amplamente utilizados em subestações e instalações industriais para garantir a proteção e a continuidade da operação do sistema elétrico.

Conforme MAMEDE (2013), os disjuntores de média tensão se diferenciam principalmente pelo meio de interrupção utilizado, que pode ser a vácuo, ar

comprimido, óleo ou gás SF₆, cada qual com características específicas para diferentes aplicações. Disjuntores a vácuo se destacam pela durabilidade e baixa necessidade de manutenção, enquanto os disjuntores isolados em SF₆ apresentam elevada capacidade de interrupção e são empregados em sistemas que exigem maior robustez, seletividade e complexidade operacional.

A escolha do tipo de disjuntor depende das condições operacionais e dos requisitos de segurança do sistema, uma vez que cada tecnologia apresenta desempenho otimizado para determinadas características de carga e ambientes de instalação.

Os disjuntores devem ser utilizados em conjunto com seus respectivos relés de proteção, que são responsáveis por monitorar grandezas elétricas como corrente, tensão e potência. A partir da análise realizada por sensores configurados previamente, os relés determinam se há condições anormais e, quando necessário, enviam o comando de abertura ao disjuntor. Assim, um disjuntor instalado sem relés adequados atua apenas como uma chave de manobra, sem desempenhar sua função principal de proteção.

As Figuras 17 e 18 apresentam exemplos de disjuntores de média tensão isolados a ar e a SF₆, respectivamente, utilizados em cubículos de média tensão para proteção, seccionamento e manobra. Complementando esses exemplos, a Quadro 5 apresenta as características técnicas mínimas exigidas pela NTC 903100 para disjuntores aplicados em sistemas de 13,8 kV, especificando parâmetros como tensão nominal, corrente nominal mínima, capacidade de interrupção e níveis suportáveis de tensão.

Figura 17 – Disjuntor isolado a ar Evopact HVX - Schneider



Fonte: Schneider modelo Evopact HVX, 2025.

Figura 18 – Disjuntor isolado a SF6 Evopact SF1

Fonte: Schneider modelo Evopact SF1, 2025.

Quadro 5 – Características do Disjuntor 13,8 kV para aplicação em entrada de serviço

Uso	Interno
Tensão nominal	15 kV
Corrente nominal (mínima)	400 A
Frequência nominal	60 Hz
Capacidade nominal de interrupção em curto circuito (mínima)	10,5 kA
Tensão suportável nominal à frequência industrial durante 1 minuto (eficaz)	34 kV
Tensão suportável nominal de impulso atmosférico (crista)	95 kV
Tempo total de interrupção (8 ciclos em 60 Hz)	130 ms

Fonte: NTC 903100 – Fornecimento em tensão primária de distribuição.

2.4.4 Seccionadora de média tensão

As seccionadoras de média tensão são dispositivos essenciais em sistemas de distribuição e subestações, utilizadas para isolar trechos de um circuito elétrico. Ao contrário dos disjuntores, as seccionadoras não possuem capacidade de interrupção de correntes de falha, devendo ser operadas somente quando o circuito está sem carga ou com corrente mínima. Sua função principal é garantir a segurança de equipes de manutenção, permitindo o isolamento completo do equipamento e eliminando riscos de acidentes durante atividades de inspeção, reparo ou substituição de componentes.

Segundo MAMEDE (2013), as seccionadoras podem ser constituídas de um único polo (seccionadoras unipolares) ou de três polos (seccionadoras tripolares), sendo aplicadas conforme o tipo de rede e os requisitos de proteção e manobra. A seleção da seccionadora deve considerar fatores como a tensão de operação, o ambiente onde o equipamento será instalado, a frequência de operação, o nível de

isolamento necessário e os requisitos de manutenção. Esses elementos são determinantes para garantir o isolamento adequado e a operação segura do sistema elétrico.

As Figuras 19 e 20 apresentam exemplos de seccionadoras de média tensão em diferentes tecnologias: uma seccionadora isolada a ar para uso abrigado e uma seccionadora isolada em hexafluoreto de enxofre (SF_6), respectivamente. Esses modelos ilustram aplicações práticas tanto para ambientes internos quanto para condições mais rigorosas que demandam maior capacidade de isolamento ou proteção contra contaminantes externos.

Complementando essas informações, a Quadro 6 apresenta as características técnicas mínimas exigidas pela NTC 903100 para seccionadoras aplicadas em sistemas de 13,8 kV. Entre os parâmetros estabelecidos estão a tensão nominal, a corrente permanente admissível, a corrente suportável nominal de curta duração, a duração da corrente de curto-circuito, além dos níveis de tensão suportável a impulso atmosférico e a frequência industrial. Esses requisitos orientam a correta especificação e seleção das seccionadoras conforme as condições operacionais e os padrões de segurança exigidos pela concessionária.

Figura 19 – Seccionadora isolado a ar de uso abrigado



Fonte: Tormel Engenharia, 2025.

Figura 20 – Seccionadora isolado em SF6 uso abrigado

Fonte: Schneider modelo sec, 2025.

Quadro 6 – Características da Chave Seccionadora 13,8 kV para entrada de serviço

Uso	Interno
Tensão nominal	15 kV
Frequência nominal	60 Hz
Corrente nominal permanente (mínima)	400 A
Corrente suportável nominal de curta duração (It)	10,5 kA
Duração nominal da It	3 s
Valor de crista nominal da correntes suportável (Id)	31,25 kA
Tensão suport. nom. de impulso atmosférico (crista): à terra e entre pólos	95 kV
Tensão suport. nom. de impulso atmosférico (crista): entre contatos abertos	110 kV
Tensão suport. nom. à freq. ind. durante 1 min (eficaz): à terra e entre pólos	36 kV
Tensão suport. nom. à freq. ind. durante 1 min (eficaz): entre contatos abertos	40 kV

Fonte: NTC 903100 – Fornecimento em tensão primária de distribuição.

2.4.5 Para-raios

Ainda conforme MAMEDE (2013), os para-raios são dispositivos essenciais de proteção em sistemas elétricos, cuja função é desviar descargas atmosféricas e surtos de tensão que possam atingir instalações, como subestações, linhas de transmissão e equipamentos sensíveis. Ao interceptar esses surtos, o para-raios cria um caminho de baixa impedância para a corrente da descarga, conduzindo-a diretamente ao solo e impedindo que cause danos aos componentes do sistema.

Os para-raios utilizam materiais semicondutores e resistivos que, ao serem submetidos a um valor elevado de tensão, reduzem sua resistência interna e permitem a passagem da corrente de forma controlada. Após a descarga, o dispositivo retorna ao seu estado de alta resistência, preparando-se para futuras ocorrências. Entre os diferentes tipos de para-raios, destacam-se os de óxido de zinco, amplamente

utilizados devido à elevada capacidade de absorção de energia e ao desempenho confiável.

Esses dispositivos são especialmente importantes em regiões com alta incidência de descargas atmosféricas, onde desempenham papel fundamental na continuidade e segurança das operações elétricas, reduzindo interrupções e protegendo os investimentos em infraestrutura. A Figura 21 apresenta um exemplo de para-raios utilizado em sistemas de média tensão, ilustrando sua aplicação prática em instalações de proteção contra surtos.

Figura 21 – Para-raios



Fonte: Balestro modelo PBPE, 2025.

2.4.6 Relé de Proteção

Relés de proteção são dispositivos essenciais em sistemas elétricos de média e alta tensão, atuando na detecção de falhas e na interrupção de circuitos para proteger equipamentos e garantir a continuidade de operação do sistema elétrico. Em situações anormais, como curto-circuitos, sobrecorrentes ou subtensões, o relé reage rapidamente para isolar a seção afetada, evitando danos mais severos e assegurando o fornecimento de energia às demais partes da instalação.

Esses dispositivos operam com base em parâmetros predefinidos, monitorando grandezas elétricas como corrente, tensão, frequência e temperatura. Quando qualquer uma dessas variáveis ultrapassa seus limites ajustados, o relé envia um comando ao disjuntor correspondente, que realiza a abertura do circuito, protegendo tanto o equipamento quanto o sistema como um todo.

Conforme MAMEDE (2013), a precisão e a confiabilidade dos relés de proteção são fundamentais, especialmente em sistemas de transmissão e distribuição de energia, onde a segurança operacional e a continuidade do serviço são prioridades. Existem diferentes tipos de relés, como eletromecânicos, eletrônicos e digitais, cada um adequado a aplicações específicas. Os relés digitais destacam-se pela capacidade de integração com sistemas de automação, permitindo monitoramento contínuo, diagnóstico avançado e resposta em tempo real a eventos anormais, tornando os sistemas de proteção cada vez mais eficientes e precisos.

O Quadro 7 apresenta as principais funções ANSI associadas aos relés de proteção utilizados em sistemas de média tensão, incluindo funções de sobrecorrente (50/51), subtensão (27), sobretensão (59) e supervisão de circuito de *trip* (74), entre outras que serão utilizadas nas proteções dos casos estudados.

Quadro 7 – Função ANSI

FUNÇÃO DE PROTEÇÃO DO RELÉ	DESCRIÇÃO
50	Sobrecorrente instantâneo
50N	Sobrecorrente instantâneo de neutro
51	Sobrecorrente temporizado
51N	Sobrecorrente temporizado de neutro
74	Supervisão de circuito de <i>trip</i>
27	Subtensão
59	Sobretensão

Fonte: Tabela ANSI, 2025.

A Figura 22 ilustra um exemplo de relé digital de proteção do modelo P3U30, amplamente utilizado em cubículos de média tensão devido à sua versatilidade, facilidade de parametrização e alto desempenho na detecção e análise de falhas.

Figura 22 – Relé de Proteção P3U30 - Schneider



Fonte: Schneider modelo P3U30, 2025.

3 ASPECTOS CONSTRUTIVOS DE CABINES DE MEDIÇÃO E PROTEÇÃO

3.1 Solução em cabine alvenaria

A NTC 903100 define que a cabine de alvenaria é confeccionada em alvenaria ou concreto, contendo equipamentos destinados aos módulos de medição, proteção e/ou transformação de energia elétrica.

Esse tipo de construção é amplamente utilizado em subestações, caracterizando-se pelo custo inicial reduzido dos materiais e pela facilidade de montagem e manutenção. Entretanto, devido à necessidade de paredes estruturais, circulação interna adequada e espaços destinados à instalação e manutenção dos equipamentos, sua execução normalmente demanda uma área construída maior quando comparada a outras alternativas construtivas. Esse comportamento pode ser observado nas Figuras 23 e 24, que apresentam exemplos reais de cabines de alvenaria em visão externa, evidenciando seu espaço e ocupação de área.

Figura 23 – Cabine 01 de média tensão em alvenaria – visão externa



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 24 – Cabine 02 de média tensão em alvenaria – visão externa



Fonte: Autoria própria (2025).

As cabines de medição em alvenaria são reconhecidas por sua robustez e durabilidade, sendo normalmente construídas com tijolos, blocos cerâmicos ou blocos de concreto. Entretanto, o termo “cabine” pode incluir outras soluções construtivas, como madeira, plástico ou estruturas metálicas, dependendo da aplicação e do ambiente. No caso específico da alvenaria, esse tipo de material oferece elevada resistência mecânica e térmica, protegendo os equipamentos contra variações climáticas, impactos físicos e situações adversas. Internamente, é comum a existência de compartimentações, como ilustram as Figuras 25 e 26, que mostram exemplos de layout interno, disposição de equipamentos e áreas segregadas para operação e manutenção.

Figura 25 – Cabine em alvenaria – visão interna



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 26 – Cabine em alvenaria – visão interna



Fonte: Autoria própria (2025).

Outro benefício das cabines de alvenaria é a possibilidade de personalização do espaço interno. A construção permite compartimentar e organizar equipamentos conforme as necessidades do projeto, promovendo melhor organização e facilitando o acesso para manutenções. No entanto, essa alternativa exige mais tempo de execução, especialmente quando comparada a soluções pré-fabricadas metálicas, que apresentam montagem mais rápida. Assim, embora a alvenaria apresente menor custo de materiais, nem sempre é a opção mais adequada para projetos que demandam rápida implementação.

Por outro lado, quando há disponibilidade de espaço físico e prioridade por segurança, durabilidade e vida útil prolongada, as cabines de alvenaria destacam-se como uma solução robusta e confiável, motivo pelo qual continuam amplamente utilizadas em instalações industriais e comerciais.

3.2 Solução em cabine pré-fabricada mista

A NTC 903100 define que a cabine pré-fabricada mista é confeccionada em chapas metálicas (aço-carbono ou alumínio) e placas de concreto ou alvenaria, contendo equipamentos instalados em local abrigado destinados à medição, proteção e/ou transformação de energia elétrica.

As cabines pré-fabricadas mistas combinam elementos estruturais de alvenaria com módulos metálicos pré-fabricados, oferecendo uma solução que une robustez e praticidade. Esse tipo de cabine é projetado para resistir a condições operacionais intensas, mas com menor tempo de instalação em comparação às cabines totalmente em alvenaria. A Figura 27 ilustra um exemplo desse tipo de construção, destacando o módulo metálico acoplado ao muro de proteção lateral.

Figura 27 – Cabine medição e proteção pré-fabricada mista



Fonte: Autoria própria (2025).

A aplicação prática das cabines mistas pode ser observada também na Figura 28, que apresenta uma solução pré-fabricada instalada sobre base de concreto, característica comum desse modelo construtivo. O uso de módulos pré-fabricados possibilita que a estrutura seja montada rapidamente no local de instalação, reduzindo

custos de mão de obra, minimizando interrupções operacionais e acelerando a liberação do sistema.

Figura 28 – Cabine pré-fabricada mista



Fonte: Autoria própria (2025).

Essas cabines são ideais para projetos que buscam um equilíbrio entre resistência estrutural e rapidez de execução. No entanto, a capacidade de personalização do espaço interno pode ser limitada quando comparada às cabines de alvenaria. Em contrapartida, os módulos metálicos, embora resistentes, podem apresentar menor durabilidade dependendo das condições de exposição e da qualidade da manutenção.

Internamente, as cabines pré-fabricadas mistas apresentam divisão em módulos específicos, conforme evidenciado pelas Figuras 29, 30 e 31, que ilustram respectivamente o módulo de entrada e medição da concessionária, o módulo de seccionamento e o módulo de proteção geral, compondo a organização típica dessas estruturas e permitindo uma disposição funcional dos equipamentos para operação e manutenção. Esse arranjo modular facilita a organização dos equipamentos e permite rápido acesso para inspeção e manutenção, garantindo uma operação segura e eficiente.

Figura 29 – Cabine pré-fabricada mista – módulo entrada / medição concessionária



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 30 – Cabine pré-fabricada mista – módulo seccionamento



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 31 – Cabine pré-fabricada mista – módulo proteção geral



Fonte: Autoria própria (2025).

A NTC 903100 não define um padrão construtivo, mas define alguns requisitos técnicos, ficando a responsabilidade do fornecedor das cabines o atendimento, ressaltando que a construção da cabine pré-fabrica requer a apresentação de projeto específico e obedecer aos critérios estabelecidos nas normas NBR 14039 (Instalações elétricas de média tensão) e NBR IEC 62271-200 (Conjunto de manobra e controle de alta-tensão em invólucro metálico para tensões acima de 1 kV até e inclusive 52 kV).

A adoção de cabines pré-fabricadas mistas é especialmente vantajosa em locais onde a rapidez de implementação é fundamental, o espaço físico é restrito e os riscos ambientais são moderados. Ainda assim, a durabilidade do conjunto depende diretamente da qualidade dos materiais empregados e da manutenção periódica.

3.3 Solução em cabine pré-fabricada metálica convencional

A NTC 903100 define que a cabine pré-fabricada metálica é confeccionada em chapas metálicas, como aço-carbono ou alumínio, contendo equipamentos instalados em local abrigado destinados à medição, proteção e/ou transformação de energia elétrica.

As cabines de medição pré-fabricadas metálicas são amplamente utilizadas em situações que exigem rapidez na instalação e flexibilidade de mobilidade. Por serem leves e moduladas, facilitam o transporte e a realocação em caso de ajustes no layout da instalação. Além disso, seu custo de instalação e o tempo de montagem são significativamente menores em comparação às cabines de alvenaria ou mistas, o que torna essa alternativa vantajosa em projetos temporários ou de rápida implementação. A Figura 32 e 33 apresentam um exemplo de cabine pré-fabricada metálica convencional em vista externa e interna, ilustrando seu formato compacto e de fácil deslocamento.

Figura 32 – Cabine de medição em média tensão metálica convencional externa



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 33 – Cabine de medição em média tensão metálica convencional interna



Fonte: Autoria própria (2025).

No entanto, por se tratar de um invólucro metálico, esse tipo de cabine apresenta menor resistência a variações climáticas severas, corrosão e impactos externos, especialmente quando instalada em ambientes adversos. Por essa razão, é indicada principalmente para locais com baixa exposição a riscos ambientais. Sua mobilidade e a flexibilidade de configuração são características relevantes, mas sua durabilidade depende diretamente da qualidade da manutenção preventiva e da proteção anticorrosiva aplicada. A Figura 34 exemplifica o interior de uma cabine

metálica convencional, demonstrando a disposição dos equipamentos no módulo de medição e proteção.

Figura 34 – Cabine de medição em média tensão metálica convencional



Fonte: Engerey (2025).

A NTC 903100 não define um padrão construtivo rígido para essas cabines, mas estabelece requisitos mínimos relacionados ao projeto e à conformidade técnica. A construção deve observar as normas NBR 14039 e NBR IEC 62271-200, que tratam de conjuntos de manobra e controle de alta tensão em invólucro metálico para tensões acima de 1 kV até 52 kV. Entretanto, mesmo seguindo os requisitos construtivos dessas normas, muitos fabricantes não executam todos os ensaios previstos, especialmente o ensaio de arco interno, necessário para a classificação IAC (*Internal Arc Classification*). Por esse motivo, as cabines pré-fabricadas metálicas convencionais geralmente não recebem certificação de arco interno, sendo classificadas apenas como “convencionais”.

Apesar dessas limitações, as cabines metálicas convencionais se destacam como uma solução de baixo custo e rápida implementação, fornecidas como um módulo único. Requerem, contudo, uma área construída relativamente ampliada na base de instalação, sendo mais adotadas em ambientes industriais com espaço disponível próximo aos centros de carga e onde a criticidade operacional não exige níveis elevados de proteção ao arco interno.

3.4 Solução em cabine pré-fabricada metálica certificada

A cabine compacta certificada é uma solução moderna e segura para aplicações em média tensão, especialmente em ambientes onde há alta criticidade quanto à continuidade do fornecimento de energia elétrica. Sua principal característica está na construção compacta e otimizada, demonstrado nas Figuras 35 e 36, que integra equipamentos de manobra, proteção e medição em um único invólucro metálico, reduzindo o espaço físico necessário para instalação. Esse tipo de cabine é ideal para instalações industriais, hospitais, data centers e outras aplicações onde paradas não programadas podem acarretar prejuízos significativos.

Figura 35 – Cabine de medição em média tensão compacta certificada



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 36 – Cabine de medição em média tensão compacta certificada



Fonte: Autoria própria (2025).

Diferentemente das cabines convencionais, que muitas vezes seguem apenas os requisitos construtivos da norma ABNT NBR IEC 62271-200 sem realizar os ensaios completos, a cabine compacta certificada passa por todos os testes de tipo exigidos, incluindo os ensaios de arco interno. Isso garante que ela atenda plenamente à classificação IAC (*Internal Arc Classification*), conferindo um elevado nível de proteção às pessoas e ao ambiente, mesmo em situações de falhas internas. Essa certificação é um diferencial técnico importante e comprova a robustez e a confiabilidade da solução. Na Figura 37 é possível observar que em uma situação de arco interno, a expansão de gases é direcionada para a parte de trás do cubículo, trazendo mais segurança ao operador, devido a sua classificação de arco interno (IAC AFL), definido pela norma ABNT NBR IEC 62271-200.

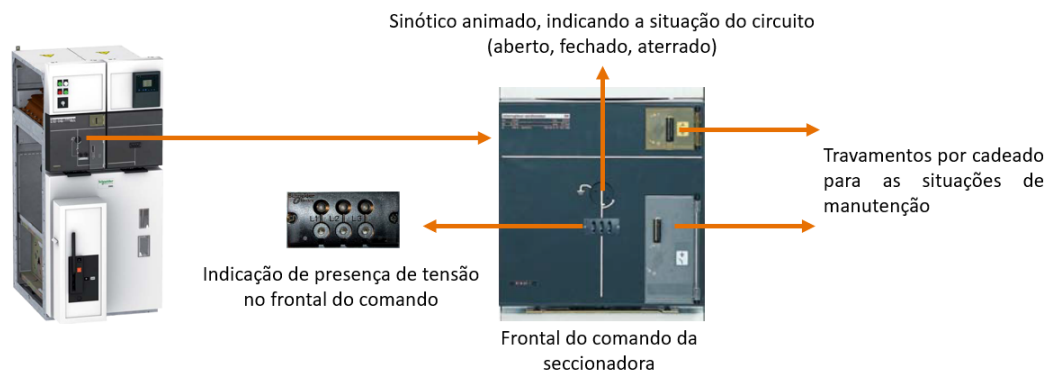
Figura 37 – Classificação IAC-AFL SM6



Fonte: Autoria própria (2025).

Além da segurança, outro destaque da cabine compacta certificada é sua contribuição para a continuidade de serviço. Com projeto padronizado, compartimentação adequada e mecanismos de intertravamento eficientes, ela permite intervenções rápidas e seguras, reduzindo o tempo de manutenção e minimizando riscos operacionais, como ilustrado na Figura 38. Sua utilização reforça o compromisso das empresas com a segurança operacional, a eficiência energética e a conformidade com as exigências normativas vigentes no setor elétrico.

Figura 38 – Mecanismo de operação do SM6



Fonte: Autoria própria (2025).

A Schneider Electric, buscando elevar os níveis de segurança, confiabilidade e conectividade das cabines de média tensão, desenvolveu soluções inteligentes destinadas ao monitoramento e controle avançado dos equipamentos instalados na SM6. Essas inovações estão alinhadas ao conceito de Indústria 4.0, que consiste na integração de tecnologias digitais, como automação inteligente, sensoramento

contínuo, conectividade em tempo real e análise de dados, para otimizar o desempenho operacional e aprimorar a tomada de decisão nos sistemas elétricos.

Entre os recursos disponíveis, destaca-se a utilização de sensores de detecção de arco elétrico, que atuam em conjunto com relés de proteção para identificar falhas incipientes e acionar o disjuntor de forma extremamente rápida, reduzindo riscos ao equipamento e às pessoas. Além disso, sensores de temperatura instalados nos principais pontos da cabine permitem o monitoramento térmico contínuo, possibilitando a configuração de alarmes em diferentes níveis de criticidade (baixo, médio e alto), garantindo maior previsibilidade e segurança operacional.

A cabine também pode ser equipada com uma interface IHM (Interface Homem-Máquina), que permite a supervisão local do sistema. Por meio da IHM, o operador consegue visualizar o estado do equipamento, acessar parâmetros, identificar alarmes e executar comandos de forma prática e segura, diretamente no próprio painel.

Outra funcionalidade relevante é a conectividade remota, que possibilita a integração da cabine com sistemas supervisórios e plataformas de gestão. Essa solução é denominada *Connected Enabled Plus* e permite o acesso em tempo real aos dados operacionais da cabine, histórico de eventos, tendência de variáveis monitoradas e diagnósticos automáticos. Esse recurso, ilustrado na Figura 39, representa um avanço significativo na gestão inteligente de ativos elétricos, contribuindo para maior disponibilidade, confiabilidade, segurança e eficiência na operação dos sistemas de média tensão.

Figura 39 – Sistema *Connected Enabled Plus* do SM6



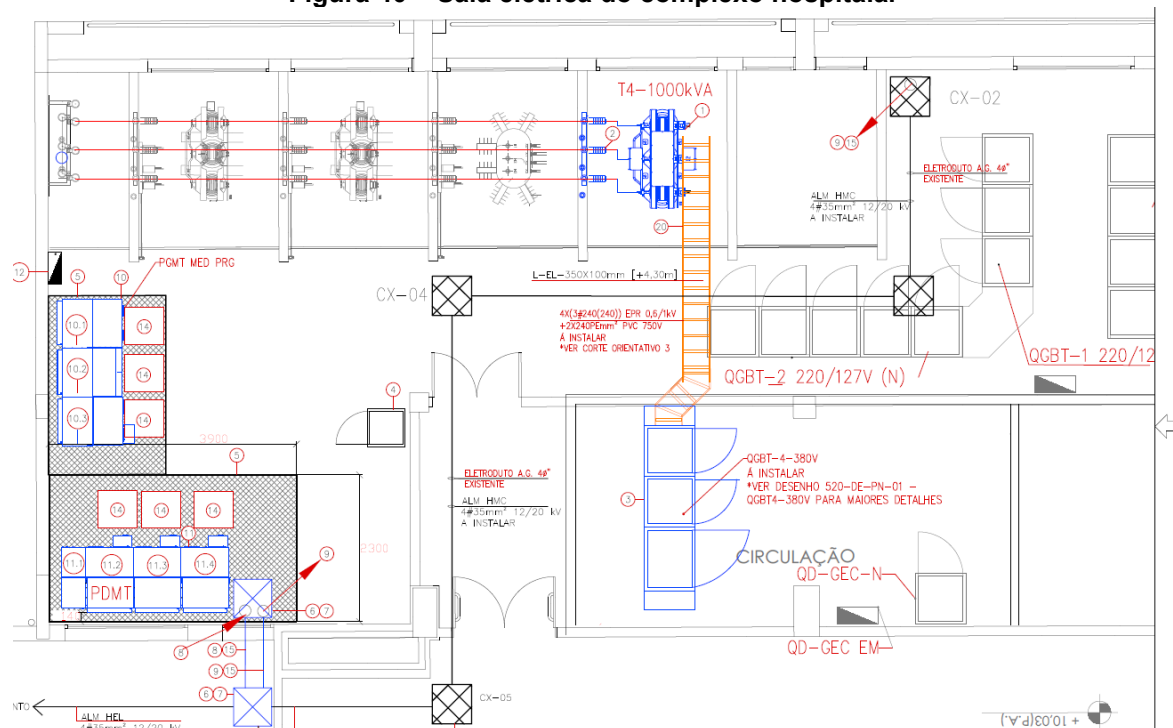
Fonte: Autoria própria (2025).

4 ESTUDO DE CASO HOSPITAL

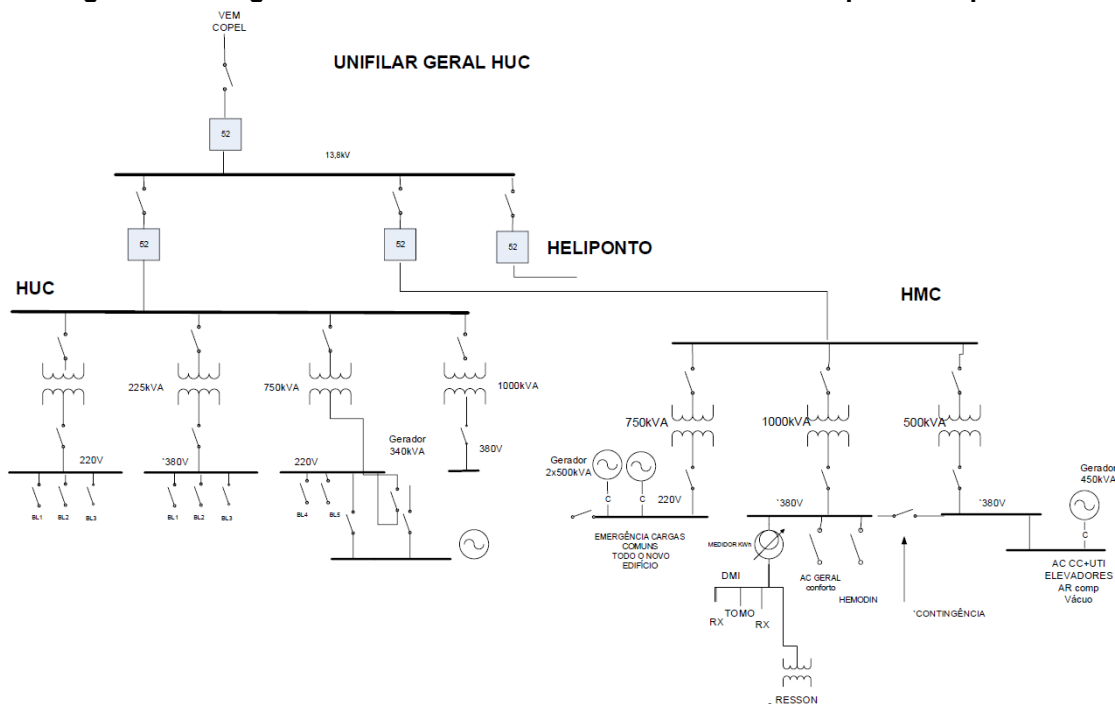
4.1 Características de projeto

O presente estudo de caso tem como objeto de análise uma instalação hospitalar localizada na cidade de Curitiba, no estado do Paraná, cuja rede de alimentação elétrica opera em 13,8 kV, enquadrando-se, portanto, no grupo tarifário A4. Trata-se de uma unidade consumidora de caráter confidencial, cujo nome foi omitido a fim de preservar informações técnicas e comerciais. Conforme estabelecido pela norma técnica COPEL NTC 903100, a medição de energia elétrica deve ser realizada diretamente em média tensão, atendendo às exigências normativas aplicáveis a esse tipo de consumidor. Na Figura 40 é representado o arranjo da sala elétrica do complexo hospitalar. Já na Figura 41, está representando o diagrama unifilar.

Figura 40 – Sala elétrica do complexo hospitalar



Fonte: Estudo de caso complexo hospitalar, 2025.

Figura 41 – Diagrama unifilar atual do sistema elétrico do complexo hospitalar

Fonte: Estudo de caso complexo hospitalar, 2025.

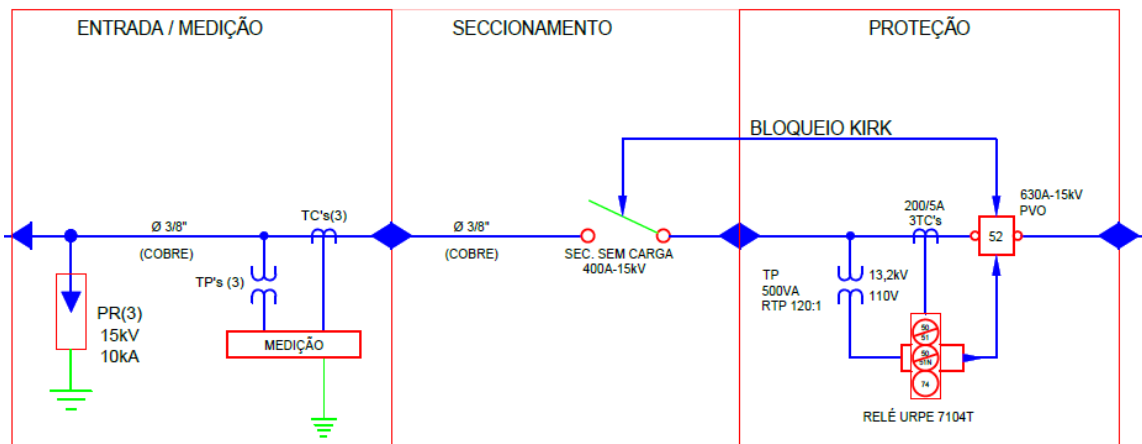
Considerando a possibilidade de interrupções no fornecimento de energia elétrica, associadas ao tempo de operação e ao desgaste dos dispositivos de proteção instalados na subestação principal, verifica-se a necessidade de modernização do sistema de entrada primária, com o objetivo de assegurar maior confiabilidade, segurança operacional e continuidade no fornecimento de energia.

Destaca-se que este estudo tem como foco exclusivo a análise da cabine de medição em média tensão, não sendo objeto de avaliação as características técnicas das cargas instaladas nem da rede de baixa tensão. O objetivo consiste em apresentar e comparar diferentes soluções construtivas para a implantação da cabine, considerando as opções em alvenaria, pré-fabricada mista, pré-fabricada metálica convencional e metálica certificada.

Considerando que o ponto de entrega da concessionária será realizado por meio de rede subterrânea, a instituição já desenvolveu um diagrama unifilar conforme as exigências da norma COPEL. A solução foi dividida em três compartimentos: o primeiro destinado à entrada e medição; o segundo, ao seccionamento da entrada de rede para proteção; e o terceiro, à proteção das instalações do consumidor. Essa

configuração segue os diagramas estabelecidos na NTC 903100, conforme ilustrado na Figura 42 deste trabalho e com base na Figuras 7 da referida norma.

Figura 42 – Diagrama unifilar do hospital atendido pela rede Copel em 13,8 kV



Fonte: Estudo de caso complexo hospitalar, 2025.

Para garantir a correta interpretação do diagrama unifilar apresentado na Figura 42, é essencial esclarecer as siglas e símbolos utilizados. Os TCs (Transformadores de Corrente) e TP's (Transformadores de Potencial) são dispositivos de instrumentação que reduzem corrente e tensão para níveis compatíveis com os relés de proteção. O termo PR refere-se ao para-raios instalado na entrada primária para proteção contra surtos atmosféricos. A sigla 52 indica o disjuntor de média tensão, responsável pela interrupção automática em caso de falhas. Já o bloqueio Kirk representa um sistema mecânico de intertravamento de chaves, garantindo que determinadas manobras só possam ser realizadas em sequência segura, prevenindo riscos operacionais. A identificação RTD120:1 está associada à relação de transformação do TP. O relé URPE 7104T é o dispositivo responsável pela detecção de sobrecorrentes, subtensões e outras anomalias, enviando comandos de abertura ao disjuntor. Todos esses elementos compõem o sistema de medição, seccionamento e proteção da instalação, sendo fundamentais para o entendimento do funcionamento elétrico por parte de leitores técnicos e não especialistas.

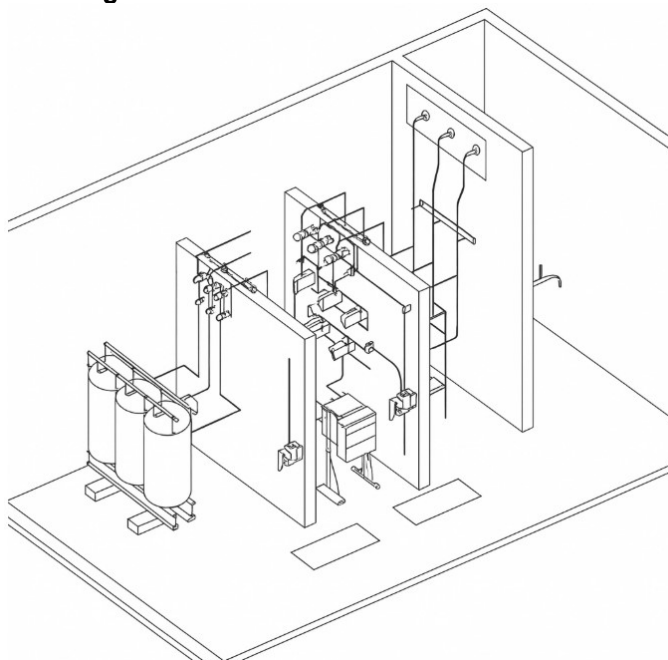
A seguir, são apresentadas as soluções em cabines do tipo alvenaria, pré-fabricada mista, pré-fabricada metálica convencional e certificada. Cada uma das alternativas foi analisada com base em critérios técnicos relevantes, sendo atribuídas classificações de complexidade. Essas classificações refletem estimativas típicas do

mercado e práticas comuns observadas em projetos reais, servindo exclusivamente como referência para a avaliação técnica no contexto deste trabalho.

4.2 Solução em cabine alvenaria

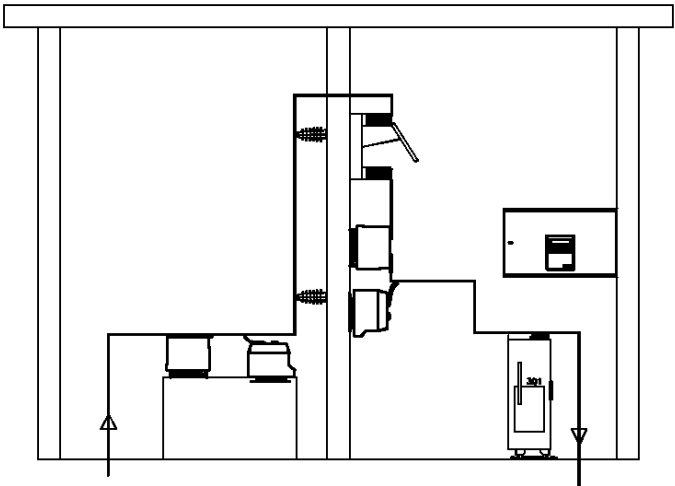
As Figuras 43 e 44 apresentam a configuração interna de uma cabine de alvenaria utilizada para medição e proteção em média tensão. A Figura 44 mostra uma perspectiva geral da cabine, evidenciando a disposição dos módulos, o posicionamento dos equipamentos e a separação física entre os compartimentos. Já a Figura 45 detalha a vista interna dos módulos de medição e proteção, destacando a organização dos transformadores, disjuntores, relés e dispositivos auxiliares, conforme os requisitos normativos e operacionais da instalação.

Figura 43 – Vista interior cabine alvenaria



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 44 – Vista interior cabine alvenaria modulo medição e proteção



Fonte: Autoria própria (2025).

4.2.1 Custo de Implementação

O Quadro 8 apresenta a relação dos fabricantes e materiais necessários.

Quadro 8 – Lista de material cabine alvenaria

(continua)

MÓDULO	COMPONENTE	QUANTIDADE	MARCA
Medição	Suporte para TPs e TCs – parede	1	Fornecedor
	Caixa EN para medição em chapa F.G. (aprox. 49x57x25 cm)	1	Fornecedor
	Transformador de Corrente (TC) 15kV, - Fornecimento Concessionária	3	Concessionária
	Transformador de Potencial (TP) 15kV, 115V/500VA, - Fornecimento Concessionária	3	Concessionária
	Painel de leitura/medição em chapa F.G.	1	Fornecedor
Sec. e proteção	Seccionadora classe 15kV 400A NBI 95kV, tipo guilhotina	1	Schneider ou similar
	Bucha de passagem classe 15kV 400A NBI 95kV	1	Senner ou similar
	Flanges para tampa	2	Fornecedor
	Bloqueio mecânico para seccionadora AT	1	Fornecedor
	Transformador de Corrente (TC) 15kV, 400/5A 25VA, 10P20	3	Brasformer ou similar
	Transformador de Potencial (TP) 15kV, 115V/500VA, Grupo de ligação 2 (GL2)	3	Brasformer ou similar

Quadro 8 – Lista de material cabine alvenaria

(conclusão)			
MÓDULO	COMPONENTE	QUANT.	MARCA
Sec. e proteção	Disjuntor lateral motorizado 15kV, 630A, 16kA, isolado em SF6	1	Schneider
	Relé microprocessado de proteção (ex.: <i>Easergy</i> P3)	1	Schneider
	Caixa de comando do disjuntor AT (aprox. 60x55x12 cm)	1	Fornecedor
	Caixa para proteção auxiliar (aprox. 40x55x30 cm)	1	Fornecedor
	Suporte para TCs de proteção e TP auxiliar	1	Fornecedor
	Anteparos em tela	3	Fornecedor
	Suportes para muflas	2	Fornecedor
Civil Alvenaria	Projeto civil e ART	1	Engenharia
	Fundação e radier de concreto armado	1	Empreiteiro
	Estrutura em alvenaria estrutural (parede, m ²)	1	Empreiteiro
	Cobertura (laje), impermeabilização e rufos	1	Empreiteiro
	Portas metálicas ventiladas (dupla folha)	1	Fornecedor
	Ventilação/grade de ar (m ²)	1	Fornecedor
	Revestimento e pintura (interna/externa)	1	Empreiteiro
	Piso industrial antiderrapante	1	Empreiteiro
	Eletrodutos/eletrocalhas e infraestruturas internas baixa tensão -BT	1	Fornecedor
	Sistema de aterramento (malha, hastes, conexões)	1	Fornecedor
	Drenagem/perfuração e rebaixo (se aplicável)	1	Empreiteiro

Fonte: Autoria própria (2025).

Esta solução apresenta custo aproximado de R\$ 130.000,00.

4.2.2 Tamanho da Área Construída

Conforme ilustrado na Figura 25, a solução em alvenaria exige uma área construída significativamente maior quando comparada às demais alternativas. Trata-se de uma estrutura mais robusta, que demanda espaço amplo para a alocação dos equipamentos e para a correta separação física entre os compartimentos funcionais. Essa separação, por norma, deve ser feita por paredes corta-fogo, aumentando ainda mais a complexidade do projeto civil. Além disso, é necessário considerar áreas de circulação interna, ventilação, acesso técnico e segurança operacional, o que contribui para um consumo elevado de espaço útil. Essa configuração torna a obra civil mais extensa, impactando diretamente no prazo de execução, nos custos com fundações, alvenaria, cobertura e acabamentos, e na necessidade de mão de obra qualificada

para construção. Por essas razões, a solução em alvenaria é classificada como de grande porte em área ocupada e com alta complexidade de implementação.

4.2.3 Prazo de Execução

Por se tratar de uma solução com uma obra civil maior, esta solução fica de responsabilidade da empresa contratada para instalação da solução onde existe a separação da parte civil e elétrica.

Por se tratar de uma solução que demanda uma obra civil mais extensa e complexa, a cabine em alvenaria costuma envolver a separação entre os serviços civis e elétricos, ficando a execução da parte civil, geralmente, sob responsabilidade da empresa contratada pelo consumidor final. Essa divisão pode gerar maior necessidade de coordenação entre equipes e prazos, aumentando o tempo total de implantação do sistema.

No Quadro 9 estão descritas as principais etapas da obra civil e seus respectivos prazos estimados, definidos com base em práticas usuais do mercado para instalações de pequeno e médio porte, como é o caso das cabines de média tensão.

Quadro 9 – Prazos fabricação cabine alvenaria

Etapa da Obra Civil	Prazo Estimado
Execução das fundações e bases	5 a 7 dias úteis
Levantamento de alvenaria e estrutura	7 a 10 dias úteis
Cobertura, piso, reboco e acabamento básico	5 a 7 dias úteis
Instalações elétricas (considerando que os equipamentos já estarão em campo para instalação)	5 a 7 dias úteis
Comissionamento e <i>start-up</i>	2 a 3 dias úteis
Total estimado	Média 30 dias úteis

Fonte: Autoria própria (2025).

Nota: Os prazos e atividades apresentados foram obtidos por meio de conversas técnicas, visitas de campo e consultas a profissionais de uma empresa especializada no serviço de instalação de cabines de média tensão. As informações foram consolidadas e apresentadas de forma agregada, sem identificação da fonte comercial, em razão de acordo de confidencialidade firmado com os envolvidos.

Esses prazos não consideram possíveis atrasos causados por condições climáticas, feriados, disponibilidade de materiais ou o tempo necessário para aprovação junto à concessionária. Ainda assim, destacam que a cabine em alvenaria apresenta um dos maiores prazos de execução entre as soluções analisadas, o que deve ser cuidadosamente avaliado no contexto da análise técnica do projeto.

4.2.4 Continuidade e Confiabilidade de Serviço

A cabine em alvenaria, mesmo quando construída de acordo com as exigências da norma da Copel e com a devida compartimentação entre os módulos, pode apresentar limitações quanto à continuidade de serviço. Ainda que os equipamentos elétricos internos utilizados, como transformadores, seccionadoras, disjuntores e relés de proteção, sejam devidamente certificados e ensaiados, a estrutura da cabine como um todo não é uma solução padronizada ou testada em conjunto, o que reduz a previsibilidade do desempenho em condições adversas ou de manutenção.

Por esse motivo, a cabine em alvenaria é classificada neste estudo com nível médio de continuidade e confiabilidade de serviço, uma vez que seu desempenho depende diretamente da qualidade dos equipamentos utilizados, do cuidado no projeto elétrico e da execução adequada da obra civil, não havendo uma garantia padronizada de funcionamento contínuo em todas as situações.

4.2.5 Segurança Operacional

A segurança operacional da cabine em alvenaria é considerada de nível baixo neste estudo, principalmente devido à sua natureza construtiva. Por se tratar de uma estrutura executada de forma artesanal e personalizada em cada projeto, a cabine não passa por ensaios de tipo como solução completa, o que compromete a previsibilidade do seu desempenho em situações de falha interna ou operação incorreta.

Mesmo que os equipamentos internos, como disjuntores, relés e transformadores, sejam certificados individualmente, a ausência de uma certificação integrada da cabine como conjunto deixa lacunas quanto à proteção dos operadores e à contenção de eventos internos, como falhas de isolamento. Dessa forma, a

segurança operacional dependerá exclusivamente da qualidade do projeto e da instalação.

4.2.6 Facilidade de Manutenção

A cabine em alvenaria apresenta um nível baixo em termos de facilidade de manutenção. Por ser uma estrutura robusta, ela dispõe de espaço interno amplo, o que facilita o acesso aos equipamentos durante intervenções preventivas ou corretivas.

De acordo com a norma NBR 14039 e as recomendações da NR 10, as cabines de média tensão devem passar por manutenções periódicas, que incluem inspeções visuais, testes funcionais, limpeza e reapertos mecânicos. A frequência dessas manutenções pode variar de acordo com o ambiente, o nível de exposição e a criticidade da instalação. No entanto, recomenda-se, como prática consolidada no mercado, a realização de inspeções mensais ou trimestrais, complementadas por manutenções preventivas anuais completas.

As recomendações práticas de manutenção apresentadas no Quadro 10 foram elaboradas com base nas diretrizes gerais da NBR 14039, nas exigências de segurança da NR 10 e nas orientações fornecidas por fabricantes de equipamentos de média tensão. Esses parâmetros são amplamente utilizados como referência para garantir a confiabilidade e a longevidade das instalações.

Quadro 10 – Manutenção cabine alvenaria

Tipo de Manutenção	Periodicidade Recomendada	O que fazer
Inspeção visual	Mensal ou Trimestral	Verificar aquecimento, ruídos, odores, limpeza
Limpeza interna	Semestral	Remover pó, umidade, insetos, etc.
Aperto de conexões	Anual	Checar conexões de barramentos e terminais
Teste de relés e disjuntores	Anual ou Bienal	Testar disparo, tempos de atuação
Ensaio elétrico	A cada 3-5 anos (seguir orientação fabricante para cada equipamento)	Garantir integridade dos componentes

Fonte: Autoria própria (2025).

4.2.7 Durabilidade

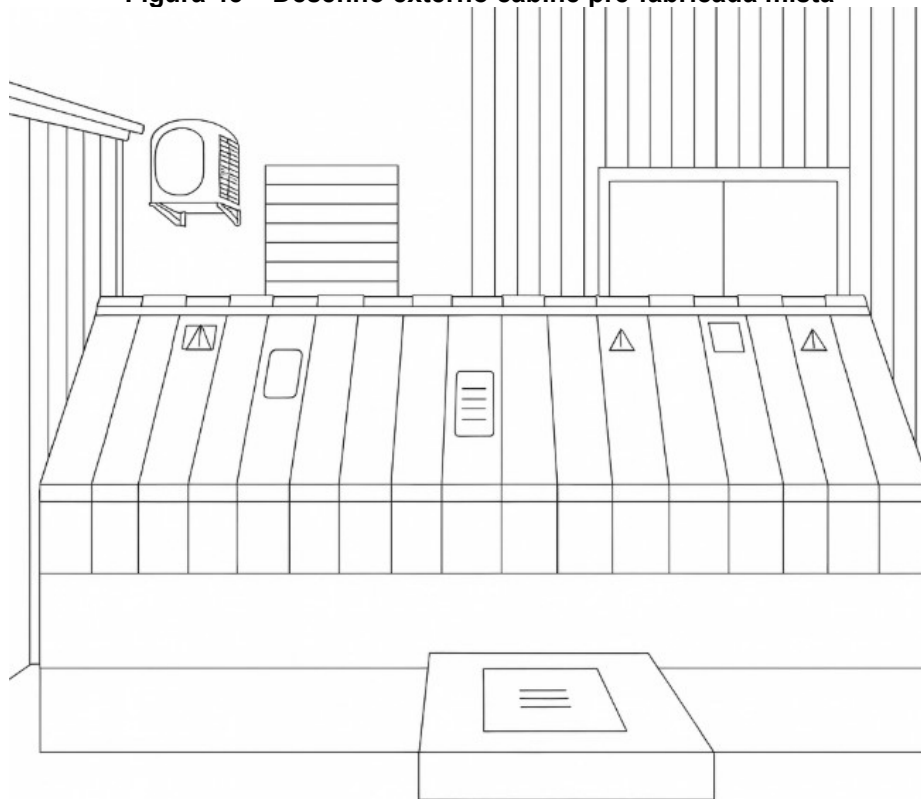
A cabine em alvenaria apresenta um bom desempenho no quesito durabilidade, sendo classificada neste estudo como de nível alto. Por ser uma estrutura fixa, construída com materiais robustos e de longa vida útil, como concreto, alvenaria e telhas metálicas, ela oferece excelente resistência a intempéries, impactos mecânicos e variações climáticas, desde que executada corretamente e com os devidos cuidados construtivos.

Além disso, sua durabilidade é elevada, com vida útil estimada superior a 30 anos, exigindo apenas manutenções preventivas periódicas. Do ponto de vista ambiental, a estrutura pode ser reaproveitada em reformas ou adaptações futuras, reduzindo a necessidade de demolições e novas obras. Contudo, por não ser modular ou transportável, possui menor flexibilidade de reutilização em outros locais, o que limita seu reaproveitamento integral em projetos futuros.

4.3 Solução em cabine pré-fabricada mista

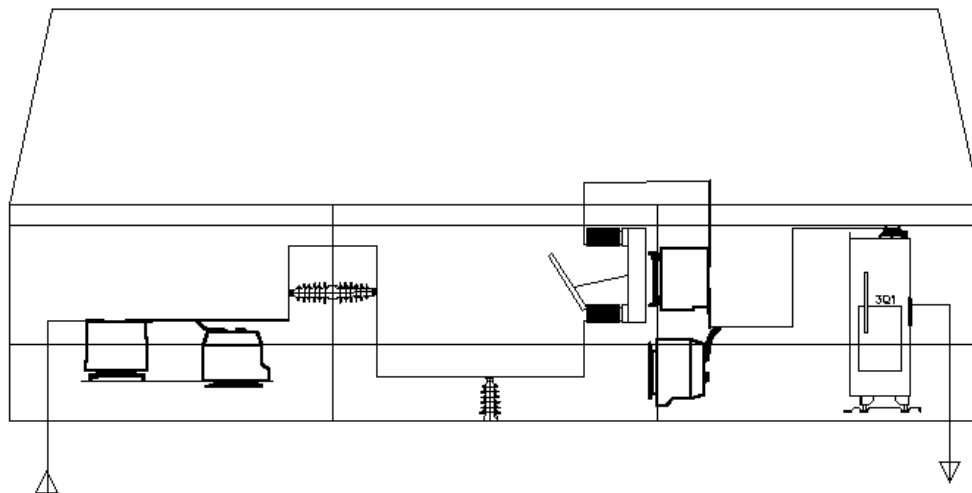
As Figuras 45 e 46 apresentam a perspectiva da cabine pré-fabricada mista, onde a Figura 45 mostra a vista externa da estrutura, evidenciando o módulo metálico inclinado, os elementos de ventilação e o acesso frontal utilizado para inspeções e manutenção, enquanto a Figura 46 exibe a vista interna da cabine, destacando a organização dos compartimentos de medição, proteção e seccionamento, bem como o posicionamento dos equipamentos e das rotas de cabos, permitindo visualizar claramente o arranjo construtivo e funcional adotado.

Figura 45 – Desenho externo cabine pré-fabricada mista



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 46 – Desenho interno cabine pré-fabricada mista



Fonte: Autoria própria (2025).

4.3.1 Custo de Implementação

O Quadro 11 apresenta a relação dos fabricantes e materiais necessários.

Quadro 11 – Lista materiais cabine pré-fabricada mista

MÓDU LO	COMPONENTE	QUA NT.	MARCA
Mediç ão	Conjunto de tampas metálicas (4 setores) em F.G. nº16 tipo chapa metálica (USG) – medição	1	Fornecedor
	Suporte para TP's e TC's – parede	1	Fornecedor
	Transformador de Corrente (TC) 15kV, - Fornecimento Concessionária	3	Concessionária
	Transformador de Potencial (TP) 15kV, 115V/500VA, - Fornecimento Concessionária	3	Concessionária
	Caixa EN para medição em chapa F.G. (49x57x25 cm)	1	Fornecedor
Sec.	Conjunto de tampas metálicas (3 setores) em F.G. nº16 tipo chapa metálica (USG) – seccionamento	1	Fornecedor
	Seccionadora classe 15kV 400A NBI 95kV tipo bucha de passagem (modelo guilhotina)	1	Senner ou Similar
	Bucha de passagem classe 15kV 400A NBI 95kV	1	Ridan / Senner
	Flanges para tampa	2	Fornecedor
	Bloqueio mecânico para seccionadora AT	1	Fornecedor
Prot.	Conjunto de tampas metálicas (5 setores) em F.G. nº16 tipo chapa metálica (USG) – disjuntor	1	Fornecedor
	Disjuntor lateral motorizado 15kV, 630A, 16kA, isolado em SF6	1	Schneider
	Relé microprocessado de proteção (ex: <i>Easergy P3</i>)	1	Schneider
	Transformador de Corrente (TC) 15kV, 400/5A 25VA, 10P20	3	Brasformer
	Transformador de Potencial (TP) 15kV, 115V/500VA, Grupo de ligação 2 (GL2)	3	Brasformer
	Caixa de comando do disjuntor AT (60x55x12 cm)	1	Fornecedor
	Caixa para proteção auxiliar (40x55x30 cm)	1	Fornecedor
	Suporte para TC's de proteção e TP auxiliar	1	Fornecedor
	Anteparos em tela	3	Fornecedor
	Jogos de cantoneiras e parafusos para montagem	6	Fornecedor
	Jogo de placas de concreto pré-moldado	1	Fornecedor
	Painel de leitora em chapa F.G.	1	Fornecedor
	Suportes para mufas	2	Fornecedor

Fonte: Autoria própria (2025).

Esta solução apresenta custo aproximado de R\$ 110.000,00.

4.3.2 Tamanho da Área Construída

A cabine pré-fabricada mista, conforme solução adotada para atendimento à norma COPEL NTC 903100, apresenta uma redução significativa na área construída em comparação com a cabine em alvenaria. Isso se deve ao seu projeto mais compacto e otimizado, que integra os compartimentos funcionais em uma estrutura modular, geralmente com invólucro metálico e base de concreto, substituindo a necessidade de paredes de alvenaria internas.

Por ser uma solução pré-fabricada, os espaços internos são organizados de forma com separação modular, reduzindo áreas de circulação e otimizando o posicionamento dos equipamentos. Embora ainda exija base civil de apoio e alguma preparação no local, o volume de obra civil é muito menor que a cabine de alvenaria, e a área total ocupada também é reduzida. Essa característica facilita a implantação em locais com restrição de espaço ou com necessidades de agilidade no cronograma.

4.3.3 Prazo de Execução

A cabine pré-fabricada mista apresenta prazo de execução significativamente reduzido em comparação com a solução em alvenaria, conforme demonstrado no Quadro 12. Por ser entregue em módulos previamente montados, normalmente com invólucro metálico e base de concreto incorporada, a maior parte da montagem e da integração dos equipamentos é realizada em campo.

No local da instalação, a obra civil se limita, na maioria dos casos, à preparação da base de apoio e às conexões elétricas finais, tornando o processo de implantação mais rápido e menos suscetível a atrasos decorrentes de intempéries ou problemas de obra.

Quadro 12 – Prazo fabricação cabine pré-fabricada mista

Etapa da Obra Civil	Prazo Estimado
Execução das fundações e bases	5 a 7 dias úteis
Instalações elétricas (considerando que os equipamentos já estarão em campo para instalação)	5 a 7 dias úteis
Comissionamento e <i>start-up</i>	2 a 3 dias úteis
Total estimado	Média 15 dias úteis

Fonte: Autoria própria (2025).

Nota: Os prazos e atividades apresentados foram obtidos por meio de conversas técnicas, visitas de campo e consultas a profissionais de uma empresa especializada no serviço de instalação de cabines de média tensão. As informações foram consolidadas e apresentadas de forma agregada, sem identificação da fonte comercial, em razão de acordo de confidencialidade firmado com os envolvidos.

4.3.4 Continuidade e Confiabilidade de Serviço

A cabine pré-fabricada mista, também mesmo quando construída de acordo com as exigências da norma da Copel e com a devida compartimentação entre os módulos, pode apresentar limitações quanto à continuidade de serviço. Ainda que os equipamentos elétricos internos utilizados, como transformadores, seccionadoras, disjuntores e relés de proteção, sejam devidamente certificados e ensaiados, a estrutura da cabine como um todo não é uma solução padronizada ou testada em conjunto, o que reduz a previsibilidade do desempenho em condições adversas ou de manutenção.

Por esse motivo, a cabine mista, neste estudo, é considerada uma solução cuja continuidade e confiabilidade de serviço dependem diretamente da qualidade dos equipamentos instalados, das condições do projeto elétrico e da execução adequada da obra civil, não havendo garantia padronizada de desempenho contínuo em todas as situações.

4.3.5 Segurança Operacional

A segurança operacional da cabine pré-fabricada mista é considerada também de nível baixo neste estudo, principalmente devido à sua natureza construtiva. Por se tratar de uma estrutura executada de forma também artesanal e personalizada em cada projeto, a cabine não passa por ensaios de tipo como solução completa, o que compromete a previsibilidade do seu desempenho em situações de falha interna ou operação incorreta.

Mesmo que os equipamentos internos, como disjuntores, relés e transformadores, sejam certificados individualmente, a ausência de uma certificação integrada da cabine como conjunto deixa lacunas quanto à proteção dos operadores

e à contenção de eventos internos, como falhas de isolamento. A utilização de compartimentos metálicos padronizados, aliados à base em concreto, permite a instalação organizada dos equipamentos e facilita a aplicação de intertravamentos mecânicos e elétricos, que contribuem para a segurança dos operadores durante manobras e manutenções. Dessa forma, a segurança operacional dependerá exclusivamente da qualidade do projeto e da instalação.

4.3.6 Facilidade de Manutenção

A cabine pré-fabricada mista apresenta um nível baixo em termos de facilidade de manutenção. Por ser uma estrutura projetada com as compartimentações segmentadas, facilita o acesso aos equipamentos durante intervenções preventivas ou corretivas.

Deverá seguir as recomendações de cada fabricante, devem passar por manutenções periódicas, que incluem inspeções visuais, testes funcionais, limpeza e reapertos mecânicos. A frequência dessas manutenções pode variar de acordo com o ambiente, o nível de exposição e a criticidade da instalação

4.3.7 Durabilidade

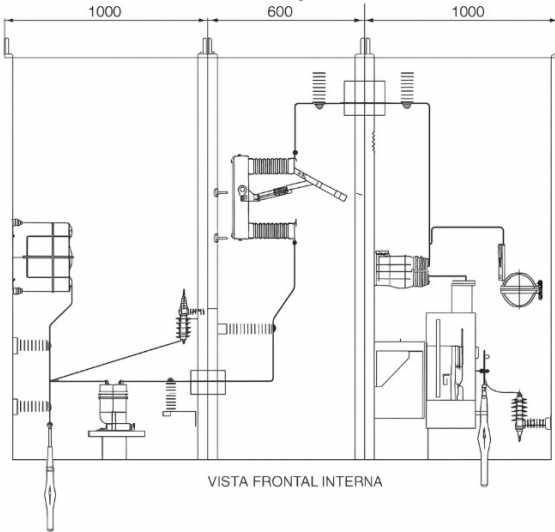
A cabine pré-fabricada mista apresenta bom desempenho em durabilidade, combinando a robustez da base de concreto com a praticidade dos compartimentos metálicos. A estrutura é resistente a intempéries, corrosão e impactos mecânicos, especialmente quando os materiais metálicos recebem tratamento adequado (ex: pintura eletrostática ou galvanização). Isso garante uma vida útil prolongada, com baixo índice de deterioração estrutural, desde que sejam seguidas as recomendações de instalação e manutenção dos fabricantes.

Do ponto de vista ambiental, trata-se de uma solução mais racional em termos de recursos, pois reduz a necessidade de materiais de construção como alvenaria e cimento, além de gerar menor resíduo na obra. Embora não seja reaproveitável em outros locais como um sistema 100% modular, sua base fixa e compartimentos metálicos podem ser reformados ou adaptados com relativa facilidade. Por essas razões, a cabine pré-fabricada mista é classificada neste estudo como de nível alto em durabilidade.

4.4 Solução em cabine pré-fabricada metálica convencional

A Figura 47 apresenta a vista frontal interna da cabine pré-fabricada metálica convencional, mostrando a organização dos módulos e dos principais equipamentos de média tensão. O desenho evidencia o arranjo interno da cabine, permitindo visualizar de forma clara a disposição dos componentes responsáveis pelas funções de entrada, seccionamento e proteção.

Figura 47 – Vista frontal interna cabine pré-fabricada metálica convencional



Fonte: Autoria própria (2025).

4.4.1 Custo de Implementação

O Quadro 13 apresenta a relação dos fabricantes e materiais necessários.

Quadro 13 – Lista material cabine pré-fabricada metálica convencional (continua)

MÓDULO	COMPONENTE	QUAN T.	MARCA
Entrada e Medição	Pára-raio polimérico 15kV 10kA	3	Balestro
	Caixa de Medição COPEL	1	CL
	Isolador pedestal em epóxi 15kV	9	Ridan
	Bucha de passagem interna/interna em epóxi 15kV	3	Senner
	Transformador de Corrente (TC) 15kV, - Fornecimento Concessionária	3	Concessioná ria
	Transformador de Potencial (TP) 15kV, 115V/500VA, - Fornecimento Concessionária	3	Concessioná ria
	Resistência de Aquecimento	1	Corel

Quadro 13 – Lista material cabine pré-fabricada metálica convencional
(conclusão)

MÓDULO	COMPONENTE	QUAN T.	MARCA
Proteção	Isolador pedestal em epóxi 15kV	9	Ridan
	Bucha de passagem interna/interna em epóxi 15kV	3	Ridan / Senner
	Transformador de Corrente (TC) 15kV, - Fornecimento Concessionária	3	Concession ária
	Transformador de Potencial (TP) 15kV, 115V/500VA, - Fornecimento Concessionária	3	Concession ária
	Resistência de Aquecimento	1	Corel Resistências
	Nobreak senoidal 1200VA	1	Ragtech

Fonte: Autoria própria (2025).

Esta solução apresenta custo aproximado de R\$ 180.000,00.

4.4.2 Tamanho da Área Construída

A cabine pré-fabricada metálica convencional apresenta dimensões compactas quando comparada à solução em alvenaria, ocupando menos área construída e exigindo menor intervenção civil. Trata-se de uma estrutura metálica monobloco ou modular, que já vem pronta de fábrica e é instalada diretamente sobre uma base de concreto, sem necessidade de paredes internas ou divisão por alvenaria.

Por possuir um layout interno otimizado, segmentado a organização dos compartimentos é feita em módulos, com separações internas por chapas metálicas, o que reduz o espaço necessário para operação e manutenção. Essa característica torna essa cabine especialmente adequada para locais com restrição de área disponível, como centros urbanos ou instalações industriais com espaço limitado.

4.4.3 Prazo de Execução

A cabine pré-fabricada metálica convencional possui um dos menores prazos de execução entre as soluções analisadas, conforme o Quadro 14. Como sua estrutura é totalmente montada em fábrica, incluindo a fixação de equipamentos e o

cabeamento interno, sua instalação em campo é bastante rápida, exigindo basicamente a preparação da base de concreto, conexão dos alimentadores e comissionamento.

Em condições normais, o tempo estimado de instalação e comissionamento é em média 10 dias úteis, o que representa uma grande vantagem em projetos com cronograma reduzido ou necessidade de ativação rápida. Por essas razões, esta solução é classificada como de prazo de execução muito reduzido.

Quadro 14 – Prazo fabricação cabine pré-fabricada metálica convencional

Etapa	Prazo Estimado
Execução das fundações e bases	5 a 7 dias úteis
Instalações elétricas (considerando que os equipamentos já estarão em campo para instalação)	1 a 2 dias úteis
Comissionamento e <i>start-up</i>	2 a 3 dias úteis
Total estimado	Média 10 dias úteis

Fonte: Autoria própria (2025).

Nota: Os prazos e atividades apresentados foram obtidos por meio de conversas técnicas, visitas de campo e consultas a profissionais de uma empresa especializada no serviço de instalação de cabines de média tensão. As informações foram consolidadas e apresentadas de forma agregada, sem identificação da fonte comercial, em razão de acordo de confidencialidade firmado com os envolvidos.

4.4.4 Continuidade e Confiabilidade de Serviço

A continuidade e confiabilidade de serviço da cabine metálica convencional é considerada de nível médio. Embora sua construção padronizada contribua para maior previsibilidade e organização interna, essa solução normalmente não passa por ensaios completos como conjunto, o que limita a capacidade de garantir desempenho em situações críticas.

Além disso, algumas versões mais simples dessa cabine não possuem compartimentação robusta ou dispositivos de seccionamento que permitam manutenções sem desligamento total da instalação. Assim, apesar de sua praticidade e layout técnico, sua confiabilidade depende diretamente da configuração adotada e da qualidade do projeto elétrico.

4.4.5 Segurança Operacional

A segurança operacional da cabine metálica convencional é classificada como de nível médio neste estudo. Embora sua estrutura metálica e o ambiente fabril de montagem proporcionem maior organização e acabamento do que a solução em alvenaria, essa cabine geralmente não possui certificações completas de segurança, como ensaios de tipo integrados.

Isso significa que, mesmo com o uso de equipamentos certificados, o conjunto como um todo não possui comprovação de desempenho sob falhas internas. A presença ou ausência de intertravamentos, sinalizações e separações físicas adequadas também varia de acordo com o fabricante e o modelo, o que reforça a importância da especificação técnica detalhada.

4.4.6 Facilidade de Manutenção

A cabine metálica convencional apresenta boa facilidade de manutenção, graças à padronização do layout e à acessibilidade aos equipamentos internos. Portas com abertura ampla, painéis frontais removíveis e organização interna dos cabos facilitam os trabalhos de inspeção, reaperto e substituição de componentes.

No entanto, o custo de manutenção pode variar dependendo do fabricante e da disponibilidade de peças de reposição. Como essa solução não possui projeto sob medida, ajustes ou ampliações futuras podem ser mais complexos. Ainda assim, é considerada uma solução prática e acessível em termos de manutenção.

Deverá seguir as recomendações de cada fabricante, devem passar por manutenções periódicas, que incluem inspeções visuais, testes funcionais, limpeza e reapertos mecânicos. A frequência dessas manutenções pode variar de acordo com o ambiente, o nível de exposição e a criticidade da instalação

4.4.7 Durabilidade

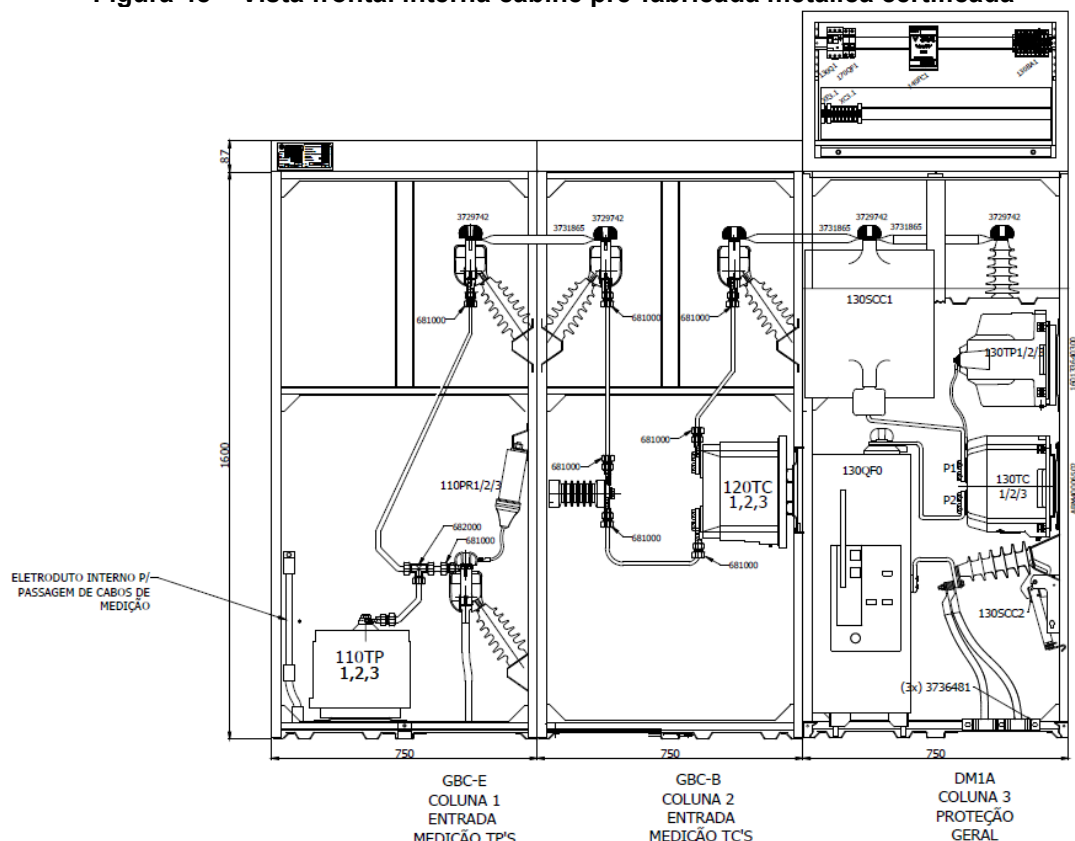
A cabine metálica convencional possui boa durabilidade estrutural, desde que sejam utilizados materiais com tratamento anticorrosivo adequado, como pintura eletrostática ou galvanização. Sua vida útil é compatível com aplicações industriais e comerciais, podendo superar 30 anos com manutenções periódicas.

Do ponto de vista ambiental, trata-se de uma solução que gera poucos resíduos de obra e pode ser parcialmente reciclada ao fim da sua vida útil. No entanto, por não ter base em concreto moldado in loco, sua resistência a impactos ou condições extremas pode ser inferior à cabine mista. Ainda assim, é considerada de bom desempenho nesse critério.

4.5 Solução em cabine pré-fabricada metálica certificada

A Figura 48 apresenta, de forma resumida, a vista frontal interna da cabine metálica certificada, mostrando a organização dos módulos de entrada, medição e proteção, bem como a disposição dos TPs, TCs, barramentos, eletrodutos e do disjuntor, todos instalados de forma compacta e conforme os requisitos normativos.

Figura 48 – Vista frontal interna cabine pré-fabricada metálica certificada



Fonte: Autoria própria (2025).

4.5.1 Custo de Implementação

O Quadro 15 apresenta a relação dos fabricantes e materiais necessários.

Quadro 15 – Lista material cabine pré-fabricada metálica certificada**(continua)**

MÓDULO	COMPONENTE / DESCRIÇÃO	QUANT.	MARCA
Medição – Célula GBC-E	Célula de medição tipo GBC-E	1	Schneider
	Suportes para 3x Transformadores de Potencial (TPs)	1	Schneider
	Transformador de Corrente (TC) 15kV, - Fornecimento Concessionária	3	Concessionária
	Transformador de Potencial (TP) 15kV, 115V/500VA, - Fornecimento Concessionária	3	Concessionária
	Pára-raios classe 15 kV tipo Balestro	1	Balestro
	Indicador de presença de tensão (VDS – <i>Voltage Detection System</i>)	1	Schneider
	Resistência de aquecimento com termostato	1	Fornecedor
	Conexão de um cabo por fase (até 240 mm ²)	1	Fornecedor
Medição – Célula GBC-B	Célula de medição tipo GBC-B	1	Schneider
	Suportes para 3x Transformadores de Corrente (TCs)	1	Brasformer
Proteção – Célula Disjuntora DM1-A	Célula disjuntora tipo DM1-A	1	Schneider
	Seccionadora de três posições em SF6	1	Schneider
	Caixa baixa tensão BT 450 mm (comando e intertravamento)	1	Schneider
	Transformador de Corrente (TC) 15kV, 400/5A 25VA, 10P20	3	Brasformer BCS
	Transformador de Potencial (TP) 15kV, 115V/500VA, Grupo de ligação 2(GL2)	3	Brasformer BPS
	Relé de proteção digital <i>Easergy</i> P3U30 RS-485	1	Schneider
	Disjuntor SF1 motorizado 630 A – 20 kA	1	Schneider
	Contatos auxiliares do disjuntor	1	Schneider
	Indicador de presença de tensão (VDS – <i>Voltage Detection System</i>)	1	Schneider
	Resistência de aquecimento com termostato	1	Fornecedor

Fonte: Autoria própria (2025).

Esta solução apresenta custo aproximado de R\$ 215.000,00.

4.5.2 Tamanho da Área Construída

A cabine pré-fabricada metálica certificada é projetada de forma extremamente compacta e eficiente, ocupando a menor área construída entre todas as soluções analisadas. Por ser totalmente industrializada e ensaiada como um

conjunto integrado, sua disposição interna é otimizada, com separações funcionais claras e seguras, atendendo aos requisitos normativos de forma padronizada.

Essa configuração permite sua instalação em ambientes com espaço reduzido, como áreas urbanas, laterais de prédios ou dentro de subestações compactas. Por essas características, a cabine certificada é classificada como de porte compacto e alta eficiência na ocupação de área.

4.5.3 Prazo de Execução

Por ser uma solução completa e entregue pronta de fábrica, a cabine certificada apresenta o prazo de execução reduzido comparado as soluções de cabines alvenaria e pré-fabricada mista, conforme Quadro 16. Sua instalação em campo se resume à preparação da base, posicionamento do módulo e realização das conexões elétricas, sendo um processo altamente ágil e previsível.

Em geral, todo o processo de instalação e comissionamento pode ser concluído em média 10 dias úteis, desde que as condições do local estejam preparadas. Essa agilidade representa uma vantagem significativa em projetos com prazos restritos ou demandas emergenciais. Por isso, essa solução é classificada como de prazo de execução muito reduzido.

Quadro 16 – Prazo fabricação cabine pré-fabricada metálica certificada

Etapa da Obra Civil	Prazo Estimado
Execução das fundações e bases	5 a 7 dias úteis
Instalações elétricas (considerando que os equipamentos já estarão em campo para instalação)	1 a 2 dias úteis
Comissionamento e <i>start-up</i>	2 a 3 dias úteis
Total estimado	Média 10 dias úteis

Fonte: Autoria própria (2025).

Nota: Os prazos e atividades apresentados foram obtidos por meio de conversas técnicas, visitas de campo e consultas a profissionais de uma empresa especializada no serviço de instalação de cabines de média tensão. As informações foram consolidadas e apresentadas de forma agregada, sem identificação da fonte comercial, em razão de acordo de confidencialidade firmado com os envolvidos.

4.5.4 Continuidade e Confiabilidade de Serviço

A cabine certificada possui o mais alto nível de continuidade e confiabilidade de serviço entre as opções analisadas. Por ser uma solução ensaiada como um conjunto completo e construída de acordo com rigorosos padrões de qualidade, ela garante maior previsibilidade em situações de falha ou manutenção.

A compartimentação interna, o uso de dispositivos de seccionamento apropriados e os intertravamentos obrigatórios permitem intervenções parciais sem a necessidade de desligamento total. Isso a torna ideal para aplicações críticas, como hospitais, data centers e indústrias de processo contínuo.

4.5.5 Segurança Operacional

A cabine metálica certificada apresenta o mais alto nível de segurança operacional. Isso se deve à realização de ensaios de tipo, incluindo testes de resistência mecânica, dielétrica e de operação sob falha, além da classificação IAC (*Internal Arc Classification*), que garante proteção ao operador mesmo em casos de arco interno.

Além disso, seus compartimentos são segregados e equipados com intertravamentos obrigatórios, sinalizações visuais e sistemas de ventilação adequados, garantindo segurança tanto na operação quanto na manutenção. Por essas razões, essa solução é considerada referência em proteção ao operador.

4.5.6 Facilidade de Manutenção

Apesar de seu custo inicial ser mais elevado, a cabine certificada compensa esse investimento com sua facilidade de manutenção e alta confiabilidade. A disposição interna dos equipamentos é padronizada e acessível, facilitando diagnósticos e intervenções.

Além disso, como todos os componentes já vêm integrados e testados de fábrica, há menor probabilidade de falhas por má instalação. A reposição de peças é facilitada por padrões internacionais e suporte técnico dos fabricantes. Por isso, é

classificada como de alta facilidade de manutenção, com bom custo-benefício a longo prazo.

4.5.7 Durabilidade

A cabine certificada é fabricada com materiais resistentes à corrosão, como aço galvanizado, e passa por tratamento de pintura e vedação para garantir longa vida útil mesmo em ambientes agressivos. Sua durabilidade ultrapassa 25 anos com manutenção adequada.

Além disso, por ser totalmente pré-fabricada e de rápida instalação, gera poucos resíduos e reduz o impacto ambiental da obra. Ao final de sua vida útil, seus materiais podem ser reciclados. Dessa forma, é classificada como altamente sustentável e durável.

4.6 Comparação das soluções em cabines

Segue Quadro 17 de comparação com as 4 soluções possíveis, destacando os níveis de atendimento.

Quadro 17 – Comparação das soluções em cabines conforme norma NTC 903100 COPEL (continua)

Critério de Avaliação	Cabine de Alvenaria	Cabine Pré-Fabricada Mista	Cabine Pré-Fabricada Metálica Convencional	Cabine Pré-Fabricada Metálica Certificada
Custo de Implementação	R\$ 130.000,00	R\$ 110.000,00	R\$ 180.000,00	R\$ 215.000,00
Área Física Necessária	Maior área construída devido à estrutura civil convencional	Área intermediária, reduzida em relação à alvenaria	Área reduzida, módulos padronizados conforme IEC 62271-200	Área reduzida, módulos compactos e padronizados conforme IEC 62271-200
Prazo de Execução	Aproximadamente 30 dias úteis	Aproximadamente 20 dias úteis	Aproximadamente 10 dias úteis	Aproximadamente 10 dias úteis
Continuidade e Confiabilidade de Serviço	Não possui ensaios de tipo como conjunto completo	Não possui ensaios de tipo como conjunto completo	Não possui ensaios de tipo como conjunto completo	Possui ensaios de tipo, incluindo arco interno

Quadro 17 – Comparação das soluções em cabines conforme norma NTC 903100 COPEL (conclusão)

Critério de Avaliação	Cabine de Alvenaria	Cabine Pré-Fabricada Mista	Cabine Pré-Fabricada Metálica Convencional	Cabine Pré-Fabricada Metálica Certificada
Segurança Operacional	Não possui certificação IAC	Não possui certificação IAC	Não possui certificação IAC	Certificação IAC e ensaios conforme IEC 62271-200
Manutenção	Acesso simples para trocas de equipamentos se necessário	Acesso intermediário, mas simples para troca de equipamentos se necessário	Acesso facilitado por módulos metálicos, facilitando a manutenção de uma unidade	Acesso facilitado por módulos metálicos, facilitando a manutenção de uma unidade
Durabilidade	Estrutura civil com longa vida útil	Estrutura civil com longa vida útil, porém possuem parte metálica sujeito a oxidação	Estrutura metálica sujeito a oxidação com o tempo	Estrutura metálica sujeito a oxidação com o tempo

Fonte: Autoria própria (2025).

4.7 Discussão e Resultados

A análise comparativa das quatro tipologias de cabines de medição e proteção em média tensão, conforme descrito na NTC 903100, permitiu identificar diferenças técnicas diretamente relacionadas à forma construtiva, ao nível de padronização e aos ensaios aplicáveis a cada solução. De acordo com os critérios definidos na metodologia, que contemplam área necessária, complexidade construtiva, prazo típico de execução, confiabilidade, segurança operacional, facilidade de manutenção e durabilidade, foi possível observar comportamentos distintos entre as alternativas avaliadas.

As cabines em alvenaria e pré-fabricadas mistas apresentaram maior dependência de obra civil e maior sensibilidade às condições de execução, o que implica variação no desempenho final da instalação. Essas tipologias exigem maior área construída e etapas adicionais de montagem em campo, o que influencia diretamente o prazo total de implantação, conforme apresentado nas avaliações individuais e na matriz comparativa do Quadro 17.

As cabines metálicas convencionais demonstraram menor área necessária e prazos reduzidos, devido ao caráter pré-fabricado dos módulos, embora não contem com ensaios de tipo como conjunto, fato que limita a previsibilidade de desempenho em condições de falha. A ausência de certificação específica também mantém a dependência da qualidade de montagem e integração em campo, o que pode impactar a continuidade do serviço em ambientes que exigem alta confiabilidade.

A cabine metálica certificada apresentou maior aderência às exigências normativas analisadas, conforme evidenciado pelos critérios consolidados no Quadro 17. Essa tipologia possui ensaios de tipo, incluindo arco interno, estrutura padronizada e módulos previamente validados em fábrica, o que reduz variabilidade de desempenho e aumenta a previsibilidade operacional. Além disso, sua instalação demanda menor área e apresenta prazos mais curtos devido ao alto grau de pré-fabricação. Essas características atendem diretamente aos requisitos de instalações com maior sensibilidade operacional, como ambientes hospitalares, nos quais a confiabilidade e a segurança da entrada de energia são determinantes para a continuidade do serviço.

Assim, os resultados obtidos demonstram que as diferenças entre as tipologias decorrem principalmente do nível de padronização, da necessidade de obra civil, dos ensaios aplicáveis e da organização interna dos módulos. Com base nesses elementos técnicos, a cabine metálica certificada foi identificada como a solução com maior conformidade às exigências normativas e operacionais do estudo de caso, oferecendo desempenho mais consistente e maior segurança para sistemas de média tensão que demandam alta disponibilidade de energia.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou um estudo comparativo sobre as diferentes soluções construtivas de cabines de medição e proteção em média tensão de 13,8 kV, conforme os critérios estabelecidos pela norma técnica COPEL NTC 903100 – Fornecimento em Tensão Primária de Distribuição. Foram analisadas as alternativas em alvenaria, pré-fabricada mista, pré-fabricada metálica convencional e pré-fabricada metálica certificada, considerando aspectos técnicos de implementação, operacionais e normativos.

A partir da revisão teórica e do estudo de caso desenvolvido em uma instalação hospitalar de caráter confidencial, verificou-se que a necessidade de modernização do sistema de entrada primária está diretamente associada à busca por maior confiabilidade e segurança no fornecimento de energia elétrica. A análise dos critérios de custo, prazo de execução, área construída, manutenção e confiabilidade demonstrou que as soluções pré-fabricadas metálicas apresentam vantagens significativas em relação às demais, especialmente em termos de padronização, praticidade e segurança operacional.

As normas técnicas desempenham papel fundamental na padronização de procedimentos, garantindo a qualidade e a segurança de produtos e serviços, além de facilitar a comunicação entre as diferentes partes envolvidas em processos industriais, comerciais e de infraestrutura elétrica. Elas fornecem uma base comum para o desenvolvimento e a troca de bens e serviços, contribuindo para a redução de erros, retrabalhos e não conformidades, bem como para a aderência a requisitos legais e regulatórios. Dessa forma, a aplicação correta das normas, como a COPEL NTC 903100 e a IEC 62271-200, é essencial para assegurar a confiabilidade e a integridade das instalações elétricas de média tensão.

Entre as alternativas avaliadas, a cabine metálica certificada destacou-se por atender integralmente às exigências de ensaio e conformidade normativa, oferecendo maior confiabilidade operacional e melhor custo-benefício ao longo do ciclo de vida da instalação. Assim, conclui-se que essa tipologia representa a opção mais adequada para aplicações que demandam continuidade no fornecimento de energia e alta criticidade operacional, como ambientes hospitalares.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, a ampliação da análise para outros perfis de consumidores, bem como a inclusão de estudos de desempenho térmico e de manutenção preventiva, de modo a consolidar parâmetros técnicos e econômicos ainda mais precisos para a escolha das soluções em média tensão.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14039** - Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6855**: Transformadores de Potencial (TP) para sistemas elétricos de potência – Requisitos e ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6856**: Transformadores de Corrente (TC) para sistemas elétricos de potência – Requisitos e ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR IEC 62271-200**: Conjunto de manobra e controle de alta tensão – Parte 200: Conjunto de manobra e controle em invólucro metálico para tensões acima de 1 kV até, inclusive, 52 kV. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária – PRORET: Estrutura Tarifária das Concessionárias de Distribuição. Versão atualizada em 2021**. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br> Acesso em: outubro de 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021**. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>. Acesso em: outubro de 2024.

ALMEIDA, Adriano Batista. **Um Modelo Unificado para Análise de Geração Distribuída em Sistemas de Transmissão e Distribuição**. 2015. p. 14, Itajubá, Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, 2015.

BICHELS, Arlei. **Sistemas Elétricos de Potência**. 1ª ed. São Paulo: Editora Ciência Moderna, 2018. p. 19.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA – COPEL. **NTC 903100** – Fornecimento em Tensão Primária de Distribuição. Curitiba, 2018a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Painel de Monitoramento do Consumo de Energia Elétrica**. Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: outubro de 2024.

ENGEREY Painéis Elétricos. Engerey – **Painéis Elétricos e Soluções em Média Tensão**. Disponível em: <https://engerey.com.br/>. Acesso em: 16 out. 2025.

HAWKING, Stephen. **Science Museum Interview. Londres**, 2010. Declaração: “Intelligence is the ability to adapt to change.” Disponível em: <https://www.sciencemuseum.org.uk/>. Acesso em: 18 out. 2025.

KAGAN, Nelson. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. 2ª ed. São Paulo: Editora Érica, 2017. p. 2

MAMEDE, J. F. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

MAMEDE, João. **Instalações elétricas industriais**. 9. ed. São Paulo: Érica, 2015. p. 10.

PRODIST, ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica-Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional**, Módulo 8– Qualidade da Energia Elétrica. 3- p. 2021.

REVISTA O SETOR ELÉTRICO. **A transição energética e o distribuidor do futuro**. *Revista O Setor Elétrico*, ano 19, n. 207, p. 14-20, nov./dez. 2024.

RODRIGUES, G. S. R.; CAMPOS, G. L.; FREIRE JUNIOR, L. C.; OLIVEIRA, L. A. **Desenvolvimento de cabine de subestação em média tensão**. ForScience: Revista Científica do IFMG, Formiga, v. 5, n. 1, e00248, jan./jun. 2017.

SANTOS, Luciano José dos. **Transformadores para instrumentação**. Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, 2021. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/udesc/id_cpmenu/9731/TRANSFORMADORES_PAR_A_INSTRUMENTA_O_v7_21_17218272993066_9731.pdf. Acesso em: 21 out. 2025.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Catálogo Técnico – Painéis SM6-24**. Disponível em:
<https://www.se.com/br/pt/product-range/970-pain%C3%A9is-sm624/#overview>.

Acesso em: 18 out. 2025.