

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ – UESPI
CENTRO DE TECNOLOGIA E URBANISMO – CTU
GRADUAÇÃO EM BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ISAAC GABRIEL SOUSA BRAGA

**ESTUDO DE ADEQUAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DA REDE DE
DISTRIBUIÇÃO EM MÉDIA TENSÃO NO CAMPUS POETA
TORQUATO NETO DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ
(UESPI): ANÁLISE TÉCNICA E NORMATIVA DE PROJETOS
EXECUTADOS E EM ANDAMENTO**

TERESINA
NOVEMBRO 2025

ISAAC GABRIEL SOUSA BRAGA

**ESTUDO DE ADEQUAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DA REDE DE
DISTRIBUIÇÃO EM MÉDIA TENSÃO NO CAMPUS POETA
TORQUATO NETO DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ
(UESPI): ANÁLISE TÉCNICA E NORMATIVA DE PROJETOS
EXECUTADOS E EM ANDAMENTO**

Trabalho de conclusão de curso submetido à
Universidade Estadual do Piauí como parte dos
requisitos necessários para a obtenção do Grau de
Bacharelado em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof^o. Me. Patrese Veras Queleães

TERESINA
NOVEMBRO 2025

**ESTUDO DE ADEQUAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DA REDE DE
DISTRIBUIÇÃO EM MÉDIA TENSÃO NO CAMPUS POETA
TORQUATO NETO DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ
(UESPI): ANÁLISE TÉCNICA E NORMATIVA DE PROJETOS
EXECUTADOS E EM ANDAMENTO**

ISAAC GABRIEL SOUSA BRAGA

‘Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista, habilitação Eletrotécnica e aprovado em sua forma final pela Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual do Piauí.’



Prof. Patrese Veras Quelemes, Me.
Orientador



Prof. Patrese Veras Quelemes, Me.
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Patrese Veras Quelemes, Me.
Presidente



Engenheiro Eletricista Lucas Ramos Lindolfo, Eng.
Membro



Prof. Jose Vitor Sekeff Budaruiche, Me.
Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, por seus ensinamentos, proteção e bençãos e pelo dom do conhecimento juntamente com suas oportunidades.

Aos meus amados pais Maria do Carmo Sousa Braga e Francisco Isânio Braga de Sousa, por todo o carinho, dedicação, cuidado e apoio durante toda minha vida. A minha amada avó Maria do Socorro Sousa por seu carinho, acolhimento e ajuda em tudo que precisei desde minha infância. A minhas irmãs Ravena Mayra Sousa Braga e Juliana Ellen Sousa Braga pelo apoio, compreensão e carinho, mesmo diante das dificuldades. A meus tios, tias, padrinhos e madrinhas por cuidarem de mim como filho quando mais precisei. A meus primos e primas que sempre me incentivaram e motivaram a não desistir. A cada um deles minha eterna gratidão!

A meus amigos de infância que sempre estiveram disponíveis para me auxiliar e apoiar sem medir esforços e sempre torcendo por minhas conquistas e, também, por todos os bons momentos de companheirismo e amadurecimento. Vocês foram essenciais para essa vitória.

Ao meu orientador Prof. Me. Patrese Veras Quelemes pelo apoio, compreensão e paciência durante minha orientação e incentivo que possibilitaram a conclusão deste trabalho final, além de todos os momentos de brincadeiras e seus ensinamentos como professor. Agradeço também aos colegas de curso que se tornaram amigos, por cada ajuda desempenhada em grupos de estudos, trabalhos e provas. A todos os meus professores tanto no ensino médio como na graduação que foram verdadeiras fontes de inspiração e formaram grande parte do conhecimento que tenho hoje. Aos meus amigos do trabalho pelo constante incentivo, aprendizado, dedicação e auxílio, vocês tiveram um papel de fundamental importância nessa caminhada.

Divido esta conquista a minha felicidade com cada um de vocês!

Isaac Gabriel Sousa Braga

RESUMO

A distribuição de energia elétrica em média tensão (MT) é fundamental para o fornecimento a grandes consumidores, como o campus Poeta Torquato Neto da Universidade Estadual do Piauí (UESPI), cuja rede interna complexa e, em parte, defasada, comprometia o desempenho e a segurança operacional. A modernização da infraestrutura tornou-se imperativa, impulsionada pela obsolescência do sistema e pela exigência regulatória da Equatorial Piauí de centralizar a medição em um único ponto para consumidores do Grupo A. O presente trabalho, classificado como pesquisa aplicada de abordagem qualitativa, objetivou realizar um estudo de caso sobre a adequação e modernização da rede de distribuição de MT do campus, com ênfase na análise técnica e normativa do projeto do cubículo de medição executado e das intervenções planejadas. A metodologia envolveu levantamento bibliográfico e análise documental e comparativa dos projetos fornecidos pelo Departamento de Engenharia e Arquitetura (DENG/UESPI). Concluiu-se que a implantação do cubículo de medição foi uma intervenção mandatória e bem-sucedida, alinhando a instituição às normas vigentes (NT. 00002.EQTL e NBR 14039). A centralização da medição e a instalação de proteções modernas, como relés digitais e disjuntores a vácuo, com intertravamentos mecânicos e elétricos, garantiram a regularidade jurídica, a seletividade com a concessionária e um aumento substancial na segurança operacional. Em relação à modernização da rede, a análise técnica evidenciou a transição da tecnologia "nua" para a rede compacta (cabo XLPE) como a solução mais adequada para o ambiente universitário, mitigando problemas crônicos de interrupção causados por vegetação e fauna, e eliminando riscos de choque elétrico. Por fim, o planejamento escalonado da expansão de carga em seis etapas até 2026, prevendo uma demanda contratada de 1.042 kW e carga instalada acima de 3 MW, assegura que a UESPI terá capacidade energética para suportar suas atividades futuras, representando um investimento essencial na qualidade e continuidade do serviço público de educação.

Palavras-chave: Adequação Normativa; Cubículo de Medição; Média Tensão; Rede Compacta; Rede de Distribuição; UESPI.

ABSTRACT

The distribution of medium-voltage (MV) electrical energy is essential for supplying large consumers, such as the Poeta Torquato Neto campus of the State University of Piauí (UESPI), whose internal network, complex and partially outdated, compromised operational performance and safety. The modernization of the infrastructure became imperative, driven by the system's obsolescence and by Equatorial Piauí's regulatory requirement to centralize metering at a single point for Group A consumers. The present work, classified as applied research with a qualitative approach, aimed to conduct a case study on the adequacy and modernization of the campus MV distribution network, with emphasis on the technical and regulatory analysis of the executed metering cubicle project and the planned interventions. The methodology involved a bibliographic survey and documentary and comparative analysis of the projects provided by the Department of Engineering and Architecture (DENG/UESPI). It was concluded that the implementation of the metering cubicle was a mandatory and successful intervention, aligning the institution with current standards (NT. 00002.EQTL and NBR 14039). The centralization of metering and the installation of modern protections, such as digital relays and vacuum circuit breakers with mechanical and electrical interlocks, ensured legal compliance, selectivity with the utility, and a substantial increase in operational safety. Regarding network modernization, the technical analysis highlighted the transition from "bare" technology to compact networks (XLPE cable) as the most appropriate solution for the university environment, mitigating chronic interruption problems caused by vegetation and wildlife and eliminating electric shock risks. Finally, the staged planning of load expansion in six phases through 2026, projecting a contracted demand of 1,042 kW and an installed load above 3 MW, ensures that UESPI will have the energy capacity to support its future activities, representing an essential investment in the quality and continuity of public education services.

Keywords: Regulatory Compliance; Metering Cubicle; Medium Voltage; Compact Network; Distribution Network; UESPI.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS.....	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	10

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo geral.....	14
1.1.2 Objetivos específicos.....	14

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Evolução das redes de média tensão mundial e brasileira	15
2.1.1 Evolução das redes de média tensão no mundo.....	15
2.1.2 Evolução das redes de média tensão no Brasil	15
2.2 Rede de média tensão do tipo “nua”	16
2.2.1 Aspectos evolutivos	16
2.2.2 Aplicações	16
2.3 Rede de média tensão do tipo “compacta”.....	18
2.3.1 Aspectos evolutivos	18
2.3.2 Aplicações	18
2.4 Comparativo entre os dois tipos de rede – “Nua” e “Compacta”	20

CAPÍTULO 3

3.1 Importância de uma análise técnica e normativa.....	22
3.2 Importância da adequação e modernização de uma rede de média tensão	22
3.3 Projeto da rede de distribuição em média tensão no campus Poeta Torquato Neto da UESPI	23

CAPÍTULO 4

4.1 Aspectos gerais da cabine de medição/proteção em média tensão.....	33
4.2 Exigências construtivas e requisitos técnicos para subestações blindadas em cubículo	35
4.2.1 Requisitos Gerais	35
4.2.2 Construção Mecânica dos Cubículos	35
4.2.3 Barramentos e Interligações	35
4.2.4 Equipamentos de Manobra e Proteção	36
4.2.5 Sistema de Aterramento	36
4.2.6 Intertravamentos e Segurança Operacional	37
4.2.7 Ensaio e Certificações.....	37
4.2.8 Identificação e Documentação.....	37
4.2.9 Instalação e Condições Ambientais	38
4.2.10 Operação e Manutenção	38
4.3 Cabine de medição/proteção do campus Poeta Torquato Neto.....	39
4.3.1 Memorial técnico descritivo	39
4.3.2 Especificações técnicas do projeto.....	39

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA47

5.1 Natureza e Classificação da Pesquisa47

5.2 Procedimentos Metodológicos47

5.2.1 Levantamento Bibliográfico47

5.2.2 Coleta de Dados e Análise Documental47

5.2.3 Análise Técnica e Comparativa48

CAPÍTULO 6

RESULTADOS E DISCUSSÕES49

6.1 Análise da Adequação do Cubículo de Medição e Proteção.....49

6.2 Impactos da Modernização da Rede de Distribuição: Transição de Rede Nua para Compacta49

6.3 Expansão de Carga e Planejamento Energético50

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS51

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 a 12 – Recorte do projeto da rede interna de distribuição em média tensão	24 a 30
Figura 13 – Modelo de malha de aterramento.....	36
Figura 14 – Modelo de diagrama unifilar.....	38
Figura 15 – Conexão do Cubículo com a rede da Equatorial.....	40
Figura 16 e 17 – Vistas frontal e lateral do Cubículo	41
Figura 18 e 19 – Ventilação inferior e iluminação de emergência	41
Figura 20 e 21 – TCs e TPs e Para-raios de média tensão	42
Figura 22 e 23 – Barramento de Equipotencialização (BEP).....	43
Figura 24 e 25 – Haste de aterramento e aterramento de partes metálicas	43
Figura 26 e 27 – Intertravamento mecânico/elétrico e Extintor de incêndio	44
Figura 28 e 29 – Cabine de proteção e Relé de proteção	45
Figura 30 e 31 – Entrada do Cubículo e Centro de medição remoto	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens da rede de média tensão “nua”	17
Tabela 2 – Vantagens e desvantagens da rede de média tensão “compacta”	19
Tabela 3 – Diferenças entre a rede de média tensão “nua” e “compacta”	21
Tabela 4 – Informações técnicas sobre subestações presentes em projeto	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A: Ampère

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

ANSI: American National Standards Institute (Instituto Nacional Americano de Padrões)

BEP: Barramento de Equipotencialização Principal

BWG: Birmingham Wire Gauge (Escala de medida de fios)

CA: Corrente Alternada

CC: Corrente Contínua

CO₂: Dióxido de Carbono

CTU: Centro de Tecnologia e Urbanismo

DAS: Distribution Automation Systems (Sistemas de Automação de Distribuição)

DEC: Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

DENG: Departamento de Engenharia e Arquitetura

EQTL: Equatorial Energia

ET: Especificação Técnica

FEC: Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

IEC: International Electrotechnical Commission (Comissão Eletrotécnica Internacional)

IP: Ingress Protection (Grau de Proteção)

kA: Quiloampère

kgf: Quilograma-força

kV: Quilovolt

kVA: Quilovolt-ampère

kW: Quilowatt

m: Metros

m²: Metro quadrado

mm²: Milímetro quadrado

ms: Milissegundos

MW: Megawatt

Nº: Número

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora / Norma Brasileira

NR: Norma Regulamentadora

NT: Norma Técnica

ONS: Operador Nacional do Sistema Elétrico

PRODIST: Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition (Sistema Supervisório de Controle e Aquisição de Dados)

TC: Transformador de Corrente

TP: Transformador de Potencial

UESPI: Universidade Estadual do Piauí

UV: Ultravioleta

V: Volt

W: Watt

XLPE: Cross-linked Polyethylene (Polietileno Reticula)

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A distribuição de energia elétrica em média tensão representa uma etapa fundamental no fornecimento de eletricidade a grandes consumidores, como indústrias, centros comerciais e instituições públicas, incluindo os campi universitários. Esse segmento da engenharia elétrica exige um planejamento técnico rigoroso que envolva aspectos como o dimensionamento adequado dos condutores, a proteção contra sobrecorrentes e curtos-circuitos, a coordenação das proteções, a confiabilidade do sistema e, sobretudo, o atendimento às normas técnicas vigentes. A NBR 14039:2021, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por exemplo, estabelece os requisitos mínimos para o projeto de instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV, sendo amplamente utilizada como referência para obras em ambientes institucionais e industriais (ABNT, 2021).

Em ambientes universitários, como o campus Poeta Torquato Neto da Universidade Estadual do Piauí (UESPI), as redes de distribuição internas são geralmente complexas e apresentam desafios particulares, sobretudo quando estão associadas a edificações antigas, projetos defasados ou sistemas implantados em épocas com requisitos técnicos distintos dos atuais. Muitos desses sistemas foram implementados sem o devido enquadramento nas normas de segurança e eficiência energética vigentes, o que compromete o desempenho da rede e aumenta os riscos operacionais. A Equatorial Piauí, por meio de seu Manual de Padrões de Entrada de Energia Elétrica - Grupo A, determina que todas as unidades consumidoras com fornecimento em média tensão devem possuir um único ponto de medição, exigência que busca padronizar e facilitar a operação e manutenção do sistema (EQUATORIAL PIAUÍ, 2023).

Nos últimos anos, tem-se observado um processo de modernização da infraestrutura elétrica em diversos campi universitários brasileiros, impulsionado não apenas pela obsolescência dos sistemas antigos, mas também pelas exigências impostas pelas distribuidoras de energia elétrica e pelos avanços tecnológicos no setor. Segundo Oliveira et al. (2021), projetos de modernização de redes em média tensão visam principalmente a substituição de componentes obsoletos, a melhoria da confiabilidade do fornecimento e a adequação às novas normas técnicas e ambientais, promovendo ganhos operacionais significativos para instituições públicas de ensino. Entre os principais aspectos técnicos

considerados estão a redução de perdas elétricas, o aumento da confiabilidade do sistema, a melhoria na seletividade das proteções e a adoção de redes compactas isoladas.

No caso específico da UESPI, o campus Poeta Torquato Neto passou por intervenções significativas em sua rede de distribuição interna, destacando-se a execução do projeto do cubículo de medição, que teve como finalidade adequar a estrutura elétrica às normas atualizadas do Grupo Equatorial Piauí. Essa intervenção atendeu à obrigatoriedade de centralização da medição em um único ponto, conforme previsto no item 5.2.1 do Manual de Fornecimento do Grupo A da Equatorial Piauí, o qual estabelece que, para unidades consumidoras com múltiplas edificações, a medição deve ser concentrada em uma única estrutura de acesso exclusivo (EQUATORIAL PIAUÍ, 2023).

Além da análise detalhada desse projeto já executado, este estudo também se propõe a investigar as futuras adequações planejadas para a rede de média tensão do campus, como a substituição de trechos da rede aérea nua por estruturas compactas com cabos isolados. Essa prática segue uma tendência crescente no Brasil e no mundo, especialmente em locais com grande circulação de pessoas ou vegetação densa, conforme estudos como o de Souza (2020), que destaca os benefícios operacionais, de segurança e de manutenção das redes compactas. Essas estruturas promovem maior confiabilidade, menor suscetibilidade a interferências externas e aumento da vida útil do sistema.

Dessa forma, este estudo não apenas examinará os aspectos técnicos do projeto do cubículo de medição, mas também avaliará as motivações e as implicações da substituição das estruturas da rede de distribuição existente. Ao considerar tanto os aspectos normativos quanto as condições práticas encontradas no campus, pretende-se contribuir com uma análise crítica que auxilie no entendimento das decisões técnicas adotadas e seus impactos sobre a operação e manutenção da rede elétrica institucional do campus Poeta Torquato Neto da UESPI. Esse panorama inicial permitirá delinear, de forma mais precisa, os caminhos investigativos que orientarão o desenvolvimento do estudo de caso.

1.1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo geral*

Realizar um estudo de caso sobre a adequação da rede de distribuição elétrica em média tensão do campus Poeta Torquato Neto da UESPI, com ênfase na análise técnica e normativa do projeto do cubículo de medição já executado, bem como na avaliação das intervenções planejadas para a modernização da infraestrutura elétrica interna, conforme os padrões exigidos pela concessionária Grupo Equatorial Piauí e pelas normas técnicas brasileiras vigentes.

1.1.2 *Objetivos específicos*

- Analisar tecnicamente o projeto do cubículo de medição já executado, identificando os fatores que motivaram sua implantação e os resultados obtidos com sua implementação;
- Avaliar os impactos da substituição da rede aérea nua por estruturas compactas com cabos isolados, considerando aspectos como segurança operacional, durabilidade, manutenção e eficiência do sistema;
- Identificar os pontos positivos e negativos das adequações realizadas, tanto do ponto de vista da instituição consumidora quanto da empresa concessionária de energia elétrica;
- Sistematizar os dados levantados e elaborar uma análise crítica capaz de orientar decisões futuras sobre novas intervenções, ampliações ou replicações do modelo adotado em outras unidades ou instituições com características similares.

CAPÍTULO 02

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Evolução das redes de média tensão mundial e brasileira

A evolução das redes de média tensão tem sido fundamental para garantir a expansão segura, eficiente e confiável dos sistemas elétricos ao longo das últimas décadas, acompanhando o crescimento da demanda e as exigências crescentes de qualidade e continuidade do fornecimento de energia (SILVA, 2020). A modernização dessas redes envolve avanços tecnológicos, novos materiais, maior automação e integração com sistemas inteligentes, refletindo a necessidade global de sistemas elétricos mais resilientes e flexíveis (PEREIRA, 2021).

2.1.1 Evolução das redes de média tensão no mundo

Em nível mundial, as redes de média tensão passaram por transformações significativas impulsionadas pela automação, pelo uso de equipamentos compactos e pelo avanço das tecnologias de monitoramento em tempo real (JOHNSON, 2019). A adoção de sistemas de automação de distribuição (DAS), sensores inteligentes e redes autorreconfiguráveis permitiu maior confiabilidade e redução de interrupções, alinhando os sistemas elétricos às exigências de um mercado cada vez mais dependente da energia de qualidade (KIM, 2020).

Além disso, países desenvolvidos têm investido fortemente na integração das fontes renováveis, exigindo adaptações nas redes de média tensão para lidar com a variabilidade da geração distribuída e com fluxos bidirecionais de energia (MARTINEZ, 2022). Esses avanços reforçam a tendência de redes mais digitalizadas e coordenadas, estabelecendo um padrão global de modernização em infraestrutura elétrica (TANAKA, 2021).

2.1.2 Evolução das redes de média tensão no Brasil

No Brasil, a evolução das redes de média tensão acompanha o crescimento do sistema elétrico nacional, marcado pela necessidade de ampliar o atendimento às áreas urbanas e rurais em um território de grande extensão (OLIVEIRA, 2018). O país investiu continuamente em expansão da rede, padronização de níveis de tensão e adoção de equipamentos mais robustos e seguros para redução de perdas e melhoria da continuidade do fornecimento (FERREIRA, 2019).

Nas últimas décadas, o avanço da geração distribuída, impulsionou mudanças estruturais na operação das redes de média tensão brasileiras, exigindo novas soluções de controle, proteção e monitoramento (COSTA, 2021). A modernização também envolveu a implementação de religadores automáticos, sistemas supervisórios (SCADA) e redes mais inteligentes, alinhando o país às tendências internacionais de digitalização e eficiência energética (MOURA, 2022).

2.2. Rede de média tensão do tipo “nua”

2.2.1 Aspectos evolutivos

As redes de média tensão do tipo “nua”, caracterizadas pelo uso de condutores expostos sem cobertura isolante, representam a configuração mais tradicional das redes de distribuição no Brasil e no mundo, tendo sido amplamente utilizadas por sua simplicidade de instalação e baixo custo inicial (OLIVEIRA, 2018). Historicamente, sua adoção esteve associada ao rápido processo de expansão elétrica, permitindo atender grandes áreas com infraestrutura relativamente padronizada e manutenção acessível (SANTOS, 2019).

Com o tempo, contudo, as limitações dessas redes tornaram-se mais evidentes, especialmente em relação à suscetibilidade a contatos acidentais, descargas atmosféricas e interrupções causadas por vegetação e intempéries (FERREIRA, 2020). Esse cenário impulsionou a necessidade de modernizações e a introdução de alternativas mais seguras, como redes compactas e isoladas, que reduzem falhas e aumentam a confiabilidade do fornecimento (MORAES, 2021).

Apesar dessas limitações, a rede nua passou por melhorias significativas ao longo das últimas décadas, como a padronização de estruturas, uso de materiais mais resistentes, instalação de religadores automáticos e aprimoramentos nos sistemas de proteção (COSTA, 2022). Essas evoluções permitiram prolongar a vida útil da configuração tradicional, integrando-a de forma mais eficiente ao sistema elétrico moderno e atendendo às exigências regulatórias de continuidade e qualidade do serviço (PEREIRA, 2021).

2.2.2 Aplicações

A rede de média tensão do tipo “nua” é amplamente utilizada em sistemas de distribuição devido à sua simplicidade construtiva e ao baixo custo de implementação, sendo especialmente aplicada em áreas extensas que demandam rápida expansão elétrica com investimentos reduzidos (OLIVEIRA, 2018). Por utilizar condutores expostos, esse tipo de

rede apresenta montagem facilitada, o que favorece sua aplicação em zonas rurais, semiurbanas e regiões com baixa densidade populacional (SILVA, 2020).

Além disso, a rede nua é frequentemente aplicada em circuitos de longa extensão, onde a adoção de alternativas mais modernas, como redes compactas ou isoladas, não se justifica economicamente em razão da baixa demanda e da distância entre os pontos de consumo (FERREIRA, 2019). Em áreas onde há maior facilidade de acesso para equipes de manutenção, essa configuração também se torna vantajosa, pois permite reparos rápidos e substituição ágil de componentes, reduzindo o tempo de indisponibilidade do fornecimento (MARTINS, 2021).

Outra aplicação relevante da rede de média tensão nua ocorre em trechos onde a distribuição precisa acompanhar terrenos irregulares ou vegetação densa, já que a leveza dos condutores e a flexibilidade estrutural das torres facilitam adaptações ao relevo (COSTA, 2022). Apesar de ser menos segura que redes protegidas, a rede nua ainda desempenha papel significativo na infraestrutura elétrica brasileira, especialmente em regiões com características geográficas e socioeconômicas que favorecem sua viabilidade técnica e econômica (PEREIRA, 2021). A Tabela 1 – Vantagens e desvantagens da rede de média tensão “nua” apresenta isso de forma resumida.

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens da rede de média tensão “nua”

Vantagens da Rede Nua	Desvantagens da Rede Nua
Possui custo de implantação mais baixo devido ao uso de materiais simples (condutores sem isolamento).	Apresenta maior risco de contatos acidentais, devido à ausência de isolamento elétrico.
Permite maior capacidade de corrente, pois não há limitações impostas por camadas isolantes.	É mais suscetível a desligamentos por toque de galhos, fauna ou objetos externos.
Facilita inspeções visuais diretas, permitindo identificar danos ou rompimentos com maior facilidade.	Exige maior distância de segurança entre condutores e do condutor para o solo, aumentando o espaço físico necessário.
Apresenta menor custo de manutenção corretiva, já que não há cabos isolados passíveis de degradação térmica.	Possui maior sensibilidade a curtos-circuitos causados por ambiente natural (ventos fortes, queimadas, quedas de árvores).
Tecnologia amplamente padronizada e difundida pelas concessionárias.	Pode gerar maior impacto visual e maior área de servidão.
Instalação relativamente rápida e compatível com estruturas já existentes.	Menor confiabilidade em áreas urbanas densas e regiões com vegetação densa.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

2.3 Rede de média tensão do tipo “compacta”

2.3.1 Aspectos evolutivos

A rede de média tensão do tipo “compacta” surgiu como uma solução intermediária entre as redes nuas tradicionais e as redes totalmente isoladas, incorporando condutores cobertos e espaçadores que reduzem o espaçamento entre fases e permitem instalações mais seguras e resistentes a interferências externas (MORAES, 2020). Sua adoção cresceu a partir da necessidade de minimizar desligamentos provocados por contatos acidentais, galhos de árvores e descargas atmosféricas, fenômenos que comprometiam fortemente a confiabilidade das redes nuas (FERREIRA, 2019).

Ao longo dos anos, essa tecnologia evoluiu com o desenvolvimento de novos materiais isolantes, estruturas compactas e conjuntos de ancoragem mais robustos, permitindo sua aplicação em áreas urbanas de maior densidade e corredores estreitos onde o uso de redes tradicionais seria inviável (SANTOS, 2021). A padronização estabelecida pelas concessionárias também contribuiu para aprimorar o desempenho da rede compacta, reduzindo perdas elétricas e facilitando os processos de manutenção preventiva e corretiva (OLIVEIRA, 2018).

Outro aspecto importante da evolução da rede compacta é sua adequação às exigências regulatórias de continuidade e qualidade do fornecimento, impulsionadas pelo aumento da geração distribuída e pela modernização dos sistemas de proteção e automação (PEREIRA, 2022). Com esses avanços, as redes compactas se consolidaram como uma alternativa eficiente para melhorar a confiabilidade, reduzir a frequência de interrupções e proporcionar maior segurança operacional nas redes de média tensão (COSTA, 2021).

2.3.2 Aplicações

A rede de média tensão do tipo “compacta” é amplamente aplicada em áreas urbanas e periurbanas onde há limitações de espaço físico e necessidade de maior segurança operacional, graças ao uso de condutores cobertos e espaçadores que reduzem o risco de curto-circuito por contato acidental (MORAES, 2020). Esse tipo de rede é especialmente indicado para regiões com densidade populacional elevada, ruas estreitas ou proximidade com edificações, locais onde a rede nua apresentaria maior probabilidade de desligamentos e riscos à segurança pública (FERREIRA, 2019).

Além das aplicações urbanas, a rede compacta também é muito empregada em corredores vegetados, áreas com presença frequente de galhos e ambientes com maior

incidência de descargas atmosféricas, já que sua construção reduz significativamente a probabilidade de ocorrências por interferência da vegetação (SANTOS, 2021). Nessas situações, a rede compacta contribui para reduzir a necessidade de podas constantes e melhora a continuidade do serviço, sendo uma alternativa mais eficiente que a rede nua (PEREIRA, 2022).

Outra aplicação relevante ocorre em regiões turísticas, industriais e comerciais, onde a confiabilidade do fornecimento é essencial e interrupções elétricas geram impactos econômicos significativos. A capacidade da rede compacta de diminuir falhas e suportar melhor variações ambientais a torna adequada para áreas críticas e estratégicas para o sistema elétrico (COSTA, 2021). Dessa forma, sua utilização atende tanto a demandas operacionais quanto aos requisitos regulatórios de desempenho estabelecidos pelas agências do setor elétrico (OLIVEIRA, 2018). Conforme apresentado na Tabela 2 – Vantagens e desvantagens da rede de média tensão “compacta”.

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens da rede de média tensão “compacta”

Vantagens da Rede Compacta	Desvantagens da Rede Compacta
Maior segurança operacional, pois os condutores são cobertos com isolamento, reduzindo o risco de contato acidental.	Custo de implantação mais elevado, devido ao uso de cabos cobertos e estruturas específicas.
Redução significativa de desligamentos causados por galhos, aves ou objetos externos, graças à isolamento compacta.	Necessita de mão de obra mais especializada para instalação e manutenção.
Permite redução de espaçamento entre fases, possibilitando instalação em áreas com espaço físico limitado.	Apresenta maior complexidade nas manutenções, especialmente em intervenções emergenciais.
Possui melhor desempenho em áreas arborizadas, com menor risco de curtos por contato momentâneo com galhos.	A isolamento pode degradar com o tempo devido a radiação UV e esforços mecânicos, exigindo maior controle de vida útil.
Menor impacto visual em comparação com redes nuas, devido à menor abertura e maior organização dos cabos.	Pode apresentar maior peso mecânico, demandando postes mais robustos ou reforçados.
Aumenta a confiabilidade em regiões urbanas e de alta densidade populacional.	Em alguns casos, gera maior custo de manutenção preventiva, pois requer inspeções específicas da isolamento.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

2.4 Comparativo entre os dois tipos de rede – “Nua” e “Compacta”

A evolução das redes de média tensão tem sido marcada por mudanças tecnológicas voltadas ao aumento da confiabilidade, segurança operacional e redução de interrupções no fornecimento de energia. Nesse contexto, as redes do tipo nua e compacta representam soluções amplamente utilizadas pelas concessionárias brasileiras, cada uma com características próprias relacionadas ao desempenho elétrico, requisitos de instalação e impacto ambiental. A comparação entre esses dois modelos é essencial para compreender sua aplicabilidade em diferentes cenários, especialmente considerando fatores como custo, manutenção, segurança e condições ambientais (ANEEL, 2020). Como pode ser observado na Tabela 3 – Diferenças entre a rede de média tensão “nua” e “compacta”.

Tabela 3 – Diferenças entre a rede de média tensão “nua” e “compacta”

Critério	Rede de Média Tensão Nua	Rede de Média Tensão Compacta
Tipo de condutor	Condutores metálicos expostos, sem cobertura isolante.	Condutores cobertos, com espaçadores e menor espaçamento entre fases.
Segurança operacional	Menor segurança, maior risco de contatos acidentais e curtos por vegetação.	Maior segurança devido ao isolamento e redução do risco de toque acidental.
Interferência da vegetação	Alta suscetibilidade; exige podas frequentes.	Baixa suscetibilidade; reduz podas e falhas causadas por galhos.
Confiabilidade do fornecimento	Maior número de desligamentos por intempéries e interferências externas.	Maior continuidade, com menos interrupções.
Custo de implantação	Geralmente menor, devido à simplicidade da estrutura.	Maior custo inicial devido a materiais e acessórios específicos.
Ambiente de aplicação	Áreas rurais, regiões extensas e locais com baixa densidade populacional.	Áreas urbanas, corredores estreitos e regiões com maior criticidade.
Manutenção	Mais simples e barata, porém mais frequente.	Mais complexa, porém menos recorrente.
Resistência a descargas atmosféricas	Menor resistência; propensa a falhas por raio.	Melhor desempenho contra descargas devido ao isolamento parcial.
Adequação normativa e regulatória	Atende requisitos básicos, mas pode limitar indicadores de continuidade.	Melhora o atendimento aos indicadores (DEC/FEC) exigidos pela ANEEL.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

CAPÍTULO 03

3.1 Importância de uma análise técnica e normativa

A realização de uma análise técnica e normativa em projetos de redes de média tensão é fundamental para assegurar que as instalações atendam aos requisitos mínimos de segurança, desempenho elétrico e confiabilidade operacional. Essa análise evita riscos associados a falhas estruturais, sobrecargas, descargas atmosféricas e inadequações construtivas que podem comprometer tanto a integridade da rede quanto a segurança dos usuários. Além disso, o alinhamento técnico garante que os parâmetros elétricos, como quedas de tensão, níveis de curto-circuito e capacidade de condução de corrente, estejam dentro dos limites aceitáveis para operação contínua (NBR 14039, 2020).

Do ponto de vista normativo, a conformidade com as diretrizes estabelecidas por normas nacionais e regulamentos das concessionárias é indispensável para assegurar que o projeto seja aprovado, implementado e operado corretamente. As normas brasileiras, especialmente as da ABNT, estabelecem critérios claros de dimensionamento, aterramento, distâncias de segurança, seleção de materiais e requisitos de proteção, garantindo uniformidade e padronização nas redes elétricas. O descumprimento dessas exigências pode resultar em reprovação do projeto, retrabalho, multas e até inviabilização da energização da instalação (ABNT, 2018).

Além disso, a observância das normas técnicas contribui diretamente para a sustentabilidade e longevidade da rede, evitando gastos excessivos com manutenção corretiva e aumentando a eficiência energética. A integração das especificações normativas com as práticas de engenharia é fundamental para assegurar que os sistemas de média tensão funcionem de forma segura e estável ao longo de toda sua vida útil, reduzindo interrupções e garantindo maior qualidade no fornecimento de energia aos consumidores. Assim, a análise técnica e normativa representa um pilar essencial para a viabilidade e o desempenho global do projeto (PRODIST–ANEEL, 2023).

3.2 Importância da adequação e modernização de uma rede de média tensão

A adequação e modernização das redes de média tensão são essenciais para garantir um fornecimento de energia mais seguro, eficiente e confiável, especialmente diante do crescimento da demanda elétrica e da maior sensibilidade dos consumidores às interrupções.

A modernização tecnológica permite melhorar o desempenho operacional da rede, reduzindo perdas elétricas, minimizando falhas e aprimorando o tempo de resposta diante de contingências. Esse processo é fundamental para manter a rede alinhada às boas práticas de engenharia e aos requisitos elétricos exigidos pelas cargas atuais, cada vez mais diversificadas e sensíveis (NBR 14039, 2020).

Do ponto de vista normativo, a adequação da rede garante que as instalações atendam aos padrões técnicos estabelecidos pelos órgãos reguladores e pelas concessionárias. A conformidade com normas atualizadas assegura níveis adequados de segurança, distanciamento, proteção, seletividade e aterramento, prevenindo acidentes e garantindo que as estruturas estejam aptas a suportar esforços elétricos e mecânicos modernos. A falta de atualização pode resultar em riscos operacionais, aumento de desligamentos e não conformidade com exigências legais aplicáveis ao sistema elétrico (PRODIST-ANEEL, 2023).

Além disso, a modernização contribui diretamente para a expansão inteligente do sistema elétrico, permitindo a incorporação de tecnologias como redes compactas, automação, religadores telecomandados, sensores, sistemas de monitoramento e equipamentos mais eficientes. Tais melhorias aumentam significativamente a confiabilidade e a capacidade da rede para atender novos consumidores, integrar geração distribuída e suportar eventos climáticos extremos, fatores cada vez mais presentes no setor elétrico brasileiro. Dessa forma, investir na modernização de uma rede de média tensão é uma ação estratégica para garantir sustentabilidade, eficiência energética e continuidade do fornecimento de energia (ONS, 2022).

3.3 Projeto da rede de distribuição em média tensão no campus Poeta

Torquato Neto da UESPI

A UESPI possui diversos campi espalhados pelo estado, alguns deles possuem uma rede interna de distribuição em média tensão como é o caso do campus Poeta Torquato Neto, localizado na cidade de Teresina. A rede de média tensão atual desse campus vem sofrendo com mudanças relevantes para garantir as adequações necessárias as normas da concessionária local, Equatorial Energia, e para proporcionar uma modernização de sua rede interna, visto que grande parte dela não é adequada as normas atuais.

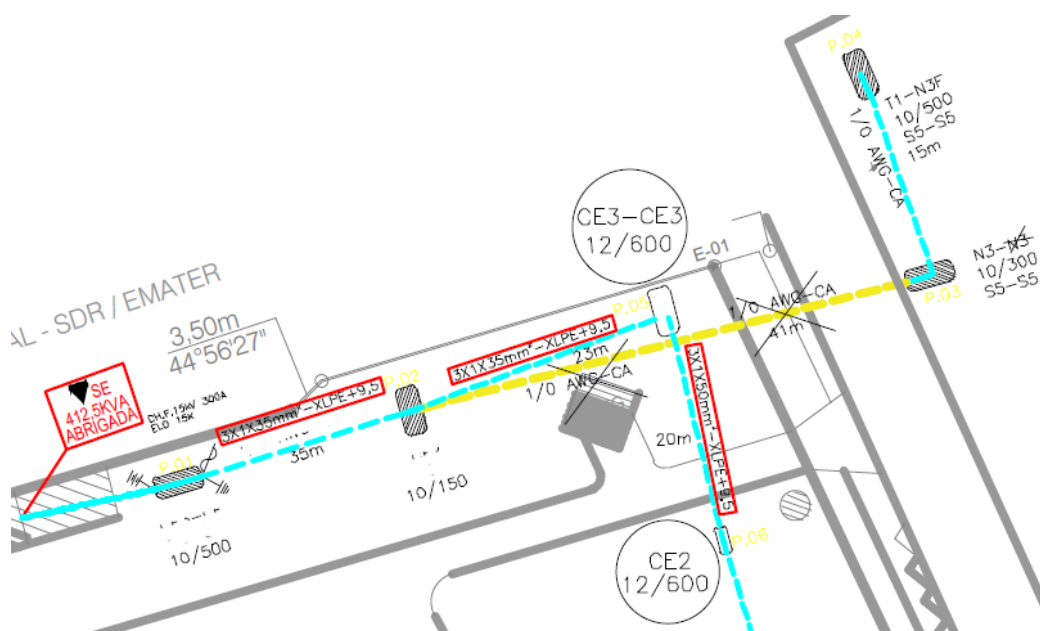
O departamento de engenharia e arquitetura (DENG) da UESPI é responsável pela iniciação de obras recentes que implicam diretamente na rede de distribuição do campus Poeta

Torquato Neto, mais especificamente, uma obra que planeja substituir toda a rede interna “nua” por rede do tipo “compacta”. Existe um projeto planejado e aprovado pelo departamento de engenharia da UESPI que resume uma junção da rede de distribuição antiga e nova, pois parte do projeto mais atual já foi executado e nesse capítulo será feito uma análise do mesmo.

Os recortes presentes neste tópico foram retirados do projeto mais atual da rede de distribuição em média tensão do campus Poeta Torquato Neto da UESPI. Este projeto foi elaborado pela equipe técnica especializada do DENG e disponibilizado para menção nesse estudo.

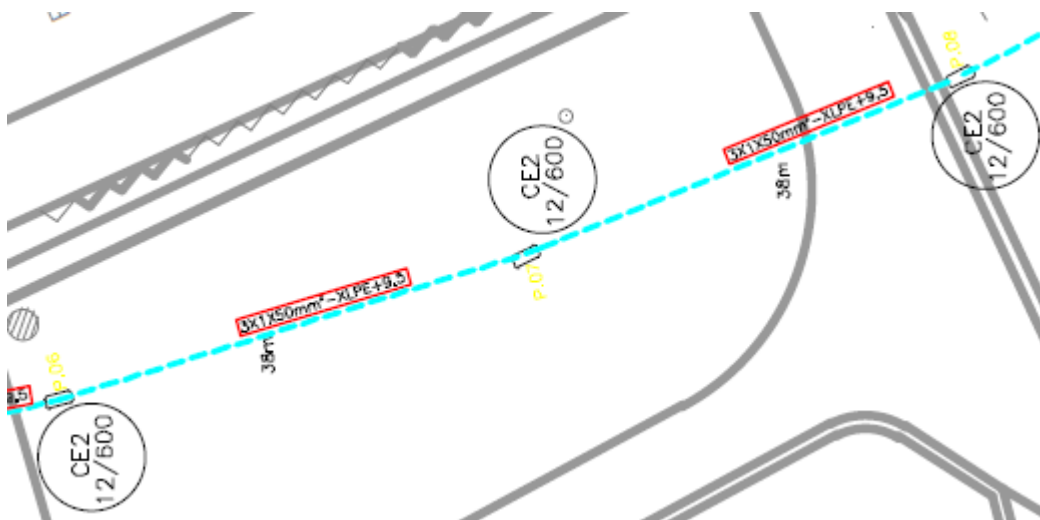
De maneira geral as Figuras 1 a 12 - Recorte do projeto da rede interna de distribuição em média tensão representam um único projeto que mostra detalhadamente a rede completa de distribuição interna do campus, nota-se que grande parte de rede existente é do tipo nua, assim, como as estruturas. Porém existe um planejamento para a substituição de toda a rede para o tipo compacta, sendo que em alguns locais parte dessa troca já foi executada. Este planejamento tem como objetivo adequar e modernizar a rede interna proporcionando melhoria no fornecimento e na qualidade da energia elétrica no local e assegurando que o projeto esteja em conformidade com normas da Concessionária, Equatorial Energia, como a NT. 00002.EQTL, NT. 00005.EQTL, NT. 00006.EQTL, NT. 00018.EQTL.

Figura 1 – Recorte do projeto da rede interna de distribuição em média tensão



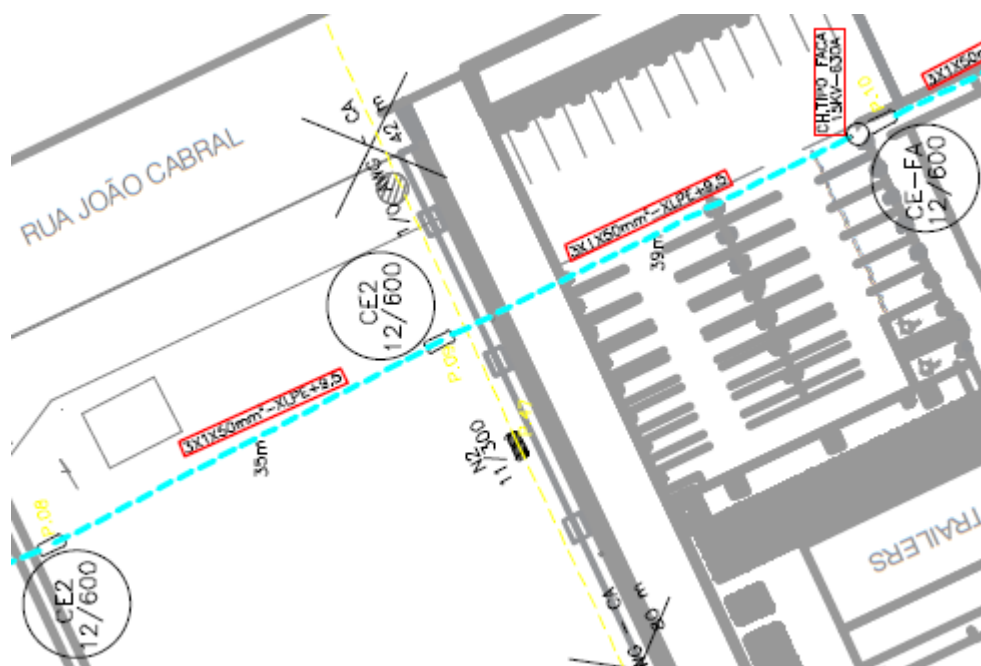
Fonte: Departamento de engenharia e arquitetura - DENG, 2025.

Figura 2 – Recorte do projeto da rede interna de distribuição em média tensão



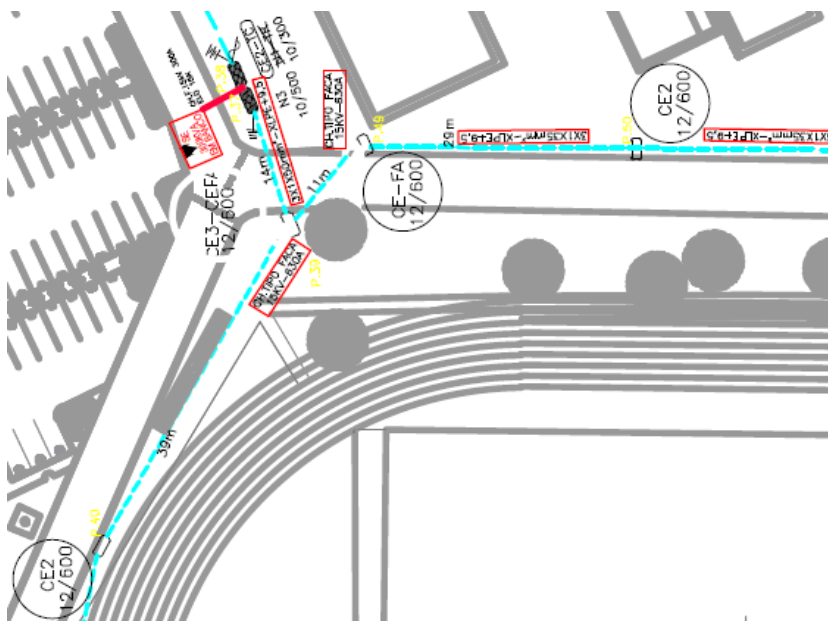
Fonte: Departamento de engenharia e arquitetura - DENG, 2025.

Figura 3 – Recorte do projeto da rede interna de distribuição em média tensão



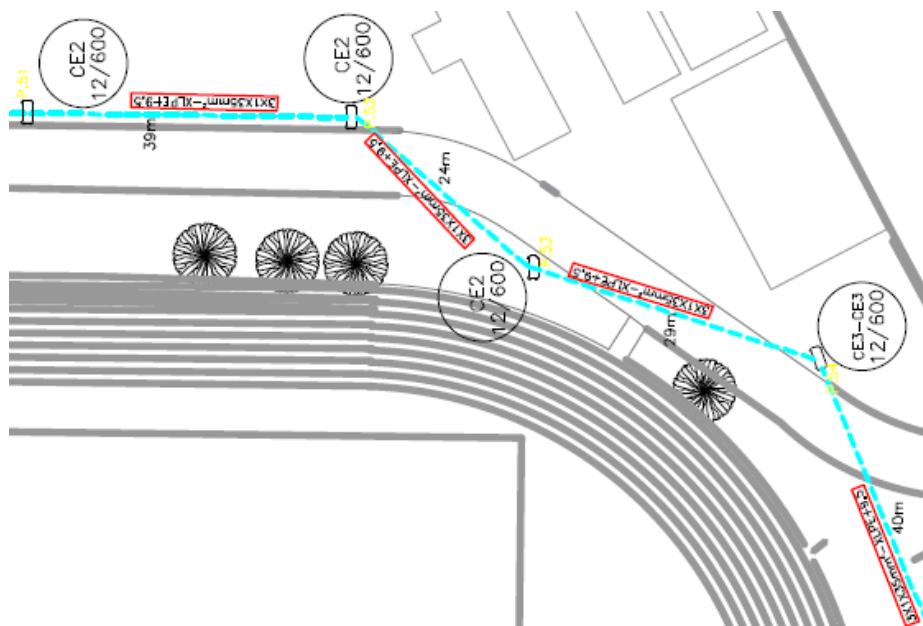
Fonte: Departamento de engenharia e arquitetura - DENG, 2025.

Figura 10 – Recorte do projeto da rede interna de distribuição em média tensão



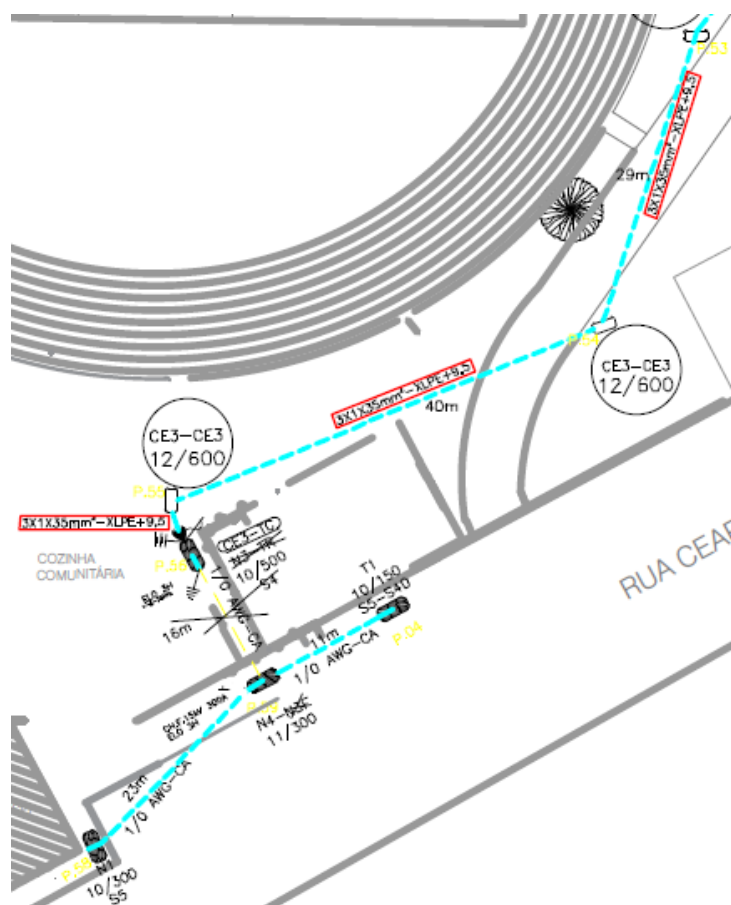
Fonte: Departamento de engenharia e arquitetura - DENG, 2025.

Figura 11 – Recorte do projeto da rede interna de distribuição em média tensão



Fonte: Departamento de engenharia e arquitetura - DENG, 2025.

Figura 12 – Recorte do projeto da rede interna de distribuição em média tensão



Fonte: Departamento de engenharia e arquitetura - DENG, 2025.

A rede interna de distribuição foi projetada com condutores dimensionados segundo critérios de capacidade de condução e queda de tensão, atendendo tanto às subestações existentes quanto às novas. A proteção do ramal de distribuição é composta por chaves fusíveis de 100 A para 15 kV com elos apropriados, instaladas nas estruturas de transformação, além de chaves seccionadoras tipo faca de 15 kV – 630 A nas derivações. A proteção contra surtos atmosféricos emprega para-raios poliméricos de distribuição 12 kV – 10 kA no lado primário. Os condutores adotados são de alumínio XLPE 90° com seção mínima de 35 mm², e os postes são de concreto armado duplo T, com altura mínima de 11 m, esforço de 300 kgf e vãos máximos de 40 m.

Conforme indicado na Tabela 4 – Informações técnicas sobre subestações presentes em projeto o cronograma previsto para execução detalha as etapas de implantação, o tipo e a quantidade de subestações previstas, as potências individuais e acumuladas, além da carga instalada, demanda prevista e demanda contratada ao longo do período de execução.

Tabela 4 – Informações técnicas sobre subestações presentes em projeto

ETAPAS	TIPO DE SUBESTAÇÃO	QUANTIDADE DE SUBESTAÇÕES	POTÊNCIA DAS SUBESTAÇÕES	CARGAS EM TRANSFORMADORES	CARGA INSTALADA PREVISTA ACUMULADA (kW)	DEMANDA PREVISTA ACUMULADA (kVA)	DEMANDA CONTRATADA ACUMULADA (kW)	PREVISÃO DE LIGAÇÃO
1	NOVA	1	112,5kVA	112,5kVA	100,29	91,63	OPTANTE B	28/02/2025
2	NOVA	1	112,5kVA	225 kVA	200,58	183,26	112	31/03/2025
3	NOVA	2	112,5/112,5kVA	450kVA	401,16	366,52	225	31/12/2025
4	NOVA	2	112,5/112,5kVA	675kVA	601,74	549,78	337	31/07/2026
5	EXISTENTE	1	412,5kVA	1.537,5kVA	968,86	881,66	608	31/08/2026
6	EXISTENTE	5	300/300/225/150/75kVA	2.137,50kVA	3.694,40	2.303,18	1.042,50	30/09/2026

Fonte: Departamento de engenharia e arquitetura - DENG, 2025.

A primeira etapa consiste na instalação de uma subestação nova, com potência de 112,5 kVA, resultando em uma carga instalada acumulada de 100,29 kW e demanda prevista de 91,63 kVA, com previsão de ligação para 28 de fevereiro de 2025, enquadrada como optante B. Na segunda etapa, outra subestação nova de 112,5 kVA é adicionada, totalizando 225 kVA em transformadores, com carga instalada acumulada de 200,58 kW, demanda prevista acumulada de 183,26 kVA e demanda contratada de 112 kW. A data prevista de ligação desta etapa é 31 de março de 2025.

A terceira etapa prevê a implantação de duas novas subestações de 112,5 kVA cada, totalizando 450 kVA. A carga instalada acumulada passa a 401,16 kW e a demanda prevista acumulada chega a 366,52 kVA. Para esta etapa, a demanda contratada acumulada é de 225 kW, com previsão de entrada em operação em 31 de dezembro de 2025. Na quarta etapa, outras duas subestações novas de 112,5 kVA são incorporadas, elevando a potência total para 675 kVA, carga instalada acumulada de 601,74 kW e demanda prevista acumulada de 549,78 kVA. Para esta etapa, está prevista uma demanda contratada de 337 kW e ligação em 31 de julho de 2026.

A quinta etapa envolve a incorporação de uma subestação existente de 412,5 kVA, somando potência acumulada de 1.537,5 kVA. Com isso, a carga instalada acumulada atinge 968,86 kW e a demanda prevista acumulada chega a 881,66 kVA, com previsão de ligação em 31 de agosto de 2026, totalizando demanda contratada de 608 kW. Finalmente, a sexta etapa prevê a incorporação de cinco subestações existentes, com potências de 300 kVA, 300 kVA, 225 kVA, 150 kVA e 75 kVA, o que totaliza 2.137,5 kVA adicionais. Ao final dessa etapa, a carga instalada acumulada atinge 3.694,40 kW, a demanda prevista acumulada soma 2.303,18 kVA e a demanda contratada acumulada chega a 1.042,50 kW, com previsão de execução em 30 de setembro de 2026.

A proteção dos transformadores do ramal de conexão aéreo é realizada por chaves fusíveis unipolares tipo base C, conforme Tabela 10 da norma NT. 00002.EQTL, revisão 09 de 2024. Os condutores de baixa tensão provenientes dos transformadores utilizam eletrodutos de aço zincado a quente, instalados a no mínimo 6 m de altura. Quanto às cargas da unidade consumidora, o cálculo da carga instalada considerou a soma das potências nominais dos equipamentos, enquanto a demanda foi obtida conforme método do item 6.26 da norma, com fator de potência mínimo de 0,92 indutivo.

CAPÍTULO 4

4.1 Aspectos gerais da cabine de medição/proteção em média tensão

As cabines ou cubículos de medição e proteção são estruturas essenciais dentro das instalações elétricas de média tensão, pois abrigam dispositivos destinados à medição do consumo, seccionamento, proteção e controle da energia fornecida pela concessionária. Essas cabines garantem segurança operacional, adequada coordenação de proteção e atendimento às normas técnicas que regulamentam o fornecimento e a utilização de energia elétrica em tensões entre 1 kV e 36,2 kV (NBR 14039, 2020).

Segundo a NT. 00002.EQTL – Fornecimento em Média Tensão, a construção de um cubículo de medição e proteção torna-se obrigatória sempre que a unidade consumidora for atendida em tensão primária, isto é, em 13,8 kV ou outro nível de média tensão disponibilizado pela concessionária. Nesse caso, o ponto de entrega deve ser composto por uma cabine abrigada que concentre os equipamentos de seccionamento, medição, proteção e controle, garantindo segurança, confiabilidade e acesso exclusivo da distribuidora. Essa obrigação se aplica a novos consumidores, ampliações de carga e regularizações de unidades já existentes que passem a operar em média tensão (NT. 00002.EQTL, 2024).

Além disso, a ABNT NBR 14039 determina que todas as instalações de média tensão devem possuir um ambiente segregado, seguro e de acesso controlado para manobra, proteção e medição, assegurando distâncias mínimas, ventilação, grau de proteção adequado e condições construtivas específicas. Assim, o cubículo é obrigatório sempre que a instalação possuir equipamentos de manobra e proteção em média tensão, independentemente do tipo de carga, garantindo conformidade técnica e operacional (NBR 14039, 2020).

A construção da cabine também é exigida quando a medição for realizada em média tensão, condição que ocorre em unidades consumidoras com potenciais elevados, cargas diversificadas, múltiplos blocos prediais, instituições públicas, comércios de grande porte, indústrias e sistemas que requeiram disjuntores, relés de proteção e transformadores de corrente e potencial. Nesses cenários, a medição direta não é possível, tornando obrigatória a instalação dos equipamentos de medição dentro do cubículo (NT. 00002.EQTL, 2024).

A configuração da cabine de medição/proteção deve seguir requisitos construtivos e dimensionais estabelecidos por normas técnicas e procedimentos das concessionárias. Normalmente, a cabine é dividida em compartimentos independentes para entrada, medição, proteção e saída, garantindo segurança física e facilidade de manutenção. Esses

compartimentos devem possuir resistência mecânica adequada, ventilação e grau de proteção IP compatível com o ambiente, assegurando o desempenho dos equipamentos frente a agentes externos (NBR 15820, 2017).

A medição é realizada por meio de transformadores de corrente (TCs) e transformadores de potencial (TPs), que reduzem os valores de corrente e tensão para níveis apropriados para os medidores. A instalação dos TCs e TPs deve observar requisitos de exatidão, classe de proteção e saturação, conforme normas brasileiras que garantem precisão nas leituras e integridade dos equipamentos. A seleção inadequada desses transformadores pode comprometer tanto a proteção quanto o faturamento, sendo essencial o atendimento às especificações normativas (ABNT NBR 6856, 2015).

O compartimento de proteção abriga dispositivos como disjuntores, chaves seccionadoras, para-raios, fusíveis limitadores e, em alguns casos, religadores. Esses componentes têm a função de proteger a instalação contra sobrecorrentes, curtos-circuitos e sobretensões atmosféricas ou de manobra. A norma NBR 14039 estabelece critérios para seleção, dimensionamento e coordenação entre esses dispositivos, garantindo seletividade e continuidade do serviço mesmo em situações de falhas (NBR 14039, 2020).

O aterramento da cabine é um dos elementos mais críticos, responsável por garantir caminhos adequados para correntes de fuga e descargas atmosféricas, reduzindo riscos de choque elétrico e falhas no sistema. As normas recomendam valores específicos de resistência de aterramento, além da interligação equipotencial entre a estrutura metálica da cabine e os equipamentos internos. Uma malha de aterramento mal projetada pode comprometer tanto a proteção quanto a operação dos equipamentos de medição e proteção (NBR 15751, 2009).

A cabine deve incluir sistemas de intertravamento mecânico e elétrico que impeçam a abertura de compartimentos energizados e a operação incorreta de dispositivos. Tais intertravamentos visam evitar acesso acidental a partes vivas, conforme requisitos de segurança estabelecidos pelas normas brasileiras e regulamentações das concessionárias. Esses sistemas são fundamentais para garantir operações seguras por eletricitistas e manter a integridade física dos profissionais (NR-10, 2022).

Além das normas ABNT, cada concessionária estabelece manuais específicos, contendo padrões construtivos, tipos de cabines aceitas, dispositivos de proteção obrigatórios e esquemas de ligação permitidos. Esses documentos complementam as normas técnicas, garantindo que as instalações atendam às particularidades regionais da rede de distribuição. O não atendimento aos padrões pode resultar em reprovação do projeto e impedimento da energização (ANEEL – PRODIST, 2023).

4.2. Exigências construtivas e requisitos técnicos para subestações blindadas em cubículo

A Especificação Técnica ET.00021.EQTL-00-ET.021 estabelece todos os requisitos mínimos para projeto, construção, fornecimento e instalação de subestações blindadas em cubículo, utilizadas em instalações de média tensão no âmbito da Equatorial Energia. O documento define as condições construtivas, elétricas, mecânicas, funcionais e de segurança que devem ser obrigatoriamente atendidas pelos fabricantes e projetistas, assegurando padronização, confiabilidade operacional e conformidade com normas nacionais e internacionais aplicáveis.

4.2.1 Requisitos Gerais

A especificação estabelece que a subestação blindada em cubículo deve garantir segurança, confiabilidade e padronização, atendendo integralmente às normas ABNT, IEC e aos padrões internos da Equatorial Energia. Cada cubículo deve ser metálico, fechado, compartimentado e projetado para operação segura, evitando exposição do operador a partes energizadas. O conjunto deve abrigar dispositivos de manobra, proteção, medição e controle, garantindo interoperabilidade e manutenção facilitada.

4.2.2 Construção Mecânica dos Cubículos

Os cubículos devem ser construídos em chapas metálicas tratadas contra corrosão, com resistência mecânica adequada. A estrutura deve ser autoportante, permitindo acoplamento entre módulos e expansão futura. A norma exige compartimentos segregados para barramentos, cabos, equipamentos de manobra, transformadores de corrente e tensão, além de compartimento exclusivo para equipamentos de baixa tensão. Cada compartimento deve possuir grau de proteção adequado (como IP4X ou superior), ventilação apropriada e barreiras internas que evitem propagação de falhas.

4.2.3 Barramentos e Interligações

Os barramentos devem ser fabricados em cobre eletrolítico ou alumínio, adequadamente dimensionados para suportar correntes nominais, correntes de curto-circuito e elevação de temperatura. Devem ser instalados em suportes isolantes de alta resistência dielétrica e mecânica. As interligações entre cubículos devem permitir continuidade elétrica,

expansão futura e manutenção sem comprometer o funcionamento da subestação. Ensaio térmico, dielétrico e mecânico são obrigatórios.

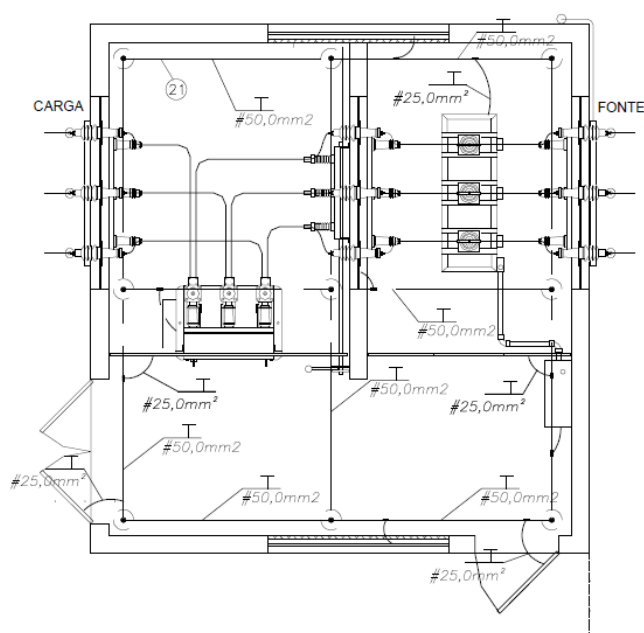
4.2.4 Equipamentos de Manobra e Proteção

O conjunto deve incluir disjuntores, chaves seccionadoras, chaves de aterramento, fusíveis limitadores e para raios, conforme o módulo. Esses dispositivos devem atender às capacidades de interrupção e fechamento, suportar esforços de curto-circuito e estar em conformidade com normas nacionais e internacionais. Chaves do tipo extraível ou compartimentalizadas devem garantir manutenção segura. Todos os equipamentos devem possuir sinalização clara de posição (ligado, desligado, aterrado).

4.2.5 Sistema de Aterramento

Cada cubículo deve possuir barra de terra interligada a todos os demais, garantindo equipotencialização da estrutura. Portas, carcaças, suportes metálicos, chapas internas e componentes fixados ao invólucro devem estar devidamente conectados à barra de terra. Um borne deve ser disponibilizado para ligação direta ao sistema de aterramento da unidade consumidora. A eficácia deste sistema é fundamental para o funcionamento dos dispositivos de proteção e para segurança operacional. Em conformidade com a Figura 13 – Modelo de malha de aterramento.

Figura 13 – Modelo de malha de aterramento



Fonte: Departamento de engenharia e arquitetura - DENG, 2025.

4.2.6 Intertravamentos e Segurança Operacional

A especificação exige a implementação de intertravamentos mecânicos e elétricos que impeçam operações incorretas. Não deve ser possível:

- abrir portas com o circuito energizado,
- manobrar chaves fora da sequência correta,
- acionar chave de aterramento com o circuito energizado,
- extrair disjuntores sem condições seguras.

Sinalização clara, etiquetas permanentes, dispositivos de bloqueio e sistemas antifurto também são obrigatórios. O conjunto deve ser projetado para eliminar riscos de arco elétrico e contatos acidentais.

4.2.7 Ensaios e Certificações

A norma exige que todos os equipamentos sejam submetidos a ensaios de tipo e rotina. Entre os ensaios obrigatórios estão:

- ensaio dielétrico,
- ensaio de arco interno,
- teste térmico,
- ensaio mecânico,
- resistência de contatos,
- ensaios funcionais dos equipamentos de manobra.

Relatórios, certificados e documentação técnica devem acompanhar o fornecimento, sendo condição obrigatória para liberação e energização pela Equatorial.

4.2.8 Identificação e Documentação

Cada cubículo deve possuir identificação permanente contendo características elétricas, informações construtivas e codificação padronizada conforme tabela da EQTL. Devem ser fornecidos diagramas unifilares, multifilares, listas de materiais, manuais de operação, manutenção e instruções de segurança. A entrega da documentação deve ocorrer em formato físico e digital, seguindo o padrão exigido pela distribuidora. Um exemplo a ser seguido é evidenciado na Figura 14 – Modelo de diagrama unifilar.

4.3. Cabine de medição/proteção do campus Poeta Torquato Neto

4.3.1 Memorial técnico descritivo

O memorial técnico tem a função de descrever, de forma clara e detalhada, todas as características, requisitos e justificativas que compõem o projeto da cabine de medição e proteção em média tensão. Ele serve como documento-base para orientar a execução da obra, garantindo que todos os elementos construtivos, elétricos, mecânicos e de segurança sejam rigorosamente atendidos conforme as normas vigentes e as exigências da Concessionária. Por meio do memorial, são apresentadas as dimensões da cabine, seus materiais, condições de instalação, equipamentos de proteção e medição utilizados, critérios de aterramento, sistemas de ventilação, dispositivos de manobra, intertravamentos e demais componentes necessários à operação segura da subestação.

Além disso, o memorial técnico assegura que o projeto esteja em conformidade com normas como a NT. 00002.EQTL, ABNT NBR 14039 e ABNT NBR 5410, demonstrando que o dimensionamento, os cálculos elétricos, os métodos de proteção e os equipamentos especificados atendem às diretrizes técnicas exigidas. Trata-se de um documento essencial para a aprovação junto à Concessionária, para a fiscalização da obra e para garantir que a instalação final seja segura, confiável e compatível com o padrão de atendimento elétrico em média tensão.

4.3.2 Especificações técnicas do projeto

A cabine de medição e proteção em média tensão foi projetada para atender às exigências da norma NT. 00002.EQTL, revisão 09 de 2024, seguindo rigorosamente os requisitos definidos pela Concessionária para unidades consumidoras atendidas em 13,8 kV. Trata-se de uma instalação abrigada em alvenaria, implantada no limite entre a via pública e a propriedade da Fundação Universidade Estadual do Piauí, localizada na Rua João Cabral, 2231, Bairro Pirajá, em Teresina-PI. Seu objetivo é abrigar todos os elementos necessários à medição em média tensão, ao seccionamento, à proteção e ao controle da demanda elétrica da unidade consumidora. Conforme ilustrado na Figura 15 – Conexão do Cubículo com a rede da Equatorial.

Figura 15 – Conexão do Cubículo com a rede da Equatorial



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

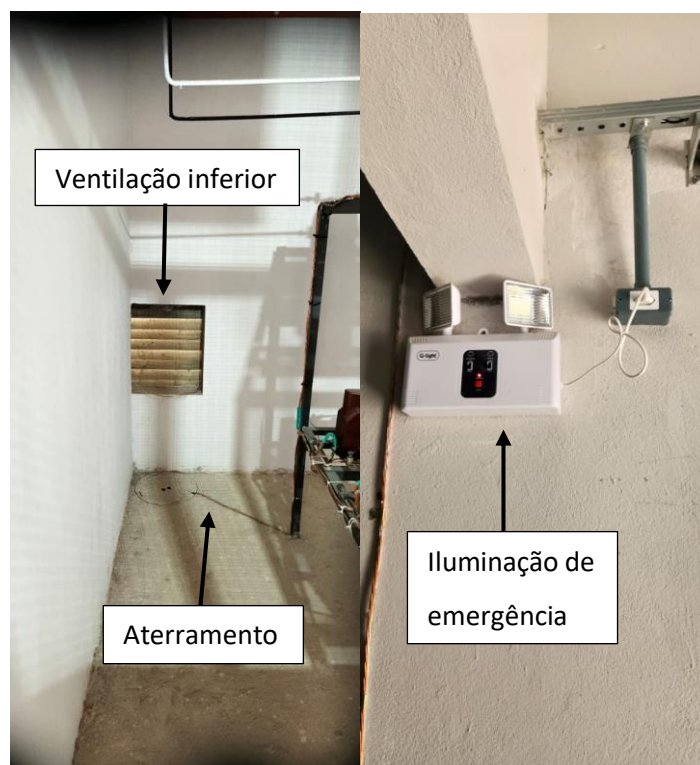
A cabine possui dimensões internas mínimas de 2,10 m de largura, 1,50 m de profundidade e pé-direito de 3,00 m. As paredes e o teto foram construídos em alvenaria com espessura mínima de 100 mm, recebendo reboco e pintura branca. O piso cimentado possui declividade de 2% direcionada a um ralo interligado à bacia de contenção de óleo, permitindo drenagem adequada. A porta metálica, com duas folhas de 2,10 m por 0,80 m cada, abre para fora e possui fechadura com chave mestra ou cadeado, além de placas de advertência de alta tensão. Para ventilação, foram previstas aberturas superior e inferior em todas as paredes, com dimensões mínimas de 400 mm por 200 mm, protegidas com telas metálicas entre 5 mm e 13 mm. A cabine conta com iluminação artificial e, preferencialmente, iluminação natural, além de iluminação de emergência com autonomia mínima de duas horas. Como disposto nas Figura 16 e 17 – Vistas frontal e lateral do Cubículo; Figura 18 e 19 – Ventilação inferior e iluminação de emergência.

Figura 16 e 17 – Vistas frontal e lateral do Cubículo



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

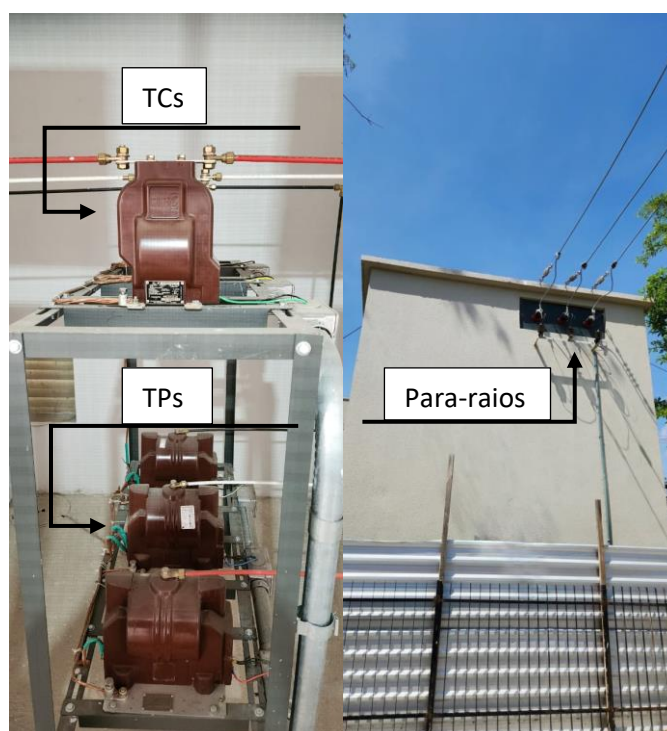
Figura 18 e 19 – Ventilação inferior e iluminação de emergência



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

A medição é realizada através de transformadores de corrente (TCs) e transformadores de potencial (TPs), devidamente fixados em cavalete conforme o Desenho 21 da norma. A proteção geral da unidade consumidora é feita por disjuntor de média tensão acionado por relés secundários programados com funções 50 e 51, de sobrecorrente instantânea e temporizada, respectivamente. O disjuntor é intertravado eletromecanicamente com a chave seccionadora, impedindo manobras inseguras. Nas muflas de entrada foram instalados para-raios, conforme previsto no item 6.12.1 da norma. Todos os elementos metálicos não energizados são ligados à malha de aterramento, construída em cobre nu de seção mínima de 50 mm², cujos condutores são protegidos por eletrodutos de PVC rígido com proteção anti-UV até a altura mínima de 3 metros. Como indicado nas Figura 20 e 21 – TCs e TPs e Para-raios de média tensão; Figura 22 e 23 – Barramento de Equipotencialização (BEP); Figura 24 e 25 – Haste de aterramento e aterramento de partes metálicas.

Figura 20 e 21 – TCs e TPs e Para-raios de média tensão



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Figura 22 e 23 – Barramento de Equipotencialização (BEP)



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Figura 24 e 25 – Haste de aterramento e aterramento de partes metálicas



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Nas partes internas da cabine, pontos energizados de média tensão são isolados por grades metálicas de proteção com malha máxima de 25 mm, fabricadas em arame de aço zincado 12 BWG. Essas grades devem ser fixadas com afastamento máximo de 0,10 m do piso e do teto. A cabine possui extintor de incêndio de 12 kg (CO₂ ou pó químico), posicionado internamente próximo à porta. De acordo com a representação na Figura 26 e 27 – Intertravamento mecânico/elétrico e Extintor de incêndio.

Figura 26 e 27 – Intertravamento mecânico/elétrico e Extintor de incêndio



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

O disjuntor de média tensão utilizado apresenta um conjunto completo de funções de proteção, incluindo: tripagem trifásica, proteção de desequilíbrio (ANSI 46), sobrecarga térmica (ANSI 49), sobrecorrente instantânea (ANSI 50/50N), sobrecorrente temporizada (ANSI 51/51N), falha de disjuntor (ANSI 50BF), supervisão de trip (ANSI 74TC), bloqueio de fechamento (ANSI 86), além de detecção de inrush e tripagem externa. O tempo mínimo de coordenação entre o relé da unidade consumidora e a proteção da concessionária é de 300 ms. O relé possui nobreak interno com autonomia de duas horas para garantir registro de eventos. O disjuntor a vácuo obedece à classe de tensão de 17,5 kV, corrente nominal de 630 A, capacidade de interrupção de 25 kA, corrente suportável de curta duração de 25 kA por quatro segundos, e tensão suportável de 38 kV em frequência industrial e 95 kV em impulso. Como evidenciado na Figura 28 e 29 – Cabine de proteção e Relé de proteção.

Figura 28 e 29 – Cabine de proteção e Relé de proteção



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Para operação e manutenção, a cabine possui espaço mínimo de circulação de 0,70 m com portas abertas a 90°, garantindo acesso adequado para inspeções, manobras e substituição de equipamentos. O projeto elétrico foi desenvolvido de acordo com as normas ABNT NBR 14039 e ABNT NBR 5410, incluindo os cálculos de demanda, curto-circuito, coordenação de proteção e dimensionamento da malha de aterramento. Conforme ilustrado na Figura 30 e 31 – Entrada do Cubículo e Centro de medição remoto.

Figura 30 e 31 – Entrada do Cubículo e Centro de medição remoto



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA

5.1. Natureza e Classificação da Pesquisa

Este trabalho classifica-se como uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e caráter descritivo e exploratório, estruturada sob a forma de um estudo de caso. A pesquisa é aplicada pois busca soluções para problemas específicos relacionados à infraestrutura elétrica do Campus Poeta Torquato Neto da UESPI. A abordagem qualitativa justifica-se pela análise detalhada de projetos, normas e especificações técnicas, não se limitando apenas a dados numéricos, mas à interpretação da adequação normativa e funcional das instalações.

5.2. Procedimentos Metodológicos

O desenvolvimento do estudo foi dividido em três etapas principais: levantamento bibliográfico, coleta de dados documentais e análise técnica comparativa.

5.2.1 *Levantamento Bibliográfico*

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica para fundamentar os conceitos teóricos sobre redes de distribuição de média tensão (nua e compacta) e subestações abrigadas. As principais fontes consultadas incluíram normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), especificamente a NBR 14039 e NBR 5410, além das normas técnicas da concessionária local, Equatorial Piauí (NT. 00002.EQTL, NT. 00005.EQTL, entre outras). Também foram consultados livros técnicos, artigos acadêmicos e manuais de fabricantes para embasar as discussões sobre equipamentos de proteção e topologias de rede.

5.2.2 *Coleta de Dados e Análise Documental*

A coleta de dados consistiu na obtenção e análise dos projetos elétricos fornecidos pelo DENG da UESPI. Os documentos analisados incluíram:

- Plantas baixas e diagramas unifilares da rede de distribuição interna (existente e projetada).
- Memorial descritivo e especificações técnicas da cabine de medição e proteção.
- Cronogramas de execução e quadros de carga das subestações.

5.2.3 Análise Técnica e Comparativa

Na fase final, foi realizada a análise crítica dos projetos. O estudo comparou a infraestrutura obsoleta (rede nua) com a proposta de modernização (rede compacta), avaliando critérios de segurança, confiabilidade e manutenção. Além disso, verificou-se a conformidade do cubículo de medição executado frente às exigências regulatórias da Equatorial Piauí para consumidores do Grupo A, focando nos requisitos de proteção, seccionamento e medição centralizada.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Análise da Adequação do Cubículo de Medição e Proteção

A implantação do cubículo de medição e proteção no Campus Poeta Torquato Neto representa um marco fundamental na adequação normativa da instituição. A análise do projeto executado demonstra o cumprimento estrito da norma NT. 00002.EQTL da Equatorial Piauí.

A exigência de centralização da medição em um único ponto para unidades com múltiplas edificações foi atendida, eliminando medições esparsas que dificultavam a leitura e a manutenção. O dimensionamento do disjuntor a vácuo de 17,5 kV – 630 A, dotado de relés secundários com funções ANSI 50 (sobrecorrente instantânea) e 51 (sobrecorrente temporizada), garante a seletividade necessária com a proteção da concessionária, respeitando o tempo mínimo de coordenação de 300 ms.

Observa-se que a adoção de intertravamentos mecânicos e elétricos (impedindo a abertura de portas com o circuito energizado) eleva significativamente a segurança operacional para as equipes de manutenção da UESPI, mitigando riscos de arco elétrico e contatos acidentais, falhas comuns em instalações antigas não blindadas.

6.2. Impactos da Modernização da Rede de Distribuição: Transição de Rede Nua para Compacta

A análise das plantas do projeto de rede interna evidencia uma transição estratégica da rede aérea nua para a rede compacta protegida (cabo XLPE 90° 15/25kV).

A rede nua existente no campus apresentava alta vulnerabilidade a desligamentos acidentais causados pela interação com a vegetação densa e fauna local, além de representar riscos de segurança para a comunidade acadêmica devido à ausência de isolamento nos condutores. A substituição pela rede compacta, conforme detalhado no projeto, traz como resultado imediato a redução da taxa de falhas e a diminuição da necessidade de podas drásticas, preservando o aspecto ambiental do campus.

Tecnicamente, o uso de espaçadores e cabos cobertos permite a redução dos vãos e da largura da faixa de servidão, otimizando o uso do espaço físico em uma área urbanizada e movimentada como a universidade. A discussão aponta que, embora o custo inicial da rede compacta seja superior, o retorno em confiabilidade (menor DEC/FEC) e segurança justifica o investimento.

6.3. Expansão de Carga e Planejamento Energético

A análise do cronograma de execução e do quadro de cargas revela um planejamento robusto para o crescimento da demanda energética do campus até 2026.

O escalonamento em seis etapas permite que a infraestrutura acompanhe o crescimento das cargas sem superdimensionamento inicial desnecessário. Nota-se que o projeto prevê sair de uma demanda inicial de cerca de 91 kVA para um cenário final com demanda contratada de 1.042 kW e carga instalada superior a 3 MW.

A padronização das novas subestações em 112,5 kVA facilita a gestão de peças de reposição e manutenção. Além disso, a estratégia de incorporar subestações existentes na etapa final demonstra um aproveitamento eficiente dos ativos da universidade, modernizando a rede primária antes de integrar os transformadores antigos ao novo anel de distribuição.

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho analisou o processo de adequação e modernização da rede de distribuição de média tensão do Campus Poeta Torquato Neto da UESPI, focando na análise técnica e normativa do cubículo de medição e no projeto de substituição da rede aérea.

Conclui-se que a execução do cubículo de medição foi uma intervenção mandatória e bem-sucedida, alinhando a instituição às normas vigentes da Equatorial Piauí (NT.00002) e da ABNT (NBR 14039). A centralização da medição e a instalação de proteções modernas (relés digitais e disjuntores a vácuo) garantiram não apenas a regularidade jurídica do fornecimento, mas também um aumento substancial na segurança operacional e na proteção dos equipamentos da universidade contra surtos e curtos-circuitos.

Em relação à modernização da rede, a transição da tecnologia "nua" para "compacta" mostrou-se a solução técnica mais adequada para o ambiente universitário. Os resultados da análise indicam que essa mudança mitigará os problemas crônicos de interrupção de energia causados por fatores ambientais e vegetação, além de eliminar riscos iminentes de choques elétricos acidentais, promovendo um ambiente mais seguro para discentes e servidores.

O estudo demonstra que o planejamento escalonado da expansão da carga assegura que a UESPI terá capacidade energética suficiente para suportar suas atividades de ensino e pesquisa nos próximos anos. A modernização da infraestrutura elétrica do Campus Poeta Torquato Neto não é apenas uma obra de engenharia, mas um investimento essencial na qualidade do serviço público de educação, garantindo a continuidade das atividades acadêmicas com segurança e eficiência.

A principal recomendação para trabalhos futuros é o acompanhamento pós-obra dos Indicadores de Continuidade de Fornecimento internos do Campus Poeta Torquato Neto ao realizar a medição e a análise comparativa do DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e do FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora). A comparação sistemática desses índices com os dados históricos, anteriores à substituição da rede aérea pela tecnologia compacta, permitirá quantificar o ganho real de performance, confiabilidade e segurança do sistema, confirmando a eficácia técnica do investimento realizado e estabelecendo uma base de dados robusta para futuras intervenções.

Em uma segunda etapa, com a infraestrutura elétrica a ser demonstrada estável e modernizada, sugere-se a realização de um Estudo de Integração de Geração Distribuída (GD). Esta linha de pesquisa deve focar na viabilidade técnica e econômica da implementação

de um sistema de geração fotovoltaica para cobrir parte da demanda do campus. O estudo deve incluir a análise do impacto da GD na rede interna, levando em conta os novos equipamentos de proteção instalados (como os relés digitais), e avaliar os benefícios de longo prazo, como a redução de custos operacionais e o alinhamento da instituição às práticas de sustentabilidade energética, promovendo uma maior autonomia e resiliência do fornecimento universitário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, 2020.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14039: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15751 – Sistemas de aterramento para instalações elétricas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15820 – Abrigos e compartimentos para equipamentos elétricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6856 – Transformadores de corrente e potencial para serviço de medição e proteção**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Manual de Distribuição – Características Construtivas e Técnicas de Redes de Distribuição**. Brasília: ANEEL, 2020.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Módulos 1 a 10**. Brasília: ANEEL, 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Brasília, 2022.

COSTA, R. M. **Geração distribuída e seus impactos na rede elétrica brasileira**. São Paulo: Editora Energia, 2021.

COSTA, R. M. **Infraestrutura elétrica em áreas rurais e de difícil acesso**. São Paulo: Ed. Energia Atual, 2022.

COSTA, R. M. **Modernização das redes aéreas de distribuição**. São Paulo: Ed. Energia Atual, 2022.

COSTA, R. M. **Redes compactas e desempenho operacional na distribuição**. São Paulo: Ed. Energia Atual, 2021.

EQUATORIAL ENERGIA. **ET.00021.EQTL-00-ET.021 – Normas e Padrões de Subestação Blindada – Cubículo**. São Luís: Equatorial Energia, 2023.

EQUATORIAL ENERGIA. **NT. 00002.EQTL – Normas Técnicas para Fornecimento de Energia Elétrica em Média Tensão. Rev. 09**. São Luís: Equatorial Energia, 2024.

EQUATORIAL PIAUÍ. **Manual de Padrões de Entrada de Energia Elétrica – Grupo A.** Teresina: Equatorial Energia, 2023.

FERREIRA, L. A. **Análise econômica das redes de distribuição aéreas.** Rio de Janeiro: LTC, 2019.

FERREIRA, L. A. **Desempenho e vulnerabilidades das redes elétricas aéreas.** Rio de Janeiro: LTC, 2019.

FERREIRA, L. A. **Infraestrutura elétrica e expansão da distribuição no Brasil.** Rio de Janeiro: LTC, 2019.

GONEN, T. **Electrical Power Distribution System Engineering.** 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.

IEC – International Electrotechnical Commission. **Normas diversas aplicáveis a equipamentos de média tensão (IEC 62271, IEC 60044, IEC 60282, entre outras utilizadas pela Concessionária).** Genebra: IEC, edições vigentes.

JOHNSON, T. **Medium Voltage Distribution Systems: Global Advances and Applications.** New York: Springer, 2019.

KIM, S. **Smart Grid Technologies and Distribution Automation.** Seoul: PowerTech Press, 2020.

MARTINEZ, J. **Renewable Energy Integration in Medium Voltage Networks.** London: Academic Press, 2022.

MARTINS, T. A. **Manutenção e operação de redes aéreas de média tensão.** Curitiba: InterSaberes, 2021.

MORAES, P. H. **Redes compactas e isoladas na distribuição de energia.** Curitiba: InterSaberes, 2021.

MORAES, P. H. **Tecnologias de isolamento em redes de média tensão.** Curitiba: InterSaberes, 2020.

MOURA, P. H. **Automação e digitalização das redes elétricas brasileiras.** Brasília: Ed. Setor Elétrico, 2022.

OLIVEIRA, D. F. **Histórico e evolução das redes de distribuição no Brasil.** Belo Horizonte: Ed. Técnica, 2018.

OLIVEIRA, D. F. **Padronização das estruturas de distribuição no Brasil.** Belo Horizonte: Ed. Técnica, 2018.

OLIVEIRA, M. A.; LIMA, J. P.; SILVA, T. H. **Adequação de redes elétricas de média tensão em instituições públicas: um estudo de caso.** Revista Brasileira de Engenharia Elétrica, v. 12, n. 3, p. 55–67, 2021.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Relatório de Expansão e Modernização do Sistema Interligado Nacional**. Brasília: ONS, 2022.

PEREIRA, A. J. **Critérios de aplicação das redes elétricas aéreas**. Porto Alegre: Bookman, 2021.

PEREIRA, A. J. **Modernização dos sistemas elétricos e tendências globais**. Porto Alegre: Bookman, 2021.

PEREIRA, A. J. **Regulação e confiabilidade das redes elétricas modernas**. Porto Alegre: Bookman, 2022.

PEREIRA, A. J. **Regulação e desempenho das redes de distribuição**. Porto Alegre: Bookman, 2021.

SANTOS, E. L. **Aplicações modernas de redes compactas de distribuição**. Brasília: Ed. Setor Elétrico, 2021.

SANTOS, E. L. **Evolução das redes elétricas aéreas de média tensão**. Brasília: Ed. Setor Elétrico, 2019.

SILVA, R. S. **Redes aéreas de distribuição: fundamentos e aplicações**. Brasília: Ed. Setor Elétrico, 2020.

SILVA, R. S. **Sistemas de distribuição de energia: fundamentos e evolução tecnológica**. Curitiba: InterSaberes, 2020.

SOUZA, R. F. **Modernização de redes de distribuição aérea: análise comparativa entre redes nuas e compactas isoladas**. Revista Engenharia em Foco, v. 9, n. 1, p. 45–53, 2020.

TANAKA, K. **Digital Transformation in Power Distribution Networks**. Tokyo: Energy Insights Publishing, 2021.