

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ

CENTRO DE TECNOLOGIA E URBANISMO

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES CONSTRUTIVAS E ELÉTRICAS DAS
SUBESTAÇÕES DO CENTRO HOSPITALAR PARA PROPOSIÇÃO DE
ADEQUAÇÕES NORMATIVAS E MELHORIAS DE QUALIDADE DE ENERGIA**

FRANCISCA VITÓRIA FERREIRA DA SILVA

WILSON MARLUS NOBRE IBIAPINA

ORIENTADOR(A): PROF. DR. ANDRÉ LUIS DA SILVA PESSOA

Teresina – PI
2025

FRANCISCA VITÓRIA FERREIRA DA SILVA
WILSON MARLUS NOBRE IBIAPINA

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES CONSTRUTIVAS E ELÉTRICAS DAS
SUBESTAÇÕES DO CENTRO HOSPITALAR PARA PROPOSIÇÃO DE
ADEQUAÇÕES NORMATIVAS E MELHORIAS DE QUALIDADE DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado ao Curso de
Graduação em Engenharia Elétrica
do Centro de Tecnologia e
Urbanismo da Universidade Estadual
do Piauí, como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. André Luís da
Silva Pessoa

Teresina – PI
2025

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES CONSTRUTIVAS E ELÉTRICAS DAS
SUBESTAÇÕES DO CENTRO HOSPITALAR PARA PROPOSIÇÃO DE
ADEQUAÇÕES NORMATIVAS E MELHORIAS DE QUALIDADE DE
ENERGIA**

**FRANCISCA VITÓRIA FERREIRA DA SILVA
WILSON MARLUS NOBRE IBIAPINA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual do Piauí, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado em 24 de novembro de 2025.

Membros da Banca:

Prof. Dr. André Luis da Silva Pessoa

(Presidente da Banca – UESPI)

Prof. Me. Breno Avelar Rodrigues de Andrade

(Membro Titular – UESPI)

Prof(a) Ma. Jucyara Simplicio Dos Santos

(Membro Titular – UESPI)

Teresina – PI

2025

Dedicamos este trabalho às nossas famílias, pelo apoio incondicional, paciência e compreensão durante todo o processo. Às pessoas que acreditaram em nós, nos incentivaram a seguir em frente e nos ajudaram a superar os desafios.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus pela vida, pela saúde e pelas oportunidades que nos permitiram chegar até aqui. Sua proteção e orientação iluminaram nosso caminho durante toda esta trajetória acadêmica.

Agradecemos especialmente às nossas famílias, que se constituíram como o alicerce fundamental para a conclusão do curso. Sem o apoio incondicional, os incentivos constantes e a compreensão durante os momentos desafiadores, esta jornada teria sido muito mais árdua. Às nossas famílias, dedicamos o reconhecimento por acreditarem em nosso potencial e por estarem ao nosso lado em cada etapa do curso.

Agradecemos também ao nosso orientador, Prof. Dr André Luís, pelos conhecimentos compartilhados, pela orientação segura e pelas contribuições valiosas que enriqueceram este trabalho. Sua disponibilidade e experiência foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Estendemos nossos agradecimentos aos professores e colegas de curso que, de alguma forma, contribuíram para nossa formação acadêmica e pessoal, trocando experiências e conhecimentos que moldaram nossa visão profissional.

Epígrafe

*“Os obstáculos são aquelas coisas assustadoras que
você vê quando tira os olhos da meta.”*

(Henry Ford)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar as condições operacionais das subestações de 150kVA e 225kVA responsáveis pela alimentação elétrica de um hospital, com foco na qualidade de energia, na identificação de falhas críticas e na proposição de melhorias estruturais e operacionais. A partir das inspeções técnicas, foram identificados problemas relevantes, como desbalanceamento de fases, sobreaquecimento em conexões e disjuntores, pontos de resistência elevada e falhas em dispositivos de proteção, que comprometiam a continuidade e a segurança do fornecimento elétrico, afetando diretamente áreas críticas como UTIs, centros cirúrgicos e setores de diagnóstico por imagem. Os resultados revelaram que ambas as subestações apresentavam risco significativo de falhas operacionais, decorrentes de infraestrutura defasada, organização inadequada dos circuitos e degradação dos componentes elétricos. Como ação corretiva imediata, a subestação de 225kVA passou por uma modernização completa do QGBT, adequação para disjuntores do tipo caixa moldada e instalação de eletrocalhas, o que reduziu de forma expressiva os pontos de aquecimento e aumentou a confiabilidade do sistema. Já na subestação de 150kVA, foram propostas intervenções estruturais, como a substituição do QGBT, a correção do balanceamento das cargas e a adoção de técnicas adequadas de conexão. O estudo também propôs a implementação de um plano contínuo de manutenção preventiva, incluindo inspeções termográficas periódicas, acompanhamento das condições das conexões e padronização dos procedimentos de instalação. Além disso, recomendou-se o redesenho da distribuição de cargas e a substituição do cabo de alimentação geral, permitindo que o sistema elétrico suporte com segurança a demanda futura decorrente da expansão do hospital.

Palavras-chave: Qualidade de energia. Subestações elétricas. Desbalanceamento de fases. Manutenção preventiva. Infraestrutura hospitalar.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the operational conditions of the 150kVA and 225kVA substations responsible for supplying electrical power to a hospital, with a focus on power quality, identification of critical failures, and the proposal of structural and operational improvements. Technical inspections revealed significant issues such as phase unbalance, overheating in connections and circuit breakers, high-resistance points, and failures in protection devices, all of which compromised the continuity and safety of the electrical supply, directly affecting critical areas such as ICUs, surgical centers, and diagnostic imaging departments. The results showed that both substations presented a considerable risk of operational failure due to outdated infrastructure, inadequate circuit organization, and degradation of electrical components. As an immediate corrective action, the 225kVA substation underwent a complete modernization of the main low-voltage switchboard (QGBT), including adaptation for molded-case circuit breakers and the installation of cable trays, which significantly reduced hotspots and improved the system's reliability. For the 150kVA substation, structural interventions were proposed, such as the replacement of the QGBT, load balance correction, and the adoption of proper connection techniques. The study also recommended the implementation of a continuous preventive maintenance program, including periodic thermographic inspections, monitoring of connection conditions, and standardization of installation procedures. Additionally, a redesign of the load distribution and replacement of the main feeder cable were proposed to ensure that the electrical system can safely support the hospital's future expansion and increasing demand.

Keywords: Power quality. Electrical substations. Phase unbalance. Preventive maintenance. Hospital infrastructure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Grupo Gerador Aberto.....	17
Figura 2 - Grupo Gerador Carenado.....	18
Figura 3 – Sistema de No-Break (UPS).	18
Figura 4 - Representação gráfica da distorção da forma de onda resultante da soma da componente fundamental com componentes harmônicas.	22
Figura 5 - Exemplo de instalação de subestação aérea.....	29
Figura 6 - Exemplo de subestação abrigada.	30
Figura 7 - Subestação ao tempo, mostrando a disposição dos equipamentos ao ar livre.	31
Figura 8 - Transformador de distribuição a óleo (até 300 kVA).	32
Figura 9 - Transformadores de corrente para medição e proteção.	33
Figura 10 - TP indutivo de média tensão.....	34
Figura 11 - Disjuntores de proteção caixa moldada.	35
Figura 12 - Chave fusível de média tensão.	36
Figura 13 - Banco de Capacitores para Correção do Fator de Potência.	37
Figura 14 - Representação esquemática de um QGBT.	39
Figura 15 - Analisador de qualidade de energia.	50
Figura 16 - Vista geral da subestação A.....	56
Figura 17 - Vista geral da subestação B.	57
Figura 18 - Fatura de energia do mês 10/2025 para análise de demanda da Subestação A.	59
Figura 19 - Tabela 11 da Norma Técnica 02 da Equatorial PI.....	60
Figura 20 - Disjuntor e cabo da Subestação. A.	60
Figura 21 - Fatura de energia do mês 10/2025 para análise de demanda da Subestação B.	61
Figura 22 - Disjuntor e cabo da Subestação B.	62
Figura 23 - QGBT 01 da Subestação A.....	63
Figura 24 - QGBT 02 da Subestação A.....	65
Figura 25 - Vista geral da estrutura do QGBT da Subestação B.....	66
Figura 26 - Detalhes do barramento do QGBT.	66
Figura 27 - Medições das correntes das fases A, B e C na Subestação A.....	70
Figura 28 - Medições das correntes das fases A, B e C na Subestação B.	70
Figura 29 - Gráfico dos valores de tensão extraídos do analisador.....	73

Figura 30 - Tendência da Frequência na Subestação B.....	74
Figura 31 - Tendência de FD% e FD95%.	76
Figura 32 - Indicadores de THD nas fases Va, Vb e Vc.	77
Figura 33 - Distribuição Acumulada de Pst95% nas Fases A, B e C.....	78
Figura 34 - Tendência de Flutuação de Tensão (Pst) nas Fases A, B e C.	78
Figura 35 - Distribuição dos Afundamentos de Tensão nas Fases VaN, VbN e VcN.	80
Figura 36 - Registro da Interrupção Temporária de Tensão.....	80
Figura 37 - Curva de demanda ativa de um dos circuitos da subestação B.....	81
Figura 38 - Ponto quente na emenda de cabo no circuito de saída do QGBT 01.....	84
Figura 39 - Aquecimento crítico nos terminais do disjuntor no QGBT 02.....	84
Figura 40 - Ponto de aquecimento nos barramentos do QGBT da Subestação B.	85
Figura 41 - QGBT da subestação B com novos barramentos adaptados.	88
Figura 42 - Instalação de eletrocalhas para melhor organização dos circuitos.	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração.....	23
Tabela 2 - Critérios de Avaliação.....	49
Tabela 3 - Principais funcionalidades do analisador PowerNET PQ-600 G4.....	50
Tabela 4 - Parâmetros de configuração do analisador PowerNET P-600 G4.....	51
Tabela 5 - Especificações elétricas e metrológicas do analisador PowerNET PQ-600 G4.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMT – Afundamento Momentâneo de Tensão
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ATS – Chaves de Transferência Automática
CA – Corrente Alternada
CC – Corrente Contínua
CLP – Controlador Lógico Programável
DGA – Análise Cromatográfica de Gases Dissolvidos em Óleo (Dissolved Gas Analysis)
DPS – Dispositivos de Proteção contra Surtos
DTT – Distorção Harmônica Total de Tensão
FD – Fator de Desequilíbrio
FS – Fator de Segurança
GPRS – General Packet Radio Service
HVDC – High Voltage Direct Current
IEC – International Electrotechnical Commission
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMD – Monitoramento Contínuo de Isolamento (Insulation Monitoring Device)
ITIC – Information Technology Industry Council
ITT – Interrupção Temporária de Tensão
JCAHO – Joint Commission on Accreditation of Healthcare Organizations
kVA – Quilovolt-ampere (unidade de potência aparente)
kVAr – Quilovolt-ampere Reativo (unidade de potência reativa)
MCCB – Disjuntores Caixa Moldada (Molded Case Circuit Breakers)
MTBF – Mean Time Between Failures
MVA – Megavolt-ampere (unidade de potência aparente)
NBR – Norma Brasileira (utilizada em conjunto com o número da norma)
NR-10 – Norma Regulamentadora nº 10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade)
p.u. – Por unidade
PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
Pst – Severidade de cintilação de curta duração (Perceptibility Short-term)
PVC – Policloreto de Vinila
QEE – Qualidade da Energia Elétrica
QGBT – Quadro Geral de Baixa Tensão
QTA – Quadro de Transferência Automática
RDC – Resolução da Diretoria Colegiada
RMS – Root Mean Square (valor eficaz)
SCADA – Sistemas de Supervisão e Controle e Aquisição de Dados
SD – Secure Digital (Cartão de memória)
SPDA – Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

SPOF – Ponto Único de Falha (Single Point of Failure)

TCs – Transformadores de Corrente

THD – Distorção Harmônica Total (Total Harmonic Distortion)

TI – Tecnologia da Informação

TP – Transformador de Potencial

TSC – Bancos de Capacitores Controlados por Tiristores (Thyristor Switched Capacitors)

UPS – Sistemas de Alimentação Ininterrupta (Uninterruptible Power Supply)

USB – Universal Serial Bus

UTI – Unidade de Terapia Intensiva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo geral	15
1.2 Objetivos específicos.....	15
CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 Sistemas Elétricos em Hospitais.....	13
2.2 Importância do Fornecimento de Energia Contínuo e de Qualidade.....	13
2.3 Redundância, Robustez e Topologias do Sistema Elétrico Hospitalar.....	14
2.4 Fontes de Alimentação Seguras.....	15
2.5 Grupo Geradores.....	16
2.5.1 Tipos de grupos geradores	17
2.6 Sistemas de No-Break (UPS – Uninterruptible Power Supply)	18
2.7 Características e Peculiaridades das Instalações Elétricas Hospitalares	19
2.8 Classificação de Áreas e o Risco de Choque Elétrico	20
2.9 Qualidade de Energia Elétrica em Ambientes Hospitalares.....	21
2.10 Definição e Parâmetros da Qualidade de Energia	21
2.11 Variações e Flutuações de Tensão (VTCDs, Sags e Swells).....	23
2.12 Desbalanço de Tensão e Transitórios	25
2.13 Transitorio Elétricos	25
2.14 Norma e Regulamentações Aplicáveis	26
2.15 Subestação de Energia	27
2.15.1 Classificação das Subestações por Tipo de Instalação	29
2.16 Componentes Principais das Subestações Aéreas	31
2.16.1 Transformadores	32
2.16.2 Disjuntores.....	34
2.16.3 Chave Fusível	35
2.16.4 Banco de Capacitores	36
2.16.5 Sistema de Aterramento.....	37
2.16.6 Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT)	38
2.16.6.1 Classificação e Funções:.....	38
2.17 Função e importância das subestações na distribuição hospitalar	39
2.18 Manutenção em Instalações Elétricas Hospitalares.....	40

2.18.1 Conceito de Manutenção Elétrica (NBR 5462)	40
2.18.2 Tipos de Manutenção: Preventiva, Preditiva e Corretiva	41
2.18.3 Estratégias de Manutenção em Subestações Hospitalares.....	41
2.18.4 Aplicação Conjunta de Manutenção Preventiva e Corretiva.....	42
2.19 Riscos Associados a Falhas Elétricas em Hospitais	44
2.19.1 Possíveis Consequências para Pacientes, Profissionais e Equipamentos	44
2.19.2 Exemplos de Incidentes e Estatísticas de Falhas	45
2.20 Síntese.....	45
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	46
3.1 Inspeções técnicas presenciais nas subestações.....	46
3.2 Avaliação Das Condições Físicas E Estruturais Das Subestações	47
3.3 Instalação e uso do analisador de qualidade de energia na subestação de 225kVA.....	49
3.4 Análise do balanceamento de cargas e histórico de consumo	53
3.5 Projeto de Reformulação dos Quadros de Distribuição e Padrões de Medição	54
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS ENCONTRADOS	56
4.1 Condições Físicas e Estruturais	56
4.2 Condições Técnicas e Estruturais do Transformador	58
4.3 Dimensionamento Elétrico Geral	59
4.4 QGBT e seus Componentes na Subestação	63
4.5 Análise das Mediçãoes de Corrente nas Subestações	69
4.5.1 Subestação A	69
4.5.2 Subestação B	70
4.6 Análise de Qualidade de Energia em Regime Permanente	72
4.6.1 Conformidade de Tensão em Regime Permanente.....	73
4.6.2 Variação de Frequência	74
4.6.3 Balanceamento de Cargas.....	75
4.6.4 Análise da Distorção Harmônica	77
4.6.5 Flutuação de Tensão	78
4.6.6 Variações de Tensão de Curta Duração (VTCDs) e Impacto Operacional	79
4.6.7 Total de Eventos e Afundamentos de Tensão (Sags)	79
4.6.8 Interrupção Crítica de Tensão.....	80
4.6.9 Análise de Carga e Demanda.....	81
4.6.10 Análise Termográfica dos Quadros de Distribuição.....	83

4.6.11 Identificação de Pontos Quentes.....	83
4.6.12 Classificação das Análises Realizadas nas Duas Subestações	85
4.6.13 Intervenções.....	86
4.7 Execução das Melhorias e Implementações	87
4.8 Idealização de Reforma e Melhoria da Infraestrutura	90
4.9 Aceitação das Propostas de Melhoria.....	91
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO	92
CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS	94

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O fornecimento de energia elétrica de forma contínua, estável e segura é um requisito essencial para o funcionamento de instituições hospitalares. Diferentemente de outros setores, o ambiente hospitalar possui áreas críticas, como centros cirúrgicos, unidades de terapia intensiva (UTIs) e laboratórios, nas quais qualquer interrupção ou variação na qualidade da energia pode comprometer procedimentos médicos, ocasionar falhas em equipamentos de suporte à vida e colocar em risco a segurança de pacientes e profissionais (HANADA et al., 2007). Em alguns casos, interrupções de poucos segundos podem levar à paralisação de sistemas de ventilação mecânica ou à perda de dados de exames em andamento, exigindo a reinicialização de processos e gerando atrasos críticos (MACIEL; RODRIGUES, 1998). Nesse contexto, a infraestrutura elétrica, em especial as subestações de energia, representa um elemento estratégico para garantir a confiabilidade e a disponibilidade do suprimento elétrico (ABNT NBR 13534, 2010).

O cenário se torna ainda mais desafiador quando se considera o crescimento da demanda por serviços hospitalares no Brasil, impulsionado tanto pelo aumento populacional quanto pelo envelhecimento da população e pela ampliação da cobertura assistencial. Estudos nacionais mostram que em edificações hospitalares auditadas, sistemas como o condicionamento de ar podem responder por mais de meio do consumo total de energia elétrica, o que exige atenção especial à continuidade e qualidade da alimentação elétrica (RELATÓRIO DE AUDITORIAS ENERGÉTICAS – TIP HOSPITAL, 2021).

Além do volume de energia, a qualidade do fornecimento tornou-se um ponto central. Equipamentos como tomógrafos, ressonâncias magnéticas e monitores multiparamétricos exigem níveis muito baixos de distorção harmônica e variação de tensão. Flutuações, mesmo que breves, podem causar desde erros de leitura e recalibração forçada até danos permanentes nos circuitos internos (IEC 60364-7-710, 2021; GAZZONI et al., 2018). Isso reforça a necessidade de sistemas elétricos robustos, com redundância e monitoramento contínuo,

devidamente dimensionados e em conformidade com as normas técnicas aplicáveis, como a **NBR 13534:2010** e a **NBR IEC 60364-7-710:2006** (ABNT, 2010; ABNT, 2006).

Do ponto de vista histórico, a preocupação com a qualidade de energia em hospitais evoluiu de forma significativa nas últimas décadas. Inicialmente, a legislação focava apenas na segurança básica contra choques elétricos e sobrecargas. Com o avanço tecnológico, surgiram normas mais específicas, como a IEC 60364-7-710, que define requisitos para salas de operações e áreas médicas críticas, estabelecendo padrões para continuidade de serviço, sistemas de aterramento e redundância de fontes. No Brasil, a consolidação dessas diretrizes veio com a NBR 13534, que orienta desde o projeto até a manutenção das instalações elétricas hospitalares, incorporando conceitos de confiabilidade, manutenção preventiva e inspeções periódicas.

Apesar dos avanços, a infraestrutura elétrica hospitalar no Brasil ainda enfrenta vulnerabilidades relevantes. Falhas recorrentes incluem ausência de manutenção preventiva estruturada, equipamentos obsoletos, ausência de redundância em pontos críticos e não conformidade com as diretrizes normativas (SANTOS; AZAMBUJA, 2022; ALVES, 2015). Essas fragilidades elevam a probabilidade de interrupções não programadas, afetando diretamente a segurança assistencial e a eficiência operacional. A ausência de inspeções técnicas, como análise termográfica, testes de aterramento e avaliação de dispositivos de proteção, compromete não apenas o funcionamento imediato, mas também a vida útil de todo o sistema (SANTOS; AZAMBUJA, 2022).

A confiabilidade do sistema elétrico hospitalar está diretamente associada à qualidade construtiva e ao estado de conservação de suas subestações, responsáveis por receber, transformar e distribuir a energia elétrica para os diversos setores da unidade. Uma falha nesse nível da instalação pode gerar desde pequenos distúrbios, perceptíveis apenas nos equipamentos, até o desligamento total de áreas vitais, como UTIs e centros cirúrgicos. Diagnósticos técnicos bem estruturados e planos de manutenção preventiva são essenciais para reduzir riscos e otimizar recursos, garantindo que a energia fornecida atenda aos requisitos operacionais e normativos (HANADA et al., 2007).

Nesse contexto, o trabalho propõe uma análise técnica das subestações de um centro hospitalar localizado em Teresina, Piauí, integrando aspectos de segurança e qualidade de energia. A fim de estruturar o diagnóstico e as ações de adequação normativa requeridas pela instituição, estabelecem-se os objetivos abaixo.

1.1 Objetivo geral

Avaliar as condições construtivas e elétricas das subestações de 150kVA e 225kVA do Centro Hospitalar e propor intervenções técnicas para adequação às normas ABNT e IEC, visando garantir a confiabilidade do fornecimento de energia e a segurança operacional das cargas críticas.

1.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar inspeções técnicas presenciais nas subestações, de forma a identificar não conformidades construtivas e elétricas, considerando como referência as diretrizes estabelecidas pelas normas ABNT NBR 5410:2004, NBR 14039:2005, NBR 13534:2010 e NBR IEC 60364-7-710:2006;
- Avaliar as condições físicas e estruturais das subestações, contemplando aspectos como a organização interna dos quadros de distribuição, o estado da infraestrutura civil, a adequação da vedação, a proteção contra entrada de animais e a presença de umidade ou sinais de deterioração que possam comprometer a segurança operacional;
- Analisar o balanceamento de cargas entre os circuitos das subestações, verificando a existência de sobrecargas, subutilização ou má distribuição. Quando necessário, considerar ainda o histórico de consumo e a demanda contratada, por meio da avaliação de faturas de energia, de modo a embasar o diagnóstico;
- Instalar e utilizar um analisador de qualidade de energia na subestação de 225 kVA, com o propósito de monitorar parâmetros elétricos relevantes, como tensões, distorções harmônicas, desequilíbrio entre fases, afundamentos e surtos de tensão. A partir dos dados coletados, será possível avaliar os impactos dessas variáveis sobre o desempenho de equipamentos médico-hospitalares sensíveis;
- Projetar a reformulação dos quadros de distribuição e dos padrões de medição, fundamentada nas deficiências identificadas, com foco em soluções que promovam maior organização, segurança, facilidade de manutenção e aderência às normas técnicas;
- Propor um plano de adequações técnicas e operacionais, incluindo melhorias construtivas, correções elétricas, segregação de circuitos e a implementação de práticas estruturadas de manutenção preventiva. Esse plano terá como foco a segurança operacional, a continuidade do fornecimento e a mitigação de riscos associados às falhas elétricas;

- Elaborar um relatório técnico conclusivo, apresentando o diagnóstico das condições atuais das subestações, registros fotográficos, dados de medições e análises, bem como recomendações fundamentadas;
- Subsidiar a gestão hospitalar em processos decisórios estratégicos relacionados à infraestrutura elétrica.

Capítulo 2

REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistemas Elétricos em Hospitais

Diferentemente de edificações comuns, os hospitais dependem de energia elétrica para o funcionamento de equipamentos de suporte à vida, sistemas de climatização em ambientes cirúrgicos, iluminação de emergência, bombas de infusão, monitores multiparamétricos, sistemas de imagem diagnóstica e de TI hospitalar. Dessa forma, qualquer falha elétrica, mesmo que momentânea, pode resultar em riscos graves à integridade física de pacientes e em prejuízos operacionais e financeiros à instituição (MORALES, 2017).

Os sistemas elétricos hospitalares, portanto, devem ser concebidos com redundância e seletividade, incorporando fontes de energia auxiliares (como grupos geradores e no-breaks), sistemas de aterramento diferenciados, dispositivos de proteção sensíveis, e subestações dedicadas com níveis elevados de confiabilidade. Segundo MORALES (2017), a adoção de planos de manutenção preventiva e corretiva é igualmente essencial, pois a degradação de componentes elétricos ao longo do tempo pode comprometer a segurança das áreas críticas, como unidades de terapia intensiva (UTI) e centros cirúrgicos.

Em síntese, a engenharia elétrica hospitalar deve ser orientada por princípios de continuidade, segurança e eficiência energética, atendendo rigorosamente às exigências das normas técnicas e operacionais. O gerenciamento eficaz desses sistemas é, portanto, uma atividade estratégica, diretamente relacionada à preservação da vida e à qualidade assistencial.

2.2 Importância do Fornecimento de Energia Contínuo e de Qualidade

O fornecimento de energia elétrica em ambientes hospitalares deve atender a requisitos de confiabilidade, estabilidade e qualidade muito superiores aos de instalações convencionais. A continuidade do suprimento elétrico é essencial, pois a interrupção ou degradação da energia — mesmo que por poucos segundos — pode comprometer o funcionamento de equipamentos médico-hospitalares vitais, resultando em consequências diretas para a segurança e a vida dos pacientes (ABNT, 2008).

A natureza das cargas elétricas hospitalares exige uma segmentação rigorosa por criticidade, conforme orienta a **ABNT NBR 13534:2013**, que estabelece a separação das cargas em três grupos principais.

- **Cargas Prioritárias (ou Vitais):** incluem respiradores, equipamentos de suporte à vida, monitores de UTI e sistemas de iluminação cirúrgica. Devem ser alimentadas continuamente, sem interrupções perceptíveis, geralmente por Sistemas de Alimentação Ininterrupta (UPS – Uninterruptible Power Supply);
- **Cargas Essenciais (ou de Segurança):** abrangem sistemas de TI clínica, iluminação de emergência, elevadores e equipamentos de esterilização. Necessitam de alimentação de segurança com tempo máximo de comutação de 15 s, normalmente fornecida por grupos geradores a diesel interligados por Chaves de Transferência Automática (ATS);
- **Cargas Não Essenciais:** incluem equipamentos administrativos, iluminação de áreas não críticas e sistemas de climatização. Sua interrupção temporária não compromete a operação hospitalar.

A garantia da qualidade da energia elétrica (QEE) é outro fator determinante, sendo avaliada por parâmetros como tensão, frequência, fator de potência, distorção harmônica total (THD) e desequilíbrio entre fases, conforme a ABNT NBR IEC 61000-4-30. Oscilações, afundamentos de tensão ou harmônicos podem provocar falhas em equipamentos de alta sensibilidade, como tomógrafos e incubadoras neonatais.

Dessa forma, assegurar o fornecimento contínuo e de qualidade transcende o aspecto técnico: trata-se de uma questão ética e legal, já que a confiabilidade elétrica está diretamente associada à segurança do paciente e à integridade das operações hospitalares. Essa necessidade leva ao emprego de sistemas com redundância e robustez, abordados no item seguinte.

2.3 Redundância, Robustez e Topologias do Sistema Elétrico Hospitalar

A continuidade operacional dos sistemas elétricos hospitalares não depende apenas da existência de fontes reserva, mas principalmente da arquitetura de redundância e robustez empregada no projeto e na manutenção da infraestrutura elétrica. Esses princípios são fundamentais para eliminar pontos únicos de falha (*Single Point of Failure – SPOF*) e garantir que, mesmo diante de falhas parciais, as cargas críticas permaneçam alimentadas. A redundância elétrica consiste na duplicação de componentes e trajetos essenciais — transformadores, alimentadores, painéis de distribuição e cabos — permitindo que o

fornecimento seja mantido por rotas alternativas em caso de anomalias. Essa abordagem é recomendada pela NBR 13534 e pela IEC 60364-7-710, que determinam níveis de confiabilidade compatíveis com a criticidade das áreas médicas (ABNT, 2008; IEC, 2021).

A robustez refere-se à capacidade do sistema de resistir a perturbações e restabelecer a operação rapidamente. Isso é alcançado por meio da coordenação seletiva de proteções, utilização de equipamentos de alta suportabilidade térmica e dielétrica, e adoção de sistemas de supervisão e controle remoto (SCADA) que possibilitam diagnóstico e manobras automáticas em tempo real.

Nos hospitais de médio e grande porte, aplicam-se topologias elétricas redundantes, desenhadas para maximizar a confiabilidade e a flexibilidade operacional:

- **Barramentos Duplos ou em Anel:** possibilitam a alimentação de painéis críticos por duas fontes independentes, permitindo manutenção sem desligamento;
- **Subestações Duplas:** formadas por dois conjuntos de transformadores e alimentadores interligados, de modo que a falha de um circuito não interrompa o fornecimento total;
- **Sistemas em Paralelismo de Geradores:** permitem operação simultânea de múltiplos geradores, aumentando a capacidade de atendimento e possibilitando manutenção individual sem perda de disponibilidade;

Complementarmente, Chaves de Transferência Automática (ATS), Quadros de Transferência (QTA) e controladores microprocessados asseguram a comutação rápida e segura entre as fontes principal e reserva. Essas soluções estruturais e tecnológicas consolidam a resiliência elétrica hospitalar, garantindo que o ambiente assistencial mantenha sua operação ininterrupta mesmo sob contingências severas.

2.4 Fontes de Alimentação Seguras

A alimentação de segurança constitui uma camada de proteção essencial nas instalações elétricas hospitalares, assegurando o funcionamento contínuo de equipamentos e sistemas críticos durante falhas no fornecimento da concessionária. A confiabilidade desse subsistema é alcançada por meio de fontes alternativas de energia, entre as quais se destacam os grupos geradores a diesel e os sistemas de alimentação ininterrupta (UPS/No-Breaks).

Segundo a ABNT NBR 13534:2013 e a IEC 60364-7-710:2011, o projeto elétrico hospitalar deve garantir que as cargas de segurança sejam restabelecidas em até 15 segundos após a perda da alimentação normal. Para atender a essa exigência, a integração entre sistemas de transferência automática (ATS) e as fontes de reserva é indispensável, de modo a reduzir o tempo de comutação e manter a estabilidade da rede interna.

2.5 Grupo Geradores

O grupo gerador constitui a principal fonte de energia de reserva em estabelecimentos hospitalares, projetado para entrar em operação automaticamente quando ocorre a falha da rede da concessionária. Esse equipamento converte energia mecânica — geralmente proveniente de um motor a diesel — em energia elétrica por meio de um alternador, suprindo as cargas essenciais até que o fornecimento normal seja restabelecido.

De acordo com a ABNT NBR 13534:2013, os grupos geradores devem ser capazes de alimentar integralmente as cargas de segurança e essenciais, mantendo a tensão e frequência estáveis dentro dos limites especificados. O acionamento automático do gerador ocorre por meio de uma Chave de Transferência Automática (ATS) ou Quadro de Transferência Automática (QTA), que monitora constantemente a tensão e a frequência da rede. Quando há uma falha, o painel de comando envia o sinal de partida ao motor, e o sistema transfere automaticamente a alimentação das cargas essenciais para o gerador, mantendo a continuidade da operação hospitalar.

Os principais componentes de um sistema gerador hospitalar incluem:

- Motor a combustão interna, geralmente diesel, com capacidade adequada à demanda crítica;
- Alternador síncrono trifásico, responsável pela geração da energia elétrica;
- Painel de controle e proteção, com supervisão automática e alarmes de falha;
- Sistema de partida automática (baterias) e resfriamento independente;
- Tanque de combustível dimensionado para garantir autonomia mínima de operação, conforme as necessidades da unidade hospitalar.

O dimensionamento do grupo gerador deve considerar a demanda simultânea das cargas essenciais, o fator de potência global do hospital, as correntes de partida de motores e as condições ambientais. De acordo com a ABNT NBR ISO 8528-5:2021, recomenda-se prever uma margem de reserva de 20% a 30% sobre a potência nominal calculada, de modo a permitir futuras expansões e absorver picos de carga transitórios sem degradação da tensão.

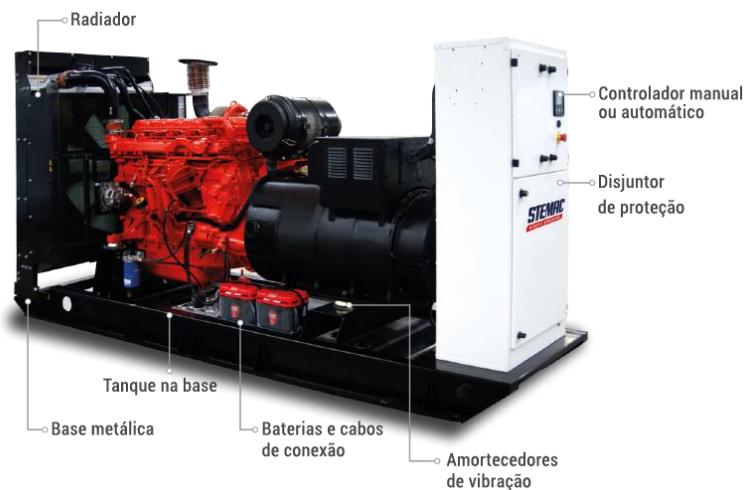
O sistema de aterramento do gerador deve ser compatível com o da instalação principal, conforme prescrito pela ABNT NBR 5410:2004 e NBR 15751:2017, evitando potenciais diferenciais que possam comprometer a operação de equipamentos eletromédicos. Além disso, deve-se adotar dispositivos de proteção adequados contra sobrecorrente, subtensão e frequência anormal, garantindo a segurança operacional e a durabilidade do conjunto.

2.5.1 Tipos de grupos geradores

Além das características técnicas já descritas, os grupos geradores podem ser classificados quanto ao seu tipo construtivo, principalmente em dois formatos: aberto e carenado.

- **Grupo Gerador Aberto:** O motor e o alternador ficam expostos, facilitando a manutenção e inspeção. É indicado para ambientes internos ou áreas cobertas, onde há controle sobre ruído, vibração e condições ambientais. Exige cuidados com ventilação, segurança e limpeza do local. A Figura 1 ilustra um grupo gerador aberto, destacando o motor e o alternador expostos, características que facilitam a manutenção e a inspeção do equipamento.

Figura 1 - Grupo Gerador Aberto.



Fonte: <https://www.stemac.com.br/GruposGeradoresDiesel.aspx>

- **Grupo Gerador Carenado:** Também chamado de silencioso, possui um invólucro acústico e proteção contra intempéries, reduzindo significativamente o nível de ruído e aumentando a segurança operacional. Ideal para instalações externas ou próximas a áreas sensíveis, garantindo conforto e confiabilidade. Protege contra poeira, chuva e impactos, mantendo a operação confiável do sistema. A Figura 2 ilustra um grupo gerador carenado, evidenciando o invólucro acústico e a proteção contra intempéries, características que permitem operação silenciosa e segura.

Figura 2 - Grupo Gerador Carenado.



Fonte: STEMAC, (2025).

2.6 Sistemas de No-Break (UPS – Uninterruptible Power Supply)

O Sistema de No-Break (UPS) é responsável por garantir alimentação instantânea às cargas de suporte à vida, sendo um requisito essencial para áreas críticas em estabelecimentos de saúde (ABNT NBR 13534, 2008). Ele utiliza baterias ou supercapacitores para armazenar energia elétrica, liberando-a imediatamente quando ocorre qualquer variação ou interrupção de tensão na rede principal. A Figura 3 apresenta um exemplo de sistema No-Break (UPS), ilustrando o equipamento utilizado em hospitais para garantir alimentação instantânea às cargas críticas.

Figura 3 – Sistema de No-Break (UPS).



Fonte: INTELBRAS, (2025).

Os sistemas UPS podem operar de forma on-line dupla conversão, o que significa que a energia proveniente da rede é continuamente retificada, armazenada e novamente convertida em corrente alternada (CA) de alta qualidade. Essa topologia assegura isolamento elétrico total, eliminação de ruídos harmônicos e tensão estável, essenciais para o funcionamento de equipamentos médicos sensíveis, como monitores cardíacos, tomógrafos e sistemas de imagem (POMILIO et al., 2017).

De acordo com a RDC N° 50 (2002), os projetos de estabelecimentos assistenciais de saúde devem prever sistemas de alimentação de emergência que garantam a continuidade das atividades essenciais, o que implica o uso de UPS com autonomia mínima compatível com o tempo de partida do gerador, além de monitoramento de falhas (LIMA, 2017). Em hospitais modernos, os UPS são frequentemente instalados em cascata com geradores, formando um sistema híbrido de segurança que assegura energia ininterrupta e de qualidade para os setores críticos (LIMA, 2017).

A principal vantagem do UPS reside em sua resposta instantânea (tempo zero de transferência). Contudo, apresenta limitações de autonomia (geralmente 10 a 15 minutos), razão pela qual sua função é complementar ao grupo gerador, garantindo o fornecimento apenas até que o gerador entre em regime de operação (LIMA, 2017).

2.7 Características e Peculiaridades das Instalações Elétricas Hospitalares

As instalações elétricas hospitalares apresentam características técnicas e funcionais específicas, que as distinguem substancialmente das instalações prediais convencionais. Essas particularidades decorrem da necessidade de assegurar alto nível de confiabilidade, continuidade de serviço e segurança elétrica, uma vez que a falha no suprimento de energia pode comprometer a integridade física de pacientes e a operação de equipamentos médico-hospitalares críticos (ABNT NBR 13534, 2008).

Um dos fundamentos essenciais para o projeto, execução e manutenção dessas instalações é a classificação das áreas de risco elétrico, conforme estabelece a ABNT NBR 13534:2008 – Instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde. Essa classificação orienta a definição das medidas de proteção elétrica e dos sistemas de alimentação, considerando o grau de risco associado às atividades clínicas e a interação direta ou indireta do paciente com equipamentos eletromédicos.

De acordo com a ABNT NBR IEC 60601-1-11:2012, a exposição à corrente elétrica pode ocorrer de duas formas distintas:

- **Macrochoque:** quando a corrente elétrica atravessa externamente o corpo humano, entre pontos de contato, podendo atingir o tórax e o coração;
- **Microchoque:** quando pequenas correntes penetram diretamente em tecidos internos, especialmente o músculo cardíaco, por meio de condutores invasivos, como eletrodos, cateteres ou sondas.

Tendo em vista a distinção entre os tipos de choque elétrico e a variabilidade dos procedimentos realizados em cada ambiente, torna-se indispensável adotar critérios normativos que categorizem os espaços conforme o nível de exposição do paciente. Essa segmentação é essencial para definir os requisitos de segurança aplicáveis a cada local, conforme detalhado na classificação a seguir.

2.8 Classificação de Áreas e o Risco de Choque Elétrico

A norma ABNT NBR 13534 divide os locais médicos em três grupos (0, 1 e 2), de acordo com o tipo de procedimento realizado e o nível de risco elétrico associado:

- **Grupo 0:** Locais onde não há probabilidade de contato do paciente com partes condutivas conectadas ao sistema elétrico ou partes aplicadas ao corpo. Exemplos: consultórios administrativos, salas de espera, áreas de circulação;
- **Grupo 1:** Locais onde o paciente pode ser submetido a procedimentos médicos com uso de equipamentos elétricos, mas sem intervenção intracardíaca. Exemplos: salas de exames, salas de fisioterapia, leitos de enfermaria;
- **Grupo 2:** Locais onde são realizados procedimentos invasivos com risco de contato direto com o coração ou órgãos internos, caracterizados pelo potencial de microchoque.

Exemplos: salas cirúrgicas, UTIs, centros de hemodinâmica, unidades neonatais intensivas.

O microchoque representa a principal preocupação no Grupo 2, pois, em situações nas quais a resistência elétrica natural da pele é contornada por meio de eletrodos ou cateteres condutivos, correntes da ordem de microampères (μ A) podem provocar fibrilação ventricular. Para mitigar esse risco, as instalações hospitalares desses ambientes devem empregar sistemas de alimentação isolados (IT-médico), transformadores de separação, monitoramento contínuo de isolamento (IMD) e equipotencialização suplementar, assegurando a integridade do paciente e o funcionamento contínuo dos equipamentos médicos vitais.

2.9 Qualidade de Energia Elétrica em Ambientes Hospitalares

A Qualidade de Energia Elétrica (QEE) em ambientes hospitalares constitui um aspecto essencial para a segurança operacional e a continuidade dos serviços assistenciais. Com o avanço tecnológico e a crescente sofisticação dos equipamentos eletromédicos, as instalações hospitalares tornaram-se altamente sensíveis a variações, distorções e interrupções no fornecimento de energia elétrica.

De acordo com o Módulo 8 do PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (ANEEL, 2021), a QEE é caracterizada pela ausência de desvios significativos na tensão, na frequência e na forma de onda em relação aos valores nominais definidos pela concessionária. A conformidade desses parâmetros é indispensável para o funcionamento estável de sistemas críticos, tais como unidades de terapia intensiva (UTI), centros cirúrgicos, laboratórios de diagnóstico por imagem e sistemas de suporte à vida.

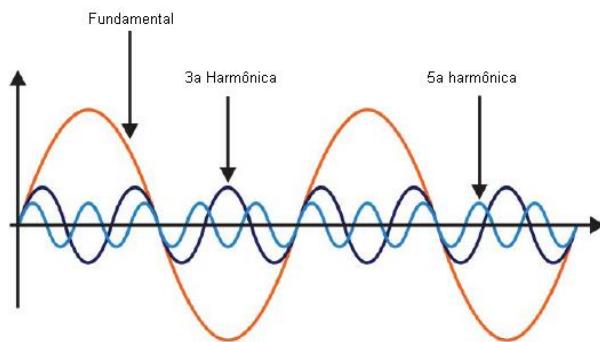
2.10 Definição e Parâmetros da Qualidade de Energia

Entre os fatores que afetam a qualidade da energia, as distorções harmônicas são especialmente relevantes. Elas representam a variação da forma de onda senoidal ideal, causada pela presença de cargas não lineares no sistema elétrico (DIAS, 2002). Em hospitais, tais cargas são abundantes e incluem fontes chaveadas de computadores e monitores, equipamentos de informática e automação hospitalar, retificadores de sistemas UPS (Uninterruptible Power Supply) e fontes de alimentação de equipamentos de diagnóstico por imagem, como ressonância magnética e tomografia computadorizada (CASTELLARI, 2013).

Essas correntes não senoidais geradas por cargas não lineares introduzem componentes harmônicas de ordem superior, como a 3^a, 5^a e 7^a harmônicas, que se somam à onda fundamental, alterando o formato da tensão e da corrente elétrica (DIAS, 2002). O resultado é uma onda distorcida, que gera perdas energéticas adicionais e pode causar sobreaquecimento em condutores e transformadores, falhas em dispositivos de proteção eletrônica, interferências em sistemas de comunicação e instrumentação médica e ruídos em sinais de baixa amplitude, como os biomédicos (ABNT NBR 5410:2004).

A Figura 4 ilustra esse fenômeno, mostrando como a sobreposição das componentes harmônicas modifica a forma de onda senoidal original. As harmônicas ímpares (3^a, 5^a, 7^a, etc.) são as mais frequentes em sistemas hospitalares, devido ao uso intenso de dispositivos eletrônicos com retificação e chaveamento de energia (CASTELLANI et al., 2013).

Figura 4 - Representação gráfica da distorção da forma de onda resultante da soma da componente fundamental com componentes harmônicas.



Fonte: Braga (2025).

A Distorção Harmônica Total (THD) é um dos principais indicadores utilizados para avaliar a qualidade da energia elétrica, pois expressa a relação entre a soma das componentes harmônicas e o valor eficaz da componente fundamental. No Brasil, o Módulo 8 do Prodist, publicado pela ANEEL, estabelece limites de distorção harmônica de tensão para diferentes níveis de tensão, definindo valores máximos de Distorção Harmônica Total de Tensão (DTT) para garantir a qualidade do fornecimento elétrico. Esses limites são particularmente relevantes em instalações hospitalares e em subestações, onde equipamentos sensíveis dependem de formas de onda com baixa distorção para operar corretamente. A correta avaliação da THD deve seguir os critérios de medição estabelecidos pela ABNT NBR IEC 61000-4-30, que padroniza os métodos para análise da qualidade da energia elétrica no país (ANEEL, 2021; ABNT, 2011).

A mitigação dos efeitos das distorções harmônicas em subestações pode ser realizada por meio de diversas estratégias, como a aplicação de filtros harmônicos ativos ou passivos, transformadores de isolamento, redimensionamento do condutor neutro e monitoramento contínuo da qualidade da energia. O Prodist Módulo 8 orienta que os níveis de distorção devem ser mantidos dentro dos limites regulamentares, de modo a evitar sobrecargas, aquecimento excessivo e falhas prematuras em equipamentos. Além disso, a ABNT NBR IEC 61000-4-30 fornece os procedimentos necessários para a correta medição e análise das grandezas associadas à qualidade de energia, permitindo que ações de mitigação sejam baseadas em dados confiáveis. Essas práticas asseguram maior confiabilidade operacional e reduzem riscos em instalações críticas como hospitais, centros cirúrgicos e subestações dedicadas ao abastecimento desses ambientes (ANEEL, 2021; ABNT, 2011).

2.11 Variações e Flutuações de Tensão (VTCDs, Sags e Swells)

Para tratar adequadamente as variações e flutuações de tensão em ambientes hospitalares, é essencial recorrer ao PRODIST. Este documento representa o principal referencial técnico quanto aos requisitos, classificações e limites de qualidade do fornecimento de energia, consolidando as práticas adotadas pelas concessionárias em todo o Brasil e servindo como base normativa para ambientes sensíveis, como hospitais.

As Variações de Tensão de Curta Duração (VTCDs) estão entre os distúrbios de qualidade de energia mais comuns e impactantes em instalações hospitalares, pois afetam diretamente a operação de equipamentos eletromédicos sensíveis e os sistemas de automação hospitalar. Segundo o Módulo 8 do PRODIST, as VTCDs são classificadas conforme sua duração e amplitude, englobando afundamentos (sags), elevações (swells) e interrupções momentâneas de tensão. A seguir a Tabela 1 que apresenta a Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração (VTCDs) do PRODIST – Módulo 8 (versão v11), com base no documento oficial da ANEEL.

Tabela 1 - Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração.

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Temporário de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior a 1,1 p.u

Fonte: PRODIST – Módulo 8 (versão v11).

Os afundamentos de tensão (sags) são caracterizados pela redução da amplitude da tensão RMS para valores entre 0,1 e 0,9 p.u. do valor nominal, com duração variando de meio ciclo até aproximadamente 1 minuto. Conforme descrito por Heine e Lehtonen (2003), esses eventos resultam principalmente de curtos-circuitos transitórios, partidas de grandes motores ou variações bruscas de carga no sistema elétrico. Em instalações hospitalares, onde

equipamentos eletromédicos apresentam elevada sensibilidade, a ocorrência de sags pode provocar reinicialização de dispositivos digitais, erros de processamento e interrupções momentâneas em sistemas automatizados essenciais ao suporte clínico.

As elevações de tensão (swells), por sua vez, correspondem a aumentos transitórios acima de aproximadamente 110% do valor nominal. Segundo Arias-Guzmán et al. (2017), esses eventos podem ser originados pela desconexão súbita de grandes cargas, pela ocorrência de falhas no neutro ou por manobras envolvendo bancos de capacitores. Em ambientes hospitalares, os swells podem gerar sobretensão em fontes de alimentação, módulos de controle e interfaces eletrônicas, favorecendo a degradação prematura ou a falha de equipamentos sensíveis utilizados no diagnóstico e monitoramento clínico.

As interrupções momentâneas caracterizam-se pela perda total da tensão por um intervalo inferior a 3 s, conforme definido pelo Módulo 8 do PRODIST, que estabelece os requisitos mínimos de qualidade do serviço de distribuição de energia elétrica no Brasil (ANEEL, 2021). Em instalações hospitalares, mesmo eventos dessa curta duração podem comprometer sistemas de suporte à vida, monitores multiparamétricos, equipamentos cirúrgicos e servidores responsáveis pelo armazenamento de dados clínicos. Lima (2017) ressalta que a criticidade dessas cargas exige a presença de fontes de alimentação ininterrupta (UPS) e de grupos geradores devidamente comissionados e testados, de modo a garantir a continuidade operacional e evitar riscos à segurança dos pacientes.

As flutuações de tensão correspondem a pequenas variações repetitivas em torno do valor nominal e podem se manifestar visualmente por meio de cintilação luminosa (flicker). De acordo com Rocha (2016), tais oscilações afetam não apenas o conforto visual dos ocupantes, mas também a estabilidade de sistemas de iluminação cirúrgica e laboratorial, influenciando negativamente a precisão de procedimentos críticos. Em ambientes médicos, essa instabilidade pode comprometer diagnósticos, imagens e processos que dependem de iluminação constante e livre de variações perceptíveis.

Para mitigar essas perturbações, recomenda-se o emprego de estabilizadores de tensão, reguladores automáticos e bancos de capacitores controlados por tiristores (TSC), aliados a sistemas de monitoramento contínuo da qualidade de energia. Tais medidas auxiliam na manutenção dos níveis de tensão dentro dos limites prescritos pelo PRODIST (ANEEL, 2021) e pela ABNT NBR 5410:2004, garantindo a confiabilidade do suprimento elétrico em instalações hospitalares e reduzindo a vulnerabilidade de equipamentos críticos a distúrbios da rede.

2.12 Desbalanço de Tensão e Transitórios

O desbalanço de tensão é um fenômeno caracterizado pela diferença entre as amplitudes ou defasagens das tensões de fase em um sistema trifásico. Em condições ideais, as três fases devem apresentar módulos e ângulos de fase idênticos; porém, em ambientes hospitalares, essa condição pode ser comprometida pela distribuição desigual de cargas monofásicas inseridas em circuitos trifásicos. Estudos acadêmicos brasileiros demonstram que esse tipo de desequilíbrio é relevante para a operação de máquinas elétricas: Silva (2020) desenvolveu uma metodologia para quantificar o desequilíbrio de tensão com base nos efeitos térmicos e na variação do rendimento de motores de indução trifásicos, evidenciando que o desbalanço provoca aumento de temperatura, redução do torque e diminuição da eficiência.

Segundo as diretrizes de normas brasileiras e práticas de projeto, recomenda-se mitigar o desbalanço de tensão por meio do balanceamento adequado das cargas monofásicas, uso de transformadores de isolamento e monitoramento contínuo do sistema trifásico. Alves (2022) demonstra, em sua análise experimental, que motores submetidos a tensões desequilibradas apresentam aumento significativo de perdas, elevação da corrente e queda de desempenho mecânico, reforçando a necessidade de monitoramento constante. Em hospitais de grande porte, a implementação de sistemas SCADA permite registrar assimetrias em tempo real e realizar ações corretivas automáticas, contribuindo para a segurança e confiabilidade do suprimento elétrico.

2.13 Transatório Elétricos

Os transitórios elétricos são variações súbitas e de curta duração na forma de onda de tensão ou corrente, podendo ser classificados como impulsivos (de alta energia e duração muito curta) ou oscilatórios (decorrentes de chaveamentos e ressonâncias de rede). Esses fenômenos são destacados em estudos brasileiros: transitórios oscilatórios, por exemplo, são associados a operações de chaveamento de cargas e capacitores, e possuem amplitude elevada e curta duração, conforme investigado por Hoffmann (2021). Tais eventos representam riscos graves à integridade dos sistemas elétricos hospitalares, dada a sensibilidade de equipamentos microprocessados e de imagem médica a variações rápidas de tensão ou corrente.

As descargas atmosféricas constituem a principal fonte de transitórios impulsivos em instalações elétricas, sendo capazes de induzir tensões de pico extremamente elevadas, muitas vezes superiores a 10 Kv, mesmo em sistemas dotados de proteção parcial. Esses surtos podem ocorrer por acoplamento direto, indutivo ou capacitivo, conforme descrito na ABNT NBR 5419-1:2015, que destaca os efeitos eletromagnéticos associados a raios em estruturas e

linhas de energia. Já os transitórios oscilatórios tendem a surgir durante operações de chaveamento de capacitores, religamento automático de circuitos e comutação de cargas indutivas, fenômenos que geram oscilações de alta frequência e curta duração capazes de comprometer equipamentos sensíveis.

A ABNT NBR 5419:2015 – Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) estabelece diretrizes para proteção de edificações hospitalares, abrangendo captores, condutores de descida, sistemas de aterramento e equipotencialização. Já para a mitigação dos transitórios internos, recomenda-se o uso de Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) devidamente coordenados, instalados em quadros de distribuição, painéis de automação e linhas de dados, conforme a ABNT NBR IEC 61643-11 (ABNT, 2013).

Outro aspecto crítico é a qualidade do sistema de aterramento hospitalar, que deve garantir baixa impedância e equipotencialidade, minimizando diferenças de potencial de passo e toque entre diferentes partes metálicas. A NBR 5419:2015 orienta que o SPDA, os DPS, a equipotencialização e a blindagem eletromagnética façam parte de um sistema integrado, com aterramento unificado para todas as partes metálicas e condutores, de modo a escoar correntes de surto de forma segura. Essa integração é fundamental para proteger tanto os equipamentos médicos sensíveis quanto os operadores, inibindo interferências eletromagnéticas e garantindo que o sistema permaneça seguro mesmo sob transitórios ou descargas atmosféricas. Além disso, documentos técnicos de projetos hospitalares enfatizam que a malha de aterramento deve possuir resistência adequada (por exemplo, $\leq 10 \Omega$ para SPDA) e estar conectada ao barramento de equipotencialização para evitar diferenças de potencial perigosas.

2.14 Norma e Regulamentações Aplicáveis

A operação segura e confiável das instalações elétricas hospitalares depende de um rigoroso cumprimento das normas técnicas e regulamentações aplicáveis. Esses instrumentos normativos estabelecem diretrizes para o projeto, execução, manutenção e operação de sistemas elétricos em ambientes de saúde, assegurando a proteção de pacientes, profissionais e equipamentos críticos. A conformidade normativa não é apenas uma exigência legal, mas uma condição essencial para a continuidade e segurança dos serviços hospitalares.

A ABNT NBR 13534:2010 é a principal referência brasileira para instalações elétricas em estabelecimentos de saúde. Ela define critérios de projeto e manutenção, classificando as áreas hospitalares em Grupos de Risco 0, 1 e 2, e estabelece a obrigatoriedade de fontes de energia de segurança e do Sistema IT Médico, que proporciona isolamento elétrico das áreas de risco, reduzindo a probabilidade de choques elétricos em pacientes. Sob o ponto de vista

técnico, a aplicação desta norma garante que os circuitos críticos, como os de salas cirúrgicas e unidades de terapia intensiva, operem com redundância e confiabilidade, minimizando interrupções que possam comprometer vidas.

Complementar a essa norma, a ABNT NBR IEC 60364-7-710:2006 detalha prescrições específicas para a proteção elétrica em locais médicos, abordando o dimensionamento correto de condutores, dispositivos de proteção diferencial-residual e sistemas de aterramento funcional. Baseada em padrões internacionais, a norma orienta também sobre a segregação de circuitos, compatibilidade eletromagnética e manutenção preventiva. A aplicação dessas diretrizes reduz significativamente os riscos de choque elétrico, falhas de equipamentos e interferências, assegurando a integridade operacional de sistemas críticos.

A ABNT NBR 5410:2004 fornece a base técnica para todas as instalações elétricas de baixa tensão, incluindo critérios de dimensionamento, proteção e aterramento. Embora de aplicação subsidiária às normas hospitalares, ela é indispensável para garantir a segurança estrutural dos sistemas elétricos, servindo como referência nos pontos não cobertos por normas específicas de saúde.

Do ponto de vista da qualidade da energia, o PRODIST – Módulo 8 da ANEEL estabelece indicadores de continuidade e qualidade do fornecimento de energia elétrica pelas distribuidoras. A medição e análise desses indicadores permitem avaliar riscos de interrupções e oscilações, fatores críticos para a operação de equipamentos sensíveis e sistemas de suporte à vida.

2.15 Subestação de Energia

As subestações constituem elementos fundamentais no sistema elétrico de potência, funcionando como pontos estratégicos para a transformação, o controle, a proteção e a distribuição da energia elétrica. Em termos gerais, são instalações que reúnem equipamentos de alta responsabilidade técnica, cuja principal função é modificar os níveis de tensão e viabilizar o fluxo de energia entre os diferentes segmentos do sistema elétrico — geração, transmissão e distribuição — conforme descrito no Manual de Contabilidade do Setor Elétrico da ANEEL (ANEEL, 2021). De acordo com suas funções principais, as subestações podem ser classificadas em diferentes categorias:

- **Subestações elevadoras ou de geração:** localizadas próximas às usinas, têm como finalidade elevar a tensão produzida pelos geradores para níveis de alta ou extra-alta tensão, permitindo o transporte eficiente da energia elétrica em longas distâncias e

- reduzindo perdas por efeito Joule. Essa classificação e função são amplamente reconhecidas na literatura de sistemas elétricos de potência (GOMES et al., 2015), sendo essenciais para a integração entre os segmentos de geração e transmissão;
- **Subestações rebaixadoras ou de transmissão:** situadas nos pontos terminais das linhas de transmissão, têm a função de reduzir os níveis de alta ou extra-alta tensão para valores de média tensão, tornando a energia adequada às redes de subtransmissão e distribuição. A ABNT NBR 14039:2021 descreve os requisitos técnicos aplicáveis às instalações de média tensão, incluindo configuração, proteção e operação de subestações que atuam nessa faixa de tensão;
 - **Subestações de distribuição:** responsáveis por transformar a média tensão para níveis compatíveis com o uso final, atendendo consumidores residenciais, comerciais, hospitalares e industriais. Por estarem diretamente associadas à entrega final de energia ao usuário, possuem papel crítico na confiabilidade e continuidade do fornecimento, conforme também detalhado na ABNT NBR 14039:2021 e nos princípios operacionais definidos pela ANEEL no Manual de Contabilidade do Setor Elétrico (ANEEL, 2021);
 - **Subestações coletoras:** aplicam-se principalmente em empreendimentos de geração distribuída, como parques eólicos ou usinas fotovoltaicas. Elas reúnem a energia proveniente de múltiplas unidades geradoras e a elevam para tensões adequadas à inserção no sistema de transmissão, conforme definido pela ANEEL para as Instalações de Transmissão de Interesse de Geração Compartilhada (ICG) por meio de subestações coletoras (ANEEL, 2012);
 - **Subestações de comutação ou manobra:** caracterizam-se por não possuírem transformadores, atuando exclusivamente na interligação, chaveamento e manobra de circuitos dentro do sistema elétrico. Têm papel essencial na flexibilidade operativa e na confiabilidade do sistema interligado, permitindo o seccionamento e a reorganização dos fluxos de energia sem alteração nos níveis de tensão (FILHO, 2015);
 - **Subestações conversoras:** são utilizadas para a conversão entre corrente alternada (CA) e corrente contínua (CC), permitindo o transporte de energia em longas distâncias via tecnologia HVDC (High Voltage Direct Current). Essas estações desempenham papel fundamental em interligações de grandes blocos de geração ou

em linhas submarinas, conforme discutido pela CIGRÉ em seu guia técnico de confiabilidade para redes HVDC (CIGRÉ, 2017).

Assim, nota-se que a classificação das subestações por função evidencia sua diversidade e a importância de cada configuração no contexto do sistema elétrico, variando desde a conexão com a geração até a entrega ao consumidor final.

2.15.1 Classificação das Subestações por Tipo de Instalação

Além da função desempenhada no sistema elétrico, as subestações também podem ser classificadas conforme o tipo de instalação física e a forma como seus equipamentos estão dispostos. Essa classificação está diretamente relacionada ao nível de tensão, ao espaço disponível e às condições ambientais do local de implantação. Dentre os modelos existentes, destacam-se aqueles mais comumente encontrados no cenário brasileiro: subestações aéreas, abrigadas e ao tempo (externas).

- **Subestações aéreas:** são amplamente utilizadas em redes de distribuição de energia elétrica em média tensão, tanto em áreas urbanas quanto rurais. São instaladas sobre postes ou pórticos, onde se montam transformadores, chaves seccionadoras, fusíveis e demais equipamentos de proteção e manobra. Entre suas vantagens estão o menor custo de implementação e a manutenção simplificada; contudo, por estarem mais expostas às intempéries, ao vandalismo e a acidentes, requerem inspeções periódicas para garantir sua confiabilidade. A ABNT NBR 14039 (2005) estabelece os requisitos técnicos para instalações de média tensão, incluindo subestações aéreas, enquanto a Norma Técnica NT.002.EQTL da Equatorial Energia Piauí apresenta diretrizes para o fornecimento em média tensão, incluindo exemplos de configuração de subestação aérea. A Figura 5 ilustra um exemplo de Subestação Aérea.

Figura 5 - Exemplo de instalação de subestação aérea.



Fonte: Senno Engenharia, (2025).

- **Subestações abrigadas:** instaladas em edificações ou compartimentos fechados, geralmente de alvenaria ou metálicos, garantem maior proteção contra fatores climáticos, umidade, poeira e presença de animais. São frequentemente adotadas em áreas onde o espaço físico permite a construção de abrigos e onde há necessidade de maior segurança operacional, como em hospitais, indústrias e edifícios de grande porte (SANTOS, 2011). Um exemplo da configuração interna de uma subestação abrigada é apresentado na Figura 6, evidenciando a disposição de equipamentos e barramentos..

Figura 6 - Exemplo de subestação abrigada.



Fonte: Mesh Engenharia, (2025).

- **Subestações ao tempo (ou em aberto):** esse tipo de instalação, os equipamentos ficam dispostos ao ar livre, utilizando o próprio ar atmosférico como meio isolante. São mais comuns em subestações de alta e extra-alta tensão, frequentemente localizadas na entrada de cidades ou em pontos estratégicos da rede de transmissão e subtransmissão. Apesar de demandarem maior área física, apresentam facilidade de expansão e menor custo construtivo em comparação a modelos blindados (ONS, 2017). A Figura 7 ilustra a Subestação de Energia do Município de Floriano no sul do Piauí.

Figura 7 - Subestação ao tempo, mostrando a disposição dos equipamentos ao ar livre.



Fonte: Equatorial, (2023).

Esses três tipos constituem as soluções mais presentes no setor elétrico nacional e permitem compreender a diversidade de aplicações conforme a tensão e a demanda do consumidor a ser atendido. No contexto hospitalar, a escolha do modelo de subestação deve levar em conta critérios de segurança, confiabilidade, facilidade de manutenção e adequação normativa, fatores determinantes para a continuidade do fornecimento de energia em ambientes de criticidade elevada.

2.16 Componentes Principais das Subestações Aéreas

As subestações aéreas são compostas por um conjunto de equipamentos eletromecânicos e de proteção que atuam de forma integrada para permitir a transformação, o controle, a proteção e a distribuição de energia elétrica em níveis adequados de tensão. O correto dimensionamento e a adequada especificação de cada componente são fundamentais para a operação segura e eficiente da instalação, conforme estabelecido por normas técnicas nacionais e internacionais, como a NBR 14039 (ABNT, 2005), a NBR 5410 (ABNT, 2004) e recomendações da IEC.

Cada um desses elementos possui funções específicas dentro do sistema, desde a adaptação de tensão até a proteção contra falhas e a organização da distribuição de energia. Nos tópicos seguintes, serão descritos os principais componentes que compõem uma subestação aérea e suas características técnicas.

2.16.1 Transformadores

Os transformadores constituem equipamentos fundamentais em subestações aéreas, pois realizam a adaptação dos níveis de tensão e corrente conforme as necessidades do sistema de distribuição. Seu funcionamento baseia-se no princípio da indução eletromagnética, onde a energia é transferida entre enrolamentos primário e secundário de forma eficiente e com isolamento galvânico.

Quanto à aplicação, podem ser classificados em transformadores de potência e transformadores de instrumentos.

- **Transformadores de potência:** são projetados para operar em regime contínuo, alimentando as cargas principais da instalação. São especificados pela potência nominal (kVA ou MVA), níveis de tensão, grupo de ligação, classe de isolamento e impedância percentual. Podem ser construídos na forma imersos em óleo isolante, que oferecem elevada capacidade térmica, melhor dissipação térmica e bom desempenho sob sobrecarga, ou no tipo a seco, mais adequados para instalações internas devido à maior segurança contra riscos ambientais e incêndio ABNT NBR 5356-1(2007). A Figura 8 ilustra um exemplo de transformador de distribuição a óleo, típico em subestações aéreas, fabricado pela WEG, amplamente utilizado em sistemas de média tensão.

Figura 8 - Transformador de distribuição a óleo (até 300 kVA).



Fonte: WEG Transformadores(2025)

- **Transformadores de corrente (TCs):** são dispositivos fundamentais em subestações aéreas, utilizados principalmente para medição e proteção. Sua função é reduzir as correntes elevadas do circuito primário para valores padronizados no secundário (tipicamente 1A ou 5A), possibilitando o uso de instrumentos de medição, relés de proteção e sistemas de monitoramento sem expor esses equipamentos a grandes correntes. A especificação correta dos TCs deve considerar fatores como classe de exatidão, fator de segurança (FS) e capacidade térmica de curto-circuito, garantindo precisão em regime normal e confiabilidade em condições de falha. A ABNT NBR 6856 (2015) estabelece requisitos de construção, ensaios e desempenho para transformadores de corrente destinados a sistemas elétricos de potência, definindo parâmetros essenciais para sua aplicação segura e eficiente. A Figura 9 ilustra exemplos de transformadores de corrente de baixa tensão utilizados para medição e proteção, fabricados pela Siemens.

Figura 9 - Transformadores de corrente para medição e proteção.



Fonte: Siemens(2025).

- **Transformadores de potencial (TPs):** são dispositivos essenciais em subestações aéreas, empregados principalmente para medição de tensão e para alimentação de relés de proteção. Sua função é reduzir tensões elevadas do circuito primário a níveis padronizados no secundário, tipicamente 100 V ou 110 V, permitindo a utilização segura de instrumentos de medição e sistemas de proteção sem expor esses equipamentos à alta tensão da rede. O TP indutivo, amplamente adotado em subestações aéreas, apresenta elevada robustez e confiabilidade mesmo em condições adversas de operação, sendo projetado para suportar sobretensões transitórias e descargas atmosféricas típicas em linhas aéreas. Sua especificação deve considerar fatores como classe de exatidão em regime permanente e transitório, capacidade de sobrecarga, isolamento e limitações térmicas, garantindo precisão das medições e segurança operacional. A ABNT NBR 6855:2015 estabelece os requisitos construtivos, os métodos de ensaio e os critérios de desempenho para transformadores de potencial destinados a sistemas elétricos de potência (ABNT, 2015). A Figura 10

ilustra um exemplo de TP indutivo utilizado em subestações aéreas, projetado para medição e proteção de sistemas de alta tensão.

Figura 10 - TP indutivo de média tensão.



Fonte: Mesh Engenharia.

A operação segura e confiável dos transformadores depende da observância de normas técnicas específicas, como a ABNT NBR 5440:2020, que estabelece os requisitos de projeto, ensaios e desempenho para transformadores de potência, e a ABNT NBR 5444:2019, aplicável aos transformadores de distribuição utilizados em redes de média tensão. Complementarmente, a série IEC 60076 fornece diretrizes internacionais relativas a aspectos construtivos, térmicos e elétricos desses equipamentos. Além disso, práticas de manutenção preditiva e preventiva, como monitoramento de temperatura, ensaios dielétricos, análise cromatográfica de gases dissolvidos em óleo (DGA) e avaliação do estado do isolamento, são recomendadas para estender a vida útil dos transformadores e evitar falhas catastróficas.

2.16.2 Disjuntores

Os disjuntores são dispositivos eletromecânicos ou eletrônicos de manobra e proteção, projetados para interromper correntes elétricas tanto em condições normais de operação quanto em situações anormais, como sobrecargas e curtos-circuitos (MAMEDE FILHO, 2017). Sua atuação rápida e seletiva garante a proteção dos equipamentos e da instalação elétrica, preservando a continuidade do fornecimento ao isolar apenas o trecho afetado, minimizando impactos sobre o sistema.

A seleção do disjuntor adequado deve considerar parâmetros como corrente nominal, capacidade de interrupção, tempo de atuação, características de coordenação com outros dispositivos de proteção e condições ambientais da instalação (SILVEIRA; DIAS, 2018).

Esses critérios asseguram que o equipamento atue de forma eficiente e confiável frente a eventos de falha, evitando danos aos sistemas e interrupções desnecessárias no fornecimento.

Além disso, os disjuntores devem atender às normas técnicas aplicáveis, como a IEC 62271-100, que estabelece requisitos para disjuntores de tensão acima de 1kV, incluindo ensaios de desempenho, limites operacionais e critérios de segurança. A conformidade com essas normas garante confiabilidade operacional e segurança para operadores e equipamentos.

O estudo dos diferentes tipos de disjuntores, suas características construtivas e princípios de operação é essencial para a correta aplicação em subestações e redes de média e alta tensão, sendo detalhado em trabalhos específicos da área (MAMEDE FILHO, 2017; SILVEIRA; DIAS, 2018). A Figura 11 mostra uma linha de disjuntores caixa moldada da empresa WEG.

Figura 11 - Disjuntores de proteção caixa moldada.



Fonte: WEG, (2025).

2.16.3 Chave Fusível

As chaves-fusíveis são dispositivos de proteção empregados em sistemas elétricos de média tensão, com a função de interromper correntes de sobrecarga ou curto-circuito, protegendo equipamentos e redes contra danos. Elas combinam um elemento fusível, responsável pela interrupção da corrente em condições anormais, com um mecanismo de manobra que permite o seccionamento manual do circuito para manutenção ou inspeção (NEGRINI, 2024).

A operação das chaves-fusíveis é simples e confiável: quando a corrente excede o valor nominal, o fusível se funde, interrompendo o circuito automaticamente. Após a atuação, a chave deve ser substituída, garantindo que o circuito permaneça protegido. Além disso, a

chave fusível permite a abertura manual do circuito, assegurando isolamento seguro durante as intervenções (NEGRINI, 2024).

A escolha adequada da chave fusível deve considerar parâmetros como corrente nominal, tensão de operação, capacidade de interrupção e a coordenação com outros dispositivos de proteção presentes no sistema. Esses parâmetros são essenciais para garantir uma proteção eficiente e coordenada dentro do sistema elétrico. A correta aplicação das chaves fusíveis assegura não apenas a segurança operacional, mas também a confiabilidade do sistema elétrico e a proteção eficaz dos equipamentos. A Figura 12 mostra um exemplo de chave fusível de média tensão utilizada em redes aéreas de distribuição.

Figura 12 - Chave fusível de média tensão.



Fonte: CLEMIG, (2025)

2.16.4 Banco de Capacitores

Os bancos de capacitores são conjuntos de capacitores conectados em paralelo ou série-paralelo, destinados à correção do fator de potência em sistemas elétricos. Sua função principal é compensar a potência reativa, reduzindo perdas no sistema, melhorando a eficiência energética e evitando penalidades em faturas de energia elétrica (SOUZA, 2018). Cada banco de capacitores é projetado considerando parâmetros como tensão nominal, capacidade reativa (em kVAr), correntes de inrush, harmônicos presentes na rede e características do sistema elétrico.

Os bancos de capacitores podem ser fixos ou automatizados, sendo os automatizados controlados por relés de tensão ou fator de potência, que conectam ou desconectam etapas do banco conforme a demanda de carga e condições da rede. Essa operação garante a

manutenção do fator de potência dentro dos limites desejados, preservando a vida útil dos equipamentos e a estabilidade do sistema (IEC 60831-1, 2014). A escolha e aplicação de bancos de capacitores devem considerar normas técnicas e boas práticas de projeto, assegurando proteção adequada contra sobrecorrentes, sobretensões e efeitos harmônicos, bem como a coordenação com outros dispositivos de proteção da instalação. A Figura 13 ilustra um banco de capacitores aplicado em sistemas de média tensão para melhoria da eficiência energética.

Figura 13 - Banco de Capacitores para Correção do Fator de Potência.



Fonte: WEG, (2025).

2.16.5 Sistema de Aterramento

O sistema de aterramento em subestações de média tensão consiste em uma rede de condutores, eletrôdos e conexões interligadas, destinada a garantir a segurança de pessoas, proteger equipamentos e assegurar a operação confiável da instalação elétrica. Ele proporciona um caminho de baixa impedância para a circulação de correntes de curto-circuito e descargas atmosféricas, controlando tensões de passo e toque e prevenindo danos a equipamentos sensíveis (INSP – THERM TRAFO SERVICE, 2023).

Os sistemas de aterramento em subestações podem ser classificados como:

- Aterramento de proteção, que assegura a segurança de pessoas e equipamentos conduzindo correntes de falta até a terra;
- Aterramento funcional, utilizado para o correto funcionamento de dispositivos de proteção, minimizando interferências eletromagnéticas e garantindo a operação estável de transformadores, painéis e outros equipamentos (SOUZA, 2018).

O dimensionamento de um sistema de aterramento deve levar em conta fatores como resistividade do solo, tipo de eletrodos (barras, hastas, malhas ou cabos), nível de curto-

circuito da subestação, continuidade elétrica, corrosão dos materiais condutores e normas técnicas aplicáveis. A resistência de aterramento deve ser suficientemente baixa para permitir a atuação rápida de dispositivos de proteção e a dissipação segura de energia elétrica em situações de falha (ABNT NBR 15751, 2019; IEC 60364-5-54, 2011).

A implementação de um sistema de aterramento adequado garante operação segura e confiável da subestação, reduz riscos de acidentes elétricos, protege equipamentos contra sobretensões e atende às normas técnicas nacionais e internacionais, seguindo as boas práticas de engenharia elétrica (ABNT NBR 16254, 2014; NBR 5419, 2015).

2.16.6 Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT)

O Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) é o elemento central de distribuição elétrica de uma instalação ou subestação, responsável por receber e distribuir a energia elétrica proveniente do transformador de média/alta tensão para os circuitos secundários de baixa tensão. Ele assegura a operação segura de equipamentos, proporciona proteção contra sobrecorrentes e curtos-circuitos, e permite manutenções seguras sem interrupção dos serviços essenciais, em conformidade com os requisitos da norma ABNT NBR IEC 61439-2 (2016).

2.16.6.1 Classificação e Funções:

- **Quadro de entrada:** Recebe a energia da subestação ou transformador principal, distribuindo-a para os barramentos principais do QGBT;
- **Quadros de distribuição:** Alimentam cargas específicas, como iluminação, sistemas de controle, motores e cargas críticas, garantindo proteção individual e seletividade;
- **Quadros de comando e proteção:** Integram dispositivos de manobra, seccionamento, proteção contra sobrecorrentes e medição, assegurando controle e monitoramento das cargas;
- **Dimensionamento e Características Técnicas:** O projeto do QGBT deve considerar parâmetros como corrente nominal, capacidade de curto-circuito, queda de tensão admissível, continuidade de serviço e coordenação de proteção entre disjuntores, fusíveis e relés. A escolha de condutores, barramentos e dispositivos deve atender às normas de segurança, confiabilidade e durabilidade da instalação. Componentes típicos incluem barramentos de cobre ou alumínio, disjuntores moldados (MCCB), fusíveis de potência, relés de proteção e seccionadores, conforme estabelecido pelas normas IEC 61439-1 (2011) e ABNT NBR 5410 (2004);

- **Normas e Boas Práticas:** A implementação adequada do QGBT garante distribuição segura e confiável da energia elétrica, protege equipamentos contra falhas e sobretensões, e atende às normas nacionais e internacionais, como ABNT NBR 5410 (2004), ABNT NBR 14039 (2015) e IEC 61439 (2011), seguindo boas práticas de engenharia elétrica.

A Figura 14 abaixo ilustra um exemplo típico de QGBT em uma subestação ou instalação industrial, mostrando a distribuição dos barramentos principais, os disjuntores de entrada e saída, os dispositivos de proteção e os circuitos de alimentação para cargas secundárias.

Figura 14 - Representação esquemática de um QGBT.



Fonte: LOGTEK(2025).

2.17 Função e importância das subestações na distribuição hospitalar

As subestações elétricas desempenham um papel vital nas unidades hospitalares, atuando como centros estratégicos de transformação e distribuição de energia. Mais do que apenas rebaixar a tensão da concessionária e integrar dispositivos de proteção e manobra, conforme a ABNT NBR 14039 (2015), esses sistemas garantem a estabilidade operacional de setores críticos. Em ambientes onde equipamentos de suporte à vida, UTIs e blocos cirúrgicos demandam continuidade absoluta (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2013), a confiabilidade da subestação torna-se sinônimo de segurança do paciente e eficiência no atendimento.

Nesse sentido, a confiabilidade da subestação não depende apenas do tipo construtivo adotado, mas também da adequação às normas técnicas (ABNT NBR 14039, 2015; ANEEL, 2023) e da manutenção periódica de seus componentes. Subestações antigas, mesmo quando ainda atendem à demanda energética, podem apresentar riscos caso não sejam submetidas a revisões de infraestrutura, testes de proteção e atualização de seus padrões construtivos.

2.18 Manutenção em Instalações Elétricas Hospitalares

A confiabilidade do fornecimento de energia elétrica em hospitais é um fator determinante para a continuidade dos serviços médicos e a segurança de pacientes e profissionais. Interrupções ou falhas podem comprometer diretamente procedimentos críticos, como cirurgias, terapias intensivas e o funcionamento de equipamentos de suporte à vida. Nesse contexto, a manutenção elétrica assume um papel estratégico, garantindo não apenas o funcionamento adequado dos sistemas, mas também a conformidade com normas técnicas e regulatórias específicas do setor ABNT NBR 13534 (2008).

2.18.1 Conceito de Manutenção Elétrica (NBR 5462)

A ABNT NBR 5462:1994 – Confiabilidade e Mantenabilidade define manutenção como o conjunto de ações técnicas e administrativas destinadas a manter ou recolocar um item em estado no qual possa desempenhar a função requerida. Em sistemas elétricos hospitalares, esse conceito deve ser entendido de forma ampliada, uma vez que o “item” em questão não se restringe a equipamentos individuais, mas engloba toda a infraestrutura de fornecimento de energia, incluindo transformadores, disjuntores, barramentos, cabos, sistemas de proteção e aterramento.

No ambiente hospitalar, a manutenção elétrica adquire caráter estratégico e vital, pois qualquer interrupção pode comprometer equipamentos de suporte à vida, ventiladores pulmonares, monitores multiparamétricos e sistemas de climatização em centros cirúrgicos. Portanto, não se trata apenas de manter a funcionalidade dos ativos, mas sim de assegurar confiabilidade, segurança e continuidade operacional.

Além disso, a manutenção deve atender a normas específicas como a NBR 13534:2008, que estabelece requisitos de instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde, prevendo a obrigatoriedade de sistemas de alimentação de segurança, redundância e planos de contingência elétrica

2.18.2 Tipos de Manutenção: Preventiva, Preditiva e Corretiva

A gestão de manutenção elétrica em subestações hospitalares envolve a aplicação de diferentes modalidades, de acordo com o objetivo e a condição da instalação.

- **Manutenção Preventiva:** executada em intervalos planejados visa reduzir a probabilidade de falhas e prolongar a vida útil dos equipamentos. Ela inclui inspeções visuais periódicas, reaperto de conexões, limpeza de barramentos, ensaios de resistência de isolamento, testes de aterramento e termografia em painéis e cabos. Em ambientes hospitalares, esse tipo de manutenção é essencial para mitigar riscos de desligamentos inesperados que possam comprometer procedimentos médicos críticos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006);
- **Manutenção Preditiva:** utiliza técnicas de monitoramento para identificar falhas em estágio inicial. Exemplo: análise de óleo em transformadores, monitoramento online de corrente e tensão em disjuntores, medição de descargas parciais e sensores de temperatura com telemetria. Embora demande maior investimento, a preditiva é particularmente útil em hospitais que operam com alta carga contínua, pois permite planejar intervenções sem comprometer a disponibilidade da instalação (KARMAN, 2011);
- **Manutenção Corretiva:** consiste na intervenção após a identificação de uma falha ou anomalia grave. Apesar de não ser recomendada como estratégia exclusiva em hospitais, torna-se necessária quando há presença de não conformidades ou falhas iminentes que comprometem a integridade da instalação. No caso em análise, ambas as subestações aéreas demandam ações corretivas imediatas, como substituição de cabos envelhecidos, correção de conexões inadequadas e adequação de disjuntores e quadros de distribuição às normas técnicas (MORALES, 2017).

A integração entre os três tipos é considerada a forma mais eficiente de gestão da manutenção, especialmente em ambientes críticos.

2.18.3 Estratégias de Manutenção em Subestações Hospitalares

A definição de estratégias de manutenção em subestações hospitalares deve considerar fatores como: criticidade da carga, impacto de falhas, custo de indisponibilidade e nível de obsolescência dos equipamentos.

Para as subestações analisadas, as seguintes práticas são recomendadas:

- **Inspeções Visuais Periódicas:** identificação precoce de sinais de desgaste, como oxidação de barramentos, fissuras em isoladores, superaquecimento em conexões e presença de sobrecargas nos cabos;
- **Ensaios em Equipamentos de Proteção:** realização de testes de atuação em disjuntores, relés e seccionadores, garantindo seletividade e coordenação da proteção conforme exigido pela NBR 14039 e NBR 15751;
- **Termografia Infravermelha:** detecção de pontos quentes em barramentos e conexões, evitando falhas por aquecimento e incêndios;
- **Testes de Aterramento e SPDA:** fundamentais para segurança, reduzem riscos de choque elétrico e garantem a equipotencialização das massas metálicas expostas;
- **Gestão de Ativos Elétricos:** adoção de plano de manutenção documentado, com histórico de intervenções, medições e falhas registradas;
- **Planos de Contingência:** alinhamento da manutenção com a operação dos sistemas de backup (UPS e grupos geradores), assegurando transição segura em caso de falhas da concessionária.

Dada a realidade das subestações estudadas, em que há tanto necessidade de adequações corretivas quanto de implantação de um ciclo preventivo, a estratégia deve ser híbrida: corrigir as falhas atuais e, em seguida, implantar um programa sistemático de manutenção preventiva. Isso garantirá a confiabilidade operacional contínua, reduzindo custos de falhas e aumentando a disponibilidade do sistema.

2.18.4 Aplicação Conjunta de Manutenção Preventiva e Corretiva

A adoção combinada de manutenção preventiva e manutenção corretiva nas subestações hospitalares do estudo se justifica pelo estado atual das instalações e pelas demandas críticas de confiabilidade do setor de saúde.

Inicialmente, as duas subestações aéreas encontram-se em operação há vários anos sem registros sistemáticos de manutenção, apresentando sinais de desgaste, intervenções fora de norma e limitações estruturais. Esse cenário impõe a necessidade imediata de intervenções corretivas para adequar a infraestrutura às normas técnicas e eliminar riscos de falhas iminentes. Paralelamente, a implantação de rotinas preventivas será essencial para manter o desempenho após as correções, garantindo que problemas semelhantes não se repitam.

Do ponto de vista técnico, a justificativa se fundamenta nos seguintes aspectos:

- **Confiabilidade do sistema elétrico:** a manutenção corretiva atuará diretamente na eliminação de pontos críticos já identificados, como conexões inadequadas, barramentos aquecidos e incompatibilidade entre disjuntores e barramentos. Essas intervenções imediatas reduzem o risco de falhas catastróficas e elevam o nível de confiabilidade. Em seguida, a manutenção preventiva, com inspeções periódicas, termografia e testes de proteção, permitirá monitorar continuamente a condição da instalação, aumentando o MTBF (Mean Time Between Failures);
- **Seletividade e coordenação da proteção:** em sistemas hospitalares, a ausência de seletividade pode gerar desligamentos generalizados, afetando setores críticos como UTI e centro cirúrgico. A manutenção corretiva corrigirá inadequações de dimensionamento e coordenação entre disjuntores, fusíveis e relés, restabelecendo a proteção conforme normas (NBR 14039 e NBR 13534). A preventiva, por sua vez, garantirá ensaios periódicos e ajustes de coordenação, assegurando que apenas o trecho defeituoso seja desligado em caso de falha;
- **Segurança operacional:** falhas de isolamento, conexões frouxas ou sistemas de aterramento inadequados expõem profissionais e pacientes a riscos de choque elétrico. A manutenção corretiva permitirá adequar o aterramento, reapertar conexões e substituir cabos danificados. A manutenção preventiva, com inspeções visuais e testes de continuidade do aterramento, assegurará que os parâmetros de resistência se mantenham dentro dos limites exigidos pelas normas (NBR 5410 e NBR 15751);
- **Continuidade do fornecimento em áreas críticas:** hospitais exigem fornecimento ininterrupto de energia, pois quedas de poucos segundos podem comprometer procedimentos médicos. A manutenção corretiva permitirá adequar quadros de distribuição, substituir equipamentos obsoletos e melhorar a infraestrutura para suportar sistemas redundantes (grupos geradores, UPS e bancos de baterias). A manutenção preventiva atuará em sinergia, garantindo que esses sistemas de contingência sejam testados periodicamente e estejam sempre prontos para assumir a carga em situações de falha da rede (MACHADO et al., 2021);
- **Conformidade normativa e legal:** a legislação e as normas técnicas brasileiras exigem que instalações hospitalares possuam padrões elevados de confiabilidade e segurança elétrica. A manutenção corretiva atuará para eliminar não conformidades já existentes, como ligações improvisadas e ausência de dispositivos adequados. A

preventiva permitirá a manutenção contínua da conformidade, evitando sanções regulatórias e riscos jurídicos.

Portanto, a aplicação conjunta das duas modalidades não é apenas recomendada, mas indispensável. Enquanto a manutenção corretiva atua como medida de recuperação imediata da confiabilidade, a manutenção preventiva cria um ciclo contínuo de monitoramento e conservação, proporcionando maior disponibilidade do sistema e segurança global da instalação. Em hospitais, onde a energia elétrica é um insumo vital, essa abordagem híbrida representa a única estratégia capaz de conciliar risco zero para pacientes e confiabilidade máxima para equipamentos médicos.

2.19 Riscos Associados a Falhas Elétricas em Hospitais

As falhas elétricas em hospitais representam riscos críticos, pois comprometem não apenas a operação de equipamentos, mas também a segurança de pacientes e profissionais de saúde. Diferentemente de outros ambientes industriais ou comerciais, a interrupção da energia em um hospital pode resultar em consequências irreversíveis, como a perda de vidas humanas.

2.19.1 Possíveis Consequências para Pacientes, Profissionais e Equipamentos

- **Pacientes:** Interrupções elétricas podem desativar equipamentos de suporte à vida, como respiradores mecânicos, monitores cardíacos, bombas de infusão e incubadoras. Em áreas críticas, como UTI e centro cirúrgico, quedas de energia de poucos segundos já são suficientes para provocar riscos de óbito;
- **Profissionais de Saúde:** Além de comprometer a execução de procedimentos médicos, falhas elétricas podem expor profissionais a riscos de choque elétrico, incêndio e descargas atmosféricas mal conduzidas por sistemas de proteção inefficientes. Além disso, a falta de iluminação de emergência dificulta a evacuação e o atendimento em situações emergenciais;
- **Equipamentos e Estrutura:** Distúrbios elétricos (picos de tensão, harmônicas, subtensões) reduzem a vida útil de aparelhos eletromédicos de alto custo, podendo causar perda de calibração, falhas de funcionamento e danos permanentes. Estruturalmente, aquecimentos excessivos em quadros e barramentos podem resultar em incêndios de grande proporção.

2.19.2 Exemplos de Incidentes e Estatísticas de Falhas

Estudos nacionais e internacionais reforçam a gravidade das falhas elétricas em hospitais:

- Um levantamento do IEEE (2018) apontou que 70% das falhas em equipamentos hospitalares sensíveis estão associadas a problemas de qualidade de energia, e não a desligamentos completos da rede;
- No Brasil, um relatório da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2019) destacou que a ausência de manutenção preventiva em sistemas de energia elétrica hospitalar está entre os principais fatores de risco levantados em inspeções de estabelecimentos de saúde.

Esses exemplos demonstram que a falha elétrica em hospitais não deve ser tratada apenas como problema técnico ou econômico, mas como risco direto à vida.

2.20 Síntese

Diante da criticidade hospitalar, os riscos associados a falhas elétricas transcendem questões de manutenção e custos de operação. Eles afetam diretamente a continuidade assistencial, a integridade de pacientes e a preservação do patrimônio tecnológico. A análise desses riscos reforça a necessidade de adoção de estratégias robustas de manutenção preventiva e corretiva, de sistemas redundantes de energia e de monitoramento em tempo real, conforme já discutido nos capítulos anteriores.

Capítulo 3

METODOLOGIA

A metodologia adotada neste Trabalho de Conclusão de Curso foi estruturada de modo a possibilitar a análise técnica, sistemática e comparativa das condições construtivas e elétricas das subestações do Centro Hospitalar estudado, com potências nominais de 150 kVA e 225 kVA. O desenvolvimento metodológico foi delineado segundo as boas práticas da engenharia de diagnóstico e manutenção elétrica, fundamentando-se em normas técnicas da ABNT e da IEC, com enfoque na segurança operacional e na confiabilidade do fornecimento de energia às cargas críticas hospitalares. O projeto dispõe de um conjunto de etapas encadeadas, que se iniciam com a inspeção técnica presencial das subestações e avançam para a avaliação das condições físicas e estruturais, a análise do balanceamento de cargas e medições elétricas, a verificação da qualidade de energia e, por fim, a proposição de adequações técnicas e operacionais. Cada etapa metodológica foi planejada para atender a um objetivo específico do trabalho, assegurando a rastreabilidade dos resultados e a coerência entre o diagnóstico obtido e as recomendações técnicas formuladas.

3.1 Inspeções técnicas presenciais nas subestações

As inspeções técnicas presenciais tiveram como finalidade realizar um diagnóstico situacional detalhado das condições construtivas e elétricas das subestações do Centro Hospitalar, identificando não conformidades normativas, deficiências operacionais e riscos elétricos potenciais que possam comprometer a continuidade e a segurança do fornecimento de energia.

As inspeções foram conduzidas in loco nas duas subestações, Subestação A (150kVA) e Subestação B (225kVA), por equipe composta pelos autores deste trabalho e pelo técnico de manutenção do hospital. O processo foi precedido de uma etapa de reconhecimento preliminar, durante a qual constatou-se a inexistência de diagramas unifilares e registros

técnicos atualizados, exigindo que o levantamento fosse feito de forma integralmente empírica, mediante observação direta dos componentes e reconstrução dos trajetos elétricos.

Durante as visitas, foi realizado um registro fotográfico sistemático abrangendo os principais elementos das instalações: transformadores, barramentos, disjuntores gerais, quadro geral de baixa tensão (QGBT), condutos de entrada e saída, invólucros metálicos, sistemas de aterramento e equipotencialização, além da infraestrutura civil de suporte. As fotografias foram feitas em ângulos padronizados e, quando necessário, acompanhadas de referências métricas visuais, permitindo a análise dimensional e comparativa posterior.

Complementarmente, realizaram-se medições elétricas com um alicate amperímetro digital Fluke 302+, equipamento capaz de medir corrente CA até 600 A, com resolução de 0,1 A e precisão típica de 1,8% a 2,5%, além de permitir medições de tensões CA/CC até 600 V e resistência até 4 kΩ. Também foi utilizado um termômetro infravermelho Fluke 64 MAX, com faixa de medição de -30 °C a 600 °C, resolução de 0,1 °C, emissividade ajustável (0,10 a 1,00) e precisão de até ±1% do valor medido ou ±1 °C, possuindo ainda razão óptica 20:1. Esses instrumentos possibilitaram identificar desequilíbrios de carga, sobrecorrentes e pontos de aquecimento anormais, fornecendo suporte quantitativo para as interpretações apresentadas nos itens seguintes.

As condições observadas foram analisadas conforme os referenciais normativos e critérios técnicos estabelecidos nas normas ABNT NBR 5410:2004, NBR 14039:2005, NBR IEC 60364-7-710:2006, NBR 13534:2010 e NR-10. Entre os parâmetros avaliados destacam-se:

- Integridade física dos equipamentos e invólucros;
- Identificação e rotulagem de circuitos e dispositivos de proteção;
- Organização e fixação de condutores;
- Condições de ventilação e vedação dos abrigos;
- Existência de dispositivos de seccionamento e bloqueio;
- Conformidade do aterramento e equipotencialização;
- Presença de barreiras e sinalização de segurança.

3.2 Avaliação Das Condições Físicas E Estruturais Das Subestações

Esta etapa teve como finalidade avaliar o estado físico, estrutural e construtivo das duas subestações analisadas (150kVA e 225kVA), considerando a adequação de seus abrigos, dispositivos de proteção e infraestrutura civil às normas técnicas e de segurança aplicáveis. A

avaliação buscou identificar não conformidades construtivas, situações de risco ambiental e operacional e deficiências estruturais que possam comprometer a integridade dos equipamentos e a segurança das pessoas.

A análise foi realizada por meio de inspeção visual detalhada e levantamento dimensional, contemplando os seguintes aspectos:

- **Estruturas civis e invólucros:** verificação da integridade das paredes, pisos e coberturas dos abrigos; estado de conservação da pintura e da vedação das portas metálicas; presença de fissuras, infiltrações, pontos de corrosão, falhas de drenagem e acúmulo de resíduos sólidos. Avaliou-se também a fixação e estabilidade mecânica dos suportes dos transformadores, bases metálicas e canaletas de cabos, verificando-se a existência de isolamento físico entre o equipamento e o piso, de modo a minimizar vibrações e esforços mecânicos;
- **Ventilação e controle térmico:** conferência da existência e posicionamento de venezianas, dutos de ventilação ou aberturas naturais que assegurem renovação de ar e dissipação térmica adequada, conforme recomendações da ABNT NBR 14039 (2005) e da ABNT NBR 13534 (2010). A ausência ou obstrução desses elementos foi considerada fator de risco para superaquecimento de transformadores e quadros de distribuição;
- **Vedação e proteção ambiental:** inspeção das condições de estanqueidade do abrigo, com atenção a frestas, ranhuras ou aberturas que possam permitir a entrada de água, poeira, roedores, insetos ou pequenos animais. Também foi verificada a existência de sistemas de drenagem em caso de acúmulo de água pluvial, principalmente na base do transformador e próximo aos eletrodutos de entrada;
- **Acessibilidade e segurança operacional:** medição dos espaços de circulação e manobra, verificando se as distâncias mínimas de segurança entre painéis, paredes e portas de acesso estão em conformidade com a NBR 5410 e a NR-10. Foi avaliada ainda a sinalização de advertência, o trancamento de portas, a iluminação de emergência, e a presença (ou ausência) de tapetes e plataformas isolantes;
- **Organização e identificação dos componentes:** análise da disposição interna dos cabos e eletrocalhas, organização dos condutores e adequação das passagens subterrâneas, observando-se se há segregação funcional entre circuitos de potência e controle, bem como a presença de rotulagem e identificação legível nos dispositivos e circuitos principais.

O registro fotográfico complementar foi utilizado para documentar as condições físicas observadas e facilitar a posterior correlação com as não conformidades elétricas levantadas no item anterior.

- **Critérios de Avaliação**

As condições verificadas foram comparadas com as prescrições e boas práticas contidas nas seguintes normas e documentos de referência da Tabela 02.

Tabela 2 - Critérios de Avaliação.

Aspecto Avaliado	Referência Normativa
Espaços de acesso e circulação	ABNT NBR 5410:2004 – Instalações elétricas de baixa tensão
Instalações em ambientes hospitalares	ABNT NBR 13534:2010 – Execução e manutenção em estabelecimentos assistenciais de saúde
Requisitos de ventilação e abrigo de transformadores	ABNT NBR 14039:2005 – Instalações elétricas de média tensão
Segurança e distâncias de trabalho	NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade
Proteção contra penetração de corpos sólidos e líquidos	IEC 60529 – Grau de proteção IP

Fonte: Autor.

3.3 Instalação e uso do analisador de qualidade de energia na subestação de 225kVA

O ponto de medição foi definido no QGBT da subestação de 225 kVA, em posição próxima ao barramento principal, garantindo que as grandezas elétricas registradas fossem representativas de toda a alimentação do hospital. Inicialmente, realizou-se uma campanha de medições de 72 horas nesse QGBT principal, permitindo avaliar o comportamento elétrico global do sistema. Em seguida, efetuou-se uma segunda campanha, com duração de 144 horas, em um QDC responsável por atender as recepções e consultórios do centro hospitalar, possibilitando analisar variações de carga, desequilíbrios entre fases e distorções harmônicas específicas desse setor. Essa estratégia de medições complementares forneceu uma visão abrangente do desempenho e da confiabilidade das instalações elétricas do hospital.

Para a execução das medições foi empregado o analisador portátil de qualidade de energia PowerNET PQ-600 G4, da fabricante IMS Power Quality. O equipamento é projetado para atender e superar os requisitos do Módulo 8 do PRODIST/ANEEL, realizando medições completas de tensão, corrente, potência, energia e fenômenos de qualidade como afundamentos (SAG), elevações (SWELL) e flutuações de tensão. Possui memória interna de 512 MB e slot para cartão SD de até 16 GB, além de interfaces de comunicação via USB e opções de Bluetooth e GPRS/3G (opcionais), facilitando tanto a coleta local quanto o monitoramento remoto. O instrumento dispõe ainda de display e teclado integrados, o que simplifica a configuração em campo e a verificação imediata das grandezas medidas. A Figura 15 mostra o analisador de qualidade de energia PowerNET PQ-600 G4, instrumento responsável pela medição e registro das variáveis elétricas do hospital.

Figura 15 - Analisador de qualidade de energia.



Fonte: <https://ims.ind.br/analisadores/>

A alta capacidade de armazenamento e a ampla faixa de medição de corrente — obtida por meio de sensores flexíveis — conferem ao equipamento robustez e precisão adequadas a estudos em ambientes hospitalares, onde a confiabilidade e a continuidade do fornecimento de energia são fundamentais. Entre suas principais funcionalidades, destacam-se as apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Principais funcionalidades do analisador PowerNET PQ-600 G4.

Funcionalidade	Descrição técnica
Medição de tensão e corrente	Registro de valores médios, máximos e mínimos por fase, com ampla faixa de

	medição e alta exatidão.
Cálculo de fator de potência	Determinação do fator de potência individual e total, com indicação de potência ativa, reativa e aparente.
Análise de distorção harmônica	Identificação de componentes harmônicas pares e ímpares até a 41 ^a ordem, conforme IEC 61000-4-7..
Detecção de fenômenos de qualidade	Registro de eventos de SAG, SWELL e FLICKER, em conformidade com o PRODIST Módulo 8.
Armazenamento de dados	Memória interna de 512 MB e slot SD até 16 GB, com registro configurável entre 200 ms e 24 h.
Interface e comunicação	Comunicação via USB (padrão) e interfaces opcionais Bluetooth e GPRS/3G.
Configuração e operação	Display gráfico e teclado integrados, com menu de fácil navegação e leitura instantânea de grandezas.

Fonte: Adaptado do catálogo técnico IMS Power Quality (2024).

A configuração do analisador foi ajustada de acordo com as condições elétricas do sistema e os objetivos do estudo, garantindo a precisão e a integridade das medições. Foram definidos parâmetros específicos de registro, sincronização e operação que asseguraram a continuidade da coleta e a consistência dos dados obtidos. Esses parâmetros estão resumidos na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros de configuração do analisador PowerNET P-600 G4.

Parâmetro	Configuração adotada
Intervalo de registro	10 segundos para grandezas contínuas e 200 ms para eventos transitórios.
Sincronização temporal	Realizada por meio do software IMS Power Quality – PowerManager Desktop.
Tipo de memória	Circular, assegurando continuidade de gravação.
Condição de operação	Frequência nominal de 60 Hz.

Fonte: Autor.

Os dados registrados foram posteriormente importados para o software IMS Power Quality – PowerMANAGER Desktop, utilizado para o processamento, armazenamento e visualização dos resultados em formatos gráfico e tabular. Essa ferramenta possibilita a elaboração de relatórios técnicos detalhados, a correlação entre eventos e a exportação de séries temporais, assegurando rastreabilidade, consistência e confiabilidade nos resultados obtidos.

Além dos parâmetros operacionais definidos, o equipamento possui especificações elétricas e metrológicas que reforçam sua adequação para medições de alta precisão em sistemas elétricos críticos. Essas características encontram-se reunidas na Tabela 5, que sintetiza as principais faixas de medição, margens de exatidão e recursos técnicos do PowerNET PQ-600 G4.

Tabela 5 - Especificações elétricas e metrológicas do analisador PowerNET PQ-600 G4.

Característica	Descrição técnica
Faixa de medição de tensão	70 V a 500 V (fase-fase) e 40 V a 290 V (fase-neutro).
Faixa de medição de corrente	Sensores flexíveis com seleção entre 1000 A e 3000 A RMS.
Precisão de tensão e corrente	$\pm 0,2\%$ da leitura.
Precisão de potência e energia	$\pm 0,4\%$ da leitura.
Precisão para harmônicas	$\pm 5\%$ conforme IEC 61000-4-7.
Frequência nominal de operação	50 Hz ou 60 Hz.
Fenômenos monitorados	SAG, SWELL, FLICKER, harmônicas, transientes, desequilíbrio e variações de frequência.
Memória interna	512 MB, com slot para cartão SD até 16 GB.
Taxa de amostragem	Ajustável entre 200 ms e 24 h.
Interface de comunicação	USB (padrão), Bluetooth e GPRS/3G (opcionais).
Display e operação local	Tela gráfica com teclado integrado para configuração e leitura imediata.
Software de análise	IMS Power Quality – PowerMANAGER Desktop, para processamento e geração de relatórios técnicos.

Fonte: Adaptado do catálogo técnico IMS Power Quality (2024).

A utilização do PowerNET PQ-600 G4 teve como objetivo principal avaliar a qualidade da energia elétrica fornecida às cargas hospitalares, identificando desequilíbrios entre fases, distorções harmônicas, afundamentos e elevações de tensão, bem como flutuações de magnitude (flicker) que possam comprometer o funcionamento de equipamentos sensíveis e de suporte à vida. As informações coletadas constituem a base técnica para o diagnóstico do desempenho elétrico da subestação, subsidiando futuras ações de melhoria da eficiência energética e da confiabilidade operacional do sistema elétrico hospitalar.

3.4 Análise do balanceamento de cargas e histórico de consumo

A análise do balanceamento de cargas e do histórico de consumo da subestação de 225 kVA será realizada a partir dos dados adquiridos pelo analisador PowerNET P-600 G4, conforme configuração descrita no item 3.3. As correntes em cada fase serão registradas em intervalos de 10 segundos, permitindo a observação de variações instantâneas e médias. O desbalanceamento entre fases será calculado pela fórmula recomendada pelas normas IEC 61000-2-2 e ABNT NBR 5410:

Conforme a ABNT NBR 5410, o desbalanceamento de cargas em sistemas de baixa tensão deve permanecer inferior a 10% em condições normais de operação.

O fator de potência individual por fase e o fator de potência total do sistema serão avaliados, visando identificar cargas predominantemente indutivas ou capacitivas. De acordo com a ABNT NBR 13534 e IEC 61000-3-2, espera-se que o fator de potência se mantenha próximo de valores unitários, idealmente acima de 0,92; garantindo maior eficiência e redução de perdas no sistema elétrico hospitalar.

O histórico de consumo energético será registrado em termos de potência ativa (kW), reativa (kVAR) e aparente (kVA), possibilitando mapear padrões de carga em diferentes períodos operacionais, incluindo picos de demanda, períodos de estabilização e mínima demanda. Os dados também serão correlacionados com eventos de variação de tensão ou transitórios detectados pelo analisador, oferecendo subsídios para análises futuras de eficiência, confiabilidade e planejamento energético.

Todos os registros serão processados e armazenados no software IMS Power Quality – PowerManager Desktop, garantindo rastreabilidade, geração de relatórios técnicos e exportação de séries temporais. A metodologia segue integralmente os critérios das ABNT NBR 5410, ABNT NBR 13534 e IEC 61000-2-2, assegurando que a análise do

balanceamento de cargas e do histórico de consumo esteja em conformidade com as boas práticas de engenharia elétrica em ambientes hospitalares, sem antecipação de resultados.

3.5 Projeto de Reformulação dos Quadros de Distribuição e Padrões de Medição

A etapa de reformulação dos quadros de distribuição e dos padrões de medição teve como objetivo principal propor soluções técnicas de adequação, modernização e padronização da infraestrutura elétrica das subestações analisadas, com base nas não conformidades identificadas nas etapas anteriores. O propósito foi garantir segurança operacional, confiabilidade do fornecimento, facilidade de manutenção e aderência às normas técnicas aplicáveis.

Inicialmente, foi realizada uma avaliação técnico-funcional dos QGBT e dos padrões de medição pertencentes às subestações de 150kVA e 225kVA, considerando aspectos como hierarquia dos circuitos, equilíbrio de fases, segregação entre circuitos de força e sinal, condições de acesso e manutenção, e adequação às normas da ABNT NBR 5410, NBR 14039 e IEC 61439. Essa etapa permitiu identificar as principais deficiências elétricas e construtivas que impactam a confiabilidade e a segurança do sistema.

Na subestação de 225kVA, os levantamentos foram complementados com a instalação de um analisador de qualidade de energia, destinado à medição de parâmetros como desequilíbrio entre fases, distorção harmônica total (THD), variações de tensão e corrente e eventos transitórios. Esses dados foram utilizados para subsidiar o dimensionamento das proteções e a reconfiguração dos quadros de distribuição, garantindo melhor coordenação seletiva e mitigação de distúrbios elétricos.

Já na subestação de 150kVA, foi realizada uma inspeção termográfica utilizando uma câmera Fluke, com o objetivo de identificar pontos de aquecimento e sobrecarga em barramentos, disjuntores e conexões. As imagens obtidas evidenciam condições de funcionamento sob elevação térmica em determinados pontos, indicando a necessidade de intervenções corretivas preventivas, como reaperto de conexões, substituição de condutores e revisão dos dispositivos de proteção. Embora essa subestação não tenha recebido analisador de energia, a análise termográfica se mostrou eficiente para diagnóstico não invasivo das condições elétricas operacionais.

Com base nos dados obtidos em ambas as subestações, foram desenvolvidas propostas de reorganização física e elétrica dos QGBTs, contemplando a substituição e redistribuição de disjuntores, barramentos, chaves seccionadoras, bornes de aterramento e dispositivos de

proteção, de forma a otimizar o desempenho do sistema e reduzir riscos de sobrecarga, falhas ou interrupções indevidas.

A partir da análise comparativa das duas subestações avaliadas, foi possível consolidar um plano técnico de adequações direcionado à modernização, padronização e manutenção da infraestrutura elétrica do hospital. As informações obtidas por meio das medições, inspeções termográficas e levantamentos de campo permitiram definir ações específicas de intervenção e estabelecer um roteiro sistemático de melhorias, considerando a criticidade das cargas, a seletividade das proteções e a conformidade normativa.

O plano foi estruturado em três eixos principais: adequações corretivas, padronização dos sistemas elétricos e gestão operacional preventiva. As ações corretivas abrangem a substituição de condutores e dispositivos subdimensionados, reorganização de barramentos, reaperto de conexões e adequação das condições construtivas dos abrigos, conforme as exigências da ABNT NBR 14039:2015 e da IEC 61439. A padronização envolve a atualização dos diagramas unifilares e layouts elétricos, a identificação de circuitos e o registro técnico das conexões, favorecendo a rastreabilidade e a manutenção futura.

Por fim, o eixo de gestão preventiva prevê a implantação de um plano de manutenção elétrica contínua, com inspeções termográficas periódicas, reapertos semestrais e monitoramento constante da qualidade de energia — especialmente na subestação de 225kVA, onde se encontra instalado o analisador. Essas práticas estão alinhadas às recomendações da NR-10 e da ABNT NBR 13534 (2022), que reforçam a importância do acompanhamento técnico sistemático para instalações elétricas em ambientes hospitalares.

De modo geral, as etapas metodológicas aplicadas possibilitaram compreender o comportamento operacional do sistema elétrico, identificar pontos críticos e propor soluções de engenharia adequadas à realidade do hospital. O emprego de ferramentas de medição, softwares de projeto e análises comparativas assegurou a precisão dos diagnósticos e a viabilidade técnica das recomendações.

Assim, a metodologia desenvolvida estabeleceu uma base sólida para a fase seguinte do trabalho, que apresenta os resultados obtidos a partir das análises, medições e simulações realizadas, evidenciando as não conformidades encontradas e as oportunidades de aprimoramento identificadas no sistema elétrico hospitalar.

Capítulo 4

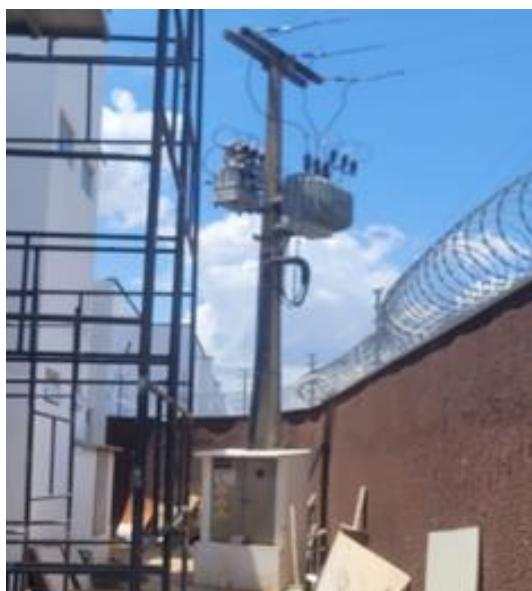
RESULTADOS ENCONTRADOS

As inspeções técnicas presenciais constituíram a etapa inicial do diagnóstico das condições elétricas e construtivas das subestações do Centro Hospitalar. Essa atividade teve como objetivo identificar não conformidades normativas, deficiências operacionais e potenciais riscos elétricos que possam comprometer a continuidade e a segurança do fornecimento de energia elétrica.

4.1 Condições Físicas e Estruturais

Conforme observada na Figura 16, apresenta uma instalação externa, com o transformador da subestação A, característica comum em subestações aéreas. Este tipo de configuração, por ser ao ar livre, está sujeito às condições climáticas, como chuva, vento e poeira. Embora o transformador possa permanecer exposto sem comprometer sua operação, a exposição constante a esses fatores pode acelerar o desgaste dos componentes ao longo do tempo, principalmente nas conexões e nos sistemas isolantes. A manutenção regular se torna, portanto, essencial para garantir a durabilidade e o bom funcionamento da instalação.

Figura 16 - Vista geral da subestação A.



A exposição contínua ao ambiente pode também gerar uma maior necessidade de manutenções preventivas e substituições de peças, especialmente em componentes mais sensíveis, como as conexões e os cabos.

No caso da subestação B, conforme ilustrado na Figura 17, ela apresenta uma instalação externa com o transformador fixado em um poste de concreto. Ao lado observa-se uma estrutura de alvenaria, embora funcional, coloca o equipamento em uma posição que pode dificultar intervenções de manutenção e a remoção do transformador para reparos ou substituição, caso necessário. A proximidade com a alvenaria e a altura em que o transformador está instalado limitam o espaço de manobra, o que pode se tornar um desafio, especialmente em situações de emergência, quando a acessibilidade rápida ao equipamento é essencial.

Figura 17 - Vista geral da subestação B.



Na área ao redor há uma proximidade de materiais de construção e a falta de uma área mais ampla e acessível ao redor dos equipamentos podem complicar ainda mais a realização de manutenções regulares e urgentes. Embora a subestação B também seja do tipo externa, a estrutura elevada do transformador e a limitação de espaço aumentam a complexidade das operações de manutenção. Além disso, a exposição ao clima, similar à subestação A, pode gerar desgaste nos componentes ao longo do tempo, embora a necessidade de cobertura para o transformador não seja essencial nesse tipo de instalação.

A subestação A, que já se encontra com a estrutura externa acessível, pode se beneficiar de melhorias no acesso aos transformadores. O uso de escadas apropriadas permitiria que as manutenções fossem realizadas com maior segurança e agilidade, evitando riscos de acidentes durante as intervenções. No caso da subestação B, o transformador está instalado em uma altura elevada, o que dificulta o acesso para manutenções de rotina. A proximidade com a alvenaria também limita a área de manobra, o que poderia ser resolvido com a reavaliação do local de instalação do equipamento ou pela criação de um acesso

adequado para garantir que o transformador possa ser retirado e substituído com facilidade em casos de necessidade urgente de reparo.

A subestação B necessita de uma organização adequada do espaço ao redor. O local está parcialmente obstruído por materiais de construção, o que dificulta o acesso e cria riscos durante intervenções de emergência. A limpeza e a organização dessa área são fundamentais para garantir que qualquer trabalho realizado na subestação seja feito com a máxima segurança e eficiência.

A manutenção preventiva também é um aspecto crucial que deve ser incorporado de forma mais rigorosa nas duas subestações. A implementação de um plano de manutenção preventiva, com inspeções regulares, testes de resistência de isolamento e o uso de tecnologias como termografia para identificar pontos quentes, ajudaria a detectar falhas antes que elas se tornassem críticas. Esse tipo de monitoramento contínuo contribuiria para a redução do tempo de inatividade dos sistemas e aumentaria a vida útil dos equipamentos. Além disso, garantir que as subestações estejam em conformidade com as normas técnicas atuais, como a NBR 13534:2010 e a IEC 60364-7-710:2006, assegura que a instalação continue atendendo aos padrões de segurança e confiabilidade necessários para o bom funcionamento do sistema elétrico.

Portanto, para garantir a confiabilidade e a continuidade do fornecimento de energia elétrica, é imprescindível que as subestações A e B passem por uma série de melhorias estruturais, operacionais e de segurança. A adoção dessas medidas não só irá aumentar a eficiência do sistema, mas também reduzirá riscos e custos associados a falhas inesperadas, proporcionando um ambiente mais seguro para os equipamentos, para a equipe de manutenção e, acima de tudo, para os usuários dependentes desses serviços essenciais.

4.2 Condições Técnicas e Estruturais do Transformador

A análise das condições técnicas e estruturais dos transformadores foi realizada com base na observação à distância, uma vez que ambos tiveram suas placas de informações avariadas, o que limita o acesso a dados mais detalhados sobre suas especificações. Ambos os transformadores são da marca CEMEC, um fabricante que não está mais homologado pela distribuidora de energia local para fornecer transformadores. Embora a ausência de homologação não afete diretamente o funcionamento dos transformadores existentes, caso seja necessário realizar alterações nas cargas ou substituir os equipamentos, a proprietária da subestação não conseguiria homologar novos transformadores devido à não conformidade com as normas atuais.

Ambos os transformadores estão funcionando sem nenhuma intercorrência, ruído ou vazamento de óleo, indicando que os equipamentos estão operando dentro de suas condições normais de funcionamento. No entanto, o transformador da subestação de 225 kVA apresenta uma limitação estrutural devido à proximidade da alvenaria, que está instalada muito próxima ao equipamento. Essa configuração pode restringir o espaço necessário para intervenções de manutenção, além de afetar a ventilação adequada do transformador, o que pode impactar sua performance e eficiência operacional ao longo do tempo.

Embora os transformadores estejam em funcionamento e sem falhas visíveis, é importante que sejam realizadas inspeções mais detalhadas para verificar o estado dos componentes internos, como isoladores e conexões, garantindo a confiabilidade e a durabilidade do sistema de transformação.

4.3 Dimensionamento Elétrico Geral

A subestação A é alimentada por um transformador de 150kVA, com uma demanda contratada de 60kW como mostra a Figura 18 e uma demanda utilizada de 60,29kW no mês de outubro de 2025. A demanda contratada está bem próxima à demanda utilizada, o que indica que a subestação está operando com um bom equilíbrio entre a carga contratada e a carga consumida. O cabo de 240mm², que desce do transformador, foi dimensionado adequadamente para suportar a corrente elétrica exigida pela instalação, e o disjuntor de 350A foi instalado para fornecer proteção contra sobrecarga e curto-circuito.

Figura 18 - Fatura de energia do mês 10/2025 para análise de demanda da Subestação A.

Itens de Fatura	Quant.	Preço Unit.(R\$) com Tributos	Tarifa Unit.(R\$)	PIS/ COFINS(R\$)	ICMS (R\$)	Valor(R\$)
Consumo Ponta (kWh)	2.289,92	3,515306	2,613930	252,88	1.811,20	8.049,77
Consumo Fora Ponta (kWh)	19.249,78	0,448919	0,333810	271,47	1.944,36	8.641,59
Demand. Ativa (kW)	60,29	42,661304	31,720000	80,80	578,71	2.572,05
Adicional Bandeir.				40,61	290,88	1.292,79
ITENS FINANCEIROS						
Cip-Ilum Pub Pref Munic					447,01	
Ajuste Avaria MD Art 255 2 de 6					2.105,81	
Multa					475,83	
Multa CIP					9,44	
Correção Monetária					33,10	
Correção Monetária CIP					0,66	
Juros					71,38	
Juros CIP					1,42	
Grandezas Contratadas						
Demanda Contratada Única (kW): 60,00						
Demanda Contratada Ponta (kW):						
Demanda Contratada Fora Ponta (kW):						
Dem. Reserva Cap. Única (kW):						
Dem. Reserva Cap. Fora Ponta (kW):						
Dem. Reserva Cap. Ponta (kW):						
Dem. de Geração (kW):						
Dem. de Dist. Única (kW):						
Dem. de Dist. De Ponta (kW):						
Dem. de Dist. Fora Ponta (kW):						

No entanto, o disjuntor de 350 A está sobredimensionado para a carga da subestação A. De acordo com a Tabela 11 – Dimensionamento dos Circuitos de Baixa Tensão – 380/220V da norma técnica da Equatorial PI conforme a Figura 19, para um transformador de 150kVA, a corrente nominal do disjuntor recomendado seria inferior a 350A. Considerando que a corrente suportada pelo transformador para uma instalação de 150kVA com fator de

potência de 0,92 e uma tensão de 380V seria de aproximadamente 250A, o disjuntor de 350A está acima da capacidade necessária para proteger adequadamente o transformador.

Figura 19 - Tabela 11 da Norma Técnica 02 da Equatorial PI.

Transformadores Trifásicos - 380/220V							
Potência (kVA)	Tensão Secundária de Linha (V)	Corrente Nominal Secundária (A)	Cabo de Cobre XLPE ou HEPR 0,6/1kV (mm ²)	Diâmetro do Eletroduto (pol)	Corrente Nominal do Disjuntor (A)	Seção do Condutor de Aterramento (Cobre) em mm ²	Seção do Condutor de Aterramento (Aço-Cobreado) AWG
75	380	114	3#35 (25)	50 (2")	125	25	2
112,5	380	171	3#70 (35)	65 (2 1/2")	175	25	2
150	380	228	3#95 (50)	65 (2 1/2")	250	50	1/0
225	380	342	3#150 (70)	80 (3")	350	50	1/0
300	380	456	(2x3#95) (1#95)	2 x 65 (2 1/2")	500	50	1/0
			(2x3#150) (1#150)	100"			

Com um disjuntor de 350A, a proteção do sistema fica comprometida, pois o disjuntor pode não interromper imediatamente o fornecimento de energia em caso de sobrecarga do transformador. Isso permite que a sobrecarga atinja níveis prejudiciais ao transformador antes que o disjuntor atue para desconectar a instalação. Esse atraso pode resultar em danos ao transformador, uma vez que ele pode continuar operando fora de suas especificações de segurança por um tempo maior do que seria necessário.

Figura 20 - Disjuntor e cabo da Subestação. A.



De acordo com a NBR 14039 e as normas de dimensionamento da concessionária de energia, os disjuntores devem ser dimensionados de acordo com a capacidade do transformador e a corrente nominal do sistema, não sendo recomendado um disjuntor excessivamente grande, pois isso comprometeria a proteção adequada da instalação e do próprio transformador. A Figura 20 abaixo apresenta o disjuntor de 350A instalado na subestação A, destacando a espessura do cabo de 240mm².

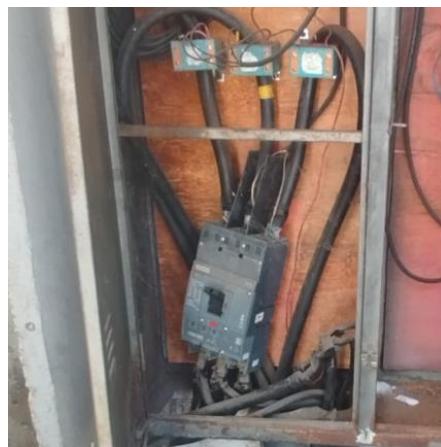
Já a Subestação B é alimentada por um transformador de 250kVA, com demanda contratada de 198kW e demanda utilizada de 187,74kW no mês de outubro de 2025, conforme mostra a Figura 21. Embora a subestação esteja operando dentro da capacidade contratada, a instalação utiliza um disjuntor de 630A, que, assim como no caso da subestação A, está sobredimensionado em relação à demanda de energia.

Figura 21 - Fatura de energia do mês 10/2025 para análise de demanda da Subestação B.

Itens de Fatura	Quant.	Preço Unit.(R\$) com Tributos	Tarifa Unit.(R\$)	PIS/ COFINS(R\$)	ICMS (R\$)	Valor(R\$)	Tributo	Base(R\$)	Aliquota(%)	Valor(R\$)
Consumo Ponta (kWh)	2.270,94	3.515306	2.613930	250,79	1.796,19	7.983,05	ICMS	41.745,53	22,5000	9.392,75
Consumo Fora Ponta (kWh)	50.199,10	0,448920	0,333810	707,96	5.070,46	22.535,38	PIS	32.691,98	0,7216	235,91
Demand. Ativa Isenta de ICMS (kW)	10,26	33.060429	31.720000	13,75	0,00	339,20	COFINS	32.691,98	3,3320	1.089,30
Demand. Ativa (kW)	187,74	42.658251	31.720000	251,60	1.801,95	8.006,66				
Consumo Reativo Excedente NP (kVAR)	108,08	0,331514	0,246530	1,13	8,06	35,83				
Consumo Reativo Excedente FP (kVAR)	100,66	0,331512	0,246530	1,05	7,51	33,37				
Adicional Bandeira				98,93	708,58	3.149,24				
ITENS FINANCEIROS						343,53				
Cip-Ilum Pub Pref Munic										
Grandezas Contratadas										
Demanda Contratada Única (kW): 198,00										
Demanda Contratada Ponta (kW):										
Demanda Contratada Fora Ponta (kW):										
Dem. Reserva Cap. Única (kW):										
Dem. Reserva Cap. Fora Ponta (kW):										
Dem. Reserva Cap. Ponta (kW):										
Dem. de Geração (kW):										
Dem. de Dist. Única (kW):										
Dem. de Dist. De Ponta (kW):										
Dem. de Dist. Fora Ponta (kW):										

De acordo com a Tabela 11 da NT 02 da Equatorial PI, para uma subestação de 225kVA, o disjuntor recomendado seria de 350A, considerando as características do sistema de distribuição e a carga contratada. No entanto, o disjuntor de 630A instalado na subestação B está sobredimensionado para essa capacidade, o que pode ter implicações sérias no desempenho da proteção do sistema. O uso de um disjuntor de 630A pode permitir que o sistema continue operando em caso de sobrecarga sem desconectar imediatamente o fornecimento de energia. Isso compromete a proteção do transformador e das instalações, pois a sobrecarga pode danificar o transformador antes que o disjuntor atue para interromper o fornecimento de energia. A Figura 22 abaixo mostra o disjuntor de 630A instalado na subestação B, com o cabo de 240mm².

Figura 22 - Disjuntor e cabo da Subestação B.



A NBR 5410, estabelece que o dimensionamento dos disjuntores deve ser feito com base na corrente nominal do transformador e nas características do sistema de distribuição. Ela recomenda que o disjuntor seja dimensionado de maneira a proteger adequadamente os equipamentos e evitar falhas no sistema. No caso da subestação B, o disjuntor de 630A não segue as orientações da NBR 5410, nem as da Tabela 11 da NT 02 da Equatorial PI, que sugere um disjuntor de 350A para sistemas com transformador de 225kVA. Disjuntores com capacidade maior podem reduzir a eficácia da proteção, permitindo que o sistema opere por mais tempo em condições de sobrecarga, o que pode resultar em danos ao transformador e afetar a segurança do sistema.

A análise do dimensionamento dos disjuntores nas subestações A e B revela que ambos os disjuntores, de 350A na subestação A e 630A na subestação B, estão sobredimensionados em relação à carga instalada, os disjuntores recomendados para essas instalações seriam de 250A para o transformador de 150kVA e de 350A para o transformador de 250kVA, considerando a corrente nominal de cada sistema e a proteção ideal contra sobrecargas.

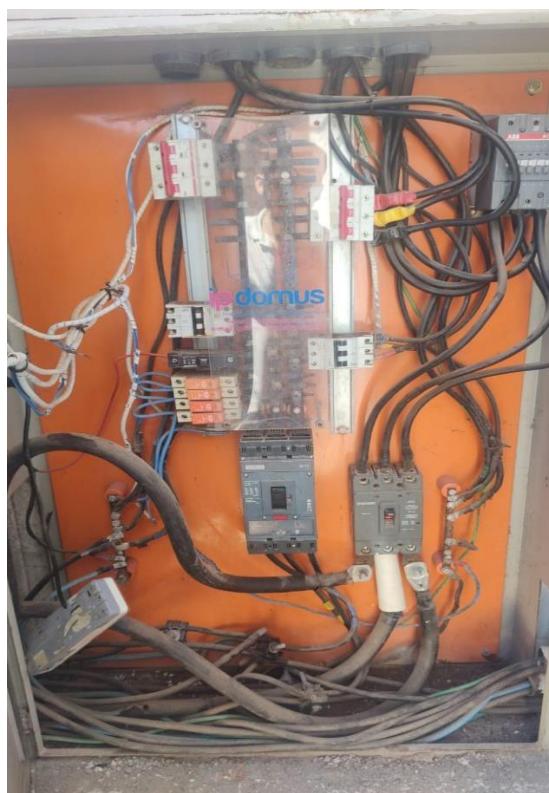
Recomenda-se, portanto, uma reavaliação do dimensionamento dos disjuntores nas duas subestações, para garantir que a proteção seja adequada, proporcionando uma resposta rápida em caso de sobrecarga e minimizando riscos de falhas no sistema.

4.4 QGBT e seus Componentes na Subestação

Neste tópico, será realizada uma análise detalhada do QGBT das subestações em estudo, abordando os principais aspectos técnicos e estruturais que envolvem a organização e a proteção elétrica da instalação. A avaliação se concentrará em diversos componentes do QGBT, como os disjuntores, a identificação e organização dos cabos, o dimensionamento dos condutores e a proteção contra sobrecargas. Também serão analisadas as condições de isolamento, o uso de materiais adequados para a proteção e isolamento dos cabos.

Iniciando pela inspeção visual do QGBT da subestação de 150kVA foi observado que nele também está sendo utilizado um disjuntor de 350A que protege a alimentação da subestação. A imagem ilustrada na Figura 23 representa a estrutura atual do quadro. O cabo de 240 mm² sai do disjuntor de medição e vai para esse disjuntor, mas a fase do meio está isolada com um cano de PVC. Este tipo de isolação, embora comum, pode não ser o mais adequado para essa aplicação, pois o PVC não oferece a mesma resistência mecânica e durabilidade do material específico para isolação de cabos, como termo retráteis ou o isolamento de borracha, que são mais adequados para ambientes com variação de temperatura e alta carga elétrica. O uso inadequado de materiais de isolamento pode resultar em falhas, como desgaste prematuro, aquecimento excessivo ou falhas no isolamento, o que aumenta o risco de curto-circuito ou choques elétricos.

Figura 23 - QGBT 01 da Subestação A.



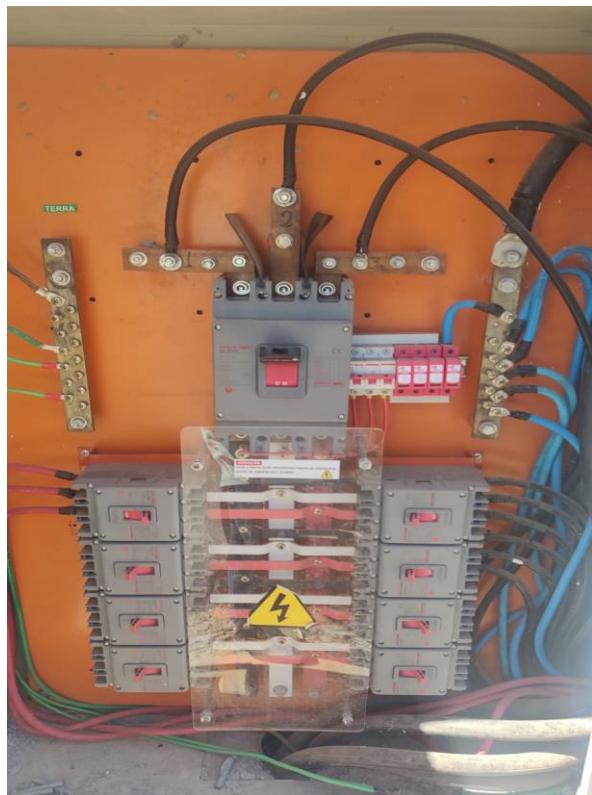
Também é possível observar que alguns circuitos estão conectados diretamente aos disjuntores, sem o uso de terminais adequados para o tipo de instalação. Essa falta de terminais apropriados pode causar pontos quentes e falhas nas conexões, aumentando o risco de falhas elétricas. Conexões inadequadas podem resultar em aquecimento excessivo e até incêndios, pois a falta de aperto adequado nos terminais ou a utilização de materiais inadequados não garante a integridade mecânica e elétrica necessárias.

Além disso, o quadro apresenta uma organização desordenada dos cabos, com os cabos chegando e saindo de forma desorganizada no quadro. A falta de organização no arranjo dos cabos pode dificultar a manutenção e a identificação de circuitos em caso de falhas, aumentando o risco de erros operacionais e acidentes durante as intervenções. A correta identificação e organização dos cabos são cruciais para garantir a segurança e eficiência no sistema, conforme as normas de segurança elétrica estabelecidas pela NBR 5410.

Outro ponto crítico é que a saída do disjuntor de 350A, que vai para a chave de transferência de carga para o gerador de emergência, utiliza um cabo de 35mm². De acordo com as normas da Equatorial PI e a NBR 5410, para a demanda do transformador de 150kVA, a seção do cabo para a alimentação do gerador deve ser de 95mm², não de 35mm². O cabo de 35mm² é insuficiente para a corrente demandada pelo gerador de 85kVA, resultando em subdimensionamento. Isso pode causar aquecimento excessivo, perda de eficiência e falhas no sistema elétrico, comprometendo a segurança.

Ademais, a distância entre o QGBT 01 e a cabine do gerador é de aproximadamente 80 metros, o que agrava ainda mais o problema, pois a resistência do cabo aumenta com a distância, gerando ainda mais perda de energia e diminuindo a eficiência da instalação. Ao chegar na cabine do gerador, o cabo retorna para QGBT 02 ilustrado na Figura 24, para alimentar os circuitos gerais da subestação, assumindo a alimentação do sistema. Isso implica em que o cabo inadequado de 35mm² ainda é responsável por alimentar todas as cargas, o que representa uma grave falha no dimensionamento.

Figura 24 - QGBT 02 da Subestação A.



Adicionalmente, observou-se que o DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos Elétricos) da fase B está atuado, o que indica que houve uma interrupção de energia em algum momento, provavelmente devido a uma variação de tensão ou surto elétrico. Isso é uma medida de proteção que, embora essencial, indica que o DPS precisou atuar para proteger os circuitos da subestação contra picos de tensão. A atuação do DPS deve ser verificada, pois, embora sua função seja proteger contra surtos, também pode indicar que há flutuações de tensão que devem ser corrigidas para evitar falhas no sistema.

Considerando que a atuação do DPS na Subestação A evidencia a ocorrência de distúrbios elétricos e possíveis variações significativas de tensão, torna-se igualmente relevante avaliar as condições dos demais quadros gerais da instalação. Nesse contexto, a análise do QGBT da Subestação B também revela um cenário crítico, marcado por falhas estruturais, indícios de sobreaquecimento e inadequações que comprometem diretamente a segurança e a confiabilidade do sistema. A seguir, apresenta-se a avaliação detalhada das condições encontradas na Subestação B, fundamentada nas imagens e na inspeção realizada.

A análise detalhada do QGBT da Subestação B, a partir das evidências apresentadas na Figura 25, revela condições que comprometem não apenas a organização interna e a

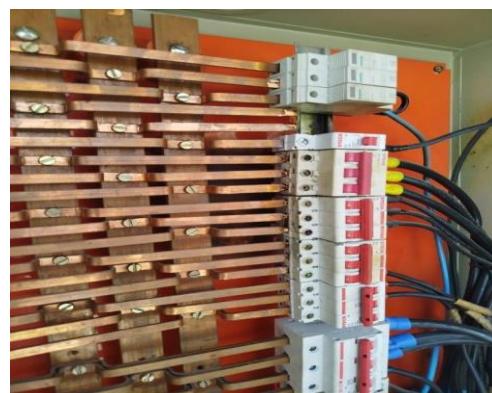
confiabilidade elétrica do sistema, mas também a segurança operacional, uma vez que foram identificados indícios concretos de falha térmica severa e riscos potenciais de incêndio.

Figura 25 - Vista geral da estrutura do QGBT da Subestação B.



Na Figura 26, observa-se nitidamente uma mancha escurecida no suporte dos disjuntores posicionado à direita, característica típica de carbonização decorrente de um processo de aquecimento extremo. A coloração escura, associada ao aspecto irregular da superfície, indica que ocorreu um princípio de incêndio no ponto de conexão entre o barramento e o disjuntor acoplado. A análise visual permite inferir que houve fusão parcial do cobre, material de elevada condutividade térmica e elétrica, o que só ocorre quando o sistema é submetido a temperaturas muito elevadas, normalmente oriundas de mau contato, sobrecarga, elevada resistência de junção ou falha mecânica na fixação do terminal. O material fundido, ao se liquefazer, aderiu à carcaça do disjuntor, evidenciando que a conexão elétrica ultrapassou o limite térmico de operação, criando um ponto crítico de risco que, caso não identificado a tempo, poderia ter evoluído para um incêndio em maiores proporções.

Figura 26 - Detalhes do barramento do QGBT.



Além dessa evidência de falha térmica, a Figura 26 também revela outro problema significativo: os dispositivos de proteção contra surtos (DPS) encontram-se instalados em posição inadequada, localizados no final da distribuição, já após as cargas. Essa configuração é tecnicamente incorreta, pois o DPS deve ser instalado próximo ao ponto de entrada da alimentação, a montante das cargas, de forma a proteger os circuitos contra sobretensões transitórias originadas na rede ou no sistema de geração. A presença dos três DPS atuados indica que eles sofreram desgaste total de sua capacidade de proteção, possivelmente devido a surtos repetitivos ou instalação inadequada, o que os torna inoperantes e incapazes de oferecer proteção ao sistema.

Outro problema identificado durante a inspeção diz respeito à incompatibilidade entre os disjuntores e os cabos que eles protegem, sendo verificados circuitos em que o disjuntor possui corrente nominal superior à capacidade de condução do cabo instalado. Essa condição representa uma violação direta aos critérios de proteção estabelecidos pela NBR 5410, pois coloca o sistema em risco de aquecimento excessivo, degradação da isolação e até incêndio. Agravando essa situação, também foi constatado que alguns desses circuitos apresentavam redução indevida de seção ao longo do trajeto: o cabo que saía do disjuntor no QGBT possuía uma seção adequada para a corrente nominal, mas, ao chegar à caixa de passagem, encontrava-se emendado a um cabo de seção inferior. Esse tipo de prática compromete severamente a integridade do circuito, pois cria um ponto vulnerável onde a capacidade de condução de corrente é reduzida, favorecendo aquecimento localizado, sobrecarga térmica e falhas por degradação da isolação. Além de inadequada tecnicamente, essa prática contraria princípios básicos de seletividade e dimensionamento de condutores, tornando o circuito inseguro e potencialmente propenso a falhas catastróficas.

Somando-se a essas inconsistências, foi verificado que determinados circuitos, que deveriam estar instalados exclusivamente no quadro do gerador, foram inseridos de forma improvisada atrás do barramento do QGBT. Essa prática aumenta significativamente o volume total de condutores dentro do painel, interferindo na circulação de ar e dificultando a dissipação de calor. O acúmulo de cabos em áreas restritas prejudica inspeções, dificulta intervenções técnicas e aumenta o risco de falhas mecânicas e elétricas. Essa situação, combinada com a já evidente desorganização interna, reflete a ausência de critérios de segregação e padronização, elementos fundamentais para a segurança e a confiabilidade de quadros elétricos de baixa tensão.

Esses problemas, observados nas Figuras 25 e 26 e confirmados na inspeção in loco, evidenciam um quadro elétrico que, embora ainda em funcionamento, opera em condições de

risco significativo. A presença de falhas térmicas, instalação inadequada dos DPS, incompatibilidade entre disjuntores e cabos, reduções indevidas de seção, circuitos instalados em locais impróprios e excesso de cabeamento sem organização adequada configuram um cenário crítico que exige intervenção imediata. A fusão do barramento, em particular, demonstra que o sistema já ultrapassou seus limites seguros de operação, tornando indispensável uma revisão estrutural completa, substituição dos componentes comprometidos e readequação das práticas de montagem e manutenção para restabelecer a conformidade normativa e a segurança operacional.

Para resolver essas questões, é fundamental que sejam feitas melhorias estruturais e técnicas. O primeiro passo é o redimensionamento dos disjuntores e cabos para garantir que o sistema tenha a proteção adequada e que os condutores suportem a demanda elétrica de forma segura. O disjuntor de 350A presente na subestação A deve ser substituído por um modelo adequado ao transformador de 150kVA, em conformidade com as diretrizes da NBR 5410 e da Equatorial PI, para evitar o risco de falhas no sistema de proteção. Além disso, a saída do disjuntor para a chave de transferência de carga do gerador de emergência precisa ser ajustada, utilizando um cabo de 95mm² em vez do cabo subdimensionado de 35mm², que não é capaz de suportar a corrente demandada.

Outro ponto importante é a organização dos cabos no QGBT, que deve ser revista. A identificação clara dos circuitos e a organização adequada dos cabos são cruciais para garantir a segurança do sistema e facilitar a manutenção. O uso de mangas termocontráteis ou isolamento de borracha no lugar do PVC para isolar as fases é uma medida essencial para aumentar a segurança e durabilidade do sistema, evitando o risco de falhas de isolamento, curtos-circuitos e choques elétricos.

As conexões inadequadas, como aquelas que não utilizam terminais apropriados, devem ser corrigidas para evitar pontos quentes e falhas nas conexões, que podem resultar em aquecimento excessivo e até incêndios. O uso de terminais adequados e a garantia de aperto correto nas conexões são medidas simples, mas cruciais, para garantir a integridade elétrica do sistema.

Em relação ao DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos Elétricos), a sua instalação deve ser revisada. Os DPS devem ser instalados próximos ao ponto de entrada da alimentação, a montante das cargas, para garantir que protejam os circuitos contra sobretensões transitórias originadas na rede elétrica ou no sistema de geração. A atuação frequente do DPS nas subestações A e B indica a presença de distúrbios elétricos, e, portanto,

é necessário investigar essas flutuações de tensão e realizar as correções necessárias, seja pela instalação de filtros ou pela readequação do dimensionamento da rede elétrica.

Além disso, é essencial a revisão do aterramento e da continuidade elétrica para garantir que todos os componentes metálicos expostos sejam devidamente aterrados, conforme as exigências da NBR 5410, proporcionando um caminho seguro para correntes de fuga em caso de falhas.

Por fim, a análise dos disjuntores, DPS e cabos revela a necessidade urgente de substituições de componentes danificados e ajustes na organização e distribuição dos circuitos. A instalação de relés de sobrecorrente e a correção de incompatibilidades entre disjuntores e cabos irão garantir que o sistema opere dentro dos limites de segurança e que eventuais falhas possam ser detectadas e corrigidas de forma eficiente.

Essas melhorias são essenciais para restabelecer a segurança e confiabilidade das subestações, garantir a proteção dos equipamentos e minimizar riscos operacionais. A implementação dessas propostas trará maior estabilidade ao sistema, atendendo às normas de segurança elétrica e melhorando a eficiência do processo de distribuição de energia.

4.5 Análise das Medições de Corrente nas Subestações

A avaliação das correntes elétricas das fases A, B e C nas subestações A e B foi realizada com o objetivo de verificar o grau de balanceamento dos circuitos e identificar concentrações de carga potencialmente prejudiciais à operação. As medições foram efetuadas com alicate amperímetro digital diretamente nos cabos alimentadores principais, permitindo a captura dos valores reais de corrente sob condição de funcionamento normal. Os registros fotográficos das medições encontram-se apresentados nas figuras correspondentes a cada subestação.

4.5.1 Subestação A

As medições realizadas na Subestação A indicaram correntes de 39,8A na fase A, 16,3A na fase B e 17,5A na fase C. Como pode ser observado na Figura 27 esses valores evidenciam um comportamento acentuadamente assimétrico entre as fases, com predominância de carga na fase A, o que caracteriza um desbalanceamento significativo.

Figura 27 - Medições das correntes das fases A, B e C na Subestação A.

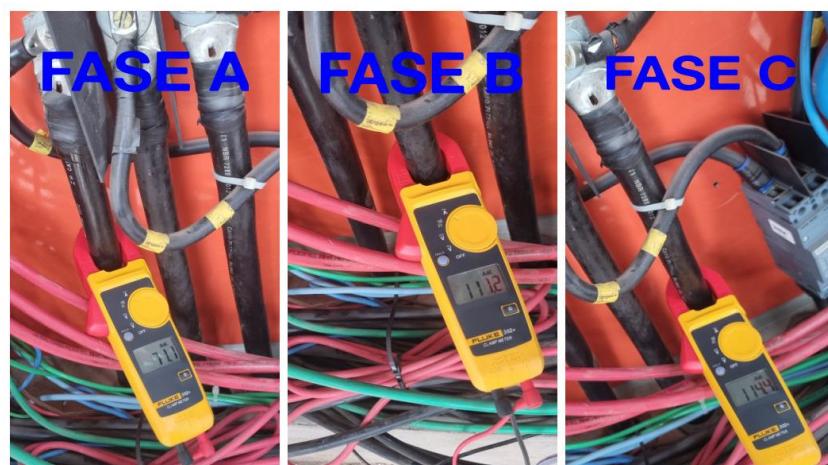


Essa discrepância entre as fases indica sobrecarga concentrada na fase A, aumentando as perdas resistivas, elevando a temperatura dos condutores e acelerando o desgaste dos componentes do circuito, conforme orientado pela ABNT NBR 5410. A assimetria também pode causar variações de tensão, reduzir o desempenho de cargas trifásicas e aumentar a probabilidade de atuação indevida dos dispositivos de proteção. De acordo com a NBR 14039, esse comportamento caracteriza condição de operação não recomendada, podendo comprometer barramentos, cabos, conexões e dispositivos se mantida ao longo do tempo.

4.5.2 Subestação B

A Figura 28 apresenta os valores de corrente medidos na subestação B, onde foi verificado um cenário de desbalanceamento distinto. As correntes apresentaram valores de 71,1A na fase A, 111,2A na fase B e 114,4A na fase C. Nesse caso, as fases B e C encontram-se substancialmente mais carregadas que a fase A, demonstrando uma assimetria severa, porém distribuída de forma inversa quando comparada à subestação A.

Figura 28 - Medições das correntes das fases A, B e C na Subestação B.



A análise das correntes medidas nas subestações A e B evidencia condições operacionais que contrariam princípios essenciais estabelecidos pelas normas brasileiras aplicáveis. A NBR 5410, ao tratar da distribuição de cargas em sistemas de baixa tensão, destaca que a divisão equilibrada das cargas entre as fases é fundamental para garantir segurança, confiabilidade e desempenho adequado das instalações elétricas. A norma determina que a distribuição deve evitar sobrecargas localizadas, variações excessivas de tensão e elevação indevida da temperatura dos condutores e barramentos, fatores que comprometem a durabilidade dos componentes e aumentam o risco de falhas.

No caso da Subestação A, os valores registrados foram de 39,8A na fase A, 16,3A na fase B e 17,5A na fase C, resultando em um desbalanceamento aproximado de 62%. Esse nível de assimetria é considerado crítico. A diferença significativa entre as correntes indica que a fase A opera em desvio evidente das condições de equilíbrio prescritas pela norma, o que aumenta perdas por efeito Joule, acelera o envelhecimento dos isolamentos e eleva o risco de atuação ou falha dos dispositivos de proteção.

Na Subestação B, as medições revelam 71,1A na fase A, 111,2A na fase B e 114,4A na fase C, resultando em um desbalanceamento de aproximadamente 28%. Embora inferior ao da Subestação A, esse nível ainda excede o recomendado para operação segura segundo os critérios de equilíbrio e uniformidade de carregamento definidos pela NBR 5410 e reforçados pela NBR 16746, que orienta práticas para manutenção e avaliação de instalações elétricas. A concentração de corrente nas fases B e C indica sobrecarga progressiva e potencial risco de aquecimento excessivo, especialmente em componentes de distribuição e seccionamento.

Diante desse cenário, as normas brasileiras indicam um conjunto de ações corretivas. A NBR 5410 prevê que a distribuição das cargas entre as fases deve ser revista periodicamente, de forma a evitar situações de sobrecorrente contínua e reduzir tensões mecânicas e térmicas nos componentes. Assim, torna-se indispensável redistribuir as cargas monofásicas, realocando circuitos para que as três fases passem a operar com correntes mais próximas entre si. A norma também destaca a necessidade de que condutores estejam devidamente dimensionados para a corrente de projeto, o que reforça a importância de verificar a seção dos cabos e corrigir eventuais subdimensionamentos, além de eliminar emendas que reduzam a seção do condutor, pois tais situações agravam aquecimento e aumentam a resistência elétrica.

Outra diretriz relevante diz respeito às conexões e terminais. A NBR 16746 aponta que conexões frouxas, oxidadas ou expostas ao aquecimento prolongado podem gerar pontos quentes, falhas por arco e interrupções intempestivas. Assim, é recomendada a realização de

inspeção detalhada das conexões, preferencialmente incluindo termografia, a fim de identificar eventuais anomalias térmicas decorrentes do desbalanceamento observado. Além disso, a revisão dos ajustes dos dispositivos de proteção, conforme critérios da NBR 5410, assegura que disjuntores e seccionadores atuem corretamente e não permaneçam submetidos a correntes superiores às definidas em projeto.

Por fim, a adoção de sistemas de monitoramento contínuo de corrente e tensão, prevista como boa prática pela NBR 16746, auxilia no acompanhamento do comportamento das fases e permite detectar precocemente desvios de equilíbrio, evitando que o sistema opere por longos períodos em condições inadequadas. A implementação dessas medidas, alinhadas às exigências normativas brasileiras, proporciona maior segurança operacional, prolonga a vida útil dos equipamentos e minimiza riscos de falhas decorrentes do desbalanceamento trifásico identificado nas duas subestações.

4.6 Análise de Qualidade de Energia em Regime Permanente

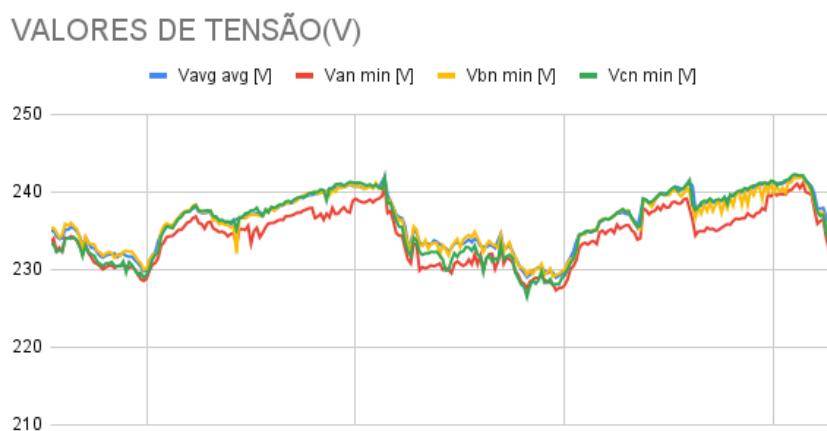
A qualidade de energia elétrica é um parâmetro essencial para garantir a confiabilidade e a eficiência dos sistemas de distribuição elétrica. Nesta seção, apresentamos a análise da qualidade de energia em regime permanente na subestação B, utilizando os dados coletados pelo analisador PowerNET PQ-600 G4. Inicialmente, foi realizada a avaliação dos valores de tensão no quadro geral, com base no primeiro período de medições de 72 horas, permitindo verificar o comportamento global do sistema. Em seguida, os demais parâmetros — como frequência, desequilíbrio e demais variáveis de qualidade — foram analisados utilizando o segundo conjunto de medições, obtido ao longo de 144 horas, de modo a fornecer uma visão mais precisa de como a energia elétrica chega aos equipamentos finais do hospital. Essa abordagem sequencial permitiu avaliar com maior profundidade o desempenho e possíveis distúrbios na distribuição elétrica.

É importante observar que, devido a limitações de tempo e logística, não foi possível realizar o monitoramento da subestação A dentro do período de análise. Como resultado, não foram coletadas informações sobre a qualidade de energia dessa subestação para fins de comparação nesta seção. O foco da análise, portanto, está restrito à subestação B, e os resultados obtidos para essa subestação estão detalhadamente apresentados a seguir. Para futuras análises, recomenda-se a implementação de monitoramento em ambas as subestações, permitindo uma comparação mais ampla e precisa dos parâmetros de qualidade de energia entre os dois sistemas.

4.6.1 Conformidade de Tensão em Regime Permanente

A análise dos valores de tensão em regime permanente, conforme registrado pelo monitoramento, mostra que as medições fase-neutro permaneceram frequentemente acima da faixa considerada adequada pela norma PRODIST, que estabelece que a tensão para sistemas hospitalares trifásicos 220/380V deve variar entre 201V e 231V. No gráfico, representado pela Figura 29, os valores de tensão se mantiveram frequentemente entre 233V e 240V, ultrapassando o limite superior recomendado.

Figura 29 - Gráfico dos valores de tensão extraídos do analisador.



Esse quadro de sobretensão pode ser causado por diversos fatores, como ajuste inadequado do tap do transformador, baixa utilização da capacidade instalada, que reduz as quedas de tensão pelas linhas, ou compensação excessiva por parte da concessionária para garantir a tensão adequada em momentos de pico, mas que resulta em níveis elevados quando a demanda está baixa. Os dados foram coletados especificamente do circuito que alimenta a recepção principal e a ala de pediatria do hospital, o que é de particular relevância, pois esses setores abrigam equipamentos críticos para o funcionamento hospitalar. Esse circuito é alimentado por um cabo de 35mm² e protegido por um disjuntor de 125A, o que levanta preocupações adicionais sobre a adequação do dimensionamento do cabo e disjuntor para suportar a tensão elevada e os potenciais riscos associados.

As consequências da sobretensão contínua são preocupantes, especialmente em ambientes sensíveis como hospitais. Entre os principais problemas, destaca-se o desgaste acelerado e a redução da vida útil dos equipamentos eletrônicos e motorizados, especialmente os mais sensíveis, como monitores, bombas de infusão, computadores e sistemas de iluminação. Placas eletrônicas e fontes chaveadas estão particularmente suscetíveis a falhas, já que operam dentro de faixas restritas de tensão. Além disso, há o risco de aumento do

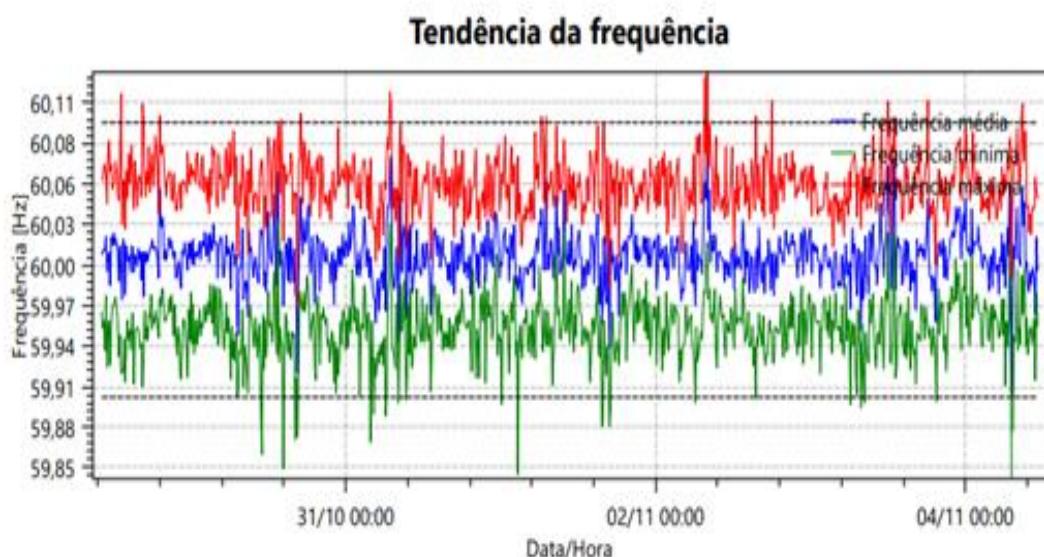
consumo de energia por correntes de fuga, bem como a redução da eficiência energética dos motores, que tendem a aquecer mais sob tensão elevada. Outro risco significativo é o disparo acidental de dispositivos de proteção, como disjuntores e sistemas de alarme, além de desajustes nos sistemas de iluminação, que têm sua luminosidade e vida útil prejudicadas por tensão acima do especificado.

Diante desse cenário, torna-se essencial que se proceda ao ajuste dos taps do transformador, ao reexame do balanceamento de cargas, e, se necessário, à implantação de sistemas automáticos de regulação de tensão para garantir maior segurança, eficiência e longevidade dos equipamentos críticos hospitalares. Esse ajuste não só melhorará a qualidade de energia fornecida, mas também reduzirá o risco de danos a equipamentos vitais para o funcionamento do hospital.

4.6.2 Variação de Frequência

A frequência média observada durante o período de monitoramento manteve-se estável e dentro da faixa considerada normal pela norma PRODIST Módulo 8, que estabelece o intervalo de 59,9 Hz a 60,1 Hz para sistemas de distribuição elétrica. Os dados demonstram que a frequência média permaneceu dentro desse intervalo, indicando conformidade com os parâmetros estabelecidos para um sistema elétrico estável. O gráfico de tendência de frequência representado pela Figura 30 mostra a oscilação das medições ao longo do tempo, permitindo uma análise detalhada do comportamento da frequência durante o período de monitoramento.

Figura 30 - Tendência da Frequência na Subestação B.



No gráfico a linha azul indica a frequência média, enquanto as linhas vermelha e verde representam respectivamente a frequência máxima e a mínima. As flutuações nas linhas de frequência mínima e máxima são visíveis, mas essas variações não ultrapassam os limites críticos definidos pela norma, evidenciando que o sistema operou dentro dos parâmetros aceitáveis. As oscilações observadas, embora notáveis, não representam distúrbios significativos que possam afetar a qualidade da energia fornecida ou comprometer a operação dos equipamentos críticos conectados ao sistema.

A estabilidade da frequência reflete a adequação do fornecimento de energia pela concessionária e a ausência de distúrbios significativos provenientes da rede externa. Mesmo com algumas oscilações momentâneas, as variações de frequência permaneceram dentro dos limites normais, demonstrando que a subestação está funcionando corretamente em termos de qualidade de energia. Não foram observados picos ou quedas de frequência que pudessem comprometer a operação segura dos equipamentos hospitalares sensíveis, como monitores e fontes chaveadas, que exigem uma alimentação elétrica estável para evitar falhas no sistema.

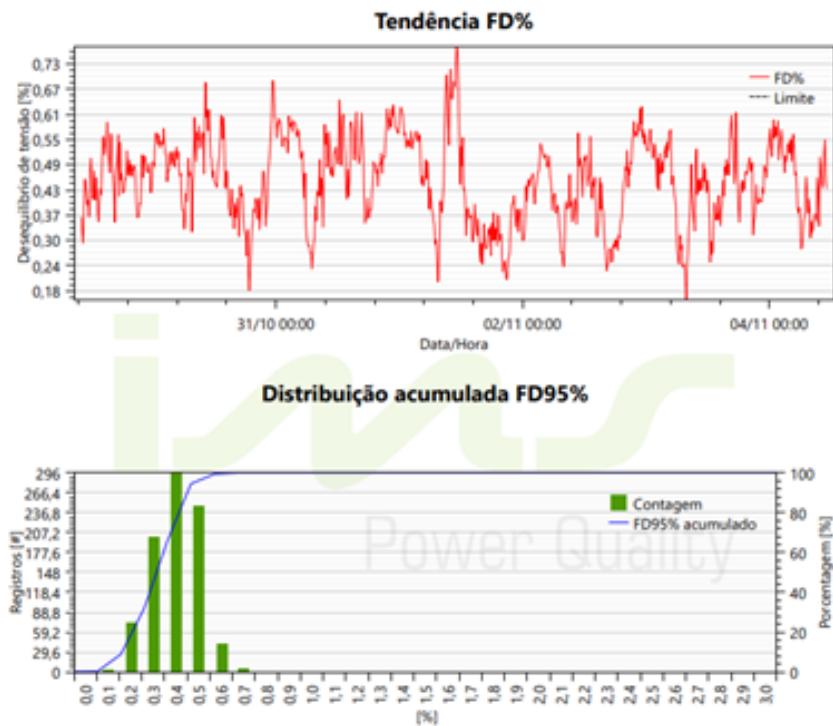
Portanto, a análise dos dados de frequência mostra que o sistema elétrico da subestação B está operando dentro dos parâmetros normais, sem indicações de falhas ou distúrbios que possam afetar a eficiência ou a segurança dos equipamentos conectados à rede.

4.6.3 Balanceamento de Cargas

O Desequilíbrio de Tensão (FD%) registrado ao longo do período de monitoramento revelou um valor médio de 0,45% e um valor máximo de 0,77%, com um valor de percentil 95% (FD95%) de 0,60%. Esses resultados estão bem abaixo do limite de referência de 3,00% estabelecido pelo PRODIST Módulo 8, o que indica que o desequilíbrio de tensão nas fases está dentro dos parâmetros normais e não representa um risco significativo para a operação do sistema elétrico.

No gráfico apresentado a seguir na Figura 31, a tendência do FD% ao longo do período monitorado é exibida, mostrando a variação diária do desequilíbrio de tensão. A linha vermelha representa a medição do FD% enquanto a linha tracejada marca o limite de 3,00%. Observa-se que os valores de FD% se mantêm bem abaixo desse limite, indicando que o sistema está operando de maneira estável e equilibrada em relação ao desequilíbrio de tensão.

Figura 31 - Tendência de FD% e FD95%.



Na distribuição acumulada FD95%, também ilustrada na Figura 31, é possível observar que o valor FD95% (0,60%) está significativamente abaixo do limite de 3,00%, indicando que a maior parte das medições de desequilíbrio de tensão ocorre em níveis muito baixos, dentro dos padrões ideais para uma operação eficiente.

Esses resultados indicam que a distribuição de cargas entre as três fases está relativamente equilibrada, minimizando a perda de energia no condutor neutro e garantindo a operação eficiente do transformador. A ausência de distúrbios significativos relacionados ao desequilíbrio de tensão também contribui para a qualidade de energia fornecida e para a durabilidade dos equipamentos elétricos conectados à subestação.

Os resultados obtidos evidenciam que, apesar do adequado平衡amento de cargas e da estabilidade da frequência observados, a principal preocupação reside na não conformidade crítica dos níveis de tensão em regime permanente. A sobretensão constante registrada no período de monitoramento representa o principal fator de risco para a confiabilidade e segurança operacional da subestação de 225kVA. Embora outros parâmetros como o desequilíbrio de tensão estejam bem controlados e dentro dos limites, a presença de tensão acima do recomendado exige atenção especial.

Essa situação demanda ações corretivas imediatas, que incluem ajustes no sistema de regulação de tensão, a verificação das configurações do transformador e a possível instalação

de dispositivos de estabilização de tensão. Implementar essas medidas é essencial para garantir que a qualidade da energia fornecida permaneça dentro dos padrões recomendados e que os equipamentos sensíveis não sejam prejudicados por níveis de tensão inadequados. Assim, a confiabilidade e a eficiência operacional da subestação serão asseguradas, minimizando riscos e prolongando a vida útil dos componentes do sistema.

4.6.4 Análise da Distorção Harmônica

A análise da distorção harmônica total (THD) foi realizada a partir dos dados de DTT% (Distorção Harmônica Total de Tensão) e DTT95% (percentil 95% da distorção harmônica total), conforme apresentado na Figura 32. Os valores máximos de DTT95% na fase Vc atingiram 3,74%, com os demais valores de THD nas fases Va e Vb se mantendo dentro dos limites normativos. Especificamente, os valores médios de distorção harmônica nas três fases ficaram em torno de 2,63% para Va, 2,78% para Vb e 2,88% para Vc.

Figura 32 - Indicadores de THD nas fases Va, Vb e Vc.

Indicadores	Va [%]			Vb [%]			Vc [%]		
DTT%	Média	2,63	2,78	2,88	Máximo	3,75	3,90	4,09	
DTTp%	Média	0,07	0,05	0,07	Máximo	0,15	0,10	0,14	
DTTi%	Média	2,58	2,63	2,81	Máximo	3,72	3,77	4,05	
DTT3%	Média	0,47	0,89	0,60	Máximo	0,80	1,30	1,01	

Indicadores	Limite [%]	Va [%]	Vb [%]	Vc [%]
DTT95%	10,0	3,38	3,54	3,74
DTTp95%	2,5	0,09	0,07	0,10
DTTi95%	7,5	3,36	3,44	3,68
DTT395%	6,5	0,65	1,16	0,84

Glossário

As distorções harmônicas são fenômenos associados a deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental.

DTT% - distorção harmônica total de tensão

DTTp% - distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3

DTTi% - distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3

DTT3% - distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3

95% - valor dos indicadores que foi superado em apenas 5% das 1008 leituras válidas

Ordem harmônica máxima - ordem máxima utilizada para o cálculo de DTT

Os limites dos indicadores são definidos pelo PRODIST para a seguinte faixa: Tensão nominal inferior a 2,3kV

Esses resultados estão dentro do limite de 10,0% de distorção estabelecido pelo PRODIST Módulo 8 para sistemas de baixa tensão, o que indica que as harmônicas de tensão não representam um risco significativo à qualidade da energia fornecida. Apesar da presença de cargas não lineares, comuns em ambientes hospitalares como tomógrafos, ressonância magnética, sistemas de iluminação com fontes chaveadas e inversores de frequência, as distorções observadas permanecem dentro dos parâmetros aceitáveis, assegurando que os equipamentos eletrônicos sensíveis não sejam prejudicados.

4.6.5 Flutuação de Tensão

A análise da flutuação de tensão foi realizada com base nos valores de Pst95%, que indicam a severidade de curta duração de flutuações no percentil 95%. Os resultados mostraram que os valores de Pst95% variaram entre 0,23 p.u. e 0,28 p.u. nas três fases monitoradas, conforme mostrado na Figura 33 e Figura 34. Apesar de alguns picos pontuais de flutuação terem sido observados ao longo do período de monitoramento, esses eventos não representaram risco significativo para a qualidade da energia fornecida.

Figura 34 - Tendência de Flutuação de Tensão (Pst) nas Fases A, B e C.

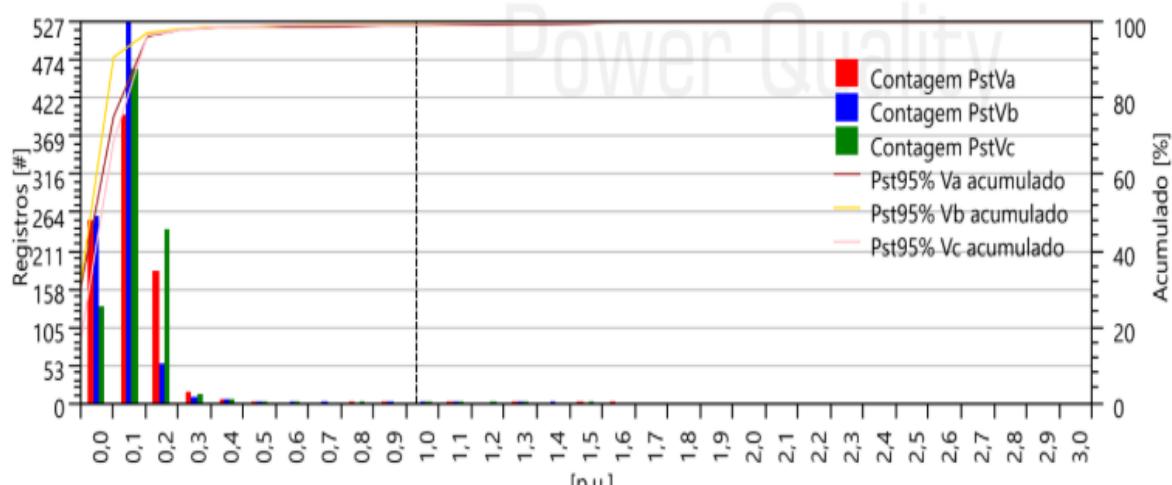
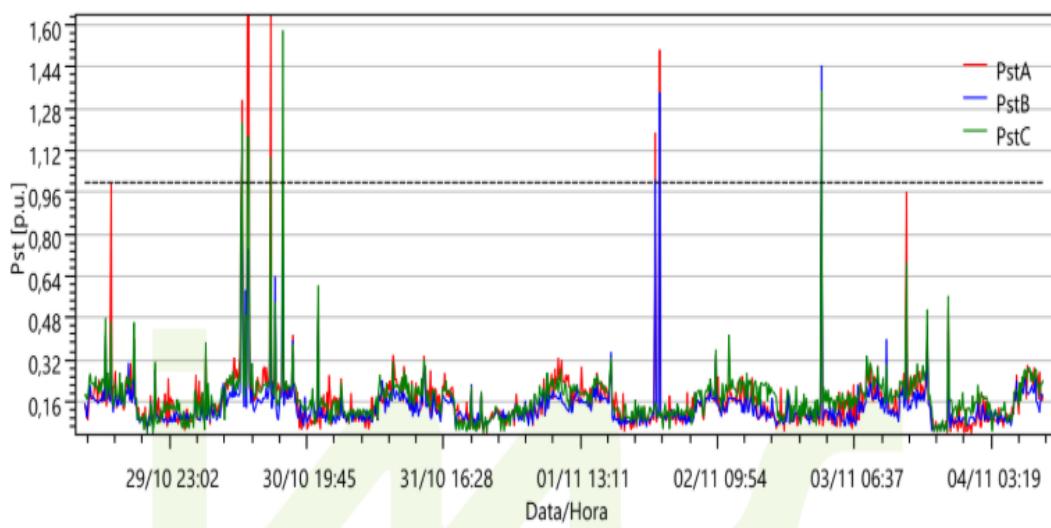


Figura 33 - Distribuição Acumulada de Pst95% nas Fases A, B e C.



Esses picos podem ter sido causados pela operação de equipamentos com cargas variáveis, como aparelhos de raios-X, equipamentos de ressonância magnética ou sistemas de ar-condicionado de grande porte, comuns em ambientes hospitalares. No entanto, os valores

de Pst95% permaneceram significativamente abaixo do limite de 1,00 p.u. estabelecido pelo PRODIST Módulo 8, que define os parâmetros de flutuação de tensão aceitáveis para sistemas de baixa tensão.

A flutuação de tensão, embora presente, não compromete o funcionamento dos equipamentos sensíveis à variação de tensão. A baixa severidade de flutuação observada, mesmo com os picos transitórios, sugere que as cargas com variação cíclica de potência não afetam de forma crítica sistemas de iluminação ou geram instabilidade em equipamentos eletrônicos. Esse comportamento é adequado para o ambiente hospitalar, onde a estabilidade da forma de onda é crucial para garantir a precisão e o bom funcionamento dos equipamentos de monitoramento e diagnóstico, especialmente em áreas críticas como Unidades de Terapia Intensiva (UTIs) e centros cirúrgicos.

4.6.6 Variações de Tensão de Curta Duração (VTCDs) e Impacto Operacional

A análise das variações de tensão de curta duração (VTCDs) é fundamental para compreender os riscos que podem comprometer a continuidade do fornecimento de energia e a segurança operacional de sistemas críticos. Durante o período de monitoramento, foram registrados 39 eventos de VTCD, incluindo afundamentos de tensão (Sags) e interrupções temporárias de tensão. Esses eventos têm o potencial de impactar diretamente a operação de equipamentos sensíveis, especialmente em ambientes hospitalares, onde a estabilidade de energia é essencial para o funcionamento de dispositivos médicos e sistemas de suporte à vida.

4.6.7 Total de Eventos e Afundamentos de Tensão (Sags)

A distribuição dos afundamentos momentâneos de tensão (AMT) foi observada nas três fases, com um total de 12 eventos na fase VaN, 8 eventos na fase VbN e 13 eventos na fase VcN, conforme ilustrado na Figura 35. Os afundamentos de tensão são caracterizados por quedas temporárias na amplitude da tensão eficaz, ocorrendo geralmente entre 0,1 e 0,9 p.u. em relação à tensão nominal. Tais variações podem ser causadas por diversos fatores, como a partida de motores de grande porte, a operação de equipamentos com elevada corrente de inrush, chaveamentos na rede da concessionária ou até faltas temporárias em circuitos adjacentes.

Figura 35 - Distribuição dos Afundamentos de Tensão nas Fases VaN, VbN e VcN.

VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO

Fase	Elevações		Afundamentos		Interrupções	
	Momentâneas	Temporárias	Momentâneos	Temporários	Momentâneas	Temporárias
VaN	0	0	12	1	0	1
VbN	0	0	8	1	0	1
VcN	0	0	13	1	0	1

Embora os afundamentos momentâneos não tenham causado desligamentos completos, sua ocorrência pode afetar o desempenho de equipamentos sensíveis, como sistemas de monitoramento computadorizado e controladores lógicos programáveis (CLPs), resultando em reinicializações indesejadas ou falhas temporárias nos sistemas, que são críticos para o funcionamento de unidades de terapia intensiva (UTIs), centros cirúrgicos e outros ambientes hospitalares sensíveis.

4.6.8 Interrupção Crítica de Tensão

Durante o período monitorado, também foi observada uma interrupção temporária de tensão (ITT), que afetou simultaneamente todas as três fases (VaN, VbN, VcN) com uma duração de aproximadamente 40,8 segundos, conforme ilustrado na Figura 36. Este evento superou o limite de 3 segundos estabelecido pelo PRODIST Módulo 8 para interrupções momentâneas, classificando-se como interrupção temporária.

Figura 36 - Registro da Interrupção Temporária de Tensão.

Mínimo Afundamento (nível)				Mínimo Afundamento (nível)			
Fase	Data/Hora	Valor [V]	Duração [s]	Fase	Data/Hora	Valor [V]	Duração [s]
VaN	31/10/2025 23:32:43	152,7	0,14	VaN	01/11/2025 00:27:47	0,01	40,84
VbN	01/11/2025 00:04:59	171,67	0,13	VbN	01/11/2025 00:27:47	0,01	40,85
VcN	31/10/2025 23:30:56	115	0,05	VcN	01/11/2025 00:27:47	0,02	40,86

Interrupção mais longa (tempo)				Interrupção mais longa (tempo)			
Fase	Data/Hora	Valor [V]	Duração [s]	Fase	Data/Hora	Valor [V]	Duração [s]
VaN	---	---	---	VaN	01/11/2025 00:27:47	0,01	40,76
VbN	---	---	---	VbN	01/11/2025 00:27:47	0,01	40,77
VcN	---	---	---	VcN	01/11/2025 00:27:47	0,02	40,76

A análise dessa interrupção, com base na curva ITIC (Information Technology Industry Council), coloca o evento na Região F, considerada crítica para sistemas eletrônicos. Esse tipo de interrupção pode ter consequências graves, especialmente no ambiente hospitalar, onde a perda de energia por mais de 15 segundos (o limite máximo permitido pela ABNT NBR 13534 para restabelecimento de cargas essenciais) pode resultar em falhas nos sistemas de suporte à vida, como ventiladores, monitores e outros equipamentos vitais. Caso os sistemas de geradores de emergência ou nobreaks não açãoem corretamente, áreas críticas do hospital, como UTIs e centros cirúrgicos, ficam vulneráveis à perda total de alimentação, comprometendo a segurança dos pacientes.

4.6.9 Análise de Carga e Demanda

A demanda ativa registrada durante o período de monitoramento apresentou uma variação significativa, refletindo o padrão típico de consumo de energia de uma subestação que atende a um ambiente hospitalar. Conforme o gráfico da demanda ativa ilustrado na Figura 37, observa-se que os picos de carga ocorrem predominantemente durante o dia, com valores atingindo até 23.708,30W (aproximadamente 23,71kW), o que corresponde a cerca de 10,5% da capacidade nominal do transformador de 225kVA, considerando um fator de potência próximo à unidade. Essa carga pontual não representa risco de sobrecarga, uma vez que a subestação está operando com uma margem de segurança adequada.

Figura 37 - Curva de demanda ativa de um dos circuitos da subestação B.



Os picos diurnos são característicos de ambientes hospitalares e estão associados ao funcionamento simultâneo de diversos sistemas e equipamentos essenciais, como tomógrafos, ressonância magnética, aparelhos de raios-X, climatização, iluminação e sistemas de

laboratório. O gráfico também evidencia uma estabilização da demanda durante a noite, momento em que a carga é reduzida, especialmente por conta da menor utilização dos serviços de diagnóstico e a diminuição da atividade médica.

Embora este gráfico represente a carga alimentada pela recepção principal e pela ala de pediatria, que são áreas com maior fluxo de pessoas e equipamentos, é importante destacar que a subestação não está alimentando apenas esse circuito. O total de 187,74kW registrado durante o período de monitoramento reflete a carga de todos os circuitos alimentados pela subestação. Esse valor indica que a subestação ainda opera com boa margem para suportar picos de demanda em outros setores do hospital, como áreas de UTI e centros cirúrgicos, além de permitir expansões futuras na demanda sem comprometer a operação.

O acompanhamento da curva de carga também sugere que o transformador está operando dentro de seus limites, com a capacidade instalada sendo suficiente para atender à variação de carga, mesmo durante os períodos de maior consumo. No entanto, é fundamental que a subestação seja monitorada regularmente para garantir que a capacidade total de fornecimento de energia seja sempre mantida dentro dos limites seguros, principalmente em função do grande número de equipamentos médicos e sistemas críticos envolvidos na operação hospitalar.

A análise da demanda ativa e do comportamento de carga na subestação indica que, apesar de operar dentro da capacidade nominal, existem oportunidades de melhoria que podem ser implementadas para garantir maior eficiência e confiabilidade no fornecimento de energia. Uma sugestão importante é a análise detalhada das áreas críticas, como UTIs e centros cirúrgicos, para avaliar a necessidade de reforçar a capacidade de fornecimento nessas zonas, garantindo que os equipamentos essenciais tenham energia ininterrupta.

Além disso, a otimização dos sistemas de climatização e iluminação, por meio de controles automáticos baseados na ocupação dos ambientes, pode reduzir o consumo de energia sem comprometer o conforto e a operação dos serviços. Por fim, o planejamento de expansões futuras da instalação hospitalar deve considerar o crescimento da demanda, com projeções baseadas na adição de novos equipamentos e áreas, de modo que as modificações necessárias na infraestrutura elétrica possam ser realizadas de maneira preventiva, sem sobrecarregar o sistema atual. Dessa forma, com ajustes na gestão de cargas e investimentos em infraestrutura, é possível melhorar a eficiência energética e a segurança operacional da subestação, garantindo o pleno funcionamento das operações hospitalares.

4.6.10 Análise Termográfica dos Quadros de Distribuição

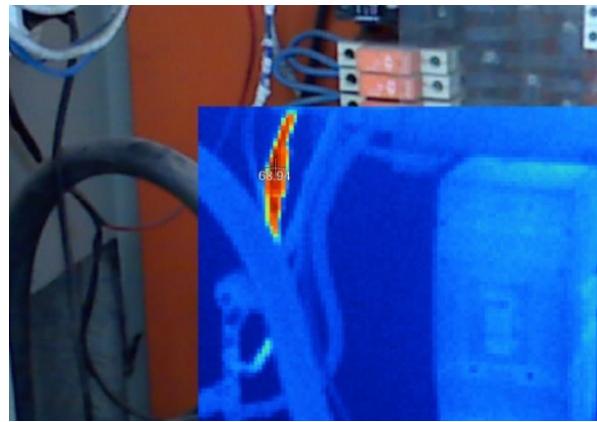
A inspeção termográfica foi realizada nos QGBT's das duas subestações utilizando uma câmera termográfica infravermelha Fluke, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 15572 – Termografia – Inspeções em sistemas elétricos, com o objetivo de identificar aquecimentos anormais, falhas de conexão, sobrecargas localizadas e indícios de degradação da isolação. As imagens obtidas foram avaliadas considerando a uniformidade térmica dos componentes, as diferenças de temperatura entre elementos adjacentes (ΔT), a distribuição de carga entre fases e a integridade física dos condutores e terminais. Conforme previsto na norma, os pontos identificados foram classificados em três níveis: Normal, quando ΔT é inferior a 10°C; Atenção, quando ΔT se encontra entre 10°C e 20°C; e Crítico, quando ΔT ultrapassa 20°C, exigindo intervenção imediata. Essa classificação orienta a interpretação dos resultados apresentados nos itens seguintes, permitindo identificar o grau de severidade dos pontos avaliados antes de se estabelecer, ao final da análise, a comparação entre as subestações e as recomendações de melhoria.

4.6.11 Identificação de Pontos Quentes

Durante a análise do QGBT 01, observou-se a presença de um ponto de aquecimento significativo localizado especificamente em uma emenda de cabo do circuito de saída, atingindo aproximadamente 68,94°C, conforme ilustrado na Figura 38. A elevação térmica registrada indica a ocorrência de aumento da resistência elétrica na região da emenda, condição que pode ser atribuída principalmente a aperto insuficiente, oxidação dos elementos de conexão, degradação mecânica da emenda ou ainda subdimensionamento do conector utilizado.

Esses fatores intensificam o efeito Joule, resultando em dissipação térmica anormal, situação amplamente descrita na literatura técnica e prevista em normas de inspeção termográfica, como a ABNT NBR 15572, que classifica esse tipo de ocorrência como potencialmente crítica quando o aquecimento supera os limites aceitáveis para conexões elétricas.

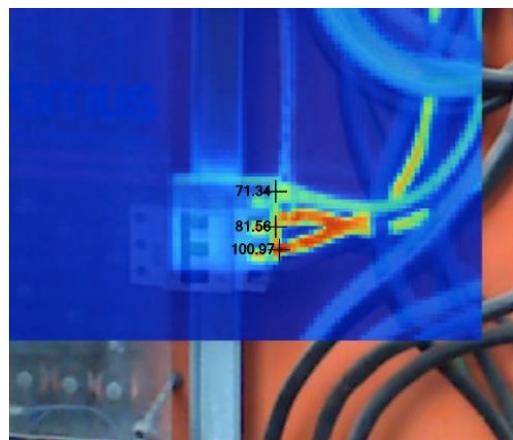
Figura 38 - Ponto quente na emenda de cabo no circuito de saída do QGBT 01.



Assim, o ponto identificado requer atenção imediata, pois representa risco de degradação progressiva da isolamento, perda de continuidade elétrica e possível interrupção não programada do sistema.

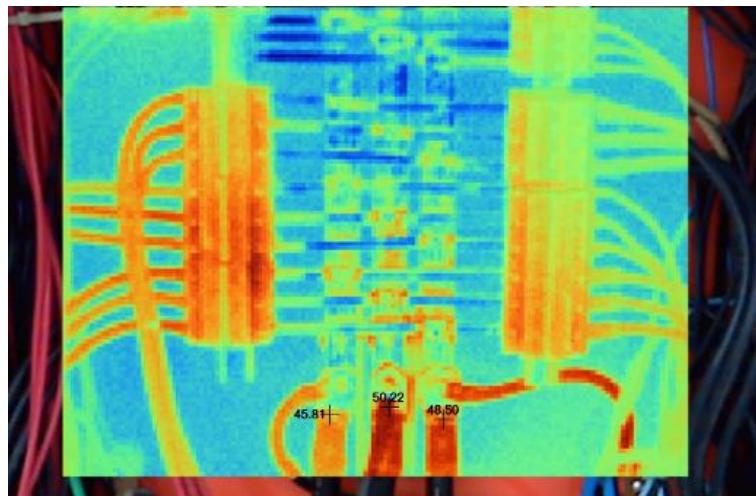
No QGBT 02 foram observados valores de temperatura ainda mais elevados, variando entre 71°C e 100,97°C nos bornes de entrada e saída do disjuntor principal, caracterizando uma condição operacional crítica, conforme apresentado na Figura 39.

Figura 39 - Aquecimento crítico nos terminais do disjuntor no QGBT 02.



A Subestação B apresentou aquecimentos distribuídos principalmente ao longo dos barramentos verticais e dos pontos de derivação, como evidenciado na Figura 40. Os valores medidos na região — variando entre aproximadamente 45,81°C e 50,22°C — situam-se acima do esperado para operação normal, indicando início de não conformidades térmicas. Embora as temperaturas sejam inferiores às encontradas na Subestação A, ainda representam elevação significativa em relação ao restante do conjunto, evidenciando a presença de resistência anormal em componentes específicos.

Figura 40 - Ponto de aquecimento nos barramentos do QGBT da Subestação B.



A distribuição do calor ao longo das conexões sugere fenômenos típicos de degradação mecânica e elétrica, incluindo desgaste progressivo dos terminais, perda de pressão de contato e possíveis falhas no processo de crimpagem ou aperto dos condutores. As áreas mais quentes, localizadas nos pontos de derivação inferior e nos barramentos laterais, denotam acúmulo de resistência que, caso não tratado, pode evoluir para falhas severas, como danos na isolação ou interrupções não programadas.

Esses níveis de aquecimento indicam aumento expressivo da resistência elétrica nos pontos analisados, situação que pode estar associada a conexões frouxas, degradação dos barramentos, desgaste natural dos terminais ou ainda desbalanceamento da carga entre fases, fatores que intensificam a dissipação térmica por efeito Joule. A combinação desses elementos eleva substancialmente o risco de carbonização da isolação dos condutores, perda de continuidade elétrica e potencial ocorrência de falha abrupta ou princípio de incêndio, demandando intervenção imediata para restabelecimento da confiabilidade operacional do quadro.

4.6.12 Classificação das Análises Realizadas nas Duas Subestações

Na Subestação A, tanto o QGBT 01 quanto o QGBT 02 apresentaram anomalias de maior severidade. No QGBT 01, o ponto quente localizado na emenda de cabo atingiu cerca de 68,94°C, valor compatível com classificação Crítica, pois representa ΔT superior ao limite de segurança previsto para conexões de baixa tensão. Já no QGBT 02, os bornes do disjuntor principal apresentaram temperaturas variando entre 71°C e 100,97°C, sendo os valores mais

elevados encontrados em toda a inspeção, o que caracteriza condição altamente crítica, com risco imediato de degradação da isolação e falha funcional do equipamento.

Na Subestação B, embora as temperaturas observadas tenham sido inferiores às registradas na outra subestação, variando entre 45°C e 50°C, diversas regiões analisadas também se enquadram na categoria Atenção, pois apresentaram ΔT superior a 10°C. Esses pontos indicam início de degradação na integridade das conexões e tendência de evolução para condições mais severas caso não haja intervenção preventiva.

A análise consolidada demonstra que ambas as subestações apresentam falhas recorrentes de conexão, envelhecimento de componentes e ausência de manutenção preventiva sistematizada, fatores que contribuem diretamente para o surgimento de anomalias térmicas. Embora a Subestação A apresente maior criticidade, a Subestação B também mostra sinais evidentes de desgaste, reforçando a necessidade de ações corretivas imediatas e preventivas.

4.6.13 Intervenções

Com base nas anomalias identificadas nas duas subestações, torna-se essencial a adoção de um conjunto de ações corretivas e preventivas capazes de restabelecer as condições adequadas de operação e reduzir a probabilidade de falhas futuras. A primeira medida recomendada é a realização imediata do reaperto e da substituição dos terminais, conectores e emendas que apresentaram temperaturas críticas durante a inspeção termográfica. Componentes que exibem oxidação, deformação, perda de pressão mecânica ou evidências de degradação devem ser substituídos para garantir a continuidade elétrica e eliminar pontos de resistência elevada. Para garantir a segurança operacional, a utilização de ferramentas de torque calibradas deve ser adotada, de modo a assegurar que todas as conexões estejam bem apertadas, evitando as falhas comumente originadas por conexões frouxas que resultam em pontos quentes.

Além disso, é fundamental revisar e padronizar as técnicas de conexão utilizadas nos quadros, assegurando que todos os condutores, emendas e terminais estejam de acordo com as normas aplicáveis (como NBR 5410 e as orientações da concessionária). A padronização deve incluir a utilização de conectores e terminais de alta resistência, bem como a implementação de uma rotina de treinamentos para os profissionais envolvidos na montagem e manutenção do sistema. Esses cuidados vão garantir que as conexões sejam realizadas de maneira adequada e facilitarão as inspeções e manutenções futuras.

Uma ação necessária é a verificação do balanceamento de cargas entre fases. Diferenças significativas de corrente, caso existam, devem ser corrigidas para evitar sobrecargas localizadas que contribuem para a elevação térmica e aceleram a degradação dos componentes. A análise de corrente em regime permanente permitirá identificar possíveis desequilíbrios, possibilitando a redistribuição de circuitos de maneira mais eficiente. Esse ajuste é crucial, considerando o impacto que um balanceamento inadequado pode ter na operação segura e eficiente da subestação.

A implementação de um programa de manutenção preventiva estruturado é igualmente essencial. Inspeções termográficas periódicas trimestrais ou semestrais conforme a criticidade das instalações permitirão monitorar a evolução térmica dos quadros e identificar precocemente qualquer tendência de aumento de temperatura. A análise histórica dos dados coletados deve ser incorporada ao programa de manutenção para gerar um histórico comparativo, permitindo ações corretivas de forma mais assertiva.

A modernização dos quadros elétricos nas áreas mais críticas também é uma proposta relevante. Substituições de componentes deteriorados ou defasados, como barramentos e conectores, contribuirão significativamente para a segurança e confiabilidade do sistema. A substituição de dispositivos de proteção e barramentos envelhecidos vai reduzir os riscos de falhas e melhorar o desempenho do sistema.

Por fim, é necessário garantir que equipamentos críticos, como geradores e no-breaks, sejam mantidos em bom estado de funcionamento, com testes periódicos para assegurar que esses sistemas possam assumir a carga no caso de falhas no fornecimento de energia. A inspeção e manutenção regular desses dispositivos são essenciais, especialmente em áreas sensíveis como UTIs e centros cirúrgicos, onde a continuidade do fornecimento de energia é vital para o funcionamento correto dos sistemas de suporte à vida.

A adoção dessas medidas irá garantir a continuidade da operação da subestação, reduzir os riscos de falhas e melhorar a confiabilidade geral do sistema elétrico, com um foco claro na segurança dos equipamentos e no desempenho eficiente da instalação hospitalar.

4.7 Execução das Melhorias e Implementações

Após a análise detalhada das condições operacionais das subestações e a identificação de falhas e pontos críticos, foi iniciada a execução das melhorias, com foco na subestação B, que apresentou maior necessidade de intervenção. A seguir, descrevem-se as principais ações corretivas implementadas para restaurar a conformidade e garantir a operação eficiente e segura do sistema elétrico.

A primeira medida adotada foi a substituição do QGBT da subestação B, que apresentava diversas falhas estruturais e térmicas, comprometendo a segurança do sistema e a qualidade de energia fornecida. O novo quadro foi projetado e dimensionado de acordo com as necessidades reais da carga instalada no hospital, e agora conta com barramentos adaptados para suportar disjuntores do modelo caixa moldada, que são mais adequados para o ambiente hospitalar. Além disso, o barramento foi protegido com termorretrátil e policarbonato de acrílico, visando evitar toques acidentais e garantir maior segurança nas manutenções. A Figura 41 ilustra o novo QGBT, destacando a estrutura do barramento e as melhorias implementadas.

Figura 41 - QGBT da subestação B com novos barramentos adaptados.



A infraestrutura de distribuição de energia foi aprimorada com a instalação de eletrocalhas para a organização dos circuitos, facilitando a identificação dos cabos e garantindo maior eficiência no espaço. Todos os cabos foram instalados adequadamente, e a isolação foi realizada com fita isolante de alta fusão, assegurando a integridade das conexões. As emendas entre os cabos foram realizadas utilizando luvas de compressão, que garantem um contato adequado e a integridade das ligações elétricas, de acordo com a seção dos cabos. A Figura 42 mostra a organização final da infraestrutura elétrica, evidenciando a aplicação de eletrocalhas e a organização dos circuitos.

Figura 42 - Instalação de eletrocalhas para melhor organização dos circuitos.



As intervenções também incluem o planejamento de uma identificação clara e sistemática dos circuitos no novo QGBT, o que facilita a operação e a manutenção do sistema. Cada circuito será rotulado de acordo com os setores alimentados, contribuindo para uma gestão mais eficiente da carga elétrica, além de reduzir o risco de erros durante as intervenções ou expansões futuras. A Figura 3 ilustra a fase de organização e etiquetagem dos circuitos do novo QGBT.

Essas ações visam aumentar a confiabilidade do sistema elétrico da subestação, reduzir os riscos de falhas e garantir a continuidade do fornecimento de energia para áreas críticas do hospital, como UTIs, centros cirúrgicos e áreas de diagnóstico. A execução está em andamento, com as etapas finais focadas na conclusão da identificação dos circuitos e na verificação de todos os componentes para assegurar que as normas de segurança e os requisitos técnicos sejam plenamente atendidos.

Essa etapa de execução não só responde às falhas identificadas nas análises termográficas e de balanceamento de carga, mas também serve como um exemplo de boas práticas de manutenção e aprimoramento de sistemas elétricos em ambientes críticos, como hospitais, onde a continuidade e a qualidade do fornecimento de energia são fundamentais para a segurança dos pacientes e a eficácia dos procedimentos médicos.

4.8 Idealização de Reforma e Melhoria da Infraestrutura

Após a execução das melhorias na subestação de 225kVA, as propostas de intervenção também foram apresentadas para a subestação de 150kVA, com o objetivo de corrigir as falhas operacionais e estruturalmente adequar o sistema elétrico às exigências de segurança e eficiência. O diagnóstico realizado na subestação de 150kVA revelou diversos pontos críticos, como o desbalanceamento de cargas, aquecimento excessivo nas conexões e a necessidade de modernização do QGBT. Além disso, a qualidade de energia fornecida à instalação hospitalar apresentou falhas em alguns parâmetros, que comprometem a segurança e a continuidade do fornecimento de energia para as áreas críticas do hospital.

Com base nas análises realizadas, a idealização de reformas e melhorias para a subestação de 150kVA inclui a substituição do QGBT atual por um modelo mais moderno, com barramentos adequados e a capacidade de suportar disjuntores do modelo caixa moldada. Esse novo quadro será dimensionado de acordo com as cargas reais da subestação, considerando o consumo crescente e as futuras expansões. A instalação de eletrocalhas para melhor organização dos circuitos e a utilização de materiais de alta qualidade para a isolamento dos cabos e conexões são medidas fundamentais para garantir a confiabilidade e a segurança do sistema.

Além disso, será necessário realizar o balanceamento das fases para corrigir os desniveis de corrente identificados nas medições, redistribuindo as cargas de forma equilibrada entre as fases e minimizando o risco de sobrecarga. O reaperto dos terminais, o uso de luvas de compressão para emendas e a padronização das técnicas de conexão também serão ações essenciais para eliminar pontos de aquecimento e melhorar a eficiência do sistema.

Uma das propostas de melhoria adicionais inclui a centralização das cargas da subestação de 150kVA, para que ela possa alimentar cargas futuras e novas expansões do hospital, garantindo que a capacidade da subestação seja otimizada de forma eficiente. Também será realizada a substituição do cabo de alimentação geral, com um dimensionamento adequado para suportar as cargas futuras e garantir que o sistema permaneça seguro e confiável ao longo do tempo. A instalação de sensores de temperatura nas conexões críticas permitirá monitoramento em tempo real e facilitará intervenções rápidas em caso de falhas térmicas. As inspeções termográficas regulares, a utilização de ferramentas de torque calibradas para garantir o aperto adequado dos terminais e a implementação de um sistema de manutenção preventiva estruturado são práticas essenciais que contribuirão para a confiabilidade a longo prazo da subestação.

Essas ações visam não apenas corrigir os problemas identificados, mas também proporcionar maior segurança, eficiência energética e longevidade do sistema elétrico, o que é de extrema importância para um ambiente hospitalar, onde a continuidade do fornecimento de energia é crítica para a operação de equipamentos médicos e sistemas de suporte à vida.

4.9 Aceitação das Propostas de Melhoria

Os dirigentes do hospital analisaram e aceitaram as propostas de melhorias apresentadas para as subestações, reconhecendo a importância das intervenções para a segurança operacional e a qualidade de energia fornecida às áreas críticas. O planejamento futuro da reforma da subestação de 150 kVA será alinhado às ações já em andamento na subestação de 225 kVA, com foco na implementação das melhorias estruturais, como a substituição do QGBT, o balanceamento das cargas e a modernização da infraestrutura.

Além disso, a execução de ações corretivas de manutenção preventiva e a adoção de novos sistemas de monitoramento contínuo para a temperatura e qualidade de energia são elementos essenciais do plano. Esses esforços serão executados de forma planejada, garantindo que o sistema elétrico do hospital opere de forma segura, eficiente e dentro dos padrões exigidos pela norma técnica, proporcionando um fornecimento de energia confiável e estável para todas as áreas do hospital.

O objetivo é completar as intervenções nas duas subestações de forma coordenada, com um cronograma de execução que minimize a interferência nas operações diárias do hospital e assegure a continuidade dos serviços médicos essenciais. A equipe de gestão do hospital já está mobilizada para dar sequência a essas reformas, implementando um plano de ação para garantir a execução das melhorias de forma eficaz e com o menor impacto possível para as operações.

Capítulo 5

CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar as condições operacionais das subestações de 150kVA e 225kVA que alimentam o hospital, com foco na qualidade da energia elétrica fornecida, na identificação de falhas críticas, e na proposição de melhorias para garantir a continuidade e a segurança das operações. Durante as inspeções, foram identificados pontos críticos relacionados à qualidade de energia, desbalanceamento de cargas, aquecimento excessivo em conexões e disjuntores, além de falhas nos sistemas de proteção elétrica que comprometem a eficiência e segurança do sistema elétrico.

As análises realizadas nas subestações revelaram problemas significativos, como o desbalanceamento de fases e a presença de pontos quentes, que indicam sobrecarga e risco de falhas nos componentes elétricos. O aquecimento excessivo nas conexões e terminais, além de pontos críticos de resistência elétrica, afetaram a longevidade dos componentes, exigindo a realização de intervenções corretivas imediatas. A qualidade de energia também foi comprometida por sobretensões em certos períodos, afetando diretamente equipamentos sensíveis como sistemas de imagem, iluminação e outros dispositivos médicos essenciais para o hospital.

Como resposta a essas falhas, foram implementadas ações corretivas significativas na subestação de 225kVA, com destaque para a substituição do QGBT por um modelo mais moderno, adequado para receber disjuntores do modelo caixa moldada, e a instalação de eletrocalhas para organizar os cabos, o que contribui para uma maior segurança e eficiência no gerenciamento da distribuição de energia. Essas intervenções ajudaram a eliminar pontos críticos de aquecimento, melhorar a continuidade do fornecimento de energia e garantir a confiabilidade do sistema elétrico nas áreas mais sensíveis do hospital, como UTIs e centros cirúrgicos.

Para a subestação de 150kVA, as análises também apontaram a necessidade de modernização da infraestrutura. A recomendação inclui a substituição do QGBT, a instalação de sensores de temperatura nas conexões críticas, e a correção do balanceamento de carga

para distribuir as correntes de forma mais equilibrada entre as fases. Essas ações são essenciais para evitar sobrecargas localizadas e falhas nos componentes, além de garantir a segurança e eficiência energética do sistema. Além disso, luvas de compressão serão utilizadas para garantir a qualidade das emendas, e a utilização de fita isolante de alta fusão garantirá uma maior segurança nas conexões.

Uma das melhorias mais importantes será a centralização das cargas, para permitir que a subestação de 150kVA suporte a demanda de carga futura, com a redistribuição adequada das cargas, permitindo o crescimento do hospital sem sobrecarregar a infraestrutura elétrica existente. A substituição do cabo de alimentação geral também será realizada, garantindo que o sistema seja capaz de suportar as demandas futuras de forma segura.

As propostas de melhoria discutidas neste trabalho não se limitam às intervenções corretivas já realizadas, mas também envolvem a implementação de um sistema de manutenção preventiva estruturada. Inspeções regulares, como inspeções termográficas periódicas, ajudarão a monitorar a evolução das condições térmicas das instalações e detectar problemas antes que se tornem críticos. O monitoramento contínuo de temperatura e o uso de ferramentas de torque calibradas para garantir o aperto adequado dos terminais também são medidas fundamentais para a melhoria da eficiência e segurança do sistema.

Além disso, a adoção de um programa de monitoramento contínuo de energia e a instalação de sensores de temperatura nas conexões críticas permitirão uma resposta rápida a eventuais anomalias, enquanto a padronização das técnicas de conexão ajudará a garantir a segurança de longo prazo do sistema elétrico.

Com a implementação dessas melhorias, espera-se não apenas a correção das falhas já identificadas, mas também a modernização das subestações de maneira que atendam às necessidades do hospital de forma mais eficaz, segura e sustentável. As reformas, aliadas à manutenção preventiva, permitirão que o sistema elétrico opere com mais eficiência e com um maior grau de segurança, assegurando o fornecimento contínuo de energia para os setores mais críticos do hospital.

Portanto, as ações realizadas e as propostas de melhorias não só visam corrigir os problemas estruturais e operacionais das subestações de 150kVA e 225kVA, mas também criar um ambiente mais seguro, eficiente e sustentável para as operações do hospital, com foco na continuidade do atendimento médico e na segurança dos pacientes.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. Instalações elétricas em hospitais e instituições de saúde. 2015. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo-instalacoes_eletricas_em_hospitais_e_instituicoes_de_saude.pdf. Acesso em: 05 jun. 2025.

ALVES, Matheus Amaral. Análise do desempenho de motores de indução trifásicos operando com tensões desequilibradas. 2022. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 13534: Instalações elétricas de baixa tensão – requisitos específicos para instalação em estabelecimentos assistenciais de saúde. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 13534: Instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde: requisitos para segurança. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR IEC 60364-7-710: Instalações elétricas de baixa tensão – Parte 7-710: Requisitos para instalações e locais especiais – Locais médicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR ISO 8528-5:2021 — Conjuntos geradores de corrente alternada acionados por motores de combustão interna de ignição por compressão — Parte 5: Classificação de desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15751: Sistemas de alimentação ininterrupta de energia (SAE) — Prescrições de segurança. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5419-1: Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 1: Princípios gerais. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5462: Confiabilidade e mantinabilidade: terminologia. Rio de Janeiro, 1994.

BRAGA, Newton C. Detectando harmônicas em sinais AC (INS365). Instituto Newton C. Braga. Disponível em: <https://newtoncbraga.com.br/usando-os-instrumentos/11916-detectando-harmonicas-em-sinais-ac-ins365.html>. Acesso em: 20 set. 2025.

CASTELLARI, S. Instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde. 2013. Capítulo III. Disponível em: http://www.rdbender.com.br/artigos/Artigo_Instalacoes_Eletricas_em_EAS.pdf. Acesso em: 20 ago. 2025.

CLEMIG. Chave fusível polimérica. Disponível em: <https://clemig.com.br/produto/chave-fusivel-polimerica/>. Acesso em: 22 ago. 2025.

DIAS, G. A. D. Harmônicas em Sistemas Industriais. 2. ed. Porto Alegre: Edipucrs, 2002.

EATON. Powering healthcare – Continuous uptime in the medical and institutional facilities industry. Dublin: Eaton Electrical Sector, 2018. Disponível em: <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/markets/it-channel/healthcare/eaton-continuous-uptime-healthcare-industry-brochure-en-us.pdf>. Acesso em: 15 abril 2025.

EQUATORIAL ENERGIA. NT.002.EQTL: fornecimento de energia elétrica em média tensão (13,8 kV, 23,1 kV e 34,5 kV). Revisão 09. Teresina: Equatorial Energia Piauí, 2025.

FILHO, João Mamede. Subestações de alta tensão. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

GAZZONI, F. R. et al. Estudo da qualidade da energia elétrica em equipamentos eletromédicos de centros hospitalares. Revista Brasileira de Energia, v. 5, n. 2, p. 56-65, 2018. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/14959>. Acesso em: 18 nov. 2025.

GOMES, Alfredo; et al. Sistemas Elétricos de Potência. São Paulo: Érica, 2015.

HANADA, Eisuke; ITOGA, Shuuya; TAKANO, Kyoko; KUDOU, Takato. Investigations of the quality of hospital electric power supply and the tolerance of medical electric devices to voltage dips. Journal of Medical Systems, v. 31, n. 3, p. 219-223, 2007. DOI: 10.1007/s10916-007-9058-z. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/6216104_Investigations_of_the_Quality_of_Hospital_Electric_Power_Supply_and_the_Tolerance_of_Medical_Electric_Devices_to_Voltage_Disps. Acesso em: 18 maio. 2025.

HEINE, P.; LEHTONEN, M. Voltage Sag Distributions Caused by Power System Faults. IEEE Transactions on Power Systems, v. 18, n. 4, p. 1367–1373, 2003.

HOFFMANN, Alessandra Bortolotto Garbelotti. O diagnóstico de transitórios oscilatórios em sistemas de distribuição de média tensão pelo uso da morfologia matemática e da busca por correspondência. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/29184>. Acesso em: 27 set. 2025.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). IEC 60076 – Power Transformers. Genève, diversas partes e anos.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). IEC 60364-5-54: Electrical installations of buildings – Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements and earthing conductors. 2011.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). IEC 60364-7-710: Low-voltage electrical installations – Part 7-710: Requirements for special installations or locations – Medical locations. Geneva: IEC, 2021.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). IEC 60831-1: Shunt power capacitors – Part 1: Specifications for fixed capacitors for power factor correction. 2014.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). IEC 61439-1: Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: General rules. 2011.

KARMAN, J. B. Manutenção e Segurança Hospitalar Preditivas. 1. ed. São Paulo: Estação Liberdade, 2011. 39-109, 175-226 p.

LIMA, D. L. Análise da qualidade e segurança elétrica em sala cirúrgica. 2017. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2017.

LOGTEK. Quadro elétrico QGBT. Disponível em: <https://www.logtek.com.br/quadro-elettrico-qgbt>. Acesso em: 22 ago. 2025.

MACHADO, L. S. et al. Instalações elétricas hospitalares: manutenção e projeto em ambientes de saúde. REINPEC, v. 7, n. 1, p. 1-12, 2021.

MESH ENGENHARIA. Disponível em: <https://meshengenharia.com/>. Acesso em: 22 ago. 2025.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Normas e orientações para instalações elétricas em ambientes hospitalares. Brasília, 2013.

MORALES, Victor Hugo de Freitas. Manutenção e segurança elétrica hospitalar: aplicação e gerenciamento de meios de proteção e medidas de segurança contra choques elétricos. 2017. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Biomédica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

SANTOS, J. L. A.; AZAMBUJA, M. S. de. Manutenção preventiva em ambientes hospitalares. Revista Produção Online, v. 22, n. 1, p. 2594-2615, 2022. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/download/4522/2164>. Acesso em: 18 nov. 2025.

SIEMENS. **Transformadores de corrente.** Disponível em: <https://www.siemens.com.br/transformadores-de-corrente>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SILVEIRA, William Dias da; DIAS, Mikaela P. Alves. Dimensionamento, especificações e aplicação de disjuntores elétricos sendo o equipamento de proteção e manobra mais viável e utilizado. 2018. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_disjuntores.pdf. Acesso em: 20 ago. 2025.

SOUZA, Antonio Eduardo de. Dispositivos de proteção em sistemas elétricos. [s. l.], 2018.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – FEIS. Desequilíbrios em redes elétricas. In: QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA. Apostila, 2016.

WEG. Disponível em: <https://www.weg.net>. Acesso em: 22 ago. 2025.

WEG. Transformadores. Disponível em: <https://www.weg.net/transformadores>. Acesso em: 22 ago. 2025.

ZIMMERMANN, W. Sistemas Elétricos de Potência: Análise e Projetos. São Paulo: Érica, 2015.