



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa
Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica

LUCAS BORGES RIBEIRO

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ENERGIA
ELÉTRICA NO CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE
BOM JESUS DA LAPA**

Bom Jesus da Lapa – BA
Dezembro de 2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA

Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa

Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica

Lucas Borges Ribeiro

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA
NO CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE BOM JESUS DA LAPA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Profa. Dra. Stefânia de Oliveira Silva

Coorientadora: Profa. Ma. Andressa Pereira Oliveira

Bom Jesus da Lapa – BA

Dezembro de 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

R484 Ribeiro, Lucas Borges Ribeiro.

Monitoramento da qualidade de energia elétrica no Centro Multidisciplinar De Bom Jesus Da Lapa. / Lucas Borges Ribeiro. – 2023.

64f.: il.

Orientador (a): Profa. Dra. Stefânia de Oliveira Silva.

Coorientador (a): Profa. Ma. Andressa Pereira Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) –
Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa. Bom Jesus da Lapa, BA, 2023.

1. Energia elétrica. 2. Qualidade de energia. 3. Distúrbios elétricos. I. Silva, Stefânia de Oliveira. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro Multidisciplinar da Bom Jesus da Lapa. III. Título.

CDD 343.0929



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa
Colegiado de Engenharia Elétrica

ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos vinte e um dias do mês de dezembro de dois mil e vinte e três, às nove horas e dois minutos, em sessão pública no Auditório, deste Centro, na presença da Banca Examinadora presidida pela Professora Stefânia de Oliveira Silva e composta pelos examinadores: 1- Andressa Pereira Oliveira, da Instituição: Universidade Federal do Oeste da Bahia. 2- Erick Baleeiro da Silva, da Instituição: Universidade Federal do Oeste da Bahia, 3- Manoel Messias Silva Júnior, da Instituição: Universidade Federal do Oeste da Bahia. O estudante Lucas Borges Ribeiro apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso com o tema “Monitoramento da qualidade de energia elétrica no Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa”, como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica. Após reunião em sessão pública, a Banca Examinadora deliberou e decidiu pela **Aprovação** do referido trabalho, divulgando o resultado formalmente ao estudante e demais presentes, e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pelo estudante.

Prof. (Dra.) Stefânia de Oliveira Silva
Presidente da Banca Examinadora e Orientadora

Prof. Ma. Andressa Pereira Oliveira

Prof. Dr. Erick Baleeiro da Silva

Prof. Dr. Manoel Messias Silva Júnior

Lucas Borges Ribeiro
Estudante

Este trabalho é dedicado aos meus pais, pilares da minha formação como ser humano.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus. Para Ele tudo é possível, e Sua glória reina em todo o mundo.

Agradeço a minha família que sempre me apoiou e me motivou a seguir em frente e alcançar os meus objetivos, principalmente ao meu pai José Jacinto da Silva Ribeiro e à minha mãe Jozenir Borges Ribeiro e aos meus irmãos Rafael e Daniel.

Agradeço a Ivania Silva de Oliveira por todo carinho e incentivo!

Agradeço à Dra. Stefania de Oliveira Silva e à Ma. Andressa Pereira de Oliveira pela orientação, paciência e conhecimento compartilhado.

Agradeço ao Dr. Antônio José Sobrinho de Sousa por nortear a construção deste trabalho.

Agradeço também as amizades construídas que através de risadas e brincadeiras durante o curso possibilitaram atravessar este caminho que por vezes parecia ser tortuoso e infinito.

Agradeço a todo o pessoal da Universidade Federal do Oeste da Bahia - docentes, discentes, servidores e terceirizados - pelo período de muito aprendizado que passei na graduação.

“Nossas virtudes e nossos defeitos são inseparáveis, assim como a força e a matéria. Quando se separam, o homem deixa de existir.”

(Nikola Tesla)

Resumo

A qualidade de energia elétrica é importante tanto para os consumidores finais quanto para as concessionárias. Para os fornecedores, a garantia de uma eletricidade de alta qualidade é essencial para atender às demandas dos clientes e manter uma operação eficiente da rede. Para os consumidores, a qualidade de energia elétrica é crucial para o funcionamento adequado de equipamentos eletrônicos sensíveis, evitando falhas, danos e perda de produtividade. Este trabalho está centrado no monitoramento da qualidade de energia entregue ao Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa. Os dados foram coletados pelo analisador de qualidade de energia elétrica P55 da Primata Eletrônica[®], sendo posteriormente analisados buscando identificar distorções que possam afetar o funcionamento de equipamentos e maneiras de corrigi-los. Considerando essa situação, constata-se que a energia elétrica fornecida ao Campus está em conformidade com os parâmetros regulamentares. No entanto, as particularidades da carga resultam em distúrbios, como um fator de potência além do limite estabelecido pela concessionária. Esses fatores acabam gerando custos adicionais devido ao consumo excedente de reativo. Diante do que foi visto, observa-se que a qualidade da energia fornecida ao centro é satisfatória e que ajustes na carga resultarão em uma diminuição dos distúrbios e nos gastos associados à eletricidade.

Palavras-chave: energia elétrica, monitoramento, distúrbios elétricos, qualidade de energia

Abstract

Power quality is important for both end consumers and utilities. For suppliers, ensuring high quality electricity is essential for meeting customer demands and maintaining efficient network operation. For consumers, adequate power quality is crucial for the proper functioning of sensitive electronic equipment, avoiding failures, damage and loss of productivity. This work focuses on monitoring the quality of power delivered to the Bom Jesus da Lapa Multidisciplinary Center. The data was collected by the Primata Eletrônica® P55 power quality analyzer and then analyzed in order to identify distortions that may affect the operation of equipment and ways of correcting them. Considering this the electricity supplied to the campus complies with regulatory parameters. with the regulatory parameters. However, the particularities of the load result in disturbances, such as a power factor beyond the limit set by the utility company. These factors end up generating additional costs due to excess reactive consumption. In view of the above, it can be seen that the quality of the energy supplied to the center is satisfactory and that adjustments to the load will result in a reduction in disturbances and in the costs associated with electricity.

Keywords: electrical power, monitoring, electrical disturbances, power quality.

Lista de Figuras

1	Representação gráfica do afundamento de tensão	25
2	Representação gráfica da elevação de tensão	25
3	Faixas de tensão em relação à de referência	26
4	Representação da decomposição de um sinal distorcido	29
5	Triângulo de potência	32
6	Representação gráfica do desequilíbrio de tensão	33
7	Analizador P55	34
8	Interface Homem Máquina (IHM) do analisador P55	35
9	Dimensões do Transformador de Corrente (TC) do analisador P55	36
10	Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa (CMBJL)	37
11	Interior do Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) 1 localizado dentro da subestação abrigada	40
12	Quadros de força presentes nos corredores do CMBJL	41
13	Diagrama unifilar da subestação abrigada	41
14	Analizador P55 conectado ao QGBT 1	42
15	TCs conectados	42
16	Garras jacaré-golfinho conectadas ao QGBT 1	43
17	Esquema de ligação em Y do analisador portátil	43
18	Janela para importação de dados do <i>Software</i> de Manipulação de Dados (SMD)	44
19	Gráfico gerado no SMD da leitura de tensão na fase a	45
20	Dados exibidos no <i>software</i> Microsoft Excel	45
21	Leitura do desequilíbrio da tensão trifásica na saída do QGBT 1.	46
22	Painel tensão	48
23	Painel corrente	49
24	Painel potência	50

25	Painel frequência	50
26	Painel fator de potência	51
27	Painel harmônicas tensão	52
28	Painel harmônicas corrente	53
29	Painel tensão no dia 15 de agosto	55
30	Painel fator de potência do dia 24 de julho de 2023	56
31	Exemplos de equipamentos que utilizam <i>no-breaks</i> no CMBJL	57
32	Planta baixa da subestação abrigada	62

Lista de Tabelas

1	Distúrbios elétricos sustentados	24
2	Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD)	25
3	Pontos de conexão em tensão nominal igual ou superior a 2,3 kV e inferior a 69 kV	27
4	Limites para flutuação de tensão	28
5	Indicadores de distorções harmônicas	30
6	Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental)	31
7	Limites para o indicador de desequilíbrio de tensão	33
8	Pontos de conexão em Tensão Nominal inferior a 2,3 kV (380V/220V)	47
9	Limites das distorções harmônicas totais para 380V/220V	52
10	Descrição das interrupções que foram detectadas.	55

Lista de quadros

1	Distúrbios elétricos na categoria de eventos	23
---	--	----

Lista de abreviaturas, acrônimos e siglas

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AMT	Afundamento Momentâneo de Tensão
ATT	Afundamento Temporário de Tensão
BI	<i>Business Intelligence</i>
CMBJL	Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa
DIT	Distorção Harmônica Individual de Tensão
DRC	Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica
DRP	Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária
DTT	Distorção Harmônica Total de Tensão
EMT	Elevação Momentânea de Tensão
ETT	Elevação Temporária de Tensão
FD	Fator de Desequilíbrio de Tensão
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IFBA	Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Bahia
IHM	Interface Homem Máquina
IMT	Interrupção Momentânea de Tensão
ITT	Interrupção Temporária de Tensão
NR10	Norma Regulamentadora nº10
PIC	<i>Programmable Interface Controller</i>
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
P_i	Nível de flutuação de tensão
P_{lt}	Indicador flutuação de tensão flutuação de tensão de longa duração
P_{st}	Indicador flutuação de tensão flutuação de tensão de curta duração
QD	Quadro de Distribuição
QDR	Quadro de Distribuição de Refrigeração
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
RMS	<i>Root Mean Square</i>

SMD	<i>Software de Manipulação de Dados</i>
TC	Transformador de Corrente
UFOB	Universidade Federal do Oeste da Bahia
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VTCD	Variações de Tensão de Curta Duração

Lista de Símbolos

β	Letra grega beta maiúscula
φ	Ângulo entre a potência aparente e ativa
Δ_{ADINF}	Limite inferior da faixa adequada de tensão
Δ_{ADSUP}	Limite superior da faixa adequada de tensão
Δ_{PRINF}	Limite inferior da faixa precária de tensão
Δ_{PRSUP}	Limite superior da faixa precária de tensão
A	Ampère
C_a	Corrente na fase a
C_b	Corrente na fase b
C_c	Corrente na fase c
C_n	Corrente no neutro
EA	Energia ativa
ER	Energia reativa
fp	Fator de potência
h	Ordem harmônica individual
h_{max}	Ordem harmônica máxima
Hz	Hertz
kV	Quilovolt
kW	Quilowatt
μs	Microsegundos
ms	Milissegundos
ns	Nanossegundos
P	Potência ativa

pu	Por unidade
Q	Potência reativa
S	Potência aparente
TL	Tensão de leitura
TR	Tensão de referência
V	Volt
V_a	Tensão na fase a
V_{ab}	Tensão de linha ab
V_b	Tensão na fase b
V_{bc}	Tensão de linha bc
V_c	Tensão na fase c
V_{ca}	Tensão de linha ca
V_h	Tensão harmônica de ordem h
V_n	Tensão no neutro
v_n	Tensão nominal
V_1	Tensão fundamental medida
xml	<i>Extensible Markup Language</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Justificativa	19
1.2	Objetivos	19
1.3	Organização do texto	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	Qualidade de energia elétrica	21
2.2	Distúrbios elétricos	22
2.2.1	Variações de tensão	23
2.2.2	Variação de frequência	27
2.2.3	Flutuação de tensão	27
2.2.4	Harmônicos	29
2.2.5	Fator de potência	31
2.2.6	Desequilíbrios de tensão	32
2.3	Analizador P55 SP	34
2.3.1	Sensores	36
2.4	Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa	36
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	38
4	METODOLOGIA	40
4.1	Local de estudo	40
4.2	Coleta dos dados	41
4.3	Análise dos dados	43
5	RESULTADOS	46
5.1	Tensão	47
5.2	Corrente	49

5.3	Potência	49
5.4	Frequência	50
5.5	Fator de potência	51
5.6	Harmônicas	51
5.6.1	Tensão	51
5.6.2	Corrente	52
6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	54
6.1	Distúrbios detectados	54
6.1.1	Tensão	54
6.1.2	Desequilíbrio de corrente	55
6.1.3	Fator de potência	55
6.2	Indicadores em conformidade	56
6.3	Soluções propostas	56
6.3.1	Tensão	56
6.3.2	Fator de potência	57
6.3.3	Desequilíbrio de corrente	57
7	CONCLUSÃO	58
	REFERÊNCIAS	61
8	ANEXO A	62

INTRODUÇÃO

A chegada da energia elétrica trouxe inovações que impactaram toda a sociedade, resultando em progresso, expansão e aprimoramentos na qualidade de vida, os quais estão diretamente relacionados a todas as formas de organizações, setores ou atividades econômicas. Além disso, proporciona o potencial para o uso de dispositivos eletrônicos, como celulares, computadores, televisões e outros.

No entanto, o uso excessivo da energia elétrica acarreta custos elevados, impactos ambientais e mudanças climáticas, tornando necessário observar e buscar constantemente melhorias na sua utilização. Enquanto essas melhorias não ocorrem, a rede existente acaba sendo sobrecarregada e está mais susceptível a falhas e outros problemas.

As instituições, sejam elas públicas ou privadas, enfrentam quedas frequentes de energia elétrica provenientes dos sistemas de transmissão e distribuição. Esse problema acaba gerando danos constantes tanto para as concessionárias quanto para os consumidores, como furtos de cabos elétricos e ligações clandestinas (REIS; ALVES; PINHEIRO, 2022).

É importante destacar que a questão não se limita apenas à rede elétrica da empresa fornecedora de energia. Está cada vez mais frequente o uso de equipamentos que possuem circuitos de chaveamento, com baixo fator de potência ou com picos de correntes durante acionamentos. Tudo isso contribuem para a perda da Qualidade de Energia Elétrica (QEE). Sendo assim, as fabricantes investem para que seus produtos sejam mais tolerantes aos distúrbios, entretanto isto demanda tecnologia e encarece o preço final ao consumidor.

Atualmente, com a automatização nos mais variados ambientes, desde as residências até às indústrias, deixa como empecilho a sensibilidade destes novos aparelhos às perturbações presentes nas formas de onda da corrente e tensão que vem da tomada. A

utilização de dispositivos que analisem a energia para verificar a QEE entram para analisar o sistema, identificar possíveis falhas e encontrar pontos que devem ser resolvidos.

1.1 Justificativa

O Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa (CMBJL) possui equipamentos das mais variadas aplicações: motores de indução, bancos de capacitores, fontes de alimentação, dispositivos eletrônicos e pneumáticos, entre outros. Além disso, eletrodomésticos como os ares-condicionados presentes nas salas de aulas, laboratórios e outras dependências do centro. Por conta de suas características e princípios de funcionamento, quando acionados ou em plena operação, estes aparelhos podem causar distúrbios na rede elétrica do centro afetando a sua qualidade. Como consequência, o desempenho de alguns dispositivos podem ser afetados, e ainda, podem ocorrer falhas na leitura de equipamentos de instrumentação e eletrônicos sensíveis, como os osciloscópios que são constantemente usados nas aulas práticas do curso de engenharia elétrica.

Além disso, é imprescindível destacar os distúrbios que surgem dentro da própria rede da concessionária. Sendo assim, este trabalho está direcionado ao CMBJL, mas pode ser aplicado em outros ambientes como o industrial, residencial, rural ou comercial, buscando medidas de garantir a QEE e ter maior ganho de vida útil de aparelhos e redução no custo relacionado a energia elétrica a curto, médio e longo prazo.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento e implantação de um sistema de monitoramento da qualidade de energia elétrica no CMBJL, baseado no analisador P55.

E como objetivos específicos, tem:

- Realizar a coleta dos dados do Analisador Portátil de Qualidade de Energia SP P55;
- Desenvolver um banco de dados para que as leituras fiquem armazenadas e disponíveis para análise;
- Analisar os parâmetros da rede e verificar se está em conformidade com as normas em instalações de baixa tensão;
- Verificar os dados coletados e montar um painel de indicadores a fim de permitir uma fácil visualização e interpretação dos resultados.

1.3 Organização do texto

No Capítulo 2 aborda a qualidade de energia elétrica, sua definição, os distúrbios principais, as características e efeitos desencadeados. Além disso, é visto os detalhes do analisador P55 utilizado.

No Capítulo 3 faz uma revisão bibliográfica sobre a QEE sob a perspectiva de trabalhos que avaliam a geração energética no país.

No Capítulo 4 descreve-se as etapas do desenvolvimento do sistema, desde os equipamentos utilizados, as etapas da construção e por fim o projeto desenvolvido.

No Capítulo 5 os resultados do sistema de monitoramentos.

No Capítulo 6 é feita a análise e discussão do que foi obtido, o comportamento do analisador durante o experimento e verificar se os valores condizem com a literatura e se estão dentro dos padrões exigidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

No Capítulo 7 realiza-se a conclusão do trabalho. Além disso, são apontados alguns caminhos para dar continuidade a este estudo.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Qualidade de energia elétrica

A QEE é uma área de estudo que se preocupa com a avaliação e o controle dos parâmetros elétricos que afetam a eficiência, a confiabilidade e o desempenho dos sistemas elétricos. Ela engloba diversos fenômenos, desde distúrbios eletromagnéticos até variações de tensão e frequência, que podem afetar o fornecimento de energia e o funcionamento de dispositivos e equipamentos conectados à rede.

Em outras palavras, a QEE refere-se à conformidade dos parâmetros elétricos, como tensão, frequência, forma de onda e níveis de perturbação, com os padrões estabelecidos para garantir um fornecimento confiável e adequado de energia elétrica. Esses parâmetros devem estar dentro de limites aceitáveis para garantir o funcionamento adequado dos equipamentos elétricos e eletrônicos, evitando falhas, danos e perda de produtividade.

Segundo Paulilo (2013) a definição de QEE adotada por especialistas é qualquer desvio que possa ocorrer na magnitude, forma de onda ou frequência da tensão e/ou corrente elétrica, que resulte em falha ou operação indevida de equipamentos elétricos. Já de acordo com o PRODIST (2021), a QEE é a conformidade da energia elétrica entregue aos usuários nos parâmetros estabelecidos ou dos valores de referência. Ela visa garantir a qualidade na prestação do produto, do serviço e da qualidade do tratamento e atendimento das reclamações do consumidor.

Sendo assim, a QEE busca assegurar que a energia fornecida esteja em conformidade com os requisitos de desempenho estabelecidos pelos órgãos reguladores e pelas normas técnicas. Esses requisitos podem variar de acordo com o tipo de aplicação como residências, comércios, indústrias ou serviços essenciais com a utilização de equipamentos

elétricos sensíveis, como hospitais e *data centers*.

Para Ferreira (2010) um sistema elétrico trifásico "ideal" deve satisfazer às seguintes condições de operação em regime permanente:

- Tensões e correntes alternadas, com formas senoidais;
- Amplitudes constantes, nos valores nominais;
- Frequência constante, no valor síncrono;
- Tensões trifásicas equilibradas;
- Fator de potência unitário nas cargas;
- Perdas nulas na transmissão e distribuição.

Na prática, é impossível satisfazer as seis condições, visto que, a rede e os dispositivos elétricos estão constantemente expostos a problemas ou interrupções que comprometem, de certa forma, as condições ideais para o funcionamento adequado.

Por conta disso, existem vários parâmetros elétricos utilizados para avaliar a qualidade de energia elétrica, alguns dos principais serão apresentados no decorrer deste capítulo.

2.2 Distúrbios elétricos

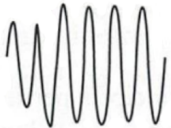
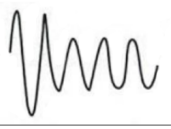
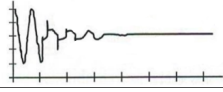
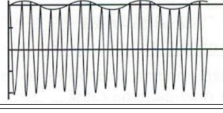
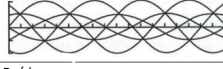



A definição de qualidade de energia elétrica inclui a avaliação e o controle de diversos fenômenos elétricos, tais como variações de tensão, flutuações de frequência, distorção harmônica, desequilíbrio de tensão, presença de transientes e surtos de tensão. Esses fenômenos podem ser causados por diversos fatores, como a operação de equipamentos elétricos, variações na demanda de energia, instabilidades na geração e distribuição de energia, além de eventos externos, como descargas atmosféricas.

A qualidade de energia elétrica refere-se à conformidade dos parâmetros elétricos, como tensão, frequência, forma de onda e níveis de perturbação, com os padrões estabelecidos para garantir um fornecimento confiável e adequado de energia elétrica. Esses parâmetros devem estar dentro de limites aceitáveis para garantir o funcionamento adequado dos equipamentos elétricos e eletrônicos, evitando falhas, danos e perda de produtividade.

No Quadro 1 e Tabela 1, são apresentados uma relação dos diferentes tipos de distúrbios elétricos, classificados como eventos ou distúrbios permanentes, exibindo informações sobre suas formas de onda, duração e métodos de caracterização correspondentes.

A existência de um ou mais desses eventos é um requisito para a perda da QEE.

Quadro 1 – Distúrbios elétricos na categoria de eventos

Tipos de distúrbios	Duração	Métodos de caracterização
Sobretensão 	Estado permanente	Magnitude 1,1 – 1,2 pu Duração > 1 min
Subtensão 	Estado permanente	Magnitude 0,8 – 0,9 pu Duração > 1 min
Interrupção 	Estado permanente	Duração > 3 min Frequência de ocorrência
Flutuação de tensão 	Estado permanente	Varição de magnitude Frequência de modulação Frequência de ocorrência
Desequilíbrio de tensão 	Estado permanente	Fator de desequilíbrio
Ruídos 	Estado permanente ou Curta duração	Magnitude Espectro de frequência
Notches ou Cortes 	Estado permanente	Magnitude Duração
Harmônicos 	Estado permanente	Espectro harmônico Distorção harmônica

Fonte: (ANTUNES; LEÃO; SAMPAIO, 2014)

2.2.1 Variações de tensão

Para Martinho (2009), a variação de tensão é definido como sendo uma modificação no valor de tensão originalmente definido como padrão ou comumente chamado de valor nominal, sendo possível variar para mais ou para menos. Como exemplo temos a eletricidade que chega nas residências com valores nominais de 220 V, mas que podem ter valores diferentes, como 219 V ou 221 V.

2.2.1.1 Variação de Tensão de Curta Duração

No entendimento da ANEEL (2023) através dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, as Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD) são desvios significativos na amplitude do valor eficaz da tensão durante um intervalo de tempo inferior a 3 minutos. Além disso, são classificadas de acordo com a Tabela 2.

Tabela 1 – Distúrbios elétricos sustentados

Tipo de Distúrbios	Duração	Método de caracterização
Transitório impulsivo	Curta duração <50ns 50ns - 1ms >1ms	Tempo de subida 5ns 1 μ s 0,1ms Magnitude de pico Duração
Transitório oscilatório	Curta duração 0,3 - 30 μ s 20us 5us	Tempo de subida Banda de frequência Baixa frequência: <5kHz Média frequência: 5 - 500kHz Alta frequência: 0,5 - 5 MHz Magnitude de pico 0 - 4 pu 0 - 8 pu 0 - 4 pu
Interrupção	Curta duração	Magnitude <0,1 pu Duração 1 ciclo - 3 min Frequência de ocorrência
Afundamento de tensão	Curta duração	Magnitude 0,1 - 0,9 pu Duração 1 ciclo - 3 min Frequência de ocorrência
Elevação de tensão	Curta duração	Magnitude 1,1 - 1,8 pu Duração 1 ciclo - 3 min Frequência de ocorrência

Fonte: Adaptado de (ANTUNES; LEÃO; SAMPAIO, 2014)

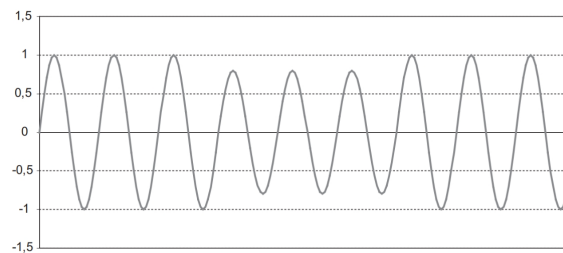
Segundo Martinho (2009) uma das causas das VTCD e que é bastante comum é o chaveamento de cargas de elevada potência que, ao serem acionadas, demandam muita energia da rede, fazendo com que cause uma redução da tensão. A Figura 1 representa este afundamento de tensão. Outra causa é o acionamento de bancos de capacitores que, ao serem energizados, exigem uma elevada corrente para vencer a inércia (um capacitor, ao ser energizado, é um curto-circuito).

De maneira análoga, quando ocorre o desligamento de grandes cargas ou de banco de capacitores, ocorre uma elevação momentânea na tensão de alimentação quando a energia volta para a rede (MARTINHO, 2009). A Figura 2 representa este distúrbio.

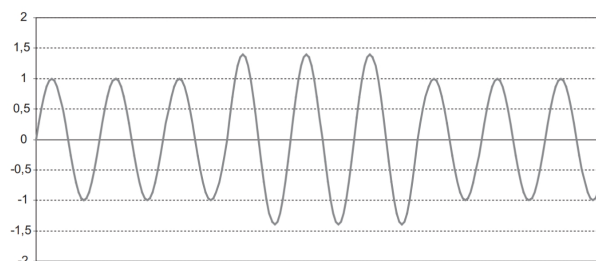
Tabela 2 – Classificação das VTCD

Classificação	Denominação	Duração da variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão (IMT)	Inferior ou igual a 3 segundos	Inferior a 0,1 pu
	Afundamento Momentâneo de Tensão (AMT)	Superior ou igual a 1 ciclo e inferior ou igual a 3 segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 pu
	Elevação Momentânea de Tensão (EMT)	Superior ou igual a 1 ciclo e inferior ou igual a 3 segundos	Superior a 1,1 pu
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão (ITT)	Superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos	Inferior a 0,1 pu
	Afundamento Temporário de Tensão (ATT)	Superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 pu
	Elevação Temporária de Tensão (ETT)	Superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos	Superior a 1,1 pu

Fonte: (PRODIST, 2021)

Figura 1 – Representação gráfica do afundamento de tensão

Fonte: (BARROS; GEDRA; BORELLI, 2014)

Figura 2 – Representação gráfica da elevação de tensão

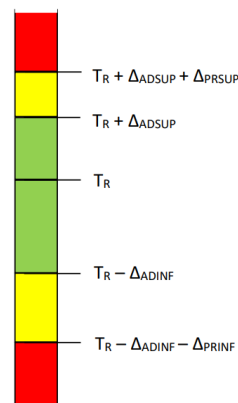
Fonte: (BARROS; GEDRA; BORELLI, 2014)

2.2.1.2 Variação de tensão em regime permanente

Ao contrário das VTCD, as variações de longa duração que também pode ser elevação ou afundamento, caracterizam por alterações da tensão em relação ao valor nominal que perduram por mais de um minuto (MARTINHO, 2009).

O PRODIST classifica cada leitura de tensão associada a um valor de referência baseando-se no afastamento do valor da tensão de leitura em relação à de referência. A Figura 3 mostra as três categorias: adequadas (verde), precárias (amarelo) ou críticas (vermelho).

Figura 3 – Faixas de tensão em relação à de referência



Fonte: (PRODIST, 2021)

Sendo:

T_R : Tensão de Referência;

Faixa Adequada de Tensão: intervalo entre $(T_R - \Delta_{ADINF})$ e $(T_R + \Delta_{ADSUP})$;

Faixas Precárias de Tensão: intervalo entre $(T_R + \Delta_{ADSUP})$ e $(T_R + \Delta_{ADSUP} + \Delta_{PRSUP})$ ou intervalo entre $(T_R - \Delta_{ADINF} - \Delta_{PRINF})$ e $(T_R - \Delta_{ADINF})$; e

Faixas Críticas de Tensão: valores acima de $(T_R + \Delta_{ADSUP} + \Delta_{PRSUP})$ ou abaixo de $(T_R - \Delta_{ADINF} - \Delta_{PRINF})$.

Como exemplo, na Tabela 3 mostra a faixa dos valores adequados, críticos e precários para uma tensão nominal igual ou superior a 2,3 kV e inferior a 69 kV.

De acordo com Kagan, Robba e Schmidt (2009), para a ANEEL é inaceitável o atendimento com nível de tensão precária ou inadequada, sendo assim, foram definidas alguns indicadores: a Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica (DRC) e a Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária (DRP), que referem-se à duração relativa das leituras de tensão, nas faixas de tensão críticas e precárias, respectivamente, no período de observação definido, expresso em percentual.

Tabela 3 – Pontos de conexão em tensão nominal igual ou superior a 2,3 kV e inferior a 69 kV

Tensão de atendimento	Faixa de variação da tensão de leitura (TL) em relação à tensão de referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

Fonte: (PRODIST, 2021)

2.2.2 Variação de frequência

Definido como o desvio no valor da frequência fundamental, que pode ser 50 ou 60Hz, (60Hz no Brasil), tem origem normalmente na geração da energia elétrica, porém o grande desafio não está no sistema das concessionárias, mas nos sistemas chamados isolados, ou de geração própria, que a regulamentação não pode fiscalizar (MARTINHO, 2009).

O PRODIST (2021) define as regras de variação de frequência como é apresentado a seguir:

65. O sistema de distribuição e as instalações de geração a ele conectadas devem, em condições normais de operação e em regime permanente, operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz.
66. Quando da ocorrência de distúrbios no sistema de distribuição, as instalações de geração devem garantir que a frequência retorne, no intervalo de tempo de 30 segundos após a transgressão, para a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz, para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração.
67. Havendo necessidade de corte de geração ou de carga para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração, durante os distúrbios no sistema de distribuição, a frequência:
 - a) não pode exceder 66 Hz ou ser inferior a 56,5 Hz em condições extremas;
 - b) pode permanecer acima de 62 Hz por no máximo 30 segundos e acima de 63,5 Hz por no máximo 10 segundos; e
 - c) pode permanecer abaixo de 58,5 Hz por no máximo 10 segundos e abaixo de 57,5 Hz por no máximo 5 segundos.

2.2.3 Flutuação de tensão

A flutuação de tensão é um fenômeno caracterizado pela variação aleatória, repetitiva ou esporádica dos valores eficaz ou de pico da tensão instantânea (PRODIST, 2021).

Para BARROS, GEDRA e BORELLI (2014), a flutuação resulta principalmente das variações rápidas de pequena amplitude da tensão de alimentação, geradas pelo cha-

veamento de cargas de elevada potência, manobra de estágios de banco de capacitores, operação de máquinas de solda e fornos a arco, entre outros.

Ainda de acordo com o PRODIST, a determinação da qualidade da tensão do sistema de distribuição quanto à flutuação de tensão tem por objetivo avaliar o incômodo provocado pelo efeito da cintilação luminosa no consumidor, que tenha em sua unidade consumidora pontos de iluminação alimentados em baixa tensão

Os indicadores de flutuação de tensão são o Indicador flutuação de tensão flutuação de tensão de curta duração (P_{st}) e o Indicador flutuação de tensão flutuação de tensão de longa duração (P_{lt}) que representam a severidade dos níveis de cintilação luminosa associados à flutuação de tensão verificada num período contínuo de 10 minutos e 2 horas, respectivamente. Além de P_{st} e o P_{lt} , há ainda o $P_{st95\%}$ que representa o valor do indicador P_{st} que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas.

A Equação (1) apresenta o cálculo do P_{st} :

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}} \quad (1)$$

correspondente ao Nível de flutuação de tensão (P_i) ($i = 0,1; 1; 3; 10; 50$) que foi ultrapassado durante $i\%$ do tempo, obtido a partir da função de distribuição acumulada complementar, de acordo com o procedimento estabelecido pela *International Electrotechnical Commission* (IEC): IEC 61000-4-15. *Flickermeter – Functional and Design Specifications*

O P_{lt} é um valor representativo obtido a partir de 12 amostras consecutivas de P_{st} , conforme definido pela Equação (2):

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (P_{st_i})^3} \quad (2)$$

A Tabela 4 disponibiliza os valores limite a serem empregados na avaliação do desempenho do sistema de distribuição em relação às variações de tensão.

Tabela 4 – Limites para flutuação de tensão

Indicador	Tensão nominal (v_n)		
	$v_n < 2,3kV$	$2,3kV \leq v_n < 69kV$	$69kV \leq v_n < 230kV$
$P_{st95\%}$	1,0 pu	1,5 pu	2,0 pu

Fonte: (PRODIST, 2021)

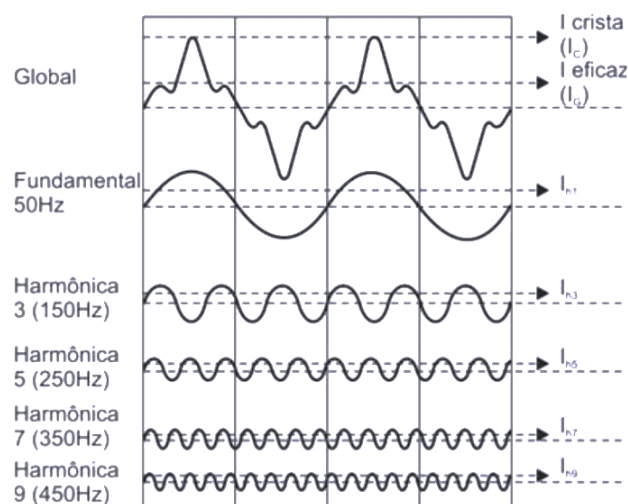
2.2.4 Harmônicos

Até pouco tempo atrás, a maioria das cargas presentes nas instalações elétricas eram predominantemente lineares. No entanto, essa situação mudou com o progresso da eletrônica de potência, que introduziu cargas elétricas nas instalações com características não lineares.

As cargas constituídas por componentes não lineares apresentam na saída uma corrente cuja forma de onda é distorcida se comparada a senoide ideal (BARROS; GEDRA; BORELLI, 2014).

A Figura 4 demonstra uma forma de onda toda distorcida como a soma de uma senoide fundamental com várias expressões senoidais cuja a frequência de cada senoide é múltipla da senoide fundamental (harmônica).

Figura 4 – Representação da decomposição de um sinal distorcido



Fonte: (MARTINHO, 2009)

Para BARROS, GEDRA e BORELLI (2014), os principais distúrbios provocados pela presença de harmônicos na instalação elétrica são:

- Sobrecarga dos condutores utilizados como neutro em função da presença de harmônicas de 3^a ordem;
- Sobreaquecimento nas bobinas dos transformadores;
- Falha ou operação indevida de disjuntores;
- Sobrecarga, envelhecimento e queima de capacitores e fusíveis da compensação reativa;
- Deficiência no funcionamento dos relés de proteção e outros meios de controle;

- Perdas adicionais nos capacitores, motores e instalação elétrica em geral;
- Sobrecarga e aquecimento excessivo em motores.

Na Tabela 5 é exposto os indicadores de distorções harmônicas:

Tabela 5 – Indicadores de distorções harmônicas

Descrição	Símbolo
Distorção harmônica individual de tensão de ordem h	$DIT_h\%$
Distorção harmônica total de tensão	$DTT\%$
Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3	$DTT_p\%$
Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3	$DTT_i\%$
Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3	$DTT_3\%$
Valor do indicador Distorção Harmônica Total de Tensão (DTT)% que foi superado em apenas 5% das 1008 leituras válidas	$DTT_{95\%}$
Valor do indicador $DTT_p\%$ que foi superado em apenas 5% das 1008 leituras válidas	$DTT_{p95\%}$
Valor do indicador $DTT_i\%$ que foi superado em apenas 5% das 1008 leituras válidas	$DTT_{i95\%}$
Valor do indicador $DTT_3\%$ que foi superado em apenas 5% das 1008 leituras válidas	$DTT_{395\%}$

Fonte: (PRODIST, 2021)

As seguintes equações são utilizadas para o cálculo dos indicadores $DIT_h\%$, $DTT\%$, $DTT_p\%$, $DTT_i\%$ e $DTT_3\%$:

$$DIT_h\% = \frac{V_h}{V_1} \cdot 100[\%] \quad (3)$$

sendo: V_h = tensão harmônica de ordem h; h = ordem harmônica individual; e V_1 = tensão fundamental medida.

$$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} V_h^2}}{V_1} \cdot 100[\%] \quad (4)$$

sendo: h = todas as ordens harmônicas de 2 até h_{max} . h_{max} = ordem harmônica máxima, conforme classe do equipamento de medição utilizado (classe A ou S); V_h = tensão harmônica de ordem h; e V_1 = tensão fundamental medida.

$$DTT_p\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_p} V_h^2}}{V_1} \cdot 100[\%] \quad (5)$$

sendo: h = todas as ordens harmônicas pares, não múltiplas de 3 ($h = 2, 4, 8, 10, 14, 16, 20, 22, 26, 28, 32, 34, 38, \dots$); h_p = máxima ordem harmônica par, não múltipla de 3; V_h = tensão harmônica de ordem h ; e V_1 = tensão fundamental medida.

$$DTT_i\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=5}^{h_i} V_h^2}}{V_1} \cdot 100[\%] \quad (6)$$

sendo: h = todas as ordens harmônicas ímpares, não múltiplas de 3 ($h = 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, 31, 35, 37, \dots$); h_i = máxima ordem harmônica ímpar, não múltipla de 3; V_h = tensão harmônica de ordem h ; e V_1 = tensão fundamental medida.

$$DTT_3\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=3}^{h_3} V_h^2}}{V_1} \cdot 100[\%] \quad (7)$$

sendo: h = todas as ordens harmônicas múltiplas de 3 ($h = 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, \dots$); h_3 = máxima ordem harmônica múltipla de 3; V_h = tensão harmônica de ordem h ; e V_1 = tensão fundamental medida.

Os limites referentes aos indicadores das distorções harmônicas totais estão descritos na Tabela 6 a seguir:

Tabela 6 – Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental)

Indicador	Tensão nominal (v_n)		
	$v_n < 2,3kV$	$2,3kV \leq v_n < 69kV$	$69kV \leq v_n < 230kV$
DTT95%	10,0%	8,0%	5,0%
DTT _p 95%	2,5%	2,0%	1,0%
DTT _i 95%	7,5%	6,0%	4,0%
DTT ₃ 95%	6,5%	5,0%	3,0%

Fonte: (PRODIST, 2021)

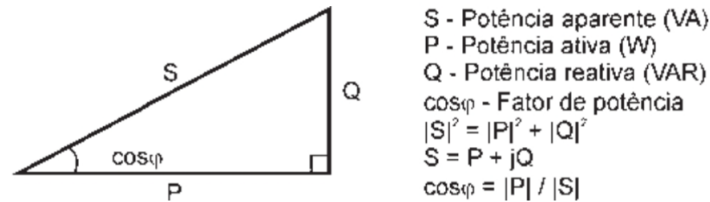
2.2.5 Fator de potência

De acordo com Martinho (2009), o fator de potência é o ângulo de defasagem entre a potência ativa e a aparente no triângulo de potências, sendo representado pelo cosseno do ângulo φ na Figura 5.

A potência ativa é a energia transformada integralmente em trabalho, já a potência

reativa é a componente da potência aparente que não realiza trabalho. Então quanto mais próximo de 1 o cosseno do ângulo φ , menor será a potência reativa, e assim, menor será as perdas.

Figura 5 – Triângulo de potência



Fonte: (MARTINHO, 2009)

As Equações (8) e (9) representam o cálculo do fator de potência:

$$fp = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (8)$$

$$fp = \frac{EA}{\sqrt{EA^2 + ER^2}} \quad (9)$$

sendo: fp = fator de potência; P = potência ativa; Q = potência reativa; EA = energia ativa e ER = energia reativa.

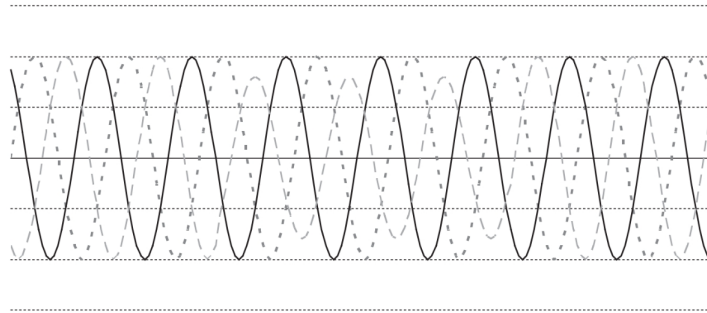
O PRODIST define que para a unidade consumidora do Grupo A ou ponto de conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 e 1,00 indutivo, ou 1,00 e 0,92 capacitivo.

2.2.6 Desequilíbrios de tensão

Segundo o PRODIST (2021), o desequilíbrio de tensão é o fenômeno caracterizado por qualquer diferença verificada nas amplitudes entre as três tensões de fase de um determinado sistema trifásico, ou na defasagem elétrica de 120° entre as tensões de fase do mesmo sistema.

Em outras palavras, refere-se a uma irregularidade resultante da assimetria de cargas conectadas ao sistema, resultando em variações distintas na queda de tensão de cada fase como é visto na Figura 6.

Ainda para o PRODIST (2021), o indicador de desequilíbrio de tensão a ser comparado com os limites é o FD95%, que representa o valor do Fator de Desequilíbrio de Tensão (FD) que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas.

Figura 6 – Representação gráfica do desequilíbrio de tensão

Fonte: (BARROS; GEDRA; BORELLI, 2014)

Este indicador é obtido pela Equação (10),

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} \cdot 100[\%], \quad (10)$$

onde V_- é a magnitude da tensão eficaz de sequência negativa na frequência fundamental e V_+ é a magnitude da tensão eficaz de sequência positiva na frequência fundamental.

De maneira alternativa, pode-se utilizar a Equação (11) para encontrar $FD\%$,

$$FD\% = 100 \cdot \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} [\%], \quad (11)$$

onde β é obtido a partir da Equação (12),

$$\beta = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2}, \quad (12)$$

sendo V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} as magnitudes das tensões eficazes de linha na frequência fundamental.

Os limites para o indicador de desequilíbrio de tensão $FD95\%$ estão apresentados na Tabela 7:

Tabela 7 – Limites para o indicador de desequilíbrio de tensão

Indicador	Tensão nominal (v_n)	
	$v_n < 2,3kV$	$2,3kV \leq v_n < 230kV$
FD95%	3,0%	2,0%

Fonte: (PRODIST, 2021)

2.3 Analisador P55 SP

A medição, análise e controle da QEE são fundamentais para garantir o cumprimento dos requisitos estabelecidos pelas agências reguladoras e para identificar eventuais problemas e suas causas, permitindo a implementação de medidas corretivas e preventivas. Isso envolve o uso de equipamentos e instrumentos de medição especializados, bem como o desenvolvimento de normas e regulamentos técnicos que estabeleçam os critérios de qualidade de energia elétrica a serem seguidos pelos fornecedores de energia e pelos consumidores finais.

O analisador portátil P55 SP foi projetado para realizar medições em sistemas de distribuição de energia elétrica, trata-se da segunda geração de analisadores desenvolvida pela PRIMATA ELETRÔNICA®, com o objetivo de atender às exigências das concessionárias e outros usuários, em conformidade com os PRODIST - Módulo 8 da ANEEL (Classe S). Além disso, o analisador P55 está homologado pelo Núcleo de Qualidade da Energia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) (PRIMATA, 2018).

Como mostra a Figura 7, além do analisador P55, temos quatro garras de tensão tipo jacaré-golfinho para leitura de tensão, quatro Transformadores de Corrente (TCs) para leitura da corrente, os cabos de conexão e um cabo *Universal Serial Bus* (USB) para comunicação com um computador.

O analisador P55 dispõe de uma Interface Homem Máquina (IHM), Figura 8, que permite a operação e aquisição de dados instantânea ou programada além de verificar se há erros na instalação. A IHM pode ser acessada destarrachando os dois parafusos frontais.

Figura 7 – Analisador P55



Fonte: Autoria própria

De acordo com o manual do analisador P55 (PRIMATA, 2018), as grandezas elétricas registradas/calculadas estão aqui listadas:

1. Tensão *Root Mean Square* (RMS):

Figura 8 – IHM do analisador P55

Fonte: Autoria própria

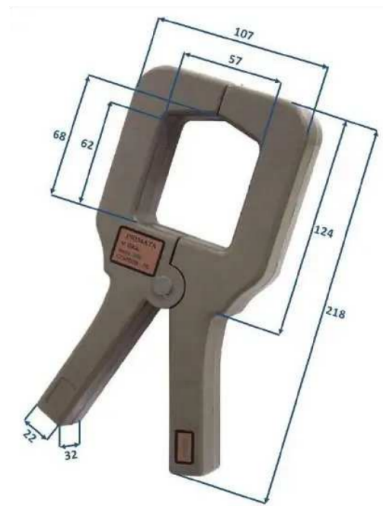
- Fase-neutro e fase-fase (A, B e C);
 - Instantânea, máxima, mínima e média;
 - Tensão de neutro de aterramento (*opcional);
2. Corrente RMS (A, B e C):
 - Instantânea, máxima, mínima e média;
 3. Corrente de neutro calculada;
 4. Corrente de neutro medida/registrada (*opcional);
 5. Potências ativa, reativa e aparente (monofásicas e trifásicas);
 6. Fator de potência (monofásico e trifásico);
 7. Frequência (A, B e C);
 8. Taxa de distorção harmônica total (tensão e corrente);
 9. Harmônica fundamental (tensão e corrente);
 10. Taxa de distorção harmônica individual (até a 50^a harmônica - tensão e corrente)
 11. Desequilíbrio de tensão em (%) de sequência negativa (Norma IEC 61000-4-7 – Pela decomposição das componentes simétricas e relação entre a tensão de sequência negativa e a tensão de sequência positiva);
 12. Desequilíbrio de corrente em (%) de sequência negativa (Norma IEC 61000-4-7 – Pela decomposição das componentes simétricas e relação entre a corrente de sequência negativa e a corrente de sequência positiva);
 13. Severidade de flutuação de tensão de curta duração de curta duração (IEC 61000-4-15);
 14. Severidade de flutuação de tensão de longa duração de longa duração (IEC 61000-4-15);
 15. Registro de eventos de VTCD (Norma IEC 61000-4-30 – com valor eficaz calculado a cada 1 ciclo);
 16. Energia e demanda.

2.3.1 Sensores

Para Wendling (2010), sensor é o termo empregado para designar dispositivos sensíveis à alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza física que precisa ser mensurada (medida), como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, etc.

No analisador P55 temos os TCs e as garras jacaré-golfinho. Eles serão responsáveis em enviar ao equipamento os valores das tensões e correntes que alimentam o circuito na qual será estudado. Na Figura 9 são apresentados as medidas em milímetros do TC, permitindo o seu uso em cabos com bitolas maiores, comumente utilizados em subestações de consumidores que possuem demandas altas de energia.

Figura 9 – Dimensões do TC do analisador P55



Fonte: (PRIMATA, 2018)

2.4 Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa

O CMBJL é uma instituição localizada na cidade de Bom Jesus da Lapa, no interior da Bahia. Trata-se de uma instituição federal voltada para a educação e o desenvolvimento acadêmico, oferecendo os cursos de engenharia elétrica e mecânica até o presente momento.

O CMBJL tem como objetivo proporcionar uma educação gratuita e de qualidade, promovendo o desenvolvimento dos estudantes com uma equipe docente competente e qualificada. Além disso, o Campus também oferece serviços de apoio acadêmico, como biblioteca, laboratórios e espaços de estudo.

Uma característica importante do CMBJL é sua abordagem interdisciplinar, buscando integrar diferentes áreas do conhecimento em seus cursos e projetos. Isso permite

aos estudantes uma formação mais abrangente e uma compreensão mais ampla dos problemas e desafios contemporâneos.

Além das atividades acadêmicas, o CMBJL também se envolve em projetos de extensão e pesquisa, buscando contribuir para o desenvolvimento da região e promover a integração entre a academia e a comunidade local.

Figura 10 – CMBJL



Fonte: Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)

No CMBJL encontra-se diversos equipamentos como motores das mais variadas potências, inversores de frequências, instrumentos de medição, circuitos eletrônicos, bancadas didáticas, entre outros dispositivos. Além disso, conta com uma estrutura que dispõe de salas de aulas e laboratórios climatizados.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para execução deste trabalho, é imprescindível realizar um estudo teórico abrangendo conceitos, componentes, topologias e métodos que podem ser empregados no estudo sobre a QEE. O conhecimento dos conceitos teóricos, tanto gerais quanto específicos, é fundamental para compreender o comportamento de cada elemento do projeto e ser de grande utilidade na prevenção de erros e no aprimoramento da eficiência na execução do trabalho.

Martinho (2009) explora alguns conceitos como a assimetria de cargas, queda de tensão e outras perturbações que afetam a qualidade e estabilidade do sistema elétrico. Discute as principais causas dos distúrbios incluindo variações na demanda de energia, problemas na rede de distribuição, interferências eletromagnéticas e fenômenos transientes, além de abordar as consequências como danos a equipamentos elétricos e riscos para a segurança dos consumidores.

Ainda em Martinho (2009) é apresentado diferentes técnicas e dispositivos utilizados para detecção, monitoramento e mitigação desses distúrbios, visando melhorar a qualidade do fornecimento de energia elétrica. Ele explora métodos de análise e diagnóstico, bem como soluções práticas para minimizar os efeitos negativos dos distúrbios, promovendo um sistema elétrico mais estável e confiável

Kagan, Robba e Schmidt (2009) apresentam uma revisão dos principais conceitos e fundamentos teóricos relacionados à qualidade da energia elétrica, incluindo normas e regulamentos internacionais. Os autores também discutem os diferentes indicadores de qualidade utilizados para avaliar e monitorar a performance do sistema elétrico, fornecendo exemplos práticos de sua aplicação.

Além disso, Kagan, Robba e Schmidt (2009) abordam os métodos de estimação e

modelagem dos indicadores de qualidade da energia elétrica, destacando a importância do processamento de dados e da utilização de algoritmos e técnicas estatísticas adequadas. Eles também discutem os desafios e as limitações associadas à estimação desses indicadores, bem como as possíveis soluções para superá-los.

Deckmann e Pomilio (2017) trazem um curso dividido em duas partes, sendo que a primeira abrange a caracterização dos fenômenos relacionados à QEE, baseando-se em conhecimentos da área de sistemas de energia elétrica e, secundariamente, de eletrônica de potência. A segunda parte, que é inovadora em sua concepção, tem como objetivo discutir as metodologias digitais utilizadas na instrumentação específica para a quantificação dessa "Qualidade", embasando-se em conteúdos relacionados ao processamento digital de sinais e áreas afins.

Marques (2018) realiza algo semelhante, com a diferença de que o lugar em que é verificado a QEE é o Campus de Paulo Afonso do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Bahia (IFBA). O analisador utilizado foi do modelo RE4000 projetado pela EMBRASUL INDÚSTRIA ELETRÔNICA. Foi feita uma verificação para assegurar que a energia elétrica fornecida ao Campus está em conformidade com os parâmetros regulamentares, no entanto, constatou que as características apresentadas pela carga impõem certos distúrbios como o surgimento de harmônicos em determinados períodos e o fator de potência fora do limite estipulado pela concessionária, acarretando pagamento pelo excedente de reativo.

Além da parte teórica, alguns autores realizaram análises semelhantes a este trabalho. Como Castro e Ribeiro (2021), que realizaram uma análise detalhada de um caso específico na Rubro Indústria de calçados, com o objetivo de avaliar a qualidade da energia elétrica fornecida a essa indústria. Para a coleta de dados da rede elétrica, foi utilizado o analisador P55. Com isso, foi possível constatar que a Rubro está em conformidade em relação ao desequilíbrio de tensão e frequência. No entanto, verificou-se que o fator de potência estava fora do limite estabelecido pela concessionária.

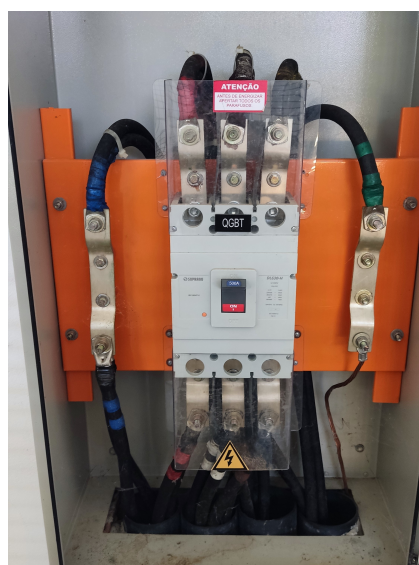
A metodologia utilizada em Castro e Ribeiro (2021) é semelhante ao que será aplicado neste trabalho, com a exceção de que a corrente no neutro foi calculada a partir das correntes das fases, visto que não foi utilizado um Transformador de Corrente (TC) no cabo do neutro. Além disso, o tempo de coleta de dados foi menor, o que pode ter deixado de identificar distúrbios sazonais que só podem ser vistos em certos períodos do ano.

METODOLOGIA

4.1 Local de estudo

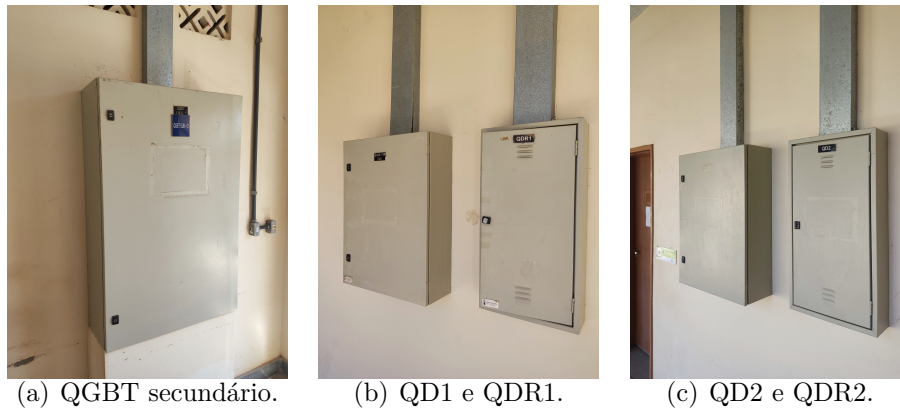
A coleta dos dados ocorrerá no QGBT 1, Figura 11, localizado no interior da subestação abrigada do CMBJL. Esse QGBT é o quadro responsável pela alimentação dos Quadros de Distribuição (QDs) e Quadros de Distribuição de Refrigeração (QDRs) do Campus, Figura 12, responsáveis pelo seccionamentos e proteção dos circuitos de iluminação, tomadas e refrigeração.

Figura 11 – Interior do QGBT 1 localizado dentro da subestação abrigada



Fonte: Autoria própria

Este quadro foi escolhido pelo seu posicionamento estratégico: no diagrama unifilar da subestação, apresentado na Figura 13, é visto que o QGBT 1 localiza-se logo após o

Figura 12 – Quadros de força presentes nos corredores do CMBJL

(a) QGBT secundário.

(b) QD1 e QDR1.

(c) QD2 e QDR2.

Fonte: Autoria própria

transformador e antes da derivação para os circuitos gerais e de refrigeração.

Além disso, como é observado na planta baixa da subestação que se encontra no ANEXO A, o interior da subestação tem zonas com acesso proibido, visto que são áreas de risco de choque elétrico. Outro fator foi a dimensão física dos TCs do analisador P55, sendo o único quadro que possibilitou a conexão do equipamento ao circuito.

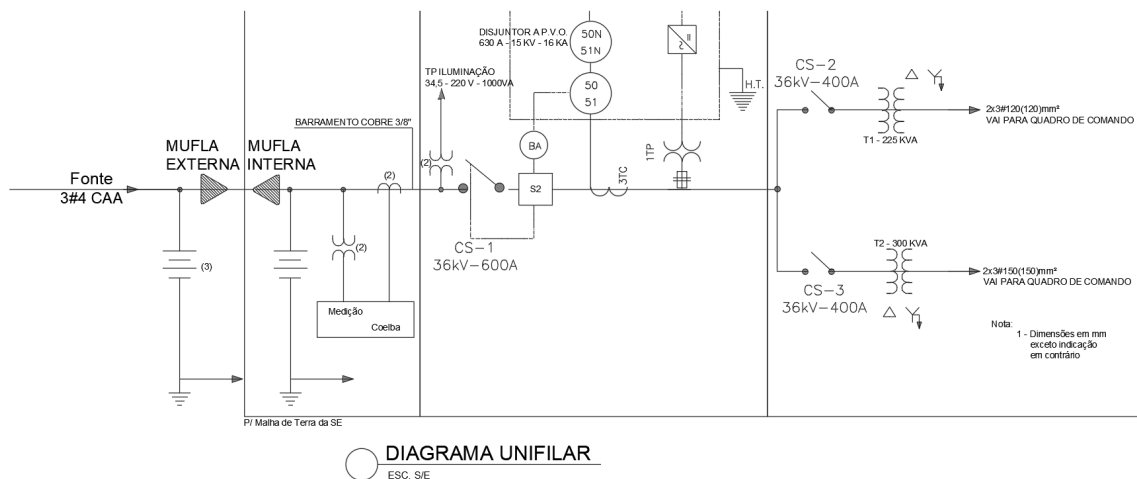
Figura 13 – Diagrama unifilar da subestação abrigada

DIAGRAMA UNIFILAR
ESC. S/E

Fonte: Autoria própria

4.2 Coleta dos dados

A coleta dos dados será feita pelo analisador P55 conectado ao QGBT 1 localizado na subestação abrigada do CMBJL como é visto na Figura 14.

É observado na Figura 15 que os TCs "abraçam" os cabos, ao contrário das garras jacaré-golfinho, que necessitam de contato físico de um ponto na superfície do material

Figura 14 – Analisador P55 conectado ao QGBT 1

Fonte: Autoria própria

condutor, por isso são conectadas no borne do disjuntor, como é apresentado na Figura 16. Por se tratarem de equipamentos de alta tensão e superfícies energizadas, foram tomados os cuidados necessários de acordo com a Norma Regulamentadora n°10 (NR10).

Figura 15 – TCs conectados

(a) TCs conectados à fase a e ao neutro (b) TC conectado à fase b (c) TC conectado à fase c

Fonte: Autoria própria

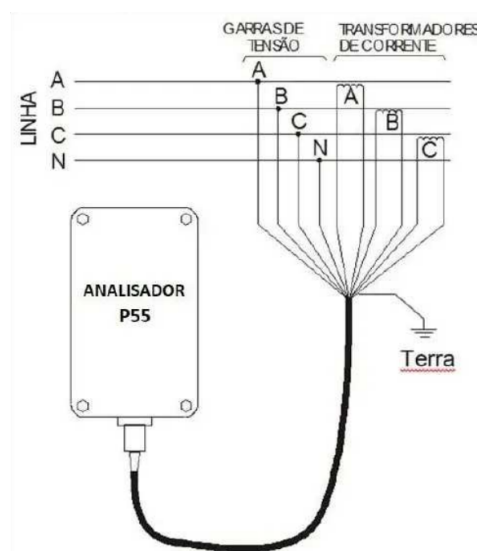
A ligação do analisador P55 ao circuito é do tipo em Y, Figura 17, onde cada TC fará a leitura de corrente de cada fase e neutro, de mesmo modo, as garras jacaré-golfinho irão aferir a tensão das fases e neutro. Este tipo de esquema de ligação é apresentado no manual do equipamento e caracteriza-se pela simplicidade nas conexões, além de ser compatível com circuitos que possuem cargas desbalanceadas, na qual será possível verificar

Figura 16 – Garras jacaré-golfinho conectadas ao QGBT 1

Fonte: Autoria própria

os desequilíbrios de tensão e corrente.

Com o equipamento em operação, os dados coletados pelo analisador P55 ficarão armazenados em um pen-drive, que interrompe o seu processo de armazenamento quando o usuário aciona pela IHM a remoção do pen-drive. A remoção ocorrerá por volta de 30 dias de leitura, nesse período o tamanho do arquivo das leituras é menor do que a capacidade de armazenamento do pen-drive, restando espaço para alguns dias de leituras caso não seja possível realizar a coleta no período de 30 dias.

Figura 17 – Esquema de ligação em Y do analisador portátil

Fonte: PRIMATA (2018)

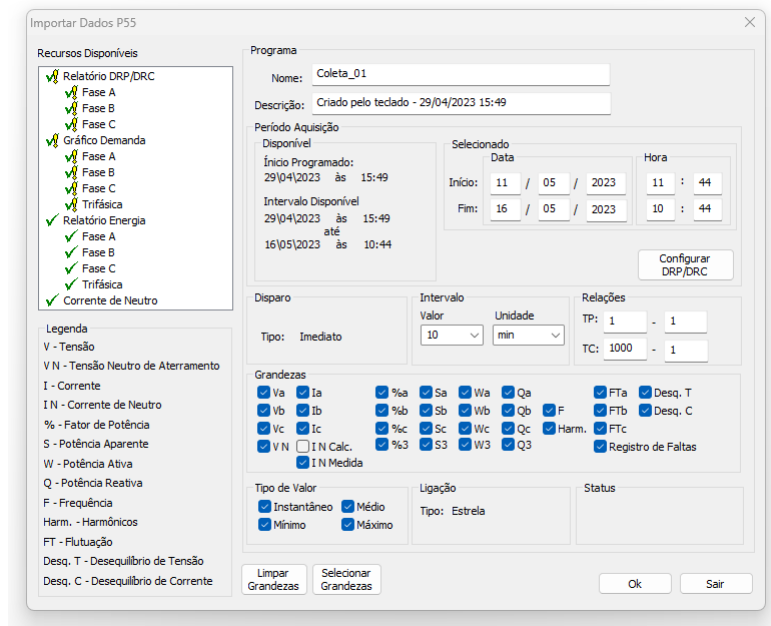
4.3 Análise dos dados

Após a coleta, o pen-drive com os dados será conectado em um computador com o *Software* de Manipulação de Dados (SMD) onde serão extraídos as informações neces-

sárias.

Na interface inicial, realiza-se a importação dos dados contidos no pen-drive. Para isto deve-se ir à guia "Arquivo" e ir na opção "Importar". Feito isso, procura-se pelo arquivo com a extensão .p5x e a tela da Figura 18 aparece.

Figura 18 – Janela para importação de dados do SMD



Fonte: Autoria própria

Define-se o tempo de coleta e as grandezas que serão importadas. Feito isso, o SMD pode ser utilizado para gerar gráficos e relatórios das medidas feitas. A Figura 19 mostra um exemplo de gráfico gerado no SMD da variação da tensão na fase a ao decorrer do tempo.

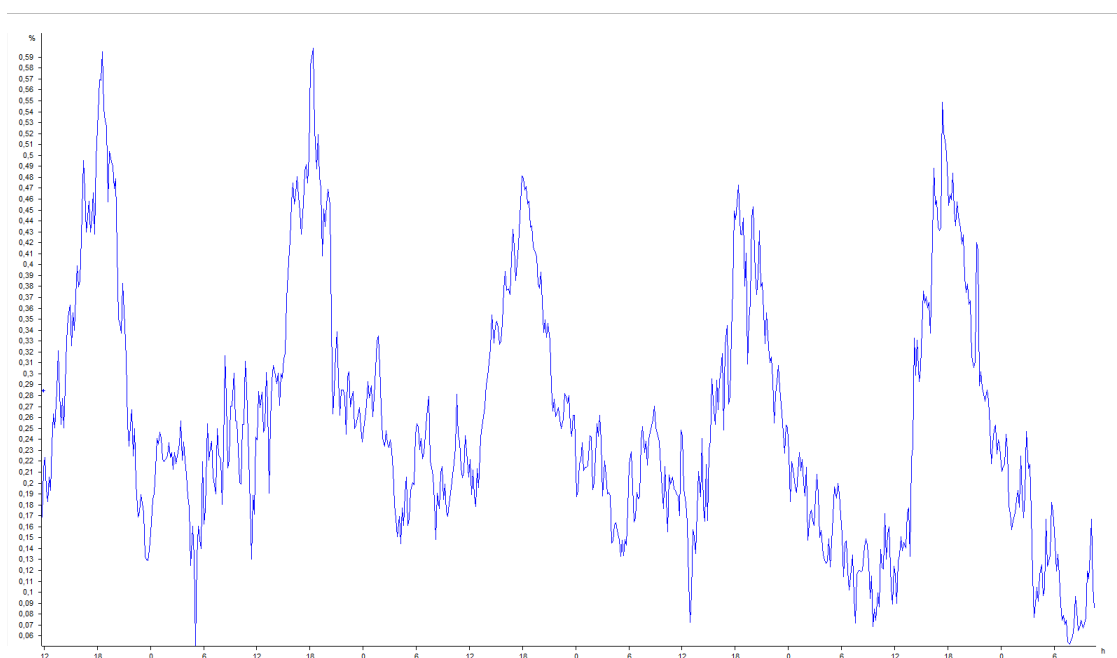
Há ainda a opção de gerar um arquivo no formato .xml que pode ser executado no *software* Microsoft Excel, Figura 20. Com isso, pode ser feito um *dashboard* com uma interface mais amigável e apresentando os dados solicitados pelo usuário. Esse *dashboard* será apresentado no próximo capítulo.

RESULTADOS

As figuras que vem a seguir são apresentadas amostras dos dados da coleta realizada. A coleta começou a partir de 15 de junho de 2023 e continuará realizando a captação dos dados mesmo após o término deste trabalho.

No programa SMD foram plotados os gráficos de desequilíbrios de corrente e de tensão para uma análise preliminar. É possível plotar diversos gráficos, no entanto, o programa carece de ferramentas de análises e seu uso torna trabalhoso e complexo o estudo dos dados. A Figura 21 mostra um exemplo do gráfico plotado no SMD.

Figura 21 – Leitura do desequilíbrio da tensão trifásica na saída do QGBT 1.



Fonte: Autoria própria

Para solucionar esse problema, foi desenvolvido no programa Microsoft Power *Business Intelligence* (BI) um painel em que o usuário possa escolher o dia do seu interesse e possa ter acesso as informações deste dia. O painel está disponível na internet clicando aqui: [Painel de Indicadores](#). Este painel foi dividido em sete partes que serão apresentados ao decorrer deste capítulo:

1. Tensão,
2. Corrente,
3. Potência,
4. Frequência,
5. Fator de potência,
6. Harmônicas de tensão e
7. Harmônicas de corrente.

5.1 Tensão

Na Figura 22 é apresentado o painel com os dados referentes à tensão. Na parte superior contém cartões com os valores médios das tensões de linha e os valores máximos, médios e mínimos das tensões de fase. Estes cartões ficam na cor verde quando estão dentro dos valores adequados e ficam vermelhos quando estão fora dos padrões estabelecidos pelo PRODIST.

Por conta do acesso restrito aos condutores que chegam da concessionária até a subestação, por se tratar de uma tensão de 13,8kV e que o analisador P55 deve funcionar com uma tensão de até 300V entre fase e neutro, será utilizado a Tabela 8 com os limites de valores para uma tensão de alimentação de 380/220V para verificar a qualidade da tensão do CMBJL.

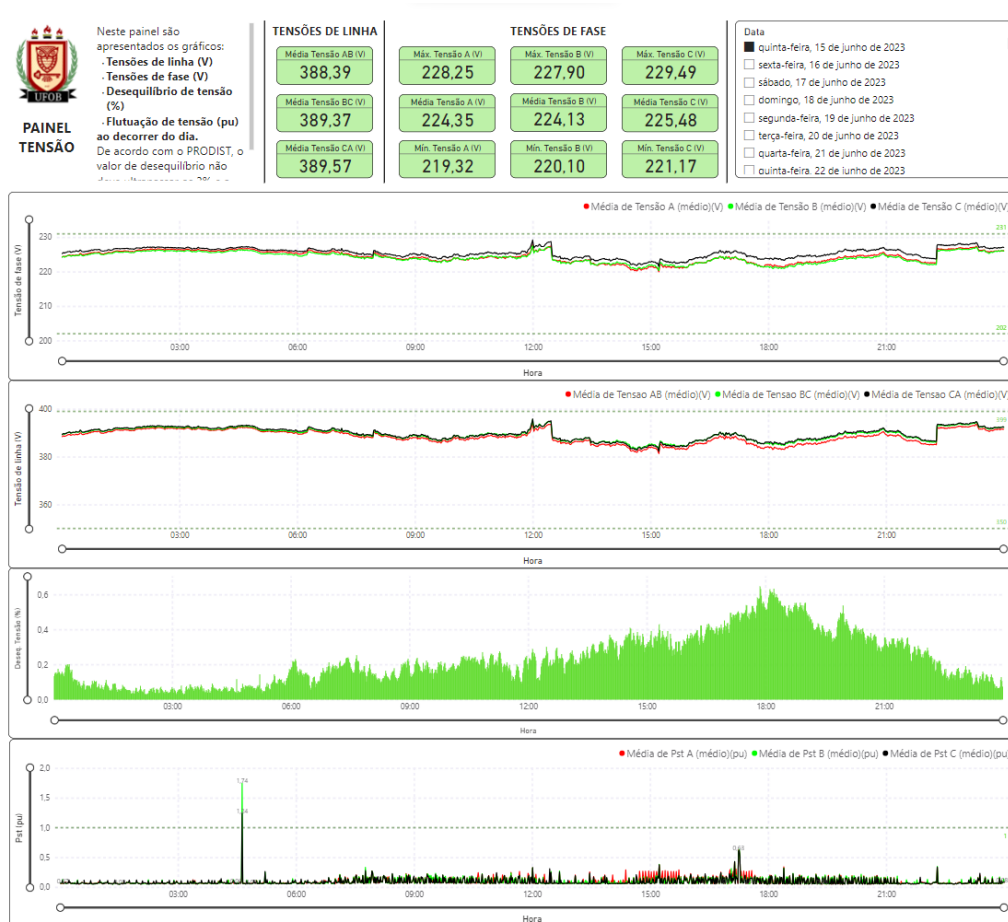
Tabela 8 – Pontos de conexão em Tensão Nominal inferior a 2,3 kV (380V/220V)

Tensão de Atendimento	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(350 \leq TL \leq 399)/(202 \leq TL \leq 231)$
Precária	$(331 \leq TL < 350$ ou $399 < TL \leq 403)/$ $(191 \leq TL < 202$ ou $231 < TL \leq 233)$
Crítica	$(TL < 331$ ou $TL > 403)/(TL < 191$ ou $TL > 233)$

Fonte: (PRODIST, 2021)

Além disso, são apresentados gráficos de linhas das tensões de fase e de linha ao longo do dia selecionado pelo usuário, cada gráfico exibe os valores de cada fase. Logo após, é exibido o gráfico de desequilíbrio de tensão. Conforme o PRODIST, o valor de desequilíbrio deve permanecer abaixo de 3% para ser considerado adequado. No fim da página contém o gráfico do indicador de flutuação de tensão que avalia a cintilação luminosa. O valor de P_{st} deve permanecer abaixo de 1 pu.

Figura 22 – Painel tensão

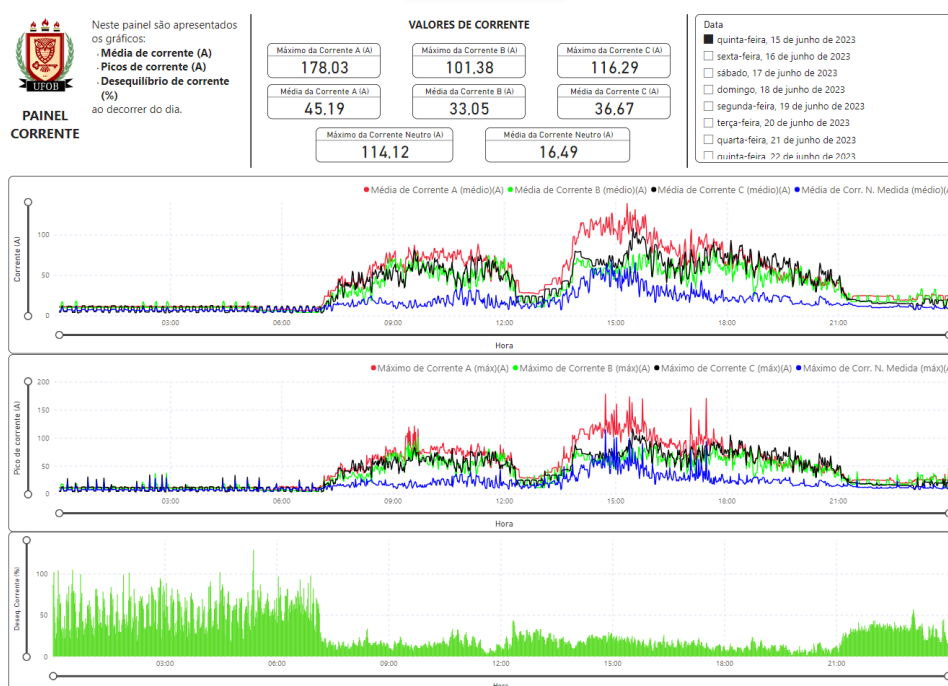


Fonte: Autoria própria

5.2 Corrente

No painel de corrente, Figura 23, são vistos os cartões com os valores máximos e médios da corrente de cada condutor fase e do condutor neutro. Logo abaixo vem os gráficos com as médias e picos de corrente, além dos valores de desequilíbrio ao longo do dia.

Figura 23 – Painel corrente



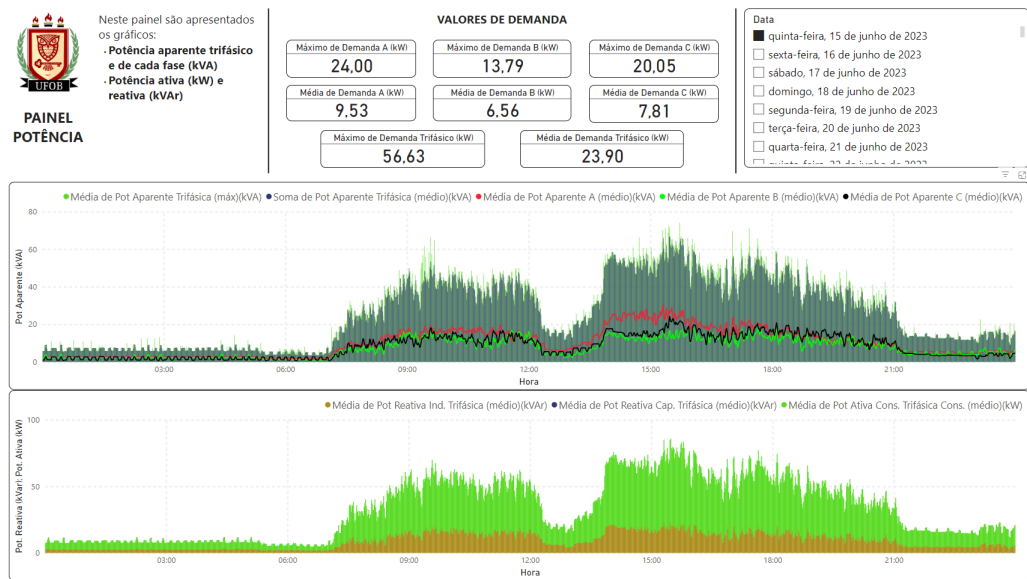
Fonte: Autoria própria

5.3 Potência

Na Figura 24 são apresentados os valores referentes a potência consumida no CMBJL. São dispostos os cartões com os valores máximos e médios da demanda em kW de cada fase e da demanda trifásica. Logo abaixo vem os gráficos com a evolução da potência aparente, ativa e reativa ao longo do dia.

Como o CMBJL não possui geração distribuída, os gráficos de potência injetada na rede da concessionária não foram apresentados, mas na possibilidade da instalação de uma microgeração solar futuramente, por exemplo, o painel pode apresentar os dados referentes a energia produzida.

Figura 24 – Painel potência

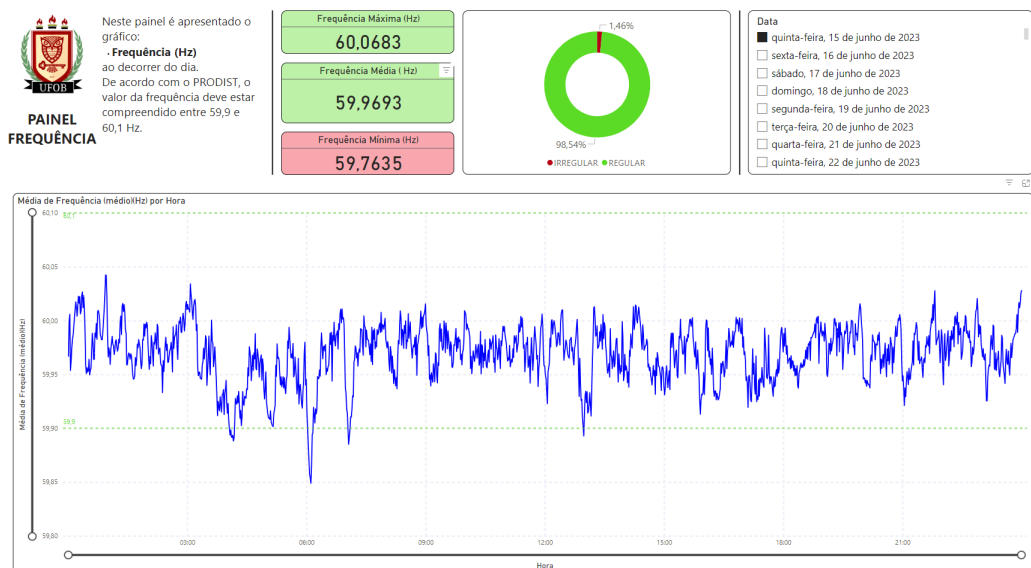


Fonte: Autoria própria

5.4 Frequência

O painel de frequência, Figura 25, é apresentado a leitura da frequência ao longo do dia, além disso, possuem os cartões com os valores mínimo, médio e máximo da frequência no dia e um gráfico de rosca que apresenta a porcentagem da leitura que foi considerada como adequada. Relembrando que o PRODIST (2021) considera o intervalo adequado entre 59,9 e 60,1 Hz.

Figura 25 – Painel frequência



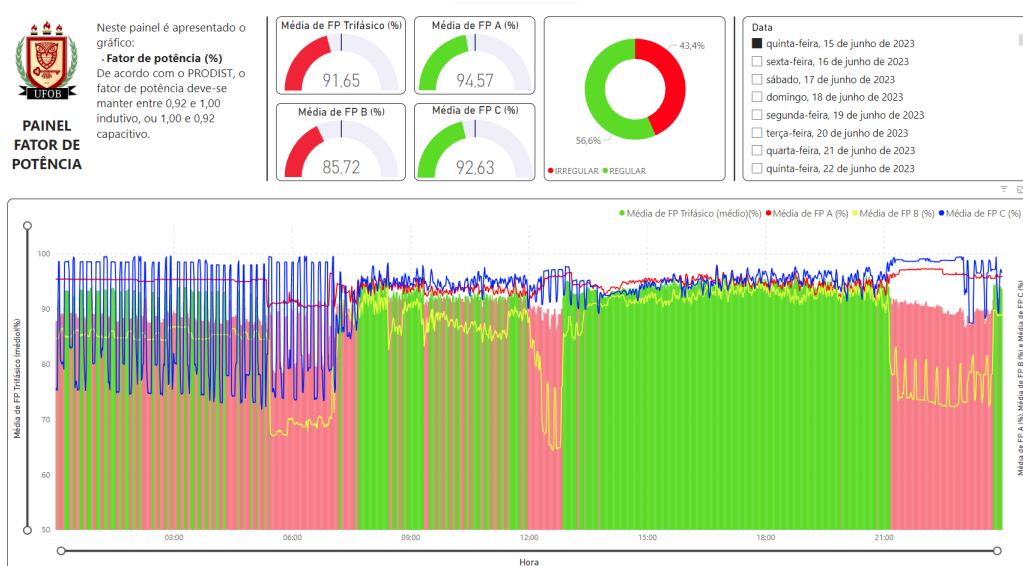
Fonte: Autoria própria

5.5 Fator de potência

A Figura 26 mostra o painel fator de potência. Neste painel é observado os valores do fator de potência trifásico e de cada fase ao longo do dia. Conta-se também com a média desses valores e um gráfico de rosca mostrando a proporção dos valores irregulares, que é quando o valor do fator de potência trifásico ficou abaixo de 0,92 indutivo, considerado fora dos padrões estabelecidos pela concessionária.

No gráfico, as linhas representam os valores do fator de potência de cada fase e as barras representam o fator de potência trifásico. Quando está abaixo de 0,92 indutivo, as barras ficam na cor vermelha indicando o excesso de consumo de reativos.

Figura 26 – Painel fator de potência



Fonte: Autoria própria

5.6 Harmônicas

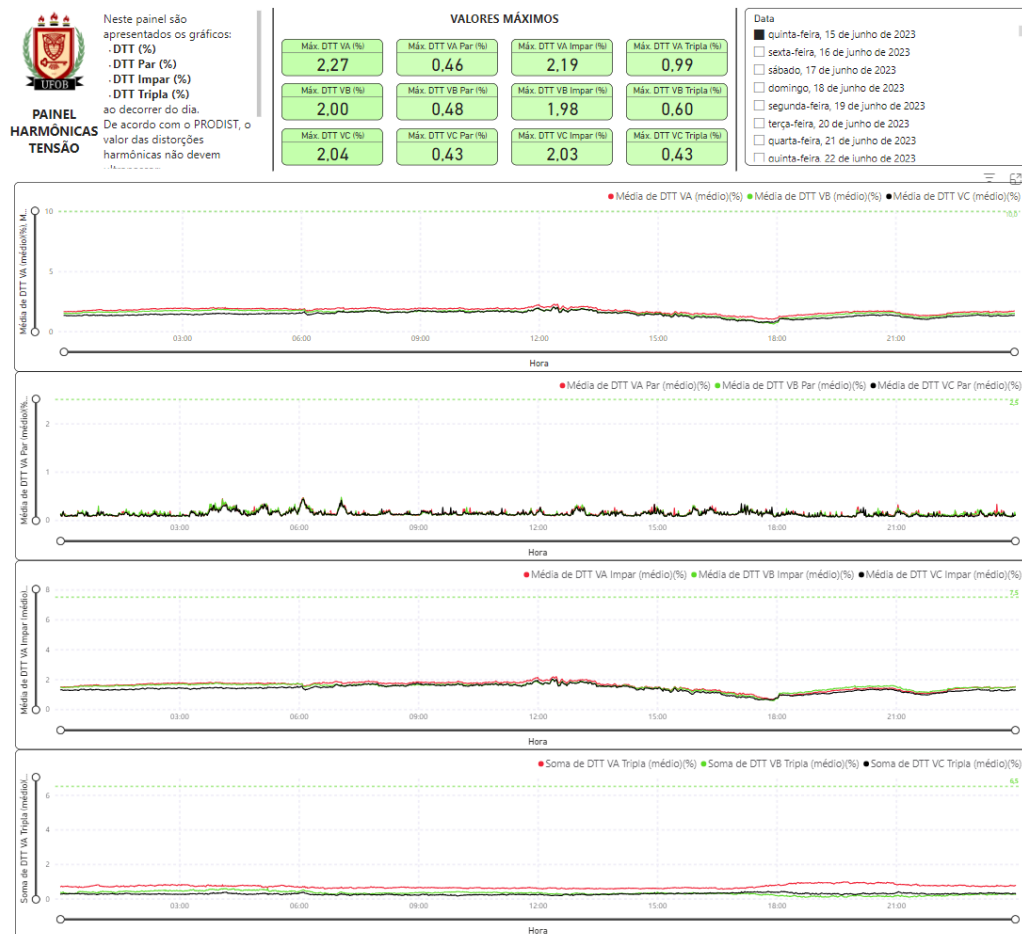
5.6.1 Tensão

Na Figura 27 são apresentados as distorções harmônicas das formas de onda das tensões. O painel conta com cartões informando os valores máximos das distorções totais, das componentes pares, ímpares e triplas. Os gráficos ao longo da página mostram os valores das distorções ao longo do dia. Segundo o PRODIST, os valores limites das distorções (em % da tensão fundamental) para uma alimentação de 380/220V são vistos na Tabela 9.

Tabela 9 – Limites das distorções harmônicas totais para 380V/220V

Indicador	Tensão nominal (v_n) $v_n < 2,3kV$
DTT95%	10,0%
DTT _p 95%	2,5%
DTT _i 95%	7,5%
DTT ₃ 95%	6,5%

Fonte: (PRODIST, 2021)

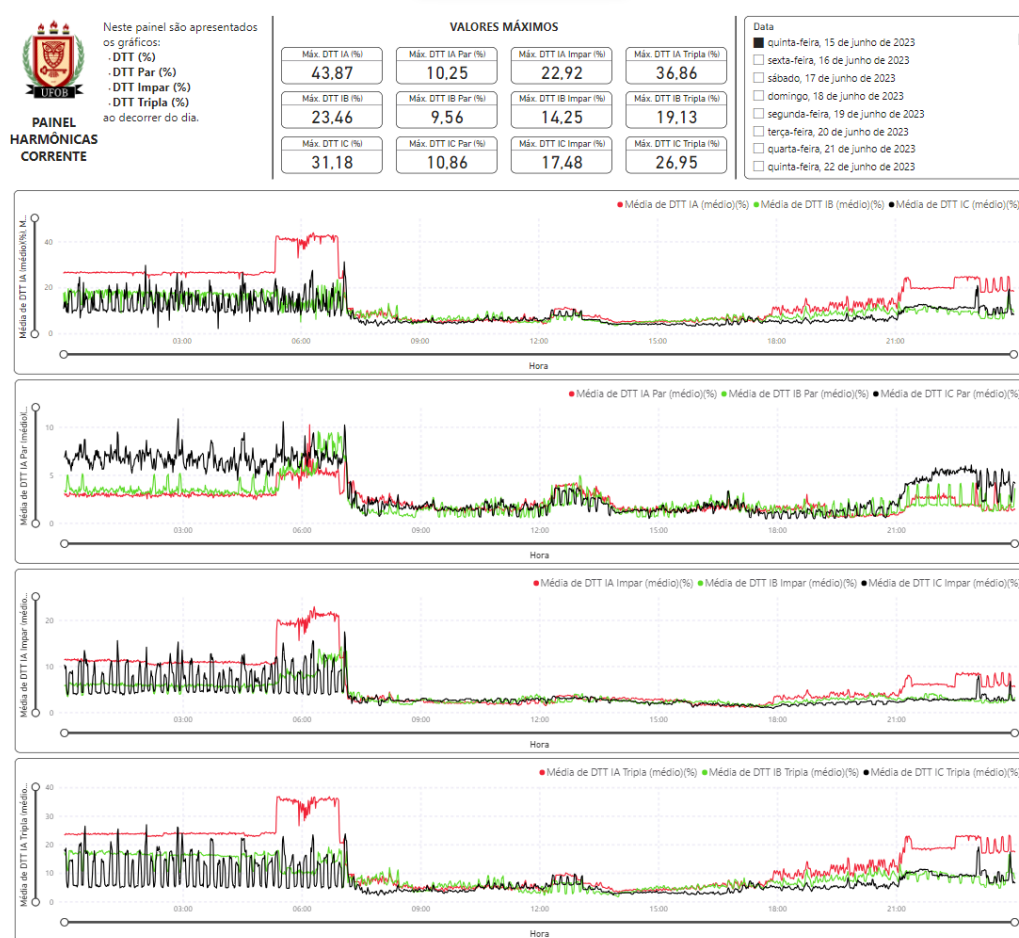
Figura 27 – Painel harmônicas tensão

Fonte: Autoria própria

5.6.2 Corrente

Na Figura 28 são apresentados as distorções harmônicas das formas de onda das correntes. Do mesmo modo que o painel anterior, este conta com cartões informando os valores máximos das distorções totais, das componentes pares, ímpares e triplas, além de seus respectivos gráficos.

Figura 28 – Painel harmônicas corrente



Fonte: Autoria própria

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos gráficos vistos no capítulo anterior, é possível tirar conclusões sobre os indicadores que avaliam a QEE no CMBJL.

6.1 Distúrbios detectados

6.1.1 Tensão

Analisando a tensão, foi visto que na maior parte do tempo a concessionária fornece energia dentro dos limites estipulados. Tanto as tensões de linha quanto as tensões de fase tiveram valores dentro da faixa considerada adequada, além dos valores de desequilíbrio de tensão que ficaram abaixo do patamar de 3%.

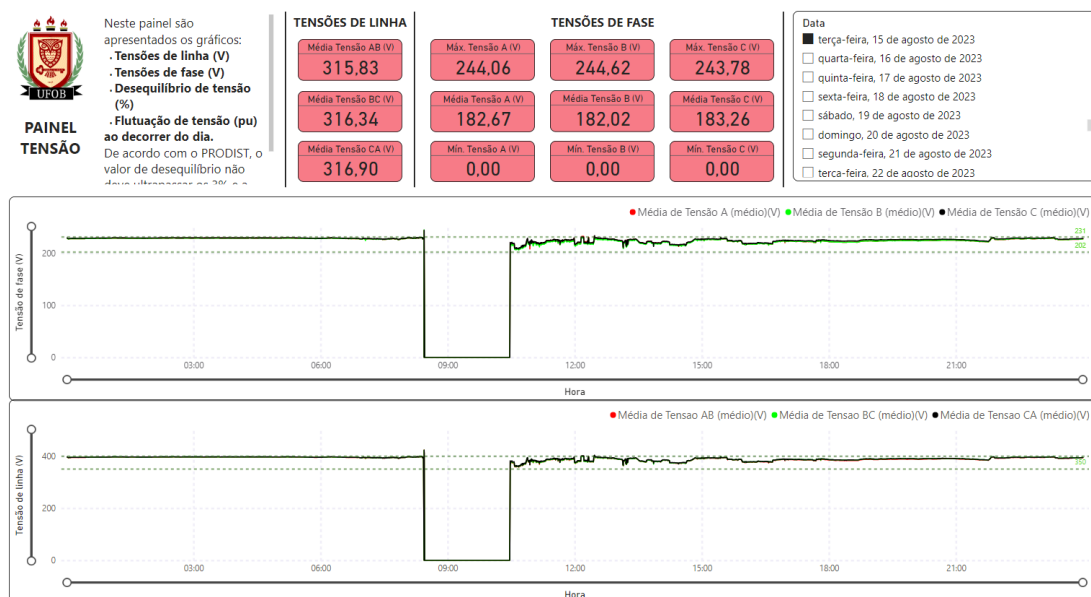
Entretanto, ao longo do período de coleta, foram identificados interrupções no fornecimento de energia que estão descritos na Tabela 10. A interrupção do dia de 15 de agosto de 2023 foi em decorrência do apagão que atingiu grande parte do Brasil. A interrupção dos dias 02 e 03 de novembro de 2023 foi em decorrência de um problema em um equipamento localizado na subestação abrigada do CMBJL na área de responsabilidade da concessionária. As demais interrupções foram por conta de causas desconhecidas.

A Figura 29 mostra a leitura da tensão no dia 15 de agosto de 2023. Os gráficos evidenciam o período em que o campus ficou sem eletricidade e os cartões mostram que os valores de tensão extrapolaram os limites considerados adequados.

Tabela 10 – Descrição das interrupções que foram detectadas.

Dia	Descrição	Duração
26 de junho de 2023	uma interrupção	cerca de dois minutos
08 de agosto de 2023	uma interrupção	cerca de um minuto
15 de agosto de 2023	apagão	cerca de duas horas e dois minutos
04 de outubro de 2023	três interrupções	cerca de dois minutos (cada)
02/03 de novembro de 2023	uma interrupção	cerca de 14 horas e 48 minutos

Fonte: Autoria própria

Figura 29 – Painel tensão no dia 15 de agosto

Fonte: Autoria própria

6.1.2 Desequilíbrio de corrente

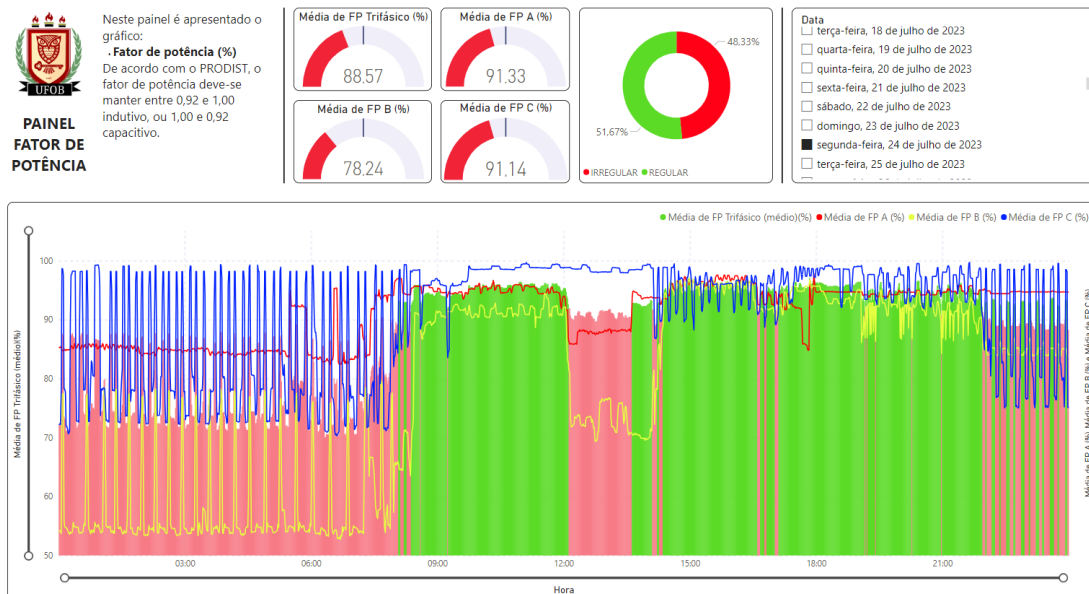
O desequilíbrio de corrente não é considerado um distúrbio que venha ser monitorado pelas concessionárias e órgãos regulamentadores. Entretanto, quando ocorre pode gerar consequências na rede elétrica do consumidor, como o desbalanceamento de fases, provocando uma sobrecarga em um ou mais condutores. E assim, gerando um aquecimento excessivo nos cabos e encarecendo a conta de energia por conta das perdas pelo efeito Joule. Durante o período de coleta de dados, foram constatados em diversos momentos um desequilíbrio acentuado das correntes das fases.

6.1.3 Fator de potência

Com relação ao fator de potência, foi visto na maioria esmagadora do período de coleta a não conformidade dos valores encontrados. O limite mínimo de 0,92 indutivo que é estabelecido pelo PRODIST foi extrapolado várias vezes. A Figura 30 mostra um dos

vários dias em que o fator de potência não ficou em conformidade. Como consequência houve um aumento expressivo na conta de energia por conta da multa por causa do excesso de reativos.

Figura 30 – Painel fator de potência do dia 24 de julho de 2023



Fonte: Autoria própria

6.2 Indicadores em conformidade

Os indicadores de flutuação de tensão, frequência e harmônicas ficaram regular na maior parte do tempo. Nas poucas ocasiões que ficaram fora dos limites estabelecidos, ocorreram nas interrupções de energia e em tempos curtos que são aceitáveis pela ANEEL.

6.3 Soluções propostas

Após os distúrbios e outros problemas serem evidenciados, são propostos soluções para corrigi-los.

6.3.1 Tensão

As interrupções de energia que ocorreram não foram por consequências do CMBJL, é um distúrbio oriundo, principalmente, da rede da concessionária. A fim de minimizar as consequências de uma falta de energia, verificou-se que o CMBJL utiliza *no-breaks* em

equipamentos sensíveis, Figura 31, na sua maioria, os computadores e equipamentos de informática.

Recomenda-se a continuação da prática além manter os cuidados necessários, como verificar se os disjuntores estão devidamente dimensionados, para serem atuados caso ocorram uma sobrecorrente quando a energia é retomada após uma falta

Figura 31 – Exemplos de equipamentos que utilizam *no-breaks* no CMBJL



Fonte: Autoria própria

6.3.2 Fator de potência

O fator de potência ficou fora dos valores adequados na maior parte do tempo. Isto não causou problemas nos dispositivos elétricos, mas gerou um acréscimo na conta de energia. Para solucionar esse problema, o recomendado é a substituição dos equipamentos que tem um consumo alto de potência reativa. Entretanto, muitos desses equipamentos são insubstituíveis no CMBJL, por conta da necessidade em disciplinas do curso.

Então, a outra proposta é a implantação de um banco de capacitores para elevar o valor do fator de potência. Além disso, com o banco de capacitores instalado, a tarifação da conta de energia iria diminuir por não ter a multa por excesso de reativos. Uma outra sugestão é a utilização de motores síncronos visto que os motores presentes no campus são utilizados a vazio, causando assim, o consumo de potência reativa.

6.3.3 Desequilíbrio de corrente

O desequilíbrio de corrente pode ser evitado a partir da listagem de todos os equipamentos do campus e distribuí-los de forma que cada fase receba valores similares de potência consumida. Com a lista de cada equipamento em sua devida fase, basta fazer a mudança do circuito nos QD e QDR presentes no campus. Lembrando que essa mudança só pode ser feita por profissional capacitado e que esteja utilizando os equipamentos de proteção individual.

CONCLUSÃO

A análise da qualidade da energia elétrica no CMBJL resultou em um diagnóstico centrado na QEE prestado pela concessionária. Vários elementos foram considerados nessa avaliação, abrangendo desde variações de tensão, distorções harmônicas, desequilíbrio de tensão até o fator de potência. Além disso, foram examinados os impactos desses fatores no custo da tarifa de energia elétrica do campus. Com o intuito de otimizar a eficiência energética e reduzir os custos associados, foram propostas melhorias específicas no sistema elétrico.

O analisador P55 foi utilizado na subestação abrigada do campus, realizando medições por meses. Neste período, os dados coletados pelo equipamento foram considerados apropriados visto que não apresentaram nenhuma falha como leituras em branco ou valores discrepantes. No entanto, o programa do analisador desapontou pela limitação das ferramentas disponíveis. Por conta disso foi utilizada outra alternativa para a análise dos dados. A escolha foi o Microsoft Power BI pela vasta gama de ferramentas e a possibilidade da publicação do painel na internet.

No que diz respeito à tensão em regime permanente, observou-se que houve algumas poucas violações nos níveis de tensão precária ou crítica. Entretanto, foram registradas interrupções de energia durante o período de coleta de dados. O desequilíbrio de tensão manteve-se consistentemente abaixo dos limites estipulados e as distorções harmônicas apresentaram valores satisfatórios. Em vários momentos, o fator de potência excedeu os padrões estabelecidos pela concessionária, resultando na tarifação adicional devido ao excesso do consumo de reativos.

Os distúrbios referidos como transitórios, assim como as variações rápidas na tensão, não foram contemplados na análise devido à limitação do equipamento utilizado, que

não é capaz de realizar oscilografia. Esses aspectos específicos podem ser abordados em futuras pesquisas, as quais poderão complementar e enriquecer o escopo deste estudo.

Por fim, foi apresentado um relatório com sugestões de iniciativas a fim de solucionar os distúrbios diagnosticados. Todas as informações ficarão disponíveis para o setor administrativo do CMBJL que é responsável pela tomada de decisões do centro, sendo assim, compete ao setor decidir se irá adotar ou não as soluções sugeridas neste estudo.

Em relação a trabalhos futuros, algumas sugestões podem ser citadas, como:

- Aprimorar o painel de dados a fim de tornar a interface mais amigável e intuitiva para o usuário, além de desenvolver painéis de indicadores para diferentes tipos de consumidores, como agricultores e comerciantes;
- Desenvolver um protótipo de baixo custo com a utilização da plataforma Arduino ou um microcontrolador *Programmable Interface Controller* (PIC), aliado a sensores de corrente não invasivos que podem ser encontrados em lojas de eletrônica;
- Com o protótipo em mãos, desenvolver um sistema que colete as informações em tempo real e disponibilize em um banco de dados online acessível à comunidade acadêmica.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**: Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional - PRODIST. 2021.

ANEEL. *Agência Nacional de Energia Elétrica*. 2023. <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 26 de dezembro de 2023.

ANTUNES, F.; LEÃO, R.; SAMPAIO, R. *Harmônicos em sistemas elétricos*. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2014. ISBN 978-85-352-7439-4.

BARROS, B. F. D.; GEDRA, R. L.; BORELLI, R. *Geração, Transmissão, Distribuição e Consumo de Energia Elétrica*. 1. ed. São Paulo: Saraiva Educação SA, 2014. ISBN 978-85-365-3249-3.

CASTRO, M. C. C.; RIBEIRO, H. A. C. **Análise de distúrbios elétricos na qualidade de energia na Rubro Calçados**. Bom Despacho, 2021.

DECKMANN, S. M.; POMILIO, J. A. **Avaliação da qualidade da energia elétrica**. Departamento de Sistemas e Controle de Energia - UNICAMP, 2017. Disponível em: <<https://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdffiles/qualidade/a1.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2023.

FERREIRA, D. D. **Análise de distúrbios elétricos em sistemas de potência**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

KAGAN, N.; ROBBA, E. J.; SCHMIDT, H. P. *Estimação de indicadores de qualidade da energia elétrica*. São Paulo: Blucher, 2009. ISBN 978-85-212-0487-9.

MARQUES, A. F. de M. **Estudo da qualidade da energia elétrica fornecida ao IFBA - Campus de Paulo Afonso**. Paulo Afonso, 2018.

MARTINHO, E. *Distúrbios da energia elétrica*. 3. ed. São Paulo: Saraiva Educação SA, 2009. ISBN 978-85-365-1839-8.

PAULILO, G. **Conceitos gerais sobre qualidade da energia**. *Revista O Setor Elétrico*. Edição, v. 84, 2013.

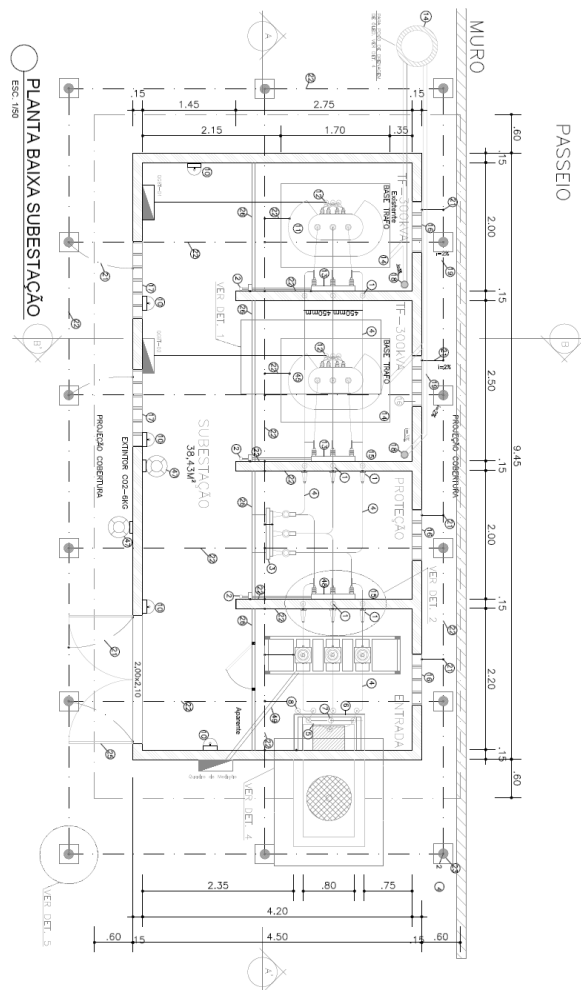
PRIMATA INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS LTDA. **Analisador Portátil de Qualidade de Energia P55**. Curitiba, PR, 2018. Manual do Usuário.

REIS, J. S.; ALVES, R. B.; PINHEIRO, É. C. N. M. **Análise da qualidade de energia elétrica em uma central de telecomunicação de uma empresa na cidade de Manaus: Analysis of the electric power quality in a telecommunication central office of a company in Manaus city.** *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 11, p. 72234–72254, 2022.

WENDLING, M. **Sensores.** *Universidade Estadual Paulista. São Paulo*, v. 2010, p. 20, 2010.

ANEXO A

Figura 32 – Planta baixa da subestação abrigada



Fonte: Autoria própria

