

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MAYELLI COSTA FERREIRA

**ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA NOS LABORATÓRIOS DE  
CELULOSE E PAPEL, E DE PAINÉIS E ENERGIA DA MADEIRA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA: UM ESTUDO DE CASO**

VIÇOSA

2022

MAYELLI COSTA FERREIRA

**ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA NO LABORATÓRIO DE  
CELULOSE E PAPEL, E DE PAINÉIS E ENERGIA DA MADEIRA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como pré-requisito na  
disciplina de Projeto de Engenharia II.  
Orientador: Professor Mauro de Oliveira Prates  
Coorientador: Eng. Eletricista Heitor  
Sampaio Guimarães

VIÇOSA

2022

**MAYELLI COSTA FERREIRA**

**ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA NO LABORATÓRIO DE  
CELULOSE E PAPEL, E DE PAINÉIS ENERGIA DA MADEIRA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA: UM ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 402 – Projeto de Engenharia II e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 15 de Dezembro de 2022.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 MAURO DE OLIVEIRA PRATES  
Data: 15/12/2022 14:33:20-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

**Prof. DSc. Mauro de Oliveira Prates – Orientador**  
**Universidade Federal de Viçosa**

Documento assinado digitalmente  
 HEITOR SAMPAIO GUIMARAES  
Data: 15/12/2022 15:19:41-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

**MSc. Heitor Sampaio Guimarães – Coorientador**  
**Universidade Federal de Viçosa**

Documento assinado digitalmente  
 JOSE CARLOS DA COSTA CAMPOS  
Data: 15/12/2022 22:13:59-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

**Prof. DSc. José Carlos da Costa Campos – Membro**  
**Universidade Federal de Viçosa**

Documento assinado digitalmente  
 VICTOR PELLANDA DARDENGO  
Data: 16/12/2022 11:23:31-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

**Prof. DSc. Victor Pellanda Dardengo – Membro**  
**Universidade Federal de Viçosa**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, pois Ele tem me sustentado dia após dia, sem Ele eu nada seria.

Aos meus pais, Cláudia Helena e Marcio, pelo amor incondicional, sempre me apoiando e investindo tempo e dinheiro. Sem eles eu não teria chegado até aqui.

Ao meu irmão, Antônio Márcio, por todo o companheirismo ao longo dos anos, sempre torcendo por mim. Tê-lo por perto em Viçosa e compartilhar a vida com ele é um privilégio.

Aos meus avós, por todo carinho, amor e ensinamentos.

A minha querida tia Maria de Jesus (*in memoriam*), por ter sido grande incentivadora dos meus estudos, uma inspiração e exemplo a ser seguido.

A todos os meus amigos e familiares que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando em todos os momentos, chorando e vibrando comigo.

Aos meus amados irmãos da Casa de Oração de Retiro do Muriaé e da Primeira Igreja Batista de Viçosa, que são a minha segunda família, por sempre lembrarem de mim em oração e por todos os momentos de comunhão.

À Universidade Federal de Viçosa, campus Viçosa, pela experiência acadêmica proporcionada.

Aos professores, técnicos e servidores do Departamento de Engenharia Elétrica (DEL-UFV). Em especial ao professor Mauro Prates, orientador deste Trabalho de Conclusão de Curso, por todo conhecimento compartilhado.

Ao Heitor, coorientador deste Trabalho de Conclusão de Curso, por todo ensinamento e ajuda prestada.

## RESUMO

Com o avanço da tecnologia, o emprego de dispositivos sensíveis aos padrões de suprimento elétrico com componentes que geram cargas não lineares é cada vez mais comum. Por isso, consumidores e empresas preocupam-se com a qualidade da energia elétrica. É importante entender o que afeta essa qualidade e propor soluções. Neste trabalho, são estudados os problemas relacionados à qualidade de energia, discutindo seu impacto no sistema elétrico do Laboratório de Celulose e Papel (LCP) e do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Para alcançar os objetivos, foram realizadas medições na subestação existente no setor com o analisador de qualidade de energia *Fluke 435*, ligado ao transformador. Dados de tensão, corrente, potência e conteúdo harmônico foram coletados e com a análise desses, foi possível verificar a existência de distúrbios na rede (tais como afundamentos de tensão, harmônicos e sobretensões). Ao final, são propostas soluções para melhorar a qualidade de energia do sistema elétrico do setor.

**Palavras chaves:** qualidade de energia, distúrbios na rede elétrica.

## **ABSTRACT**

With the advancement of technology, the use of devices sensitive to electrical supply standards with components that generate nonlinear loads is increasingly common. Therefore, consumers and companies are concerned about the electrical power systems quality. It is important to understand what affects this quality and propose solutions. In this work, the problems related to energy quality are studied, discussing its impact on the electrical system of the Pulp and Paper Laboratory and the Laboratory of Panels and Wood Energy of the Federal University of Viçosa. To achieve the objectives, measurements were made in the substation existing in the sector with the Fluke 435 energy quality analyzer, connected to the transformer. Voltage, current, power and harmonic content data were collected and with their analysis, it was possible to verify the existence of disturbances in the network (such as voltage sags, harmonics and overvoltages). In the end, solutions are proposed to improve the energy quality of the electrical system.

**Keywords:** energy quality, disturbances in the electricity grid.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Faixas de tensão em relação à de referência .....	16
Figura 2 - Laboratório do LCP .....	21
Figura 3 - Parte do LAPEM.....	21
Figura 4 - Caminho percorrido pela linha de 13,8 kV da UFV .....	23
Figura 5 - Fluke 435 .....	24
Figura 6 - Transformador que alimenta os laboratórios .....	25
Figura 7 - Tensão da fase 1.....	26
Figura 8 - Tensão da fase 2.....	26
Figura 9 - Tensão da fase 3.....	27
Figura 10 - Dia da ocorrência da interrupção de tensão .....	28
Figura 11 - Dia seguinte ao da interrupção de tensão.....	28
Figura 12 - Variação de frequência .....	29
Figura 13 - Variação do fator de potência .....	29
Figura 14 – DTT% da fase 1 .....	30
Figura 15 – DTT% da fase 2 .....	31
Figura 16 - DTT% da fase 3 .....	31
Figura 17 - DTTp% da fase 1 .....	32
Figura 18 - DTTp% da fase 2 .....	32
Figura 19 - DTTp% da fase 3 .....	32
Figura 20 - DTTi% da fase 1 .....	33
Figura 21 - DTTi% da fase 2 .....	33
Figura 22 - DTTi% da fase 3 .....	34
Figura 23 - DTT3% da fase 1 .....	34
Figura 24 - DTT3% da fase 2 .....	35
Figura 25 - DTT3% da fase 3 .....	35
Figura 26 - Harmônicas de ordem ímpar para as 3 fases .....	36
Figura 27 - Pst da fase 1 .....	37
Figura 28 - Pst da fase 2 .....	37
Figura 29 - Pst da fase 3 .....	38
Figura 30 - Plt da fase 1 .....	38
Figura 31 - Plt da fase 2.....	39
Figura 32 - Plt da fase 3.....	39

Figura 33 - Corrente da fase 1 .....	40
Figura 34 - Corrente da fase 2 .....	40
Figura 35 - Corrente da fase 3 .....	41
Figura 36 - Potências ativa, reativa e aparente totais .....	42
Figura 37 - Porcentagem da carga nominal de atendimento do transformador.....	42

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Pontos de conexão em Tensão Nominal inferior a 2,3 kV (220/127) .....	16
Tabela 2 - Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão nominal) .....	19
Tabela 3 - Alguns equipamentos encontrados nos laboratórios .....	22

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

**ANEEL:** Agência Nacional de Energia Elétrica

**CA:** Corrente alternada

**CC:** Corrente contínua

**DIT<sub>h</sub>%:** Distorção harmônica individual de tensão de ordem h

**DRC:** Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica

**DRP:** Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária

**DTT%:** Distorção harmônica total de tensão

**DTT<sub>3</sub>%:** Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3

**DTT<sub>i</sub>%:** Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3

**DTT<sub>p</sub>%:** Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3

**FP:** Fator de potência

**IEEE:** Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos

**LAPEM:** Laboratório de Painéis e Energia da Madeira

**LCP:** Laboratório de Celulose e Papel

**P<sub>lt</sub>:** *long-term probability*

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

**P<sub>st</sub>:** *short-term probability*

**QEE:** Qualidade de Energia Elétrica

**rms:** *root mean square*

**T<sub>R</sub>:** tensão de referência

**UFV:** Universidade Federal de Viçosa

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	13
<b>3 JUSTIFICATIVAS</b> .....	13
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	14
4.1 TENSÃO EM REGIME PERMANENTE .....	15
4.2 VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA .....	17
4.3 FATOR DE POTÊNCIA .....	17
4.4 DISTORÇÕES HARMÔNICAS .....	18
4.5 FLUTUAÇÃO DE TENSÃO .....	19
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	20
5.1 ANALISADOR DE QUALIDADE DE ENERGIA .....	23
5.2 ESTUDO DE CASO .....	24
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	26
6.1 TENSÃO EM REGIME PERMANENTE .....	26
6.2 VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA .....	28
6.3 FATOR DE POTÊNCIA .....	29
<b>Dimensionamento Do Banco De Capacitores</b> .....	30
6.4 DISTORÇÕES HARMÔNICAS .....	30
6.5 FLUTUAÇÃO DE TENSÃO .....	37
6.6 CORRENTE .....	39
6.7 POTÊNCIA .....	41
<b>CONCLUSÃO</b> .....	43
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	45

## 1 INTRODUÇÃO

A qualidade de energia elétrica (QEE) é um assunto muito pertinente nos tempos atuais e questão de preocupação tanto de consumidores quanto de fornecedores. Devido ao uso cada vez maior de equipamentos com componentes eletrônicos altamente sensíveis, os distúrbios relacionados à qualidade de energia têm aumentado consideravelmente (DUGAN et al., 2012). De forma geral, os problemas relacionados à QEE são consequência de conversões de níveis de corrente alternada (CA) para corrente contínua (CC) e o aumento de cargas não-lineares nos sistemas (ALDABÓ, 2013).

Estes problemas são definidos como distúrbio ou perturbação que ocorre nos níveis de tensão, corrente ou variação de frequência na energia de um sistema (HADDAD, 2004). Muitos deles estão presentes na instalação elétrica do consumidor ou são provenientes de perturbações que ocorrem no sistema de distribuição. Tais problemas prejudicam a eficiência energética, podem causar queima de equipamentos e prejuízos econômicos.

Com o aumento de artigos científicos publicados e congressos sobre o tema, é evidente que muitos pesquisadores se dedicam a esta área da QEE para analisar as causas e propor soluções tanto para as concessionárias de energia quanto para os consumidores finais (CORRÊA, 2007).

Como este é um tema importante, os indicadores da qualidade de energia elétrica são regulamentados. No Brasil, essa regulamentação é feita pelo PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) e pelos Procedimentos de Rede. O PRODIST trata-se de um documento elaborado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) que padroniza as atividades relacionadas à distribuição de energia. No Módulo 8 deste documento são definidos os indicadores da qualidade de energia elétrica, estabelecendo valores de referência e limites. Já o Procedimentos de Rede também é um documento elaborado pela ANEEL, mas com foco na transmissão.

Desta forma, é possível determinar quais problemas relacionados à qualidade de energia um sistema apresenta, comparando-os com os valores definidos no PRODIST e em outras normas internacionais.

Neste trabalho, serão abordados alguns distúrbios da qualidade de energia e um estudo de caso de um sistema elétrico visando a melhoria da sua qualidade de energia.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo dos problemas relacionados à qualidade de energia, tais como afundamentos de tensão e harmônicos, discutindo seu impacto na qualidade de energia. Dentre os objetivos específicos estão:

- Realizar um estudo aprofundado sobre os distúrbios relacionados à qualidade de energia elétrica.
- Coletar dados de tensão, corrente, fator de potência e harmônicos na subestação do Laboratório de Celulose e Papel (LCP) e do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) da Universidade Federal de Viçosa (UFV).
- Analisar os dados coletados, verificando a presença ou não de distúrbios relacionados à qualidade de energia e propor soluções de melhoria.

## 3 JUSTIFICATIVAS

Nos dias atuais, há a necessidade por uma máxima eficiência energética, e isto é alcançado com melhoria da qualidade de energia do sistema elétrico. Para que tal melhoria ocorra, é necessário um estudo e conhecimento aprofundado no assunto para que sejam propostas soluções para os distúrbios relacionados à qualidade de energia.

No caso deste trabalho, trata-se de um setor localizado em um final de linha, com laboratórios que contribuem para o avanço da ciência por meio de estudos e análises. Nesses laboratórios existem equipamentos com componentes não lineares que podem gerar problemas na rede e até queima dos mesmos. Os relatos dos pesquisadores e servidores do local, indicam que os problemas são recorrentes, principalmente em dias chuvosos, quando há uma maior oscilação da energia, causando inclusive perda ou queima de equipamentos, que são caros, deixando-os inutilizáveis.

Quaisquer falhas em um circuito do sistema de energia podem resultar na desconexão de clientes, perda de estabilidade do sistema e danos nos equipamentos. Por isso, é importante a análise da qualidade de energia para manter o bom funcionamento dos laboratórios, evitando perdas econômicas e também de dados importantes para as pesquisas realizadas, bem como o tempo perdido por todos os envolvidos. Além disso, é interessante também um estudo da proteção do sistema.

Ao final do trabalho, será possível determinar os problemas que ocorrem nesse setor e propor soluções para minimizá-los, oferecendo uma melhor qualidade de energia elétrica.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

Com o avanço da tecnologia, houve uma evolução dos sistemas elétricos de potência. Nos tempos atuais, o sistema é constituído de muitas cargas não lineares que utilizam correntes não senoidais. A qualidade de energia elétrica é uma preocupação recorrente de consumidores e concessionárias. Isso se deve às cargas não lineares no sistema que geram harmônicos e outros distúrbios relacionados à qualidade de energia. Desta forma, hoje as cargas são mais sensíveis a esses distúrbios (DUGAN et al., 2002).

Alguns dos motivos para a preocupação com a qualidade de energia, segundo (MAIA, 2008), são:

- O aumento da interligação de rede, qualquer falha pode gerar consequências importantes.
- Os equipamentos eletrônicos são mais sensíveis que os utilizados no passado.
- A má qualidade de energia pode causar avarias em equipamentos e parar produções, causando prejuízos econômicos.

Em um sistema elétrico ideal, as ondas de corrente e tensão deveriam chegar na forma senoidal, porém chegam distorcidas (HADDAD, 2004). Sabendo como seria um sistema ideal, pode-se determinar a qualidade da energia elétrica de determinado sistema analisando seus sinais de tensão e corrente em parâmetros de forma de onda, frequência e amplitude. Qualquer alteração nesses parâmetros que cause falha na rede ou operação inadequada de equipamentos caracteriza um distúrbio de qualidade de energia (FRANCO, 2013).

Muitos desses distúrbios podem ocorrer em locais que são fim de linha, como é o caso dos laboratórios analisados neste trabalho, pois as cargas que vem antes são priorizadas.

Dentre os distúrbios da qualidade de energia, estão afundamentos de tensão, harmônicos, subtensão e sobretensão, transitórios e ruídos.

O afundamento de tensão pode ser provocado por um curto-circuito ou ligação de carga perto do sistema. Nele há uma redução do valor *rms* da tensão por um período de tempo determinado (DUNGAN et al., 2002). Geralmente são causados por faltas no sistema, como curtos-circuitos. Podem gerar mal funcionamento de equipamentos, reinicialização ou mesmo desligamento.

Um dos distúrbios que ocorre com frequência nos sistemas atuais é a distorção nos sinais de tensão e corrente causada por harmônicos (IEEE 1159, 2019). Os harmônicos são causados

por dispositivos não-lineares onde as ondas de corrente ou tensão possuem componentes de frequência múltipla inteira da frequência fundamental. Podem causar indução de campos magnéticos em transformadores e disjuntores, erros de frequência, desligamentos de cargas e níveis de tensão elevados entre neutro e terra (ALDABÓ, 2001).

Segundo IEEE 1159 (2019), subtensão é um afundamento de tensão que ultrapassa o tempo limite que caracteriza um afundamento de tensão. Geralmente, é causada por sobrecarga do sistema. Quando o valor da tensão é menor que 10% da nominal por um período maior que 1 minuto, diz-se que há uma interrupção de tensão.

Já a sobretensão é quando o valor da tensão ultrapassa o valor *rms* acima de 1,1 pu por um período de tempo maior que 1 minuto. Podem resultar de comutação de cargas, variações na compensação de reativos do sistema ou reguladores de tensão que não funcionam adequadamente.

E o ruído ocorre por causa de interferências eletromagnéticas, causadas por equipamentos eletrônicos, circuitos de controle, entre outros, sendo exacerbados caso o aterramento não esteja adequado.

Existem normas reguladoras que determinam os indicadores da QEE, de forma a manter uma qualidade mínima dos sistemas para o bom funcionamento dos mesmos. No Brasil, quem regulamenta é a ANEEL, através do Módulo 8 do PRODIST.

O PRODIST trata da qualidade do fornecimento de energia elétrica, sendo dividido em três partes: qualidade do produto, qualidade do serviço e qualidade comercial. A qualidade do produto diz respeito aos parâmetros e distúrbios que estão relacionados à forma de onda da tensão. A qualidade do serviço refere-se à continuidade do serviço prestado pelas distribuidoras e atendimento às ocorrências emergenciais. E a qualidade comercial avalia a relação entre distribuidoras e clientes. Neste trabalho, objetiva-se avaliar a QEE dos laboratórios em relação ao produto. A seguir são descritos os parâmetros que são estudados neste trabalho.

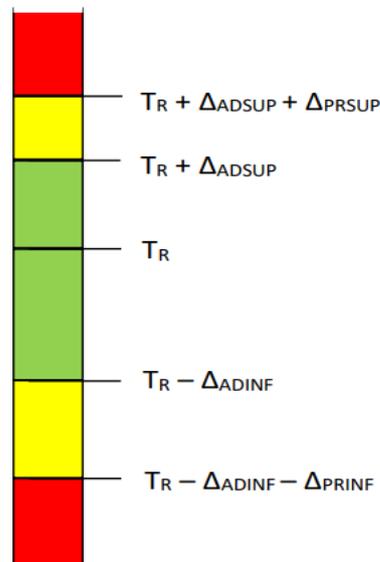
#### 4.1 TENSÃO EM REGIME PERMANENTE

Segundo o Módulo 8 do PRODIST, a conformidade da tensão em regime permanente é avaliada comparando-se a tensão medida de forma apropriada com os níveis de tensão definidos como adequados, precários ou críticos (ANEEL, 2018). A medição deve ocorrer nos pontos de conexão com a rede de distribuição, ou seja, pontos de conexão entre distribuidoras e unidades consumidoras. Como já visto, o ponto de conexão da distribuidora com a universidade está

situado próximo à Praça das Quatro Pilastras, na entrada do *campus* da UFV. Para fins acadêmicos, os dados foram então coletados na entrada dos laboratórios.

Os dados coletados de tensão devem ser comparados com a tensão de referência ( $T_R$ ), no caso, a tensão nominal e seus limites conforme ilustrado na Figura 1. Os limites são definidos em faixas, as quais são: faixa adequada de tensão (intervalo entre  $(T_R - \Delta_{ADINF})$  e  $(T_R + \Delta_{ADSUP})$ ), faixa precária 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 faixa crítica de tensão (valores acima de  $(T_R - \Delta_{ADSUP} + \Delta_{PRSUP})$  ou abaixo de  $(T_R - \Delta_{ADINF} - \Delta_{PRINF})$ ).

Figura 1 - Faixas de tensão em relação à de referência



Fonte: (ANEEL, 2018)

Essas faixas variam de acordo com a tensão de atendimento. Para o caso deste trabalho, os limites para análise do indicador de tensão em regime permanente são mostrados na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Pontos de conexão em Tensão Nominal inferior a 2,3 kV (220/127)

<b>Tensão de Atendimento</b>	<b>Faixa de Variação da Tensão de Leitura (V)</b>
Adequada	$(202 \leq TL \leq 231) / (117 \leq TL \leq 133)$
Precária	$(191 \leq TL < 202 \text{ ou } 231 < TL \leq 233) /$ $(110 \leq TL < 117 \text{ ou } 133 < TL \leq 135)$
Crítica	$(TL < 191 \text{ ou } TL > 233) / (TL < 110 \text{ ou } TL > 135)$

Fonte: (ANEEL, 2018)

A norma determina ainda uma série de indicadores individuais e coletivos. Entretanto, como este trabalho trata da análise em apenas dois prédios da UFV que são alimentados pelo mesmo transformador, é pertinente a análise somente dos indicadores individuais. Os indicadores referem-se ao índice de duração relativa da transgressão para tensão precária (DRP) e para tensão crítica (DRC) e são dados conforme as equações (1) e (2) apresentadas no item 26.5 da norma:

$$DRP = \frac{nlp}{1008} \times 100 \text{ [%]} \quad (1)$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} \times 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

em que  $nlp$  e  $nlc$  correspondem ao número de leituras que compreendem o maior valor entre as fases nas faixas precária e crítica, respectivamente. O limite impróprio é definido quando DRP e DRC ultrapassam 3% e 0,5%, respectivamente.

#### 4.2 VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA

Em condições normais de operação e em regime permanente, a ANEEL define que o sistema de distribuição e as instalações de geração a ele conectadas devem operar dentro dos limites de frequência entre 59,9 Hz e 60,1 Hz. Em condições extremas, a norma ainda diz que o sistema não deve ter frequência inferior a 56,5 Hz nem exceder 66 Hz.

#### 4.3 FATOR DE POTÊNCIA

O fator de potência (FP) é calculado levando em consideração os valores registrados de potências ativa e reativa, utilizando a equação (3)

$$fp = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (3)$$

onde P é a potência ativa e Q, a reativa.

Segundo o PRODIST e a Resolução Normativa N° 1000 da ANEEL (2021), o fator de potência (FP) tem como limite mínimo permitido o valor de 0,92, sendo indutivo ou capacitivo.

Bancos de capacitores costumam ser muito utilizados de forma a adequar o fator de potência de um sistema à norma. Sendo FP o ângulo de defasagem entre tensão e corrente, para o valor mínimo permitido pela norma, o ângulo aqui definido como  $\theta$  é 23,07°.

Do triângulo de potências tem-se que

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{Q}{P} \quad (4)$$

na qual Q é a potência reativa e P é a potência ativa.

Assim, a potência reativa da carga para o FP ser 0,92 é

$$Q = \operatorname{tg} \theta * P = 0,426 * P \quad (5)$$

Para dimensionar o banco de capacitores, deve-se encontrar o menor valor de FP indutivo no período observado de forma a garantir que o banco suprirá o sistema em qualquer momento para o atual regime de cargas. Para encontrar o valor da potência reativa do capacitor, basta utilizar a equação 5 e subtrair o valor encontrado do valor da potência reativa atual da carga.

#### 4.4 DISTORÇÕES HARMÔNICAS

Como para os outros fenômenos, a ANEEL também determina indicadores e limites relacionados à distorção harmônica, de forma a manter a qualidade da energia. Alguns desses indicadores são mostrados a seguir.

A distorção harmônica individual de tensão de ordem h ( $DIT_h\%$ ) dada por:

$$DIT_h\% = \frac{V_h}{V_1} \times 100 [\%] \quad (6)$$

onde h é a ordem harmônica e  $V_1$  é a tensão fundamental.

A distorção harmônica total ( $DTT\%$ ) é dada por:

$$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} V_h^2}}{V_1} \times 100 [\%] \quad (7)$$

onde  $h_{\max}$  é a ordem harmônica máxima.

A distorção harmônica total para componentes pares não múltiplas de 3 ( $DTT_p\%$ ) é dada por:

$$DTT_p\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_p} V_h^2}}{V_1} \times 100 [\%] \quad (8)$$

onde  $h_p$  é a máxima ordem harmônica par.

Analogamente, a distorção harmônica total para componentes ímpares não múltiplas de 3 ( $DTT_i\%$ ) é dada por:

$$DTT_i\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=5}^{h_i} V_h^2}}{V_1} \times 100 \text{ [%]} \quad (9)$$

onde  $h_i$  é a máxima ordem harmônica ímpar.

Finalmente, a distorção harmônica total para componentes múltiplas de 3 ( $DTT_3\%$ ) é dada por:

$$DTT_3\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=3}^{h_3} V_h^2}}{V_1} \times 100 \text{ [%]} \quad (10)$$

onde  $h_3$  é a máxima ordem harmônica múltipla de 3.

Sendo  $DTT_{95\%}$ ,  $DTT_p95\%$ ,  $DTT_i95\%$  e  $DTT_395\%$  os valores do indicador que foi superado em apenas 5% das 1008 leituras válidas, estabelecem-se os limites máximos desses indicadores, considerando uma tensão nominal menor que 2,3 kV. Estes limites estão na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão nominal)

<b>Indicador</b>	<b>Tensão Nominal (V<sub>n</sub>)</b>
DTT <sub>95%</sub>	10,0%
DTT <sub>p95%</sub>	2,5%
DTT <sub>i95%</sub>	7,5%
DTT <sub>395%</sub>	6,5%

Fonte: (ANEEL, 2018)

#### 4.5 FLUTUAÇÃO DE TENSÃO

A flutuação de tensão é caracterizada pela variação do valor eficaz ou de pico da tensão instantânea, sendo essa variação de forma aleatória, repetitiva ou esporádica. A norma define três indicadores para avaliar este fenômeno:  $P_{st}$ ,  $P_{lt}$  e  $P_{st95\%}$ .

O indicador  $P_{st}$  é calculado utilizando a equação 11

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}} \quad (11)$$

em que  $P_i$  ( $i = 0,1; 1; 3; 10; 50$ ) é o nível de flutuação de tensão que foi ultrapassado durante  $i\%$  do tempo. Este indicador “representa a severidade dos níveis de cintilação luminosa

associados à flutuação de tensão verificada num período contínuo de 10 minutos” (ANEEL, 2018).

Já o indicador  $P_{lt}$  “corresponde a um valor representativo de 12 amostras consecutivas de  $P_{st}$ ”, e é dado pela equação 10

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

A norma ainda estabelece limites de valores máximos desejáveis para o indicador  $P_{st95\%}$ , que para a tensão nominal inferior a 2,3 kV é de 1,0 pu. Este indicador representa o valor de  $P_{st}$  que foi superado em apenas 5% das 1008 leituras.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado nos Laboratório de Celulose e Papel (LCP) e Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Fundado em 1970, e com a inauguração do 2º andar em 2003, o LCP dedica-se ao ensino, pesquisa e assessoria técnica, contribuindo assim para o avanço da ciência e soluções de problemas em indústrias dessa área. O LCP conta com vários laboratórios para análises de celulose e papel e também produção em escala laboratorial desses produtos. Dentre os principais equipamentos utilizados nos laboratórios do LCP, estão: estufas, baterias de extração, bombas calorimétricas, digestor rotacional, analisador de cloro, gerador de ozônio, entre outros.

O LAPEM foi inaugurado em 1988 e totalmente reformado em 2012, tratando-se, portanto, de uma instalação mais nova. Suas principais atividades incluem ensino, pesquisa e extensão nas áreas de Adesivos e Painéis, Bioenergia e Qualidade da Madeira. Por meio dessas atividades, subsídios são fornecidos à indústria e à sociedade para soluções de problemas nas áreas estudadas. No LAPEM, os equipamentos mais utilizados são balanças, muflas e prensas hidráulicas.

As Figuras 2 e 3 mostram algumas imagens do LCP e LAPEM, respectivamente.

Figura 2 - Laboratório do LCP



Fonte: Autoria Própria

Figura 3 - Parte do LAPEM



Fonte: Autoria própria

Nesses laboratórios, existem diversos equipamentos com componentes eletrônicos não lineares que podem causar distúrbios na rede. Tratam-se de equipamentos muito sensíveis e alguns trabalham com altas temperaturas e controle de umidade.

Foi realizado um levantamento dos principais equipamentos utilizados nos laboratórios. Como muitos são bem antigos, foi difícil encontrar os valores de tensão, corrente, potência e temperatura de todos, a Tabela 3 mostra alguns deles.

Tabela 3 - Alguns equipamentos encontrados nos laboratórios

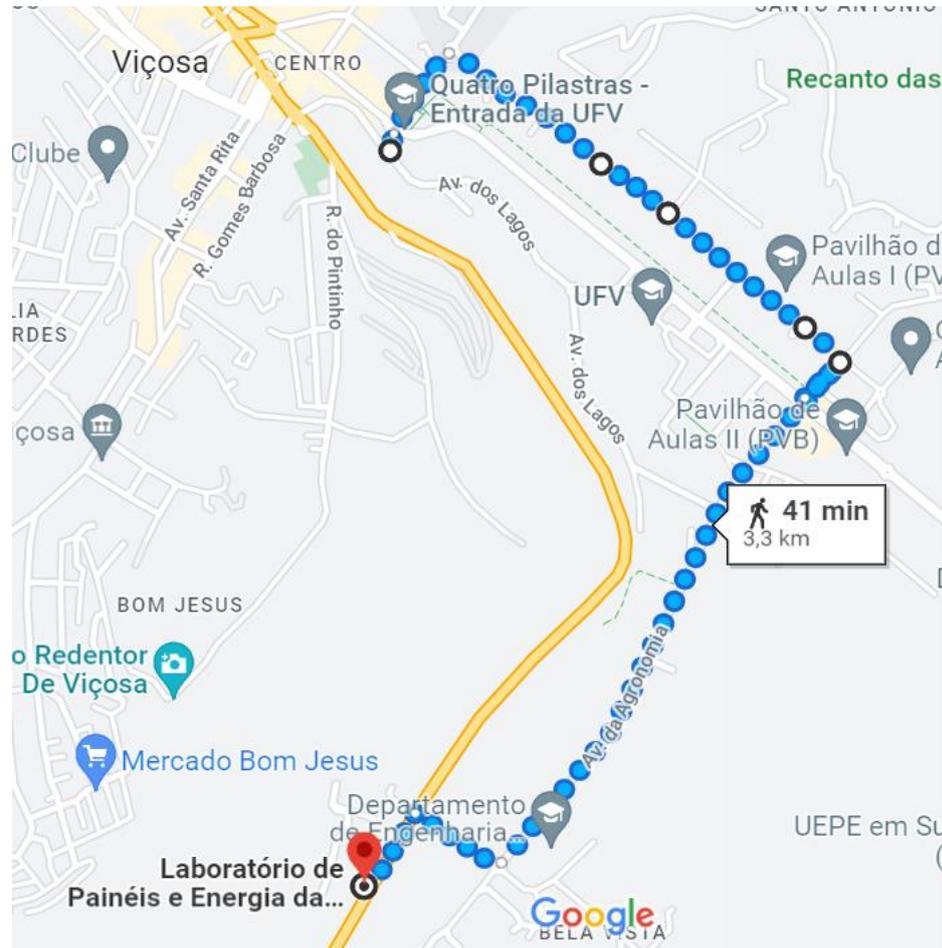
Equipamento	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (kW)	Temperatura (°C)
Analisador de cloro	115/230	-	1,2	1250
Autoclave Vertical	220	-	4,0	-
Bomba calorimétrica	120/240	6/3	-	-
Estufa de secagem	220	-	1,7	300
PFI Mill Mark VI	220	10	-	-
Picador com motor de indução trifásico	220/380/440/760	71,3/41,2/35,6	18,5	-

Fonte: Autoria própria

Os principais problemas relatados por quem utiliza os laboratórios são queima de equipamentos quando há queda de energia e oscilações constantes em dias de chuva e clima instável. Estes problemas afetam diretamente o trabalho desempenhado no laboratório, pois horas ou dias de ensaios são perdidos.

É importante destacar que ambos LCP e LAPEM estão localizados no final da rede de distribuição de média tensão de 13,8kV da UFV. A entrada de energia da universidade é próxima à Praça das Quatro Pilastras, e os laboratórios estão distantes 3,3 km dela. Na Figura 4 é apresentado o mapa da universidade e a localização da entrada de energia e dos laboratórios.

Figura 4 - Caminho percorrido pela linha de 13,8 kV da UFV



Fonte: Google Maps

Portanto, em decorrência de queima de equipamentos e visando a melhora da qualidade de energia desse sistema, fez-se o presente estudo, com análises de dados e apresentação de possíveis soluções.

### 5.1 ANALISADOR DE QUALIDADE DE ENERGIA

Foi utilizado o analisador de qualidade de energia *Fluke 435* (Figura 5) que permitiu a análise de eventos, parâmetros e anomalias relacionados à qualidade de energia.

Figura 5 - Fluke 435



Fonte: Autoria própria

Os dados coletados referem-se principalmente a tensão, corrente, fator de potência e harmônicos e foram analisados conforme o Módulo 8 do PRODIST.

## 5.2 ESTUDO DE CASO

As medições foram realizadas no transformador (Figura 6) da subestação localizada na entrada dos laboratórios, responsável por alimentar tanto o LCP quanto o LAPEM. Trata-se de um transformador de 500 kVA, 13,8 kV/220 V trifásico e ligação em estrela-estrela. Neste tipo de ligação, as correntes de fase e de linha são iguais e a tensão de linha é  $\sqrt{3}$  vezes maior que a de fase (CHAPMAN, 2013). Esta ligação possui ainda neutro dos dois lados, o que possibilita a circulação de harmônicos de tripla frequência introduzidos pelas cargas.

Os dados de tensão, corrente, potência e fator de potência foram coletados entre os dias 23/07/21 e 02/08/21, com uma leitura sendo realizada a cada 1 minuto. Já no dia 02/08/21, foi acrescentada a coleta também de harmônicos, até o dia 03/08/21. Desta forma, os dados foram divididos em duas partes. Usou-se a primeira para análise dos parâmetros de tensão em regime permanente, frequência, corrente e potência, e a segunda para a análise de distorções harmônicas.

Na primeira coleta, foram realizadas 28.926 leituras de 1 em 1 minuto. Entretanto, segundo o PRODIST, a análise deve ser feita com os dados coletados em uma integração de 10

minutos por uma semana (7 dias), totalizando 1.008 leituras. Por isso, foi realizado um tratamento dos dados separando-os de 10 em 10 minutos, totalizando então 1.447 leituras. Para o presente trabalho foram consideradas as leituras 1 até 1.008. Já na segunda coleta, foram realizadas 1.441 leituras de 1 em 1 minuto, que depois de tratadas resumem-se a 144 leituras de 10 em 10 minutos.

É importante destacar a limitação de memória do *Fluke* e limitação de acesso para a coleta dos dados, sendo necessária a mobilização de outros servidores da UFV e também a época atípica em que se realizou as leituras, no meio da pandemia de Covid-19. Vale observar também que os dados foram coletados em um período seco, no qual normalmente não há chuvas. Como este trabalho se trata de um estudo preliminar para que haja uma noção maior de como é a qualidade de energia dos laboratórios, considerou-se que os dados coletados são satisfatórios para o propósito desejado.

Figura 6 - Transformador que alimenta os laboratórios



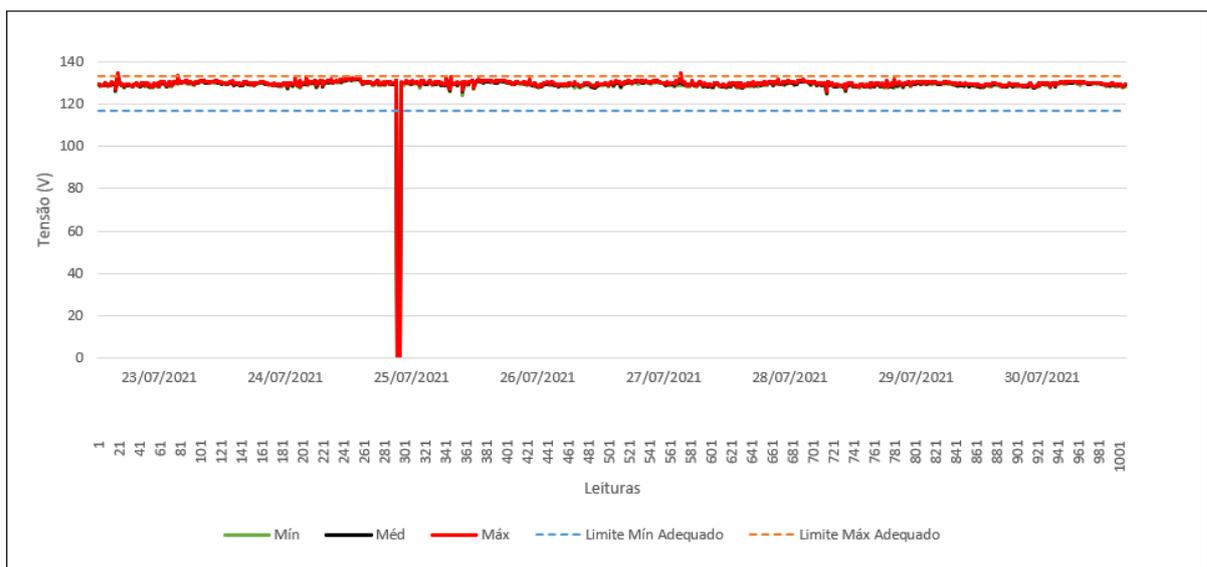
O presente trabalho utiliza o Módulo 8 do PRODIST para analisar os dados coletados, sendo plausível observar como está a qualidade de energia dos laboratórios e propor soluções para os possíveis problemas.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 TENSÃO EM REGIME PERMANENTE

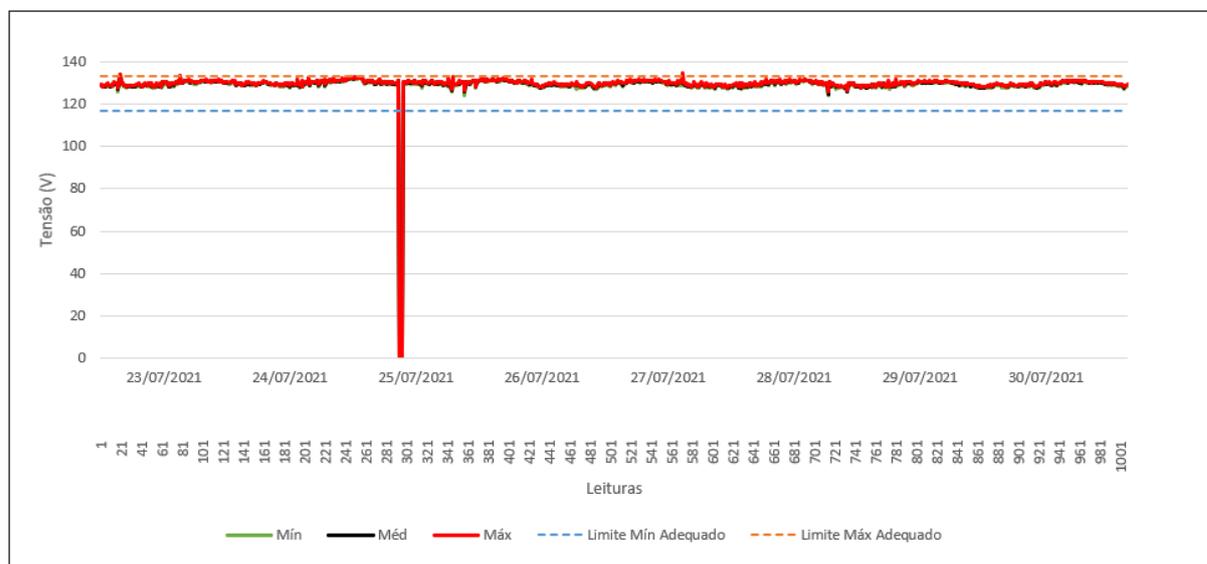
Para obter os valores de DRP e DRC é necessário analisar os gráficos de tensão fase-neutro. Nas Figuras 7, 8 e 9 estão ilustrados os gráficos de tensão relativos às fases 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 7 - Tensão da fase 1



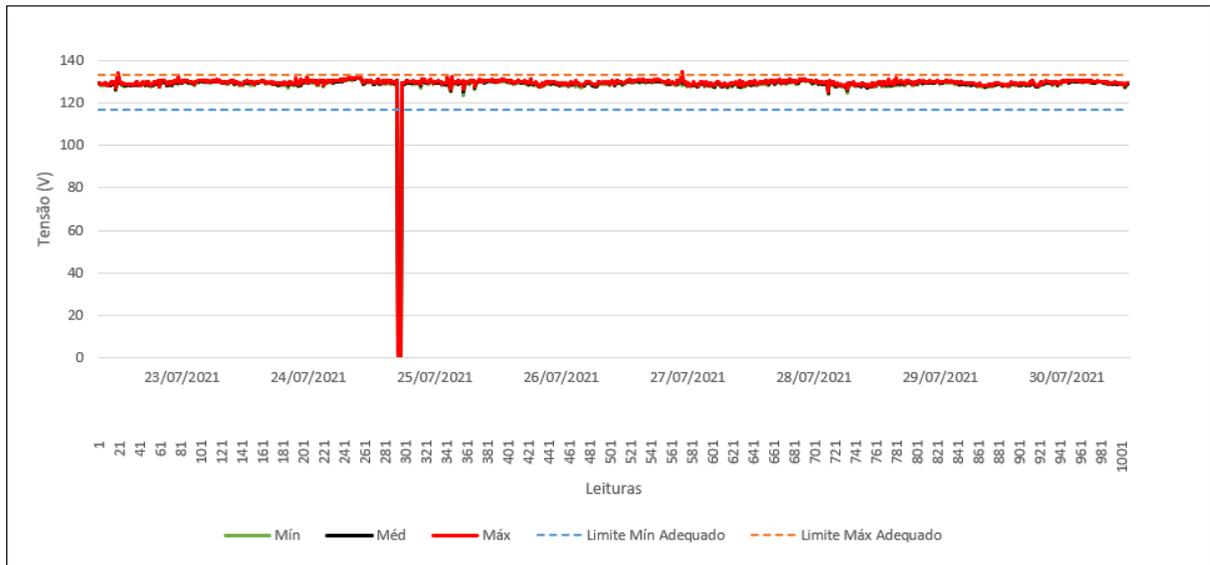
Fonte: Autoria própria

Figura 8 - Tensão da fase 2



Fonte: Autoria própria

Figura 9 - Tensão da fase 3



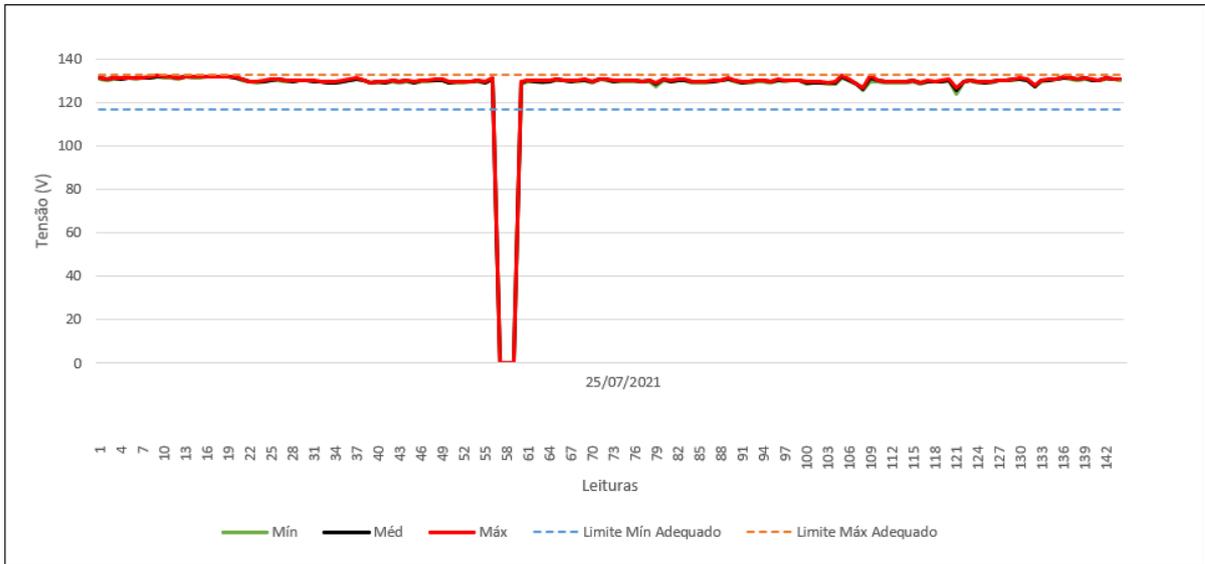
Fonte: Autoria própria

Para a fase 1, observando o gráfico e as leituras obtidas, tem-se três leituras com valores na faixa precária e três com valores na faixa crítica, de acordo com os limites estabelecidos na Tabela 2. Desta forma, os valores de DRP e DRC são 0,3% e 0,3%, respectivamente, estando dentro dos limites aceitáveis. O mesmo se repete na fase 2.

Analogamente, na fase 3, tem-se dois valores precários e três críticos, obtendo-se assim, DRP e DRC iguais a 0,2% e 0,3%, respectivamente, estando dentro dos limites aceitáveis.

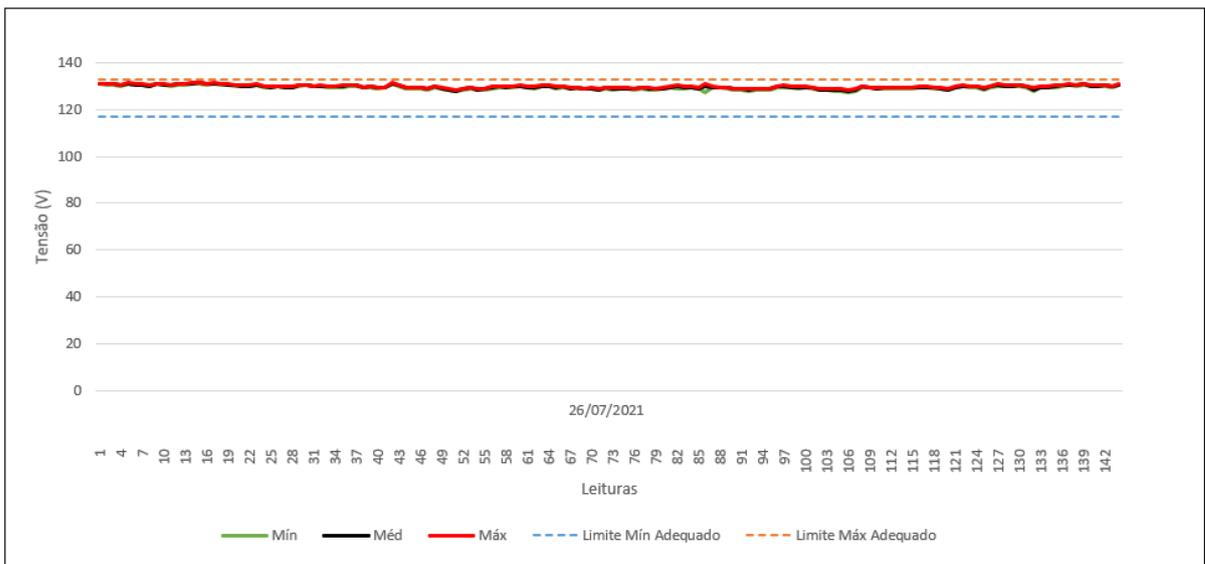
Entretanto, em todas as três fases os valores críticos correspondem a valores de tensão próximos de 0V, que aconteceram ao mesmo tempo, com uma duração de 20 minutos aproximadamente, caracterizando uma interrupção de tensão. Para fins de comparação, considerando a fase 1, na Figura 10, tem-se o dia da ocorrência da interrupção e na Figura 11, o dia seguinte, no qual não ocorreu nenhum evento deste tipo.

Figura 10 - Dia da ocorrência da interrupção de tensão



Fonte: Autoria própria

Figura 11 - Dia seguinte ao da interrupção de tensão

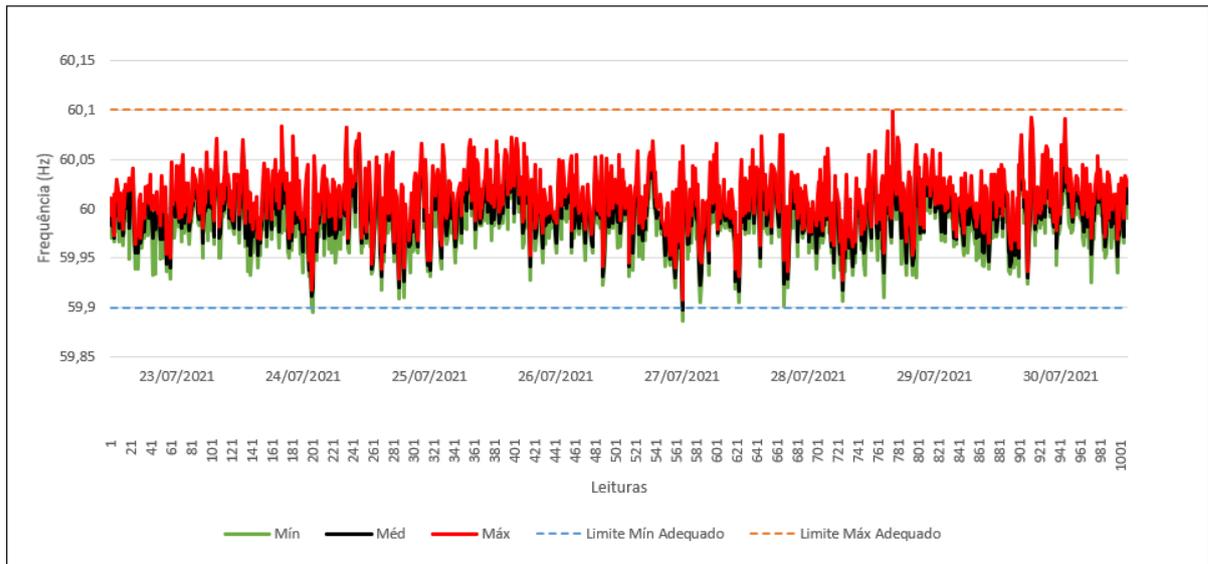


Fonte: Autoria própria

## 6.2 VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA

O gráfico da Figura 12 mostra a variação de frequência no período analisado.

Figura 12 - Variação de frequência



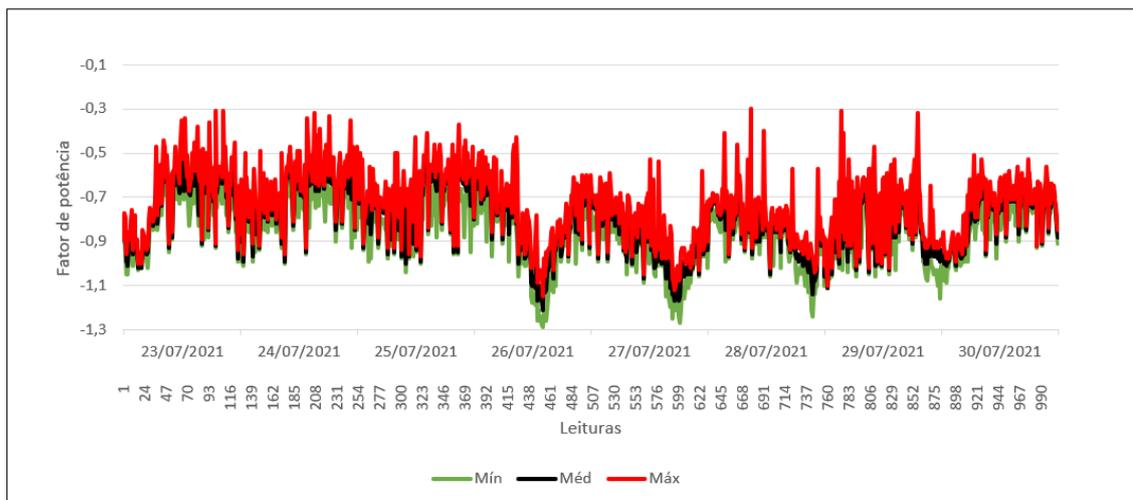
Fonte: Autoria própria

Nota-se que na maior parte do tempo, a frequência permaneceu dentro dos limites estabelecidos pela ANEEL, de 59,9 até 60,1 Hz. Somente em dois momentos, a frequência mínima esteve abaixo de 59,9 Hz, alcançando valores próximos, sendo 59,895 Hz e 59,886 Hz.

### 6.3 FATOR DE POTÊNCIA

O gráfico da Figura 13 mostra a variação do fator de potência no período analisado.

Figura 13 - Variação do fator de potência



Fonte: Autoria própria

É possível observar que se trata de um fator de potência totalmente indutivo (o que é plausível devido a tipologia de cargas nos laboratórios, tendo predominância de motores elétricos) e não se enquadra nos limites determinados pela norma. Por isso é interessante a instalação de um banco de capacitores, que além de corrigir o baixo fator de potência, diminui as perdas por superaquecimento e a incidência de distúrbios relacionados à queda de tensão.

### Dimensionamento Do Banco De Capacitores

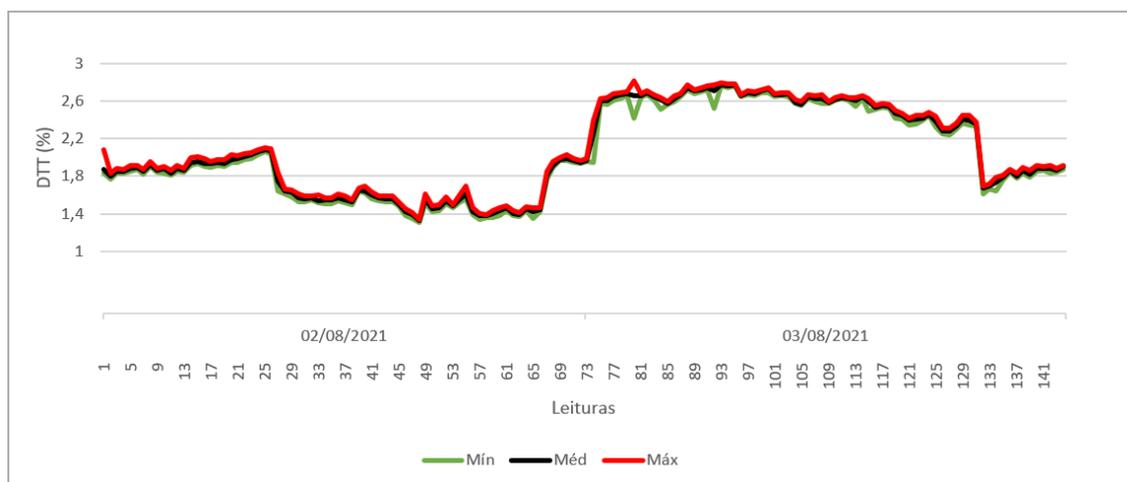
O menor FP indutivo medido no período analisado é 0,23. Efetuando os cálculos descritos na seção 4.3 (equações 4 e 5), obtemos um valor de potência reativa capacitiva necessária de aproximadamente 3,5 kVAr.

Para que o banco de capacitores não torne o sistema capacitivo em momentos de FP mais alto, deve-se fazer a correção em estágios, ligando e desligando os capacitores conforme o valor do FP. Pode-se utilizar capacitores de 0,5 kVAr, como o modelo UCWT0,5V25 L10 HD da WEG (220 V trifásico, 0,5 kVAr, 60 Hz) em conjunto com um controlador em 7 estágios.

### 6.4 DISTORÇÕES HARMÔNICAS

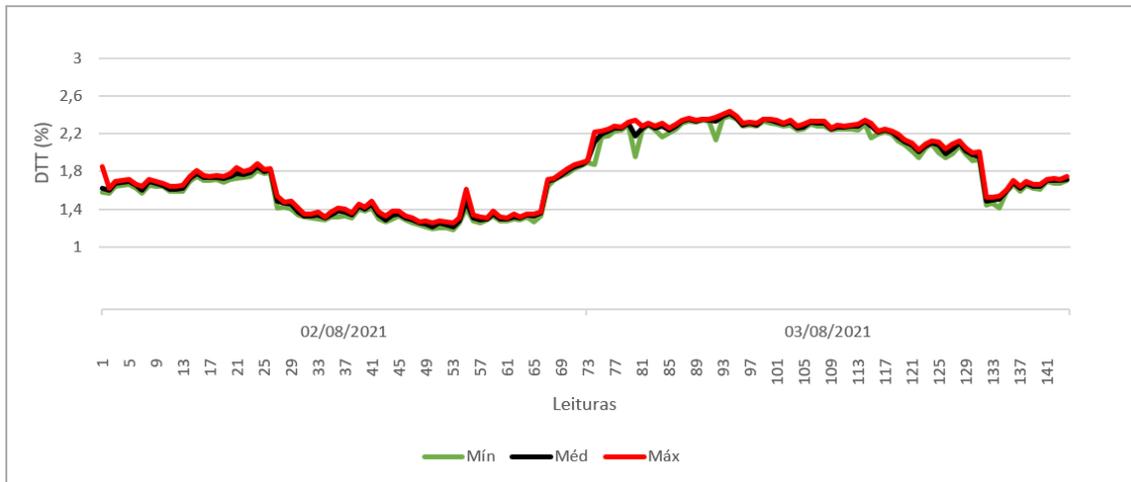
Os gráficos para DTT% das fases 1, 2 e 3 são mostrados nas Figuras 14, 15 e 16 a seguir, respectivamente.

Figura 14 – DTT% da fase 1



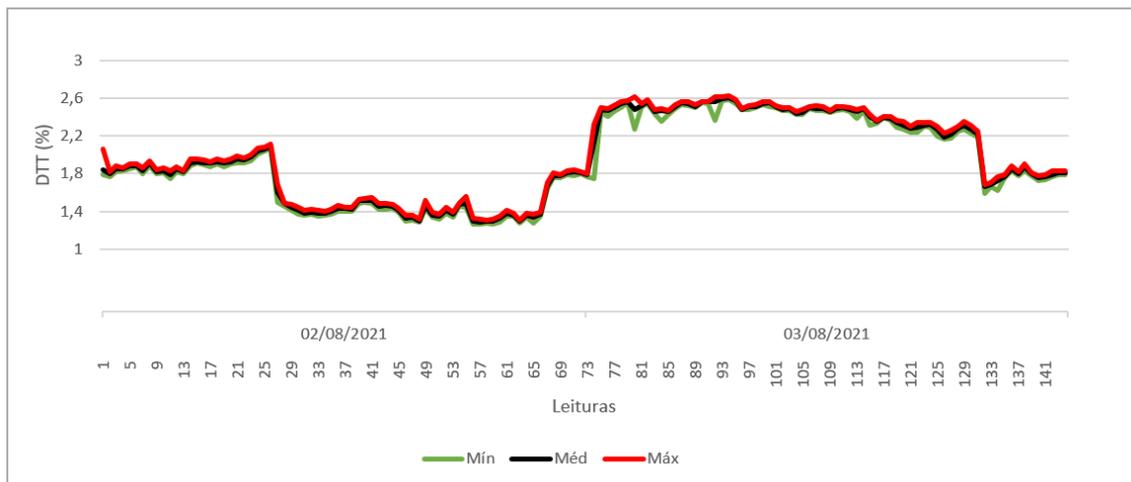
Fonte: Autoria própria

Figura 15 – DTT% da fase 2



Fonte: Autoria própria

Figura 16 - DTT% da fase 3

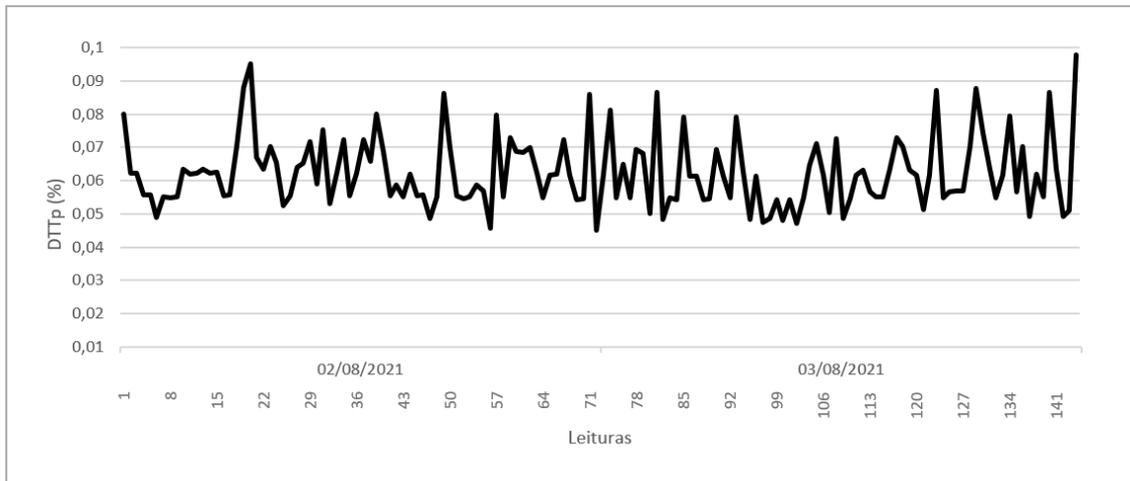


Fonte: Autoria própria

Nota-se que as três fases seguem um padrão semelhante e que em todas as três os valores são menores que 10%, indicando um DTT95% dentro dos limites estabelecidos pela norma.

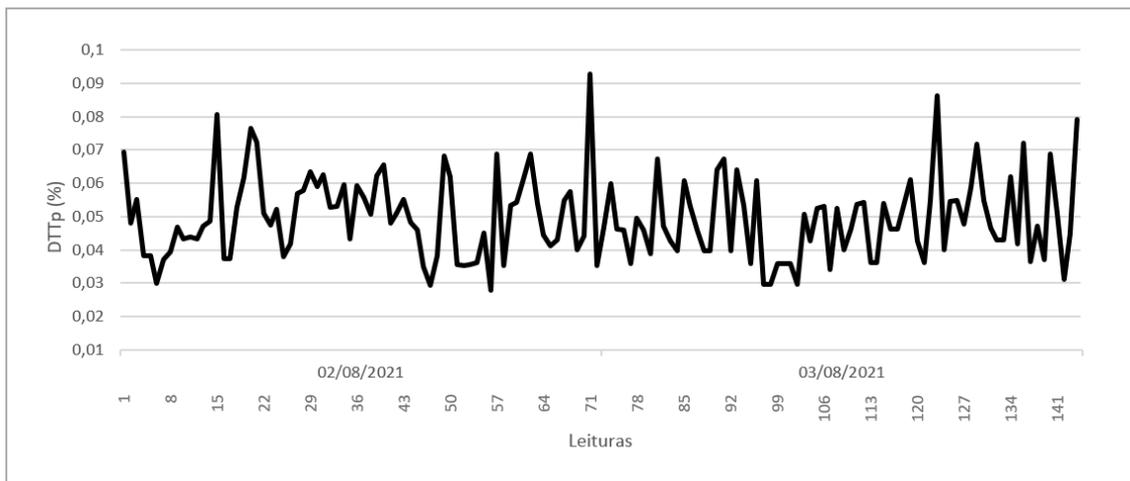
Os dados foram coletados até a 40ª ordem harmônica, como proposto no módulo 8 do PRODIST. Desta forma, foram obtidos os gráficos de DTT<sub>p</sub>% das fases 1, 2 e 3 mostrados nas Figuras 17, 18 e 19, respectivamente.

Figura 17 - DTTp% da fase 1



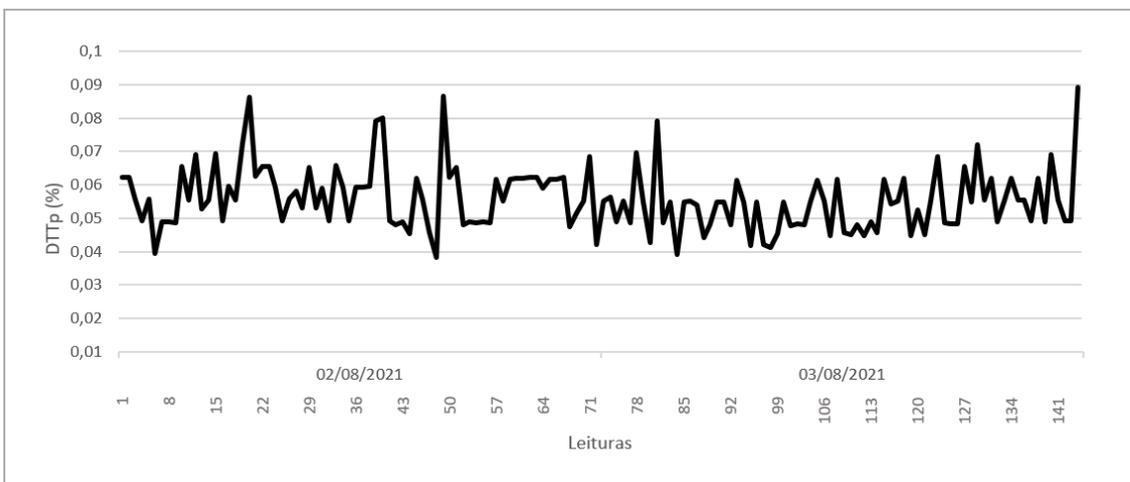
Fonte: Autoria própria

Figura 18 - DTTp% da fase 2



Fonte: Autoria própria

Figura 19 - DTTp% da fase 3

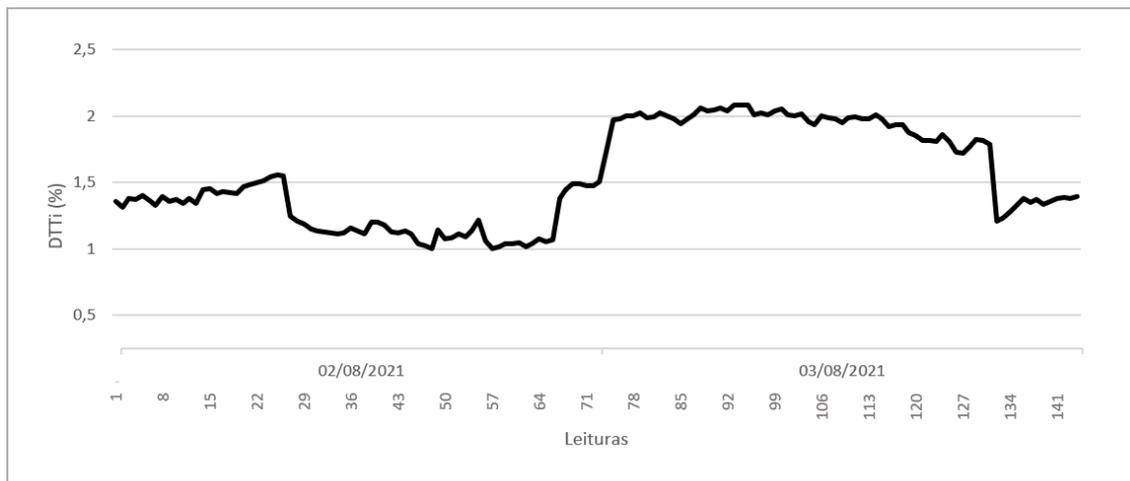


Fonte: Autoria própria

Observa-se que para as três fases, todos os valores estão abaixo do limite de 2,5%, o que implica que o indicador  $DTT_{p95\%}$  também está dentro do limite desejável.

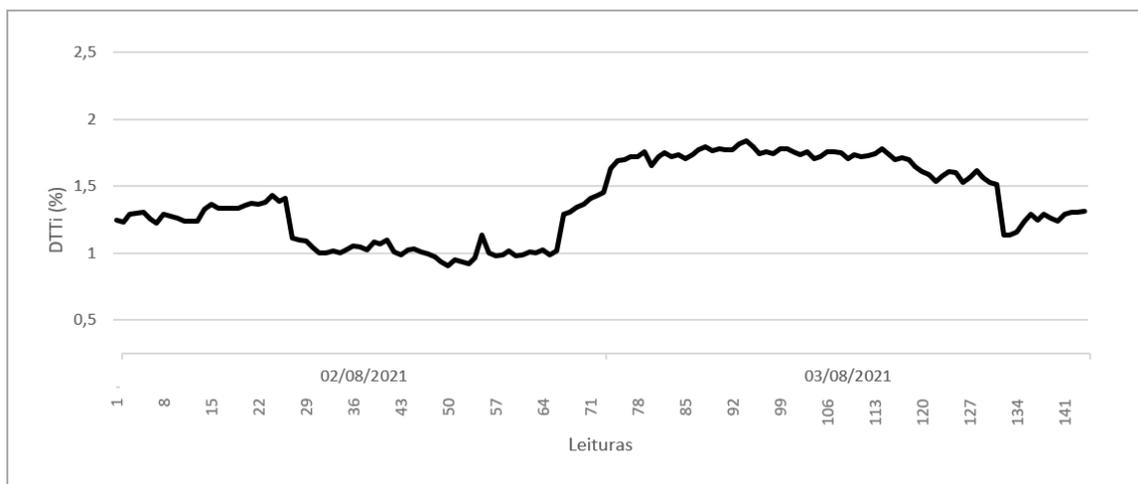
As Figuras 20, 21 e 22 mostram os valores de  $DTT_i\%$  para as fases 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 20 -  $DTT_i\%$  da fase 1



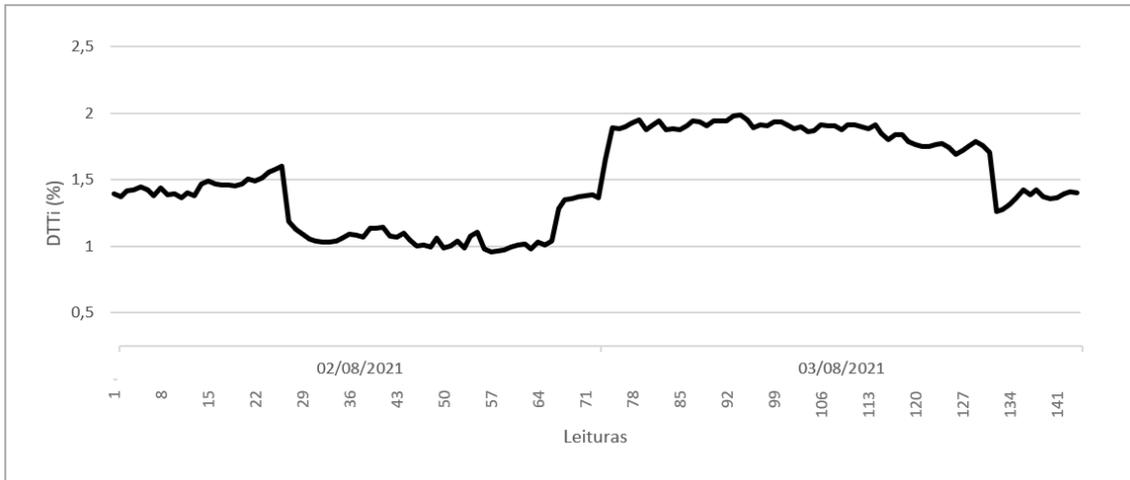
Fonte: Autoria própria

Figura 21 -  $DTT_i\%$  da fase 2



Fonte: Autoria própria

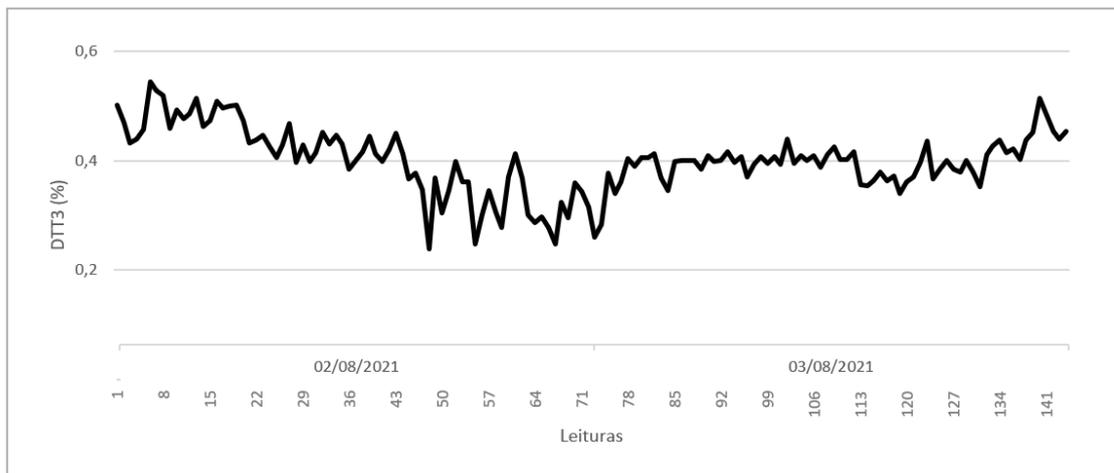
Figura 22 - DTTi% da fase 3



Fonte: Autoria própria

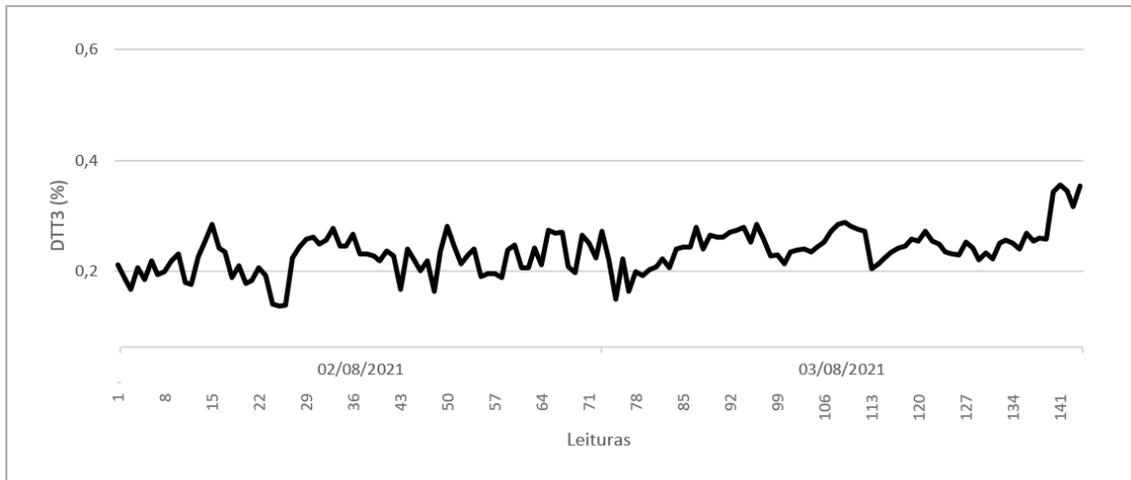
Observa-se que nas três fases os valores estão abaixo de 7,5%, o que implica um DTT<sub>i</sub>95% dentro dos limites desejáveis.

As Figuras 23, 24 e 25 mostram os valores de DTT<sub>3</sub>% relativos às fases 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 23 - DTT<sub>3</sub>% da fase 1

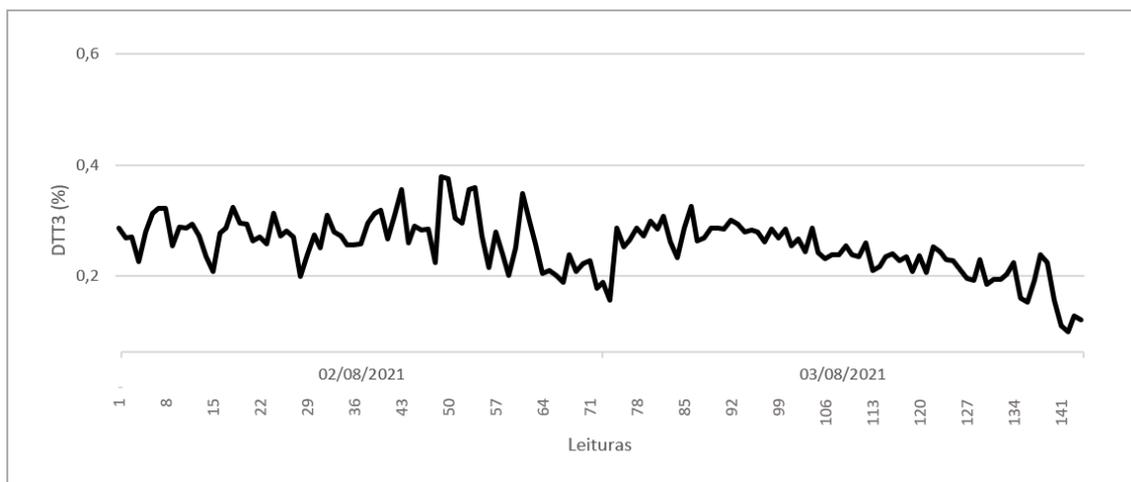
Fonte: Autoria própria

Figura 24 - DTT3% da fase 2



Fonte: Autoria própria

Figura 25 - DTT3% da fase 3

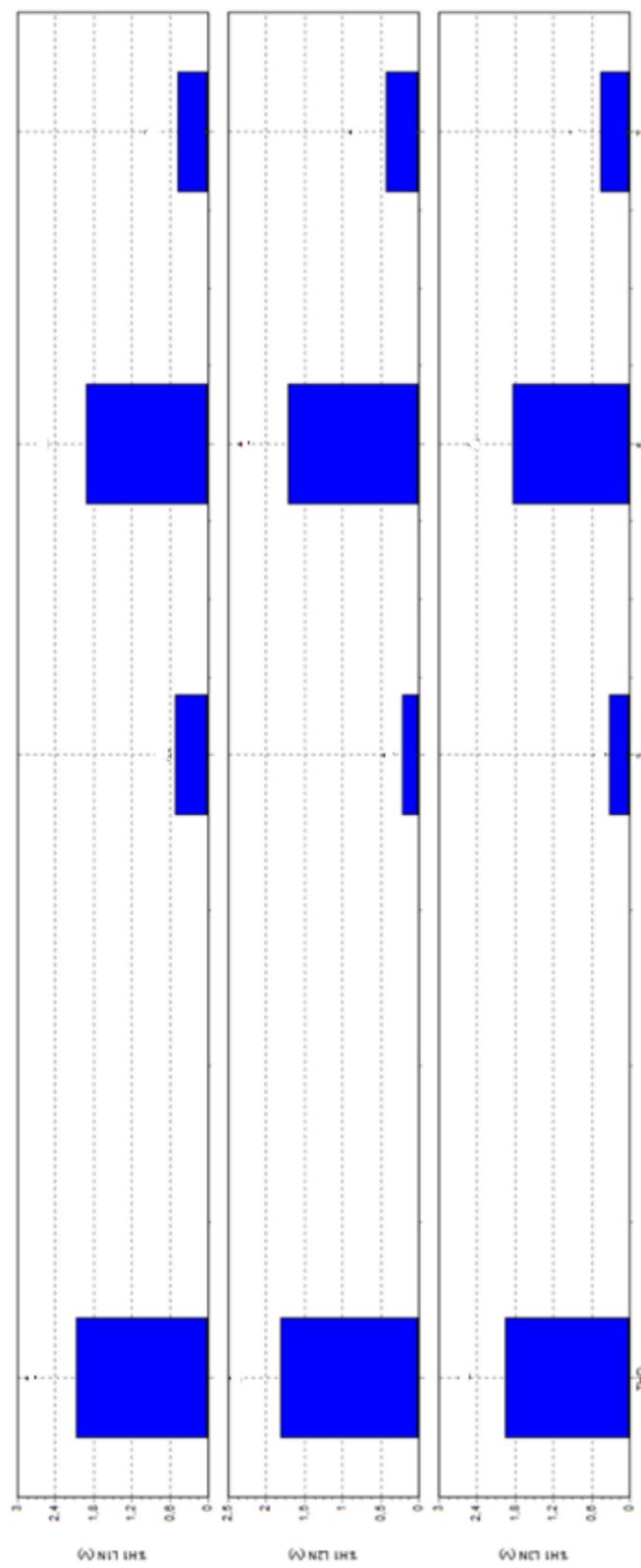


Fonte: Autoria própria

Nota-se que para as três fases, todos os valores estão abaixo de 6,5%, implicando em um  $DTT_{395\%}$  dentro dos limites adequados.

Além disso, é possível observar que os valores de  $DTT_1\%$  são relativamente maiores que os valores de  $DTT_p\%$  e  $DTT_3\%$  para todas as fases. Isso se deve à contribuição das harmônicas de ordem ímpar, que é maior, principalmente da harmônica de quinta ordem, como é visto na Figura 26.

Figura 26 - Harmônicas de ordem ímpar para as 3 fases

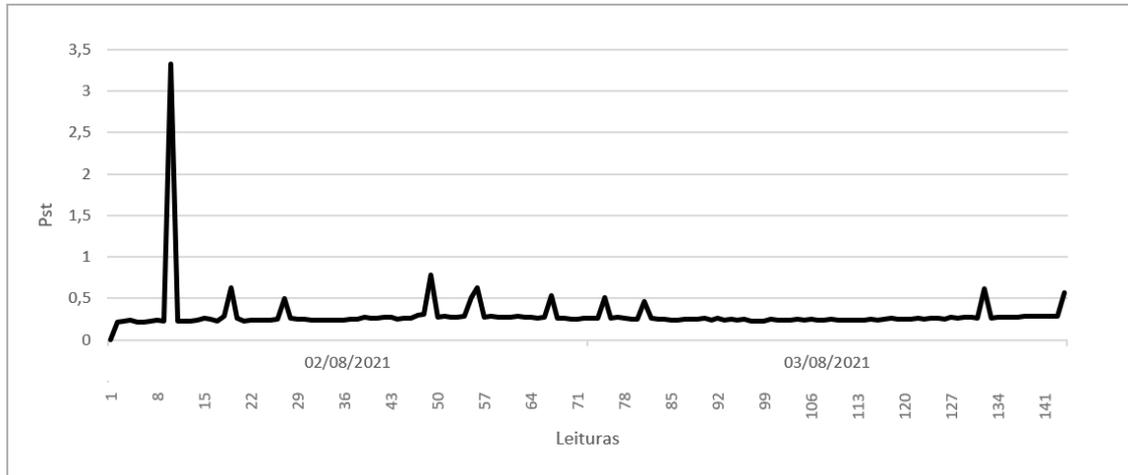


Fonte: PowerLog

## 6.5 FLUTUAÇÃO DE TENSÃO

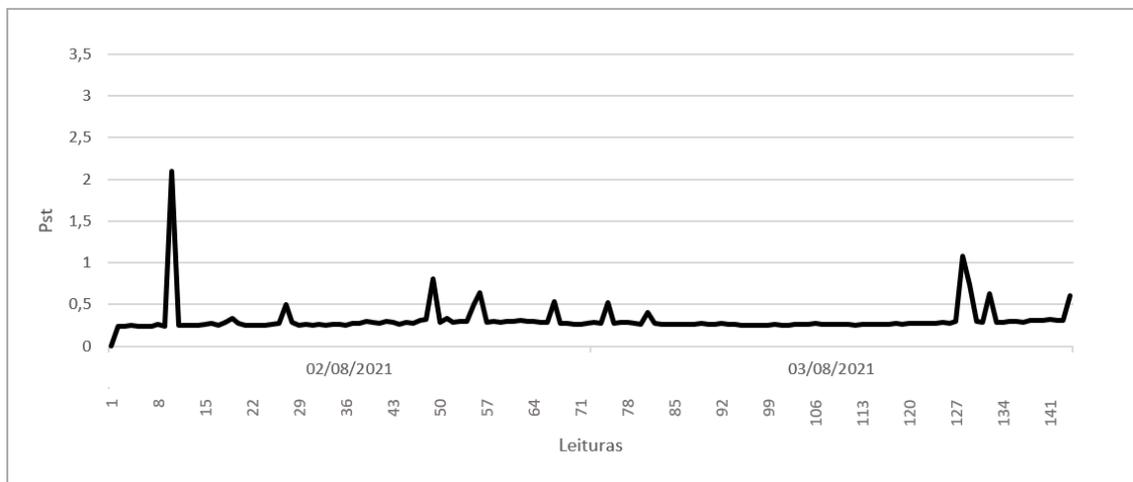
As Figuras 27, 28 e 29 mostram o indicador  $P_{st}$  para as fases 1, 2 e 3, respectivamente, no período analisado.

Figura 27 -  $P_{st}$  da fase 1



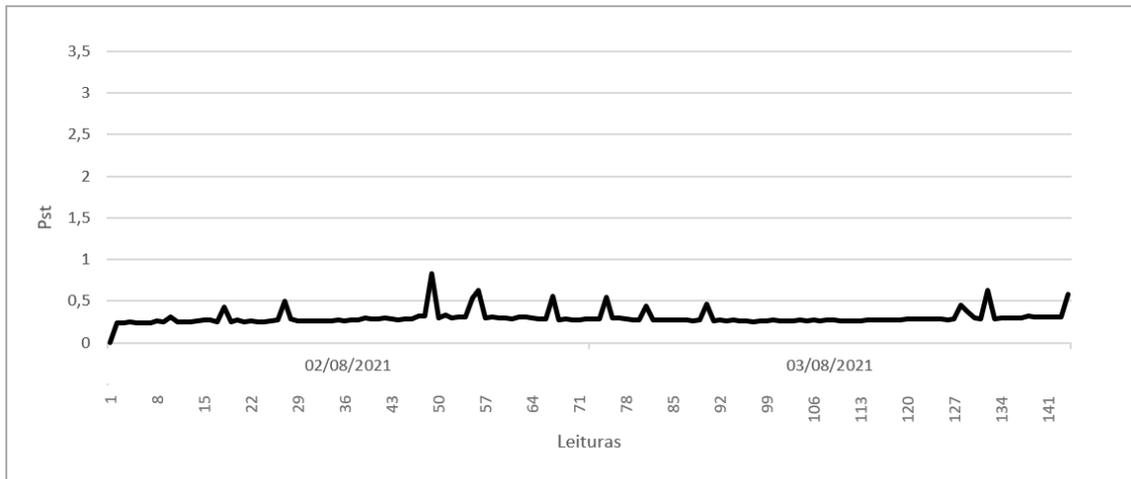
Fonte: Autoria própria

Figura 28 -  $P_{st}$  da fase 2



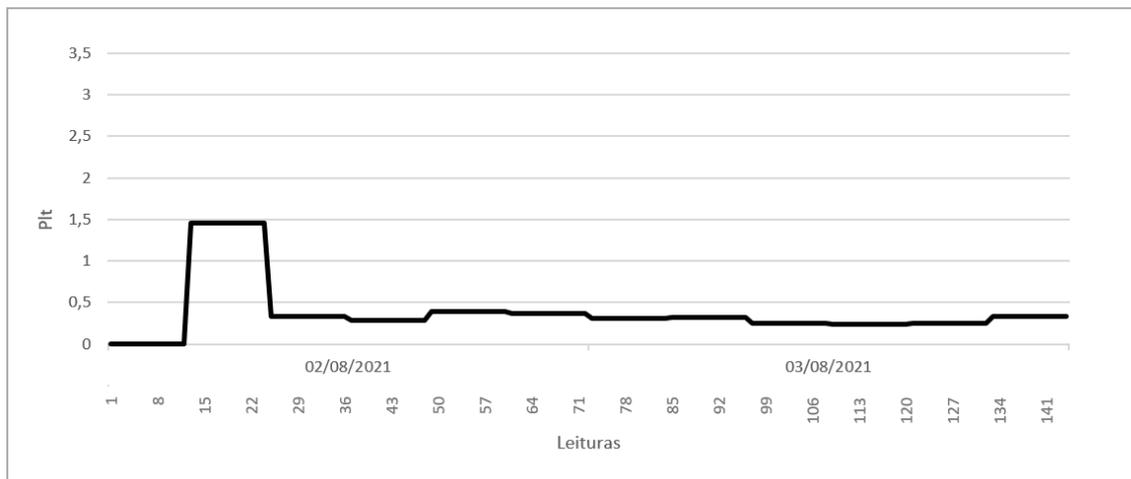
Fonte: Autoria própria

Figura 29 - Pst da fase 3



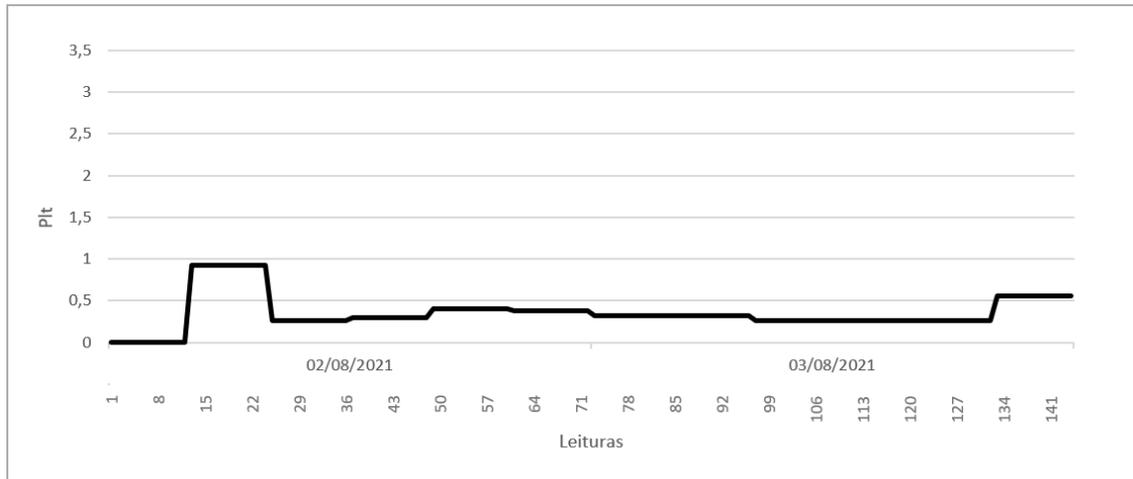
Fonte: Autoria própria

As Figuras 30, 31 e 32 mostram os valores de  $P_{lt}$  para as fases 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 30 -  $P_{lt}$  da fase 1

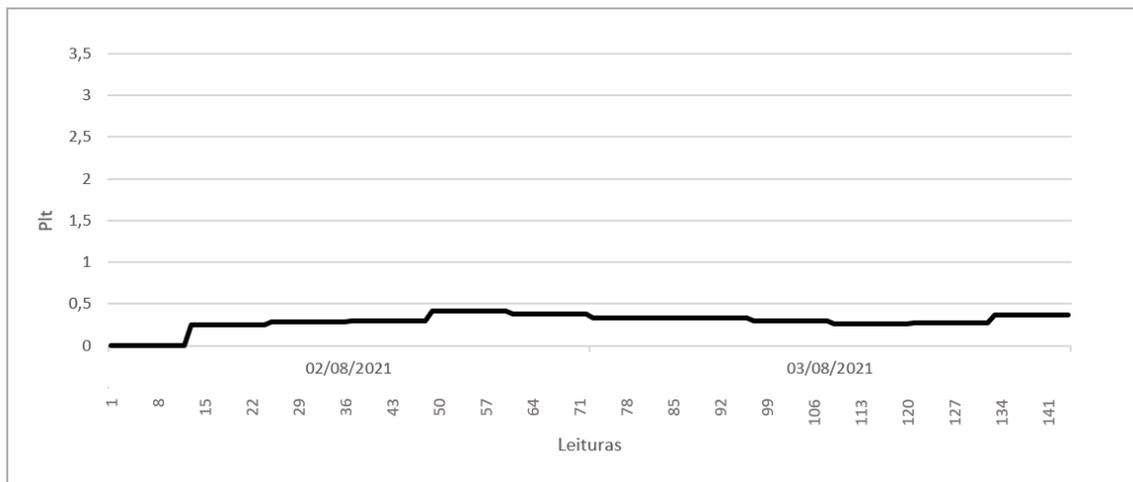
Fonte: Autoria própria

Figura 31 - Plt da fase 2



Fonte: Autoria própria

Figura 32 - Plt da fase 3



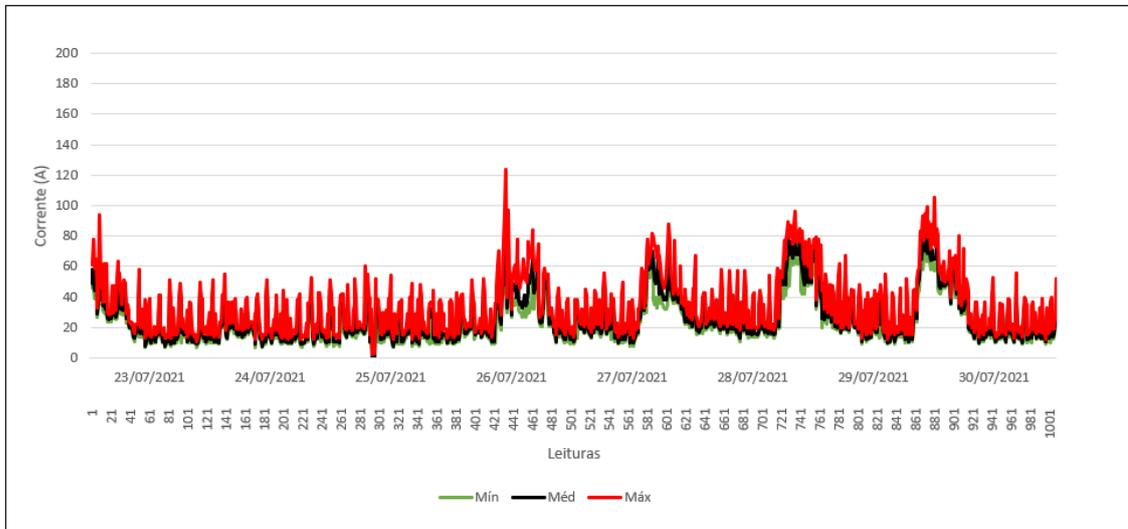
Fonte: Autoria própria

Nota-se que nas fases 1 e 2, o valor de  $P_{st}$  de 1,0 pu é ultrapassado no mesmo instante, e só acontece mais uma vez na fase 2, podendo ser caracterizado como um evento esporádico no qual houve flutuação de tensão. Observa-se também que o valor de  $P_{lt}$  ultrapassa 1,0 pu na fase 1 e no mesmo instante em que  $P_{st}$  ultrapassa esse valor.

## 6.6 CORRENTE

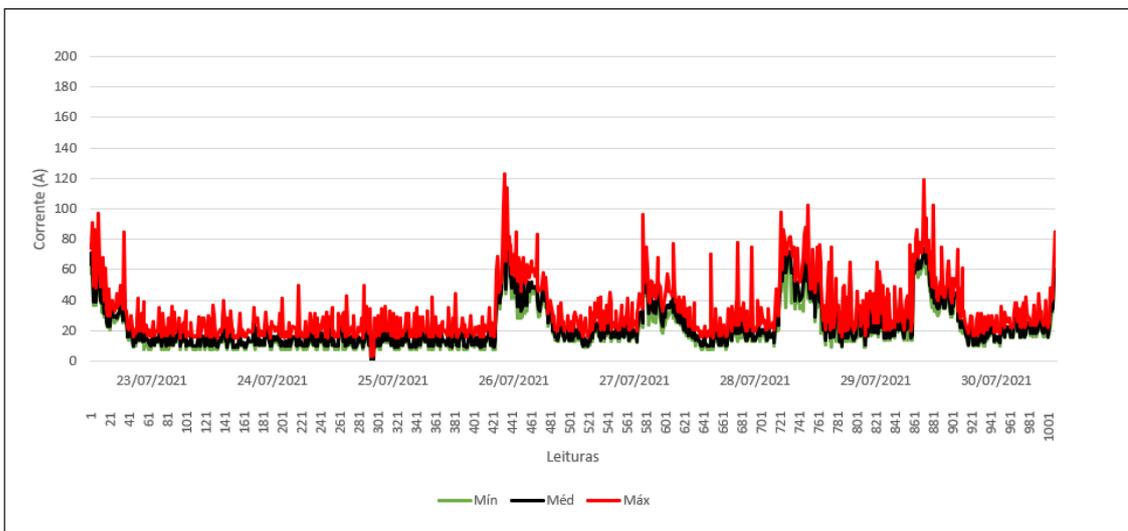
As Figuras 33, 34 e 35 mostram o comportamento da corrente ao longo do tempo para as fases 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 33 - Corrente da fase 1



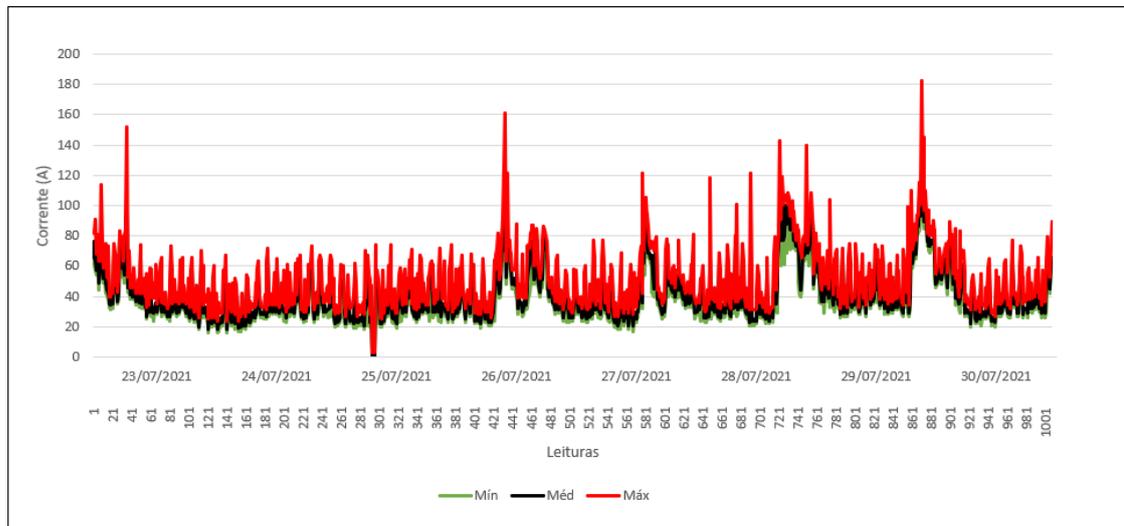
Fonte: Autoria própria

Figura 34 - Corrente da fase 2



Fonte: Autoria própria

Figura 35 - Corrente da fase 3



Fonte: Autoria própria

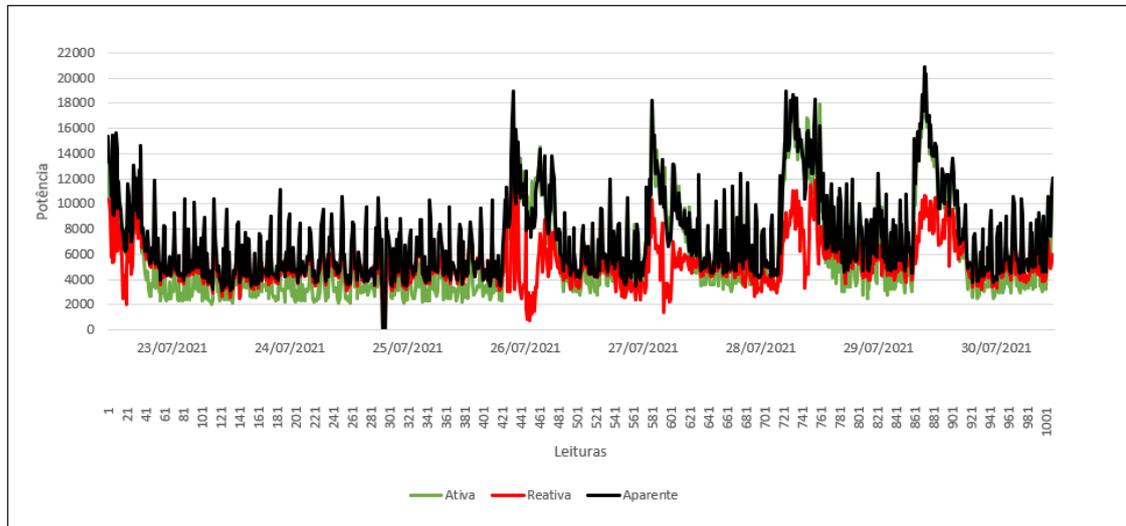
Observa-se que os perfis dos gráficos para as três fases são similares. Nota-se que do dia 24 ao dia 26, a corrente permaneceu em valores menores, pois os dados começaram a ser coletados na sexta-feira, dia 23. Portanto, no final de semana, o consumo é menor e pode representar equipamentos que permanecem ligados mesmo durante esse período. Além disso, a partir do dia 26, observa-se um ciclo, no qual a corrente aumenta no início do dia (horário comercial) e diminui quando este termina, ou seja, a corrente é maior durante o dia, quando há pessoas trabalhando nos laboratórios.

É importante notar também que no mesmo instante em que há uma interrupção de tensão no dia 25/07, a corrente atinge o valor de 0 A. Além disso, é possível notar um maior carregamento na fase 3.

## 6.7 POTÊNCIA

A Figura 36 mostra o gráfico com os valores de potência aparente, ativa e reativa medidos.

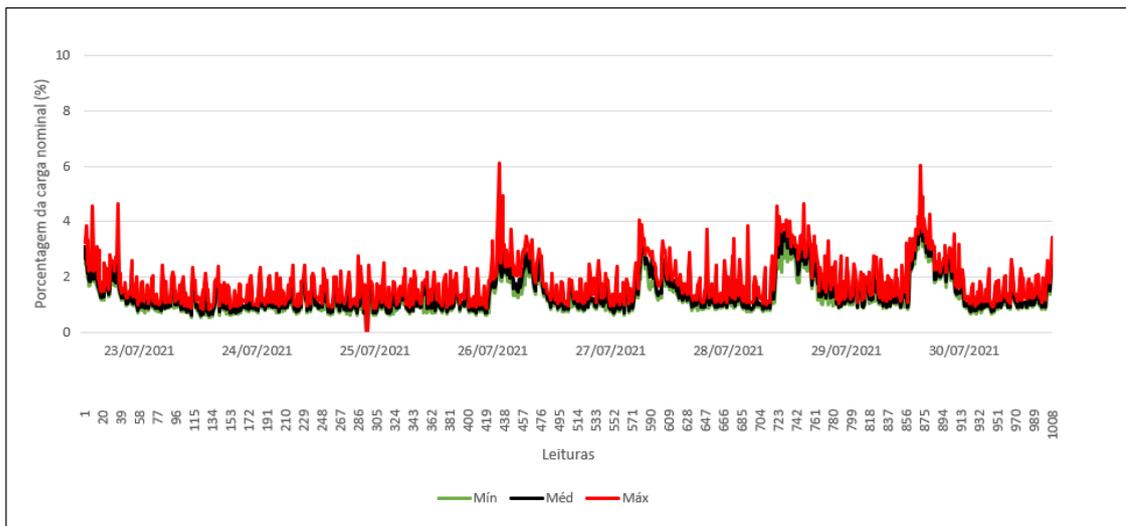
Figura 36 - Potências ativa, reativa e aparente totais



Fonte: Autoria própria

Observa-se um padrão semelhante ao da corrente em relação aos dias de fim de semana e dias úteis. Além disso, no dia 25/07, quando da interrupção de tensão, a potência atinge 0 VA. Na Figura 37 tem-se o valor em porcentagem da carga nominal de atendimento do transformador ao longo do tempo. Nota-se que esse valor não chega nem a 10%. Trabalhar muito longe da carga nominal do transformador é um problema, pois pode causar perdas por magnetização.

Figura 37 - Porcentagem da carga nominal de atendimento do transformador



Fonte: Autoria própria

## CONCLUSÃO

O presente trabalho realizou uma análise de indicadores relacionados à qualidade de energia elétrica propostos no Módulo 8 do PRODIST. Estes indicadores abrangem tensão em regime permanente, variação de frequência, fator de potência, flutuação de tensão e distorções harmônicas. Trata-se de um trabalho de apontamento, no qual foram notados os possíveis problemas de qualidade de energia que podem inviabilizar as atividades acadêmicas do Laboratório de Celulose e Papel (LCP) e do Laboratório de Energia de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) da Universidade Federal de Viçosa.

Observa-se que os indicadores referentes à tensão em regime permanente estão dentro dos limites determinados pela norma, com uma única ocorrência de interrupção de tensão no período analisado. A frequência do sistema também está nos limites adequados, assim como os indicadores de distorção harmônica. Entretanto, é necessária uma melhoria do fator de potência.

Diante das análises realizadas e dos relatos dos servidores que trabalham nos laboratórios, algumas soluções podem ser propostas:

- **Uso de nobreaks:** para evitar que ensaios sejam perdidos e haja retrabalho, é interessante a utilização de nobreaks, que impedem o desligamento dos equipamentos.
- **Instalação de um gerador a diesel:** quando na falta de energia, o gerador será acionado, evitando que a falta seja por um tempo prolongado e proporcionando uma continuidade do trabalho realizado no laboratório.
- **Instalação de um banco de capacitores:** além de corrigir o baixo fator de potência, adequando-o aos limites estabelecidos pela ANEEL, o banco de capacitores diminuirá os desperdícios e perdas por superaquecimento e a incidência de distúrbios por queda de tensão.
- **Substituição do transformador:** em vista do baixo carregamento do transformador, pode-se sugerir a troca do mesmo por um de capacidade menor, a fim de reduzir as perdas de magnetização e aumentar o rendimento. Além disso, a ligação do transformador deve ser feita em delta-triângulo, com neutro aterrado, para evitar a circulação de harmônicas de tripla frequência.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de mais coletas de dados em pontos diferentes, como por exemplo no quadro de distribuição, a fim de verificar se os problemas relatados pelos usuários são originários da rede de distribuição ou da própria instalação dos laboratórios. Como os dados foram coletados em uma época específica do ano sem ocorrência

de chuvas, também é recomendada a coleta dos mesmos em diversas épocas do ano, levando em consideração a situação climática. Também é interessante um estudo aprofundado da qualidade do aterramento local e da proteção do sistema para possível melhoria.

## REFERÊNCIAS

ALDABÓ, R. **Qualidade na energia elétrica**. São Paulo: Artliber, 2013. 528 p. ISBN 85-88098-02-4.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; 2018. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**. Brasília. Revisão 9. 2018.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2021. **Resolução Normativa 1000/2021**. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

**AUTOCLAVE VERTICAL FANEM 415/4**. Disponível em: <http://labpedia.com.br:180/produto/autoclave-vertical-415-4>. Acesso em: 10 nov. 2022.

**CAPACITOR WEG TRIFÁSICO**. Disponível em: <https://www.viewtech.ind.br/capacitor-weg-trifasico-220v-0-5kvar-60hz-ucwt0-5v25-110-hd>. Acesso em: 01 dez. 2022.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 5. ed. Porto Alegre: Amgh, 2013. 684 p.

CORRÊA, F. I. M. **Estudo de um Sistema de Distribuição com Enfoque na Qualidade da Energia Elétrica**. [S.l.] Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, 2007.

DUGAN, R. C.; MCGRANAGHAN, M. F.; SANTOSO, S.; BEATY, H. W. **Electrical Power Systems Quality** - McGraw-Hill, Third Edition, New York, 2012.

**ESTUFA FANEM PARA SECAGEM E ESTERILIZAÇÃO ATÉ 300 °C**. Disponível em: <https://primomaquinas.com.br/produto/estufa-fanem-para-secagem-e-esterilizacao-ate-300oc/>. Acesso em: 10 nov. 2022.

FRANCO, E. **Qualidade de Energia - Causas, Efeitos e Soluções**. 2013.

HADDAD, J. **Energia Elétrica: Conceitos, Qualidade E Tarifação**. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Energ\\_Elet\\_Conceitos\\_Qualid\\_Tarif\\_Eletr\\_Procel-04.pdf](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Energ_Elet_Conceitos_Qualid_Tarif_Eletr_Procel-04.pdf). Acesso em: 08 ago. 2022.

**HISTÓRICO – LABORATÓRIO DE CELULOSE E PAPEL**. Disponível em: <https://www.lcp.ufv.br/site-em-manutencao/>. Acesso em: 22 out. 2022.

"IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," in IEEE Std 1159-2019 (Revision of IEEE Std 1159-2009), vol., no., pp.1-98, 13 Aug. 2019, doi: 10.1109/IEEESTD.2019.8796486.

**LIGAÇÕES TRIFÁSICAS**. Disponível em: <https://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/lpestanda/maquinas%20el%C3%A9ctricas%20/aulas%20te%C3%B3ricas/LIGA%C3%87%C3%95ES%20TRIF%C3%81SICAS1.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.

MAIA, R. M. **Estudo de caso de afundamentos de tensão nos componentes do sistema elétrico industrial da moinhos vera cruz.** UFMG, 2008.

**PAINÉIS E ENERGIA DA MADEIRA.** Disponível em: [https://www.def.ufv.br/?page\\_id=575](https://www.def.ufv.br/?page_id=575). Acesso em: 22 out. 2022.

Parr Instrument Company. **6300 Oxygen Bomb Calorimeter.** Disponível em: [https://www.parrinst.com/wp-content/uploads/downloads/2011/06/586M\\_Parr\\_6300-Calorimeter-Operating-Instructions-post-Oct-2010.pdf](https://www.parrinst.com/wp-content/uploads/downloads/2011/06/586M_Parr_6300-Calorimeter-Operating-Instructions-post-Oct-2010.pdf). Acesso em: 10 nov. 2022.

**THERMO SCIENTIFIC ECS 1200 & ECS 3000 TOTAL CHLORINE ANALYZERS.** Disponível em: <http://www.maxlab.asia/files/documents/ECS-3000-Specifiche-Tecniche.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.