

**PECE – PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ENGENHARIA  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS, GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

**CARLA NASCIMENTO DOS SANTOS**

**RELEVÂNCIA DA QUALIDADE DE ENERGIA OBTIDA COM MEDIDORES  
DE ALTA PRECISÃO**

São Paulo

2024

**CARLA NASCIMENTO DOS SANTOS**

**RELEVÂNCIA DA QUALIDADE DE ENERGIA OBTIDA COM MEDIDORES  
DE ALTA PRECISÃO**

Monografia apresentada como exigência para obtenção do Título de Especialista em Energia Renovável, Geração Distribuída e Eficiência Energética, no Programa de Pós-Graduação Lato sensu do Programa de Educação Continuada em Engenharia (PECE), da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo de Andrade Barreto.

São Paulo

2024

EU NÃO AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

### FICHA CATALOGRÁFICA

Nascimento, Carla

**" RELEVÂNCIA DA QUALIDADE DE ENERGIA OBTIDA COM MEDIDORES DE ALTA PRECISÃO."** / C.Nascimento - São Paulo, 2024. 73p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1. Medidores de Energia. 2. Qualidade de Energia. 3. Monitoramento e gerenciamento da energia elétrica. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, a minha família amada e  
ao Professor Gustavo Barreto.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a Deus, por tudo que Ele tem feito na minha vida.

Agradeço a minha família, por me apoiarem a conquistar os meus sonhos e me ajudarem em tudo.

Agradeço as empresas Schneider e CEEE-D, pelos conhecimentos adquiridos para desenvolver esta monografia.

Agradeço profundamente o professor Gustavo Barreto pela sua orientação incansável ao longo deste trabalho. Sua dedicação e apoio foram fundamentais para o meu desenvolvimento e a todos os professores do PECE da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Agradeço também aos leitores que se interessaram por essa monografia, espero que tenham uma excelente leitura!

“Toda boa dádiva e todo dom perfeito vêm do alto, descendo do Pai das luzes, que não muda como sombras inconstantes.”

Tiago 1:17

## RESUMO

A crescente sensibilidade dos equipamentos elétricos aos distúrbios e o aumento da prevalência de cargas não-lineares são aspectos que ressaltam a crucial importância da qualidade da energia elétrica (QEE). A qualidade inadequada da energia elétrica pode acarretar problemas como paralisações de processos produtivos, danos a equipamentos, litígios judiciais e prejuízos financeiros. Portanto, o monitoramento contínuo da qualidade da energia na rede elétrica é crucial, pois permite a identificação de áreas críticas. Dentro desse contexto, este trabalho apresenta um estado da arte acerca das regulamentações e normas internacionais na área de qualidade que são estabelecidas para garantir a adequação desses medidores de energia aos padrões reconhecidos de qualidade e desempenho. Também é apresentado sobre os distúrbios elétricos na rede elétrica que impactam na qualidade de energia como a Variação de Tensão de Curta Duração (VTCD) e distorção harmônica. Aborda-se sobre a versatilidade dos medidores de realizarem o sistema de medição e faturamento (SMF) e monitorar a qualidade de energia no mesmo equipamento. Dessa forma, o trabalho propõe e aplica uma metodologia para analisar os dados de medição de fronteira, através de um sistema de gestão de ajustes de medições de fronteiras, verificando os processos realizados por uma distribuidora de energia para envio a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e ainda demonstra um estudo de caso referente ao nível de tensão de uma indústria conectada a uma linha de transmissão de 69 kV de uma distribuidora. Os desafios enfrentados durante o processo, juntamente com os resultados obtidos, são apresentados e discutidos.

**Palavras chave:** Medidor de Energia; Monitoramento Contínuo; Qualidade de Energia; Medição de Fronteira; Distúrbios Elétricos.

## ABSTRACT

The growing sensitivity of electrical equipment to disturbances and the increasing prevalence of non-linear loads are aspects that highlight the crucial importance of electrical power quality (QEE). Inadequate quality of electrical energy can lead to problems such as interruptions in production processes, damage to equipment, legal disputes and financial losses. Therefore, continuous monitoring of energy quality in the electrical grid is crucial, as it allows critical areas to be identified. In this context, this work presents a state of the art overview of the international regulations and standards that have been established to ensure that these energy meters meet recognized quality and performance standards. It also presents the electrical disturbances in the power grid that impact on power quality, such as Short Term Voltage Variation (VTCD) and harmonic distortion. It discusses the versatility of meters to carry out the metering and billing system (MFS) and monitor energy quality in the same equipment. This paper proposes and applies a methodology for analyzing border measurement data, using a system for managing border measurement adjustments, verifying the processes carried out by an energy distributor for submission to the Electricity Trading Chamber (CCEE) and also demonstrates a case study regarding the voltage level of an industry connected to a 69 kV transmission line owned by a distributor. The challenges faced during the process, together with the results obtained, are presented and discussed.

**Keywords:** Energy Meter; Continuous Monitoring; Power Quality; Border Measurement; Electrical Disturbances.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Distúrbios da Energia Elétrica
- Figura 2. Como surtos e transientes podem afetar seus negócios
- Figura 3. Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração
- Figura 4. Distúrbios da Rede Elétrica
- Figura 5. Fórmula da penalidade mensal por infração na coleta de dados de medição
- Figura 6. Fluxograma dos tratamentos dos Dados de Medições
- Figura 7. Sistema de Coleta de Dados de Energia (SCDE) – Extrato da Coleta
- Figura 8. Planilha dos dados faltantes do extrato da coleta
- Figura 9. Aba de medição para consolidação dos dados do PIM
- Figura 10. Preenchimento dos dados no PIM para consolidação
- Figura 11. Justificativa para envio dos dados faltantes no PIM
- Figura 12. Consolidação e envio dos dados faltantes no PIM
- Figura 13. Geração de gráfico no PIM para verificação de erros da coleta da medição e energia
- Figura 14. Geração da Medição de Energia Ativa (kWh)
- Figura 15. Envio XML no sistema PIM
- Figura 16. Geração de arquivos XML no sistema PIM para envio a CCEE
- Figura 17. Geração retroativa de XML no sistema PIM para envio a CCEE
- Figura 18. Processo Medição de Tensão
- Figura 19. Instalação do Analisador de QEE
- Figura 20. Limites de distorção harmônica de corrente para sistemas até 69 kV
- Figura 21. Forma de onda da corrente da indústria

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Distorções Harmônicas de Tensão – Captura Instantânea

Tabela 2. Valores medidos de distorções harmônicas de corrente no PAC

## LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência nacional de energia elétrica
ANSI	American National Standards Institute
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CMO	Custo Marginal de Operação
CLP	Controladores Lógicos Programáveis
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor
EMC	Eletromagnetic Compatibility
EUST	Encargos de Uso do Sistema de Transmissão
FACT	Flexible AC Transmission Systems
FEC	Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor
GMT	Greenwich Mean Time
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
kV	quilovolt
kVA	kilovoltampere
kVArh	Quilovolt-ampere-reativo-hora
kW	quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
NBR	Normas Brasileiras
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PAC	Ponto de Acoplamento Comum
PdCs	Procedimentos de Comercialização
PIM	Plataforma Integrada de Medição
PLD	Preço de Liquidação de Diferenças

PRODIST Elétrico Nacional	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica do Sistema
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
RMS	Root Mean Square
SCADA	Sistema Supervisory Control and Data Acquisition
SCDE	Sistema de Coleta de Dados de Energia
SEL	Schweitzer Engineering Laboratories
SIN	Sistema Interligado Nacional
SMF	Sistema de Medição para Faturamento
UCM	Unidade Central de Medição
V	Volt
VTCD	Varição de Tensão de Curta Duração
XML	Extensible Markup Language

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	16
1.1.	CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO .....	16
1.2.	INTRODUÇÃO .....	16
1.3.	JUSTIFICATIVA .....	19
1.4.	DELIMITAÇÃO .....	19
1.5.	OBJETIVOS .....	20
2.1.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	21
2.2.	REGULAMENTAÇÕES E NORMAS INTERNACIONAIS .....	21
2.3.	DISTÚRBIOS NA REDE ELÉTRICA QUE IMPACTAM A QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA (QEE) .....	24
2.4.	TRANSIENTES ELÉTRICOS .....	25
2.5.	AFUNDAMENTO DE TENSÃO RMS (OU SAG) .....	27
2.6.	ELEVAÇÃO DE TENSÃO RMS (SWELL) .....	28
2.7.	DISTORÇÕES HARMÔNICAS .....	28
2.8.	DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO .....	29
2.9.	FLUTUAÇÕES DE TENSÃO .....	31
2.10.	FATOR DE POTÊNCIA .....	32
2.11.	VARIAÇÃO DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO (VTCD) .....	33
2.12.	SMART GRID PARA GERENCIAMENTO E MONITORAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	34
2.13.	MEDIÇÃO DE FRONTEIRA .....	35
2.14.	SISTEMA DE MEDIÇÃO .....	37
3.	METODOLOGIA .....	39
3.1.	O PROJETO .....	39
3.2.	SITUAÇÃO ANTERIOR .....	40

3.3.	COLETA DE DADOS DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DE FATURAMENTO (SMF).....	40
3.4.	AJUSTES DE PONTOS NO SISTEMA DE COLETA DE DADOS DE ENERGIA (SCDE).....	43
3.5.	CARACTERÍSTICAS DOS MEDIDORES CONFORME CCEE E ONS .....	50
3.6.	QUALIDADE DE ENERGIA – NÍVEL DE TENSÃO .....	51
3.7.	SOLICITAÇÃO DE SERVIÇO DE VERIFICAÇÃO DE TENSÃO .....	52
3.7.1.	MODALIDADE EVENTUAL .....	52
3.8.	INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO DE TENSÃO ...	53
3.9.	GESTÃO DAS RECLAMAÇÕES ASSOCIADAS À QUALIDADE DO PRODUTO .....	53
3.10.	ESTUDO DE CASO .....	53
3.10.1.	CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO PRODUTIVO DO CONSUMIDOR .....	54
3.10.2.	PROBLEMAS RELATADOS PELO CLIENTE .....	55
3.10.3.	ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA DA UNIDADE CONSUMIDORA.....	56
4.	RESULTADOS.....	58
4.1.	RESULTADOS OBTIDOS COM A GESTÃO NA PLATAFORMA INTEGRADA DE MEDIÇÃO .....	58
4.2.	PROBLEMAS DE OCORRÊNCIAS DETECTADOS ATRAVÉS DO SMF .....	58
4.3.	RESULTADOS DA QUALIDADE DE ENERGIA - MEDIÇÕES HARMÔMICAS .....	59
5.	DISCUSSÃO.....	63

5.1.	VANTAGENS DO SISTEMA DE MEDIÇÃO PARA FATURAMENTO	63
5.2.	DESVANTAGENS DO SISTEMA DE MEDIÇÃO PARA FATURAMENTO.....	64
5.3.	CONCLUSÕES SOBRE A ANÁLISE DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA .....	65
6.	CONCLUSÃO .....	67

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO**

Em um cenário onde a eficiência energética é uma preocupação crescente, a análise através do monitoramento de energia elétrica torna-se uma ferramenta indispensável, especialmente para consumidores livres. Estes consumidores, que têm a capacidade de escolher seus fornecedores de energia, têm um interesse particular em otimizar seu consumo e reduzir custos operacionais.

Neste contexto, a utilização de medidores de energia de alta precisão desempenha um papel crucial. Esses dispositivos oferecem uma medição precisa do consumo de energia elétrica, permitindo aos consumidores avaliar seu padrão de consumo e identificar áreas de alto consumo.

Além disso, o monitoramento contínuo da energia elétrica também proporciona aos consumidores livres uma visão detalhada do desempenho energético ao longo do tempo. Isso permite a identificação de tendências, a avaliação do impacto de medidas de eficiência energética e a verificação da eficácia das ações implementadas.

Portanto, a análise de eficiência energética através do monitoramento de energia elétrica com medidores de alta precisão oferece aos consumidores livres uma ferramenta valiosa para a gestão inteligente de sua energia, promovendo a redução de custos, a otimização do consumo e o uso mais eficiente dos recursos energéticos disponíveis.

## **1.2. INTRODUÇÃO**

A medição de energia elétrica desempenha um papel fundamental para os consumidores, especialmente para aqueles que têm a liberdade de escolher seus fornecedores de energia. Essa medida permite um controle e monitoramento preciso do consumo real da eletricidade em residências, empresas e indústrias. Com acesso a esses dados, é possível gerenciar os custos da conta de energia de forma mais eficaz e implementar estratégias para reduzir o desperdício e melhorar a eficiência na utilização da energia elétrica.

Diversas aplicações, tais como medições em pontos de conexão, medição tarifária, verificação de faturas de energia e submedição, demandam medição de energia altamente precisa. Para garantir essa precisão, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) normatiza rigorosamente os padrões de medição de energia. Observar periodicamente os valores medidos, tanto diariamente quanto mensalmente, através dos medidores de energia de alta precisão oferece uma série de vantagens significativas, como: visão detalhada e em tempo real de seu consumo de energia, permitindo um controle mais eficaz dos custos, identificação de anomalias e melhoria da eficiência energética e planejamento orçamentário através do acompanhamento regular dos valores medidos permite aos consumidores estimar com maior precisão seus gastos com energia elétrica, facilitando sua alocação de recursos para outras áreas de seu interesse. Os medidores de faturamento qualificados devem registrar com precisão o consumo e as perdas de energia mesmo em condições desafiadoras do sistema de energia. Essa regulamentação assegura cobranças justas e um entendimento preciso das perdas no sistema de energia, promovendo transparência e confiabilidade nas relações entre consumidores e fornecedores de energia elétrica.

O objetivo deste trabalho é analisar um Medidor de Qualidade de Energia Elétrica (QEE), para isso, concentraremos as análises em um medidor de faturamento e qualidade de energia, utilizado para monitorar redes de concessionárias. O medidor de alta precisão é capaz de lidar com diversos distúrbios de energia comuns, tais como: transientes, interrupção, afundamento de tensão (Sag), elevação da tensão RMS (Swell), distorções harmônicas, desequilíbrio de tensão, flutuações de tensão, variações de frequência de potência, fator de potência e variação de tensão de curta duração (VTCDs). Os distúrbios de energia são minuciosamente abordados no módulo 8 do Prodist, o que fornece diretrizes específicas para lidar com essas questões. Este módulo detalha e oferece orientações precisas sobre como identificar, avaliar e mitigar esses distúrbios, o módulo 8 do Prodist desempenha um papel crucial na garantia da confiabilidade e estabilidade do sistema elétrico. Esses distúrbios impactam diretamente na qualidade da energia elétrica do sistema, e com isso se faz necessário que aumente a importância da qualidade de energia na rede elétrica. Com as rápidas mudanças na rede elétrica, impulsionadas pelas novas tecnologias, como a geração distribuída,

a proliferação de veículos elétricos e o aumento do uso de dispositivos eletrônicos, a complexidade da distribuição e a variabilidade da demanda de energia estão aumentando significativamente, essas alterações e novas ramificações estão impactando a qualidade de energia e a confiabilidade da rede, tornando o monitoramento e gestão da qualidade de energia elétrica ainda mais crítica para garantir um fornecimento seguro e estável da rede de energia.

A rede elétrica e a maioria dos equipamentos elétricos são projetadas para operar em condições ideais de qualidade de energia, incluindo tensões nominais, frequências e formas de onda equilibradas, qualquer desvio dessas condições ideais pode ser considerado um problema de qualidade de energia, podendo afetar negativamente o sistema elétrico e os equipamentos.

A crescente sensibilidade dos equipamentos referente aos distúrbios elétricos e a propagação de cargas não-lineares são alguns dos elementos que reforçam a relevância da qualidade de energia elétrica (QEE), dessa forma, o monitoramento da qualidade de energia elétrica na rede é crucial, pois ajuda a identificar áreas críticas, que se referem a uma série de eventos e condições que afetam a estabilidade, confiabilidade e eficiência do fornecimento de energia elétrica. A variedade de medidores e o grande volume de dados de medição e os vários indicadores de qualidade de energia estabelecidos pelo módulo 8 do Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (Prodint) tornam a gestão da qualidade de energia uma tarefa desafiadora para os consumidores para garantir um funcionamento adequado, pelos fabricantes afim de garantir o desempenho adequado e a durabilidade de seus produtos, da concessionária de energia que têm a responsabilidade de fornecer uma qualidade de energia adequada aos consumidores, conforme estabelecido pelas regulamentações do setor elétrico. A ANEEL é a responsável por estabelecer os padrões e regulamentações para garantir a qualidade de energia fornecida pelas concessionárias, isso inclui a definição de índices de qualidade de energia, como o DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor), e o FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor), além de fiscalizar o cumprimento desses padrões pelas concessionárias, a ANEEL também trabalha para promover investimentos em infraestrutura elétrica e incentivar a melhoria contínua da qualidade de energia no país.

Muitos medidores não são concebidos para medir tais formas de onda e só garantem medições precisas sob tensões e correntes senoidais. Um medidor de faturamento qualificado assegura precisão em todas as condições do sistema, em conformidade com a classe de exatidão mais rigorosa para todos os testes especificados na mais recente norma ANSI de medições de faturamento, inclusive em condições não senoidais (SEL, 2018).

### **1.3. JUSTIFICATIVA**

No contexto do uso racional de energia elétrica, este trabalho visa estudar a otimização da eficiência energética através do monitoramento da medição de energia elétrica com medidores de faturamento e qualidade de energia, no qual, possua total conformidade com a norma de qualidade de energia IEC 61000-4-30 Classe A. Com a medição de Classe A, é possível identificar anomalias no sistema de potência, possibilitando a isolação da fonte de um problema com maior confiança.

Para aplicações que demandam de alta precisão, com exatidão 0,1 ou 0,2 nas medições de faturamento e qualidade de energia, podemos obter benefícios significativos em toda a cadeia de geração, transmissão e distribuição de energia. Essa precisão nos permite implementar estratégias eficazes para reduzir as perdas de energia elétrica, resultando em uma operação mais eficiente e econômica do sistema elétrico como um todo.

### **1.4. DELIMITAÇÃO**

Serão estudadas as análises realizadas sobre os dados de medição de fronteira entre uma distribuidora e uma transmissora de energia, utilizando um sistema de gestão de ajustes de medições de fronteiras. Além disso, será apresentado um estudo de caso sobre como a distribuidora realiza o monitoramento da qualidade de energia elétrica no Ponto de Acoplamento Comum (PAC), especialmente após receber uma reclamação do consumidor sobre o nível de tensão.

## 1.5. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é estudar sobre a relevância do monitoramento e análise da energia como elementos-chave na obtenção de informações cruciais sobre a qualidade de energia (QEE). Ao investigar e compreender os dados energéticos, é possível identificar padrões, tendências e anomalias que impactam diretamente na eficiência e confiabilidade do fornecimento elétrico. Isso não apenas ajuda a melhorar a eficiência operacional, mas também a garantir um fornecimento de energia mais estável e seguro para os consumidores e para o sistema como um todo.

Neste estudo, serão analisadas as variáveis do sistema de medição de energia elétrica, empregando equipamentos de alta precisão e tecnologia de extração de dados avançados, com foco especial em medição da qualidade de energia. Essa abordagem permitirá uma análise das diferentes facetas da qualidade de energia (QEE), incluindo parâmetros como tensão, corrente, frequência, distorções harmônicas e outros fatores relevantes. Ao utilizar medidores Classe A, reconhecidos por sua confiabilidade e acurácia, buscamos obter uma compreensão detalhada do desempenho energético do sistema, identificando áreas de melhoria e oportunidades para otimização da qualidade de energia fornecida aos consumidores.

## **2. ESTADO DA ARTE**

### **2.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Um medidor de qualidade de energia e faturamento voltado para fonte, ou seja, para o lado da concessionária de energia, apresenta versatilidade e confiabilidade e um desempenho satisfatório para os parâmetros de qualidade de energia. Sua capacidade de medição bidirecional em quatro quadrantes e sua precisão o tornam a escolha ideal para monitorar interconexões de redes, subestações e entradas de serviço. Conforme estabelecido no Prodist módulo 8, no item 9 – Instrumentação e Metodologia de Medição, os instrumentos de medição devem atender aos requisitos mínimos de: Protocolos e normas internacionais como a International Electrotechnical Commission (IEC) 61000 série 4 ou normas técnicas brasileiras e Método de medição Classe A ou S, conforme norma vigente da IEC 61000-4-30, o que caracteriza como medidores de energia de alta precisão.

Este equipamento oferece às concessionárias a capacidade de gerenciar contratos de fornecimento de energia complexos, incluindo compromissos com a qualidade da energia. Sua conectividade permite a integração com os softwares e o sistema Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) da concessionária.

Tais equipamentos oferecem desempenho avançado para maximizar rapidamente o retorno do investimento, monitoramento do cumprimento da qualidade da energia no ponto de conexão para aumentar a confiabilidade da rede elétrica e uma arquitetura modular adaptável pronta para enfrentar os desafios futuros (Schneider, 2019).

### **2.2. REGULAMENTAÇÕES E NORMAS INTERNACIONAIS**

No que tange as normas internacionais, as principais regulamentações na área de qualidade de energia são estabelecidas, garantindo assim a adequação dos medidores de energia aos padrões globalmente reconhecidos de qualidade e desempenho pelos grupos IEC, ANSI, IEEE e também do INMETRO na avaliação de conformidade do produto.

A norma IEC 61850 é um padrão conhecido como Redes de Comunicação e Sistemas em Subestações (IEC-61850 Communication Networks and Systems in Substations) que visa integrar equipamentos de diferentes fabricantes para automatizar usinas geradoras, subestações de transmissão e distribuição de energia (UNESP, 2008). A norma COMTRADE (IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange) é um padrão de arquivo amplamente utilizado para a gravação de dados de oscilografias e outros dados de comutação em sistemas elétricos de potência. Ela especifica o formato de arquivo para armazenar dados de formas de onda e informações de eventos em sistemas de proteção e automação.

O Padrão Nacional Americano para Medidores de Eletricidade - Classes de Precisão 0,2 e 0,5A (ANSI C12.20) estabelece os critérios de desempenho aceitáveis para medidores de eletricidade, incluindo requisitos para precisão, corrente, tensão, frequência, testes ambientais e outras especificações como forma de garantir a qualidade e confiabilidade das medições de eletricidade (ANSI, 2010).

A norma IEC 62053-22 se aplica apenas a medidores estáticos de watt-hora operados por transformador com classes de precisão 0,1 S, 0,2 S e 0,5 S para medição de energia elétrica ativa de corrente alternada em redes de 50 Hz ou 60 Hz e aplica-se apenas aos testes de tipo (IEC, 2020).

A norma IEC 62053-23, parte da IEC 62053, se aplica apenas a medidores estáticos de var-hora de classes de precisão 2 e 3 para a medição de energia reativa elétrica de corrente alternada em redes de 50 Hz ou 60 Hz e se aplica apenas aos testes de tipo. Por razões práticas, esta norma baseia-se numa definição convencional de energia reativa para correntes e tensões senoidais contendo apenas a frequência fundamental (ANSI, 2020).

Já a norma IEEE-519 (Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems) trata de práticas e requisitos para o controle de harmônicas no sistema elétrico de potência. A IEEE-519 define os limites de distorção de corrente por harmônico (em percentuais da corrente máxima de demanda de carga) e TDD. Os harmônicos são divididos em 5 grupos ( $3^{\circ} - 10^{\circ}$ ,  $11^{\circ} - 16^{\circ}$ ,  $17^{\circ} - 22^{\circ}$ ,  $23^{\circ} - 34^{\circ}$  e  $35^{\circ} - 50^{\circ}$ ), com limites diferentes para cada grupo de harmônicos por tensão nominal e relação ISc/IL (Elspec, 2022).

A portaria Inmetro/ Dimel 0201/2012, estabelece requisitos e diretrizes para medidores de qualidade de energia elétrica atuarem no mercado brasileiro, visando garantir a precisão e confiabilidade das medições. Esta norma é crucial para assegurar a qualidade dos medidores utilizados em sistemas de energia elétrica no Brasil.

Em relação aos aspectos da qualidade de energia elétrica, os medidores precisam reunir vários documentos que descrevem os distúrbios de qualidade de energia elétrica (QEE), seus indicadores, limites de valores e protocolos que avaliam a medição e desempenho do equipamento. Tais documentos são baseados nas normas IEC 61000, sendo eles: IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15 e IEC 61000-4-30.

A IEC 61000 – Parte 4-7: Técnicas de teste e medição - Guia geral sobre medições e instrumentação de harmônicos e inter-harmônicos, para sistemas de alimentação de energia e equipamentos a eles conectados. Esta norma se aplica à instrumentação aplicada à medição de componentes espectrais na faixa de frequência de até 9 kHz, os quais se sobrepõem à frequência fundamental dos sistemas de alimentação de 50 Hz e 60Hz. Por razões práticas, a norma realiza distinção entre harmônicos, inter-harmônicos e outros componentes acima da faixa de frequência harmônica até 9 kHz. A Parte 4-7 define a instrumentação de medição para testar itens individuais de equipamentos de acordo com os limites de emissão determinados em certas normas (por exemplo, limites de corrente harmônica em condições IEC 61000-3-2), bem como para medir correntes e tensões harmônicas em condições reais de sistemas de fornecimento de energia (IEC 61000-4-7, 2022).

Já a Parte 4-15: Técnicas de teste e medição – Métodos de Medição de Qualidade de Energia da IEC 61000 fornece especificação funcional e de projeto para aparelhos de medição de cintilação, com o objetivo de indicar o nível correto de percepção de cintilação para todas as formas práticas de flutuação de tensão. A norma fornece informações para a construção desse instrumento e um método para avaliar a gravidade da cintilação com base na saída dos medidores de cintilação que estejam em conformidade com esta norma. As especificações do medidor de cintilação nesta parte da IEC 61000 referem-se apenas a medições de entradas de 120 V e 230 V, 50 Hz e 60 Hz.

A norma internacional IEC 61000 que trata sobre a Compatibilidade Eletromagnética (EMC) Parte 4-30: Técnicas de ensaio e medição – Métodos de medição de qualidade de energia estabelece os requisitos para a medição da qualidade de energia. Instrumentos certificados conforme esses padrões fornecerão resultados de medição confiáveis e consistentes, independentemente do fabricante. Os parâmetros abordados incluem fenômenos no sistema de alimentação, tais como frequência, amplitude da tensão de alimentação (valor RMS), oscilação, variação e interrupção da tensão de alimentação, bem como a presença de harmônicos. A norma também define os métodos de medição e interpretação dos resultados para os parâmetros de qualidade de energia em sistemas de alimentação de energia CA com uma frequência fundamental declarada de 50 Hz ou 60 Hz (ABNT NBR IEC 61000-4-30, 2023).

### **2.3. DISTÚRBIOS NA REDE ELÉTRICA QUE IMPACTAM A QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA (QEE)**

Vários elementos possibilitam a análise da qualidade do fornecimento de energia elétrica, entre eles, podemos mencionar a continuidade do fornecimento de energia elétrica, o nível de tensão, as flutuações e oscilações de tensão, os desequilíbrios, as distorções harmônicas e as interferências em sistemas de comunicações.

Conforme a energia elétrica se torna uma parte cada vez mais integrada ao cotidiano dos consumidores, se tornam naturais as discussões em torno da qualidade desse serviço. Inicialmente, uma preocupação primordial é a continuidade do fornecimento, pois qualquer interrupção pode causar transtornos significativos, se tornando indicadores cruciais para as distribuidoras de energia elétrica. A continuidade é fiscalizada e regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). No que tange a qualidade de energia elétrica como um produto comercial, sendo uma questão muito importante mesmo que não haja interrupções óbvias, muitas vezes somente é percebido de maneira sutil, através de falhas de funcionamento em alguns equipamentos.

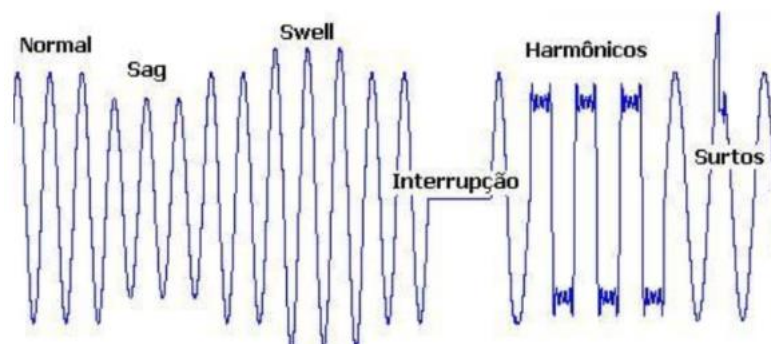
A preocupação em torno da qualidade de energia pelos consumidores surge quando os mesmos enfrentam interrupções em seu fornecimento, contudo, a medida

em que os consumidores se tornam tecnicamente mais experientes, passam a considerar outros aspectos além das interrupções de energia elétrica.

As cargas elétricas controladas eletronicamente têm uma característica intrínseca de não-linearidade, isso significa que essas cargas não exigem uma corrente elétrica constante, mas picos de energia em momentos específicos. Dependendo da configuração do conversor eletrônico utilizado, a corrente de entrada é ativada em um período ou ângulo específico da oscilação senoidal. Como resultado, essas cargas eletrônicas podem distorcer a forma de onda da tensão e da corrente fornecida a elas, o que gera uma “poluição” na rede de distribuição. Essa poluição se manifesta por meio de diversos tipos de problemas ou distúrbios.

A qualidade do funcionamento do equipamento elétrico pode ser afetada por uma ampla gama de distúrbios inerentes aos sistemas elétricos, esses distúrbios podem ser tanto permanentes quanto transitórios e são caracterizados em variações de tensão de longa duração, fator de potência, harmônicos de tensão, desequilíbrio de tensão, flutuações de tensão, variações de frequência e variações de tensão de curta duração (VTCDs).

Figura 1. Distúrbios da Energia Elétrica



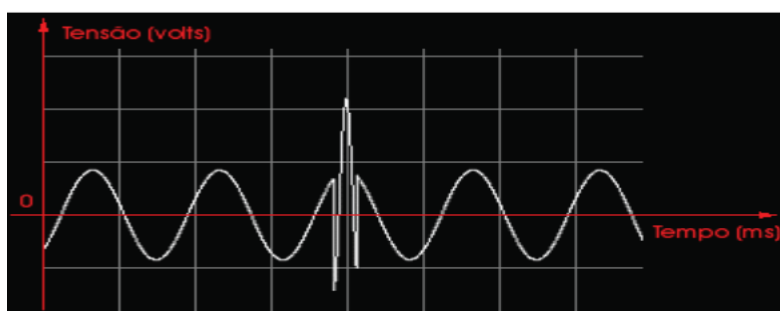
Fonte: Elétrica para concursos (2016)

## 2.4. TRANSIENTES ELÉTRICOS

Surtos e picos de tensão, também conhecidos como transientes, referem-se a rápidos incrementos na intensidade da tensão elétrica. Enquanto as variações de

tensão podem ocorrer com diferentes durações e amplitudes, os surtos de tensão se caracterizam por terem durações mais curtas e amplitudes muito mais agressivas. Esses surtos podem ter consequências catastróficas para equipamentos sensíveis, causando estresse e danos em seus componentes internos. São motivados por uma variedade de fatores, incluindo descargas atmosféricas, desligamento de sistemas muito indutivos, acidentes entre redes de distribuição, entre outros.

Figura 2. Como surtos e transientes podem afetar seus negócios



Fonte: Sidrasul (2016)

Os casos típicos de transientes externos englobam:

**Indução Eletromagnética:** Geralmente desencadeada por raios que caem próximos à rede elétrica, resultando em um diferencial de potencial significativo na rede. Esse fenômeno ocorre quando uma corrente elétrica varia rapidamente, gerando um campo eletromagnético que é captado pelos cabos da rede elétrica ou telefônica, que atuam como antenas.

**Condução pela Rede:** O chaveamento de cargas fortemente indutivas, como motores elétricos, produz transientes devido à força contra eletromotriz. Isso acontece porque um indutor se opõe a mudanças bruscas na corrente elétrica. Quando uma chave - eletrônica ou não - é desligada, a energia armazenada na forma de campo magnético nos circuitos indutivos é liberada, mantendo a corrente no circuito, mesmo que uma tensão inversa, geralmente de valor muito elevado, seja gerada nos terminais do indutor. Isso resulta em um pulso rápido de alta tensão, conhecido como "Spike", que pode induzir uma centelha entre os contatos da chave, caso não haja um circuito de proteção para transientes instalado.

## 2.5. AFUNDAMENTO DE TENSÃO RMS (OU SAG)

No módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição da Agência Nacional de Energia Elétrica (Prodist), o fenômeno conhecido como afundamento de tensão, ou "voltage sag" na literatura internacional, está categorizado como parte dos eventos denominados variação de tensão de curta duração.

Na Figura 1, observa-se que os afundamentos de tensão são casos específicos de variações momentâneas ou temporárias de tensão. No primeiro caso, conhecido como afundamento momentâneo de tensão, o evento tem uma duração entre 1 ciclo e 3 segundos e uma amplitude de tensão entre 0,1 por unidade (pu) e 0,9 pu em relação à tensão de referência. No segundo caso, denominado afundamento temporário de tensão, a duração do evento ocorre entre 3 segundos e 3 minutos, mantendo a mesma faixa de variação em relação à tensão nominal (0,1 pu a 0,9 pu) (Setor Elétrico, 2012).

Figura 3. Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração

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

Fonte: Elaborada pelo autor a partir do Prodist – Módulo 8, tabela 7

A relevância das análises e medições dos afundamentos de tensão está intimamente ligada à manutenção da operacionalidade das plantas industriais, prédios comerciais e equipamentos instalados. Isso ocorre porque as cargas são sensíveis à variação da tensão de alimentação e têm uma tolerância limitada a ela.

## 2.6. ELEVAÇÃO DE TENSÃO RMS (SWELL)

O Voltage Swell é um distúrbio elétrico transitório que ocorre quando há um aumento repentino e temporário na tensão de alimentação elétrica de um sistema elétrico. Esse aumento na tensão é geralmente de curta duração, normalmente não ultrapassando 2 segundos.

Sobretensões transitórias ocorrem quando a tensão elétrica em um sistema excede temporariamente seu valor nominal, geralmente entre 1,1 e 1,8 pu. Essas sobretensões podem ser muito prejudiciais, pois podem resultar na degradação ou queima de componentes dos equipamentos elétricos conectados ao sistema.

As causas típicas de sobretensões transitórias incluem:

**Perdas ou mudanças abruptas na referência de terra:** Alterações súbitas ou perdas na referência de terra podem levar a um desequilíbrio nas tensões do sistema, resultando em sobretensões transitórias.

**Interrupções abruptas ou diminuição no consumo de corrente por cargas indutivas:** Cargas indutivas, como motores elétricos, têm a capacidade de gerar sobretensões transitórias quando sua corrente é interrompida abruptamente, como durante o desligamento repentino de uma carga.

**Chaveamento de grandes bancos de capacitores:** O chaveamento de bancos de capacitores, especialmente grandes bancos, pode causar picos transitórios de tensão no sistema elétrico.

Essas sobretensões transitórias podem danificar equipamentos sensíveis, como dispositivos eletrônicos, transformadores e motores elétricos. Portanto, é importante implementar medidas de proteção adequadas, como dispositivos de proteção contra sobretensão e dispositivos de supressão de transientes, para mitigar os efeitos prejudiciais dessas sobretensões no sistema elétrico local.

## 2.7. DISTORÇÕES HARMÔNICAS

A distorção harmônica é um fenômeno que ocorre em redes elétricas quando correntes harmônicas se somam à corrente fundamental, resultando em uma deformação da forma de onda senoidal original. Este fenômeno é comum em redes

que alimentam cargas não lineares, como equipamentos eletrônicos, motores de velocidade variável, fornos de arco elétrico, e outros dispositivos que não seguem uma relação linear entre tensão e corrente (4Patner,2019).

Harmônicos são componentes de frequência múltipla da frequência fundamental da rede elétrica (normalmente 60 Hz ou 50 Hz). Por exemplo, o segundo harmônico seria uma componente de 120 Hz (2 vezes 60 Hz), o terceiro harmônico seria 180 Hz (3 vezes 60 Hz), e assim por diante. A presença desses harmônicos modifica a forma de onda senoidal perfeita, criando distorções que podem ser visualizadas como ondulações adicionais sobre a onda fundamental.

Monitorar os níveis de distorção harmônica é essencial para a manutenção da qualidade da energia elétrica em uma rede. Utilizando analisadores de qualidade de energia, é possível identificar as fontes de harmônicos e tomar medidas corretivas adequadas. Além disso, a implementação de normas e diretrizes, como as estabelecidas pelo IEEE 519, ajuda a manter os níveis de distorção harmônica dentro de limites aceitáveis, garantindo a operação segura e eficiente da rede elétrica.

A distorção harmônica é um desafio significativo em sistemas de distribuição elétrica, especialmente em ambientes com muitas cargas não lineares. Entender os efeitos dos harmônicos e implementar estratégias de mitigação adequadas é crucial para manter a confiabilidade, a eficiência e a qualidade da energia em uma rede elétrica.

## **2.8. DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO**

O desequilíbrio em um sistema elétrico trifásico ocorre quando as três fases do sistema não apresentam valores de tensão iguais em módulo e/ou não possuem defasagem angular de  $120^\circ$  elétricos entre si. Essa situação pode manifestar-se de duas maneiras:

- I. **Desequilíbrio de Tensão em Módulo:** Quando os valores eficazes das tensões nas três fases são diferentes. Idealmente, em um sistema trifásico balanceado, as tensões de fase devem ter a mesma magnitude. Se uma ou mais fases tiverem tensões com valores diferentes, isso indica um desequilíbrio.

- II. **Desequilíbrio Angular:** Quando a defasagem entre as tensões das fases não é exatamente  $120^\circ$  elétricos. Em um sistema trifásico perfeitamente balanceado, as tensões de fase devem estar defasadas em exatamente  $120^\circ$  elétricos umas das outras. Qualquer variação dessa defasagem ideal resulta em desequilíbrio.

O desequilíbrio em sistemas trifásicos pode ser causado por diversos fatores, como cargas desbalanceadas, falhas em equipamentos, problemas na geração ou distribuição de energia, entre outros. As consequências do desequilíbrio incluem aquecimento excessivo dos equipamentos, perdas de energia, mau funcionamento de motores e outros dispositivos elétricos, além de uma eficiência reduzida do sistema elétrico como um todo. Portanto, é crucial monitorar e corrigir quaisquer desequilíbrios para garantir a operação segura e eficiente do sistema elétrico.

As origens destes desequilíbrios geralmente são nos sistemas de distribuição, os quais possuem cargas monofásicas distribuídas inadequadamente, fazendo surgir no circuito tensões de sequência negativa. Este problema se agrava quando consumidores alimentados de forma trifásica possuem uma má distribuição de carga em seus circuitos internos, impondo correntes desequilibradas no circuito da concessionária. Tensões desequilibradas podem também ser resultados da queima de fusíveis em uma fase de um banco de capacitores trifásicos (OSetorEletrico, 2013).

De acordo com os Procedimentos de Distribuição (Prodist) da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), o desequilíbrio de tensão é avaliado utilizando o **fator de desequilíbrio**. Este fator quantifica a relação entre as componentes de sequência negativa e positiva da tensão, expressando-a em termos percentuais da componente de sequência positiva. Vamos entender isso mais detalhadamente:

A análise de desequilíbrio de tensão é crucial para garantir o desempenho adequado dos equipamentos trifásicos, como motores, que são projetados para operar com tensões balanceadas e podem sofrer aquecimento excessivo e desgaste prematuro em condições de desequilíbrio, além disso, desequilíbrios afetam a qualidade da energia fornecida, podendo causar problemas em dispositivos eletrônicos sensíveis. As concessionárias, por sua vez, devem monitorar e controlar o desequilíbrio de tensão para atender aos padrões estabelecidos pela Aneel, assegurando a confiabilidade do sistema elétrico.

## 2.9. FLUTUAÇÕES DE TENSÃO

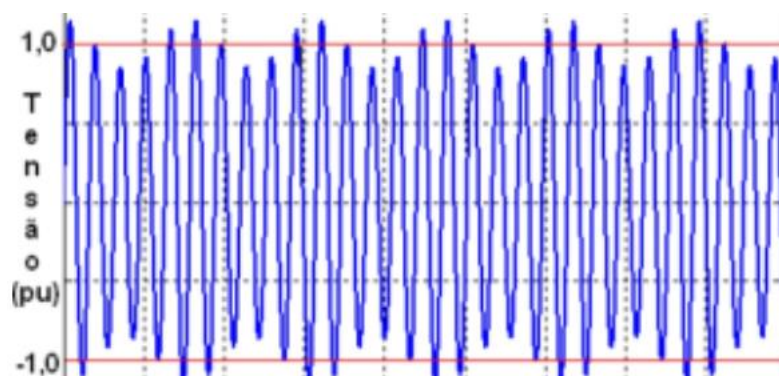
A flutuação de tensão, conhecida internacionalmente como flicker, é definida como uma variação do valor eficaz da tensão elétrica. Segundo a Aneel, esse fenômeno ocorre devido a variações aleatórias e repetitivas da corrente elétrica, afetando a luminosidade de sistemas de iluminação incandescente.

Os flickers são causados por grandes cargas que consomem quantidades significativas de energia reativa sem que esta seja adequadamente absorvida pelo sistema, resultando em quedas de tensão na alimentação. Esse fenômeno também pode ocorrer durante a mudança de fonte de alimentação, especialmente quando geradores de reserva, que possuem impedâncias maiores e específicas em comparação aos transformadores que substituem, operam sob a mesma tensão em situações de geração de emergência.

A flutuação de tensão é regulada pela Aneel, estabelecendo níveis mínimos e máximos de carga para garantir o pleno funcionamento da corrente elétrica em ambientes residenciais e industriais.

A quantidade exata de energia consumida varia conforme a região e o tipo de instalação, cada uma respeitando limites específicos. A leitura ideal pode ser obtida junto à fornecedora de energia local. Com a ajuda de um medidor de tensão, é possível acompanhar e monitorar se a sua instalação elétrica está operando abaixo do limite ou em condição de sobrecarga.

Figura 4. Distúrbios da Rede Elétrica



Fonte: Elétrica para concursos (2016)

## 2.10. FATOR DE POTÊNCIA

Na indústria elétrica, um dos conceitos fundamentais é o fator de potência, que representa a eficiência com que a energia elétrica é utilizada em um sistema ou equipamento. Este parâmetro é crucial para as indústrias, pois está diretamente relacionado aos custos de energia e à eficiência do sistema, além de influenciar a qualidade da energia elétrica fornecida.

O fator de potência é uma medida que indica o quão eficientemente a corrente elétrica está sendo convertida em trabalho útil. Ele é definido como a relação entre a potência real (kW) e a potência aparente (kVA) de um sistema elétrico. É representado pelo símbolo “ $\cos \phi$ ” ou “pf” e varia entre 0 e 1 (Keepfy, 2024).

Um fator de potência igual a 1 indica que toda a energia elétrica fornecida está sendo eficientemente convertida em trabalho útil. Por outro lado, um fator de potência inferior a 1 indica que uma parte da energia está sendo desperdiçada e não está sendo convertida em trabalho útil.

O fator de potência é crucial para a indústria por diversos motivos. Primeiramente, ele está diretamente relacionado aos custos de energia elétrica. As concessionárias de energia aplicam tarifas diferenciadas para clientes que possuem baixo fator de potência, penalizando aqueles que não utilizam a energia de maneira eficiente. Portanto, um baixo fator de potência pode resultar em um aumento significativo nos custos de eletricidade para a indústria (Keepfy, 2024).

Outro aspecto importante é a qualidade da energia elétrica fornecida. Um baixo fator de potência pode causar flutuações de tensão e corrente, interferências e distorções na rede elétrica. Isso pode afetar negativamente a operação de outros equipamentos na indústria, resultando em instabilidades, falhas e até mesmo paradas de produção. Com um elevado fator de potência, a rede elétrica funciona com maior estabilidade, minimizando as variações de tensão e corrente, e prevenindo distorções e interferências. Isso resulta em um ambiente elétrico mais seguro e estável para os equipamentos industriais.

## 2.11. VARIAÇÃO DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO (VTCD)

Os fenômenos que afetam a qualidade de um fornecimento elétrico, especialmente aqueles ligados às flutuações nos valores RMS das tensões, são de grande importância. As Variações de Tensão de Curta Duração (VTCDs) têm sido alvo de intensa pesquisa global, com o objetivo de entender suas causas e mitigar seus efeitos no sistema elétrico.

Essas variações podem ser classificadas como instantâneas (0,5 a 30 ciclos), momentâneas (30 ciclos a 3s) ou temporárias (3s a 1 min). Elas são desencadeadas por diversos eventos, como falhas, a energização de cargas pesadas que demandam altas correntes de partida, ou até mesmo pela perda intermitente de conexões nos cabos do sistema. Dependendo da localização da falha e das condições do sistema, pode ocorrer uma queda de tensão (afundamento), um aumento de tensão (elevação) ou até mesmo uma interrupção total da tensão. A falha pode estar próxima ou distante do ponto de interesse. Em ambos os casos, o impacto da variação de tensão durante a falha é de curta duração, até que os dispositivos de proteção entrem em operação para corrigir a falha (OSetorElétrico, 2013).

Nos Procedimentos de Rede estabelecidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), especificamente no item Padrões de Desempenho da Rede Básica (Prodist), Submódulo 2.2, estão definidos os indicadores de avaliação da qualidade da energia elétrica. Entre esses indicadores, são abordadas as Variações de Tensão de Curta Duração (VTCDs), que englobam os fenômenos de elevação de tensão, afundamento e interrupção. Conforme os procedimentos mencionados, Variação de Tensão de Curta Duração é definida como "um desvio significativo da amplitude da tensão por um curto intervalo de tempo".

A amplitude dos VTCDs é determinada pelo valor extremo do valor eficaz (média quadrática) da tensão em relação à tensão de referência do sistema no ponto em questão, durante a ocorrência do evento. Por outro lado, a duração dos VTCDs é o intervalo de tempo entre o momento em que o valor eficaz da tensão, em relação à tensão de referência do sistema no ponto em questão, ultrapassa um limite específico e o momento em que essa mesma variável volta a cruzar esse limite.

## **2.12. SMART GRID PARA GERENCIAMENTO E MONITORAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA**

As Smart grids, ou redes elétricas inteligentes, representam uma evolução significativa em comparação com as redes elétricas tradicionais. Elas utilizam tecnologias de comunicação e informação avançadas para gerenciar a eletricidade de maneira mais eficiente e eficaz (Iberdrola, 2019).

A medição de energia desempenha um papel essencial na gestão do consumo energético dos consumidores, permitindo monitorar, analisar e otimizar o uso de eletricidade. No entanto, durante esse processo, podem ocorrer erros que afetam a precisão dos dados coletados. A gestão de energia é, de fato, crucial para a eficiência operacional e a redução de custos em qualquer negócio. Ferramentas como o rateio de energia e a submedição desempenham papéis vitais nesse processo. Para garantir a confiabilidade das medições e minimizar erros, é fundamental utilizar equipamentos e tecnologias adequadas.

A Smart Grid é uma rede elétrica inteligente que integra várias fontes de produção de energia por meio de uma comunicação bidirecional via internet ou outro meio de comunicação. Centrais de monitoramento têm acesso em tempo real a qualquer problema que possa surgir, permitindo controlá-los remotamente e isolar exatamente o ponto afetado. Com essa tecnologia, o sistema elétrico se torna mais capaz de reagir a eventos inesperados, isolando rapidamente os elementos problemáticos enquanto restaura o restante do sistema para operação normal. Essas ações de auto recuperação reduzem as interrupções do serviço aos consumidores e ajudam as prestadoras a gerenciar suas infraestruturas e usuários de forma mais eficiente (Instituto Federal Farroupilha, 2015).

A eficiência proporcionada por uma rede inteligente supera em muito a distribuição tradicional. Relatórios precisos de consumo e horários de pico ajudam a controlar melhor a distribuição de energia, permitindo direcionar um maior fluxo para regiões com maior demanda em tempo real. Além disso, as Smart Grids oferecem um entendimento detalhado do uso de energia por cada consumidor a cada instante, otimizando a gestão e reduzindo custos (Instituto Federal Farroupilha, 2015).

Segundo a SIEMENS (2015), a medição inteligente tem como principal objetivo coordenar a geração e o consumo de energia para otimizar o

aproveitamento energético. Este objetivo torna-se ainda mais relevante à medida que a participação de fontes de energia renovável continua a crescer (Instituto Federal Farroupilha, 2015).

Os Smart Meters, ou medidores inteligentes digitais, são dispositivos bidirecionais capazes de se conectar à internet e desempenhar funções de metrologia. Ao medir dados, eles facilitam o processamento e permitem que usuários residenciais ou industriais interajam com redes inteligentes, possibilitando a tomada de decisões conscientes sobre o consumo de energia (Instituto Federal Farroupilha, 2015).

O medidor inteligente fornecerá informações e capacitará os consumidores a gerenciarem suas demandas de energia de forma a reduzir os custos em suas contas. Isso permitirá aos usuários um controle mais eficaz do seu consumo, possibilitando a identificação de horários com tarifas mais baixas para reduzir os gastos. Ao mesmo tempo, empresas e indústrias poderão identificar os horários mais vantajosos em termos de custo/benefício para aumentar a produção e, conseqüentemente, otimizar o uso de energia.

## **2.13. MEDIÇÃO DE FRONTEIRA**

Todos os geradores, autoprodutores, consumidores e distribuidores devem enviar à Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) os dados medidos de energia produzida e consumida. Para realizar essa tarefa, os agentes utilizam o Sistema de Medição para Faturamento (SMF), que é composto por medidores, transformadores de potencial e transformadores de corrente (CCEE, 2020).

A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) é encarregada de facilitar os contratos entre compradores e vendedores de energia. Todos esses contratos são baseados no Preço de Liquidação de Diferenças (PLD), que por sua vez é determinado pelo Custo Marginal de Operação (CMO). O valor do PLD é calculado semanalmente pela CCEE para cada patamar de carga, dentro de limites mínimo e máximo estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e para cada submercado (Sudeste (SE), Centro-Oeste (CO), Sul (S), Nordeste (NE) e Norte (N)). A competência para estabelecer os limites máximo e mínimo do PLD foi

atribuída à ANEEL pelo Decreto 5.163/2004. Essa atribuição entrou em vigor a partir de 1º de janeiro de 2015.

Na questão da contratação de energia elétrica, dois elementos fundamentais são a Medição Física e a Medição Contábil. A Medição Física, conduzida pela CCEE, é realizada através do Sistema de Medição para Faturamento (SMF), que mede o fluxo de energia, incluindo consumo, geração e outros parâmetros. Em uma Distribuidora, por exemplo, a topologia é representada por todos os pontos de medição da rede básica, como subestações e intercâmbios, bem como pontos de geração e consumidores livres e especiais. Paralelamente, a Medição Contábil é responsável pela apuração e ajustes dos valores da Medição Física, usando um ponto virtual chamado "Centro de Gravidade" para calcular o consumo e a geração, principalmente para o rateio de perdas de energia elétrica.

O Sistema de Medição para Faturamento (SMF) desempenha um papel essencial na operação dos agentes do setor elétrico, encarregado de registrar as medições de geração e consumo de energia para que esses dados sejam empregados nos procedimentos contábeis da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

A implementação do Sistema de Medição para Faturamento (SMF) é determinada pelos submódulos 2.14 - "Requisitos mínimos para Sistemas de Medição para Faturamento" e 7.11 - "Implantação do Sistema de Medição para Faturamento" dos Procedimentos de Rede, conforme aprovado pela Resolução Normativa nº 903 de 2020 (ANEEL, 2021).

Para quantificar os níveis de energia, os medidores do SMF são integrados ao Sistema de Coleta de Dados de Energia (SCDE), operado pela CCEE. Esse sistema é encarregado de coletar e processar os dados de medição diariamente. Ele permite a realização de verificações lógicas com acesso direto aos medidores, garantindo uma maior confiabilidade nos dados registrados. Existem diferentes métodos de coleta, como a coleta passiva, a coleta ativa e a Plataforma de Integração.

O SCDE coleta os dados de medição por ponto de medição e em intervalos de tempo de 5 minutos, abrangendo tanto a energia ativa (kWh) quanto a energia reativa (kVARh). Em ambas as categorias, os canais de consumo e geração são

tratados. Posteriormente, esses dados são agregados em períodos de uma hora para torná-los compatíveis com o período de comercialização conduzido pela CCEE.

No contexto das Distribuidoras, que atuam como Agentes de Medições, eles têm sob sua gestão pontos de rede básica, os quais estão referenciados à tensão de 230 kV. Geralmente, esses pontos são medidos nas tensões de 138 kV e 69 kV, além dos pontos de consumidores livres. As cargas mais significativas são encontradas nos pontos de rede básica.

A gestão das medições de faturamento é conduzida pelo setor de Desempenho da Operação, na área de Medição e Perdas de uma concessionária de energia. O medidor de energia elétrica é o componente mais importante para as concessionárias de energia, pois ele desempenha um papel fundamental na geração de receita para essas entidades, bem como na operação e gestão dos seus ativos.

#### **2.14. SISTEMA DE MEDIÇÃO**

A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) representa uma rede de pontos de medição de geração e consumo. Esses pontos são estrategicamente localizados para capturar dados precisos sobre a produção e o uso de energia por parte dos agentes do mercado. Essa estrutura de medição é fundamental para calcular os montantes líquidos de energia de cada participante, facilitando assim a contabilização e a liquidação financeira das transações realizadas no mercado de curto prazo. Os dados de medição coletados nesses pontos não apenas alimentam o processo de faturamento, mas também são essenciais para que o Operador Nacional do Sistema (ONS) calcule os Encargos de Uso do Sistema de Transmissão (EUST).

Para manter o controle dos processos de contabilização de energia na CCEE e permitir a apuração das demandas pelo ONS, são necessários requisitos específicos em relação à medição de faturamento. Um canal de comunicação estável e eficiente deve ser disponibilizado para garantir o acesso da CCEE a cada ponto de medição por meio do Sistema de Coleta de Dados de Energia (SCDE), a qualquer momento. Os dados de medição são coletados diariamente e passam por processos de validação antes de serem submetidos às análises necessárias. Mesmo após esses procedimentos, a CCEE reserva-se o direito de realizar inspeções

lógicas de dados a qualquer momento para validar as informações obtidas nas coletas diárias.

Mensalmente, a CCEE realiza a verificação da conformidade do Sistema de Medição para Faturamento (SMF). Em casos de falhas nos acessos aos medidores ou de indisponibilidade ou inconsistência nos dados, os agentes estão sujeitos a penalidades por infração nos processos relacionados à conformidade do SMF, inspeção lógica e coleta de dados.

A infração na inspeção lógica ocorre quando são registradas três tentativas fracassadas e consecutivas de acesso a qualquer medidor de um ponto de medição dentro do mesmo mês civil. As multas associadas a essa infração variam de R\$ 1.500,00 a R\$ 24.000,00 por ponto de medição (Way2, 2015).

A infração na coleta de dados de medição pelo SCDE ocorre quando há ausência de dados por períodos que excedem 72 horas de forma contínua ou 120 horas alternadas durante o mês de apuração. A multa é proporcional à quantidade de registros faltantes e ao valor da energia no mês, avaliada ao Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) médio. O cálculo da multa segue a fórmula a seguir:

Figura 5. Fórmula da penalidade mensal por infração na coleta de dados de medição

$$PEN_m = \frac{Total\_de\_Energia_{SCDE_m}}{N^o_{horas\_mês}} * N^o_{horas\_falt} * 0,05 * PLD\ médio_m$$

Fonte: Procedimentos de Comercialização – PdCs (2016)



Para isso, foram reunidos conhecimentos prévios durante o período de trabalho realizado no Centro de Operação Integrado, na área de Desempenho da Operação de uma concessionária de energia (distribuidora de energia), sendo importante o acompanhamento das análises realizadas e ajustes destas medições de fronteiras. O objetivo é verificar os dados dos medidores conectados ao Sistema de Coleta de Dados de Energia (SCDE), que é o sistema responsável pela coleta diária (realizada das 0h às 10h) e pelo tratamento de dados de medição. O sistema possibilita a realização de inspeções lógicas com acesso direto aos medidores, proporcionando maior confiabilidade dos dados obtidos.

### **3.2. SITUAÇÃO ANTERIOR**

Para elaborar o presente estudo de caso, foram levantadas as análises e acompanhamento das atividades da área de Medição e Perdas do Desempenho da Operação de uma distribuidora de energia juntamente com a medição de fronteira com uma transmissora de energia.

Para a medição de fronteira são utilizados medidores de faturamento e qualidade de energia de alta precisão, no qual, fornece várias partes de acesso seguro aos dados de faturamento e fornece valores de medições operacionais precisos para sistemas SCADA para melhorar a confiabilidade da rede em tempo real.

Conforme o fluxo dos Dados de Medição, o Agente tem por responsabilidade disponibilizar e monitorar os dados fornecidos até a sua validação por parte da CCEE.

### **3.3. COLETA DE DADOS DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DE FATURAMENTO (SMF)**

Na medição de fronteira, o monitoramento da energia produzida e consumida é de suma importância para garantir a precisão na contabilização e a correta liquidação financeira entre os agentes envolvidos.

No Sistema de Medição e Faturamento (SMF) utilizado pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), vários componentes desempenham papéis essenciais para garantir a precisão na medição e na contabilização da energia elétrica transmitida e consumida. Aqui estão os principais componentes do SMF:

- I. **Medidores Principal e de Retaguarda:** Estes são os dispositivos centrais que medem a quantidade de energia elétrica transmitida. O medidor principal é o dispositivo primário de medição, enquanto o medidor de retaguarda atua como um backup para garantir a continuidade e a precisão da medição em caso de falha do medidor principal e para evitar multas por falta de dados.
- II. **Transformadores de Instrumentos (TI):** Estes dispositivos são utilizados para adaptar os níveis de tensão e corrente das linhas de energia para níveis adequados aos medidores. Eles garantem que as medições sejam precisas e seguras.
- III. **Transformadores de Potencial (TP):** São utilizados para reduzir a tensão das linhas de energia a níveis que podem ser medidos com segurança pelos equipamentos de medição. Os TP's garantem que a medição da tensão seja precisa.
- IV. **Transformadores de Corrente (TC):** Estes transformadores reduzem a corrente das linhas de energia para níveis que podem ser medidos com precisão pelos medidores. Eles são cruciais para garantir que a corrente medida seja representativa da corrente real na linha de transmissão.
- V. **Canais de Comunicação entre os Agentes e a CCEE:** Estes canais são essenciais para a transmissão de dados de medição dos agentes para a CCEE. Eles incluem redes de comunicação seguras que permitem a transferência de dados em tempo real, garantindo a integridade e a confidencialidade das informações transmitidas.
- VI. **Sistemas de Coleta de Dados de Medição para Faturamento:** Estes sistemas agregam e processam os dados coletados pelos medidores. Eles são responsáveis por armazenar, validar e disponibilizar os dados para os processos de faturamento, assegurando que as informações utilizadas para calcular os valores a serem pagos ou recebidos pelos agentes sejam precisas e atualizadas.

A integração e o funcionamento harmonioso desses componentes são cruciais para a eficácia do Sistema de Medição e Faturamento (SMF). A precisão na medição e a confiabilidade dos dados coletados são fundamentais para garantir a transparência e a paridade nas transações do mercado livre de energia, permitindo que a CCEE realize a liquidação financeira com base em informações precisas e confiáveis.

Portanto, os medidores de energia são conectados ao Sistema de Coleta de Dados de Energia (SCDE), que é o sistema da CCEE responsável pela coleta horária e pelo tratamento dos dados de medição. Esses dados são então integrados em períodos de uma hora, para se tornarem compatíveis com o período de comercialização realizado na CCEE. Além disso, o sistema permite a realização de inspeções lógicas com acesso direto aos medidores, garantindo maior confiabilidade dos dados coletados (Energex, 2023).

Existem três tipos de coleta de dados de medição no sistema CCEE, a **coleta direta** permite à CCEE acessar diretamente os medidores por meio de uma infraestrutura exclusiva fornecida pelo agente de medição. Na **coleta passiva tipo 1**, a CCEE realiza a leitura remota integrando seus sistemas aos das distribuidoras, utilizando a infraestrutura própria dessas distribuidoras. Já na **coleta passiva tipo 2**, a distribuidora faz a leitura remota, gera os arquivos no formato XML a partir de sua Unidade Central de Medição (UCM) e os disponibiliza no aplicativo ClientSCDE para envio à CCEE (PdCs, 2023).

As informações de medição são empregadas na contabilização das operações realizadas pela CCEE e também em apurações requisitadas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

No caso dos consumidores livres e especiais, a gestão da medição é de responsabilidade da distribuidora ou transmissora à qual o agente está conectado, que é designada como seu agente de medição. No entanto, o consumidor tem a possibilidade de acompanhar os resultados das coletas de dados por meio dos relatórios disponibilizados através do SCDE.

Os detalhes dos processos de medição são descritos nos Procedimentos de Comercialização (PdCs), especificamente no Submódulo 2.1, que aborda a Coleta e Ajuste de Dados de Medição, e no Submódulo 6.1, que trata das Penalidades de Medição e Multas. Além disso, o Submódulo 12.1 - Medição para Faturamento - Visão Geral dos Procedimentos de Rede do ONS.

### **3.4. AJUSTES DE PONTOS NO SISTEMA DE COLETA DE DADOS DE ENERGIA (SCDE)**

Para o processamento da contabilização, a CCEE utiliza os dados de medição coletados pelo SCDE a partir dos medidores instalados nas instalações físicas dos agentes, após esses dados serem submetidos aos processos de consistência, consolidação, ajuste e estimativa.

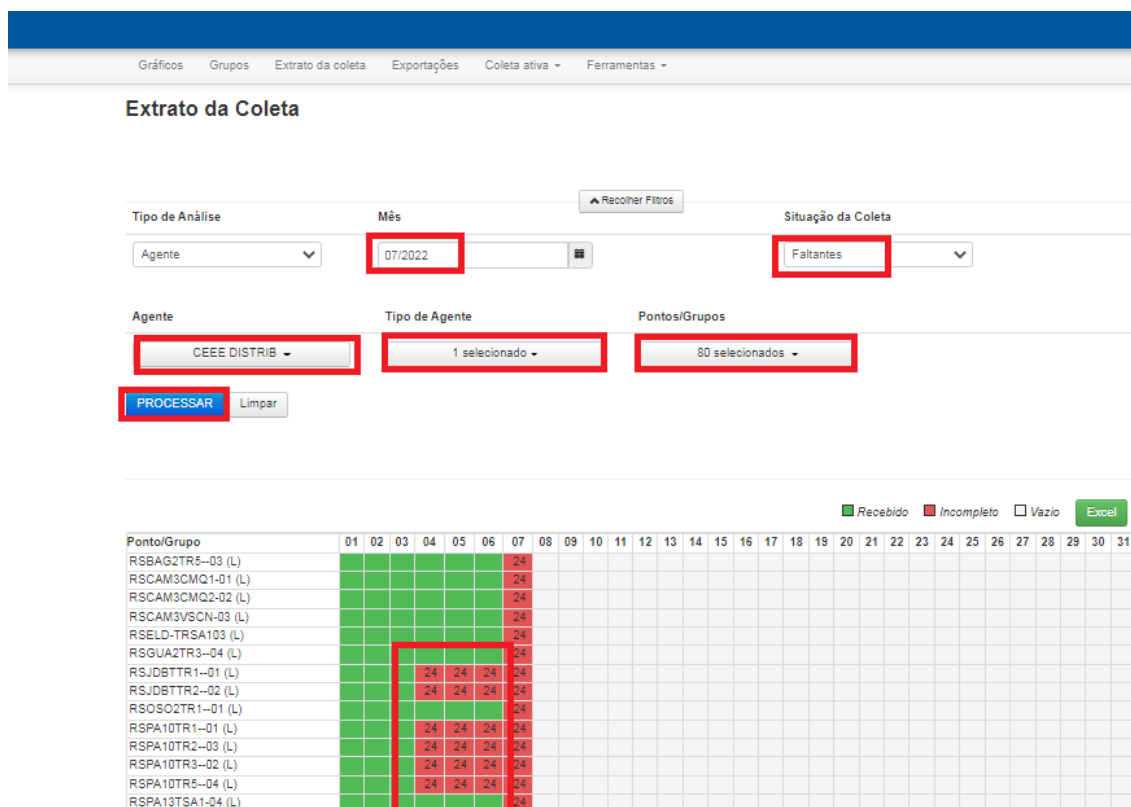
Os dados de medição coletados são submetidos aos processos de consistência, consolidação e análise crítica, independentemente do método de coleta, e podem ser rejeitados se houver divergências com os dados cadastrados no SCDE (PdCs, 2023).

A CCEE realiza uma análise crítica dos dados de medição para identificar faltas, falhas, inconsistências e outros sinais de possíveis defeitos ou intervenções indevidas nos equipamentos, notificando os agentes de medição para que tomem as providências cabíveis.

O agente de medição que utiliza a coleta de dados por UCM deve disponibilizar, dentro do prazo determinado pela CCEE, um arquivo em formato XML para cada medidor listado na tela principal do ClientSCDE, conforme os padrões e intervalos de coleta informados no site da CCEE (coleta passiva tipo 2) (PdCs, 2023).

Conforme o fluxograma acima, o agente deve monitorar a coleta de dados de medição diariamente no site da CCEE, e ao identificar problemas nas coletas, o agente tem até  $X + 3du$ , sendo “X” o dia de identificação da ocorrência mais 3 dias úteis. Para verificar os pontos com dados faltantes das coletas de medição, é preciso acessar o site da CCEE, identificar os pontos de medição com dados faltantes na aba “Extrato da Coleta”, conforme demonstra a figura abaixo:

Figura 7. Sistema de Coleta de Dados de Energia (SCDE) – Extrato da Coleta



Fonte: Elaborada pelo autor a partir do SCDE

No módulo de análises do SCDE da CCEE, é possível verificar diariamente as medições faltantes. O sistema realiza a consistência de todos os dados de medição de cada Agente de Medição. Os arquivos completos são destacados em verde, enquanto aqueles com problemas são identificados em vermelho. É importante observar que questões técnicas, como erros na constante do medidor que levam a medições incompletas, não são incluídas neste relatório. Acima temos um exemplo de como é a produção deste relatório, conforme Figura 7.

É necessário acompanhar e corrigir diariamente as medições faltantes, as quais podem ser submetidas até às 10 horas do 3º dia útil seguinte ao encerramento do mês. No 4º dia útil, a CCEE disponibiliza um relatório com todas as medições em falta, que serão ajustadas. Os arquivos XML correspondentes podem ser enviados

até o 7º dia útil. Além disso, é importante enviar também as medições incompletas, que não são detectadas no relatório da CCEE.

Figura 8. Planilha dos dados faltantes do extrato da coleta

10	11/07/2022 21:35	-27,58536148
11	11/07/2022 21:40	-55,71071243
12	11/07/2022 21:45	-54,94308472
13	11/07/2022 21:50	-53,81808472
14	11/07/2022 21:55	-53,47104263
15	11/07/2022 22:00	-53,40346909
16	11/07/2022 22:05	-53,27027512
17	11/07/2022 22:10	-53,74004364
18	11/07/2022 22:15	-53,80909729
19	11/07/2022 22:20	-53,70019913
20	11/07/2022 22:25	-53,41405869
21	11/07/2022 22:30	-52,96649933
22	11/07/2022 22:35	-52,25674057
23	11/07/2022 22:40	-52,54844284
24	11/07/2022 22:45	-51,95321655
25	11/07/2022 22:50	-51,13814163
26	11/07/2022 22:55	-50,67796707
27	11/07/2022 23:00	-50,37792587
28	11/07/2022 23:05	-50,13016891
29	11/07/2022 23:10	-49,83922577
30	11/07/2022 23:15	-49,38021088
31	11/07/2022 23:20	-49,70897293
32	11/07/2022 23:25	-5,732867718
33	11/07/2022 23:30	-0,056286957
34	11/07/2022 23:35	-0,056591187
35	11/07/2022 23:40	-0,019078337

Fonte: Elaborada pelo autor a partir do SCDE

As medições ausentes podem ter diversas origens, muitas vezes resultando de problemas de comunicação. Esses contratemplos podem ser causados por falhas nos medidores, transmissão inadequada de dados para a CCEE (sendo possível que o problema ocorra tanto no lado do Agente de Medição quanto da própria CCEE). Além disso, fatores técnicos, como a constante do medidor, problemas com Transformadores de Potencial (TPs), ou Transformadores de Corrente (TCs), que reproduzem a corrente em proporções conhecidas, também podem estar relacionados. Avarias nos medidores, desregulações no relógio do medidor (adiantado ou atrasado) e outros problemas de sincronização também podem contribuir para a ausência de medições.

A distribuidora usa a Plataforma Integrada de Medição (PIM) da Way2, para orientar processos e otimizar as operações de medição na distribuição de energia. O PIM oferece solução completa de telemedição que cumpre as exigências da CCEE, monitorando e assegurando a qualidade dos dados coletados. Além disso, a

plataforma ajuda a evitar penalidades impostas pela CCEE e contribui para a recuperação de receita em campo.

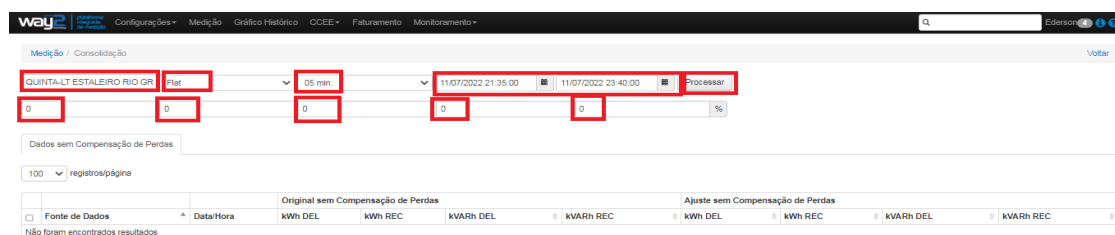
Na imagem abaixo, verificamos se os dados coletados no sistema PIM apresentaram algum erro durante o período indicado e após inserir os dados de medição faltantes, o mesmo é consolidado na plataforma PIM:

Figura 9. Aba de medição para consolidação dos dados no PIM



Fonte: Elaborada pelo autor a partir do PIM

Figura 10. Preenchimento dos dados no PIM para consolidação



Fonte: Elaborada pelo autor a partir do PIM

Durante o processo de consolidação, os dados de medição armazenados na memória de massa dos medidores em intervalos de 5 minutos são combinados para formar o dado de medição horário. O Sistema de Coleta de Dados de Energia (SCDE) segue um procedimento específico para essa consolidação:

a) se entre 9 e 11 registros estiverem presentes em uma determinada hora, os registros faltantes são preenchidos com dados do medidor retaguarda, se

disponível, ou estimados com base nos registros dos intervalos coletados. Assim, o dado de medição horário é considerado completo, formado pela agregação dos 12 registros da respectiva hora.

b) se houver menos de 9 registros em uma hora específica, os registros são descartados e o dado de medição horário é considerado incompleto e, portanto, ausente.

Se o dado de medição horário ultrapassar em mais de 25% a Capacidade Nominal cadastrada (Consumo e/ou Geração), ele será rejeitado e considerado inconsistente ou fora de tolerância, sendo, portanto, classificado como ausente.

No caso de registros duplicados ou com defasagem de sincronismo, que estejam fora dos limites estabelecidos pela CCEE, cada registro será tratado como dado ausente.

Figura 11. Justificativa para envio dos dados faltantes no PIM

Devido ocorrência emergencial (9162) na LT RSQUIL-ETRGLDS ocorrida em 11/07/2022 o disjuntor permaneceu aberto durante período de correção do problema, feita ajuste dos valores para zero no ponto

	Fonte de Dados	Data/Hora	Original sem Compensação de Perdas				Ajuste sem Compensação de Perdas			
			kWh DEL	kWh REC	kVARh DEL	kVARh REC	kWh DEL	kWh REC	kVARh DEL	kVARh REC
<input checked="" type="checkbox"/>	Flat	11/07/2022 21:35	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	Flat	11/07/2022 21:40	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	Flat	11/07/2022 21:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	Flat	11/07/2022 21:50	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	Flat	11/07/2022 21:55	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0

Fonte: Elaborada pelo autor a partir do PIM

Figura 12. Consolidação e envio dos dados faltantes no PIM

Os dados foram consolidados com sucesso

Medição Consolidação

QUINTA-LT ESTALEIRO RIO GR Flat 05 min 11/07/2022 21:35:00 11/07/2022 23:40:00 Processar

0 0 0 0 0 %

Devido ocorrência emergencial (9162) na LT RSQU-ETN3105 ocorrida em 11/07/2022 o disjuntor permiteceu aberto durante período de correção do problema, feita ajuste dos valores para zero no ponto.

Consolidar Cancelar

Dados sem Compensação de Perdas

100 registros/página

Fonte de Dados	Data/Hora	Original sem Compensação de Perdas				Ajuste sem Compensação de Perdas			
		KWh DEL	KWh REC	KVARh DEL	KVARh REC	KWh DEL	KWh REC	KVARh DEL	KVARh REC
Flat	11/07/2022 21:35	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0
Flat	11/07/2022 21:40	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0
Flat	11/07/2022 21:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0

Fonte: Elaborada pelo autor a partir do PIM

Figura 13. Geração de gráfico no PIM para verificação de erros da coleta da medição e energia

Pesquise por ponto ou medidor

Gráfico Histórico Padrão

Data inicial: 01/07/2022 Até: 09/07/2022 Aplicar horário de verão

Hoje Ontem **Mês atual** Mês passado Personalizado

Limpar **Gerar gráfico**

- JARDIM BOTANICO-TR2(230-6 Energia Ativa Kilo 5 minutos Exibir limites
- JARDIM BOTANICO-TR2(230-69kV)/LADO 9kV/LADO 69kV
- RSJDBTTR2-02P Energia Ativa Kilo 5 minutos Exibir limites
- RSJDBTTR2-02R Energia Ativa Kilo 5 minutos Exibir limites

JARDIM BOTANICO-TR1(230-69kV)/LADO

JARDIM BOTANICO-TR2(230-69kV)/LADO

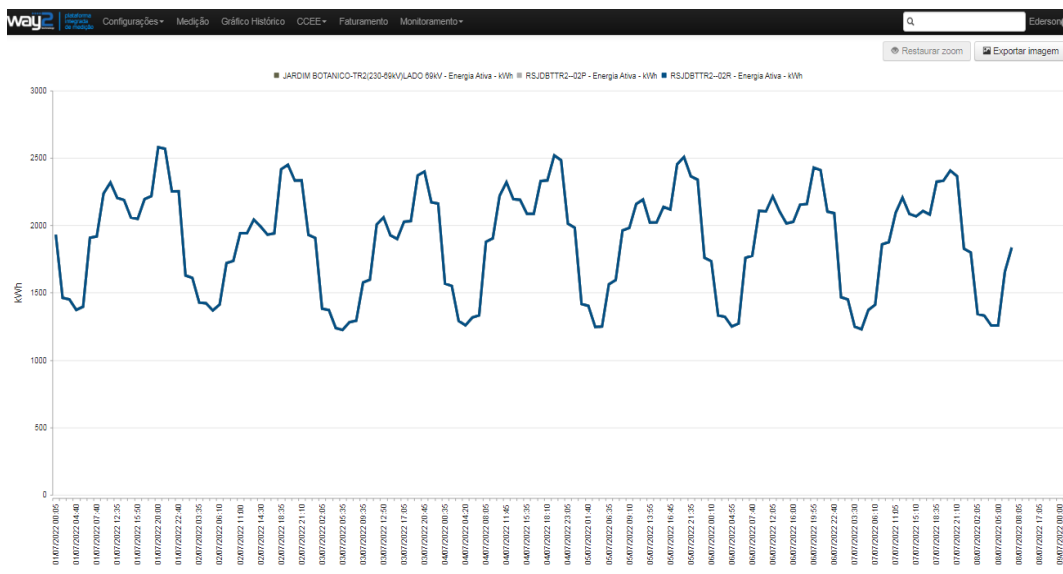
**RSJDBTTR2-02P**

RSJDBTTR2-02R

Fonte: Elaborada pelo autor a partir da Plataforma Integrada de Medição – PIM

O gráfico apresentado ilustra a medição da energia ativa em quilowatt-hora (KWh). A energia ativa representa a quantidade de eletricidade consumida por dispositivos e equipamentos elétricos ao longo de um determinado período. Este tipo de medição é crucial para monitorar e gerenciar o consumo de energia, permitindo identificar padrões de uso e possíveis oportunidades de economia.

Figura 14. Geração da Medição de Energia Ativa (kWh)

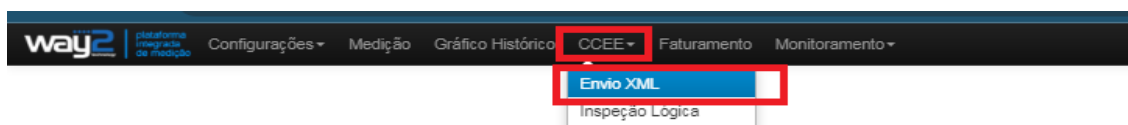


Fonte: Elaborada pelo autor a partir da Plataforma Integrada de Medição – PIM

Para a verificação do gráfico de medição, é essencial certificar-se de que todos os dados de medição estão completos, sem lacunas ou informações faltantes, e também verificar a consistência dos dados, garantindo que não haja valores anômalos ou discrepantes que possam indicar erros de medição ou de entrada de dados.

Para enviar corretamente os dados de medição para a CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica) através da plataforma PIM (Plataforma de Informações de Medição), é essencial garantir que o arquivo XML gerado esteja conforme os padrões e requisitos estabelecidos. As imagens abaixo demonstram como são gerados estes arquivos:

Figura 15. Envio XML no sistema PIM



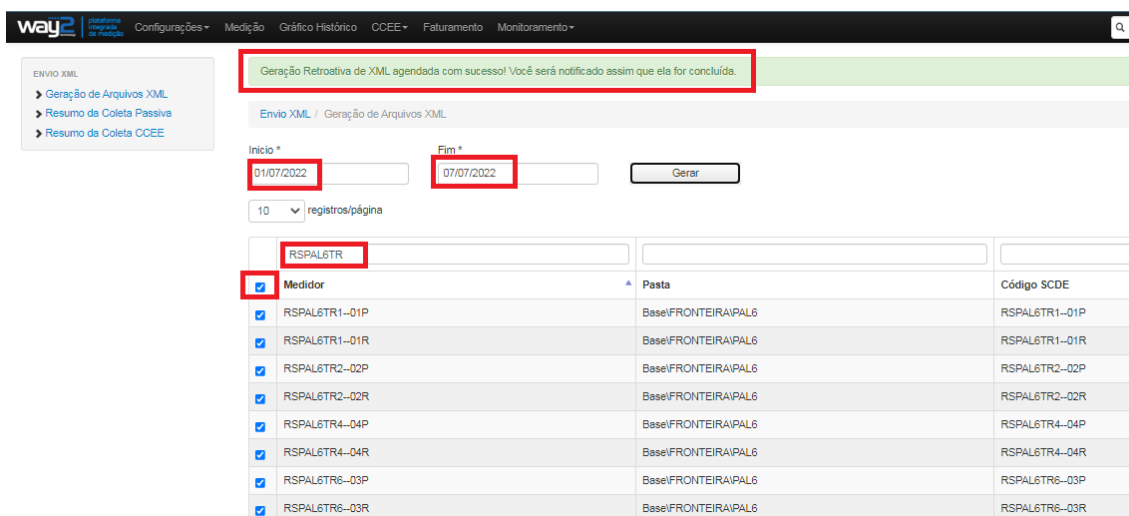
Fonte: Elaborada pelo autor a partir da Plataforma Integrada de Medição – PIM

Figura 16. Geração de arquivos XML no sistema PIM para envio a CCEE



Fonte: Elaborada pelo autor a partir da Plataforma Integrada de Medição – PIM

Figura 17. Geração retroativa de XML no sistema PIM para envio a CCEE



Fonte: Elaborada pelo autor a partir da Plataforma Integrada de Medição – PIM

### 3.5. CARACTERÍSTICAS DOS MEDIDORES CONFORME CCEE E ONS

O Sistema de Medição de Faturamento (SMF) deve ser elaborado e implementado em conformidade com as normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e quando não houver especificações, deve seguir as diretrizes da International Electrotechnical Commission (IEC).

Ele é responsável por medir e registrar uma variedade de grandezas elétricas no ponto de conexão, incluindo energia, demanda, tensão, corrente e frequência, abrangendo os diferentes fluxos de potência ativa e reativa.

Para garantir sua segurança e integridade, o SMF deve ser instalado em um painel ou cubículo exclusivo, localizado nas salas de comando das subestações ou

em abrigos apropriados próximos aos pontos de interesse. Além disso, é essencial que o sistema seja inviolável, garantindo sua integridade através de selos eletrônicos ou mecânicos.

O SMF deve ser dotado de facilidades de software e hardware que permitam operações de leitura, programação, armazenamento, carga e alterações de parâmetros, tanto localmente quanto remotamente.

Os medidores utilizados devem ser polifásicos e dimensionados de acordo com as características do sistema elétrico considerado, atendendo a todos os requisitos metrológicos pertinentes.

Eles devem permitir a medição e registro de várias grandezas elétricas, com unidades de medida programáveis, e devem possuir certificado de conformidade emitido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

Além disso, é importante que os medidores possuam um relógio/calendário interno com capacidade de sincronismo externo ao Greenwich Mean Time (GMT) – 3 horas, independentemente do fuso horário de sua localização geográfica, bem como um sistema de preservação e salvamento dos registros durante perdas de alimentação.

Os medidores devem ser equipados com interfaces de comunicação que permitam a leitura dos valores medidos e da memória de massa, além de possuírem no mínimo duas portas de comunicação independentes.

A estrutura de comunicação/medidores deve permitir o acesso simultâneo da CCEE e dos agentes envolvidos quando o sistema de medição da CCEE acessar diretamente os medidores, sem que um prejudique o acesso do outro.

### **3.6. QUALIDADE DE ENERGIA – NÍVEL DE TENSÃO**

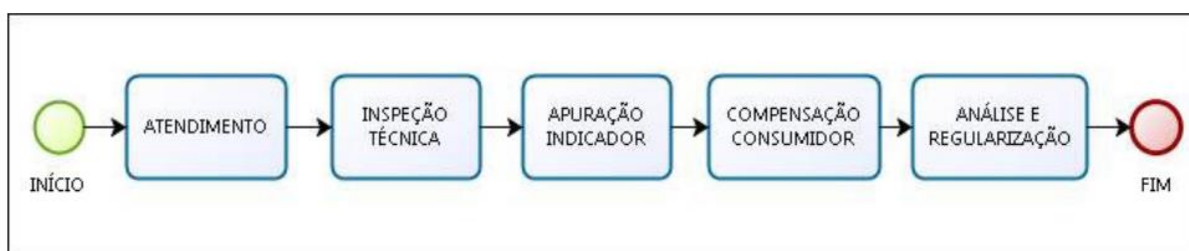
As distribuidoras de energia elétrica no Brasil são rigorosamente fiscalizadas pela ANEEL quanto à qualidade do serviço prestado, incluindo aspectos como a tensão em regime permanente. Essa tensão refere-se à estabilidade da energia fornecida aos consumidores durante o funcionamento regular do sistema elétrico. A

ANEEL estabelece padrões detalhados que as distribuidoras devem seguir, visando garantir que a tensão esteja dentro de faixas aceitáveis para evitar danos aos equipamentos dos consumidores e assegurar a eficiência do uso da energia.

Para monitorar o cumprimento desses padrões, as distribuidoras reportam à ANEEL diversos indicadores de desempenho, que incluem informações específicas sobre a qualidade da tensão fornecida.

O processo de medição de tensão envolve diversas áreas dentro de uma distribuidora de energia, dentre elas: a engenharia, atendimento, operação, medição, manutenção, planejamento, obras e faturamento.

Figura 18. Processo Medição de Tensão



Fonte: Elaborada pelo autor

A figura acima descreve as etapas necessárias para realização das atividades para tratamento das medições amostrais de tensão e das reclamações de consumidores por deficiência de tensão no fornecimento.

### **3.7. SOLICITAÇÃO DE SERVIÇO DE VERIFICAÇÃO DE TENSÃO**

#### **3.7.1. MODALIDADE EVENTUAL**

A reclamação de nível de tensão deve ser registrada através da abertura de uma Solicitação de Serviço (SS) do tipo Verificação de Tensão. A partir dessa solicitação são geradas as denominadas Ordens de Serviços (OS), que tratam de cada parte do processo de medição de tensão. A medição eventual refere-se a uma medição realizada de forma excepcional ou ocasional, geralmente em resposta a uma reclamação feita pelo consumidor (acessante) ou por determinação da ANEEL.

Essa modalidade de medição é acionada em situações específicas, tais como reclamações dos consumidores sobre valores de consumo controversos ou discrepâncias nos registros dos medidores. Além disso, a ANEEL pode determinar medições eventuais como parte de suas atividades regulatórias para garantir a transparência e a conformidade com as normas vigentes.

### **3.8. INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO DE TENSÃO**

O acessante entra em contato com a distribuidora para cadastrar a reclamação de tensão, dessa forma, é registrado o ponto de referência da instalação, o motivo da reclamação (tensão baixa ou alta) e a condição do tempo. Em seguida, é registrado o interesse do cliente em receber o aviso de instalação de equipamento de medição de tensão de 07 dias com antecedência mínima de 48 horas.

### **3.9. GESTÃO DAS RECLAMAÇÕES ASSOCIADAS À QUALIDADE DO PRODUTO**

Atendendo à solicitação do consumidor, a distribuidora realiza o monitoramento da qualidade da energia elétrica no Ponto de Acoplamento Comum (PAC) através da instalação de um analisador de qualidade de energia elétrica FLUKE 435. Esse dispositivo é utilizado para coletar informações sobre Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD) e distorções harmônicas de tensão e corrente. O objetivo é seguir o Procedimento de Gestão das Reclamações Associadas à Qualidade do Produto, conforme estabelecido no Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), a fim de investigar os impactos e causas das VTCD. Adicionalmente, é realizada uma avaliação das distorções harmônicas de tensão e corrente no mesmo ponto de monitoramento.

### **3.10. ESTUDO DE CASO**

A indústria está localizada a 35,5 km da subestação, conectada a uma linha de transmissão de 69 kV. Com uma potência nominal de 7000 kVA e uma demanda de 8300 kW, a indústria opera com uma tensão primária de 69.000 V e utiliza uma

tensão de medição de 115 V. Esses parâmetros são fundamentais para garantir o fornecimento adequado de energia elétrica às operações industriais, considerando tanto a capacidade instalada quanto os requisitos específicos de tensão exigidos para os processos produtivos.

A linha de transmissão em questão é composta por condutores de 477 MCM da subestação que atende este cliente até a próxima torre, e a partir deste ponto, segue até a indústria com condutores 4/0 CAA.

### **3.10.1. CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO PRODUTIVO DO CONSUMIDOR**

O processo produtivo da indústria é altamente complexo e automatizado, caracterizado por uma cadeia de produção interligada, onde cada etapa depende das outras. Para alcançar o nível necessário de automação, a empresa utiliza inversores de frequência controlados por CLPs (Controladores Lógicos Programáveis). Os inversores de frequência adotados são da marca DANFOSS, incluindo os modelos FC 300, FC 302 e FC 303. Esses dispositivos são integrados aos CLPs dos fabricantes SIEMENS e ROCKWELL, proporcionando controle preciso e eficiente sobre os processos industriais. Essa configuração não apenas otimiza a operação da fábrica, mas também assegura uma produção contínua e de alta qualidade, alinhada às exigências do mercado.

A fábrica possui várias linhas de produção, porém as que mais apresentam problemas de qualidade de energia elétrica são as seguintes:

- a) Linha 511 – Cerveja e Refrigerante;
- b) Linha 512 – Cerveja lata 473 ml;
- c) Linha 561 – Refrigerante;
- d) Setor Utilidades – Compressores;
- e) Setor Processos – Fabricação de cerveja.

As linhas 511, 512 e 561 não possuem filtros externos para correção de distorções harmônicas. O único tipo de correção de harmônicas existente nestas linhas é feito através do próprio filtro contido nos inversores, o qual pode ser parametrizado. A diferença entre as linhas de produção supracitadas e as outras

linhas existentes na fábrica é a correção dos harmônicos. Nas outras linhas de produção há correção externa para distorções harmônicas.

### **3.10.2. PROBLEMAS RELATADOS PELO CLIENTE**

Durante os eventos relatados pelo cliente, o principal desafio enfrentado pela empresa é o afundamento momentâneo de tensão, que tem impacto direto no processo produtivo. De acordo com o supervisor da planta elétrica, esses afundamentos causam a parada dos inversores de frequência, resultando na interrupção das linhas de produção. Após a parada da linha de produção, demanda-se elevado tempo para que os operadores da planta coloquem a linha de produção novamente em funcionamento.

Para mitigar este problema, os técnicos da fábrica realizaram ajustes na bobina de mínima tensão dos disjuntores de baixa tensão que protegem as linhas de produção. Essa solução reduziu as interrupções de energia, melhorando a estabilidade operacional da fábrica.

É importante destacar que as paradas nas linhas de produção não ocorrem necessariamente simultaneamente, ou seja, não há uma regra geral de que todas as linhas parem ao mesmo tempo durante esses eventos. Isso ressalta a complexidade do sistema produtivo da empresa, onde cada linha de produção pode ser afetada de forma independente pelos afundamentos de tensão.

Essas características da unidade fabril refletem a necessidade crítica de manter a estabilidade e a confiabilidade no fornecimento de energia elétrica, garantindo o funcionamento contínuo e eficiente das operações industriais.

Durante os eventos relatados pelo cliente as características da unidade fabril são as seguintes:

- I. Não houve acréscimo ou retirada de equipamentos da unidade fabril;
- II. Não houve alteração da forma de operação da unidade fabril;
- III. Existe uma maior ocorrência dos eventos por volta das 17h00, independente do dia da semana;

- IV. Não houve transferência de carga entre os barramentos na parte interna do cliente, até porque a SE (69 / 13,8 kV) opera com barra simples e com dois transformadores em paralelo;
- V. Pelo lado da distribuidora não houve remanejo de cargas;
- VI. Não houve desligamento programado que afetasse a fábrica;
- VII. A maioria das cargas são motores trifásicos.

### **3.10.3. ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA DA UNIDADE CONSUMIDORA**

O analisador FLUKE foi instalado nos terminais da chave de aferição na cabina de medição de faturamento do fábrica. A Figura 19 ilustra o equipamento após a instalação.

Figura 19. Instalação do Analisador de QEE



Fonte: Elaborada pelo autor

O equipamento foi parametrizado para capturar os eventos no modo DIPS & Swells ou (Sags e Swells), modo no qual o analisador registra o dia, hora, amplitude e duração das variações de tensão de curta duração.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. RESULTADOS OBTIDOS COM A GESTÃO NA PLATAFORMA INTEGRADA DE MEDIÇÃO**

O resultado apresentado é em relação a medição de fronteira da distribuidora com o sistema de medição de fronteira com a transmissora. Ao integrar a tecnologia de gestão e operação da medição para faturamento, a distribuidora conseguiu automatizar os processos críticos, que vão desde a coleta dos dados de medição até a consolidação na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Esse avanço não apenas proporcionou ganhos operacionais significativos, mas também fortaleceu a segurança regulatória, garantindo conformidade com as normativas do setor elétrico. Além disso, essa abordagem integrada proporcionou uma visão holística e integrada do desempenho do ativo, permitindo uma gestão mais eficiente e informada.

Os resultados alcançados pela distribuidora abrangem diversos aspectos importantes. Primeiramente, destacam-se a redução significativa dos pedidos de recontabilização à distribuidora devido à melhoria na consistência e precisão dos dados consolidados, além da diminuição das manutenções em campo, graças ao aprimoramento das validações de dados internas. Esse aprimoramento não apenas contribuiu para a eficiência dos processos, resultando em economia de despesas operacionais da distribuidora, mas também impulsionou a efetividade da coleta de medidores.

Além disso, o avanço no conhecimento sobre os dados medidos, especialmente com a especialização da equipe no PIM e na ampla gama de informações, insights e relatórios gerados pela plataforma, tem fortalecido a segurança e confiabilidade das decisões estratégicas.

### **4.2. PROBLEMAS DE OCORRÊNCIAS DETECTADOS ATRAVÉS DO SMF**

Os problemas detectados no sistema de medição de fronteira, se aplica a distribuidora apresentada nesse estudo de caso. Através do Sistema de Medição para Faturamento (SMF), é possível detectar uma série de problemas ou ocorrências relacionadas à medição e ao consumo de energia. Alguns exemplos

desses problemas incluem: falhas no registro de consumo devido a problemas técnicos nos medidores ou na transmissão de dados, interrupções no fornecimento de energia que podem ser registradas, variações anormais de consumo que indicam possíveis vazamentos, defeitos em equipamentos ou uso inadequado de energia, padrões de consumo incomuns, como picos repentinos de uso de energia, que podem indicar problemas ou necessidade de otimização do consumo, e inconsistências nos dados de medição, como valores discrepantes entre diferentes pontos de medição ou entre períodos de tempo, sinalizando possíveis falhas nos equipamentos de medição ou na transmissão de dados. Esses problemas destacam a importância do SMF para garantir a precisão e confiabilidade da medição de energia.

#### 4.3. RESULTADOS DA QUALIDADE DE ENERGIA - MEDIÇÕES HARMÔMICAS

Para avaliação das distorções harmônicas, foram apuradas 1008 leituras, integralizadas em 10 minutos cada, das harmônicas individuais de tensão e corrente, por fase, a fim de comparar os valores coletados com os limites normativos e/ou regulatórios. A tabela 1 mostra as medições instantâneas de harmônicas de tensão.

Tabela 1. Distorções Harmônicas de Tensão – Captura Instantânea

Indicador	L1 (%)	L2 (%)	L3 (%)	Limite (%)
DTT <sub>95%</sub>	3,60	3,34	3,29	5,00
DTT <sub>P95%</sub>	0,36	0,35	0,36	1,00
DTT <sub>I95%</sub>	2,33	2,29	2,30	4,00
DTT <sub>395%</sub>	0,62	0,60	0,62	3,00

Fonte: Elaborada pelo autor

De acordo tabela 1 pode-se perceber que as distorções harmônicas totais de tensão estão dentro dos valores admissíveis.

Em relação aos limites admissíveis de harmônicas de corrente, a norma internacional IEEE Std 519-2022. A tabela 2 da norma, transcrita pela Figura 20 a seguir, mostra os limites de harmônicas de corrente.

Figura 20. Limites de distorção harmônica de corrente para sistemas até 69 kV

**Table 2—Current distortion limits for systems rated 120 V through 69 kV**

Maximum harmonic current distortion in percent of $I_L$						
Individual harmonic order (odd harmonics) <sup>a, b</sup>						
$I_{sc}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
$> 1000$	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

<sup>a</sup>Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.  
<sup>b</sup>Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.  
<sup>c</sup>All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual  $I_{sc}/I_L$ .  
 where  
 $I_{sc}$  = maximum short-circuit current at PCC  
 $I_L$  = maximum demand load current (fundamental frequency component) at the PCC under normal load operating conditions

Fonte: IEEE - 519 (2022)

Do nosso estudo de caso, temos o seguinte:

$$I_{sc} = 2,054 \text{ kA}$$

$$I_L = \frac{S_{demanda}}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \rightarrow I_L = 69,44$$

$$\frac{I_{sc}}{I_L} = 29,57$$

Conforme relação da corrente de curto-circuito e corrente de carga máxima a fábrica se enquadra na segunda linha da tabela 2 (Figura 20) da IEEE Std 519-2022.

Para o cálculo da corrente máxima da fábrica, levou-se em consideração a demanda contratada pelo cliente que é de 8300 kW e a tensão contratada de 69 kV.

A tabela 2 abaixo mostra os valores limites e os valores medidos das harmônicas de corrente no Ponto de Acoplamento Comum (PAC).

Tabela 2. Valores medidos de distorções harmônicas de corrente no PAC.

<b>DTHIaD95%</b>	<b>DTHIbD95%</b>	<b>DTHIcD95%</b>	I2aD95%	I2bD95%	I2cD95%	<b>I3aD95%</b>	<b>I3bD95%</b>	<b>I3cD95%</b>
<b>20,93</b>	<b>31,95</b>	<b>27,46</b>	2,73	13,44	8,59	<b>5,37</b>	<b>9,83</b>	<b>6,11</b>
I4aD95%	I4bD95%	I4cD95%	<b>I5aD95%</b>	<b>I5bD95%</b>	<b>I5cD95%</b>	I6aD95%	I6bD95%	I6cD95%
1,35	6,67	4,25	<b>14,49</b>	<b>12,69</b>	<b>14,31</b>	0,92	4,43	2,83
<b>I7aD95%</b>	<b>I7bD95%</b>	<b>I7cD95%</b>	I8aD95%	I8bD95%	I8cD95%	I9aD95%	I9bD95%	I9cD95%
<b>7,95</b>	<b>10,08</b>	<b>9,83</b>	0,68	3,3	2,11	4,41	3,9	2,62
I10aD95%	I10bD95%	I10cD95%	<b>I11aD95%</b>	<b>I11bD95%</b>	<b>I11cD95%</b>	I12aD95%	I12bD95%	I12cD95%
0,66	3,17	1,96	<b>12,11</b>	<b>15,55</b>	<b>16,5</b>	0,48	2,19	1,42
<b>I13aD95%</b>	<b>I13bD95%</b>	<b>I13cD95%</b>	I14aD95%	I14bD95%	I14cD95%	I15aD95%	I15bD95%	I15cD95%
<b>8,5</b>	<b>7,74</b>	<b>7,72</b>	0,39	1,87	1,2	0,88	1,83	1,19
I16aD95%	I16bD95%	I16cD95%	I17aD95%	I17bD95%	I17cD95%	I18aD95%	I18bD95%	I18cD95%
0,34	0,48	1,06	1,54	1,64	1,74	0,3	1,46	0,93
I19aD95%	I19bD95%	I19cD95%	I20aD95%	I20bD95%	I20cD95%	I21aD95%	I21bD95%	I21cD95%
1,36	1,49	1,65	0,28	1,35	0,86	0,29	1,26	0,81
I22aD95%	I22bD95%	I22cD95%	I23aD95%	I23bD95%	I23cD95%	I24aD95%	I24bD95%	I24cD95%
0,25	1,2	0,77	0,57	1,26	0,85	0,23	1,1	0,71
I25aD95%	I25bD95%	I25cD95%	I26aD95%	I26bD95%	I26cD95%	I27aD95%	I27bD95%	I27cD95%
0,86	1,22	0,85	0	0	0	0	0	0
I28aD95%	I28bD95%	I28cD95%	I29aD95%	I29bD95%	I29cD95%	I30aD95%	I30bD95%	I30cD95%
0	0	0	0	0	0	0	0	0
I31aD95%	I31bD95%	I31cD95%	I32aD95%	I32bD95%	I32cD95%	I33aD95%	I33bD95%	I33cD95%
0	0	0	0	0	0	0	0	0
I34aD95%	I34bD95%	I34cD95%	I35aD95%	I35bD95%	I35cD95%	I36aD95%	I36bD95%	I36cD95%
0	0	0	0	0	0	0	0	0
I37aD95%	I37bD95%	I37cD95%	I38aD95%	I38bD95%	I38cD95%	I39aD95%	I39bD95%	I39cD95%
0	0	0	0	0	0	0	0	0
I40aD95%	I40bD95%	I40cD95%	I41aD95%	I41bD95%	I41cD95%	I42aD95%	I42bD95%	I42cD95%
0	0	0	0	0	0	0	0	0
I43aD95%	I43bD95%	I43cD95%	I44aD95%	I44bD95%	I44cD95%	I45aD95%	I45bD95%	I45cD95%
0	0	0	0	0	0	0	0	0
I46aD95%	I46bD95%	I46cD95%	I47aD95%	I47bD95%	I47cD95%	I48aD95%	I48bD95%	I48cD95%
0	0	0	0	0	0	0	0	0
I49aD95%	I49bD95%	I49cD95%	I50aD95%	I50bD95%	I50cD95%			

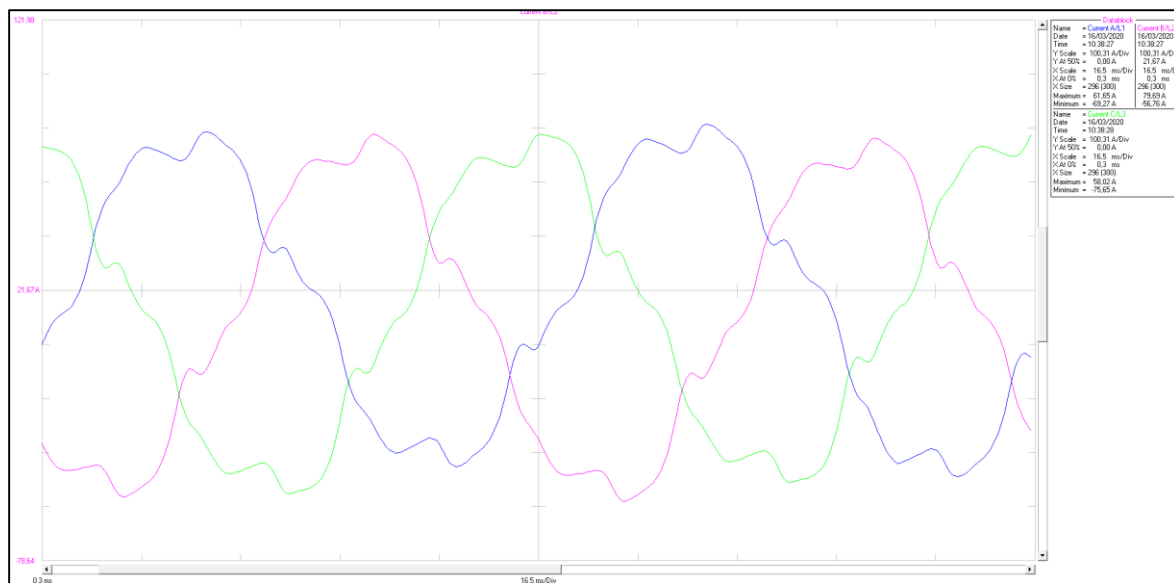


Fonte: Elaborada pelo autor

Conforme análise da tabela 2 pode-se notar que há violação dos limites de distorção de corrente harmônica para 3ª, 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordens (ressaltadas em **vermelho**), além da distorção total de corrente também apresentar valor superior ao limite estabelecido pela IEEE Std 519-2022.

A figura 21 ilustra a forma de onda da corrente instantânea no dia 16/03/2020 às 10:38:27 horas.

Figura 21. Forma de onda da corrente da indústria



Fonte: Elaborada pelo autor

## **5. DISCUSSÃO**

### **5.1. VANTAGENS DO SISTEMA DE MEDIÇÃO PARA FATURAMENTO**

Os medidores de alta precisão podem compor o Sistema de Medição para Faturamento (SMF) apresenta uma série de benefícios que impactam tanto os consumidores quanto as concessionárias de energia. Conforme o Submódulo 2.14 - Requisitos mínimos para o Sistema de Medição para Faturamento do ONS, os medidores devem atender a todos os requisitos metrológicos pertinentes ao índice de classe D (0,2). Em primeiro lugar, a precisão e transparência proporcionadas pelo SMF garantem que as medições de consumo de energia sejam precisas e facilmente compreendidas pelos clientes. Essa transparência não apenas ajuda a evitar surpresas desagradáveis nas faturas, mas também facilita o controle de gastos, permitindo que os consumidores gerenciem melhor seu consumo energético.

Além disso, a capacidade do SMF de detectar anomalias nos padrões de consumo é importante para a segurança e equilíbrio no sistema elétrico do consumidor. Os medidores inteligentes são capazes de identificar padrões incomuns que podem indicar desde problemas nas instalações elétricas até mesmo fraudes. A detecção precoce dessas anomalias permite que as concessionárias ajam rapidamente, garantindo a integridade do sistema e protegendo os interesses de todos os envolvidos.

Os medidores garantem a medição precisa no faturamento, com capacidade bidirecional em quatro quadrantes. Mesmo em condições adversas, como a presença de harmônicos e formas de onda distorcidas, esses medidores são capazes de filtrar interferências e fornecer leituras precisas, assegurando que os consumidores sejam faturados corretamente, independentemente das condições do sistema elétrico.

Além disso, a automatização da leitura de dados com base no tempo de uso possibilita capturar o consumo de energia e demanda de acordo com as tarifas configuradas, resultando em uma gestão mais eficiente e personalizada dos custos de energia elétrica. Esse sistema, gerenciado por um calendário personalizado,

define os períodos e ações específicas para o medidor executar, como autoleitura ou *reset* da demanda, em momentos predeterminados.

Outro ponto, é a capacidade desses medidores de realizar a medição e relato de indicadores de qualidade de energia de forma confiável, em conformidade com normas reconhecidas, como a IEC 61000-4-30 Classe A. Isso permite que o consumidor dimensione alimentadores adequadamente, proteja equipamentos e planeje upgrades utilizando indicadores da qualidade de energia para manutenção preditiva.

Por fim, a eficiência operacional proporcionada pelo SMF é inestimável para as concessionárias. Ao reduzir significativamente o tempo gasto em leituras manuais e processamento de faturas, o SMF libera recursos valiosos que podem ser direcionados para melhorar a qualidade do serviço prestado aos clientes. Essa eficiência operacional não apenas beneficia as concessionárias, mas também resulta em um serviço mais ágil, confiável e responsivo para os consumidores, promovendo assim um ambiente mais eficiente e equitativo no setor de energia elétrica.

## **5.2. DESVANTAGENS DO SISTEMA DE MEDIÇÃO PARA FATURAMENTO**

Embora o Sistema de Medição para Faturamento (SMF) ofereça uma série de benefícios significativos, também há desvantagens a serem consideradas para as concessionárias de energia. A implementação de um SMF geralmente requer um investimento inicial considerável em infraestrutura, equipamentos e tecnologia. Isso pode representar um ônus financeiro significativo para as concessionárias.

**Necessidade de atualizações e manutenção contínuas:** Os sistemas de medição para faturamento estão sujeitos a evoluções tecnológicas e regulatórias. Isso significa que as concessionárias podem precisar realizar atualizações regulares nos equipamentos e software para garantir que estejam em conformidade com os padrões mais recentes e ofereçam os recursos necessários.

**Possíveis resistências por parte dos clientes:** Alguns clientes podem ser relutantes em adotar novos sistemas de medição, especialmente se isso significar uma mudança na forma como são cobrados ou se tiverem preocupações sobre

privacidade e segurança dos dados. Isso pode resultar em resistência por parte dos consumidores.

**Desafios de integração com sistemas existentes:** Integrar um novo sistema de medição para faturamento com os sistemas existentes da concessionária pode ser complexo e demorado. Problemas de compatibilidade e interoperabilidade podem surgir, exigindo recursos adicionais para resolver e implementar soluções adequadas.

Embora essas desvantagens possam representar desafios para as concessionárias de energia, muitas vezes os benefícios a longo prazo do SMF superam esses obstáculos, resultando em uma operação mais eficiente e eficaz no geral.

### **5.3. CONCLUSÕES SOBRE A ANÁLISE DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA**

Os limites de distorções harmônicas de tensão estão dentro dos limites regulatórios, conforme pode ser observado pelos dados apurados na tabela 1. Embora a regulação nacional, baseada nos Procedimentos da Distribuição (PRODIST) no seu Módulo 8, estipule limites técnicos apenas para as distorções harmônicas de tensão, devemos, para uma análise mais detalhada, verificar também as distorções harmônicas de corrente, ainda mais se tratando de um cliente com cargas especiais assim como a indústria analisada. Em análise aos valores apurados durante a medição em regime permanente e amparando-se em normativas internacionais, constatou-se que há violação dos limites de distorções harmônicas de corrente, sendo necessária uma avaliação interna das instalações do cliente.

Embora a reclamação do cliente esteja amparada nas variações de tensão de curta duração, não devemos desprezar o efeito que as correntes harmônicas impõem aos circuitos de 13,8 kV do cliente. Devemos lembrar que a impedância do ramal alimentador em 13,8 kV do cliente em 60 Hz leva em consideração apenas a frequência fundamental (contratada pelo cliente) ao passo que o mesmo circuito apresenta diferentes impedâncias em diferentes frequências e, conseqüentemente, irá apresentar diferentes tensões harmônicas com base nas correntes harmônicas que fluem pelo circuito ( $V_h = I_h \times Z_h$ ). Portanto, a queda de tensão nas cargas do

cliente pode ser acentuada pelas correntes harmônicas que fluem pelo ramal alimentador (13,8 kV neste caso). Com base nisso, afundamentos de tensão podem também ser acentuados em função das distorções harmônicas de corrente.

Conforme exposto no último relatório, a concessionária, amparada na regulação vigente, vem cumprindo os indicadores de qualidade do produto medidos no PAC do cliente e sempre tomamos as ações cabíveis na tentativa de redução das variações de tensão de curta duração, efetuando a manutenção de linhas e redes de distribuição, porém falhas são inerentes ao sistema, principalmente, àqueles constituídos por sistema aéreo de transmissão e distribuição de energia.

Para esta análise, recomendou-se a necessidade de verificação de plantas de produção fabril semelhantes às instalações da empresa, de modo a avaliar quais foram as ações tomadas para mitigação das distorções harmônicas, além da necessidade de uma avaliação interna das instalações do cliente, com vistas a mitigar os efeitos das correntes harmônicas. Paralelo a isso, é fundamental uma consulta técnica a empresas especializadas, para avaliação de uma possível solução na SE do cliente, acerca da instalação de recurso para aumento da potência de curto-circuito, tal como compensador estático de reativos (SVC) para estabilização de tensão e correção de fator de potência e eliminar harmônicos. As principais vantagens deste tipo de compensador são a ausência de transientes, baixa distorção harmônica e a flexibilidade de controle e operação. Já suas maiores desvantagens são o alto custo e um controle complexo ou dispositivos Flexible AC Transmission Systems (FACT) para a qualidade de energia elétrica, com vistas a mitigar os efeitos das variações de tensão de curta duração. Os FACTs ajudam no controle do fluxo de potência com o objetivo de uma melhor qualidade de energia elétrica.

## 6. CONCLUSÃO

O gerenciamento da qualidade de energia de um sistema elétrico consiste no monitoramento e na avaliação constante da qualidade do produto oferecido pelas distribuidoras, o que ressalta a relevância da qualidade de energia obtida através de medidores de alta precisão. Os medidores de alta precisão têm como objetivo quantificar os distúrbios de tensão inerentes ao sistema elétricos, servem como instrumento balizador para tomada de decisões dos consumidores ou concessionárias de energia.

O módulo 8 do PRODIST detalha os distúrbios que afetam a qualidade da energia elétrica (QEE), incluindo metodologia de medição, período de análise e cálculo dos indicadores correspondentes, além de estabelecer limites e valores de referência para cada tipo de distúrbio. A manutenção dos indicadores dentro dos limites estabelecidos pelo PRODIST é essencial. Por isso, há um interesse significativo das distribuidoras de energia, dos clientes e da ANEEL na implementação de sistemas automáticos para gerenciar esses indicadores.

Esses sistemas possibilitam que as distribuidoras conduzam suas atividades de planejamento, operação e manutenção de forma mais estratégica, o que contribui para a melhoria de sua reputação, a redução de penalidades e o aumento da eficiência operacional. Por outro lado, os clientes, especialmente aqueles com cargas especiais e sensíveis, também se beneficiam, pois, o número de interrupções na produção e as falhas nos processos podem ser reduzidos, dependendo das medidas proativas adotadas pelas concessionárias com base nas informações fornecidas pelo sistema de gerenciamento da qualidade da energia elétrica (QEE).

Diante desse contexto, este trabalho de monografia destacou a importância de conhecer melhor a rede elétrica para realizar uma gestão eficaz. É fundamental compreender que não podemos gerenciar adequadamente aquilo que não conhecemos completamente. Enquanto um medidor de energia comum oferece poucos dados, um medidor mais preciso e exato proporciona benefícios significativos. Ele não apenas facilita a gestão de contratos de fornecimento de

energia complexos, mas também fornece dados essenciais para diversos sistemas de utilidades, permitindo uma gestão mais inteligente e estratégica.

O estudo de caso da indústria atingiu com sucesso seu objetivo de identificar os distúrbios de energia que resultaram na reclamação, relacionando-os ao nível de tensão estabelecido pela ANEEL como critério para a qualidade do serviço de energia fornecido aos consumidores durante a operação regular do sistema. No caso dos limites de distorções harmônicas de tensão, foi observado que o cliente estava dentro dos limites regulatórios estabelecidos. No entanto, houve violação dos limites de distorções harmônicas de corrente. Isso destaca a necessidade de uma avaliação detalhada do sistema elétrico da indústria, permitindo que ela compreenda melhor sua rede elétrica interna. Isso não só proporciona o conhecimento necessário para identificar tais problemas, mas também capacita a indústria a adotar ações que promovam eficiência energética e conformidade com os padrões regulatórios.

Por fim, conclui-se que um correto gerenciamento da qualidade de energia, utilizando medidores QEE, oferece a oportunidade de otimização dos processos produtivos para consumidores com cargas sensíveis, como a indústria mencionada. Isso promove a conformidade e transparência nas relações entre consumidores, concessionárias de energia e órgãos reguladores, garantindo um fornecimento elétrico mais confiável e eficiente para todos os envolvidos.

## REFERÊNCIAS

ANEEL, 2017. “**Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST - Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**”.

Disponível em:

([https://antigo.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo8\\_Revisao8/9c78cfab-a7d7-4066-b6ba-cfbda3058d19](https://antigo.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo8_Revisao8/9c78cfab-a7d7-4066-b6ba-cfbda3058d19)). Acessado em: 15/01/2024.

ABB, 2021. “ **Flutuação de tensão – Como saber a tensão correta?** ”. Disponível

em: (<https://loja.br.abb.com/blog/post/flutuac-o-de-tens-o-como-saber-a-tens-o-correta#:~:text=A%20flutua%C3%A7%C3%A3o%20de%20tens%C3%A3o%2C%20tamb%C3%A9m,em%20sistemas%20de%20luminosidade%20incandescente>).

Acessado em: 15/05/2024.

Cristina, T. **Qualidade da energia elétrica**. Distribuidora Educacional S.A, 2015.

CTM, 2017. “**MEDIDORES DE ENERGIA**”. Disponível em:

(<https://www.calibracao.com.br/medidoresenergia#:~:text=O%20CTM%20tem%20capacidade%20de,seja%20pelo%20menos%203x%20melhor>). Acessado em: 20/03/2024.

Elétrica para Concursos, 2016. “**Distúrbios da Energia Elétrica**”. Disponível em:

(<https://eletricaparaconcursos.wordpress.com/2016/03/02/disturbios-da-energia-eletrica/>). Acessado em: 10/03/2024.

Energes, 2023. “ **O que é um Sistema de Medição para Faturamento?** ”.

Disponível em: ([https://www.ccee.org.br/documents/80415/919498/2.1%20-%20Coleta%20e%20ajuste%20de%20dados%20de%20medi%C3%A7%C3%A3o\\_v3.0.pdf/6d88e3d5-45a7-b237-e631-0d78e7e6bc34](https://www.ccee.org.br/documents/80415/919498/2.1%20-%20Coleta%20e%20ajuste%20de%20dados%20de%20medi%C3%A7%C3%A3o_v3.0.pdf/6d88e3d5-45a7-b237-e631-0d78e7e6bc34)). Acessado em: 05/06/2024.

Fracari, F. **Smart Grid: uma nova forma de controle de Energia Elétrica**. Instituto Federal Farroupilha, 2015.

Gonçalves, T. **Estudo do Protocolo IEC 61850 e seu Uso em Redes de Comunicação de Subestações de Energia**. Universidade Estadual Paulista, 2008.

Iberdrola, 2020. “**O que são as 'Smart grids' ou redes elétricas inteligentes?** ”. Disponível em: (<https://blog.4partner.com.br/distorcao-harmonica-seus-riscos-como-evita/>). Acessado em: 25/05/2024.

IEC 61000-4-30, 2020. “**Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-3 : Testing and measurement techniques - Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test**” Disponível em: (<https://webstore.iec.ch/searchform&q=IEC%2061000-4>). Acessado em: 30/03/2024.

IEC 62053-22, 2020. “**Electricity metering equipment - Particular requirements - Part 22: Static meters for AC active energy (classes 0,1S, 0,2S and 0,5S)**” Disponível em: (<https://webstore.iec.ch/publication/29987>). Acessado em: 30/03/2024.

IEC 62053-23, 2020. “**Electricity metering equipment - Particular requirements - Part 23: Static meters for reactive energy (classes 2 and 3)**” Disponível em: (<https://webstore.iec.ch/publication/29239>). Acessado em: 30/03/2024.

IEEE 519, 2022. “**IEEE Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems**” Disponível em: (<https://standards.ieee.org/ieee/519/10677/>). Acessado em: 30/03/2024.

Keepfy, 2024. “**Fator de Potência: o que é e como calcular**”. Disponível em: (<https://keepfy.com/blog/fator-de-potencia/#:~:text=Um%20alto%20fator%20de%20pot%C3%Aancia%20traz%20in%C3%BAmeros%20benef%C3%ADcios%2C%20como%20economia,problemas%20de%20opera%C3%A7%C3%A3o%20e%20manuten%C3%A7%C3%A3o>). Acessado em: 15/05/2024.

Metrum, 2022. “**O que é qualidade de energia elétrica (QEE)?** ”. Disponível em: (<https://memt.com.br/o-que-e-qualidade-de-energia-eletrica-qee/>). Acessado em: 20/01/2024.

Mehl, E. **Qualidade da Energia Elétrica**. Universidade Federal do Paraná, 2020.

Moura, T. **Análise Comparativa entre Medidores de Qualidade da Energia Elétrica, com foco na tensão e na potência**. Universidade Federal de Itajubá, 2014.

Oleskoviez, M. **Qualidade de Energia Elétrica**. Universidade de São Paulo, 2007.

O Setor Elétrico, 2012. “**Afundamento de tensão (ou SAG) – Parte I**”. Disponível em: (<https://www.osetoreletrico.com.br/afundamento-de-tensao-ou-sag-parte-i/>). Acessado em: 13/05/2024.

O Setor Elétrico, 2013. “**Variações de tensão de curta duração - Parte I**”. Disponível em: ([https://www.osestoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/09/ed-88\\_Fasciculo\\_Cap-V-Qualidade-de-energia.pdf](https://www.osestoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/09/ed-88_Fasciculo_Cap-V-Qualidade-de-energia.pdf)). Acessado em: 15/05/2024.

Paulilo, G. “**Conceitos gerais sobre qualidade da energia**”. Disponível em: ([https://www.osestoreletrico.com.br/wpcontent/uploads/2013/02/Ed84\\_fasc\\_qualidade\\_energia\\_cap1.pdf](https://www.osestoreletrico.com.br/wpcontent/uploads/2013/02/Ed84_fasc_qualidade_energia_cap1.pdf)). Acessado em: 30/03/2024.

Procedimentos de Comercialização, 2023. “**Submódulo 2.1 - Coleta e ajuste de medição**”. Disponível em:

([https://www.ccee.org.br/documents/80415/919498/2.1%20-%20Coleta%20e%20ajuste%20de%20dados%20de%20medi%C3%A7%C3%A3o\\_v3.0.pdf/6d88e3d5-45a7-b237-e631-0d78e7e6bc34](https://www.ccee.org.br/documents/80415/919498/2.1%20-%20Coleta%20e%20ajuste%20de%20dados%20de%20medi%C3%A7%C3%A3o_v3.0.pdf/6d88e3d5-45a7-b237-e631-0d78e7e6bc34)). Acessado em: 05/06/2024.

Procedimentos de Comercialização, 2023. “**Submódulo 6.1 – Penalidades de medição e multas**”. Disponível em:

([https://www.ccee.org.br/documents/80415/919498/2.1%20-%20Coleta%20e%20ajuste%20de%20dados%20de%20medi%C3%A7%C3%A3o\\_v3.0.pdf/6d88e3d5-45a7-b237-e631-0d78e7e6bc34](https://www.ccee.org.br/documents/80415/919498/2.1%20-%20Coleta%20e%20ajuste%20de%20dados%20de%20medi%C3%A7%C3%A3o_v3.0.pdf/6d88e3d5-45a7-b237-e631-0d78e7e6bc34)). Acessado em: 05/06/2024.

SEL, 2018. “**Obtenha Medições Precisas em Condições Não Senoidais de Sistemas de Energia Modernos**”. Disponível em (<https://selinc.com/api/download/123140/?lang=pt#:~:text=e%20%2C5.-,A%20ANSI%20C12.,condi%C3%A7%C3%B5es%20do%20sistema%20de%20energia>). Acessado em: 18/02/2024.

Sidrasul, 2016. **“Como surtos e transientes podem afetar seus negócios”**  
Disponível em: (<https://www.ecsintl.com/wp-content/uploads/2017/10/NEWS-DEZ-SIDRASUL.pdf>). Acessado em: 09/04/2024.

Way, 2015. **“Riscos de medição e o impacto na operação comercial de parques eólicos”**. Disponível em: (<https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2017/02/BWP-2015-Paper-Thales-Fonseca.pdf>). Acessado em: 01/06/2024.

4partner, 2019. **“A Distorção Harmônica”**. Disponível em: (<https://blog.4partner.com.br/distorcao-harmonica-seus-riscos-como-evita/>).  
Acessado em: 15/03/2024.