

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA - FEELT

LUCAS ROCHA LOBO LANNES

Análise dos Indicadores Associados à Qualidade da Energia Elétrica Durante a Fabricação por
Manufatura Aditiva por Deposição a Arco Elétrico.

Uberlândia-MG

2022

LUCAS ROCHA LOBO LANNES

Análise dos Indicadores Associados à Qualidade da Energia Elétrica Durante a Fabricação por
Manufatura Aditiva por Deposição a Arco Elétrico.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT-
UFU) da Universidade Federal de Uberlândia
como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em

Área de concentração: Engenharia Elétrica

Orientador: Paulo Henrique Oliveira Resende

Coorientador: Louriel Oliveira Vilarinho

Uberlândia-MG

2022

LUCAS ROCHA LOBO LANNES

Análise dos Indicadores Associados à Qualidade da Energia Elétrica Durante a Fabricação por
Manufatura Aditiva por Deposição a Arco Elétrico.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT-
UFU) da Universidade Federal de Uberlândia
como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel, em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Engenharia Elétrica

Uberlândia, 25/02/2022

Banca Examinadora:

Paulo Henrique Oliveira Resende – Doutor (FEELT)

Louriel Oliveira Vilarinho – Doutor (FEMEC)

Lucas Alves do Nascimento – Doutor (FAU)



ATA DE DEFESA - GRADUAÇÃO

Curso de Graduação em:	144981 - Graduação em Engenharia Elétrica: Bacharelado - Integral		
Defesa de:	FEEL031901 - Trabalho de Conclusão de Curso em Sistemas de Energia		
Data:	25/02/2022	Hora de início:	9h
Matrícula do Discente:	11711EEL019	Hora de encerramento:	10h20
Nome do Discente:	Lucas Rocha Lobo Lamas		
Título do Trabalho:	Análise dos Indicadores Associados à Qualidade da Energia Elétrica Durante a Fabricação por Manufatura Aditiva por Deposição a Arco Elétrico		
A carga horária curricular foi cumprida integralmente?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	

Reuniu-se remotamente, em sala virtual de Plataforma digital de comunicação, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, assim composta: Professores: Lucas Alves do Nascimento (FAU/UFU); Louriel Oliveira Viarinho (FEMEC/UFU); e Paulo Henrique Oliveira Rezende (FEEL/UFU), orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos, o(a) presidente da mesa, Dr(a). Paulo Henrique Oliveira Rezende apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao discente a palavra, para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do curso.

A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(as) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a) sem nota.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.

Documento assinado eletronicamente por Paulo Henrique Oliveira Rezende, Professor(a) do Magistério Superior, em 25/02/2022, às 10:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por Louriel Oliveira Viarinho, Professor(a) do Magistério Superior, em 25/02/2022, às 10:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por Lucas Alves do Nascimento, Usuário Externo, em 25/02/2022, às 10:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Assinatura A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_confirmdig_o_foo_acesso_externo=0 informando o código verificador 3378075 e o código CRC D4295801.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ser minha base durante os momentos difíceis, aos meus familiares por todo apoio. À minha mãe (Alean), meu pai (Izaías), meus irmãos (Nicole, Leonardo), meu sobrinho (Miguel), meu tio (Ailton), meus sogro e sogra (Sousa e Vitalina) e em especial à minha namorada (Karina) pelo incentivo e motivação nesta caminhada acadêmica.

Agradeço aos Professores Paulo Henrique, Louriel Vilarinho, Ivan Nunes, Leandro e José Rubens pelo auxílio na elaboração deste trabalho, aos Engenheiros Diandro Bailoni, Lucas Nascimento, Edmundo Benedetti e Henrique Nadonni por me apresentarem ao Laprosolda e por me proporcionarem uma nova perspectiva da pesquisa acadêmica, da visão de indústria e da importância da pesquisa brasileira para a comunidade científica mundial. À Barbara e Vinicius do NQEE-UFU, pelo auxílio nas medições e por se colocarem à disposição para auxílio na execução deste trabalho.

Aos colegas de turma da Graduação pelas incontáveis horas de estudo e de auxílio mútuo para a construção de conhecimento conjunta.

Agradeço também à Petrobrás e Belgo Bekaert, pela oportunidade e auxílio na execução deste trabalho e pelas bolsas concedidas durante a graduação.

RESUMO

Este trabalho visa estudar de forma crítica os eventos ocorridos durante o processo por deposição, utilizando para isso o medidor FLUKE-435 séries II, POWER QUALITY AND ENERGY ANALYZER, a fim de se verificar a presença de distúrbios presentes na rede elétrica. Em segundo momento foi realizada a visualização e tratamento dos dados com a utilização de software (Excel) e comparação dos valores obtidos com valores apresentados por normas que regulamentam a qualidade da energia elétrica, visando melhorar a compreensão dos possíveis efeitos da operação em grandes períodos de tempo e alta produção de peças obtidas a partir da manufatura aditiva por arco elétrico (impresão 3D para metais). Além do mais foi apresentado duas propostas de adequação de dados medidos em discordância com o estabelecido no PRODIST e verificação da eficácia dos mesmos. Deste modo, os resultados obtidos nos demonstram que o processo de deposição apresentou valores dentro dos estabelecidos por norma, apesar de que a presença de tensão harmônica entre o neutro e o terra apresentou valores muito aquém do permitido. Com relação às metodologias verificou-se uma grande janela de oportunidade, mediante maiores estudos para confirmação.

Palavras-chave: Qualidade de Energia Elétrica; Manufatura Aditiva por Deposição a Arco Elétrico; Harmônicos; Indústria 4.0.

ABSTRACT

This work aims to critically study the events occurred during process, using the FLUKE-435 series II meter, POWER QUALITY AND ENERGY ANALYZER, to verify the presence of disturbances present in the electrical network. Secondly, the visualization and treatment of data was performed using software (Excel) and comparison of the values obtained with values presented by standards regulate the power quality. Aiming to improve the understanding of the possible effects of the operation over long periods of time and high production of parts obtained from additive manufacturing by electric arc (3D printing for metals). In addition to presenting two proposals for the adequacy of measured data in disagreement with the provisions of PRODIST and verification of their effectiveness. Thus, the results obtained show us that the deposition process presented results within those established by the norm, although the presence of harmonic voltage between neutral and ground presented values far below the permitted values. Regarding the methodologies, there was a large window of opportunity, through further studies for confirmation.

Keywords: .Power Quality ; Wire Arc Aditive Manufacturing; Harmonics; Industry 4.0.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Os passos básicos para a resolução de Problemas voltados à Qualidade da Energia Elétrica.....	03
Figura 2 – Propulsor marítimo fabricado por MADA.....	06
Figura 3 - Módulos do PRODIST.....	08
Figura 4 - Faixas de Tensão em Relação à de Referência.....	09
Figura 5 - Classificação dos modos de transferência metálica conforme a ordem hierárquica (classes, grupos e modos).....	20
Figura 6 - Diagrama esquemático de uma onda de corrente pulsada e transferência de metal.....	21
Figura 7 - Equipamentos utilizados no processo MIGMAG e ilustrações (arco, transferência metálica, poça de fusão, bico de contato, distância do bico de contato- peça (DBCP).....	22
Figura 8 - Princípio de funcionamento de uma fonte transistorizada chaveada.....	23
Figura 9 - Medidor com Destaque para Conexões.....	25
Figura 10 - Conexão com o sistema de distribuição trifásico.....	25
Figura 11 - Tela inicial do Power Log.....	25
Figura 12 - Carretel de Arame (a); Substrato (b).....	27
Figura 13 - Fonte de Soldagem Transplus Sinergic 5000.....	28
Figura 14 - Célula Motoman HP 20.....	28
Figura 15 - Quadro de distribuição com medições.....	29
Figura 16 - Visão Geral do Processo com Medidores.....	30
Figura 17 - Resumo da Medição Realizada.....	31
Figura 18 - Gráficos de Tensão RMS em pu.....	31
Figura 19 - Gráficos de Tensão Fundamental em pu.....	34
Figura 20 – Histogramas para comparação entre metodologias Fase A (RMS).....	35
Figura 21 - Histogramas para comparação entre metodologias Fase A (Fund.).....	36
Figura 22 - Histogramas para comparação entre metodologias Fase B (Fund. e RMS).....	36
Figura 23 - Histogramas para comparação entre metodologias Fase C (Fund. e RMS).....	38
Figura 24 - Gráficos do Fator de Potência por Fase e Total.....	39
Figura 25- Gráficos do DPF por Fase e Total.....	40
Figura 26- Histogramas para comparação entre metodologias (FP e DPF).....	41
Figura 27- Gráfico da Frequência durante o Processo.....	42

Figura 28- Histogramas para comparação entre metodologias (Frequência).....	44
Figura 29- Ordens Harmônicas Impares e Pares por Fase.....	44
Figura 30- Harmônicos de Tensão NG.....	47
Figura 31- Distribuições dos Valores medidos Por Fase e Metodologia.....	47
Figura 32- Gráficos da Porcentagem de Valores Acima do Indicador para a Fase A.....	53
Figura 33- Gráficos da Porcentagem de Valores Acima do Indicador para a Fase B.....	53
Figura 34- Gráficos da Porcentagem de Valores Acima do Indicador para a Fase C.....	54
Figura 35- Gráficos da Porcentagem de Valores Acima do Indicador para o Neutro.....	54
Figura 36- Distribuições dos Valores medidos Por Fase e Metodologia (TDH corrente).....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Terminologia para cálculo das distorções Harmônicas.....	10
Tabela 2- Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental).....	12
Tabela 3- Terminologia para cálculo dos Desequilíbrios.....	12
Tabela 4- Limites para os desequilíbrios de tensão.....	13
Tabela 5- Terminologia para cálculo das flutuações de tensão.....	13
Tabela 6- Limites para flutuação de tensão.....	14
Tabela 7- Classificação das VTCDS.....	15
Tabela 8- Terminologia para Cálculos de VTCD.....	15
Tabela 9- Estratificação dos Parâmetros amplitude e duração para contabilização de eventos de VTCD.....	17
Tabela 10- Estratificação das VTCD's com base nos níveis de sensibilidade das cargas.....	17
Tabela 11- Fator de Ponderação e Fator de Impacto Base de acordo com a tensão nominal.....	18
Tabela 12- Limites para distorções de tensão.....	19
Tabela 13- Limites de distorção de corrente para sistemas entre 120V e 69kV.....	19
Tabela 14- Características de fontes convencionais e eletrônicas.....	22
Tabela 15- Porcentagem de Maior Frequência de Observação dentre as Metodologias.....	37
Tabela 16- Verificação dos Indicadores Fase A (RMS).....	37
Tabela 17- Verificação dos Indicadores Fase A (Fund.).....	37
Tabela 18- Porcentagem de Maior Frequência de Observação dentre as Metodologias.....	39
Tabela 19- Porcentagem de Maior Frequência de Observação dentre as Metodologias (FP e DPF).....	42
Tabela 20- Correlação entre fasses e total do FP medido.....	43
Tabela 21- Correlação entre fases e total do DFP medido.....	43
Tabela 22- Porcentagem de Maior Frequência de Observação dentre as Metodologias (Frequência).....	45
Tabela 23- Valores de Frequência.....	45
Tabela 24 - Maior Porcentagem do Valor Mandatório dentre as Metodologias para a Fase A...	48
Tabela 25- Maior Porcentagem do Valor Mandatório dentre as Metodologias para a Fase B...	48
Tabela 26- Maior Porcentagem do Valor Mandatório dentre as Metodologias para a Fase C...	48
Tabela 27- Maior Porcentagem do Valor Mandatório dentre as Metodologias para NG.....	48
Tabela 28- Maior Porcentagem do Valor Mandatório dentre as Metodologias para DHT.....	49
Tabela 29- Valor dos Indicadores para as Diferentes Metodologias.....	49

Tabela 30- Maior Porcentagem do Valor Mandatário Pst e Plt- Fase A.....	50
Tabela 31- Maior Porcentagem do Valor Mandatário Pst e Plt- Fase B.....	50
Tabela 32- Maior Porcentagem do Valor Mandatário Pst e Plt- Fase C.....	51
Tabela 33- Valor dos Indicadores de Flutuação para Diferentes Metodologias.....	51
Tabela 34- Valores de Isc/IL.....	52
Tabela 35- Maior Porcentagem Dentre as Metodologias.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Hz	Unidade de medida para frequência (Hertz)
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
THD	Total Harmonic Distortion
TDD	Total Demand Distortion
i	Corrente Elétrica
v	Tensão
RMS	Root Mean Square
FFT	Fast Fourier Transform
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica
MADA	Manufatura Aditiva por Deposição a Arco
MIGMAG	Metal Inert Gas/Metal Active Gas
GMAW	Gas Metal Arc Welding
PAC	Ponto de Acoplamento do Consumidor

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	CONCEITOS E DEFINIÇÕES REFERENTES A QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA E PROCESSOS DE SOLDAGEM.....	3
2.1.	QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA.....	7
i.	SEÇÃO 8.1 DO PRODIST – QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA.....	8
a)	TENSÃO EM REGIME PERMANENTE.....	8
b)	FATOR DE POTÊNCIA.....	10
c)	DISTORÇÕES HARMÔNICAS.....	11
d)	DESEQUILÍBRIOS DE TENSÃO.....	12
e)	FLUTUAÇÕES DE TENSÃO.....	14
f)	VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA.....	15
g)	VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO.....	15
ii.	IEEE Std. 519.....	19
a)	Recomendações para limites de tensões harmônicas.....	19
2.2.	MODO DE TRANSFERÊNCIA PULSADO NO PROCESSO MIGMAG.....	20
2.3.	FONTES DE SOLDAGEM.....	22
3.	METODOLOGIA.....	25
3.1.	MEDIDOR FLUKE 435 E POWER LOG.....	25
i.	FLUKE 435 SERIES II.....	25
ii.	POWER LOG.....	27
3.2.	PROCESSO E MEDIÇÃO.....	28
i.	ANÁLISE DOS DADOS.....	35
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
i.	TENSÃO EM REGIME PERMANENTE.....	35
ii.	FATOR DE POTÊNCIA E DPF.....	41
iii.	FREQUÊNCIA.....	45
iv.	HARMÔNICOS DE TENSÃO.....	46
v.	FLUTUAÇÕES DE TENSÃO.....	51
vi.	HARMÔNICOS DE CORRENTE.....	53
5.	CONCLUSÕES.....	58
6.	TRABALHOS FUTUROS.....	59
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, é crescente a vinculação em diversos meios de comunicação um considerável número de notícias, cursos, entre outros conteúdos associados ao tema indústria 4.0. Segundo Sacomano *et al.*, (2018) *apud* Rafael Sandim (2021), o conceito de indústria 4.0 baseia-se na integração de tecnologias de informação e comunicação com o intuito de promover um maior nível de produtividade, flexibilidade, qualidade e gerenciamento, deste modo o atual período passou a ser caracterizado como quarta revolução industrial. Como conceito principal definido, tem-se a possibilidade de implantação de linhas de produção acionadas e controladas remotamente, visando atingir o maior desempenho produtivo possível.

De maneira geral, o aumento de rendimentos de produção e desempenho, são fatores positivos principalmente tratando-se de meios industriais. Entretanto, segundo Moreno (2001) *apud* Schulz (2018), nos últimos anos houve um grande aumento na utilização de equipamentos eletroeletrônicos nas instalações industriais, comerciais e residenciais conectados à rede elétrica, estes por sua vez, podem causar perda de informações, funcionamento incorreto e disparos indejesáveis. Ademais, no que tange especificamente a presença de harmônicos, de acordo com Macedo Jr. 2020, existem três possíveis origens do evento supracitado, sendo elas: Equipamentos que possuem lógica de Chaveamento (computadores, fontes chaveadas, inversores, etc.), Circuitos Magnéticos (transformadores, motores, entre outros.) e por fim equipamentos que utilizam o arco elétrico como parte de um determinado processo, a exemplo dos fornos a arco, fontes de soldagem e alguns tipos de iluminação. Em sua totalidade estes são elementos com comportamento não linear, altamente empregados nos meios industriais.

Como regra geral, existem diversos estudos, até mesmo por parte de concessionárias de distribuição a exemplo da CEMIG e ELEKTRO [12] e [20], os quais visam conceder a classificação de cargas perturbadoras ao sistema, criando inclusive regras de conexão de novos clientes e também limites associados. No Brasil os critérios estabelecidos para a Qualidade da Energia Elétrica são regidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica- ANEEL, mais especificamente, através do Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional-PRODIST. No mundo inteiro, também é notória a preocupação de se quantificar e especificar limites para os eventos que podem ocorrer na rede elétrica, podendo citar como exemplo a IEC 61000-4-xx e a IEEE Std 519 de 2014 [9] e [10], nas quais inclusive existem pontos de consonância com a estruturação da norma brasileira.

No passado, alguns estudos realizados em território americano revelam altos custos relacionados com a interrupção de processos industriais, no que tange a problemas atrelados à

perda da qualidade da energia elétrica fornecida pela concessionária, podendo os prejuízos chegar a custos exorbitantes da ordem de 10 bilhões de dólares, os quais vem reverberando em período de tempo estimado de 10 anos. (Deckmann, Pomilio 2017 *apud* Schulz 2018).

Vínculados à modernização imposta pela indústria 4.0, houve a crescente aplicação das mais diversas tecnologias, inclusive de modernização de equipamentos e processos. Podendo ser citados nesse âmbito as máquinas de soldagem, que segundo Schulz (2018), são elementos indispensáveis nos processos metalúrgicos. Ademais, nos últimos trinta anos a indústria vem demonstrado crescente interesse em utilizar técnicas de soldagem em manufatura aditiva para a produção de protótipos e componentes. (Ding *et al.*, 2015 *apud* Da Rosa 2020).

À luz do que foi apresentado, faz-se necessária a compreensão dos fenômenos associados à soldagem, principalmente no que tange a manufatura aditiva de metais a arco elétrico (MADA). Torna-se coerente dizer que o seu modo de operação pode apresentar cargas de caráter intermitente ou até mesmo em regime permanente, dependendo do modelo desejado, do fatiamento definido para a deposição, do tempo estabelecido, do comprimento da trajetória da camada, do modo de transferência e da temperatura de interpasse.

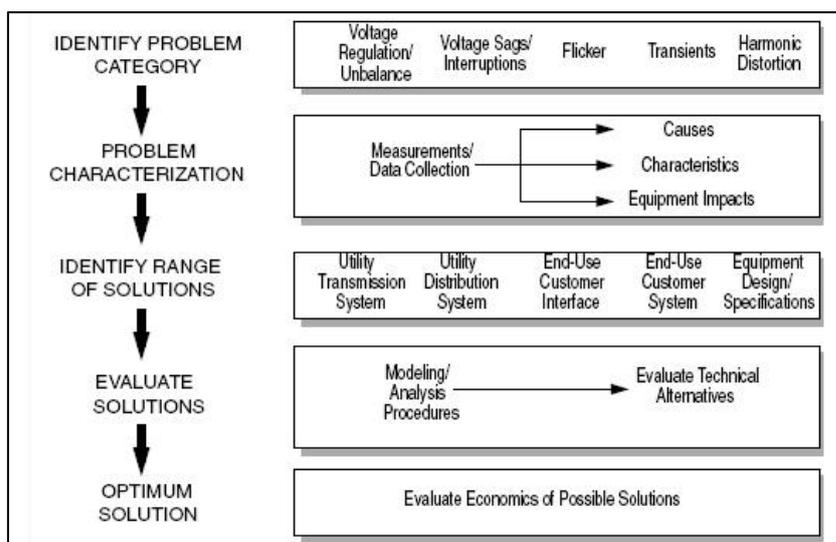
Foram encontrados diversos trabalhos que visam analisar a presença de eventos na rede devido a operação de fontes de soldagem e ou indústria metalúrgica [14], [2], [6], [7] e [3], com as mais diversas características. Entretanto, os mesmos, ou não avaliam diversos eventos que podem ocorrer na rede, dando enfoque apenas em um dos possíveis [3] ou então tratam a operação exclusivamente como de caráter intermitente e com duração de poucos segundos/minutos [3] e [6].

O objetivo do presente trabalho e também o seu diferencial está na tratativa da utilização dos equipamentos de soldagem correlacionados ao MADA, visando compreender quais os fenômenos passíveis de ocorrer durante o processo, a partir de medição utilizando medidor de qualidade de energia elétrica Fluke 435 series II, bem como, a comparação dos valores obtidos com as normas e literaturas existentes.

2. CONCEITOS E DEFINIÇÕES REFERENTES A QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA E PROCESSOS DE SOLDAGEM

Durante o processo de verificação dos possíveis problemas relacionados a qualidade da energia elétrica, como apresentado por [4], existem alguns passos que devem ser seguidos, visando a correta identificação e possíveis correções que podem ser abordadas, onde avalia-se inclusive os aspectos econômicos. No fluxograma da Figura 1 do presente documento encontram-se definidos as etapas do processo, no trabalho proposto a investigação, neste se aterá aos dois primeiros passos, na qual por meio de estudos do tema, serão definidos os problemas associados e após realizadas as medições e caracterização dos eventos avaliados por meio de verificação das normas usualmente aplicadas em território nacional e estrangeiro (corrente harmônica). Durante as pesquisas não foram encontradas referências que tratavam da qualidade da energia elétrica na deposição a arco, deste modo serão utilizadas referências na área da soldagem.

Figura 1 – Os passos básicos para a resolução de problemas em à Qualidade da Energia Elétrica.



Fonte: DUGHAN & MCGRANAGHAN (2004).

Segundo Nunes Santos (sd.), tal fluxograma deve ser tido como uma referência facilitadora para a abordagem de processos relacionados à perda da qualidade da energia elétrica. Ainda se tratando do fluxograma proposto, [25] expõe as seguintes informações a respeito de cada passo.

- **Identificação da Categoria do Problema-** este passo apresenta a base para as soluções a serem elencadas, na qual faz-se necessário o conhecimento prévio de diferentes problemas da QEE (Qualidade da Energia Elétrica).

- **Caracterização do Problema-** Neste são realizadas as coletas de dados e medições, sendo a medição o modo principal de caracterização. Faz-se a utilização de medidores de QEE.
- **Avaliação das Soluções Propostas-** Neste ponto são realizadas avaliações de caráter técnico-econômicos, sendo em primeiro avaliadas em caráter de aplicabilidade técnica.
- **Definição da Solução Ideal-** Neste ponto é elencada a solução de melhor relação custo benefício, levando-se em conta: o número de usuários finais afetados, o tipo de problema, as soluções possíveis e o menor custo associado.

À luz do apresentado, podem ser citados os trabalhos [2],[3],[5],[6],[13],[14],[15]. Nestes podemos ver traços da metodologia proposta, onde são realizadas medições e tratamento de dados para a verificação de fenômenos da QEE, alguns deles inclusive associados à soldagem. Em [2],[6] e [13] os autores, obtiveram a partir de testagem e simulações os efeitos da aplicação de fontes de soldagem, inclusive com simulações de associações de mais de um elemento, mostrando aspectos pertinentes a plantas industriais. Nestes, por sua vez, percebeu-se que existe correlação entre o processo de soldagem MIG/MAG, considerando-se os diferentes modos de transferência metálica e os problemas da QEE, no que tange aos efeitos do evento de flutuação de tensão associados ao modo pulsado de soldagem, os autores chegaram a conclusão, que apesar da grande variação da frequência de pulso (34,5 Hz a 86,2 Hz), os valores registrados para o indicador Pst permaneceram praticamente constantes em cada um dos ensaios. Por fim, ainda correlatado aos trabalhos supracitados, os autores concluem que através da investigação experimental e simulações sobre o funcionamento da fonte de soldagem nos processos de soldagem MIG/MAG (modos de transferência por curto-circuito, globular, goticular e pulsado), constatou-se que os mesmos causam distúrbios na qualidade da energia elétrica do sistema supridor.

Em [3], Carvalho (2004) faz o estudo de consumo energético de uma planta industrial metalúrgica, seguido de diversas medições em locais diferentes, visando observar as distorções harmônicas das correntes geradas pelas cargas com características não lineares, as quais para o estudo apresentavam cerca de 90% da carga instalada. Na tese em pauta o autor diz que são obtidos ganhos econômicos relevantes ao se aplicar mínimas recomendações técnicas na especificação de equipamentos. Além disso, mesmo que as distorções harmônicas nos alimentadores apresentem valores pequenos (ao contrário dos apresentados pelas cargas), existe ainda a preocupação devido ao fato de altos níveis de correntes harmônicas de sequência zero circulando no neutro terem sido obtidos nas medições, podendo comprometer funcionamento e vida útil de equipamentos com alimentação monofásica.

Ao avaliar os conhecimentos consolidados em [5], Medeiros (2003), realizou simulações a fim de se verificar a superposição de efeitos da QEE (afundamentos, interrupções, elevações e transitórios) em relação às flutuações de tensão e adicionalmente os efeitos das modulações harmônicas e das componentes interharmônicas, e sua capacidade de produzir o efeito da cintilação luminosa. Além disso, o autor chegou a conclusão que os limites associados ao indicador de flicker nacionais devem ser repensados devido ao fato das cargas estudadas praticamente não tirem alterações em seu funcionamento. Além de diversas proposições para a medição e tratamento de dados associados ao fenômeno das flutuações de tensão.

Na monografia [14], buscou-se caracterizar as perturbações na rede devido a conexão de fontes de soldagem, viabilizado por medições e ensaios práticos. Onde foram obtidos altos níveis de distorções harmônicas de corrente, onde é nitida a diferença entre as fontes convencionais e as que utilizam o conversor Boost PFC (Power Factor Correction). Ademais o autor chama a atenção para a conexão deste tipo de carga à redes com altos níveis de necessidade de qualidade da energia elétrica os quais podem-se citar o ambiente hospitalar, ou se tratando do ambiente industrial circuitos de acionamentos de servo motores, que podem ser danificados por QEE insuficiente. (Schulz 2018).

Observando-se as proposições de Marques (2018), em [15], foram realizadas medições utilizando um analisador de qualidade de energia conectado à rede, visando analisar a qualidade da rede no Instituto Federal de Paulo Afonso-BA (laboratórios, salas de aula, e áreas gerais, por meio de medição no PAC do campus), no qual verificou-se que não tiveram violações nos níveis de tensão em nível permanente, distorções harmônicas com excessão da fase B durante a madrugada, onde a carga instalada é majoritariamente associada aos circuitos de iluminação, mesmo com a presença de geração fotovoltaica no campus. Importante que se ressalte que os transitórios não foram avaliados devido à limitações do instrumento de medição utilizado.

Verificou-se também, o pagamento de excesso de reativo devido ao baixo fator de potência apresentado, o que segundo o autor, com a implantação de correção de fator de potência pode gerar significativas economias ao campus.

Ribeiro et al. (2016), realizou por meio de simulação em software, a estimativa do comportamento de uma máquina de soldagem, com relação aos distúrbios da rede (distorções harmônicas, desequilíbrios, Flicker, fator de potência, entre outros), ademais os resultados foram comparados com os limites recomendados pelo PRODIST, para tal, foi considerado uma fonte com $P= 20\text{kW}$ e $Q= 8 \text{ Var}$ sendo alimentada por 220V, trifásicos. Foram simuladas também tentativas de situações para verificar o potencial mitigatório de medidas.

Além de estudos acadêmicos, existem, como anteriormente citado, alguns documentos os quais são voltados para a especificação de cargas potencialmente perturbadoras do sistema elétrico a exemplo da ED-5-57-3 da CEMIG [12], os quais são estabelecidos por meio de documento emitido pela distribuidora de energia elétrica onde será realizada a conexão da máquina em questão. Entretanto, mesmo com definições por parte da concessionária e do grande uso de máquinas de soldagem alocadas no sistema, poucas distribuidoras apresentam documentos diretamente relacionados à ligação de máquinas de soldagem nas redes de distribuição, como exemplificação, pode ser citada a Norma ND.50 da Elektro [20], tal fato se mostra como uma grande janela de oportunidade para futuros estudos.

Ademais, em consonância com o proposto e com todo o pretérito estudo apresentado, temos alguns exemplos de fabricação de componentes de grande porte, como por exemplo braços de retroescavadeira, fabricação de uma ponte com mais de 4500 kg e 12,5m de comprimento (GREER *et al.*, 2019 ; BUCHANAN, GARDNER, 2019 *apud* da Rosa., 2020).

. Além disso, há uma empresa que utiliza MADA para a produção de componentes de grande porte e complexidade, produzidos sob demanda (Rotterdam Additive Manufacturing Lab- RAMLAB). Esta mesma empresa foi responsável pela produção de um propulsor marítimo de grande porte, depositados em 298 camadas. (GREER *et al.*, 2019 ; BUCHANAN, GARDNER, 2019 *apud* da Rosa., 2020).

Figura 2 – Propulsor marítimo fabricado por MADA.



Fonte: RAMLAB *apud*. da Rosa (2020).

Neste tópico também serão abordados de forma simples, porém concisa os conhecimentos necessários para a elaboração de questionamentos científicos a respeito do trabalho proposto. Serão, portanto apresentados os princípios de funcionamento, modos de utilização, normalizações e demais itens de suma importância para a compreensão e execução dos objetivos do presente trabalho.

2.1. QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

Segundo Dughan & McGranaghan., (2004), tanto as concessionárias quanto os usuários finais de energia elétrica estão se tornando cada vez mais preocupados com a qualidade da energia elétrica. Este aumento da preocupação deve-se majoritariamente à: Equipamentos de carga de última geração, com controles baseados em microprocessador e dispositivos eletrônicos de potência, que por sua vez são mais sensíveis às variações de qualidade de energia do que os equipamentos usados no passado; a ênfase crescente na eficiência geral do sistema de energia que resultou em um crescimento contínuo na aplicação de dispositivos como unidades de motor de alta eficiência e velocidade ajustável, além de capacitores de derivação para correção do fator de potência, a fim de se reduzir perdas; usuários finais mais conscientes dos problemas de qualidade de energia; muitas coisas agora estão interconectadas em uma rede única, levando a propagações de falhas em escalas antes não alcançadas.

No que tange a definição do termo QEE, ainda sob a ótica de Dughan & McGranaghan., (2004), podem haver definições completamente diferentes para qualidade de energia, dependendo de seu quadro de referência, indo desde a definição dada pela concessionária devido a confiabilidade de seus sistemas, até a estabelecida por um fabricante de equipamento de carga que elenca as características da fonte de alimentação, que permitem que o equipamento funcione corretamente. Entretanto, a definição mais passível é a que diz que a QEE é: qualquer problema de energia manifestado em desvios de tensão, corrente ou frequência que resulte em falha ou operação incorreta do equipamento do cliente. Ademais, pode se considerar a qualidade da energia como qualidade de tensão, visto ser o fator possível de se controlar, devido às grandes variações de demanda, bem como natureza inconstante das cargas conectadas ao sistema.

Os estudos associados ao manutenção da qualidade da energia elétrica bem como da correção de irregularidades, são majoritariamente embasados no caráter econômico devido ao fato da QEE poder apresentar um impacto econômico direto em muitos consumidores industriais.

As referências brasileiras associadas à QEE e mais precisamente sobre a qualidade do produto são o PRODIST, se tratando dos circuitos de distribuição e os Procedimentos de Rede, se tratando de acessantes à rede básica. Neste presente documento, serão abordados aspectos referêntes apenas à qualidade do produto e em consonância com o estabelecido no módulo 8

do PRODIST. Importante que se ressalte que este é apenas um dos módulos apresentados os quais tem representação na Figura.

Figura 3 - Módulos do PRODIST.

Módulos PRODIST
Módulo 1 - Introdução
Módulo 2 - Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição
Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição
Módulo 4 - Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição
Módulo 5 - Sistemas de Medição
Módulo 6 - Informações Requeridas e Obrigações
Módulo 7 - Cálculo de Perdas na Distribuição
Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica
Módulo 9 - Ressarcimento de Danos Elétricos
Módulo 10 - Sistema de Informação Geográfica Regulatório
Módulo 11 - Fatura de Energia Elétrica e Informações Suplementares

Fonte: ANEEL.

i. SEÇÃO 8.1 DO PRODIST – QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

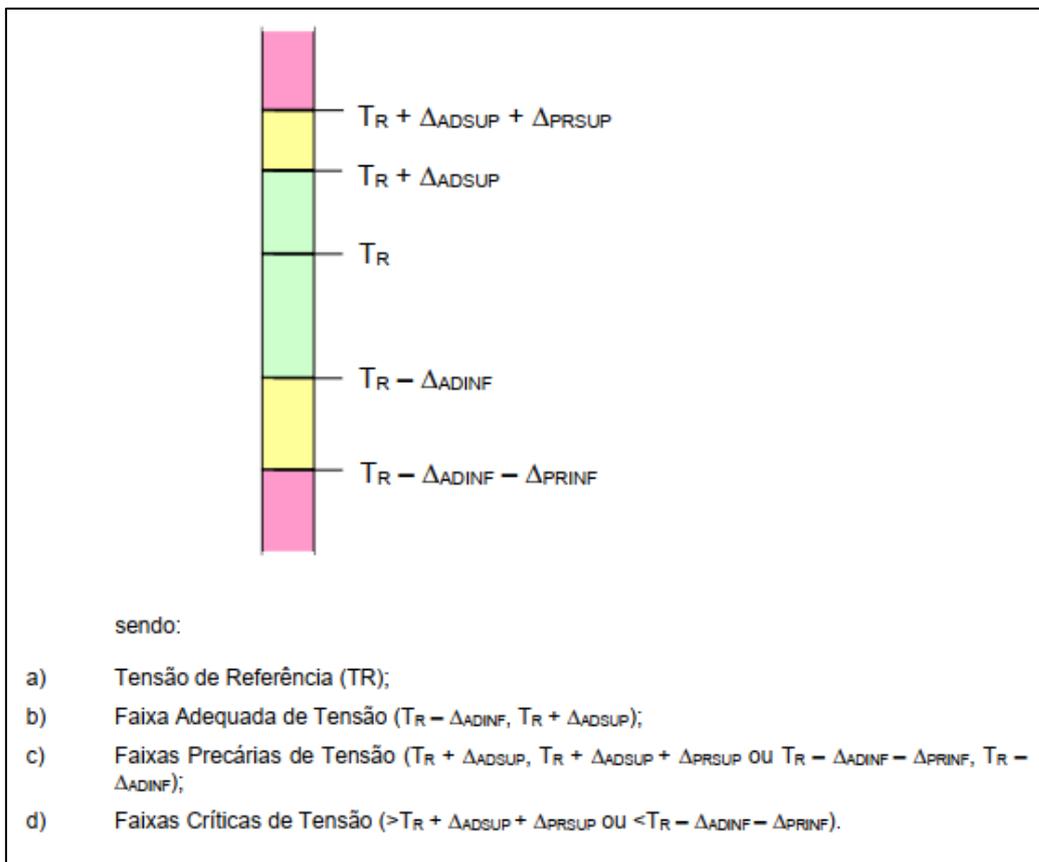
Esta seção possui como objetivo tratar os seguintes fenômenos da qualidade do produto em regime permanente ou transitório. Podendo ser ditos permanentes as tensões em regime permanente, fator de potência, harmônicos, desequilíbrios de tensão, flutuações de tensão e variação de frequência. De caráter transitório apenas as variações de tensão de curta duração – VTCD's. (PRODIST Módulo 8., 2021).

a) TENSÃO EM REGIME PERMANENTE.

Neste são estabelecidos os limites adequados, precários e críticos para os níveis de tensão em regime permanente, os critérios de medição e de registros e os prazos para compensação do consumidor, caso haja excedentes dos limites indicados. A tensão em regime permanente deve ser monitorada em todo o sistema da distribuição, sendo de responsabilidade da distribuidora.

Aos valores dentro dos limites estabelecidos atribui-se a nomenclatura de “confirmidade de tensão elétrica”. (Módulo 8 PRODIST., 2021).

Figura 4 - Faixas de Tensão em Relação à de Referência.



Fonte: Módulo 8 PRODIST.

O conjunto de leituras para gerar os indicadores individuais e coletivos deve possuir 1008 medições válidas, realizadas em intervalo de tempo de 10 minutos cada e devem ser armazenados pela distribuidora por um período de cinco anos. A seguir devem ser calculados os indicadores dados pelas equações a seguir e os mesmos associados a um mês civil (Módulo 8 PRODIST., 2021).

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

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

Sendo nlp e nlc (número de leituras precárias e críticas) o maior valor entre as fases do número de leituras situadas nas faixas indicadas. Os limites indicados para o DRP é de 3% e para o DRC é de 0,5 % (Módulo 8 PRODIST., 2021).

b) FATOR DE POTÊNCIA.

O valor do fator de potência deve ser calculado a partir das potências ativa e reativa ou das energias ativas e reativas, a partir das seguintes equações:

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

Para níveis de tensão inferiores a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar entre 0,92 e 1,00 indutivo ou 0,92 e 1,00 capacitivo, de acordo com regulamentação. Importante que se ressalte que o excedente de reativo deve ser calculado com auxílio de equações definidas em regulamento da ANEEL (Módulo 8 PRODIST., 2021).

c) DISTORÇÕES HARMÔNICAS.

Tabela 1- Terminologia para cálculo das distorções Harmônicas.

Identificação da Grandeza	Símbolo
Distorção harmônica individual de tensão de ordem h	$DIT_h\%$
Distorção harmônica total de tensão	$DTT\%$
Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3	$DTT_p\%$
Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3	$DTT_i\%$
Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3	$DTT_3\%$
Tensão harmônica de ordem h	V_h
Ordem harmônica	h
Ordem harmônica máxima	hmáx
Ordem harmônica mínima	hmin
Tensão fundamental medida	V_1
Valor do indicador $DTT\%$ que foi superado em apenas 5 % das 1008 leituras válidas	$DTT_{95\%}$
Valor do indicador $DTT_p\%$ que foi superado em apenas 5 % das 1008 leituras válidas	$DTT_{p,95\%}$
Valor do indicador $DTT_i\%$ que foi superado em apenas 5 % das 1008 leituras válidas	$DTT_{i,95\%}$
Valor do indicador $DTT_3\%$ que foi superado em apenas 5 % das 1008 leituras válidas	$DTT_{3,95\%}$

Fonte: Módulo 8 PRODIST.

$$DIT_h\% = \frac{V_h}{V_1} \times 100 \quad (4)$$

Onde h é a ordem harmônica individual.

$$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hmáx} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (5)$$

sendo:

h = todas as ordens harmônicas de 2 até hmáx.

hmáx = conforme a classe A ou S.

$$DTT_p\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hp} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (6)$$

sendo:

h = todas as ordens harmônicas pares, não múltiplas de 3 (h = 2, 4, 8, 10, 14, 16, 20, 22, 26, 28, 32, 34, 38, ...).

hp = máxima ordem harmônica par, não múltipla de 3.

$$DTT_i\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_i} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (7)$$

sendo:

h = todas as ordens harmônicas ímpares, não múltiplas de 3 (h = 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, 31, 35, 37,...).

h_i = máxima ordem harmônica ímpar, não múltipla de 3.

$$DTT_3\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_3} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (8)$$

sendo:

h = todas as ordens harmônicas múltiplas de 3 (h = 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39,...)

h₃ = máxima ordem harmônica múltipla de 3.

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

Indicador	Tensão nominal		
	V _n ≤ 1,0 kV	1,0 kV < V _n < 69 kV	69 kV ≤ V _n < 230kV
DTT _{95%}	10,0%	8,0%	5,0%
DTT _{p95%}	2,5%	2,0%	1,0%
DTT _{i95%}	7,5%	6,0%	4,0%
DTT _{395%}	6,5%	5,0%	3,0%

Fonte: Módulo 8 PRODIST.

Para casos onde se utilizam TPs (transformadores de potencial) do tipo V em delta aberto os limites de DTT3% deve ser 50% do estabelecido em tabela (Módulo 8 PRODIST., 2021).

d) DESEQUILÍBRIOS DE TENSÃO.

O desequilíbrio de tensão é a forma de se caracterizar diferenças nas amplitudes entre as tensões de fase de um sistema trifásico e/ou na defasagem elétrica de 120° entre as tensões de fase. Na Tabela 3, FD diz respeito ao fator de desequilíbrio.

Tabela 3- Terminologia para cálculo dos Desequilíbrios.

IDENTIFICAÇÃO DA GRANDEZA	SÍMBOLO
Fator de desequilíbrio de tensão	FD
Magnitude da tensão eficaz de sequência negativa – frequência fundamental	V-
Magnitude da tensão eficaz de sequência positiva – frequência fundamental	V+
Magnitudes das tensões eficazes de linha – frequência fundamental	V _{ab} , V _{bc} e V _{ca}
Valor do indicador FD% que foi superado em apenas 5 % das 1008 leituras válidas	FD95%

Fonte: Módulo 8 PRODIST.

O cálculo dos desequilíbrios de tensão podem ser realizados por meio de uma das equações a seguir, de modo que ambas possuem consonância na formulação.

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} 100 \quad (9)$$

$$FD\% = 100 \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \quad (10)$$

Sendo:

$$\beta = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2} \quad (11)$$

Tabela 4- Limites para os desequilíbrios de tensão.

Indicador	Tensão nominal	
	V _n ≤ 1,0 kV	1 kV < V _n < 230kV
FD95%	3,0%	2,0%

Fonte: Módulo 8 PRODIST.

e) FLUTUAÇÕES DE TENSÃO.

Caracteriza-se como flutuação de tensão a variação aleatória, repetitiva ou esporádica do valor eficaz ou de pico da tensão instantânea. Ela visa avaliar o incômodo provocado pelo efeito da cintilação luminosa.

Tabela 5- Terminologia para cálculo das flutuações de tensão.

Identificação da Grandeza	Símbolo
Severidade de Flutuação de Tensão de Curta Duração	Pst
Severidade de Flutuação de Tensão de Longa Duração	Plt
Valor do indicador Pst que foi superado em apenas 5 % das 1008 leituras válidas	Pst95%

Fonte: Módulo 8 PRODIST.

As expressões para o cálculo Pst e Plt são:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}} \quad (12)$$

Pi (i = 0,1; 1; 3; 10; 50) corresponde ao nível de flutuação de tensão que foi ultrapassado durante i % do tempo, obtido a partir da função de distribuição acumulada complementar, de acordo com o procedimento estabelecido segundo o PRODIST, nas Normas IEC (International Electrotechnical Commission): IEC 61000-4-15. Flickermeter – Functional and Design Specifications.

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (P_{sti})^3} \quad (13)$$

Tem-se que o Pst demonstra os níveis de cintilação em períodos de 10 minutos e o Plt em período contínuo de 2 horas.

Tabela 6 - Limites para flutuação de tensão.

Indicador	Tensão nominal		
	$V_n \leq 1,0kV$	$1,0kV < V_n < 69kV$	$69kV \leq V_n < 230kV$
Pst95%	1,0 pu	1,5 pu	2,0 pu

Fonte: Módulo 8 PRODIST.

f) VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA.

Para condições normais de operação e em regime permanente, os limites de frequência devem estar situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz. Tratando-se da presença de distúrbios no sistema de distribuição, a geração deve garantir o retorno da frequência em no máximo 30 (trinta) segundos após a transgressão, para a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz, para viabilizar a recuperação do equilíbrio carga-geração.

Caso exista a necessidade de corte de geração ou carga, para que se garanta o equilíbrio carga-geração a frequência não pode passar de 66 Hz ou estar abaixo de 56,5 Hz. Caso atinja ou ultrapasse 66 Hz pode permanecer assim por no máximo 30 segundos, e se acima de 63,5 Hz pelo tempo máximo 10 segundos. Ademais, esta não pode permanecer abaixo de 58,5 Hz por tempos acima de 10 segundos e se inferior a 57,5 Hz por tempo máximo de 05 segundos. (Módulo 8 PRODIST., 2021).

g) VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO.

Estes são ditos como desvios significativos na amplitude do valor eficaz da tensão durante um intervalo de tempo inferior a três minutos.

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: Módulo 8 PRODIST.

Tabela 8- Terminologia para Cálculos de VTCD.

Identificação da Terminologia	Sigla
Variação de Tensão de Curta Duração	VTCD
Interrupção Momentânea de Tensão	IMT
Afundamento Momentâneo de Tensão	AMT
Elevação Momentânea de Tensão	EMT
Interrupção Temporária de Tensão	ITT
Afundamento Temporário de Tensão	ATT
Elevação Temporária de Tensão	ETT
Amplitude do evento de VTCD	V_e
Duração do evento de VTCD	Δt_e
Frequência de ocorrência de eventos de VTCD	f_e
Fator de Impacto	FI
Fator de Impacto base	FI_{BASE}

Fonte: Módulo 8 PRODIST.

As equações matemáticas para utilização em análise de eventos de VTCD, são relacionadas abaixo:

$$V_e = \frac{V_{res}}{V_{ref}} \times 100 \quad (14)$$

sendo:

V_e = amplitude do evento de VTCD (em %);

V_{res} = tensão residual do evento de VTCD (em Volt);

V_{ref} = tensão de referência (em Volt).

$$\Delta t_e = t_f - t_i \quad (15)$$

sendo:

Δt_e = duração do evento de VTCD (em milissegundos);

t_f = instante final do evento de VTCD;

t_i = instante inicial do evento de VTCD.

$$f_e = n \quad (16)$$

sendo:

f_e = frequência de ocorrência de eventos de VTCD;

n = quantidade de eventos de VTCD registrados no período de avaliação.

Após cálculos realizados, é feita a extratificação dos parâmetros de amplitude e duração contabilização de eventos de VTCD, com demonstrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Estratificação dos Parâmetros amplitude e duração para contabilização de eventos de VTCD.

Amplitude (pu)	Duração						
	[16,67 ms - 100 ms]	(100 ms - 300 ms]	(300 ms - 600 ms]	(600 ms - 1 seg]	(1 seg - 3 seg]	(3 seg - 1 min]	(1 min - 3 min]
> 1,15							
(1,10 - 1,15]							
(0,85 - 0,90]							
(0,80 - 0,85]							
(0,70 - 0,80]							
(0,60 - 0,70]							
(0,50 - 0,60]							
(0,40 - 0,50]							
(0,30 - 0,40]							
(0,20 - 0,30]							
(0,10 - 0,20]							
< 0,10							

Fonte: Módulo 8 PRODIST.

Após os dados estratificados, é feita a separação em regiões conforme Tabela 10.

Tabela 10- Estratificação das VTCD's com base nos níveis de sensibilidade das cargas.

Amplitude (pu)	Duração						
	[16,67 ms - 100 ms]	(100 ms - 300 ms]	(300 ms - 600 ms]	(600 ms - 1 seg]	(1 seg - 3 seg]	(3 seg - 1 min]	(1 min - 3 min)
> 1,15	REGIÃO H			REGIÃO I			
(1,10 - 1,15]	REGIÃO H			REGIÃO I			
(0,85 - 0,90]	REGIÃO A						
(0,80 - 0,85]	REGIÃO A						
(0,70 - 0,80]	REGIÃO B		REGIÃO D		REGIÃO G		
(0,60 - 0,70]	REGIÃO B		REGIÃO D		REGIÃO F		
(0,50 - 0,60]	REGIÃO C		REGIÃO D		REGIÃO F		
(0,40 - 0,50]	REGIÃO C		REGIÃO D		REGIÃO F		
(0,30 - 0,40]	REGIÃO E				REGIÃO F		
(0,20 - 0,30]	REGIÃO E				REGIÃO F		
(0,10 - 0,20]	REGIÃO E				REGIÃO F		
< 0,10	REGIÃO E				REGIÃO F		

Fonte: Módulo 8 PRODIST.

A seguir, o fator de Impacto, que é o meio de caracterização da severidade da incidência de eventos de VTCD é dado pela expressão a seguir:

$$\frac{\sum_{i=A}^I (f_{ei} f_{pi})}{FI_{BASE}} \quad (17)$$

sendo:

f_{ei} = frequência de ocorrência de eventos de VTCD, apuradas por meio de medição apropriada, em um período de 30 dias consecutivos, para cada região de sensibilidade i , sendo $i = A, B, C, D, E, F, G, H$ e I .

f_{pi} = fator de ponderação para cada região de sensibilidade i , estabelecido de acordo com a relevância do evento, correlacionando sua amplitude e duração.

FI_{BASE} = Fator de Impacto base, obtido do somatório dos produtos dos fatores de ponderação pelas frequências máximas de ocorrência em um período de 30 (trinta) dias de VTCD para cada região de sensibilidade.

Tabela 11- Fator de Ponderação e Fator de Impacto Base de acordo com a tensão nominal.

Região de Sensibilidade	Fator de Ponderação (f_p)	Fator de Impacto Base (F_{BASE})	
		$1,0 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
A	0,00	2,13	1,42
B	0,04		
C	0,07		
D	0,15		
E	0,25		
F	0,36		
G	0,07		
H	0,02		
I	0,04		

Fonte: Módulo 8 PRODIST.

ii. IEEE Std. 519.

a) Recomendações para limites de tensões harmônicas

No PAC (ponto de acoplamento comum), os limites de harmônicos para tensão de fase são os seguintes:

- Percentil 99 diário, para períodos muito curtos de tempo (3 s), os valores devem ser 1,5 vezes o valor dado na tabela 12.
- Percentil 95 semanal, para curtos períodos de tempo (10 min), os valores devem ser menores do que estabelecido pela tabela 12.

Tabela 12- Limites para distorções de tensão.

Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5*

Fonte: IEEE Std. 519.

b) Recomendações para limites de correntes harmônicas

Os limites definidos para as distorções harmônicas de corrente são dadas em função da tensão apresentada no PAC, ademais devem seguir os seguintes critérios:

- Percentil 99 diário, para períodos de tempo muito curtos (3 s), as correntes harmônicas devem ser menores que 2,0 vezes os valores apresentados na tabela 13.

- Percentil 99 semanal, para curtos períodos de tempo (10 min), as correntes harmônicas devem ser menores que 1,5 vezes os valores apresentados na tabela 13.
- Percentil 95 semanal, para curtos períodos de tempo (10 min), as correntes harmônicas devem ser menores que os valores apresentados na tabela 13.

Tabela 13- Limites de distorção de corrente para sistemas entre 120V e 69kV.

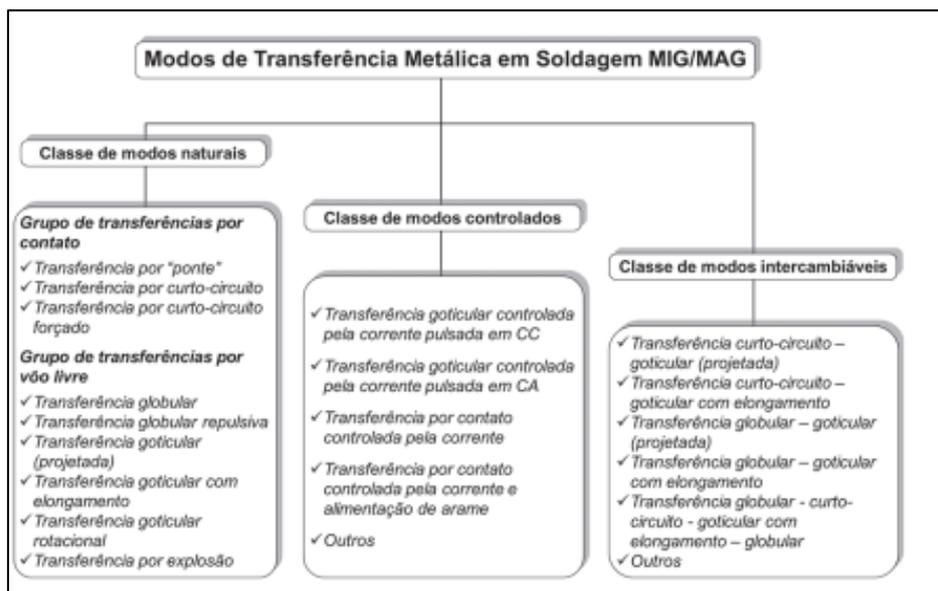
Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a, b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20 ^c	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0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

Fonte: IEE Std. 519.

2.2. MODO DE TRANSFERÊNCIA PULSADO NO PROCESSO MIG/MAG

O processo MIG/MAG, é um processo que utiliza eletrodo consumível caracterizado pela transferência de metal para a poça de fusão através do arco elétrico. A transferência por sua vez, ocorre por meio de gotas de metal fundido geradas na ponta do arame-eletrodo (com diferentes tempos de crescimento, dimensões e frequências de destacamento) e é influenciada, dentre outros fatores, pelo material e diâmetro do eletrodo, pelo gás de proteção, pela intensidade e polaridade da corrente de soldagem, pelo comprimento do arco e pela pressão ambiente. O modo pelo qual o material é transferido no arco tem grande influência sobre a estabilidade do processo e afeta fortemente a quantidade de respingos gerada, a possibilidade em várias posições, a qualidade/geometria da solda e a aparência superficial do cordão de solda. (SCOTTI & PONOMAREV., 2008).

Figura 5- Classificação dos modos de transferência metálica conforme a ordem hierárquica (classes, grupos e modos).

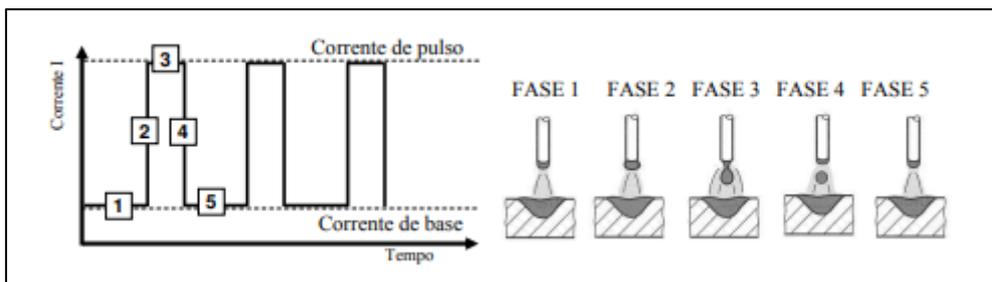


Fonte: SCOTTI & PONOMAREV., (2008).

Devido à grande gama de modos e também ao fato de não ser o foco principal do presente trabalho, será analisado o modo de operação utilizado durante a realização dos ensaios. O MIG pulsado surgiu como expectativa de avaliar as melhores características dos modos de transferência por curto-circuito e goticulares, este tem como objetivo obter transferências goticulares durante os pulsos de alta corrente enquanto mantém um nível de corrente média abaixo da corrente de transição. (EZIO., 2013).

Segundo Fischer (2011), o modo de transferência pulsado tem como característica oscilação entre uma corrente baixa, chamada corrente de base e uma corrente alta, denominada corrente de pico (ou de pulso). Neste modo, após a ignição o arco fica sempre aberto, sem formação de curto-circuitos. Pode-se dividir o modo em quatro fases, como demonstrado na Figura 6. Na primeira fase há o estabelecimento do arco e sua manutenção, além de se pré-aquecer o material de base e do eletrodo. Na fase 2 a corrente sobe ao nível de pulso, seguida da fase 3 onde há o estrangulamento do material fundido na ponta do eletrodo. Nas fases 4 e 5 há a descida da corrente, separação da gota do eletrodo e transferência para a poça de fusão [29].

Figura 6- Diagrama esquemático de uma onda de corrente pulsada e transferência de metal.



Fonte: FISCHER 2011.

A maior desvantagem de utilização deste modo é a dificuldade de se obter os parâmetros adequados e pela qualificação dos operadores. Os parâmetros devem estar de acordo com o tipo do material empregado, diâmetro do eletrodo, comprimento do eletrodo e mistura do gás de proteção. (SCOTTI E PONOMAREV., 2008).

2.3. FONTES DE SOLDAGEM

Existem diversos requisitos que uma fonte para soldagem a arco deve atender. Estas devem produzir saídas de corrente e tensão nos valores desejados; permitir o ajuste destes valores para aplicações específicas; variar a corrente e a tensão durante a operação de acordo com as especificações necessárias do processo de deposição; estar em conformidade com exigências de normas e códigos relacionados com a segurança e funcionalidade; apresentar resistência e durabilidade em ambientes fabris, com instalação e operação simples e segura; possuir controles/interface do usuário e fácil compreensão e uso. Nos processos de deposição geralmente são utilizados baixos níveis de tensão (10 a 50 V) e altos níveis de corrente (40 a 500 A). Para isto, a energia elétrica precisa ser convertida de sua forma original para a utilizável nos processos de deposição, como regra geral são utilizados transformadores, podendo ter a eles associados um circuito retificador para que se obtenha correntes contínuas. A partir da década de 1960 e, de forma importante, nas décadas de 1980 e 1990, novos conceitos foram introduzidos no projeto e fabricação de fontes de energia para soldagem. Estes conceitos têm em comum a introdução de dispositivos eletrônicos, muito mais versáteis e rápidos, para o controle da saída da fonte. (MODENESI., 2009; RIBEIRO et al., 2016).

Na tabela abaixo, tem-se uma síntese dos tipos de fontes, bem como das suas respectivas características e aplicações.

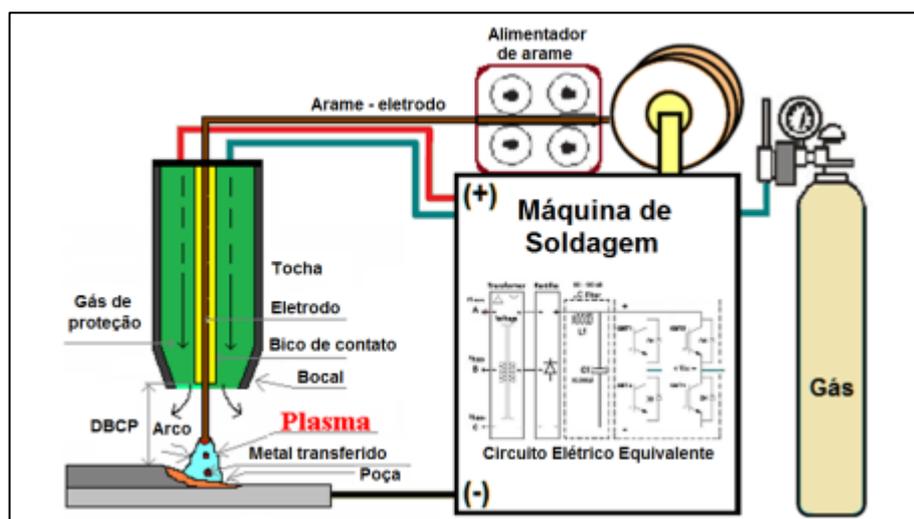
Tabela 14- Características de fontes convencionais e eletrônicas.

Tipo de Fonte	Saída	Eficiência Elétrica	Características Físicas	Custo Relativo	Aplicações
Convencionais	Fixada pelo projeto, resposta lenta, sem estabilização da rede	Razoável	Grande, pesada, robusta, e resistente.	1	SMAW manual, GTAW. Uso geral.
Tiristorizada	Resposta variável, mas relat. lenta. Estabilização da rede, ruído elevado.	Razoável	Mais compacta do que fontes convencionais equivalentes.	3	GMAW/GTAW manual e mecanizada, SMAW manual. Qualidade média a alta.
Analógica	Resposta muito rápida, flexibilidade, precisa, ausência de ruído, alta reprodutibilidade.	Pobre	Relat. Grande, necessita refrigeração de água.	6	GTAW/GMAW de alta qualidade, Saída pulsada, pesquisa e desenvolvimento.
Chaveada ou Híbridas	Resposta rápida, saída variável e reprodutível, estabilidade.	Muito boa	Tamanho médio, refrigeração pelo ar.	4	Qualidade média a alta, multiprocessos.
Inversora	Resposta rápida, saída variável e reprodutível, estabilidade.	Muito boa	Compacta, projeto complexo.	4	Qualidade média a alta, multiprocessos.

Fonte: MODENESI., (2009).

Na Figura 7, tem-se representado um esquemático de montagem de uma fonte de soldagem MIG/MAG, inclusive com representativo do gás de proteção a ser utilizado.

Figura 7- Equipamentos utilizados no processo MIG/MAG e ilustrações (arco, transferência metálica, poça de fusão, bico de contato, distância do bico de contato- peça (DBCP).

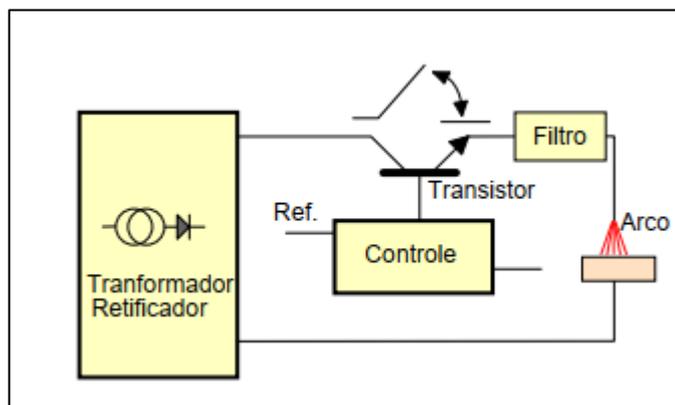


Fonte: Ezio., 2013.

Tem-se que na grande maioria dos novos desenvolvimentos de fonte de soldagem, para o processo de MIGMAG, há a adoção do estilo de fontes transistorizadas chaveadas no primário.

Atualmente, nas aplicações com arco pulsado, as fontes transistorizadas chaveadas no primário, também chamadas fontes inversoras, estão mais estabelecidas do que as chaveadas no secundário por causa do peso e tamanho, resultando em melhor mobilidade. O tamanho do transformador é dependente da frequência da máquina chaveada. Uma máquina chaveada com alta frequência reduz o tamanho do transformador e também aumenta a possibilidade de controlar o processo de soldagem, onde as frequências de chaveamento podem ser entre 5 e 200kHz. (FISCHER., 2011).

Figura 8- Princípio de funcionamento de uma fonte transistorizada chaveada.



Fonte: MODENESI.,2009.

Ademais, em uma fonte inversora, a corrente alternada da rede é retificada de modo direto e a corrente contínua de tensão elevada e em seguida convertida em corrente alternada de alta frequência (5000 a 200.000 Hz), através de um sistema de transistores. O inversor é colocado antes do transformador (isto é, no circuito primário). (MODENESI., 2009).

3. METODOLOGIA

3.1. MEDIDOR FLUKE 435 E POWER LOG

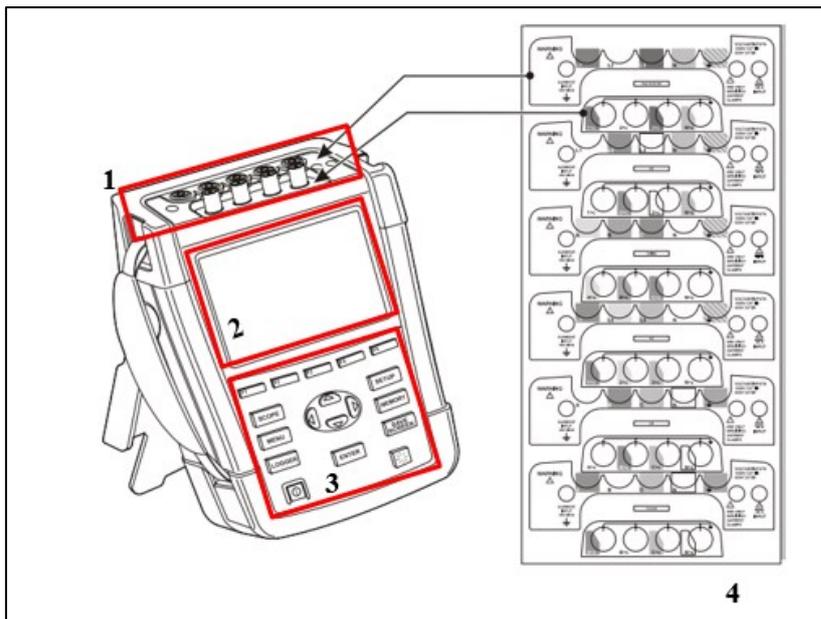
Nesta seção será apresentado o medidor de qualidade de energia elétrica, além do software para a visualização dos dados, abordando os critérios básicos e de suma importância para a realização do proposto para o trabalho, deste modo é sempre indicado a verificação do manual do fabricante de equipamentos utilizados para a correta operação dos mesmos. Todas as informações disponibilizadas são retiradas de [11] e [21], que são os respectivos manuais do fabricante.

i. FLUKE 435 SERIES II

O analisador de Qualidade de Energia Fluke 435 séries II, é um dispositivo de medição, bastante completo, versátil e de prática utilização devido ao seu pequeno porte no quesito dimensões físicas e também da simplicidade de navegação nos seus diversos menus. Entretanto o conhecimento prévio e também a familiarização a respeito de sua utilização, esquemas de ligação, possibilidades de medição, entre outras características apresentadas pelo medidor, devem ser abordadas e pesquisadas de maneira complementar, a fim de se consolidar melhor o uso pertinente do dispositivo.

Este, serve como um apanhado geral e superficial para a utilização do medidor, sendo ainda sugerida a consulta do manual de utilização do usuário fornecido pelo fabricante. O Fluke 435 series II, possui quatro entradas com conexão do tipo BNC, destinadas às pinças de corrente, além de contar com cinco entradas do tipo banana para a conexão das pontes destinadas as medições de tensão. Junto com o equipamento são fornecidos decalques auto-adesivos para a indicação das respectivas entradas às quais são demonstradas na Figura 9.

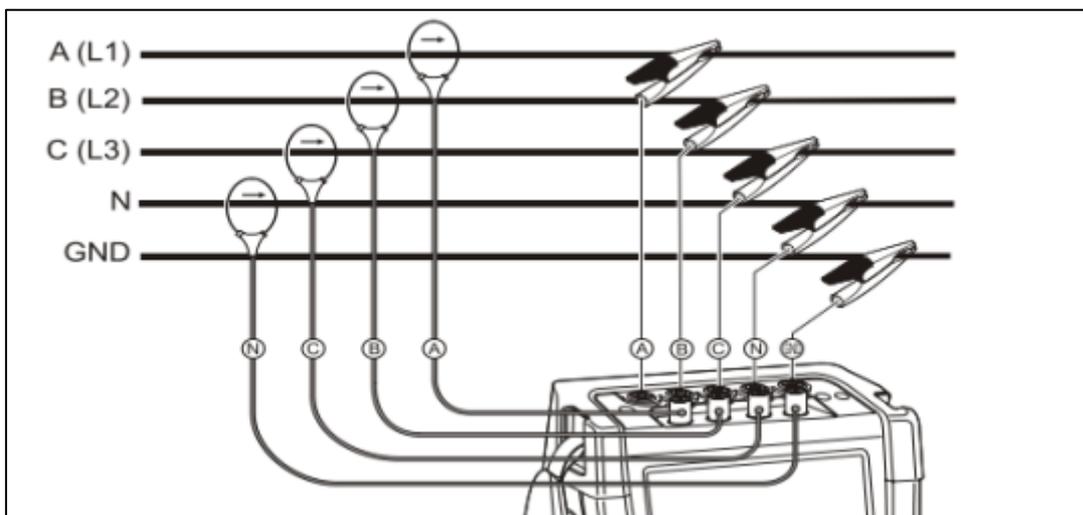
Figura 9- Medidor com destaque para conexões.



Fonte: Manual do Fabricante (adaptado).

Na figura acima, em destaque, estão os pontos de conexão para as ponteiros de medição e pinças de corrente e tensão (1), a tela, onde são demonstradas as medições e também onde se tem acesso as configurações de forma visual (2), os botões seletores para navegação nos menus, seleção de opções e alteração de parâmetros (3), além da cartela de adesivos com as indicações dos terminais do equipamento (4).

Figura 10- Conexão com o sistema de distribuição trifásico.



Fonte: Manual do Fabricante.

Na figura acima, temos o esquemático de ligação a ser utilizado para conexão com a rede, no mesmo indicam-se as ponteiras de prova de tensão com suportabilidade de até 1000 V.

Pode-se medir maiores tensões com o auxílio da utilização de um TP (entretanto a relação de transformação precisa ser setada no aparelho). Deve-se atentar também para o uso das sondas Rogovski que suportam até 6000A. As sondas por sua vez podem ser substituídas, a depender dos níveis de corrente da medição estipulada, por clampers, tais como a pinça I30-s que suporta até 30 A. Todos os medidores possuem indicadores de sentido de polaridade, com o intuito de se reduzir erros associados ao posicionamento dos mesmos.

Os valores respectivos à medição devem ser setados para a realização da medição e podem ser setados em Setup-> Manual Setup. Destaca-se a importância da conexão do aterramento (GND), para a obtenção de valores corretos e fidedignos. Entre as opções devem ser setados os tempos de aquisição, as grandezas medidas e os eventos a serem monitorados durante a medição. Por se tratar de um medidor multi funções, o Fluke 435, apresenta diversos modos de medição, entre eles: Scope; Volt/Amp/Hz; Harmônicos; Desequilíbrios; Inrush; Flicker; Transientes ;Logger. Praticamente todos os modos citados estão associados à algum evento ou caracterizador da qualidade da energia elétrica. Entretanto, a exceção é dada pela função Logger, opção esta em que se pode setar diversos tipos de modos de medição, a fim de se realizar para uma mesma ocasião, a aquisição de diversos dados relacionados à qualidade de energia. Podendo-se utilizar inclusive o sincronizador de GPS, visando verificar a repercussão de eventos na rede.

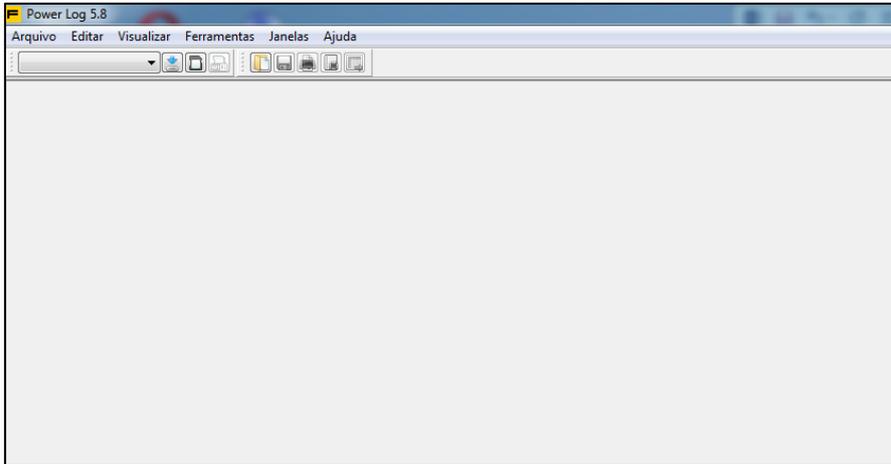
ii. POWER LOG

O Power Log é uma software para computador, utilizado para a família de medidores de qualidade da energia elétrica. Com a utilização deste, o usuário pode transferir dados registrados e gravados para um computador, gerar tabelas de dados, visualizar e imprimir diagramas temporais, executar estudos harmônicos, imprimir tabelas; gráficos e relatórios e exportar dados para manipulação em outros programas como por exemplo o excel.

O software pode ser utilizado com dados, sejam estes já gravados, salvos ou recém gravados do instrumento conectado via USB Importante que se ressalte que a transferência de dados deve ser realizada somente após o instrumento sair do status “registrando”. Para a transferência de dados deve-se pressionar o botão MEMORY, selecionar RECALL/SELECT, selecionar o arquivo salvo e após a opção USE. Dentro do menu de utilização, existe a possibilidade de mudar as escalas dos eixos verticais e horizontais, zoom, eventos, ver legendas, ver cursores,

as quais objetivam a melhor tratativa dos dados a serem visualizados. Na planilha gerada pode-se visualizar as datas e horas gravadas e também filtrar dados desmarcando as caixas de seleção na linha superior. A tela inicial do software está disposta na Figura 11.

Figura 11- Tela inicial do Power Log.

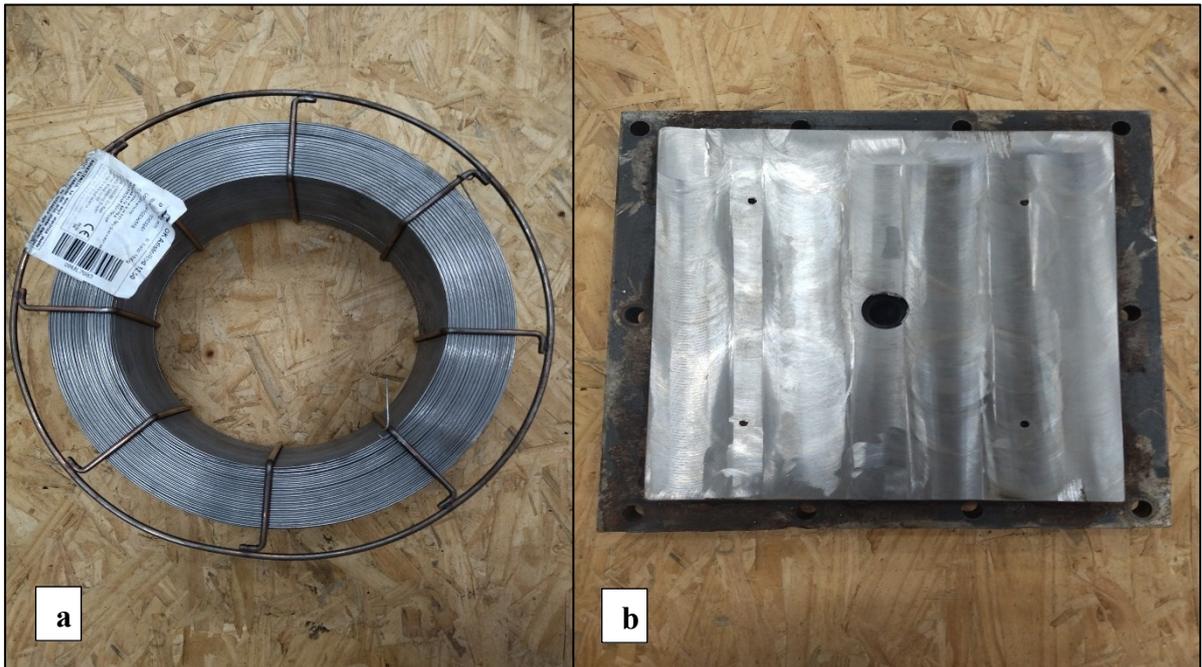


Fonte: Power Log.

3.2. PROCESSO E MEDIÇÃO

Para a realização do processo, há a necessidade da preparação experimental tanto da deposição, quanto da medição. Para a deposição, precisam ser dispostos um substrato para a deposição da peça, o arame eletrodo, uma fonte de soldagem, e no caso um robô (o qual será responsável pela trajetória), além de um cilindro de gás de proteção. Os pontos cruciais do setup para a deposição estão dispostos nas Figuras 12, 13, 14, 15 e 16.

Figura 12- Carretel de Arame (a); Substrato (b).



Fonte: O Autor.

Durante o processo, como citado anteriormente, o carretel é conduzido até o bico de contato, onde durante o processo de soldagem se estabelece o arco e este arame é fundido e depositado sobre o substrato (b), que está conectado ao negativo da fonte de soldagem, os parâmetros utilizados são sigilosos.

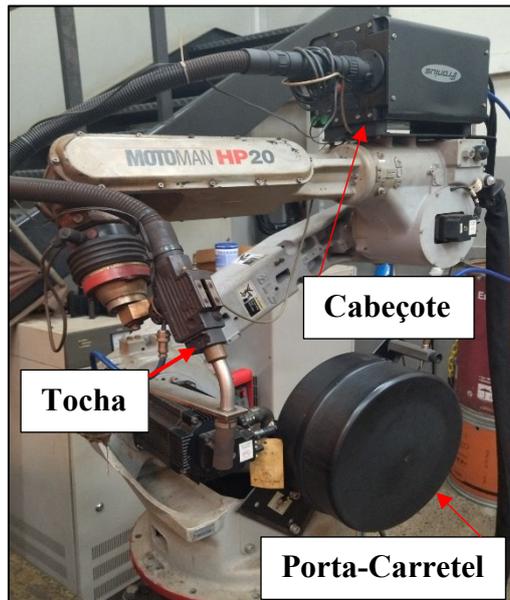
Figura 13- Fonte de Soldagem Transplus Sinergic 5000.



Fonte: O Autor.

Na Figura 13, tem-se a fonte de soldagem utilizada no processo. Em b, temos a vista frontal onde realiza-se a energização da fonte, por meio da chave seletora. Os ajustes dos parâmetros associados ao processo é feito por meio do painel e de botões. Em ‘a’, temos a vista da lateral da fonte aberta onde são mostrados os componentes internos.

Figura 14- Célula Motoman HP 20.



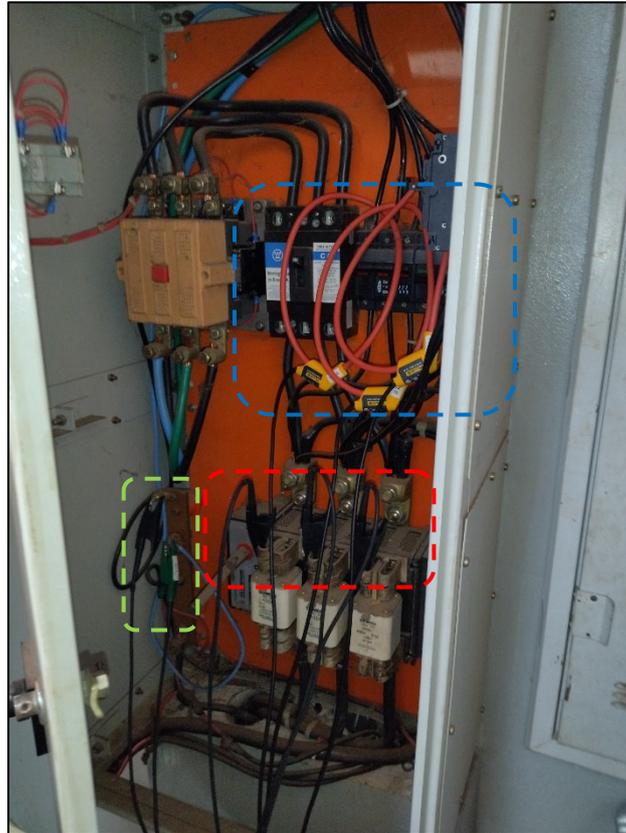
Fonte: O Autor.

Na figura acima, está disposta a célula motoman, em destaque para as partes acopladas para o interfaceamento com o processo, este elemento é responsável pela movimentação em trajetória pré estabelecida, de acordo com a geometria a ser depositada.

A peça escolhida para a deposição, foi uma luva de redução executada, por meio de um projeto de P&D com a Petrobras, a qual foi a primeira peça de manufatura aditiva a ser utilizada em campo do Brasil. A mesma foi escolhida devido ao caráter de possuir deposição em modo contínuo com comportamento de subida helicoidal, deste modo pode-se avaliar o regime de operação durante toda a deposição. Importante que se ressalte que mesmo devido a escolha da geometria, existe a possibilidade de falhas ou paradas durante a deposição.

Já a montagem do equipamento de medição de qualidade de energia elétrica, seguindo-se o estabelecido pelo manual do fabricante, o esquemático de ligação está disposto na figura 10.

Figura 15 - Quadro de distribuição com medições.



Fonte: O Autor.

A instalação elétrica do local é composta por um disjuntor geral, seguido de 3 disjuntores, cada qual responsável pela energização de uma tomada trifásica de 220V. Deste modo, apenas uma foi responsável pela energização da fonte utilizada pelo processo de deposição. A medição foi realizada diretamente no circuito de alimentação da fonte de soldagem, visando obter informações decorrentes exclusivamente do processo. Na figura 15, temos o quadro de distribuição dos circuitos supracitados, onde em verde estão destacados os jacarés responsáveis pela medição do neutro e do terra, em vermelho das tensões por fase e em azul as correntes, por meio das bobinas Rogowski.

Na figura 16, temos a visão macro do processo, durante a execução do mesmo. Nesta figura estão dispostos dois qualímetros, entretanto um havia sido destinado à medição na saída da fonte, para que fosse possível a medição e correlação com a utilização do sistema de GPS. A medição, entretanto não foi realizada devido à falta de uma ponteira específica para medições DC. Contudo, a medição da saída ainda assim foi realizada, para controle do processo, por meio de sistema de aquisição disponível in loco, o qual não será utilizado para fins de realização das análises deste trabalho.

Figura 16- Visão Geral do Processo com Medidores.



Fonte: O Autor.

Figura 17- Resumo da Medição Realizada.

Resumo da medição	
Topologia de medição	Modo 3Ø em estrela
Modo de aplicação	Logger (Registrador)
Primeiro registro	25/06/2021 10:59:00 250msec
Último registro	25/06/2021 13:59:17 750msec
Intervalo de registro	0h 0m 0s 250msec
Tensão Nominal	127 V
Corrente Nominal	100 A
Frequência Nominal	60 Hz
Hora inicial do arquivo	25/06/2021 10:59:00 0msec
Hora final do arquivo	25/06/2021 13:59:17 750msec
Duração	0d 3h 0m 17s 750msec
Número de eventos	Normal: 0 Detalhado: 0
Eventos baixados	Não
Número de telas	6
Download das Telas terminado	Não
Método de medição de potência	Unificado
Tipo de cabo	Copper
Escala harmônica	%H1
Modo THD	THD 50
Modo DPF/CosPhi	DPF

Fonte: Power Log.

Na imagem acima, temos a definição dos parâmetros iniciais da medição, bem como o tempo total de duração e intervalo de registros realizados.

i. ANÁLISE DOS DADOS.

Devido à sistemática do projeto, alto custo de realização das deposições e recursos escassos, foi realizado apenas a medição em uma peça a qual teve seu início às 11:14 e fim às

13:43. Como as medidas foram realizadas em intervalos de 0,25 segundos, e no PRODIST é orientado que se tenham 1008 medições a cada 10 minutos. Foram propostas duas metodologias com o objetivo de enquadrar as medições realizadas aos critérios pré estabelecidos.

Na primeira metodologia ou tratamento 1 (T1), realizou-se a expurga dos valores adquiridos antes do início e depois do fim da fabricação da peça. Após isso realizou-se a divisão do número de dados que sobraram pelas 1008 amostras definidas, e realizou-se a média dos valores dispostos neste intervalo, deste modo, adequando as medições realizadas em números de medições correspondentes ao PRODIST.

$$N_{elementos} = \frac{N_{medições}}{N_{PRODIST}} \quad (17)$$

$$N_{elementos} = \frac{39531}{1008} = 39 \text{ elementos} \quad (18)$$

$$Valor_{posição} = \frac{\sum_{i=1}^{39} (elementos)}{39} \quad (19)$$

Sendo zerada a contagem ao fim de cada intervalo, e contando apenas os elementos a partir do último contabilizado.

A segunda metodologia (T2), apresenta a proposição de adequação aos critérios definidos pelo PRODIST relacionados ao tempo (10 min), desta forma foram definidos quantos elementos da medição estão dispostos em um intervalo de 10 min, e em seguida foi realizada a média destes valores. A seguir, os valores obtidos foram repetidos de forma cíclica afim de se obter as 1008 medições propostas pelo PRODIST.

$$N_{elementos} = \frac{N_{medições}}{N_{medições \text{ por intervalo de } 10 \text{ min}}} \quad (20)$$

$$N_{elementos} = \frac{39531}{2400} = 16 \text{ elementos} \quad (21)$$

$$Valor_{posição} = \frac{\sum_{i=1}^{2400} (elementos)}{2400} \quad (22)$$

$$N_{ciclos} = \frac{N_{PRODIST}}{N_{elementos}} \quad (23)$$

$$N_{ciclos} = \frac{1008}{16} = 63 \text{ ciclos} \quad (24)$$

Será feita ainda, a análise bruta dos dados medidos e a comparação das metodologias através de histogramas, visando demonstrar a proporção de reutilização de valores mediante as análises propostas, deste modo podendo-se ainda determinar possíveis formas de análise a serem empregadas no futuro. Optou-se por plotar os gráficos das grandezas totais medidas utilizando-se o número de medidas no eixo x ao invés do tempo, visando estabelecer associação mais clara com as metodologias propostas.

Em alguns casos será utilizada uma fórmula para a tentativa de se estabelecer uma correlação para os dados medidos. A fórmula utilizada visa estabelecer um critério de crescimento, avaliando os fatores classificando entre -1 e 1. Caso -1, nos diz que há uma correlação de variação decrescente dos dados apresentados. Caso 1, há uma correlação crescente e caso 0 identifica que há correlação fraca ou nenhuma correlação.

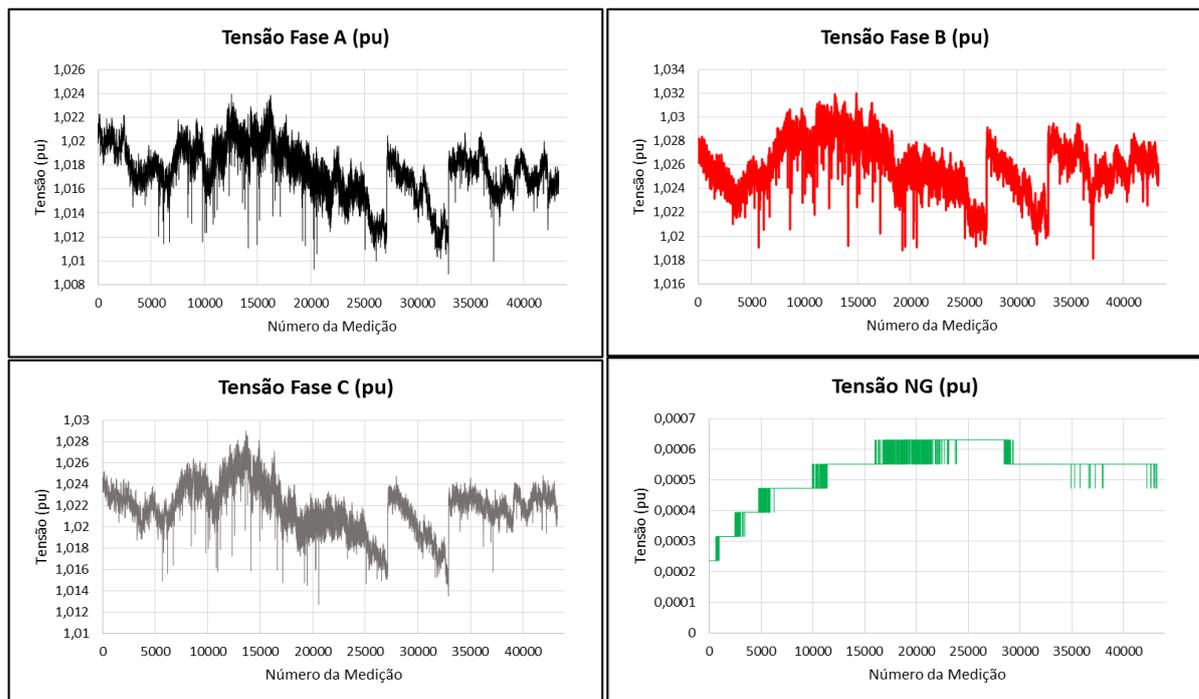
$$Correl (X, Y) = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (25)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

i. TENSÃO EM REGIME PERMANENTE.

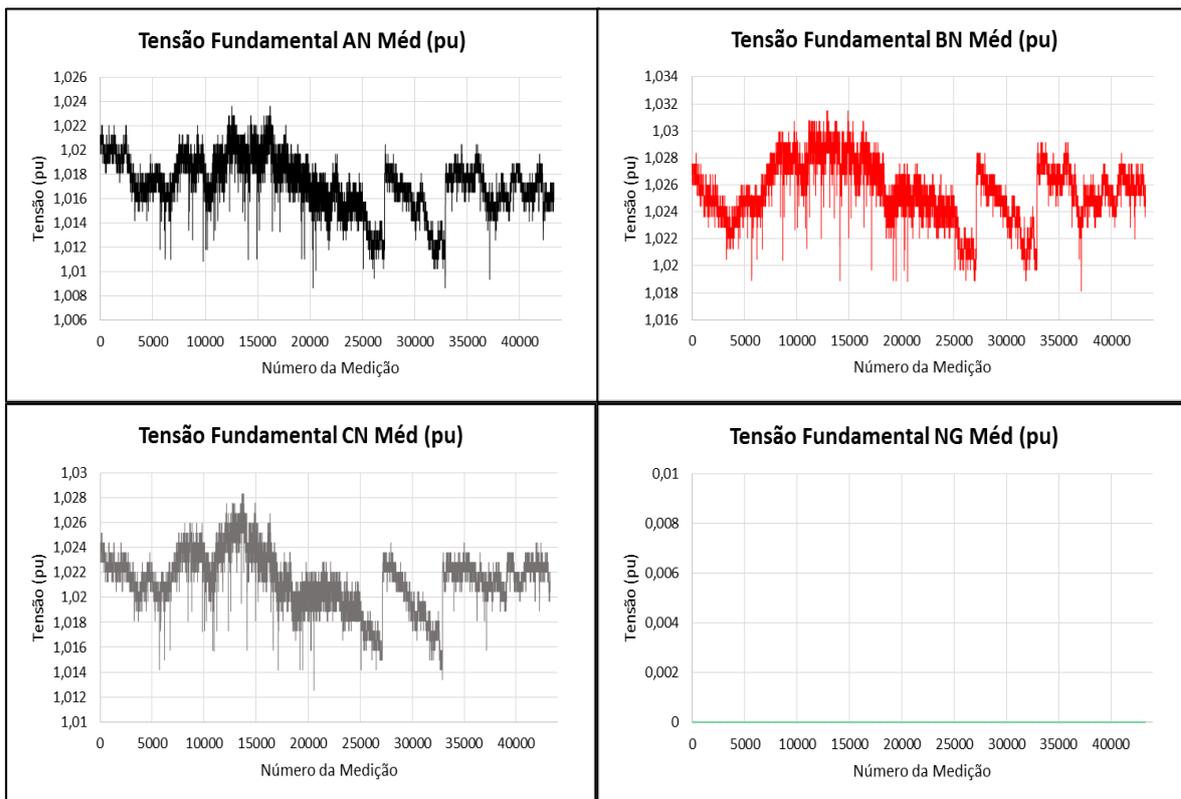
Os gráficos apresentados na Figura 18 demonstram as tensões (RMS) em pu considerando uma tensão de base de 127V, devido ao fato do sistema ser 220V trifásico. Já nos gráficos da figura abaixo, tem-se a tensão fundamental também em pu. Em ambas as demonstrações percebe-se uma sobretensão de caráter quase que permanente, a qual está entre pouco menos de 2 e 3V nos valores médios de tensão. Além disso, pode ser percebida a presença de pontos onde tem-se a impressão da presença de afundamentos, dos quais serão verificadas a existência em momento oportuno.

Figura 18- Gráficos de Tensão RMS em pu.



Fonte: O Autor.

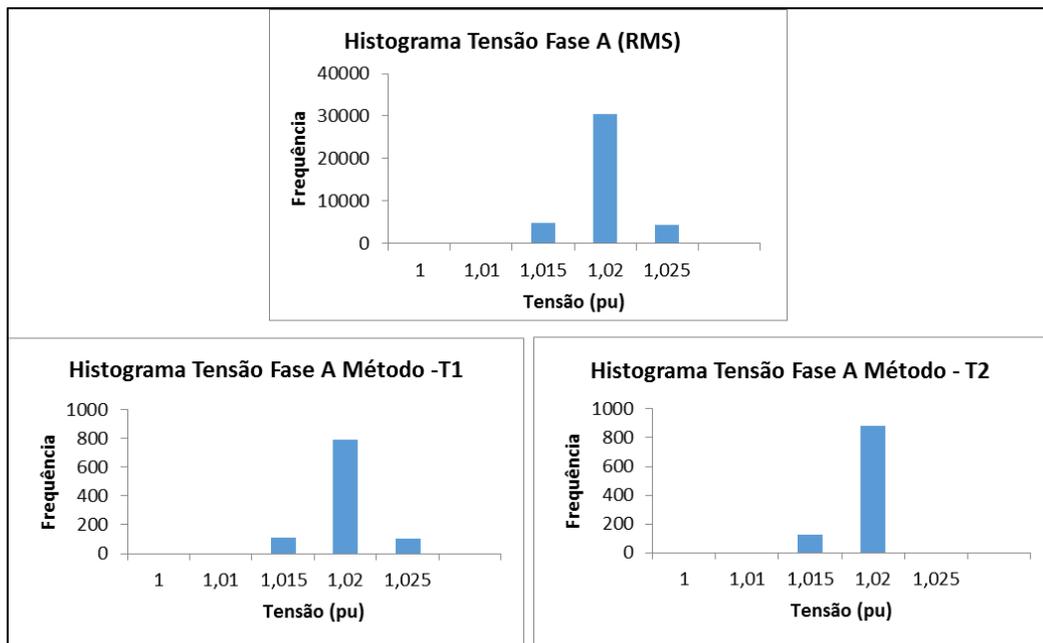
Figura 19- Gráficos de Tensão Fundamental em pu.



Fonte: O Autor.

Ademais, foram realizadas as análise baseadas nas metodologias propostas, e com a montagem de histogramas visando a comparação das metodologias com os dados brutos, esta comparação foi realizada para cada fase, e também para os valores de tensão fundamental e de tensão rms. Foram também realizados os cálculos de DRP e DRC para comparação com os limites, propostos pelo PRODIST, levando em consideração os valores determinados para níveis de tensão inferiores a 1kV.

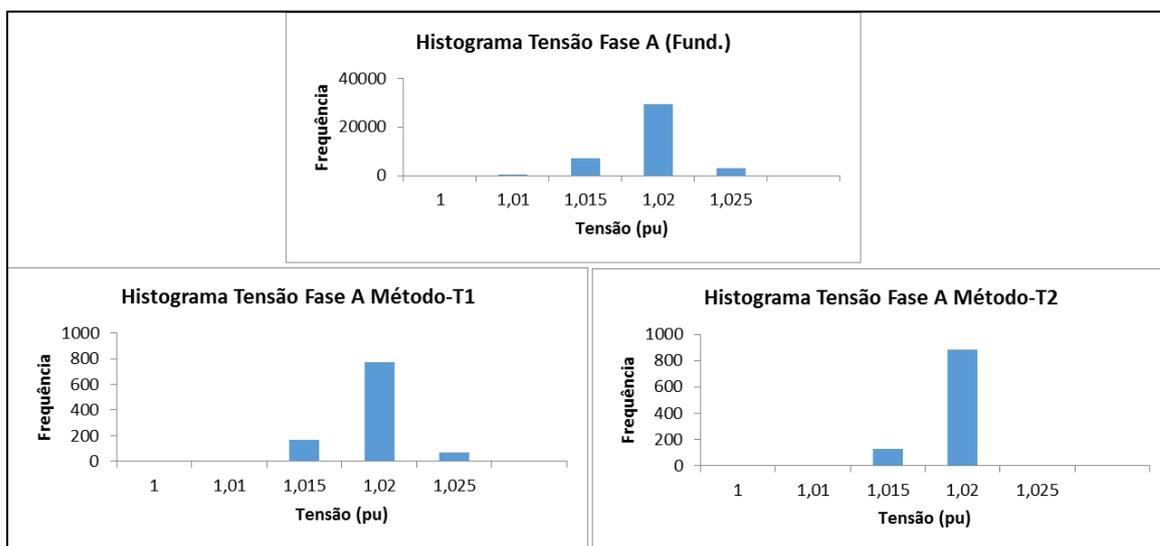
Figura 20 – Histogramas para comparação entre metodologias Fase A (RMS).



Fonte: O Autor.

Nota-se que o comportamento apresentado para o histograma elaborado para os dados gerais, demonstra similaridade com a metodologia T1, já na metodologia T2 percebe-se a redução de valores em menor proporção o que acabou por remover os valores próximos a 1,025pu.

Figura 21- Histogramas para comparação entre metodologias Fase A (Fund.).



Fonte: O Autor.

Em análise à tensão fundamental na fase A, percebeu-se comportamento semelhante, no que tange o determinado pelas metodologias.

Tabela 15- Porcentagem de maior frequência de observação dentre as metodologias.

Porcentagem de Maior Frequência de Observação dentre as Metodologias.			
Fase	Normal (%)	T1(%)	T2(%)
A (RMS)	76,85	78,77	87,50
A (Fund.)	73,96	76,69	87,50

Fonte: O Autor.

Percebe-se que entre a análise dita normal (que é a análise dos dados brutos), e a apresentada pela metodologia T1, obtêm-se valores aproximados, o que pode apresentar uma tendência satisfatória. A metodologia T2 apresenta um aumento e valor igual entre as duas análises realizadas.

Tabela 16- Verificação dos Indicadores Fase A (RMS).

Verificação Dos Indicadores -Fase A			
DADOS	FASE A (RMS)	T1	T2
nlp	0	0	0
nlc	0	0	0
DRP	0	0	0
DRC	0	0	0

Fonte: O Autor.

Tabela 17- Verificação dos Indicadores Fase A (Fund.).

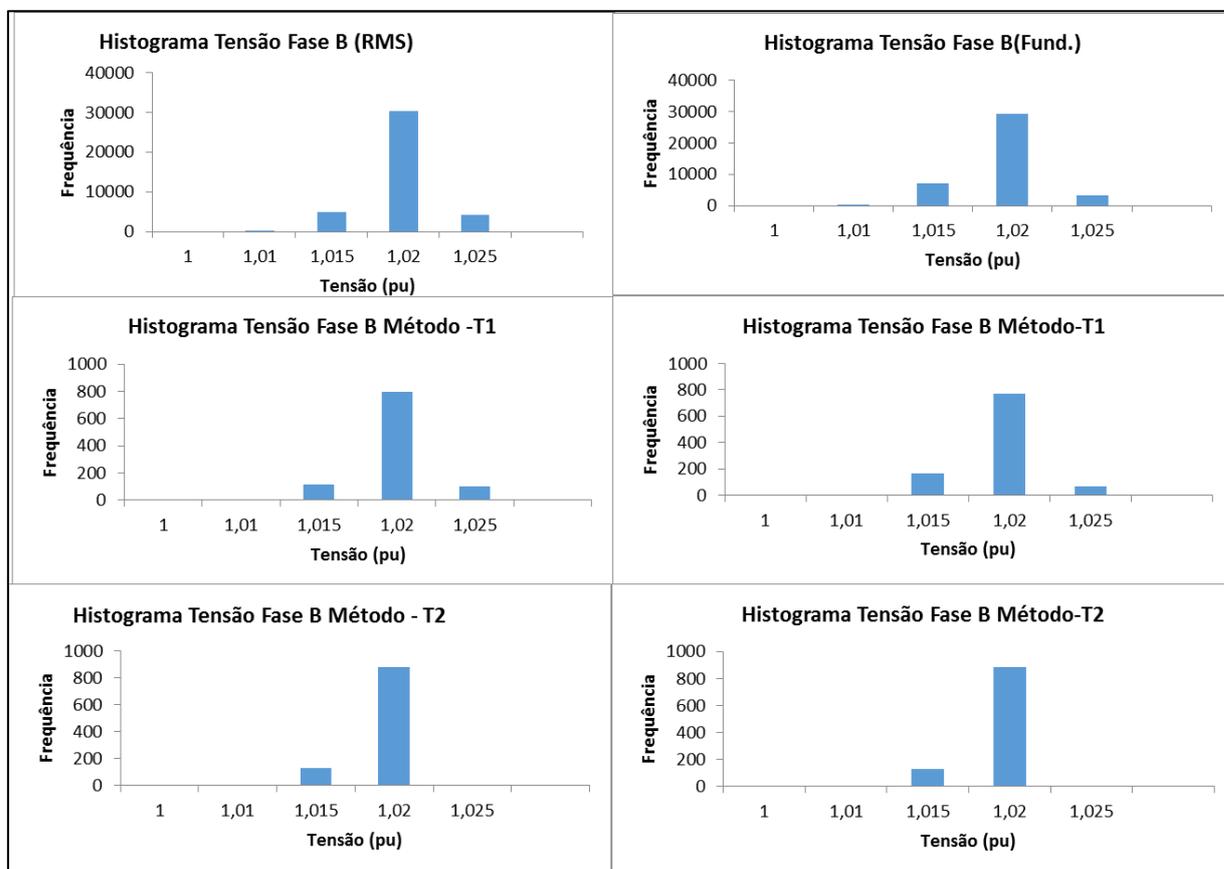
Verificação Dos Indicadores-Fase A			
DADOS	FASE A (Fund.)	T1	T2
nlp	0	0	0
nlc	0	0	0
DRP	0	0	0
DRC	0	0	0

Fonte: O Autor.

Em análise aos indicadores, percebe-se que não houve medidas em caráter precário ou crítico, deste modo os indicadores apresentados pela fase A são zero e estão, desta forma, em conformidade com os critérios estabelecidos pela normatização vigente.

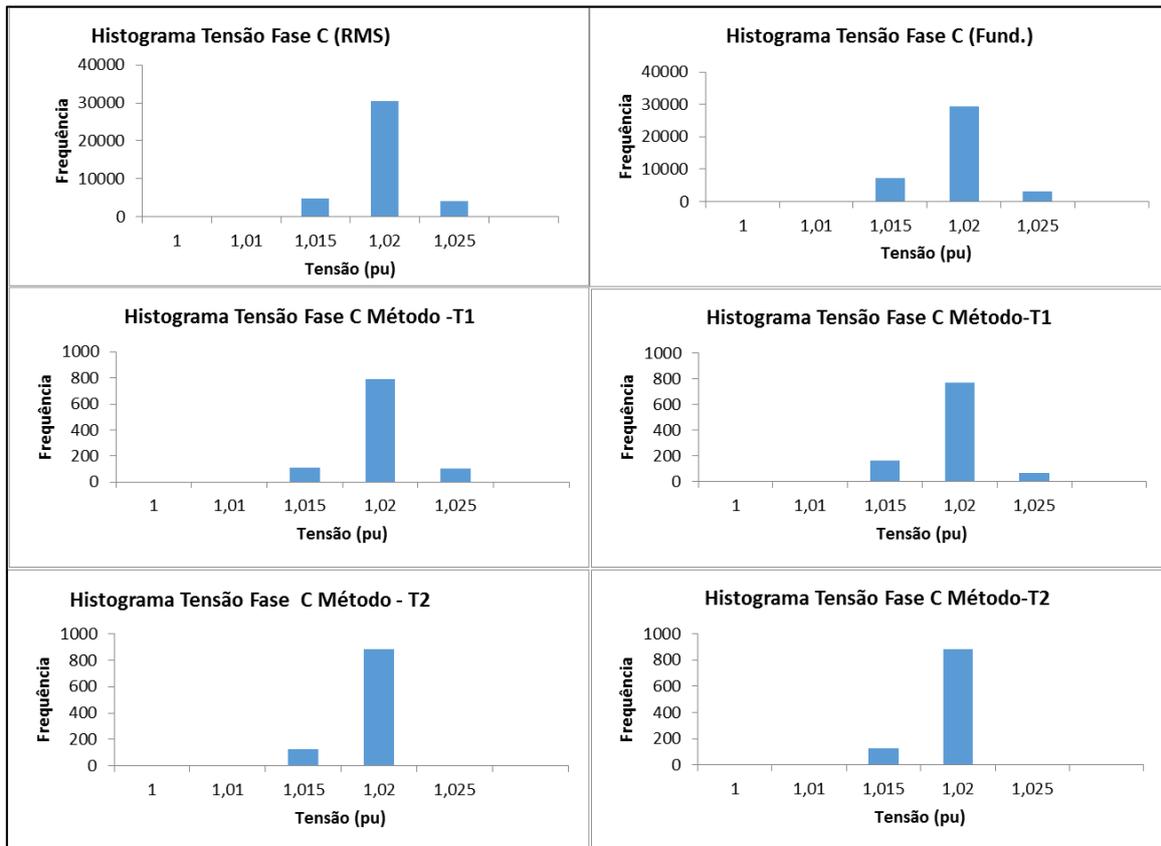
A seguir serão dispostos os dados obtidos para as fases B e C, entretanto de antemão ressalta-se que os mesmos apresentaram resultados similares aos encontrados para fase A. Para exemplo de situação da tensão em regime permanente utiliza-se por definição, sempre a pior fase, entretanto qualquer uma das apresentadas são passíveis de serem dadas como resultado final, no qual conclui-se que as tensões durante o processo apresentam caráter adequado.

Figura 22- - Histogramas para comparação entre metodologias Fase B (Fund. e RMS).



Fonte: O Autor.

Figura 23- Histogramas para comparação entre metodologias Fase C (Fund. e RMS).



Fonte: O Autor.

Tabela 18- Porcentagem de Maior Frequência de Observação dentre as Metodologias.

Porcentagem de Maior Frequência de Observação dentre as Metodologias.			
Fase	Normal (%)	T1(%)	T2(%)
B (RMS)	76,85	78,77	87,50
B (Fund.)	73,96	76,69	87,50
C (RMS)	76,85	78,77	87,50
C (Fund.)	73,96	76,69	87,50

Fonte: O Autor.

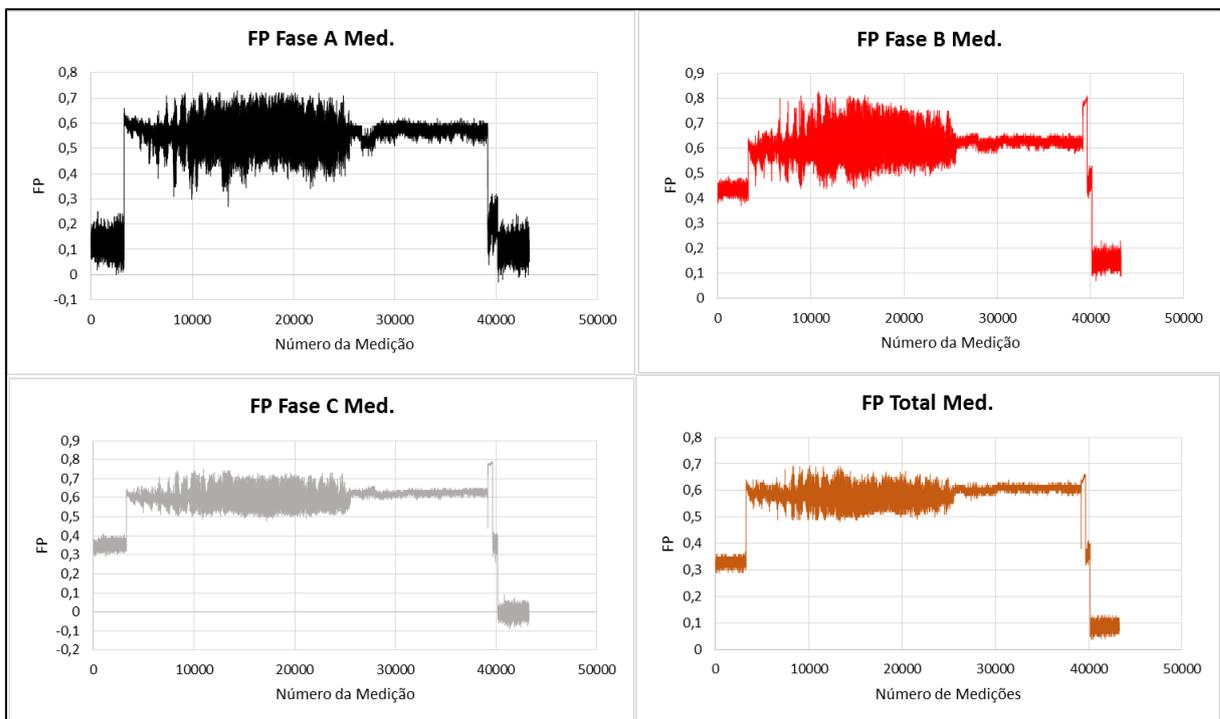
Assim como dito anteriormente, as análises apresentaram resultados semelhantes o que demonstra uma tensão adequada em regime permanente em ambas as fases, além do que os valores em porcentagem para a verificação do elemento de maior observação apresentaram valores invariáveis dentro da precisão de duas casas decimais estabelecidas pelo autor. No que

tange os indicadores DRP e DRC, os mesmos também se mostraram com valor zero para as fases B e C, tanto ao se analisar a tensão RMS quanto a fundamental.

ii. FATOR DE POTÊNCIA E DPF

Em um primeiro momento, foram plotados os gráficos do fator de potência e do DPF (Displacement power factor), em relação ao número de medições, com o objetivo de se verificar o comportamento dos mesmos antes, durante e depois da realização do processo de soldagem.

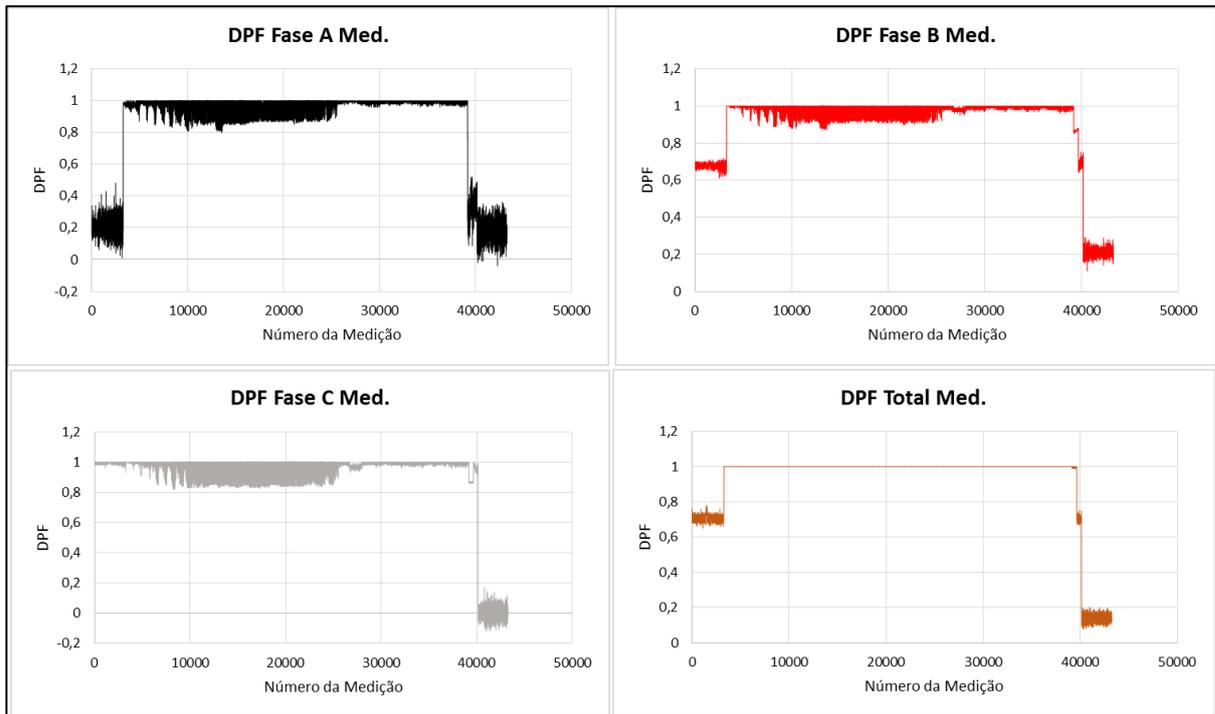
Figura 24- Gráficos do Fator de Potência por Fase e Total .



Fonte: O Autor.

Observa-se nos gráficos plotados que antes do estabelecimento do arco (medição 3601) para o processo de deposição e também após o seu fim (medição 42653), os valores do fator de potência apresentam resultados significativamente baixos, o que pode por sua vez pode estar correlacionado com a energização do circuito interno da fonte.

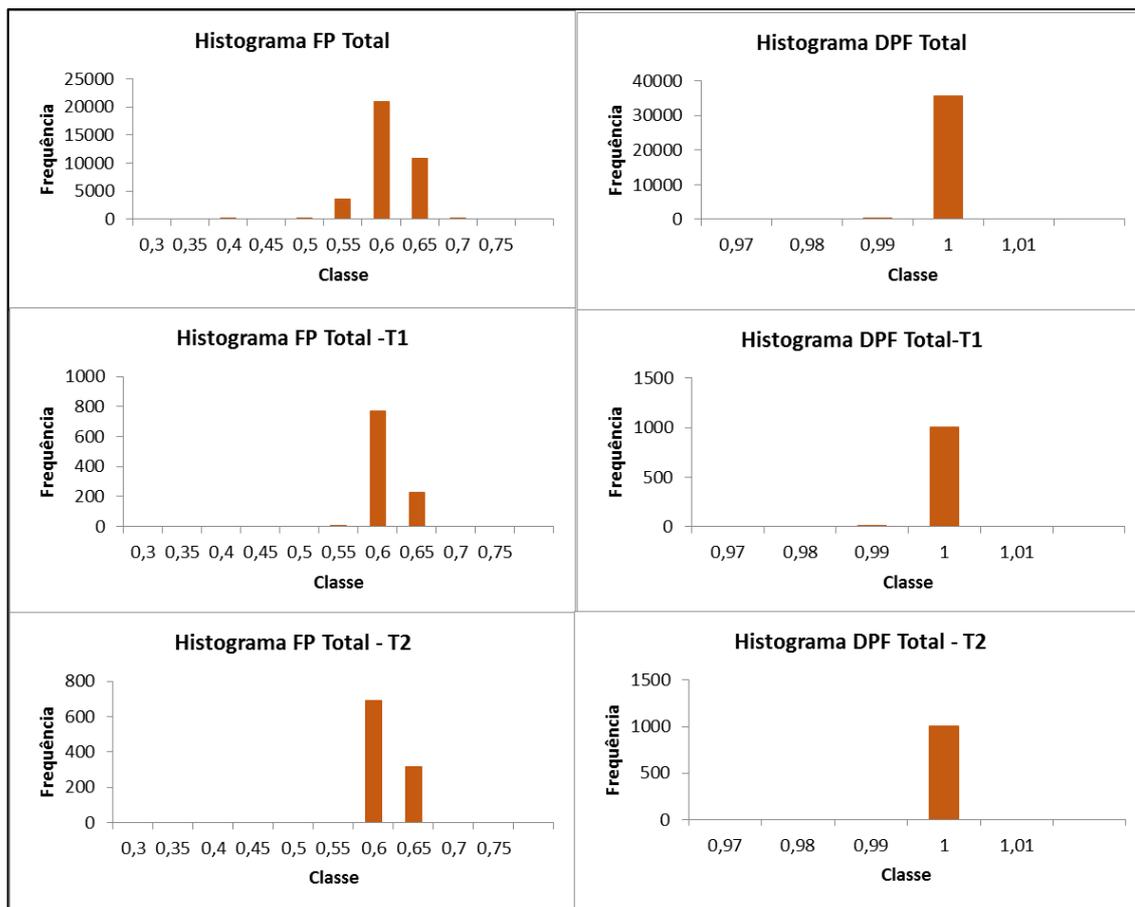
Figura 25- Gráficos do DPF por Fase e Total.



Fonte: O Autor.

Em análise ao DPF, percebe-se que ao início do processo, apenas a fase C, já possui caráter unitário, as outras obtêm este, após o estabelecimento do arco elétrico.

Figura 26- Histogramas para comparação entre metodologias (FP e DPF).



Fonte: O Autor.

Para a análise das metodologias, optou-se por verificar apenas os valores totais do FP e do DPF, deste modo visualizou-se a moda da medição de FP foi de 0,6 e a de DPF foi de 1.

Tabela 19- Porcentagem de Maior Frequência de Observação dentre as Metodologias (FP e DPF).

Porcentagem de Maior Frequência de Observação dentre as Metodologias.			
Grandeza	Normal (%)	T1(%)	T2(%)
PF	58,86	63,57	68,75
DPF	99,61	99,60	100,00

Fonte: O Autor.

Observou-se que os valores obtidos pelas metodologias novamente apresentaram grande similaridade para com a estruturação normal dos dados. Foi feita ainda, a correlação entre os

valores por fase e os valores totais do FP e do DPF, visando verificar a existência de correlação entre estas.

Tabela 20- Correlação entre fases e total do FP medido.

Correlação Entre FP por Fase e Total				
	FP Fase A	FP Fase B	FP Fase C	FP Total
FP Fase A	1			
FP Fase B	0,789936009	1		
FP Fase C	0,830418547	0,933394356	1	
FP Total	0,897887109	0,948336363	0,975677149	1

Fonte: O Autor.

Em análise dos valores obtidos por meio da correlação, percebe-se que a fase C possui maior correspondência com os valores de FP totais. Já a fase A, possui o menor fator dentre as três.

Tabela 21- Correlação entre fases e total do DPF medido.

Correlação Entre DPF por Fase e Total				
	DPF Fase A	DPF Fase B	DPF Fase C	DPF Total
DPF Fase A	1			
DPF Fase B	0,889815787	1		
DPF Fase C	0,63592833	0,895346277	1	
DPF Total	0,854829994	0,991568161	0,916441702	1

Fonte: O Autor.

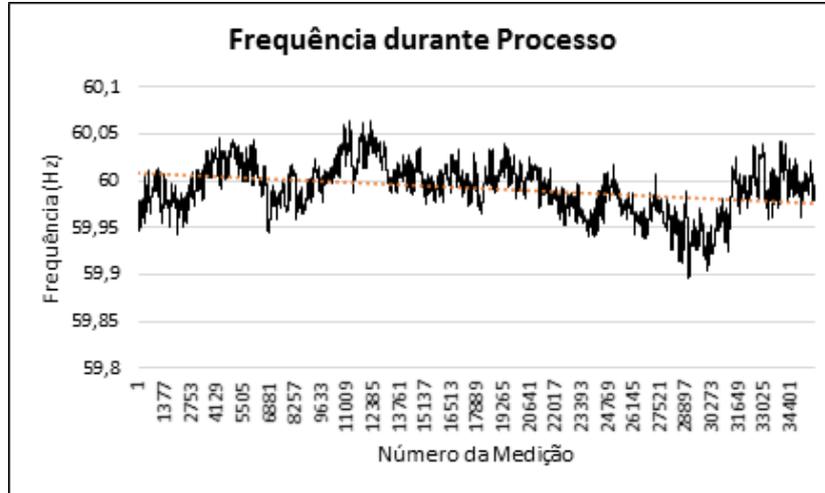
Com relação ao DPF, nota-se que a a fase B possui o maior fator de correlação, já a fase A ainda apresenta o menor dentre as três.

Além das análises realizadas, percebe-se ainda, conforme ressaltado, altos valores de DPF e baixos de FP o que segundo [30], indica problemas relativos à harmônicos, onde não é possível que se faça a correção do fator de potência apenas com banco de capacitores. A alternativa apresentada pode ser a adição de transformadores mitigadores ou reatores de linha.

Com relação ao PRODIST, tem-se que o valor do fator de potência está fora do que está estabelecido (0,92 a 1, capacitivo ou indutivo). Este, por sua vez, pode ser responsável por maior faturamento devido à excessos de reativo.

iii. FREQUÊNCIA

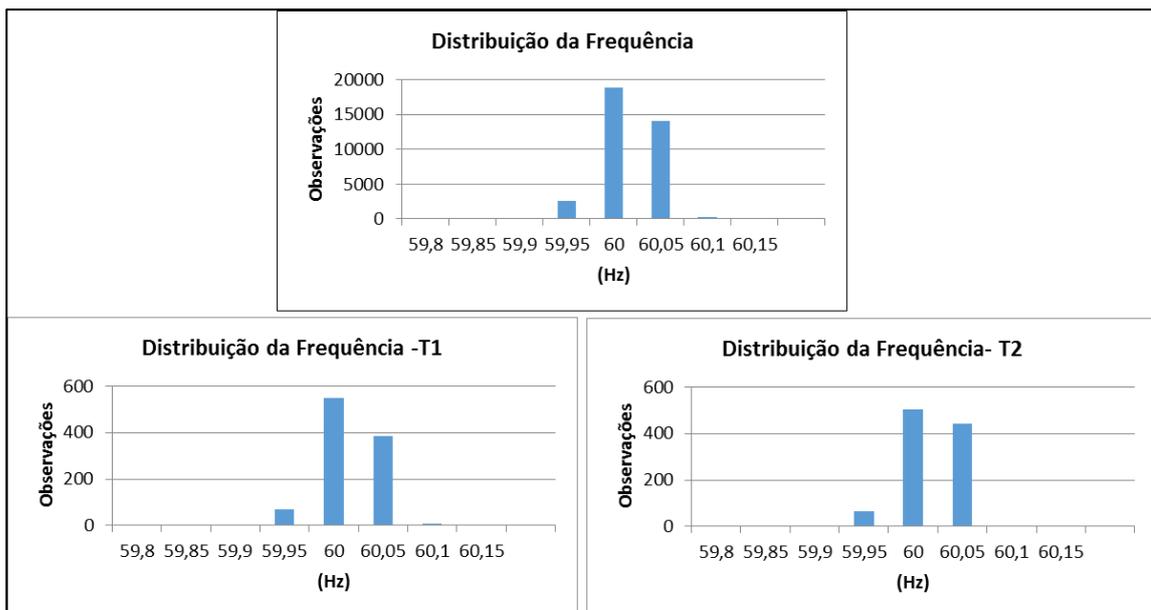
Figura 27- Gráfico da Frequência durante o Processo.



Fonte: O Autor.

O gráfico acima mostra a variação da frequência ao decorrer das medições. Destaca-se que a linha pontilhada em laranja representa a tendência da distribuição. Foram realizadas as análises propostas onde os histogramas obtidos estão dispostos a seguir.

Figura 28- Histogramas para comparação entre metodologias (Frequência).



Fonte: O Autor.

Em todas as metodologias de análise a moda das observações foi o valor de 60 Hz e em segundo lugar o valor de 60,05 Hz. Em relação à análise das metodologias, percebe-se resultados significativamente próximos, conforme visto na tabela a seguir.

Tabela 22- Porcentagem de Maior Frequência de Observação dentre as Metodologias (Frequência).

Porcentagem de Maior Frequência de Observação dentre as Metodologias.			
Grandeza	Normal (%)	T1(%)	T2(%)
Frequência	52,69	54,27	50,00

Fonte: O Autor.

Tabela 23- Valores de Frequência.

Valores de Frequência			
Classe	Freq. Med	T1	T2
Mín	59,897	59,909	59,941
Med	59,994	59,994	59,998
Máx	60,065	60,063	60,017

Fonte: O Autor.

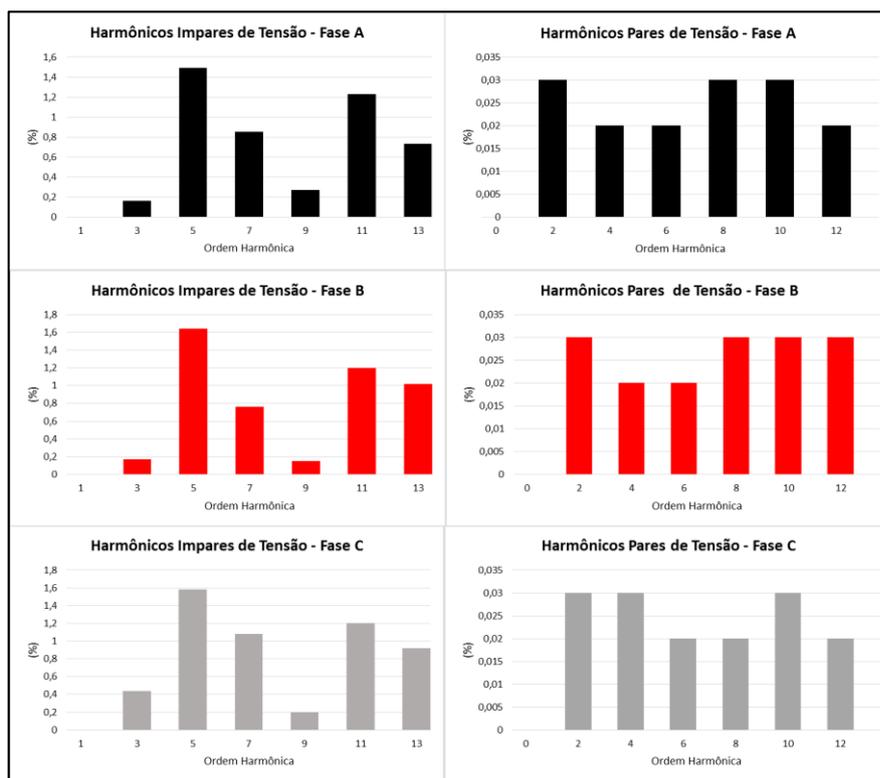
Pode-se notar que os valores mínimos, médios e máximos apresentaram grande similaridade, para a análise total, T1 e T2. Os valores encontrados para todas as metodologias estão de acordo com o estabelecido com o PRODIST, que diz que a frequência em regime permanente deve manter-se entre 59,9 e 60,1.

iv. HARMÔNICOS DE TENSÃO

No que tange a análise dos harmônicos de tensão, assim como pressuposto devido aos dados do FP e do DFP, notou-se a presença de harmônicos no sistema. Como medida de análise visual foram plotados os gráficos dispostos na figura a seguir, onde temos a separação da ordem harmônica apenas entre ímpares (sendo suprimidos os $h = 0$ e 1) e pares por fase. Para que se obtivesse um parâmetro de análise de valores significativos (devido ao grande acúmulo de dados), foi estabelecido um critério da análise. Tomou-se por base a média dos valores de

distorção harmônica (%), ao obter-se para uma mesma ordem harmônica valores inferiores a 0,01% (critério estabelecido pelo autor), para as três fases, a mesma será descartada da análise dos dados. Após o estabelecimento do critério, todas as ordens harmônicas abaixo da 13ª, tornaram-se passíveis de serem analisadas.

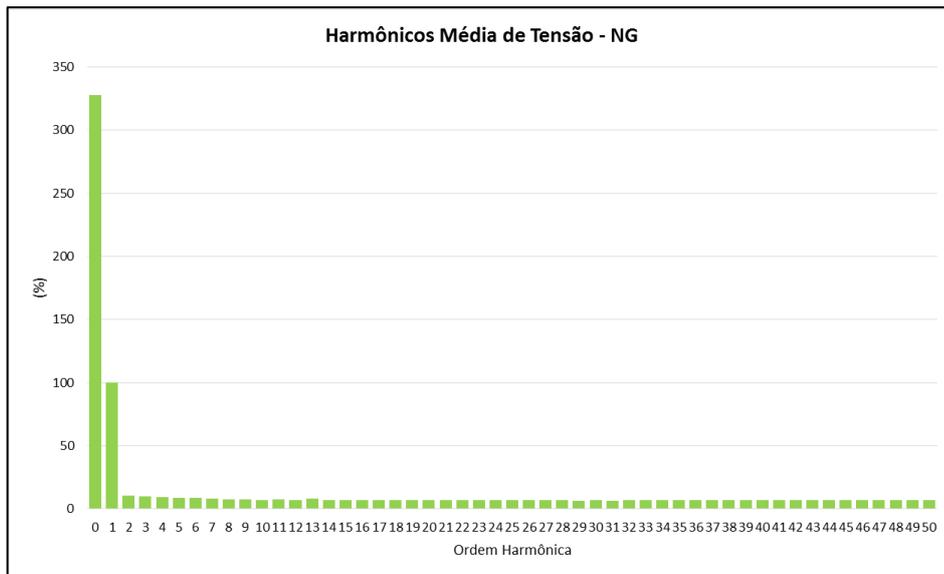
Figura 29- Ordens Harmônicas Ímpares e Pares por Fase.



Fonte: O Autor.

Além da análise para as fases, foi também realizada a análise dos harmônicos entre o neutro e o terra, onde a princípio percebeu-se os maiores valores de distorções harmônicas de tensão presentes no sistema. Por ter sido estabelecido o critério supracitado, para os casos das distorções harmônicas entre neutro e terra, todos os valores medidos foram considerados para a análise. Percebe-se também um valor muito grande para o V_0 , o qual passou de 300% da tensão fundamental medida. Os valores das demais ordens ficaram contidos entre 6 e 9 %, sendo deste modo, devido a discrepância do valor de ordem 0, praticamente impossível a distinção dos mesmos na escala apresentada pelo gráfico.

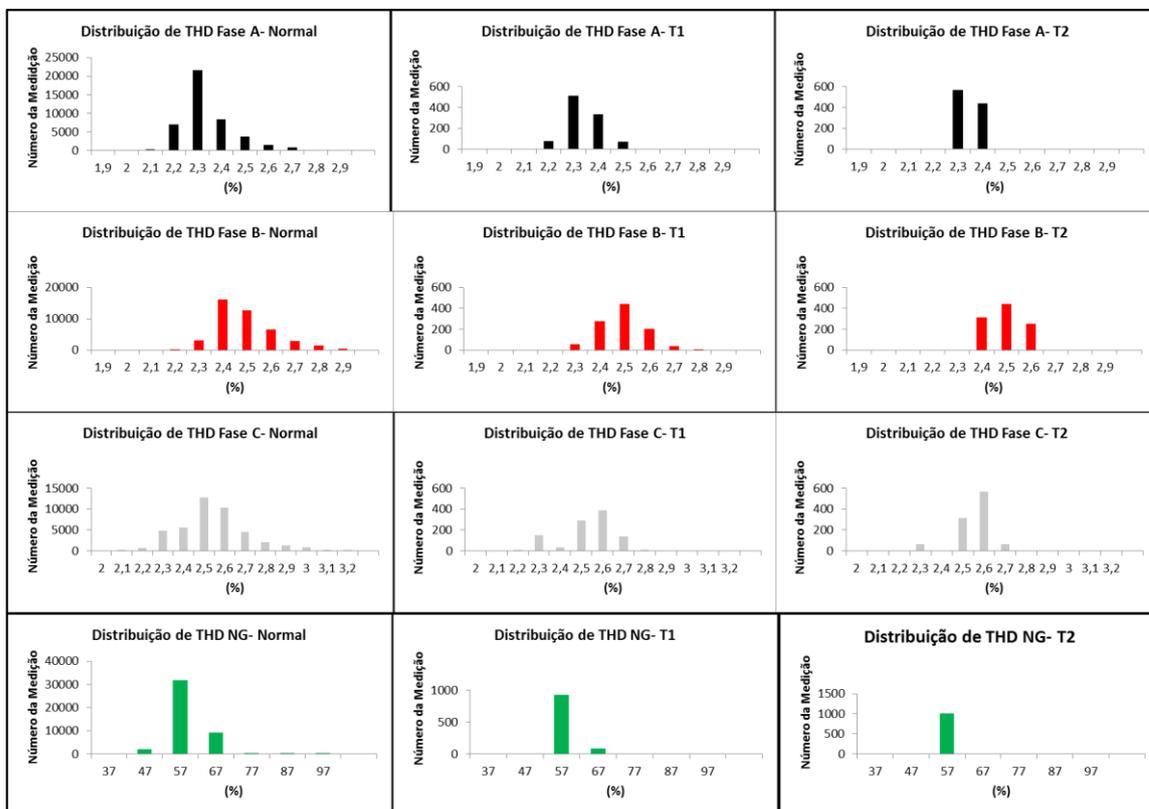
Figura 30- Harmônicos de Tensão NG (neutro terra).



Fonte: O Autor.

Para estes, foram realizada também a análise das metodologias a serem aplicadas para a aproximação com os critérios de medição estabelecidos pelo PRODIST.

Figura 31- Distribuições dos Valores medidos Por Fase e Metodologia.



Fonte: O Autor.

Tabela 24 - Maior Porcentagem do Valor Mandatário dentre as Metodologias para a Fase A.

Maior Porcentagem do Valor Mandatário dentre as Metodologias - FASE A			
INDICADOR	Normal (%)	T1(%)	T2(%)
DTHp	53,67	79,76	87,50
DTHI	44,19	60,42	87,50
DTH3	19,08	46,73	43,75

Fonte: O Autor.

Tabela 25- Maior Porcentagem do Valor Mandatário dentre as Metodologias para a Fase B.

Maior Porcentagem do Valor Mandatário dentre as Metodologias - FASE B			
INDICADOR	Normal (%)	T1(%)	T2(%)
DTHp	28,14	47,72	62,50
DTHI	43,46	49,80	56,25
DTH3	40,37	39,68	43,75

Fonte: O Autor.

Tabela 26- Maior Porcentagem do Valor Mandatário dentre as Metodologias para a Fase C.

Maior Porcentagem do Valor Mandatário dentre as Metodologias - FASE C			
INDICADOR	Normal (%)	T1(%)	T2(%)
DTHp	38,00	68,15	87,50
DTHI	21,65	35,81	50,00
DTH3	40,38	38,39	37,50

Fonte: O Autor.

Tabela 27- Maior Porcentagem do Valor Mandatário dentre as Metodologias para NG.

Maior Porcentagem do Valor Mandatário dentre as Metodologias - NG			
INDICADOR	Normal (%)	T1(%)	T2(%)
DTHp	37,08	42,36	37,50
DTHI	57,26	72,02	81,25
DTH3	52,87	65,67	75,00

Fonte: O Autor.

Tabela 28- Maior Porcentagem do Valor Mandatário dentre as Metodologias para DHT.

Maior Porcentagem do Valor Mandatário dentre as Metodologias - DTH			
FASE	Normal (%)	T1(%)	T2(%)
A	49,92	50,89	56,25
B	37,64	43,55	43,75
C	29,57	38,39	56,25
NG	73,51	91,77	100,00

Fonte: O Autor.

Mediante a análise das metodologias, verificou-se que, entre a análise dos dados brutos e da metodologia T1, há a observação de um valor máximo de aproximadamente 18% de diferença. Já em análise à Metodologia T2, também verificou-se valor máximo próximo à 18%. Ademais, os valores apresentaram-se significativamente reduzidos, entretanto o valor máximo associado aos indicadores, pode ser responsável pela itensificação da definição de um limiar como fora dos critérios estabelecidos por norma. Em contra partida, em análise aos indicadores a oscilação se mostrou bem reduzida em comparação com os resultados por ordem harmônica. Neste ponto, foram calculados os indicadores tomando por base o percentil 95, os quais estão dispostos na tabela a seguir.

Tabela 29- Valor dos Indicadores para as Diferentes Metodologias.

VALOR DOS INDICADORES PARA DIFERENTES METODOLOGIAS					
INDICADOR	MÉTODO	A	B	C	NG
DTT95%	NORMAL	2,520	2,690	2,820	61,080
	T1	2,410	2,590	2,650	57,680
	T2	2,380	2,560	2,620	56,850
DTH_p95%	NORMAL	0,087	0,087	0,092	36,402
	T1	0,076	0,077	0,077	33,623
	T2	0,072	0,074	0,070	33,020
DTH_i95%	NORMAL	2,446	2,621	2,645	34,134
	T1	2,333	2,551	2,531	31,506
	T2	2,299	2,502	2,496	30,889
DTH₃95%	NORMAL	0,694	0,595	0,906	34,754
	T1	0,580	0,511	0,739	32,065
	T2	0,562	0,495	0,712	31,408

Fonte: O Autor.

Levando-se em consideração os critérios estabelecidos pelas normas vigentes, nenhum dos indicadores das fases A, B e C apresentaram valores aquém do estabelecido em norma. Entretanto, utilizando-se os mesmos critérios estipulados para a análise dos indicadores em NG, os mesmos apresentaram em sua totalidade valores muito acima dos estabelecidos, na Tabela 2.

v. FLUTUAÇÕES DE TENSÃO

Em primeiro momento, foi realizada a análise dos dados em conformidade com as metodologias propostas (T1 e T2), das quais originaram-se as tabelas a seguir.

Tabela 30- Maior Porcentagem do Valor Mandatário Pst e Plt- Fase A.

Maior Porcentagem do Valor Mandatário dentre as Metodologias - FASE A			
INDICADOR	Normal (%)	T1(%)	T2(%)
Pst	49,67	45,24	62,50
Plt	70,47	73,21	62,50

Fonte: O Autor.

Na Tabela 30 percebe-se a proximidade entre a metodologia T1 e os valores medidos, já metodologia T2 apresenta uma discrepância considerável, principalmente tratando-se do Pst.

Tabela 31- Maior Porcentagem do Valor Mandatário Pst e Plt- Fase B.

Maior Porcentagem do Valor Mandatário dentre as Metodologias - FASE B			
INDICADOR	Normal (%)	T1(%)	T2(%)
Pst	49,67	50,50	50,00
Plt	70,47	73,21	62,50

O Autor.

Na tabela 31, pode-se notar que para o Pst o valor da metodologia T2 apresentou proximidade maior com a medição dos dados brutos, no entanto em análise ao Plt, a metodologia T1 apresentou valores mais próximos do valor normal.

Tabela 32- Maior Porcentagem do Valor Mandatário Pst e Plt- Fase C.

Maior Porcentagem do Valor Mandatário dentre as Metodologias - FASE C			
INDICADOR	Normal (%)	T1(%)	T2(%)
Pst	49,67	50,40	43,75
Plt	70,47	73,21	62,50

Fonte: O Autor.

Na tabela 32, novamente a metodologia T1 apresentou resultados mais aproximados aos obtidos na análise dos dados ditos normais. Verificou-se oscilações de no máximo 3%. Por fim, foram realizados os cálculos do percentil 95 para os valores de Pst e Plt, para as três fases e metodologias, os quais estão descritos na tabela a seguir.

Tabela 33- Valor dos Indicadores de Flutuação para Diferentes Metodologias.

VALOR DOS INDICADORES PARA DIFERENTES METODOLOGIAS				
INDICADOR	MÉTODO	A	B	C
Pst95%	NORMAL	0,568	0,483	0,590
	T1	0,568	0,483	0,590
	T2	0,56	0,4505	0,5445
Plt95%	NORMAL	0,425	0,349	0,425
	T1	0,425	0,349	0,425
	T2	0,425	0,349	0,425

Fonte: O Autor.

No módulo 8 do PRODIST, temos a definição para os valores apenas do indicador Pst95%, entretanto foi feito também o cálculo para o Plt. Para valores de tensão nominal abaixo de 1kV, o indicador não pode ultrapassar 1pu. Deste modo verificou-se que para nenhuma dos métodos de análise obteve-se um valor superior a este.

Segundo Ezio (2013), em [2], o processo pulsado apresenta os menores valores dentre os indicadores de Flutuação de Tensão. Devido a isto, espera-se nos demais processos que maiores valores do indicador sejam verificados, os quais podem sofrer variações decorrente da parametrização do processo de deposição.

vi. HARMÔNICOS DE CORRENTE

No PRODIST, não há recomendações a respeito da análise das correntes harmônicas, deste modo optou-se por comparar os valores obtidos em medição com o recomendado pela IEEE Std 519-2014. Como primeiro fator, os valores dos indicadores para as ordens harmônicas de corrente são dados a partir da relação de divisão entre a corrente de curto medida, pela corrente da carga. Deste modo, os cálculos foram realizados para as três fases e para o neutro, visando descobrir a classe de valores a serem utilizadas para os indicadores.

Tabela 34- Valores calculados de I_{sc}/I_L .

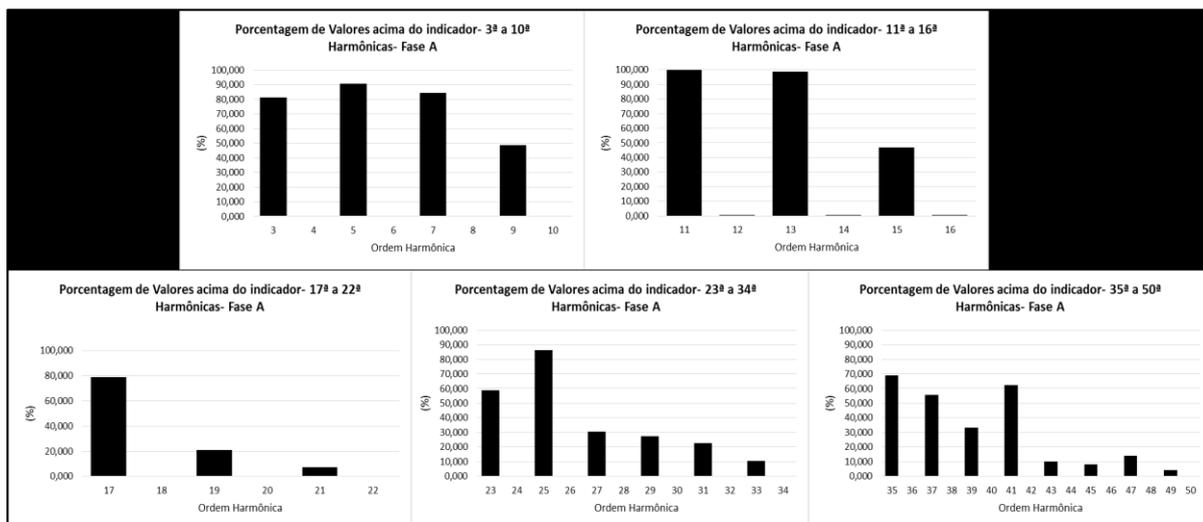
Valores de ISC/IL				
Valor	A	B	C	N
MÍN	144,2	135,1	138,9	7500,0
MÉD	348,7	239,4	213,9	7500,0
MÁX	15000,0	1666,7	1875,0	7500,0

Fonte: O Autor.

Na tabela acima, estão dispostos os valores máximos, mínimos e médios para a razão entre as correntes para as fases A, B e C, estes por sua vez, apresentam todos os indicadores abaixo de mil, exceto para o máximo, deste modo, por esta classe (<1000) apresentar caráter mais criterioso, devido aos menores indicadores aceitos por ordem harmônica optou-se por lançar mão da utilização deste. Para o neutro entretanto, todos os valores (mínimo, médio e máximo) apresentaram ser maiores que 1000, desse modo não se justifica a utilização da mesma classe aplicada às fases.

Após encontrada as classes de indicadores a serem utilizadas, foi necessário a verificação destes em comparação aos indicadores. Como visto na Tabela 13, além da divisão a partir dos valores da razão entre as correntes, como supracitado, há também a divisão entre as ordens, sendo de 3^a à 10^a, 11^a à 16^a, 17^a à 22^a, 23^a à 34^a e 35^a à 50^a. Deste modo, foram realizados os cálculos da porcentagem dentre os medidos, os quais ultrapassam os limites impostos pelos indicadores os quais se seguem.

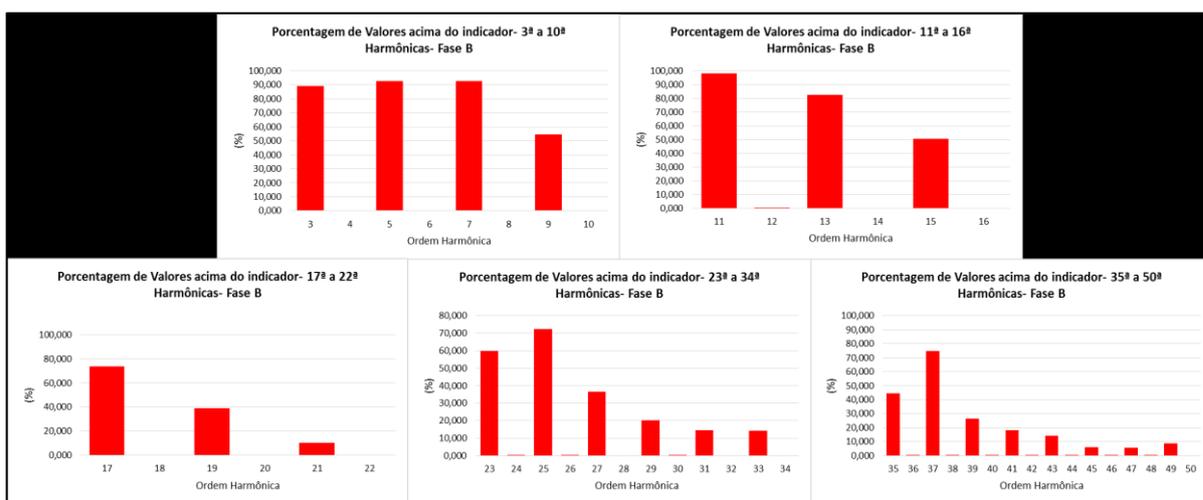
Figura 32- Gráficos da Porcentagem de Valores Acima do Indicador para a Fase A.



Fonte: O Autor.

Para a fase A, percebeu-se grande presença de valores de ordem ímpar, os quais apresentam quase que em sua totalidade, no mínimo 10% dos valores medidos acima do especificado pelos indicadores e com máximos muito próximos a 100%. Em contra partida, apenas as ordens pares 12ª, 14ª e 16ª, apresentaram porcentagem acima dos permitidos pelos indicadores, entretando estes representam menos de 5% em meio aos valores totais.

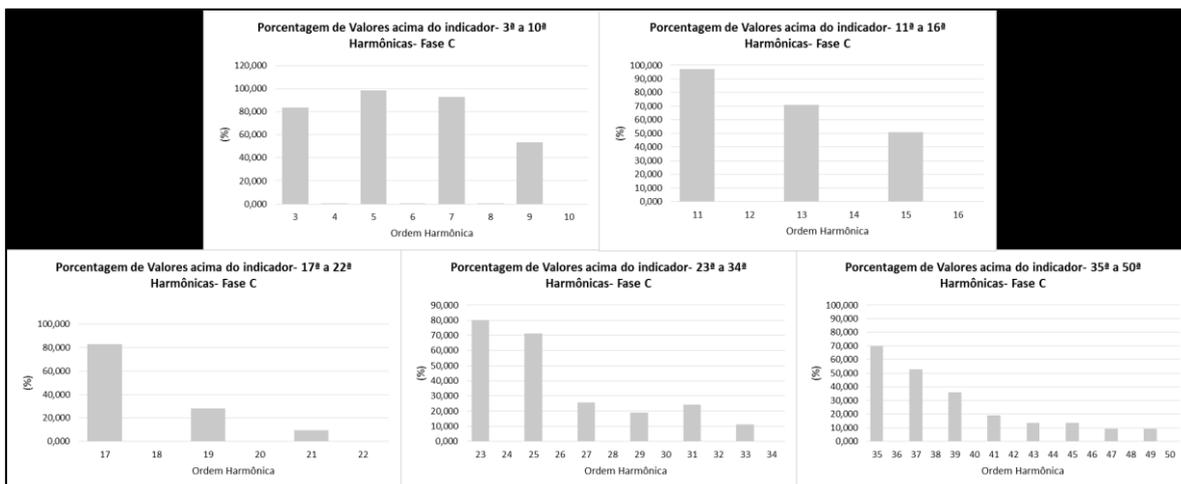
Figura 33- Gráficos da Porcentagem de Valores Acima do Indicador para a Fase B.



Fonte: O Autor.

Para a fase B, verificou-se também uma grande presença dos harmônicos de ordem ímpar, com apenas algumas ordens pares com valores irrisórios. A porcentagem de valores aquém dos indicadores também apresentou valores muito próximos à 100%.

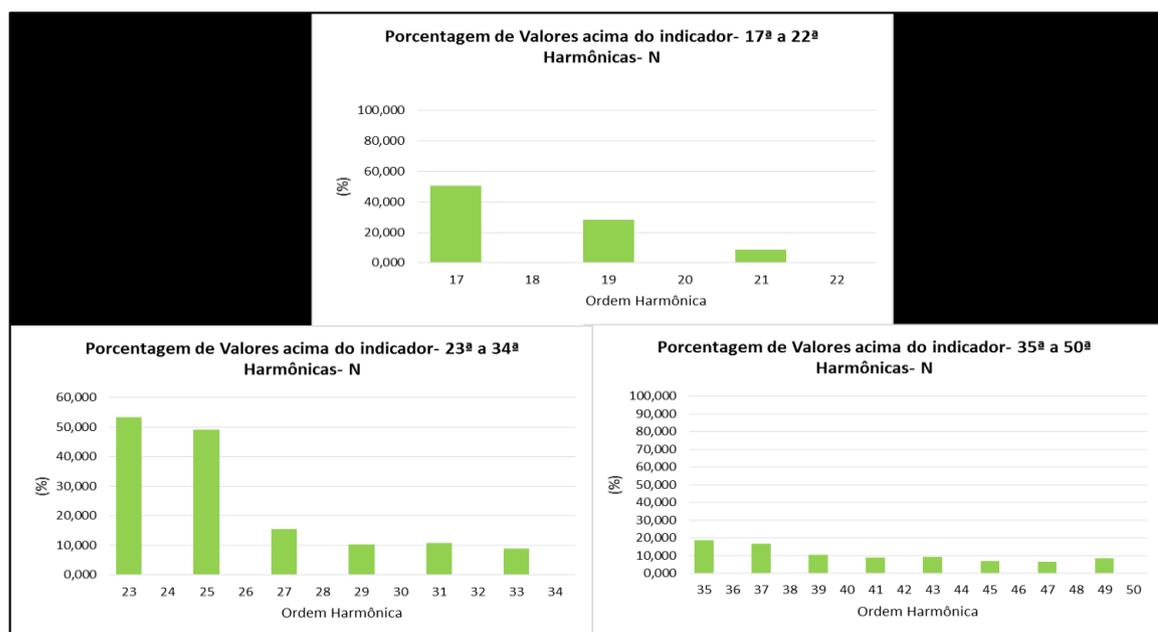
Figura 34- Gráficos da Porcentagem de Valores Acima do Indicador para a Fase C.



Fonte: O Autor.

Para a fase C, o mesmo comportamento foi observado e assim como as demais fases, o maior número de medições com valores acima do respectivo indicador é para as fases entre 11ª a 16ª.

Figura 35- Gráficos da Porcentagem de Valores Acima do Indicador para o Neutro.

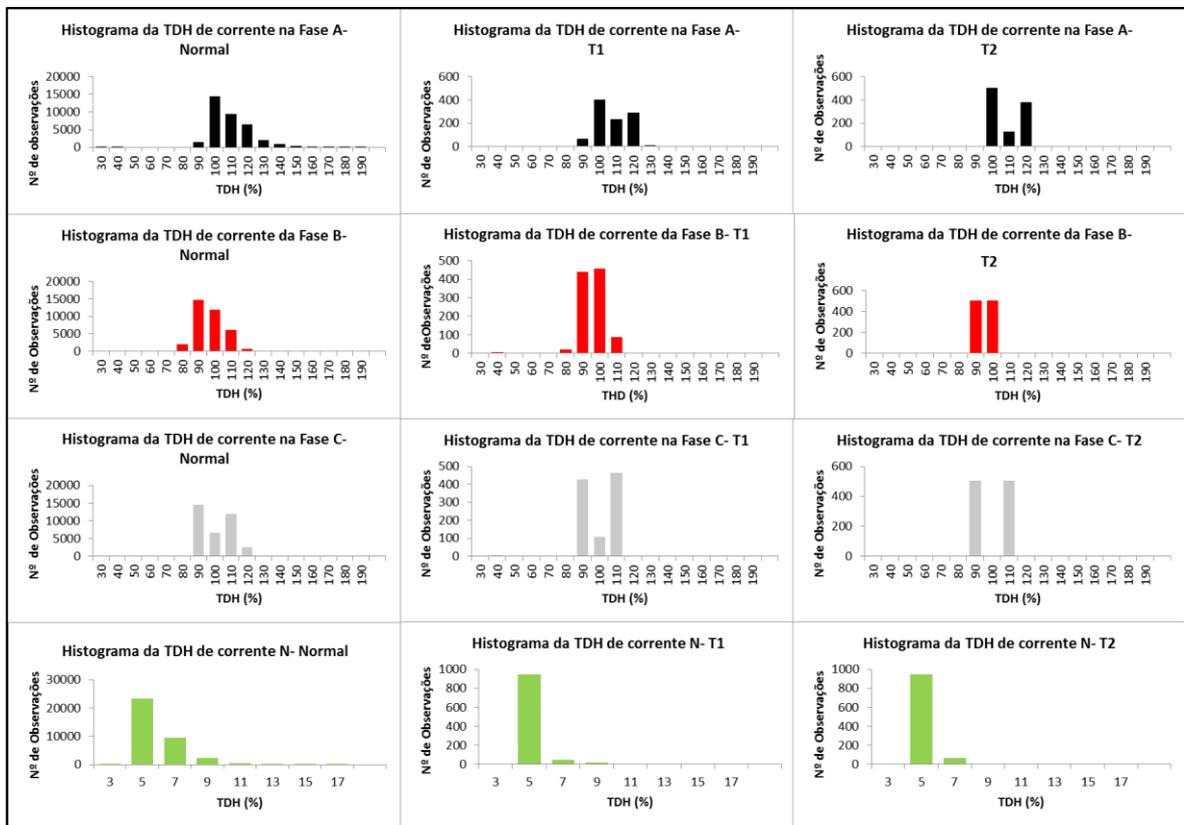


Fonte: O Autor.

Em análise aos valores medidos para o neutro, notou-se uma diferença em relação às fases. Para as ordens harmônicas até a 16ª, nenhuma das medições ultrapassou os critérios estabelecidos pela IEE Std.. A partir dos valores supracitados, observou-se novamente a tendência ao domínios dos de ordem harmônicas ímpares, no entanto, nos casos mais severos, cerca de 60% dos valores medidos ultrapassaram os estipulados pela literatura.

Posteriormente, foi realizada a testagem das metodologias propostas para a averiguação dos indicadores totais das fases e do neutro e foram plotados os histogramas para a visualização dos dados obtidos.

Figura 36- Distribuições dos Valores medidos Por Fase e Metodologia (TDH corrente).



Fonte: O Autor.

Conforme gráficos da figura acima, novamente nota-se certa normalização dos valores com a aplicação das metodologias. Para comparações numéricas, foram realizados os cálculos das porcentagens do valor mandatório, o qual se mantém, independente da metodologia.

Tabela 35- Maior Porcentagem Dentre as Metodologias.

Maior Porcentagem do Valor Mandatário dentre as Metodologias - THD total			
FASE	Normal (%)	T1(%)	T2(%)
A	40,51	39,88	50,00
B	41,34	45,34	50,00
C	40,74	46,13	50,00
N	65,46	93,85	93,75

Fonte: O Autor.

Nesta análise, percebe-se que a metodologia T1, apresenta uma maior similaridade com os valores apresentados pela metodologia normal. Já a metodologia T2 apresenta um certo desvio, que para a situação chegou a valores de cerca de 28%. Para o neutro notou-se uma variação abrupta na aplicação das duas metodologias propostas (T1 e T2), o que pode ter seus efeitos anulados mediante á um significativo aumento do número de repartições (classes de valores).

5. CONCLUSÕES

O trabalho em questão, apresentou a proposta de analisar os efeitos da deposição, mais precisamente da manufatura aditiva para a rede de distribuição de energia elétrica. Somado a este objetivo, foi realizada a proposição de duas metodologias de tratativas de dados em desconformidade com o PRODIST. Deste modo, este visa estabelecer uma contribuição para a melhor compreensão dos efeitos e eventos que ocorrem durante o processo MADA.

Como ressaltado, optou-se por realizar a medição para uma peça com deposição contínua, a fim de se obter o comportamento fidedigno para horas de deposição. Importante que se ressalte aqui, que os valores da parametrização utilizados no processo podem influenciar de forma significativa nos resultados.

Com relação à tensão em regime permanente, notou-se uma sobre tensão de cerca de 3 volts, de forma quase que constante, entretanto os resultados das análises propostas não mostraram desconformidade em nenhum momento. As três fases apresentaram valores de tensão dentro da faixa adequada estabelecida pelo PRODIST.

Para o DPF, verificou-se caráter unitário apenas para a fase C antes da abertura do arco, após este, as demais também obtiveram o mesmo comportamento. O Fp na maioria das medições apresentou valor em torno de 0,6 o qual está fora dos limites definidos entre 0,92 e 1 IND ou CAP.

A verificação da correlação entre valores por fase e totais, mostra que a fase C tende a possuir maior correlação com o valor total de Fp e a fase B apresenta maior relação ao DFP, este sendo alto e com baixo Fp sugere a presença de problemas com harmônicos no sistema. Fator este que foi comprovado com a análise dos harmônicos de tensão que demonstraram a presença das mais diversas ordens. Percebeu-se que as mais influentes eram harmônicos de ordem ímpar até a 16ª ordem, os quais apresentaram o seu percentil 95 acima de 2,2. Entretanto, mesmo sendo comprovada a presença dos mesmos, nenhum dos valores se mostrou acima dos critérios estabelecidos no módulo 8 do PRODIST.

Em análise a frequência da rede durante o processo, verificou-se também a conformidade com critérios estabelecidos, visto que a frequência medida durante todo o processo se manteve entre 59,9 e 60,1 Hz. Para as flutuações de tensão, o percentil 95 do Pst mostrou-se entre 0,45 e 0,59 em todas as fases, sendo o máximo estabelecido pela norma 1 pu, apesar disso [3], demonstra a menor influência do modo pulsado de soldagem na flutuação de tensão. O que para outros modos de transferência podem apresentar maiores efeitos para este fenômeno.

No tange as correntes harmônicas, verificou-se a presença gritante de componentes de ordem ímpar em relação aos indicadores, nos casos menos severos, cerca de 10% dos valores medidos estavam acima dos permitido pelos indicadores dispostos na IEE Std., já nos casos mais severos a porcentagem de valores acima do estipulado, chegou a praticamente 100%. Ou seja, quase todas as medições apresentaram valores maiores que o respectivo indicador.

Com relação às metodologias propostas verificou-se em todos os casos a aplicação das mesmas para a metodologia T1, houve uma variação de valores entre 0,01 e 27%. Na metodologia T2 , foram averiguados valores de 0,39 e 34%. Pela análise do erro a metodologia T1 tornou-se mais eficiente em grande parte das aplicações realizadas. Observou-se que a tipologia dos dados e definição das classes, podem interferir na precisão das metodologias, ou seja, deve-se possuir um maior número de estudos, a fim de se definir a quantidade correta das classes visando a aplicação das destas de forma mais assertiva. Isso somado à análise da qualidade da energia elétrica para os diferentes modos de soldagem para um range satisfatório de valores de parametrização de tensão e corrente, além da aplicação de filtros ativos para a correção de harmônicos, podem tornar-se base para a elaboração de futuros trabalhos correlatados.

6. TRABALHOS FUTUROS

Como proposição de trabalhos futuros a fim de se solidificar e melhorar os conhecimentos até aqui adquiridos, sugere-se:

O Estudo de Normalização das Classes para a aplicação das Metodologias.

A Análise dos Demais Processos de Soldagem Aplicados à MADA.

A Análise da Variação de Parâmetros Dentro de um mesmo Processo de Soldagem.

O Estudos de Caso sobre a Aplicação de Filtros Ativos e/ou Passivos ao Processo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA –PRODIST, MÓDULO 8 –QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA**: revisão 12 : em vigência a partir de 01/01/2021. ANEEL, 2021.
- [2] SILVA, Ezio Fernandes da. **Modeling and assessment of the arc welding effect on the electric energy quality in industrial plants**. 2013. 179 f. Tese (Doutorado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.
- [3] CARVALHO, Antonio Carlos de. **Estudo de Caso: diagnóstico do consumo e da qualidade de energia elétrica numa indústria metalúrgica**. 2004. 126 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.
- [4] DUGHAN, Roger C.; MCGRANAGHAN, Mark F.; SANTOSO, Surya; BEATY, H. Wayne. **Electrical Power Systems Quality**. 2. ed. S.L: Copyrighted Material, 2004. 525 p.
- [5] MEDEIROS, Carlos Augusto Guimarães. **Contribuições para a Conceituação Medição, Efeitos e Análise dos Limites Relacionados com Flutuações de Tensão**. 2003. 201 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.
- [6] SILVA, Ezio Fernandes da; SCOTTI, Américo; MACEDO JUNIOR, José Rubens; OLIVEIRA, José Carlos de. **Flutuações de Tensão e inter-harmônicas no processo de soldagem MIG pulsado**. CBQEE. Araxá, p. 260-265. 12 nov. 2013.
- [7] RIBEIRO, Hemerson Brito; SOUZA, Arthur Costa de; TAVARES, Carlos Eduardo; SANTÍLIO, Fabrício Parra. **Análise Computacional dos Impactos de Máquinas de Solda nas Redes Elétrica de Distribuição**. In: CEEL,XVI., 2016, Uberlândia. .. Uberlândia: ., 2016. p. 1-5.
- [8] SCOTTI, Thaís Matos. **Avaliação das Metodologias Para a Atribuição das Parcelas de Responsabilidade Sobre os Desequilíbrios**. 2017. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.
- [9] INTERNATIONAL ELETROTECHNICALCOMMISSION. **IEC 61000-4-30**: International Standard. 3.0 ed. .: ., 2015.

- [10] IEEE POWER AND ENERGY SOCIETY. **IEEE STD. 519**: IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. New York: Ieee, 2014.
- [11] CORPORATION, Fluke. Fluke 434-II/435-II/437-II Analisadores de Qualidade de Potência e Energia Trifásicos: manual do usuário. S.L: Fluke Corporation, 2012. 180 p.
- [12] DIRETORIA DE DISTRIBUIÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO (Minas Gerais) (org.). **ED-5-57**: estudo de distribuição: caracterização de cargas potencialmente perturbadoras. Belo Horizonte: Cemig, . 30 p.
- [13] SILVA, Ezio Fernandes da; SCOTTI, Américo; MACEDO JUNIOR, José Rubens; OLIVEIRA, José Carlos de. **Influência do Processo MIG/MAG na Qualidade da Energia Elétrica Fornecida pelas Concessionárias**. In: CONSOLDA, 37., 2011, Natal. .. Natal: ., 2011. p. 1-14.
- [14] SCHULZ, Mariano Dietterle. **Perturbações Na Rede Elétrica Geradas Por Fontes de Soldagem**. 2018. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2018.
- [15] MARQUES, Alex Fernando de Medeiros. **Estudo da Qualidade da Energia Elétrica Fornecida Ao IFBA- Campus Paulo Afonso**. 2018. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia da Bahia, Paulo Afonso, 2018.
- [16] ROSA, Filipi Giotti da. **Manufatura Aditiva Por Deposição a Arco**: uma análise crítica da tecnologia e perspectivas para o futuro. 2020. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.
- [17] ALBERTI, Eduardo André; SILVA, Leandro João da; D'OLIVEIRA, Ana Sofia C. M.. **Manufatura Aditiva: o papel da soldagem nesta janela de oportunidade**. Soldagem e Inspeção, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 190-198, Abr/Jun 2014.

[18] MODENESI, Paulo J.. **Fontes de Energia para a Soldagem a Arco**. Belo Horizonte: .., 2009. 37 p.

[19] BARBOSA, Paulo Vitor Oliveira. **Desafios das Pequenas Empresas para a Inclusão da Manufatura Aditiva**. 2019. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

[20] ELEKTRO. **ND.50: Ligações de Máquinas de Solda nas Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. 6 ed. Campinas: .., 2017. 65 p.

[21] FLUKE CORPORATION (.). **Power Log: pc applicarion software**. 2. ed. : Fluke, 2007. 36 p.

[21] SANDIM, Rafael Gomes. **A Engenharia de Manutenção e Confiabilidade: estudo de caso em uma indústria alimentícia**. 2021. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

[22] **Origens de Distorções Harmônicas**. Roteiro: José Rubens Macedo Jr.. [S.I]: .., 2020. 1 Vídeo no Youtube, son., color. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Ex9xr9-_69U.

[23] DECKMANN, Sigmar Maurer; POMILIO, José Antenor. **Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica**. Revisão e atualização em fevereiro de 2017.

[24] PQW. **Steps in Solving Power Quality Problems**. 2020. Disponível em: <http://www.powerqualityworld.com/2011/04/steps-in-solving-power-quality-problems.html>. Acesso em: 02 nov. 2021.

[25] SANTOS, Ivan Nunes. **Considerações Gerais sobre a QEE**. Uberlândia: Texto, 2020. 15 slides, color.

[26] SCOTTI, Américo; PONOMAREV, Vladimir. **MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2008. 70 p.

[27] FISCHER, Alexandre. **Estudo da Influência dos Parâmetros no Processo de Soldagem GMAW-Arco pulsado**. 2011. 170 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

[28] Apostila de Tecnologia da soldagem, 2011, CEFET-MG.

[29] FRONIUS ((S.L.)). .. **Manual TransSynergic 4000/5000**. [S.I]: Fronius, .

[30] HAMMOND POWER SOLUTIONS ((S.L.)). **What is Power Factor or True Power Factor**. 2019. Disponível em: <https://americas.hammondpowersolutions.com/en/resources/faq/general/power-factor-or-true-power-factor>. Acesso em: 18 nov. 2021.