



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

HUGO NAPOLEÃO DE SOUSA NETO

**AVALIAÇÃO E TESTES DE MEDIDORES
ELETROELETRÔNICOS**

Palmas/TO
2021

HUGO NAPOLEÃO DE SOUSA NETO

**AVALIAÇÃO E TESTES DE MEDIDORES
ELETROELETRÔNICOS**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Elétrica para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientadora: Prof.^a Dra. Stefani Carolline Leal de Freitas

Palmas/TO
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

N469a NETO, HUGO NAPOLEÃO DE SOUSA NETO .
AVALIAÇÃO E TESTES DE MEDIDORES ELETROELETRÔNICOS . /
HUGO NAPOLEÃO DE SOUSA NETO NETO . – Palmas, TO, 2021 .
135 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Elétrica, 2021.

Orientador: Stefani Caroline Leal de Freitas

1. EXATIDÃO . 2. ERRO ABSOLUTO. 3. MEDIDAS ELÉTRICAS. 4.
MEDIDORES ELETROELETRÔNICOS . I. Título

CDD 621.3

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

HUGO NAPOLEÃO DE SOUSA NETO

AVALIAÇÃO E TESTES DE MEDIDORES ELETROELETRÔNICOS

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Elétrica para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 06 / 04 / 2021

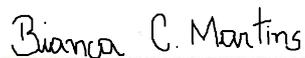
Banca Examinadora



Prof.^a Dr. Stefani Carolline Leal de Freitas, UFT



Prof.^a Dr. Priscila da Silva Oliveira, UFT



Prof.^a Esp. Bianca Carvalho Martins, UFT

Palmas, 2021

Dedico este trabalho a Deus e minha família, em especial meus pais e avós, que estiveram sempre presentes me dando todo o apoio e auxílio necessário.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por ter me permitido chegar até aqui.

A minha família, em especial meus pais, meus avós e meus tios que estiveram presentes em toda minha criação sempre me apoiando e me auxiliando.

A minha orientadora Prof. ^a Dr. Stefani Carolline Leal de Freitas por ter me aceitado como orientando, sempre prestativa e atenciosa, tirando todas as minhas dúvidas de forma rápida e com excelência.

RESUMO

A importância dos instrumentos de medição para o avanço tecnológico e processos produtivos é indiscutível. No contexto de eletricidade, as medidas de determinadas grandezas são essenciais, posto que resultam em informações necessárias para definição de pesquisas, monitoração, segurança, proteção e controle de equipamentos. Os aparelhos FLUKE 345, FLUKE 1738, TEKTRONIX THS3024 e WAVEBOOK/516, disponíveis no Laboratório de Circuitos e Máquinas Elétricas do curso de bacharelado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Tocantins (UFT), são dispositivos de grande valia para progresso do ensino, pesquisa e extensão. Neste sentido, o objetivo central deste trabalho é realizar medições, utilizando simultaneamente os quatro equipamentos supramencionados e comparar os resultados obtidos por eles, consoante aos manuais disponibilizados pelos fabricantes. Por conseguinte, os resultados serão apresentados, comparados e discutidos ao longo do trabalho, destacando os desvios, erros, precisão, exatidão, resolução e sensibilidade, considerando um aparelho específico como referencial.

PALAVRAS-CHAVE: Instrumento de Medição; Exatidão; Medidas Elétricas; Precisão; Erro.

ABSTRACT

The importance of the measurement instruments to the technological advance is unquestionable. In the context of electricity, the measurements of certain unit of measure are essential, once they result in necessary information to the definition of researches, monitoring, safety, protection and control of equipment. The instruments FLUKE 345, FLUKE 1738, TEKTRONIX THS3024 and WAVEBOOK/516, available at the circuits and electrical machines laboratory of the Electrical Engineering course, at the Federal University of Tocantins (UFT), they are devices of great importance to the development of learning, research and extension.

The main point of this work is to realize measurements, using the four instruments mentioned simultaneously and compare the obtained results with the data of the equipment manuals provide by the manufactories. The results will be compared and discussed throughout work, pointing deviations, errors, precision, accuracy, resolution and sensitivity, considering a specific instrument as reference.

KEY-WORDS: Measurement instrument; Accuracy; Electrical measurements; Precision; Error.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Amperímetro Analógico.....	24
Figura 2 - Voltímetro Analógico.	24
Figura 3 - Ohmímetro Analógico.....	25
Figura 4 - Wattímetro Analógico.....	25
Figura 5 - Multímetro Digital.	26
Figura 6 - Osciloscópio Digital.	27
Figura 7 - Medidor de quilo Watt Hora.	27
Figura 8 - Representação dos Instrumentos Segundo a Corrente.....	28
Figura 9- Galvanômetro de Ferro Móvel.	29
Figura 10 - Galvanômetro de Bobina Móvel.....	30
Figura 11 - Circuito do Amperímetro Analógico.	32
Figura 12 - Circuito de um Amperímetro de Várias Escalas.	33
Figura 13 - Fotografia de um Amperímetro Alicate.....	34
Figura 14 - Circuito Conversor Corrente-Tensão.....	35
Figura 15 - Circuito medidor de corrente utilizando um MAX4172.....	35
Figura 16 - Sistema Utilizando Loop de Corrente.....	36
Figura 17 - Circuitos Medidores Utilizando Loop de Corrente Implementados com os Circuitos Integrados XTR 110, XTR 115 e RCV420.	36
Figura 18 - Circuito de um Voltímetro de várias escalas presente em um multímetro.	38
Figura 19 - Diagrama de Blocos de um Voltímetro Digital utilizando conversor AD ICL 7107.	39
Figura 20 - Diagrama de Blocos de um Voltímetro Vetorial.	39
Figura 21 - Circuito Medidor de Tensão Eletrônico com AMP-OP.....	40
Figura 22 - Circuito Medidor de Tensão Alternada Eletrônico com AMP-OP e Diodo.	40
Figura 23 - Circuito Medidor de Tensão Alternada Eletrônico Usando Filtro Passa Baixas... 41	
Figura 24 - Circuito de Medidor de Tensão TRUE RMS.	41
Figura 25 - Circuito Para medição de Resistências Pequenas.....	42
Figura 26 - Circuito do Método do Galvanômetro Diferencial.....	43
Figura 27 - Circuito do Método do Potenciômetro.....	44
Figura 28 - Circuito da Ponte de Kelvin.	44
Figura 29 - Circuito do Ohmímetro Ducter.....	45
Figura 30 - Montagem a Jusante e Montante.	46

Figura 31 - Circuito do Ohmímetro Série.	47
Figura 32 - Circuito do Ohmímetro Paralelo.....	47
Figura 33 - Circuito Eletrônico Medidor de Resistencia Baseado em Fonte de Corrente.	48
Figura 34 - Circuito do Método da Substituição.	48
Figura 35 - Circuito da Ponte de Wheatstone.....	49
Figura 36 - Circuito do Método do Voltímetro para Resistências Grandes.	50
Figura 37 - Circuito Método da Carga do Capacitor.	50
Figura 38 - Megôhmetro medindo uma resistência infinita.	51
Figura 39 - Megôhmetro medindo uma resistência nula.....	51
Figura 40 - Esquema Elétrico do Megôhmetro.	52
Figura 41 - Megôhmetros Digitais.....	52
Figura 42 - Método do Voltímetro Amperímetro para medição de Potência.....	53
Figura 43 - Esquema Simplificado de um Wattímetro analógico.....	54
Figura 44 - Detalhes de um Wattímetro Analógico.....	54
Figura 45 - Método dos três Wattímetros para Medição de Potência de uma Carga.	55
Figura 46 - Circuito Método dos três Wattímetros e Diagrama de fases.	55
Figura 47 - Esquema de Ligação do Wattímetro Estrela e Delta.	56
Figura 48 - Circuito de medição utilizando o método dos dois wattímetros.....	56
Figura 49 - Representação do circuito do Wattímetro térmico.	57
Figura 50 - Circuito de um Wattímetro eletrônico baseado em multiplicadores analógicos. ..	58
Figura 51 - Ponte de balanceamento de tensão com um termistor para implementação de um Wattímetro.....	59
Figura 52 - Circuito do método do Wattímetro.	59
Figura 53 - Circuito do método do Voltímetro e amperímetro para medição de impedância..	60
Figura 54 - Método dos Três Voltímetros.....	61
Figura 55 - Circuito de montagem para medição usando o método dos três amperímetros. ...	62
Figura 56 - Ponte de corrente Alternada.	62
Figura 57 - Representação do Valor Médio.	63
Figura 58 - Valor eficaz e potência.....	64
Figura 59 - Analisador de Energia FLUKE 1738.....	75
Figura 60 - Função Logger.....	80
Figura 61 - Salvar Todos Os Registros.	81
Figura 62 - Sessões de Registro.....	81
Figura 63 - Salvar em USB.	82

Figura 64 - Exemplo de Medida Visualizada no Computador.	83
Figura 65 - Alicates de medição FLUKE 345.....	84
Figura 66 - Medição de Corrente e conjunto de cabos para medição de Tensão.	84
Figura 67 - Power Log Classic Fluke 345.....	88
Figura 68 - TEKTRONIX THS3024.	89
Figura 69 - Configuração de teste de ganho LF-HF de entrada.	97
Figura 70 - Configuração de teste de ganho LF-HF de entrada.	98
Figura 71 - Configuração de teste de entrada para saída normal de 5500A.....	100
Figura 72 - SAVE e FILE OPTIONS	102
Figura 73 - Funções de salvamento.	102
Figura 74 - Exemplo de Captura TEKTRONIX THS 3024.....	103
Figura 75 - WAVEBOOK/516E.....	104
Figura 76 - Janela da ferramenta de calibração.	106
Figura 77 - Ferramenta de calibração WaveCal e caixa de calibração do usuário.	107
Figura 78 - Caixa canal de calibração.....	108
Figura 79 - Caixa de teste.....	108
Figura 80 - Selecionando um Modulo para Calibrar.	109
Figura 81 - Selecionando Iniciar no menu Calibrar.....	109
Figura 82 - Caixa de diálogo de calibração do usuário.....	110
Figura 83 - Calibração de segundo ponto usando -4,8V.....	110
Figura 84 - Mensagem resultante da tentativa de inserir uma tensão inaceitável.	111
Figura 85 - Calibração de segundo ponto usando +4,8V.....	111
Figura 86 - Configuração do canal para a próxima calibração de dois pontos.....	112
Figura 87 - Calibração de Primeiro Ponto Usando -2,4V.....	113
Figura 88 - Calibração de Segundo ponto utilizando +2,4V.....	113
Figura 89 - Selecionando um canal e faixa específica para calibração.....	114
Figura 90 - Configuração do IP.	116
Figura 91 - Exibição Mostrador Analógico.....	116
Figura 92 - Exibição Mostrador Digital.	116
Figura 93 - Exibição Gráfico de Barras.	117
Figura 94 - Exibição Forma de Onda.....	117
Figura 95 - Montagem Completa de todos os medidores.	122
Figura 96 - Fonte de Alimentação.	123
Figura 97 - Ligação Triângulo Executada.....	124

Figura 98 - Comparativo das Formas de Onda.....	129
---	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre LED e LCD.	66
Tabela 2 - Tipos de Medidas FLUKE 1738.	75
Tabela 3 - Especificações Gerais FLUKE 1738.	76
Tabela 4 - Especificações Ambientais FLUKE 1738.	77
Tabela 5 - Especificações Elétricas FLUKE 1738.	77
Tabela 6 - Precisão do Analisador FLUKE 1738.	79
Tabela 7 - Requisitos Para Instalação do <i>Software</i> FLUKE 1738.	82
Tabela 8 - Características Gerais e Ambientais FLUKE 345.	85
Tabela 9 - Medição de Corrente FLUKE 345.	86
Tabela 10 - Medição de Tensão FLUKE 345.	86
Tabela 11 - Medição de Potência FLUKE 345.	87
Tabela 12 - Requisitos Mínimos do <i>Software Power Log</i>	88
Tabela 13 - Características Ambientais e Mecânicas.	90
Tabela 14 - Especificações de Medição de Entrada TEKTRONIX THS3024.	90
Tabela 15 - Especificações de Medição Automática.	91
Tabela 16 - Especificações de Medição Automática Continuação.	92
Tabela 17 - Especificações de Medição Automática Continuação.	93
Tabela 18 - Pontos de calibração de ganho LF-HF do canal de entrada.	98
Tabela 19 - Pontos de calibração de ganho de LF-HF de entrada.	99
Tabela 20 - Pontos de calibração de ganho de tensão de entrada.	100
Tabela 21 - Especificações Gerais WAVEBOOK/516E.	104
Tabela 22 - Especificações de Medição WAVEBOOK/516E.	105
Tabela 23 - Requisitos Mínimos do <i>Software</i> WAVEBOOK.	115
Tabela 24 - Lista de Materiais Utilizados.	120
Tabela 25 - Dados de Placa do Motor.	122
Tabela 26 - Valores Medidos FLUKE 1738.	124
Tabela 27 - Valores Medidos TEKTRONIX THS3024.	125
Tabela 28 - Valores Medidos FLUKE 345.	125
Tabela 29 - Valores de Pico Medidos WAVEBOOK 516/E.	126
Tabela 30 - Valores RMS Medidos WAVEBOOK 516/E.	126
Tabela 31 - Valores de Erro Absoluto e Erro Relativo.	127

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
LCD	Display de Cristal Líquido
LED	Diodo Emissor de Luz
RMS	Valor Eficaz
UFT	Universidade Federal do Tocantins

LISTA DE SÍMBOLOS

μ	Micro
A	Ampere
k	Quilo
M	Mega
m	Mili
V	Volt
Z	Impedância
ε	Erro Relativo
Ω	Ohm

SUMÁRIO

1	CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO	18
1.1	Introdução	18
1.2	Justificativa.....	19
1.3	Objetivos Gerais	20
1.4	Objetivos Específicos.....	20
1.5	Metodologia	21
1.6	Organização do Trabalho	21
2	MEDIDAS ELÉTRICAS	22
2.1	Considerações Iniciais	23
2.2	Classificação dos Instrumentos de Medição.....	23
2.2.1	Grandeza Medida.....	23
2.2.2	Apresentação da Medida.....	25
2.2.3	Uso.....	27
2.2.4	Corrente.....	28
2.3	Notações importantes sobre medidas	28
2.3.1	Aferição e Calibração	28
2.3.2	Galvanômetro	29
2.3.3	Medida de corrente (contínua e alternada).....	31
2.3.4	Medida de Tensão (Contínua e Alternada)	37
2.3.5	Medida de Resistência	41
2.3.6	Medida de Potência	53
2.3.7	Casamento de Impedância	59
2.4	Tipos de Medidores	63
2.4.1	Average Sensing	63
2.4.2	True Rms.....	64

2.5	Instrumentos Digitais	65
2.5.1	Características Construtivas	65
2.5.2	Características Operacionais	66
2.6	Precisão e Exatidão	67
2.7	Resolução e Sensibilidade.....	68
2.8	Erro.....	68
2.8.1	Erros Grosseiros	68
2.8.2	Erros Sistemáticos	69
2.8.3	Erros Aleatórios.....	71
2.8.4	Erro Absoluto e Relativo	72
2.9	Considerações Finais	73
3	APARELHOS AVALIADOS.....	74
3.1	Considerações Iniciais	74
3.2	Fluke 1738.....	74
3.2.1	Calibração	79
3.2.2	Descarga de Dados	80
3.3	FLUKE 345.....	84
3.3.1	Calibração	87
3.3.2	Descarga de dados	88
3.4	Tektronix THS3024.....	89
3.4.1	Calibração	94
3.4.2	Descarga de dados	101
3.5	Wavebook/516E.....	103
3.5.1	Calibração	106
3.5.2	Descarga de dados	115
3.6	Considerações Finais	118
4	ANÁLISE E AVALIAÇÕES DAS MEDIDAS ELÉTRICAS	119

4.1	Considerações Iniciais	119
4.2	Metodologia de Ensaio	119
4.2.1	Análise de Segurança.....	119
4.2.2	Materiais	120
4.2.3	Montagem	121
4.2.4	Carga.....	122
4.3	Avaliações	124
4.4	Considerações Finais	130
5	CONCLUSÕES	131
	REFERÊNCIAS	132

1 CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO

1.1 Introdução

A humanidade, desde os primórdios, tem buscado inventar ferramentas, objetos, equipamentos, assim como uma infinidade de outros utensílios, a fim de facilitar a experiência humana. Nesse diapasão, Balbinot e Brusamarello (2015) asseveram:

As invenções que de alguma maneira revolucionaram o estilo de vida das pessoas, ou mesmo aqueles pequenos inventos que facilitaram algum processo, trouxeram avanço à ciência, bem como nos meios de se medirem grandezas físicas (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015, p. 1).

Os medidores eletroeletrônicos são aparelhos de medidas de grandezas físicas, dentre elas as grandezas elétricas. Medida é definida como comparação entre grandezas da mesma espécie, onde grandezas físicas são divididas em duas categorias: grandezas fundamentais (comprimento, tempo, massa, intensidade luminosa, etc.) e grandezas derivadas (velocidade, aceleração, tensão elétrica, força, etc.) (BALBINOT E BRUSAMARELLO, 2015).

Em muitos laboratórios, como de universidades, escolas técnicas, centros de pesquisas e desenvolvimentos, empresas desenvolvedoras de produtos, tornou-se possível o desenvolvimento de pesquisa, experiências, controles de processos e controle de qualidade apenas mediante a utilização de medidores (BALBINOT E BRUSAMARELLO, 2015).

Como exemplo da variada gama de equipamentos de medição, pode-se destacar o Laboratório de Circuitos e Medidas Elétricas, da Universidade Federal do Tocantins (UFT) – Campus Palmas. Esses instrumentos apresentam uma diversidade de características relacionadas às diferenças construtivas, especificidade de uso, conexão de aparelhos secundários, calibragem, bem como meios para aquisição e descarga de dados. Outrossim, o curso de Engenharia Elétrica na UFT também possui Laboratório de Eletrônica, Maquinas Elétricas e Eletromagnetismo, que durante suas práticas utiliza equipamentos de medição destinados a aferir corrente, tensão, etc.

Algumas destas características, de alguns dos equipamentos de medição do Laboratório de Medidas e Circuitos Elétricos, já foram levantadas em trabalhos anteriores a este, como o “Estudo Teórico e Prático de Equipamentos de Medição de Energia Elétrica e de um Motor de Indução Trifásico” (VERÍSSIMO, 2019) e o “Estudo de Equipamentos Medidores de Grandezas Relacionadas a Energia Elétricas em um Motor

Trifásico” (REIS, 2017). No entanto, investigações mais detalhadas das adequações de alguns equipamentos ainda são necessárias, especialmente no que tange ao aparelho apropriado às diferentes potências de cargas ensaiadas.

1.2 Justificativa

“Nos dias atuais, toda descoberta científica necessita de comprovação experimental. Geralmente o processo de comparação leva à necessidade de medição de grandezas que remetem às teorias e leis que fundamentam a ciência. ” (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015, p. 1). Aferir grandezas é essencial para a evolução da tecnologia, cientistas precisam de equipamentos de medições para inventar ou tentarem melhorar as tecnologias já existentes.

O uso de aparelhos destinados a medição de grandezas físicas é também indispensável na solução de problemas de campo, por meio desse, é possível averiguar falhas em equipamentos, entre outros.

Sendo assim, é imprescindível que os equipamentos de medição estejam bem calibrados e com a mesma classe de medição informada pelos fabricantes, para que as medidas informadas pelos aparelhos sejam condizentes com os valores reais.

Como mencionado na subseção 1.1, o Laboratório de Circuitos e Medidas Elétricas possui uma série de equipamentos com a finalidade de entregar dados fidedignos das medições realizadas em experimentos de aulas e pesquisas.

No entanto, é interessante obter algumas informações mais detalhadas para comprovação das características informadas pelos fabricantes nos respectivos manuais, mormente as relacionadas às faixas dos erros de medição, precisão, exatidão e resolução.

Por meio dessas análises, pretende-se fazer uma comparação entre os valores medidos simultaneamente por quatro diferentes aparelhos medidores de energia, para duas cargas de potências distintas, com a finalidade de identificar a precisão e sensibilidade das medidas. Então, a partir dos valores indicados, destacar dentre os aparelhos analisados, qual ou quais, se adequam à uma faixa de potência específica.

Para a execução das medidas e posterior análise destas, faz-se o uso dos aparelhos, TEKTRONIX THS3024, WAVEBOOK/516, FLUKE 345 e FLUKE 1738 (TEKTRONIX, 2017; MEASUREMENT COMPUTING, 2002; FLUKE, 2006; FLUKE, 2015). As medidas realizadas no FLUKE 1738 serão utilizadas como referência, considerando a reconhecida qualidade e confiabilidade que os aparelhos FLUKE possuem

tanto no uso em pesquisas acadêmicas quando no campo de trabalho industrial, como indicado em Vieira da Silva (2017); Marchese (2013) e Merkle (2018).

1.3 Objetivos Gerais

Avaliar e empreender testes para averiguar, através de comparação de medidas feitas simultaneamente, entre os equipamentos e seus respectivos dados informados nos manuais pelos fabricantes. Realizar-se-á análise de erro, precisão, exatidão, resolução e sensibilidade dos equipamentos: FLUKE 345, TEKTRONIX THS3024 e WAVEBOOK/516, usando como referência o renomado analisador de potência FLUKE 1738.

1.4 Objetivos Específicos

O trabalho apresenta os seguintes objetivos:

- ✓ Fazer uma revisão bibliográfica sobre medidas elétricas, medidores e princípios básicos operacionais;
- ✓ Contribuir para o estudo de medidas elétricas de novos alunos, uma vez que, se vislumbra a extinção da respectiva disciplina na nova proposta pedagógica do curso, ainda a ser aprovada. Apesar da extinção, os conteúdos e conceitos aplicados serão vistos em outras disciplinas.
- ✓ Fornecer, em língua portuguesa, as principais características, funcionalidades e os métodos de calibração dos equipamentos: FLUKE 345, FLUKE 1738, TEKTRONIX THS3024 e WAVEBOOK/516, visto que, os manuais se encontram originalmente na língua inglesa;
- ✓ Realizar ensaios experimentais com medidas simultâneas dos equipamentos indicados;
- ✓ Confirmar, por meio dos valores medidos, se a faixa de erro, precisão, exatidão, resolução e sensibilidade dos equipamentos adequam-se aos dados informados pelos fabricantes no *datasheet* dos analisadores FLUKE 345, TEKTRONIX, THS3024 e WAVEBOOK/516;
- ✓ Investigar medidas discrepantes, por meio da comparação entre os valores indicados nos diferentes equipamentos.

1.5 Metodologia

O trabalho apresentará uma revisão bibliográfica dos assuntos abordados no estudo, como as características e os conceitos de medidas elétricas. Nesta parte do estudo são verificadas todas as definições necessárias para serem utilizados na medição e a avaliação dos resultados.

Após o desenvolvimento do referencial teórico, correspondente ao tema do trabalho, apresentar-se-á as características dos equipamentos FLUKE 345, FLUKE 1738, TEKTRONIX THS3024 e WAVEBOOK/516E, que são os aparelhos destinados ao estudo desse estudo.

Anteriormente à apresentação das características técnicas dos aparelhos objetos do estudo, escolher-se-á uma carga para a realização de um ensaio experimental, onde, naturalmente, serão observadas a análise de segurança do laboratório e a montagem detalhada da bancada. Além do mais, é importante ressaltar que para cada experimento haverá medida simultânea dos quatro aparelhos de medição avaliados nesse trabalho.

Por fim, tomando-se como base referencial o analisador FLUKE 1738, por ser um equipamento de renome e qualidade indiscutível, serão comparados os valores medidos nos aparelhos FLUKE 345, TEKTRONIX THS3024 e WAVEBOOK/516E, bem como confrontar as informações de faixa de erro, precisão e exatidão fornecidas pelos fabricantes. Como abordado anteriormente, os aparelhos FLUKE possuem características essenciais que os capacitam como referência comparativa (VIEIRA DA SILVA, 2017; MARCHESE, 2013 e MERKLE 2018).

1.6 Organização do Trabalho

O trabalho é dividido em cinco capítulos, sendo este o primeiro, onde é apresentado a introdução do tema abordado, a justificativa, os objetivos gerais e específicos, metodologia e, finalmente, a organização do trabalho.

No capítulo II é feita uma revisão bibliográfica geral sobre as principais conceituações de medidas elétricas. Neste capítulo, apresenta-se, primeiramente, as características das classificações dos instrumentos de medição, logo em seguida vêm os princípios básicos de medidas, com aferição e calibração, casamento de impedância, medida de corrente contínua e alternada, medida de tensão contínua e alternada, medida de resistência e medida de potência. É discutido, ainda, sobre instrumentos digitais e suas características construtivas e operacionais, também sobre precisão e exatidão, resolução e sensibilidade, finalizando com capítulo com considerações finais.

No capítulo III são apresentados e discutidos separadamente cada aparelho avaliado neste trabalho, que são o: FLUKE 345, FLUKE 1738, TEKTRONIX THS3024 e WAVEBOOK/516E, encerrando com as considerações finais.

No capítulo IV são apresentados os resultados obtidos por meio das medições em laboratório, onde toda a metodologia do ensaio é exposta, notadamente a análise de segurança, montagem, materiais utilizados, cargas 1 e 2 usadas nos ensaios, avaliações e suas considerações finais.

O capítulo V trata das conclusões finais, onde as contribuições e propostas de continuidade deste trabalho serão expostas.

2.1 Considerações Iniciais

Instrumentos de medição eletroeletrônicos são ferramentas que tem como função a medição de grandezas elétricas. São equipamentos de suma importância no âmbito acadêmico, sendo aplicado em laboratórios de aprendizado ou utilizado em pesquisas. Possuem uma vasta gama de aplicações na indústria em geral, monitorando sistemas ou sendo utilizado para realizar manutenções (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

Como constatado em Belchior (2014) pode-se definir que uma medida é uma comparação de uma determinada grandeza com outra da mesma espécie tomada como valor de referência, assim determinando o valor que se deseja medir. Outro ponto abordado é que diferente de medir o comprimento de um determinado objeto utilizando uma régua, grandezas elétricas são fenômenos de maior complexidade que não são perceptíveis pelos sentidos humanos. Sendo assim as medições exigem equipamentos que permitem a detecção, avaliem e mostrem o valor que se deseja mensurar. De forma sucinta é possível dizer que os instrumentos de medição eletroeletrônicos permitem a verificação e facilitam o uso das grandezas elétricas, ou seja, são ferramentas que permite que uma grandeza elétrica corresponda a outra grandeza, uma vez que a grandeza correspondente é perceptível aos nossos sentidos, visão e audição na grande maioria dos casos.

Neste capítulo demonstra-se a revisão bibliográfica para que se tenha o embasamento teórico necessário para compreensão dos instrumentos, visto que, é necessário primeiramente compreender todas as características a respeito. Uma vez adquirido o conhecimento necessário torna-se praticável o estudo e uso dos medidores de energia: FLUKE 345, FLUKE 1738, TEKTRONIX THS3024 e WAVEBOOK/516E em destaque neste trabalho (BELCHIOR, 2015).

2.2 Classificação dos Instrumentos de Medição

2.2.1 Grandeza Medida

Segundo Belchior (2015) um instrumento de medição pode ser classificado pelo tipo de grandeza que esse é capaz de mensurar. Pode-se citar por alguns dos principais medidores presentes em inúmeras aplicações em medidas elétricas como, amperímetro, voltímetro, ohmímetro, wattímetro.

A corrente elétrica é o fluxo de carga por unidade de tempo em um circuito. O amperímetro, mostrado na Figura 1, é o equipamento utilizado para se mensurar a corrente

elétrica contínua ou alternada em ampères. Recebe esse nome em homenagem ao físico Francês André-Marie Ampère (ALEXANDER e SADIKU, 2013; GUSSOW, 1997).

Figura 1 - Amperímetro Analógico.



Fonte: (RENZ, 2018).

Diferença de potencial ou tensão é a energia necessária para se deslocar uma carga elétrica através de um circuito. O equipamento utilizado para medir a tensão elétrica em volts, contínua ou alternada, se chama voltímetro. O nome da grandeza é uma homenagem ao Físico Italiano Alessandro Antônio Volta. A Figura 2 mostra um voltímetro analógico para painéis (ALEXANDER e SADIKU, 2013; GUSSOW, 1997).

Figura 2 - Voltímetro Analógico.



Fonte: (RENZ, 2018).

A resistência pode ser definida como habilidade que um elemento elétrico possui de resistir ao fluxo de corrente. O ohmímetro é o equipamento utilizado para se mensurar a resistência elétrica em ohms, como mostra a Figura 3. A grandeza recebe esse nome em

virtude do Físico Alemão Georg Simon Ohm (ALEXANDER e SADIKU, 2013; GUSSOW, 1997).

Figura 3 - Ohmímetro Analógico.



Fonte: (BELCHIOR, 2014).

A potência nos diz a velocidade com que algum elemento elétrico consome energia em Watts. O wattímetro é o equipamento utilizado para realizar a medida de potência elétrica ativa em corrente alternada ou contínua, como mostra a Figura 4. O nome da grandeza é uma homenagem ao matemático britânico James Watts (ALEXANDER e SADIKU, 2013; GUSSOW, 1997).

Figura 4 - Wattímetro Analógico.



Fonte: (JNG, 2017).

2.2.2 Apresentação da Medida

Segundo Balbinot e Busamarelo (2015) o valor medido por um instrumento pode ser apresentado de forma analógica ou de forma digital.

Nos instrumentos analógicos os valores são mostrados através de um ponteiro em sob uma escala graduada. Os instrumentos analógicos possuem maior rapidez que os

instrumentos digitais, porém são utilizados de forma bem específica. Devido ao seu alto custo de fabricação e ao fato de serem instrumentos extremamente sensíveis a ruído (AGUIRRE, 2013).

Já os instrumentos digitais, em contrapartida, possuem o processamento, condicionamento e representação dos valores medidos feitos de forma digital em um Display de LCD ou LED. São instrumentos utilizados em larga escala tanto na indústria quanto no meio acadêmico devido a sua grande flexibilidade de aplicações (AGUIRRE, 2013).

Segundo Aguirre (2013) alguns instrumentos possuem características construtivas, processamento e condicionamento dos sinais feitos de forma analógica, porém a representação da grandeza medida é feita através de um display digital.

Entretanto essa seção trata apenas da forma como o sinal é apresentado. Para fins de melhor compreensão define-se instrumentos analógicos todos aqueles em que o valor é mostrado de forma analógica através de um ponteiro sob uma escala graduada. E digitais são todos aqueles mostrados de forma digital através de um Display de LCD ou LED (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

É possível ainda destacar outras formas de se apresentar um valor, por exemplo, instrumentos indicadores, instrumentos registradores e instrumentos acumuladores ou totalizadores (BELCHIOR 2014).

Os instrumentos indicadores são aqueles que mostram instantaneamente o valor medido da grandeza elétrica quando se realiza a medição, seja de forma analógica ou digital. A Figura 5 traz um exemplo de multímetro digital (MEDEIROS FILHO, 1981).

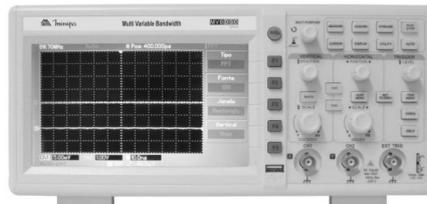
Figura 5 - Multímetro Digital.



Fonte: (MINIPA, 2016).

Os instrumentos registradores são aqueles que além de mostrar o valor instantâneo medido, possuem a capacidade de registrar a medida executada, para que o valor medido não se perca e posteriormente seja utilizado para fins de análise. Um grande exemplo de instrumentos registradores são os osciloscópios digitais, apresentado na Figura 6, muito usados em laboratórios (MEDEIROS FILHO, 1981).

Figura 6 - Osciloscópio Digital.



Fonte: (MINIPA, 2014).

Os instrumentos acumuladores ou totalizadores, são aqueles que, apresentam a medida efetuada durante um intervalo de tempo consecutivo, ou seja, durante certo intervalo de tempo todas as medidas efetuadas vão se acumulando e ao final desse intervalo obtém-se um único valor total. O melhor exemplo e mais aplicado é o medidor de energia elétrica consumida em quilo Watts hora. A Figura 7 representa um medidor de quilo watts hora (MEDEIROS FILHO, 1981).

Figura 7 - Medidor de quilo Watt Hora.



Fonte: (BELCHIOR, 2014).

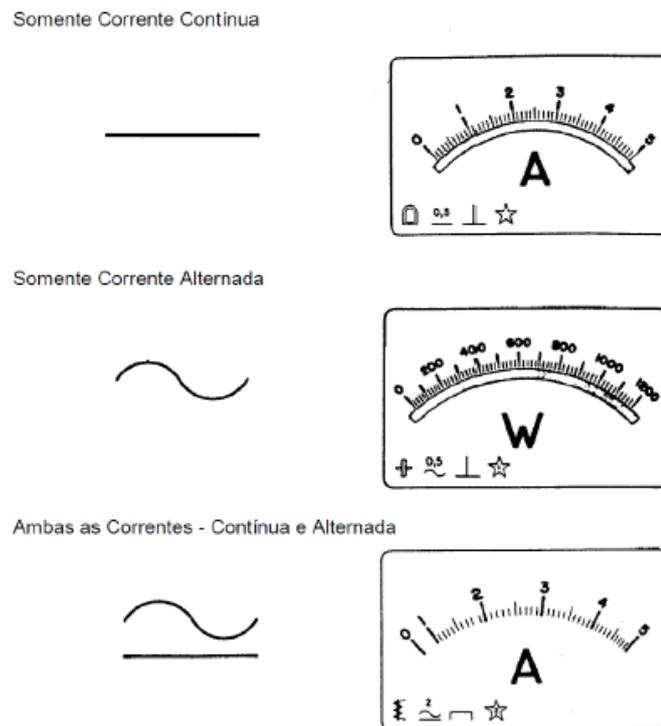
2.2.3 Uso

Para se classificar um instrumento com relação ao uso deve-se determinar para qual fim ele será aplicado. Pode-se destacar instrumentos para uso laboratorial e instrumentos para uso industrial (BELCHIOR, 2014).

2.2.4 Corrente

Dentre as maneiras de se classificar um instrumento de medição de grandezas elétricas pode-se salienta a classificação com relação ao tipo de corrente que o instrumento é compatível. Considera-se instrumentos de corrente contínua, instrumentos de corrente alternada e instrumentos capazes de suportar os dois tipos de correntes. Como mostra a Figura 8 (BELCHIOR, 2014; LEÃO e KUROKAWA, 2002).

Figura 8 - Representação dos Instrumentos Segundo a Corrente.



Fonte: (LEÃO e KUROKAWA,2002).

2.3 Notações importantes sobre medidas

2.3.1 Aferição e Calibração

Aferição é o método ou ato onde se compara o valor obtido em uma determinada medida com outro valor de mesma grandeza tomado como parâmetro. Pode-se definir como um procedimento de caráter passivo, uma vez que a aferição aponta os erros presentes em uma medição, porém os mesmos não são corrigidos (MEDEIROS, FILHO 1981).

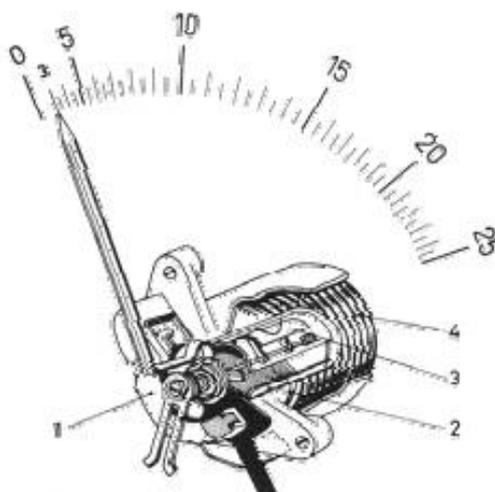
A calibração consiste em ajustar o valor obtido em uma medida, utilizando como parâmetro outro valor de mesma grandeza. Ao contrário da aferição a calibração possui

caráter ativo, uma vez que os erros presentes nos valores medidos são devidamente corrigidos ou ajustados para uma faixa permitida (MEDEIROS FILHO, 1981).

2.3.2 Galvanômetro

Entende-se a definição de galvanômetro como um dispositivo eletromecânico capaz de detectar pequenas correntes elétricas. Destacam-se duas variedades de galvanômetros, os de ferro móvel e os de bobina móvel. Os dois, ao serem percorridos por uma corrente elétrica no condutor, envolvido por um campo magnético, produzem um torque fazendo com que haja um movimento no mesmo (FRANK, 1959). A Figura 9 ilustra um galvanômetro de ferro móvel.

Figura 9- Galvanômetro de Ferro Móvel.



Fonte: (LEÃO E KUROKAWA, 2002).

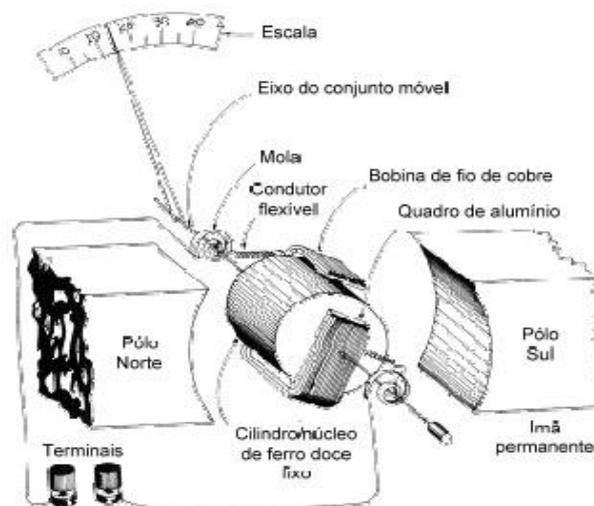
De acordo com a Figura 9 a indicação (1) representa a mola fixa, (2) mostra o componente móvel conectado ao ponteiro, (3) diz respeito ao componente de ferro magnético móvel e por final a indicação de número (4) é a bobina fixa pela qual a corrente percorre (LEÃO e KUROKAWA 2002).

Pode-se descrever o funcionamento do galvanômetro de ferro móvel da seguinte maneira: a partir do momento em que uma corrente percorre a bobina, que por sua vez esta envolvendo um material ferroso, o material em questão se transforma em um eletroímã, fazendo com que surja um campo magnético. Por sua vez o campo magnético é responsável pelo movimento da parte móvel que se encontra dentro da parte fixa, que se movimenta livremente dentro do seu involucro. Junto ao ferro móvel tem-se um

ponteiro fixado, que por sua vez tem uma mola fixa atrelada a sua estrutura. Logo quando a corrente a ser medida é aplicada na bobina o ponteiro se movimentará devido a força aplicada no ferro móvel, a força contrária aplicada pela mola faz o ponteiro entrar em equilíbrio e indica em uma escala graduada a medida da corrente que circula pelo galvanômetro. Por consequência assim que a corrente para de percorrer a bobina a força exercida pela mola recolocará o ponteiro de volta em sua posição inicial (LEÃO e KUROKAWA, 2002).

O galvanômetro de ferro móvel possui uma baixa aplicabilidade, por ser um equipamento que possui sensibilidade e classe de exatidão baixas comparado ao galvanômetro de bobina móvel. As suas vantagens se resumem ao seu baixo custo de fabricação, sua robustez e ao fato de funcionar com os dois tipos de corrente, alternada e contínua, pode ser facilmente encontrado em painéis de equipamento industriais (LEÃO e KUROKAWA 2002). A Figura 10 mostra um galvanômetro de bobina móvel com todos os seus componentes devidamente indicados:

Figura 10 - Galvanômetro de Bobina Móvel.



Fonte: (LEÃO E KUROKAWA, 2002).

O princípio de funcionamento do galvanômetro de bobina móvel pode ser descrito da seguinte forma: a bobina é construída de maneira a envolver o núcleo de ferro e é presa a um eixo que permite a livre movimentação da mesma. O conjunto formado pela bobina e núcleo de ferro é colocado no entreferro de um ímã permanente fixo. A partir do momento em que a corrente elétrica percorre a bobina um campo magnético surge, interagindo com o campo magnético do ímã, ou seja, a interação entre a corrente elétrica

e o campo magnético faz com que uma força atue na bobina. A força dá origem ao torque que movimentava o conjunto, que por sua vez faz com que o ponteiro se movimente devido a força aplicada na bobina. A força contrária exercida pela mola faz com que o ponteiro entre em equilíbrio. Quando o ponteiro se estabiliza a medida da corrente que percorre a bobina é mostrada na escala, da mesma forma quando a corrente é extinguida a mola exerce uma força fazendo com que o ponteiro retorne a sua posição inicial (LEÃO e KUROKAWA, 2002).

Através de diversos princípios técnicos é possível configurar o galvanômetro para ser utilizado como medidor de corrente. Quando inserido nos circuitos adequados, o galvanômetro é capaz de executar a medida de outras grandezas, por exemplo, tensão contínua, alternada e resistência. Possui grande aplicabilidade em diversos instrumentos de medidas, por ser um equipamento multifuncional e de alta classe de exatidão (LEÃO e KUROKAWA 2002).

As equações matemáticas que regem o deslocamento angular do ponteiro dos galvanômetros de bobina móvel e de ferro móvel, bem como a abordagem eletromagnética podem ser discutidas de forma detalhada obra de Frank (1959).

2.3.3 Medida de corrente (contínua e alternada)

O instrumento que possui a capacidade de medir a corrente elétrica se chama amperímetro. O amperímetro possui uma baixa impedância de entrada e em sua versão ideal essa impedância é nula. Quanto menor for esse valor melhor será o instrumento, uma vez que, se a impedância de entrada for muito pequena ou nula a queda de tensão no instrumento também irá ser muito pequena ou nula, conseqüentemente o medidor não irá interferir na medição, agindo como se não existisse no circuito. Sabe-se que, para realizar a medida de corrente o amperímetro deve ser ligado em série com o circuito, caso seja ligado em paralelo toda a corrente do circuito será direcionada para o amperímetro ocasionando um curto circuito (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

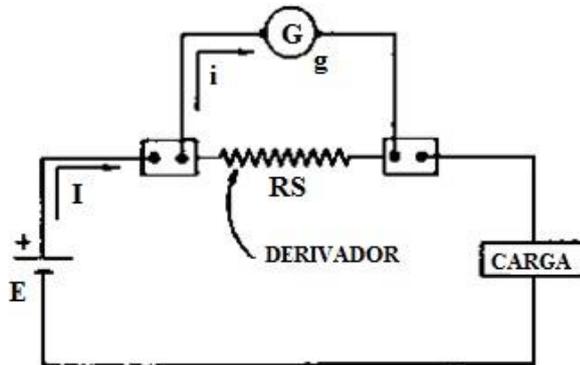
Ao ser utilizado para medições em corrente alternada a polaridade é algo a ser desconsiderado, assim ele pode ser conectado em qualquer um dos terminais disponíveis independente do sentido da corrente. Contrariamente, ao ser conectado em corrente contínua é preciso se atentar ao sentido da corrente, caso o amperímetro não seja de bobina móvel, a corrente entra na ponteira positiva e sai pela ponteira negativa. Quando invertida as polaridades de um amperímetro analógico nota-se que o ponteiro tenderá para o lado onde fica o zero da escala, se o amperímetro tiver um zero central ele tenderá para

o lado negativo da escala. Nos amperímetros digitais nota-se que o valor será indicado com sinal negativo (BELCHIOR 2015).

A. Amperímetro Analógico

O amperímetro analógico é constituído basicamente por uma resistência em paralelo com um galvanômetro. A resistência em paralelo faz com que o galvanômetro, que normalmente mede correntes na casa dos mA e μ A, seja capaz de suportar e mensurar correntes maiores. O circuito do amperímetro analógico é ilustrado na Figura 11 (MEDEIROS FILHO 1981).

Figura 11 - Circuito do Amperímetro Analógico.



Fonte: (MEDEIROS FILHO, 1981).

A corrente máxima suportada pelo amperímetro pode ser determinada levando em consideração o valor da resistência em paralelo citado anteriormente em conjunto com as características elétricas do galvanômetro como, resistência interna e corrente de fundo de escala da deflexão do ponteiro (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

O cálculo da resistência a ser colocado em paralelo é feito de maneira simples por meio da equação 1.

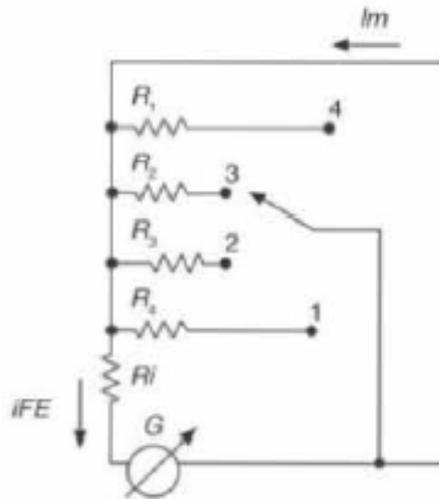
$$R_S = \frac{i}{I - i} \cdot g \quad (1)$$

Considerando a fórmula apresentada constata-se que, o valor da resistência R_S a ser colocado em paralelo depende diretamente das características internas do

galvanômetro g e i , onde representam respectivamente a resistência interna do galvanômetro e a corrente de fundo de escala (MEDEIROS FILHO 1981).

Como dito em Medeiros Filho (1981) e em Balbinot e Brusamarrelo (2005), os amperímetros comerciais por exemplo, são compostos por diversas escalas, essas escalas podem ser implementadas inserindo mais de uma resistência em paralelo com o galvanômetro conectadas por meio de uma chave seletora, como mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Circuito de um Amperímetro de Várias Escalas.



Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

B. Amperímetro Digital

A construção de um amperímetro digital é feita utilizando um conversor analógico-digital, um display para visualização e um circuito intermediário que faz a conversão do sinal de corrente em sinal de tensão. O circuito intermediário é construído utilizando um resistor derivador, onde a queda de tensão em cima desse resistor é medida. Por fim, o valor correspondente em amperes é mostrado no display digital. Outra alternativa além do circuito intermediário é um circuito eletrônico com amplificadores operacionais (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

É possível ainda alcançar resultados mais elevados realizando medição de corrente elétrica através de sensores, sendo possível evidenciar os sensores resistivos, sensores implementados com transformadores de corrente, sensores magneto resistivos, sensores de efeito Hall, sensores CMOS de campo magnético (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

C. Amperímetro Alicate

O amperímetro alicate pode ser tanto analógico quanto digital. Seu principal diferencial é o fato de executar a medida sem qualquer contato físico com o circuito, o que o torna extremamente útil para executar medições onde a interrupção do circuito não é possível, realizando medidas inclusive onde os condutores possuem isolação (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

Os amperímetros alicates destinados a medição de corrente elétrica alternada tem o seu secundário constituído por sensores implementados com transformadores de corrente, já os amperímetros alicates destinados a medição em corrente contínua utilizam sensores de efeito Hall. A corrente é processada por circuitos eletrônicos para então ser mostrada em um display digital ou no mostrador com ponteiro sobre uma escala graduada nos instrumentos analógicos (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

Os amperímetros alicates atuais possuem diversas funções além da medição de corrente convencional, até mesmo assumir as funcionalidades de um multímetro. A Figura 13 mostra a fotografia de um amperímetro alicate (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

Figura 13 - Fotografia de um Amperímetro Alicate.



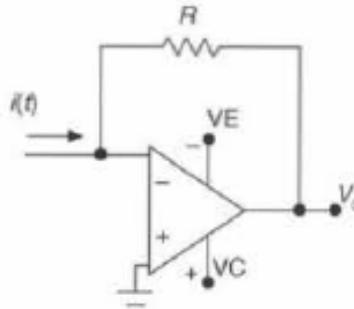
Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELO, 2015).

D. Circuitos eletrônicos para medição de corrente

Existem diversos circuito eletrônico capazes de serem implementados como medidores de corrente, em sua maioria utilizam amplificadores operacionais. A Figura 14

mostra um circuito utilizando um amplificador operacional e um resistor derivador (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

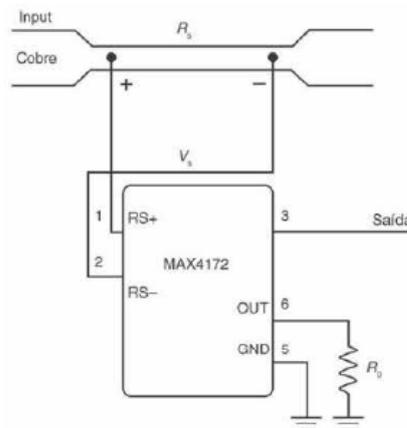
Figura 14 - Circuito Conversor Corrente-Tensão.



Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

A Figura 15 apresenta um circuito medidor de corrente utilizando um MAX4172 (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

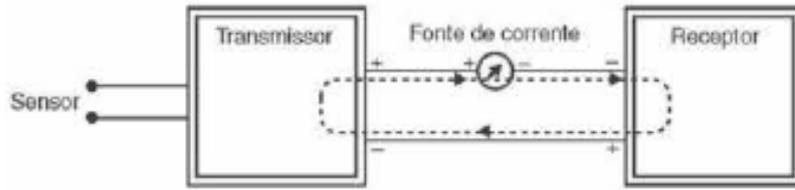
Figura 15 - Circuito medidor de corrente utilizando um MAX4172.



Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

Outros tipos de circuitos que são muito utilizados para medição de corrente são os conversores corrente-tensão. Neste circuito é enviado um sinal de tensão em forma de corrente que percorre um caminho necessário e realiza a leitura. A Figura 16 ilustra um esquema genérico de um sistema para medidas utilizando *Loop* de corrente (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

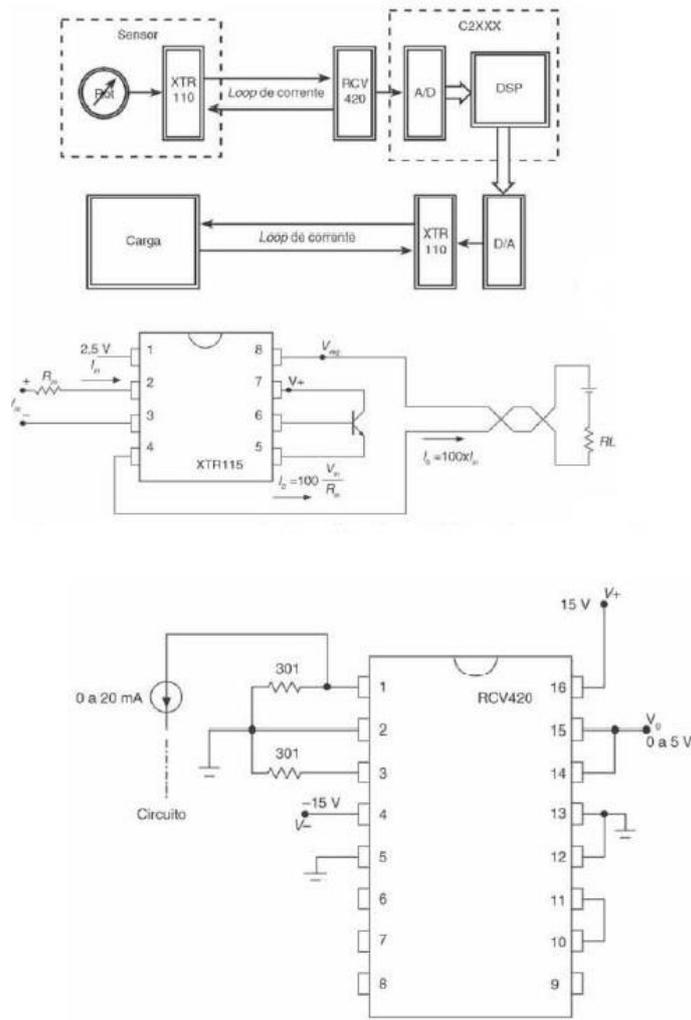
Figura 16 - Sistema Utilizando *Loop* de Corrente.



Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

A Figura 17 mostra diferentes circuitos para medidas utilizando *Loop* de corrente implementados com os circuitos integrados XTR 110, XTR 115 e RCV420 (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

Figura 17 - Circuitos Medidores Utilizando *Loop* de Corrente Implementados com os Circuitos Integrados XTR 110, XTR 115 e RCV420.



Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

2.3.4 Medida de Tensão (Contínua e Alternada)

O instrumento projetado e construído especificamente para a medição de tensão elétrica se chama voltímetro. Diferente do amperímetro o voltímetro possui uma alta impedância de entrada e em sua forma ideal essa impedância tende ao infinito. Possuindo uma impedância de entrada infinita conseqüentemente a corrente desviada pelo instrumento será nula e o instrumento será imperceptível ao circuito. Naturalmente instrumentos reais não possuem impedância de entrada infinita, ou seja, quanto maior for o valor de entrada, melhor a qualidade do instrumento, pois menor será a corrente desviada pelo o instrumento e menor será a interferência do instrumento na medida. Diferente do amperímetro, o voltímetro deve ser conectado em paralelo ao circuito onde deseja-se executar a medição de tensão, ao ser ligado em paralelo a corrente desviada pelo instrumento será aproximadamente nula e toda a tensão será medida pelo instrumento. (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

Encontram-se voltímetros tanto para corrente alternada quanto para corrente contínua. Quando utilizado em circuitos de corrente alternada não é necessário preocupar-se com a polaridade, podendo o mesmo ser conectado em qualquer um dos terminais disponíveis independente do sentido da corrente. Já quando utilizado em corrente contínua a verificação dos polos é algo a ser considerado. Quando as polaridades de um voltímetro analógico para corrente contínua são invertidas, o ponteiro apontará para o lado onde fica o zero da escala, no caso de voltímetros com zero central o ponteiro tenderá para o lado negativo e em voltímetros digitais o valor será indicado com um sinal negativo (BELCHIOR, 2015).

E. Voltímetro analógico

O voltímetro analógico é construído através de uma resistência colocada em série com um galvanômetro, também chamadas de resistências adicionais. A tensão máxima suportada pelo instrumento é determina pelo valor da resistência colocada em série e também pelas características elétricas do galvanômetro como, resistência interna e corrente de fundo de escala. (MEDEIROS FILHO, 1981).

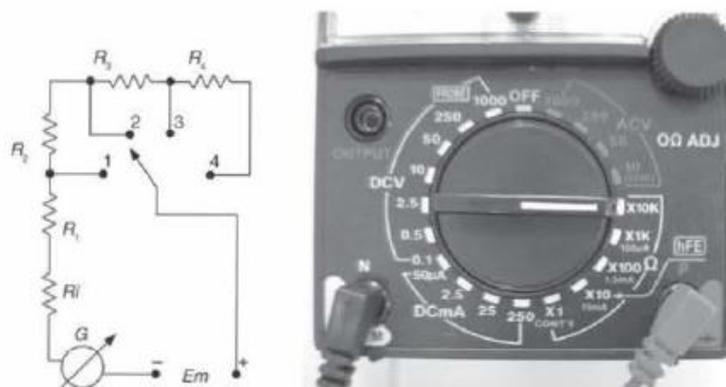
O cálculo da resistência a ser colocada em série deve obedecer a seguinte fórmula em 2.

$$R = \frac{V}{i} - g \quad (2)$$

Conforme apresentado na fórmula nota-se que a resistência R , calculada depende diretamente das características internas do galvanômetro g e i , onde representam respectivamente resistência interna e corrente de fundo de escala, ou seja, a resistência colocada em série só poderá ser utilizada no instrumento para qual foi calculada (MEDEIROS FILHO, 1981).

Como mencionado por Balbinot e Brusamarrelo (2015) os voltímetros comerciais inseridos nos multímetros podem ser construídos com diversas escalas, para isso são calculadas e adicionadas mais resistências para serem colocadas em série, que podem ser acessadas conforme a necessidade da escala por meio de uma chave seletora, transformando-o em um instrumento de múltiplas escalas, como mostrada na Figura 18 (BALBINOT e BRUSAMARELO, 2015).

Figura 18 - Circuito de um Voltímetro de várias escalas presente em um multímetro.

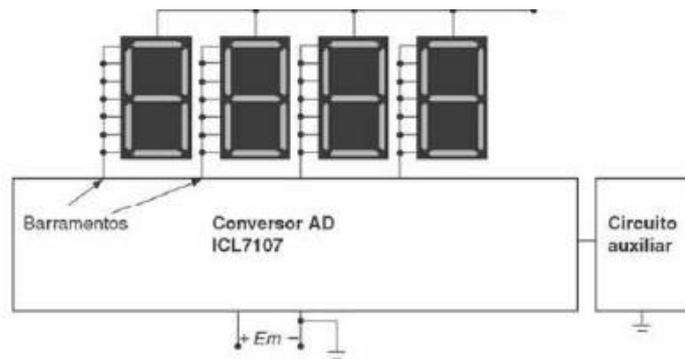


Fonte; (BALBINOT e BRUSAMARELO, 2015).

F. Voltímetro digital

A construção de um voltímetro digital é feita utilizando um conversor analógico digital e um display para a visualização dos valores medidos. As características construtivas dependem intimamente das características do conversor analógico digital. O conversor mais utilizado é o do tipo dupla rampa ou integrador, devido ao fato do voltímetro não necessitar de velocidade para medição, mas sim de precisão (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015). A Figura 19 mostra o diagrama e blocos de um voltímetro digital utilizando um conversor analógico digital 7107 associado a um display de 7 segmentos.

Figura 19 - Diagrama de Blocos de um Voltímetro Digital utilizando conversor AD ICL 7107.

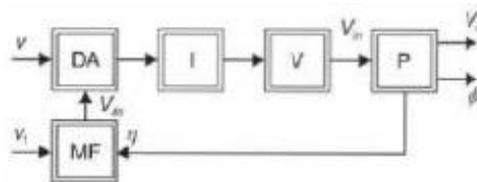


Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELO, 2015).

G. Voltímetro Vetorial

O Voltímetro vetorial é um instrumento que além de apresentar amplitude também mostra o valor da fase de uma medida de tensão. A Figura 20 apresenta o diagrama de blocos de um voltímetro vetorial (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

Figura 20 - Diagrama de Blocos de um Voltímetro Vetorial.



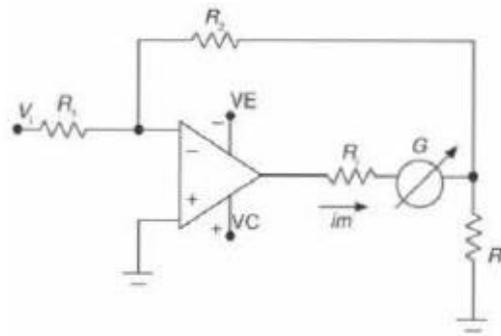
Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELO, 2015).

O voltímetro vetorial é constituído por um Multiplexador de fase MF, um detector fase síncrono DA da tensão medida com base em uma tensão de referência, um integrador chamado no bloco de I, um voltímetro digital representado por V e por último o processador denominado de P (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

H. Circuitos eletrônicos para medição de tensão

A medição de tensão elétrica também pode ser efetuada através de circuitos eletrônicos tanto analógicos quanto digitais construídos especificamente para isso. A Figura 21 a seguir mostra um circuito medidor de tensão contínua utilizando um amplificador operacional (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

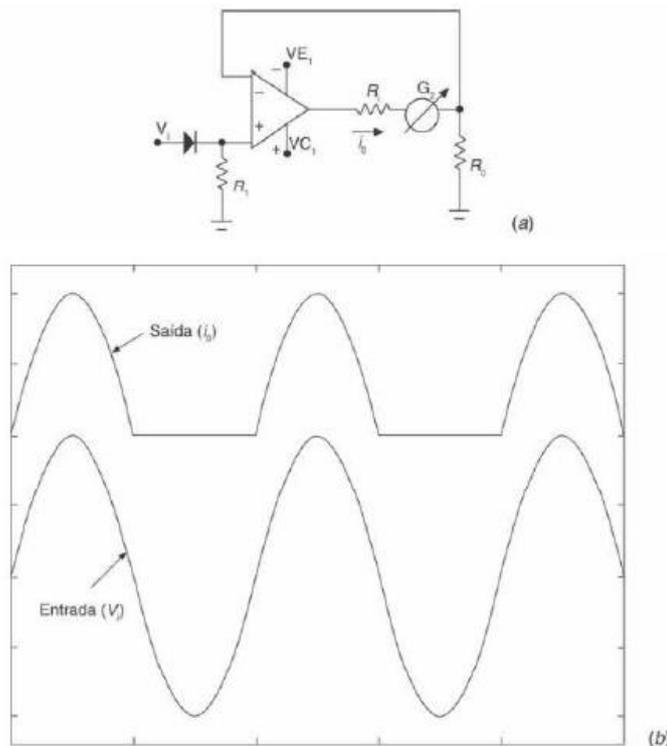
Figura 21 - Circuito Medidor de Tensão Eletrônico com AMP-OP.



Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELO, 2015).

Podem ser implementados circuitos medidores de tensão alternada, utilizando um diodo para a retificação do sinal e permitindo que a condução aconteça apenas no semi ciclo positivo. A Figura 22 ilustra um circuito medidor de tensão com amplificador operacional utilizando um diodo para retificação e a respectiva forma de onda de entrada e saída (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

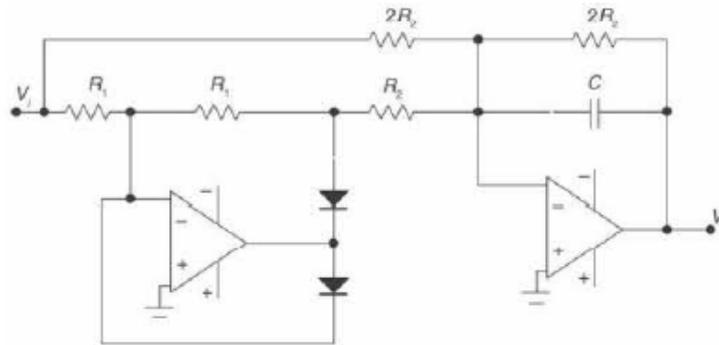
Figura 22 - Circuito Medidor de Tensão Alternada Eletrônico com AMP-OP e Diodo.



Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELO, 2015).

A configuração demonstrada anteriormente pode ser melhorada como mostra a Figura 23. Utilizando um retificador de onda completa integrador também conhecido como filtro passa baixo. (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

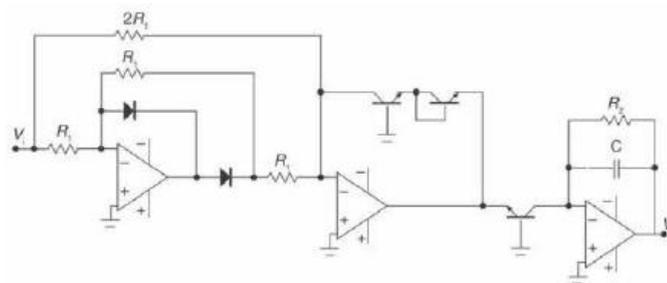
Figura 23 - Circuito Medidor de Tensão Alternada Eletrônico Usando Filtro Passa Baixas.



Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELO, 2015).

Existe também uma configuração em três etapas, aplicada em voltímetros *True RMS*, mostrado na Figura 24. Utiliza um retificador de onda completa na primeira etapa, na segunda etapa faz uso de uma configuração com o amplificador operacional em conjunto com um circuito de transistores que realiza a função matemática de multiplicação e na terceira etapa é feito o uso de um integrador através de um filtro passa baixo (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

Figura 24 - Circuito de Medidor de Tensão TRUE RMS.



Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELO, 2015).

2.3.5 Medida de Resistência

Quando falamos de medidas elétricas, a medição de resistência é algo muito comum e necessário em diversas atividades industriais e laboratoriais, diversas técnicas

utilizadas para medição de resistência são conhecidas, técnicas cujo as quais dependem diretamente do valor de resistência que se deseja medir e da precisão requerida pelo operador. Em outras palavras dependem de qual vai ser a aplicação da medida (MEDEIROS FILHO 1981).

Existem três categorias: resistências pequenas, resistências médias e resistências grandes. Cada categoria possui seus respectivos métodos para executar a medição como mostrado.

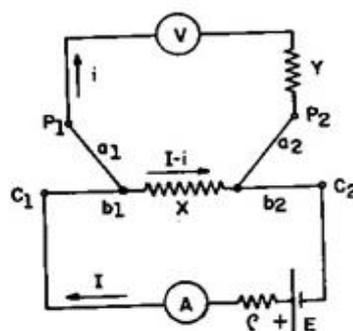
I. Métodos para medição de resistências Pequenas

Para medição de resistências pequenas, na faixa de $10\mu\Omega$ a 1Ω , os seguintes métodos são os mais utilizados:

- Método do Galvanômetro Diferencial;
- Método do Potenciômetro;
- Ponte de Kelvin;
- Ohmímetro *Ducter*.

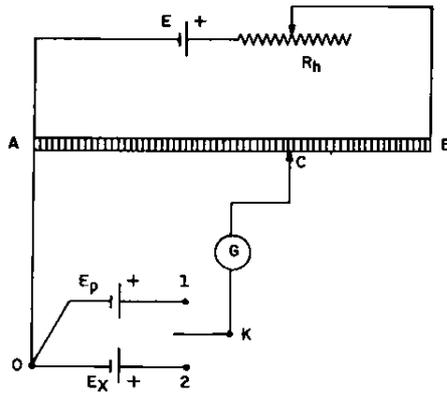
Quando se realiza a medição de resistências pequenas é preciso levar em consideração fatores que interferem no valor da medida, que são desprezados na medição de resistências médias. Um dos fatores é a resistência dos condutores do circuito e outro é a resistência dos contatos dos condutores. Quando não levados em consideração esses fatores tendem a assumir valores significativos causando grande erro na medição. Para auxiliar na diminuição desses elementos indesejáveis os instrumentos para medição de resistências pequenas são divididos em dois circuitos, de corrente e potencial, mostrado na Figura 25 (MEDEIROS FILHO, 1981).

Figura 25 - Circuito Para medição de Resistências Pequenas.



Fonte: (MEDEIROS FILHO, 1981).

Figura 27 - Circuito do Método do Potenciômetro.

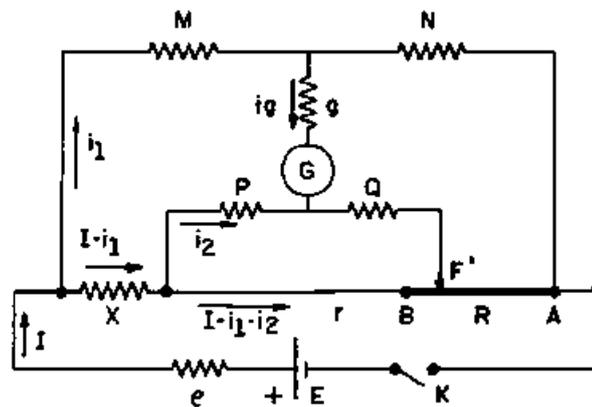


Fonte: (MEDEIROS FILHO, 1981).

Ponto de Kelvin

A ponte de Kelvin é conhecida por sua simplicidade aliada a grande eficiência em medidas de resistências elétricas pequenas, sendo utilizada tanto no campo quanto em laboratórios. O esquema do circuito utilizado na ponte de Kelvin é mostrado na Figura 28 (MEDEIROS FILHO, 1981).

Figura 28 - Circuito da Ponte de Kelvin.



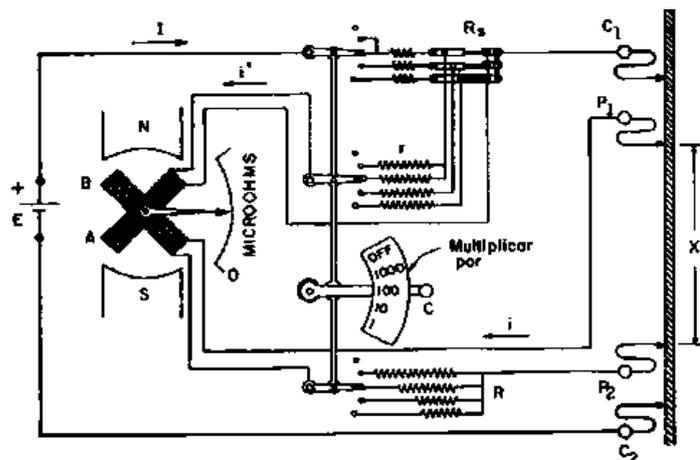
Fonte: (MEDEIROS FILHO, 1981).

Ohmímetro Ducter

Existe um instrumento construído especificamente para medição de resistências elétricas pequenas chamado Ohmímetro *Ducter*. É muito utilizado para medir a

resistência de condutores, contatos e conexões. Possui uma grande aceitação em aplicações industriais, no fornecimento e distribuição de energia no que diz respeito a manutenção. Sendo usado principalmente no monitoramento das resistências de contatos de dispositivos de fechamento e abertura de circuitos como, disjuntores, religadores, contadores, chaves seccionadoras entre outros, segue seu circuito mostrado na Figura 29 (MEDEIROS FILHO 1981).

Figura 29 - Circuito do Ohmímetro *Ducter*.



Fonte: (MEDEIROS FILHO, 1981).

J. Métodos para medição de resistências Médias

Para realizar a medição de resistências médias, na faixa de 1Ω a $1M\Omega$, os seguintes métodos são conhecidos:

- Método do Voltímetro e Amperímetro;
- Ohmímetro;
- Método de Substituição;
- Ponte de Wheatstone.

Método do Voltímetro e Amperímetro

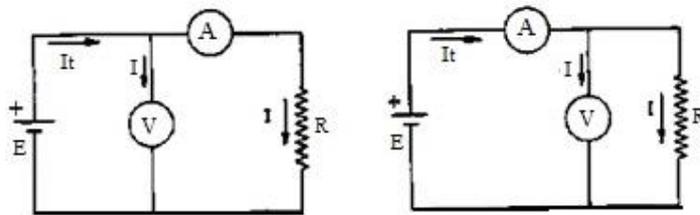
O método do voltímetro e amperímetro consiste simplesmente na implementação de um amperímetro e um voltímetro no circuito onde deseja-se saber o valor da resistência. Uma vez que o amperímetro e o voltímetro determinam a corrente e a tensão

no circuito é possível calcular a resistência utilizando a lei de Ohm (MEDEIROS FILHO 1981). Como vê-se em 3.

$$R = \frac{V}{I} \quad (3)$$

Existem dois tipos de montagens para este método, montagem a montante e montagem a jusante, ilustradas na Figura 30. A montagem a montante recebe este nome pois o voltímetro em relação a fonte de tensão vem antes do amperímetro na montagem. Pelo contrário a montagem a jusante o voltímetro em relação a fonte de tensão é colocado depois do amperímetro (MEDEIROS FILHO 1981).

Figura 30 - Montagem a Jusante e Montante.



Fonte: (MEDEIROS FILHO, 1981).

A montagem a jusante deve ser empregada quando a condição (4) é atendida.

$$R \gg \text{Resistência Interna do Amperímetro} \quad (4)$$

A montagem a montante deve ser utilizada quando a condição (5) é atendida.

$$R \ll \text{Resistência Interna do Voltímetro} \quad (5)$$

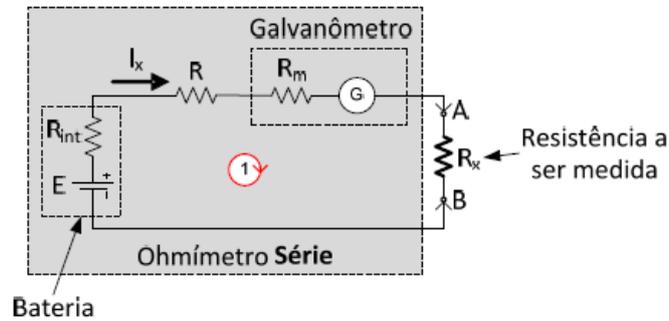
Ohmímetro

O instrumento construído especificamente para determinar o valor da resistência elétrica em Ohms se chama Ohmímetro. Assim como os amperímetros e voltímetros, eles também podem ser construídos a partir de um galvanômetro. Existem dois tipos de projetos para se construir um Ohmímetro por meio de um galvanômetro, o Ohmímetro série e o Ohmímetro paralelo (LEÃO e KUROKAWA 2002).

O Ohmímetro série consiste em um galvanômetro com escala graduada em Ohms, uma bateria e uma resistência cujo a função é limitar a corrente vinda da fonte, de forma que a mesma seja igual a corrente de fundo de escala do galvanômetro. Sendo que os

elementos mencionados, galvanômetro, bateria e resistência limitadora, devem ser conectados em série, como mostrado na Figura 31 (LEÃO e KUROKAWA, 2002).

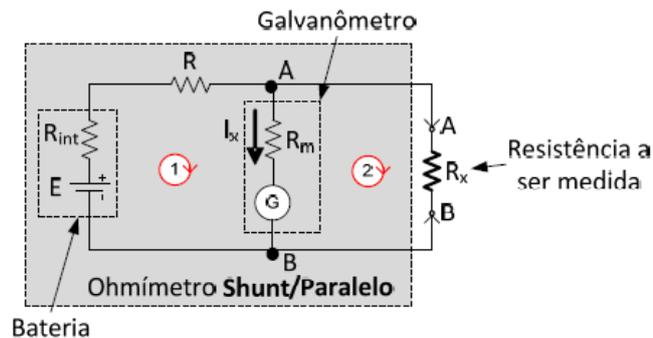
Figura 31 - Circuito do Ohmímetro Série.



Fonte: (LEÃO e KUROKAWA, 2002).

O ohmímetro paralelo é construído utilizando os mesmos elementos do ohmímetro série, com a diferença de nessa configuração o galvanômetro é conectado em paralelo com relação ao restante dos componentes do circuito. O circuito do ohmímetro paralelo é mostrado na Figura 32 (LEÃO e KUROKAWA 2002).

Figura 32 - Circuito do Ohmímetro Paralelo.



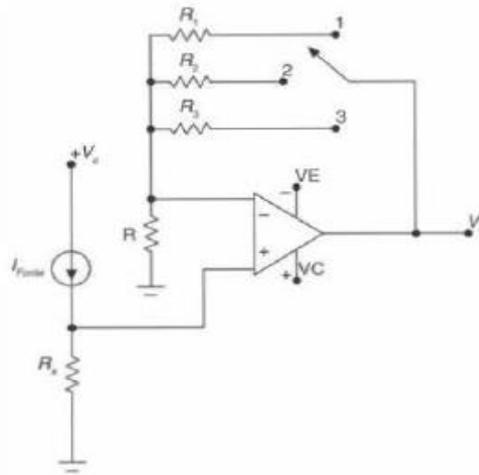
Fonte: (LEÃO e KUROKAWA, 2002).

O Ohmímetro digital pode ser implementado apenas utilizando um conversor analógico digital associado a um display digital que mostra o valor da medida (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

Análogo aos amperímetros e voltímetros, é possível projetar circuitos eletrônicos para executar a função de um ohmímetro. O circuito a seguir utiliza uma fonte de corrente, um amplificador operacional e resistores que compõem as escalas do instrumento.

Basicamente a corrente é aplicada na resistência a ser medida e a relação entre a tensão e corrente define o valor da resistência, as escalas podem ser alteradas, mudando o ganho da configuração, conforme a necessidade da medição, como vê-se na Figura 33. (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

Figura 33 - Circuito Eletrônico Medidor de Resistencia Baseado em Fonte de Corrente.

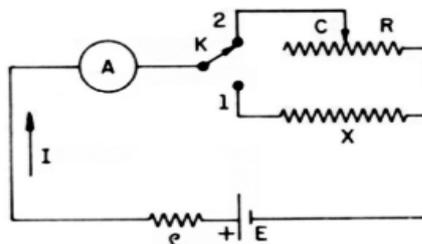


Fonte (BALBINOT e BRUSAMARELO, 2015).

Método da Substituição

O método da substituição constitui basicamente na implementação de um circuito composto por uma bateria, uma resistência variável conhecida e a resistência que se deseja saber o valor, mostrado na Figura 34 (MEDEIROS FILHO, 1981).

Figura 34 - Circuito do Método da Substituição.



Fonte: (MEDEIROS FILHO, 1981).

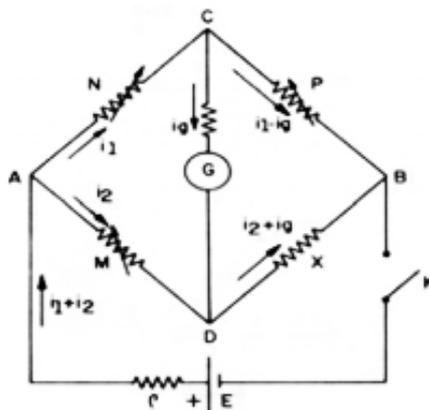
O princípio de funcionamento consiste em medir o valor de corrente que passa pela resistência desconhecida. Posteriormente altera-se a configuração do circuito para a posição onde se encontra a resistência variável, que é ajustado até que o valor da corrente

seja igual ao da corrente que circula pela resistência desconhecida, logo o valor da resistência que foi ajustado será igual ao da resistência desconhecida (MEDEIROS FILHO, 1981).

Ponte de Wheatstone

O método da ponte de Wheatstone é um dos mais utilizados para medição de resistências médias. É composto por três resistores variáveis conhecidas, uma resistência que se deseja obter o valor, uma bateria e um galvanômetro. Os elementos que compõem os circuitos são dispostos da seguinte forma, mostrado na Figura 35 (MEDEIROS FILHO, 1981).

Figura 35 - Circuito da Ponte de Wheatstone.



Fonte: (MEDEIROS FILHO, 1981).

O princípio de funcionamento consiste em ajustar os três resistores variáveis até que os pontos C e D fiquem com o mesmo potencial, ou seja, o galvanômetro indicará o valor 0 de corrente.

L. Métodos para medição de resistências Grandes

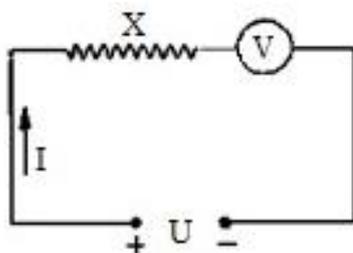
As resistências grandes, maiores que $1M\Omega$, podem ser definidas segundo dos seguintes métodos:

- Método do Voltímetro
- Método da Carga do Capacitor
- Megôhmetro

Método do Voltímetro

O método do voltímetro, como o próprio nome sugere, utiliza um voltímetro que possui uma resistência interna R_v , uma fonte de tensão e a resistência a ser medida X associados em série. Uma tensão contínua de valor conhecido U é aplicada no circuito de forma que uma corrente percorra o circuito e o voltímetro registre um valor de tensão V , segundo o esquema mostrado na Figura 36 (MEDEIROS FILHO, 1981).

Figura 36 - Circuito do Método do Voltímetro para Resistências Grandes.

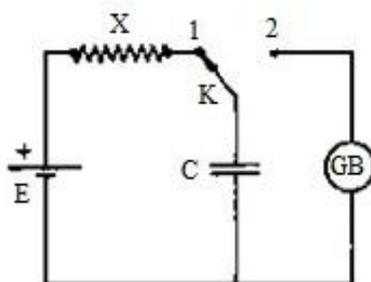


Fonte: (MEDEIROS FILHO, 1981).

Método da Carga do Capacitor

O método da carga do capacitor utiliza um galvanômetro balístico e um capacitor, por esse motivo possui maior aplicação em laboratórios. O uso do galvanômetro balístico é devido a corrente de valor extremamente pequeno que percorre a resistência e não seria detectada por galvanômetros comuns. O esquema do seu circuito é mostrado na Figura 37 (MEDEIROS FILHO, 1981)

Figura 37 - Circuito Método da Carga do Capacitor.

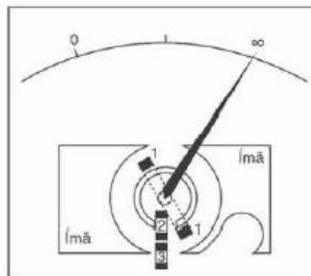


Fonte: (MEDEIROS FILHO, 1981).

Megôhmetro

O instrumento utilizado na prática, pelo fato de ser portátil e robusto, para medição de resistências elétricas de valor elevado se chama megôhmetro. O megôhmetro apresenta características construtivas diferentes de um ohmímetro comum. O instrumento suporta variações repentinas de resistência por consequência de corrente. A Figura 38 ilustra como é realizado a construção de um megôhmetro analógico, na situação em questão está medindo uma resistência infinita ou o circuito está em aberto. Os blocos representados na figura representam uma visão transversal das bobinas, são três bobinas enumeradas que se movimento em conjunto com o mecanismo da agulha. Na construção do megôhmetro analógico não é utilizada a mola, comum em instrumentos analógicos utilizada para estabilizar e retraindo o ponteiro para posição inicial, logo quando não está realizando medição o ponteiro fica solto (MEDEIROS FILHO, 1981; BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

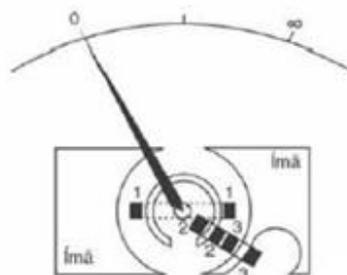
Figura 38 - Megôhmetro medindo uma resistência infinita.



Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

A Figura 39 mostra a deflexão no momento da medição de uma resistência muito pequena (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

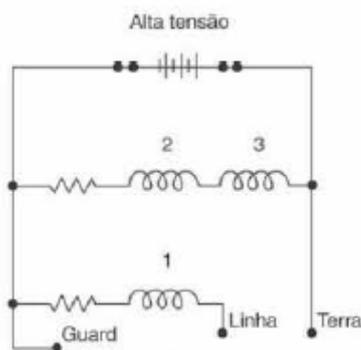
Figura 39 - Megôhmetro medindo uma resistência nula.



Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

Alguns megôhmetros são providos de geradores movidos a manivelas por questões de segurança uma vez que, o nível de tensão contínua chega na casa dos 1000V. Caso o operador ou outra pessoa envolvida leve um choque o movimento será interrompido imediatamente. A Figura 40 representa o circuito elétrico de um megômetro analógico (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

Figura 40 - Esquema Elétrico do Megômetro.



Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

Os megôhmetros providos de bateria, como é o caso dos megôhmetros digitais, utilizam por segurança, um botão sem retenção para ativar a medida, ou seja, a tensão só é liberada caso o operador continue com o botão pressionado. Os megôhmetros possuem três terminais, linha, referência e *guard*. O terminal *guard* é utilizado para desconsiderar resistências que venham a interferir na medida que se deseja fazer. Por exemplo em um cabo com dois condutores deseja-se saber apenas a resistência de isolamento de um dos condutores logo outro deve ser conectado ao *guard* para que não venha a interferir na medida. A Figura 41 uma fotografia de dois tipos de megôhmetros digitais (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

Figura 41 - Megôhmetros Digitais.



Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELO, 2015).

Pode-se dizer que os megôhmetros são instrumentos de campo muito utilizados para medição de resistência de isolamentos. São extremamente úteis para identificar falhas no isolamento devido a umidade ou degradação (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

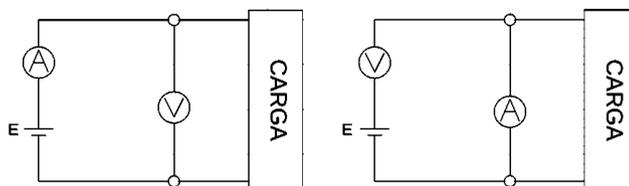
2.3.6 Medida de Potência

Pode-se definir potência como o trabalho realizado durante certo período de tempo. A medição de potência é feita de maneiras diferentes de acordo com o tipo de corrente do sistema, alternada ou contínua. Em corrente contínua a potência é dada simplesmente pelo produto entre tensão e corrente. Já em corrente alternada deve-se levar em consideração ainda os desfasamentos tanto da tensão quanto da corrente. O fluxo de potência é outro ponto que deve ser levado em consideração, visto que, na metade do ciclo a fonte pode estar fornecendo energia a um sistema e na outra metade ela pode estar recebendo energia do mesmo sistema (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

M. Método do voltímetro e amperímetro para medição de potência.

Um método bastante simples possível de ser aplicado em circuitos de corrente contínua é o método do voltímetro e amperímetro, análogo ao método utilizado para medição de resistências elétricas médias. Nesse método utilizamos um voltímetro em paralelo com a carga e um amperímetro, realizando ao mesmo tempo a medida de tensão e corrente, a potência é encontrada através do produto das medidas de tensão e corrente obtidos no circuito, como mostra-se na Figura 42 (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

Figura 42 - Método do Voltímetro Amperímetro para medição de Potência.



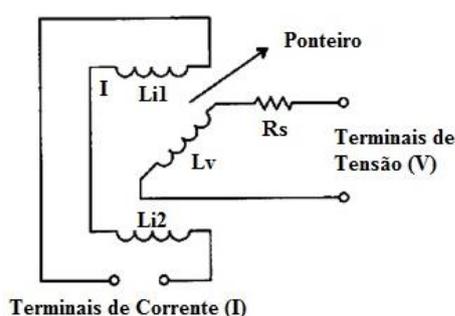
Fonte: (Adaptado de BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

O método apresenta algumas falhas, como o fato de utilizar dois instrumentos para executar a medição de uma única grandeza, que causam erro no valor final de potência.

N. Wattímetro analógico

O wattímetro é um instrumento para medição de potência. Consiste basicamente em duas bobinas fixas utilizadas para medir corrente e uma bobina móvel utilizada para a medição de tensão, sendo que, a bobina de tensão é acoplada a um ponteiro que indica a medida da potência em uma escala graduada. Esquema mostrado na Figura 43 (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015; GUSSOW, 1997).

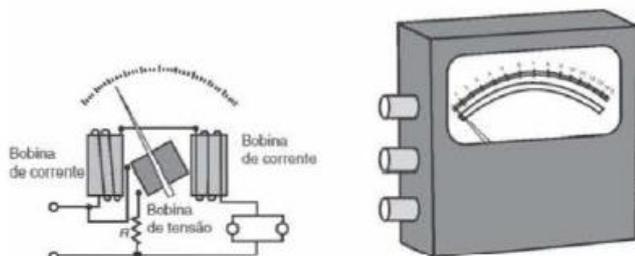
Figura 43 - Esquema Simplificado de um Wattímetro analógico.



Fonte: (Adaptado de GUSSOW, 1997).

Pode-se afirmar que analogamente ao amperímetro, as bobinas fixas de corrente possuem impedância baixa e analogamente ao volímetro a bobina móvel de tensão possui impedância alta. A execução da medida será feita de forma que o circuito do wattímetro se comporte como um volímetro e um amperímetro conectados à carga que se deseja saber a potência, ou seja, o torque resultante na bobina móvel de tensão será fruto do produto entre a corrente que percorre as bobinas fixas e a tensão em cima da bobina móvel. A Figura 44 mostra mais detalhes de um wattímetro analógico (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

Figura 44 - Detalhes de um Wattímetro Analógico.

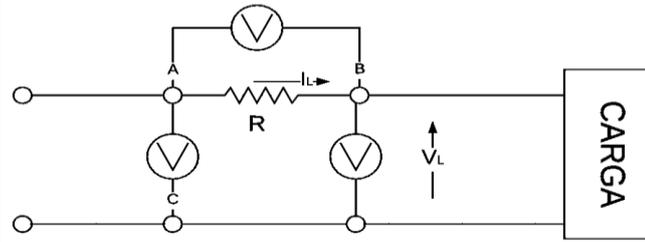


Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2015).

O. O método dos três voltímetros

É possível mensurar a potência de uma carga simplesmente utilizando uma resistência e três voltímetros associados entre si conforme a seguinte Figura 45 (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

Figura 45 - Método dos três Wattímetros para Medição de Potência de uma Carga.



Fonte: (Adaptado de BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

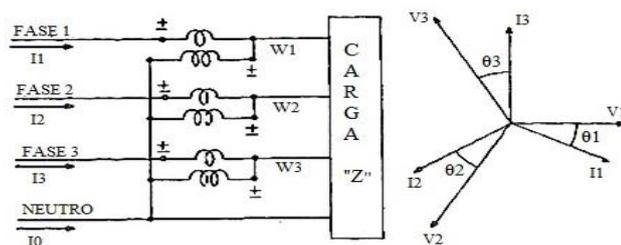
Onde a potência da carga é dada pela equação 6.

$$P_L = \frac{V_{AC}^2 - (RI_L^2) - V_L^2}{2R} \quad (6)$$

P. O método dos Três Wattímetros

O método dos três Wattímetros é aplicado para mensurar a potência elétrica em circuitos de corrente alternada trifásicos equilibrados ou desequilibrados, onde esteja disponível três fios de fase e um neutro, conforme a Figura 46. A montagem consiste em aplicar três wattímetros, um em cada fase, e determinar o valor de potência em cada fase. Sabe-se que a potência em um circuito trifásico é a soma das potências por fase logo a potência pode ser dada pela equação 7 ou 8 (MEDEIROS FILHO, 1986).

Figura 46 - Circuito Método dos três Wattímetros e Diagrama de fases.



Fonte: (MEDEIROS FILHO, 1986).

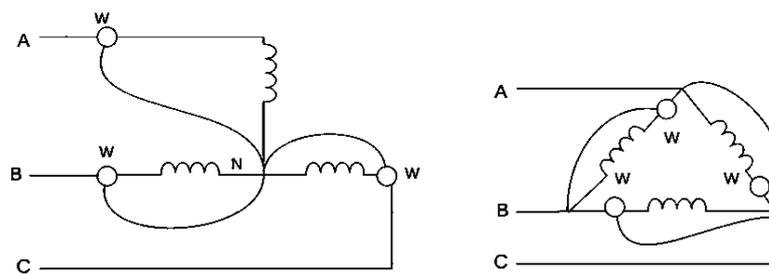
$$P = W_A + W_B + W_C \quad (7)$$

$$P = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos \theta \quad (8)$$

Q. O método dos dois Wattímetros

Possuindo a necessidade de medir a potência de circuitos de corrente alternada trifásicos, sabe-se que a soma da potência das três fases é igual a potência total a ser medida. Porém a utilização de três wattímetros, um em cada fase, é algo impraticável devido ao grau de dificuldade proporcionado. No caso de uma carga em delta, na grande maioria das vezes seria impossível abrir todas as fases e no caso de uma carga em estrela o ponto neutro onde o wattímetro deve ser conectado geralmente não é acessível. Ligações delta e estrela mostrados na Figura 47 (GUSSOW, 1997).

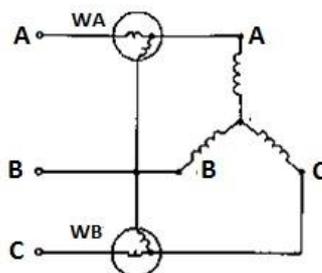
Figura 47 - Esquema de Ligação do Wattímetro Estrela e Delta.



Fonte: (Adaptado de GUSSOW, 1997).

Levando em consideração esses empecilhos o método dos dois wattímetros é utilizado, conforme o seguinte circuito, na Figura 48.

Figura 48 - Circuito de medição utilizando o método dos dois wattímetros.



Fonte: (GUSSOW, 1997).

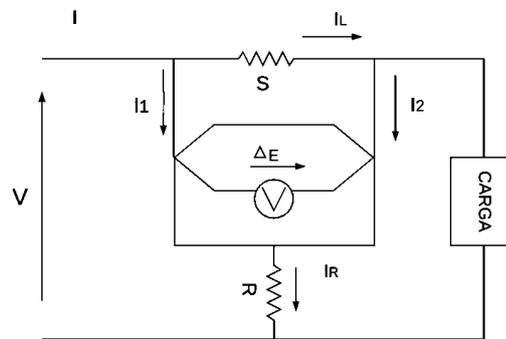
Em um circuito trifásico equilibrado a potência total a ser medida será a soma da medida obtida pelos dois wattímetros empregados no circuito, conforme a equação 9. É preciso se atentar ao sinal, positivo ou negativo, das duas medidas de potência para que a soma seja feita corretamente. Para identificar o sinal é necessário desconectar a bobina de potencial do wattímetro de menor potência e conectar no ponto onde a bobina de corrente do outro wattímetro está conectado, se o wattímetro indicar um valor decrescente o sinal é negativo e se for crescente é positivo. (GUSSOW, 1997).

$$P = W_A + W_B \quad (9)$$

R. Wattímetro térmico

O wattímetro térmico utiliza dois termopares iguais, onde a saída é proporcional ao quadrado do valor eficaz da corrente que circulam pelos aquecedores presentes no instrumento. Esquema mostrado na Figura 49 (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

Figura 49 - Representação do circuito do Wattímetro térmico.



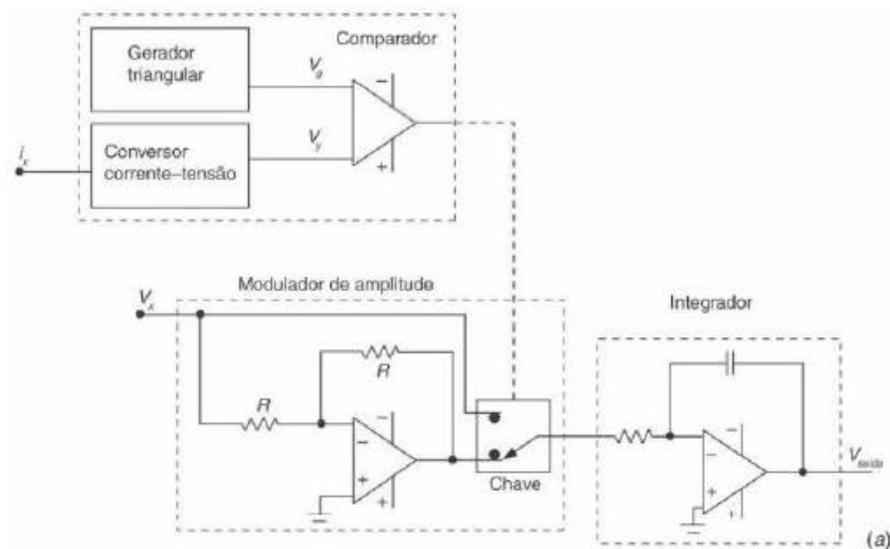
Fonte: (Adaptado de BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

A resistência S é bem menor que a resistência dos aquecedores. Quando o circuito não está conectado a nenhuma carga, a corrente que percorre os aquecedores é igual, logo não existe diferença de potencial nos termopares. Uma vez conectado a carga uma corrente irá circular fazendo com que a queda de tensão em cima da resistência S aumente. Isso irá criar uma diferença entre as correntes que percorrem os aquecedores e consequentemente cria uma diferença de temperatura registrada nos termopares que é medida pelo voltímetro (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

S. Wattímetros baseados em circuitos eletrônicos

Existem wattímetros baseados em multiplicadores analógicos, circuitos analógicos que operam em quatro quadrantes e possuem a capacidade de processar os sinais de tensão e corrente assim fornecendo o valor da potência instantaneamente. Na saída é utilizado um integrador que tem a função de realizar a operação da potência média durante o tempo, como a Figura 50 abaixo (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

Figura 50 - Circuito de um Wattímetro eletrônico baseado em multiplicadores analógicos.

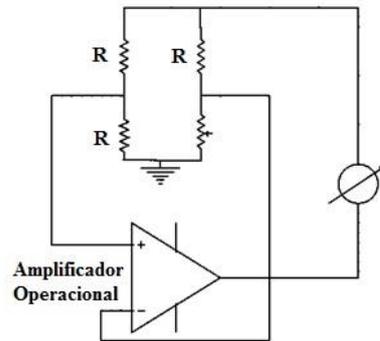


Fonte: (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

Além wattímetros baseados em multiplicadores analógicos existem também wattímetros digitais que são baseados em multiplicadores digitais. São implementados utilizando microprocessadores aliados a demais dispositivos periféricos. A utilização de dispositivos periféricos permite a aquisição e multiplicação dos sinais de tensão e corrente. O sistema ainda permite que tanto os sinais de saída quanto os de entrada sejam processados aumentando a qualidade do resultado final (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

Os wattímetros baseados em efeito *Hall* utilizam um transdutor de efeito *Hall* onde, a tensão de saída depende da corrente que passa pelo transdutor e do campo magnético ortogonal. Esse tipo de wattímetro é utilizado para medir a potência de sinais onde a faixa de frequência está na casa dos Mega Hertz. Esquema mostrado na Figura 51 (BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

Figura 51 - Ponte de balanceamento de tensão com um termistor para implementação de um Wattímetro.



Fonte: (Adaptado de BALBINOT e BRUSAMARELLO 2015).

2.3.7 Casamento de Impedância

É de conhecimento que a equação complexa de uma impedância é dada pela seguinte equação 10.

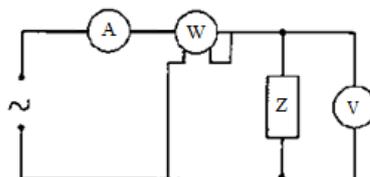
$$Z = R + jX \quad (10)$$

Para determinar uma impedância é necessário saber o valor da resistência e da reatância. Assim como a medição de resistências existem diversos métodos que podem ser utilizados para determinar o valor de impedâncias. Os métodos que a serem abordados são o método do wattímetro, método do voltímetro e amperímetro, método dos três voltímetros e método dos três amperímetros (MEDEIROS FILHO, 1981).

T. Método do Wattímetro

O método do wattímetro é implementado utilizando uma fonte alternada, um amperímetro, um voltímetro e o próprio wattímetro, segundo a configuração do circuito a mostrado na Figura 52 (MEDEIROS FILHO, 1981).

Figura 52 - Circuito do método do Wattímetro.



Fonte: (MEDEIROS FILHO, 1981).

Uma vez que as medidas de tensão, corrente e potência da impedância são mensurados pelos instrumentos no circuito é possível calcular o valor impedância Z através de equações já conhecidas (MEDEIROS FILHO, 1981).

A medida do fator de potência e do módulo da impedância são dados pelas equações 11 e 12:

$$\cos \theta = \frac{P}{V \cdot I} \quad (11)$$

$$|Z| = \frac{V}{I} \quad (12)$$

Uma vez obtido os valores do fator de potência e do módulo da impedância é possível calcular o valor da resistência e da reatância segundo as equações 13 e 14.

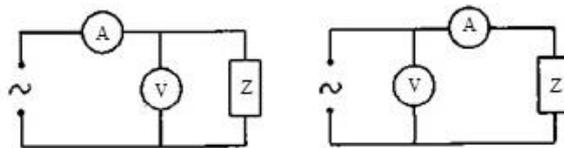
$$R = |Z| \cdot \cos \theta \quad (13)$$

$$X = |Z| \cdot \sin \theta \quad (14)$$

U. Método do voltímetro e amperímetro para impedância

Esse método é análogo ao método adotado em medições de resistências, com duas montagens possíveis, mostrado na Figura 53 (MEDEIROS FILHO, 1981).

Figura 53 - Circuito do método do Voltímetro e amperímetro para medição de impedância.



Fonte: (MEDEIROS FILHO, 1981).

A resistência da R é obtida realizando a medição em corrente contínua como mostrado no método para medição de resistências. Evidentemente a medição da impedância Z deve ser feita em corrente alternada. Por final o valor do módulo da impedância e da reatância podem ser determinados de forma simples através as equações 15 e 16 a seguir (MEDEIROS FILHO, 1981).

$$|Z| = \frac{V}{I} \quad (15)$$

$$Z = \sqrt{|Z|^2 + R^2} \quad (16)$$

A montagem a montante, quando o voltímetro vem primeiro que o amperímetro em relação a fonte, deve ser utilizada obedecendo a condição 17.

$$|Z| < \frac{1}{100} \cdot \text{Resistência do voltímetro} \quad (17)$$

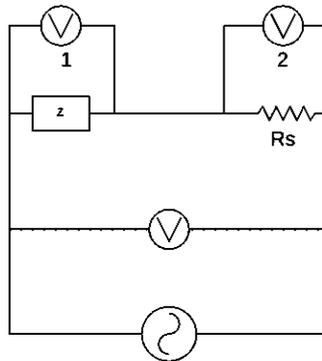
A montagem a jusante, quando o voltímetro vem depois do amperímetro em relação a fonte, deve ser utilizada quando a condição 18 é atendida.

$$|Z| < 100 \cdot \text{Resistência do amperímetro} \quad (18)$$

V. Método dos três voltímetros

O método utiliza três voltímetros, sendo que um dos voltímetros é colocado em uma resistência não indutiva. Analisando o circuito da Figura 54, sabendo que o valor da resistência R é medida utilizando corrente contínua, é possível determinar o valor da reatância X através da equação 19 (MEDEIROS FILHO, 1981).

Figura 54 - Método dos Três Voltímetros.



Fonte: (Adaptado de MEDEIROS FILHO, 1981).

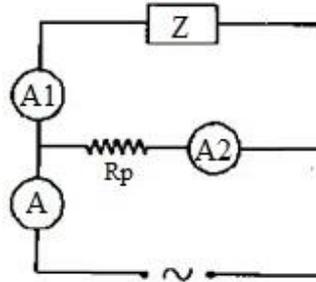
$$X = \sqrt{\frac{4R^2 V_1^2 V_2^2}{V^2 - V_1^2 - V_2^2}} - R \quad (19)$$

X. Método dos três amperímetros

O método dos 3 amperímetros é análogo, porém utiliza amperímetros no lugar dos voltímetros. A resistência é determinada em corrente contínua e através da análise do

circuito na Figura 55 a reatância X é determinada pela equação 20 (MEDEIROS FILHO, 1981).

Figura 55 - Circuito de montagem para medição usando o método dos três amperímetros.



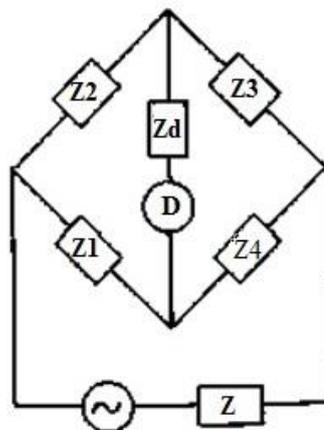
Fonte: (MEDEIROS FILHO, 1981).

$$X = \sqrt{\frac{4R^2 I_1^2 I_2^2}{I^2 - I_1^2 - I_2^2} - R^2} \quad (20)$$

W. Ponte de corrente alternada

A ponte de *wheatstone* apresentada na seção 2.3.5 alínea, J também pode ser utilizada na determinação de impedâncias. No lugar das resistências são colocadas as impedâncias e o circuito é alimentado em corrente alternada. O nome dado a essa configuração é ponte de corrente alternada ou ponte de impedância, como mostrado na Figura 56 (MEDEIROS FILHO, 1981).

Figura 56 - Ponte de corrente Alternada.



Fonte: (MEDEIROS FILHO, 1981).

Os valores das impedâncias na ponte de corrente alternada obedecem a igualdade conforme a equação 21 (MEDEIROS FILHO, 1981).

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4 \quad (21)$$

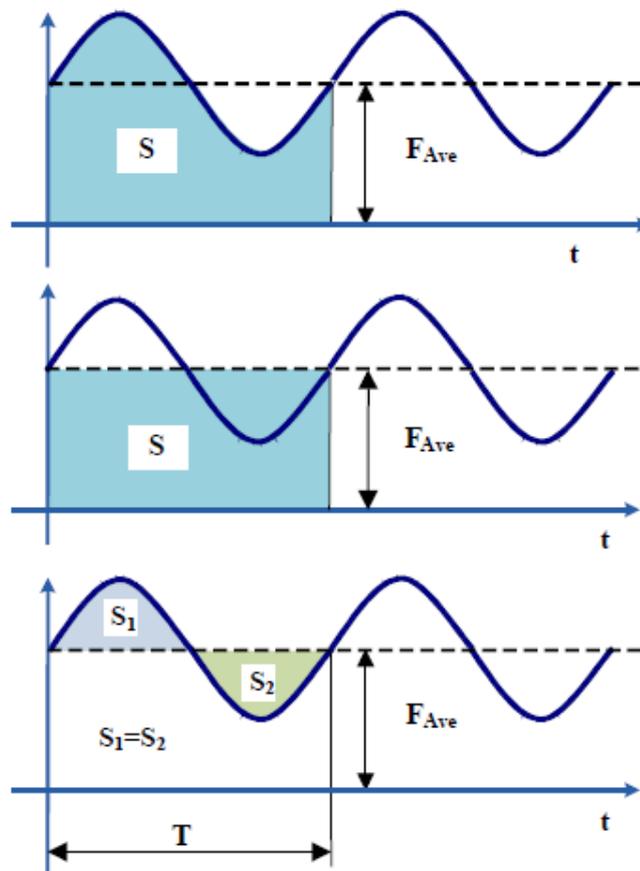
2.4 Tipos de Medidores

2.4.1 Average Sensing

O valor Médio também conhecido como *Average* de um sinal alternado de corrente ou tensão representa o componente equivalente em sinal contínuo. O valor dessa componente, representado na equação 22, é igual a área sob forma de onda ao completar um período T. A Figura 57 ilustra o valor médio de uma forma de onda alternada. (NAKASHIMA 2013).

$$\text{Valor Médio} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (22)$$

Figura 57 - Representação do Valor Médio.



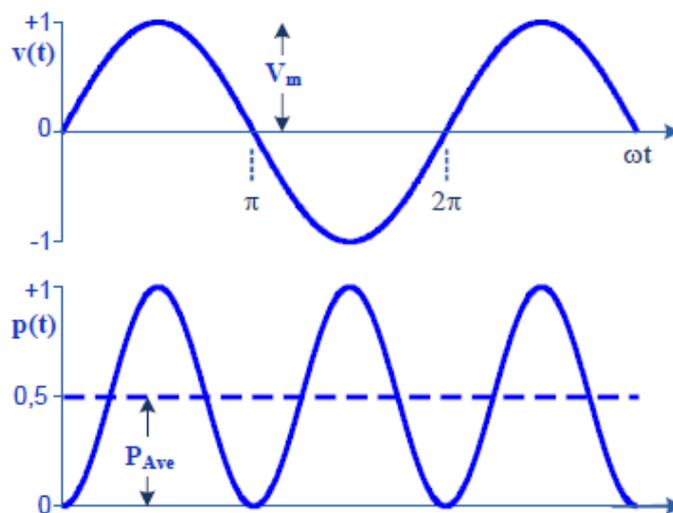
Fonte: (NAKASHIMA, 2013).

Os instrumentos *average sensing* são capazes de medir com precisão os valores médios de qualquer sinal contínuo, mas ao utiliza-lo na medição de sinais alternados o valor eficaz ou RMS será medido com precisão apenas se o sinal senoidal for perfeito, em outras palavras, os medidores *average sensing* não são capazes de medir com precisão o Valor eficaz em sistemas onde a forma de onda do sinal apresenta distorções, sinais retificados ou formas de retangulares e triangulares (NAKASHIMA 2013).

2.4.2 True Rms

Sabe-se que em um sinal alternado a polaridade da tensão e a direção da corrente variam com o tempo. O valor eficaz conhecido como RMS (Root Mean Square) de um sinal alternado é diretamente ligado ao calor ou potência dissipado em uma resistência. O valor RMS de um sinal alternado fornece um valor equivalente em sinal contínuo que dissiparia o mesmo valor de potência ou calor em uma resistência. A figura 58 mostra o valor eficaz e a potência (NAKASHIMA 2013).

Figura 58 - Valor eficaz e potência.



Fonte: (NAKASHIMA, 2013).

O valor eficaz pode ser expressado através da equação 23, que relaciona o valor de pico ou valor máximo com a raiz quadrada de 2. (NAKASHIMA 2013).

$$\text{Valor eficaz} = \frac{V_P}{\sqrt{2}} \quad (23)$$

Os medidores TRUE RMS são capazes de realizar com precisão medidas sem sofrer interferência em sistemas onde há a presença de distorções, isto é, conseguem indicar o verdadeiro valor eficaz de qualquer forma de onda senoidal (NAKASHIMA 2013).

Os instrumentos TRUE RMS são bem mais caros que os instrumentos comuns, segundo estimativas chegam a ser de 5 a 10 vezes mais caros que os medidores *average sense* e representam apenas 10% dos medidores presentes no mercado (NAKASHIMA 2013).

2.5 Instrumentos Digitais

2.5.1 Características Construtivas

Diferentemente dos instrumentos analógicos que são baseados na medição de corrente (amperímetro), os instrumentos digitais são baseados na medição de tensão (voltímetro), ou seja, assim como nos instrumentos analógicos de bobina móvel com as alterações necessárias e inseridos no circuito correto é possível mensurar diversas outras grandezas a partir de um instrumento digital como, corrente, resistência, frequência, capacitância entre outros. Na seção 2.3.3 alínea D, pode-se ver um exemplo a respeito disso onde o sinal de corrente é convertido em sinal de tensão por um circuito intermediário (LEÃO E KUROKAWA 2003).

É conhecido que o termo digital é utilizado para descrever instrumentos onde o processamento, condicionamento e apresentação do sinal é feito de forma digital. A Principal característica construtiva do instrumento digital é o conversor analógico digital, cujo a função é converter o sinal analógico de entrada em sinal digital (LEÃO E KUROKAWA 2002).

A característica mais expressiva que nos leva identificar um instrumento digital é o display, o display nada mais é que o visor onde valor da grandeza mensurada é mostrado de forma alfanumérica. Destaca-se dois tipos de display presentes no mercado, LED (*Light Emiting Diode*) e cristal líquido LCD (*Liquid Crystal Display*) (LEÃO E KUROKAWA 2002).

A tabela 1 mostra um comparativo entre as vantagens e desvantagens de cada display. (LEÃO E KUROKAWA 2002).

Tabela 1 - Comparativo entre LED e LCD.

Tipo	Vantagens	Desvantagens
LED	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser visualizado virtualmente de qualquer ângulo. • Proporciona maior facilidade de visualização a distância. • É mais durável que o LCD • Pode ser utilizado em ambientes com pouca luz. • O tempo de resposta varia muito pouco com a temperatura ambiente. • Pode ser utilizado em condições ambientais adversas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de energia elevado em relação ao LCD. • Dificuldade de visualização quando exposto ao sol.
LCD	<ul style="list-style-type: none"> • Permite leitura em ambientes externos, mesmo exposto ao sol. • Consumo de energia muito baixo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exige iluminação de fundo em ambientes com pouca luz. • Tempo de resposta decresce em baixas temperaturas.

Fonte: (LEÃO e KUROKAWA, 2002).

2.5.2 Características Operacionais

Assim como nos instrumentos analógicos os instrumentos digitais possuem características operacionais próprias. A resolução dos instrumentos digitais está relacionada ao menor valor que ele é capaz de mensurar ou último dígito representado na tela do medidor. A capacidade de contagem de um instrumento digital pode ser definida por meio de uma numeração, sendo o primeiro dígito a quantidade de números inteiros de 0 a 9 e o segundo representa apenas 1 dígito fracionado. Logo, $3^{1/2}$, $3^{1/4}$, $3^{1/5}$, $3^{1/7}$, $4^{1/2}$ e assim por diante, representam respectivamente 1999, 3999, 4999, 6999 e 19999 contagens (LEÃO E KUROKAWA 2002).

A exatidão dos instrumentos digitais informa o máximo erro tolerável, segundo os fabricantes, que o instrumento deve ter. Enquanto a exatidão de um instrumento analógico está relacionada ao valor de fundo de escala, em um instrumento digital a exatidão está relacionada ao valor mostrado no display por exemplo, se um instrumento possui um erro de 1% e apresenta em seu visor uma medida de 100 unidades de uma determinada grandeza, isso quer dizer que o real valor deve estar na faixa 99 a 101 unidades. Citando outro exemplo onde é informado o quanto o último dígito pode variar, um voltímetro com erro de $(\pm 1\% + 2)$ mede uma tensão de 127 V logo, o real valor estará na faixa de 125,71V a 128,29V (LEÃO E KUROKAWA 2002).

A grande maioria dos instrumentos digitais são do tipo *average sense*, como mostrado na seção 2.4 apresentam valores bem precisos para medição em corrente contínua ou corrente alternada com forma de onda senoidal perfeita. Caso seja utilizado em situações onde a forma de onda senoidal não é perfeita apresentará erro, sendo necessário o uso de instrumentos *True RMS* (LEÃO E KUROKAWA 2002).

2.6 Precisão e Exatidão

Conforme Medeiros Filho (1981) aborda, os termos precisão e exatidão em diversas situações práticas são definidos com o mesmo significado, sendo que possuem definições diferentes, em consequência disso faz-se necessário efetuar a devida diferenciação entre estes dois termos.

A precisão é uma característica determinada estatisticamente presente nos instrumentos, ela é a diferença entre as medidas de uma determinada grandeza comparada à média aritmética destas mesmas medidas, ou seja, a precisão está mais relacionada ao ato de medir certa grandeza. Em outras palavras a precisão é uma avaliação estatística dos valores medidos de uma grandeza que diz o quão coerente é a medida executada, justamente pelo fato de ser uma análise estatística a precisão não vem indicada nos instrumentos. A representação da precisão é dada pelo índice de precisão, que pode ser calculado por meio do desvio padrão da média dos valores medidos utilizando a equação 24 (MEDEIROS FILHO 1981).

$$\mathcal{P} = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (24)$$

Exatidão é a diferença entre a medida realizada no instrumento de medição em relação a um valor tomado como parâmetro de referência. A exatidão é absolutamente

relacionada com o projeto e às características construtivas do instrumento. E o que define se um instrumento é mais ou menos exato que o outro é o erro sistemático entre o valor da grandeza medida e o valor tomado como padrão de referência. Vale salientar ainda que a exatidão é representada em cada instrumento pelo seu respectivo fabricante, tal representação é chamada de classe de exatidão, pode-se definir como o limite de erro permitido pelo fabricante ao efetuar uma medida em determinado instrumento, a classe de exatidão é representada pelo índice de classe, que basicamente é um número calculado como uma porcentagem do calibre dos instrumentos (MEDEIROS FILHO 1981).

2.7 Resolução e Sensibilidade

Pode-se definir resolução como sendo o menor valor que o instrumento de medição é capaz de medir, no caso de instrumentos analógicos seria a menor divisão representada na escala do instrumento e quando se trata de instrumentos digitais, diz respeito ao último dígito presente na tela do medidor (MEDEIROS FILHO 1981).

A sensibilidade é a característica de um instrumento que expressa a diferença entre o valor de uma determinada grandeza medida e o valor indicado na medição (MEDEIROS FILHO 1981). Em outros termos “A sensibilidade de um instrumento é a variação do valor da saída em estado estacionário provocada por uma pequena variação da variável de entrada, também em estado estacionário” (AGUIRRE, 2013, p. 53).

2.8 Erro

Para execução desse trabalho necessita-se a realização de uma breve revisão à respeito da teoria dos erros, assunto de suma importância que deve ser abordado para um melhor embasamento ao analisar-se os resultados finais. Medeiros Filho (1981) enfatiza muito bem o valor que o estudo a respeito da teoria dos erros tem tanto para as indústrias quanto para o uso acadêmico.

Os mais diversos erros existentes ao se executar uma medida elétrica podem ter diferentes razões para terem acontecido, pode-se classificar essas razões de acordo com a origem de cada erro. Existem erros grosseiros, sistemáticos e Aleatórios (MEDEIROS FILHO 1981).

2.8.1 Erros Grosseiros

Os erros grosseiros são aqueles causados por equívocos ao efetuar a medida de uma grandeza ou no momento da execução dos cálculos, por exemplo, o operador realiza

uma medida de corrente que deveria ser de 15,0 A, mas por engano ele escreve em suas anotações que a medida foi de 1,50 A, neste caso o operador cometeu um erro no posicionamento da vírgula alterando completamente o valor medido, outros erros comuns que podem ser descritos são, troca da posição de algarismos e falha ao fazer operações básicas . Quando detectado um erro grosseiro a medição deve imediatamente ser refeita, quando possível, ou até mesmo descartada (VUOLO 1993).

Toda medida está sujeita a erros grosseiros tanto na medição quanto ao efetuar os cálculos, obviamente um erro grosseiro é algo que não deve ser tolerado de forma alguma, uma vez que, ao ser mantida dentro do conjunto de dados comprometera o resultado final. Para que esse tipo de erro seja evitado existem algumas medidas a serem tomadas como, refazer as medias, analisar a coerência dos dados obtidos e conferir com atenção todos os cálculos feitos (VUOLO 1993).

2.8.2 Erros Sistemáticos

Erro sistemático é essencialmente a diferença entre o valor medido e valor real da grandeza, essa diferença tende a persistir em todas as medições realizadas, logo, refazer a medida não surtirá efeito nos resultados. É possível classificar os erros sistemáticos em instrumentais, ambientais, observacionais, teóricos e em constantes (VUOLO 1993).

Erros Sistemáticos Instrumentais

O erro sistemático instrumental é aquele que resulta da calibração do instrumento, o instrumento pode ter sido calibrado de forma incorreta ou não foi calibrado de forma alguma, em outros casos precisa-se que seja feito uma calibração personalizada de acordo com as condições requisitadas por exemplo, de acordo com a temperatura que o aparelho será inserido, componente a ser medido ou desgaste do aparelho. A grande maioria dos erros sistemáticos instrumentais podem ser corrigidos repetindo a calibração no instrumento, se for o caso de acordo com os parâmetros requeridos, ou através de uma nova aferição do equipamento dessa vez corrigindo os resultados obtidos (VUOLO 1993).

Erros Sistemáticos Ambientais

Como o próprio nome sugere os erros sistemáticos ambientais são aqueles causados devido a influência de diversos fatores ambientais na medição pode-se citar, a

temperatura, pressão, humidade, aceleração da gravidade, interferência de campos magnéticos, Luminosidade, ruídos eletromagnéticos entre outros fatores. De modo geral os erros sistemáticos ambientais podem ser reduzidos ou até mesmo extinguidos, para isso deve-se ter conhecimento sobre as condições do ambiente e se possível controlá-las, temperatura, humidade e luminosidade são exemplos de fatores que podem ser controlados, ao se ter conhecimento a respeito dos fatores ambientais é possível ser feita a calibração do instrumento de acordo com ambiente, nos casos onde a calibração não é suficiente, mas o valor da grandeza correspondente ao fator ambiental é conhecido podemos retirá-lo no resultado final assim obtendo o valor real da medida (VUOLO 1993).

Deve-se ressaltar que ao se realizar qualquer tipo de medição ter conhecimento sobre o ambiente é algo muito importante, portanto deve-se fazer um levantamento de todo e qualquer fator ambiental que possa levar a alguma interferência na medida (VUOLO 1993).

Erros Sistemáticos Observacionais

Os erros sistemáticos observacionais ocorrem devido a pequenas incoerências durante a execução da medida ou a limitações do operador. O maior e mais difundido exemplo de um erro observacional é o erro devido ao efeito de paralaxe que ocorre em instrumentos em que a medida é apontada através de um ponteiro sobre uma escala graduada, o erro de paralaxe ocorre por causa da falta de alinhamento da visão do operador com o ponteiro do aparelho, o erro pode ser para mais ou para menos dependendo de como a visão do observador está alinhada, mais à direita ou mais à esquerda. Outro exemplo que pode ser citado é a medição do tempo utilizando um cronômetro manual, o valor medido sempre estará sujeito a atrasos ocasionados pela percepção dos sentidos humanos (VUOLO 1993).

Para evitar ou corrigir esses erros todas as orientações acerca do uso correto do instrumento devem ser seguidas, usando como exemplo o erro de paralaxe, o operador deve se certificar do correto posicionamento da sua visão, deve estar alinhada com o mostrador do instrumento, quando se trata do cronômetro o erro sistemático, por menor que seja, sempre estará presente uma vez que ele está sujeito às limitações humanas (VUOLO 1993).

Erros Sistemáticos Teóricos e Em Constantes

É possível que ao utilizar fórmulas matemáticas prontas para realizar cálculos exista um erro sistemático no valor calculado diferenciando-o do valor real, esse erro é ocasionado por aproximações feitas na dedução das fórmulas. Pois algumas fórmulas prontas desconsideram diversas variáveis como, a influência do ar, temperatura, pressão entre outros (VUOLO 1993).

Deve-se considerar ainda a possibilidade de erros sistemáticos pela utilização de constantes ou grandezas físicas que já possuem erros relevante, citando o caso em que para se fazer uma determinada medição necessita-se saber a temperatura do ambiente, o valor da temperatura ambiente provavelmente também apresentará um erro (VUOLO 1993).

De modo geral os erros sistemáticos teóricos e em constantes podem ser eliminados ou reduzidos para um valor quase nulo, para isso faz-se necessário o uso de modelos matemáticos e constantes exatos ou o mais apropriado possível de acordo com cada situação (VUOLO 1993).

2.8.3 Erros Aleatórios

Os erros aleatórios são aqueles que tem sua origem vinda de variações aleatórias no valor final da medição, onde por alguma razão os fatores que levam a esse erro não podem ser controlados ou não são controlados, essas variações ocorrem unicamente no ato da medida ou em outras ocasiões são variações que fazem parte da essência do valor a ser mensurado. Pode-se citar como exemplo a temperatura do ambiente interferindo quando queremos mensurar a resistência de um condutor de cobre, é sabido que em ambientes muito quentes a resistência dos condutores metálicos tende a aumentar (VUOLO 1993).

Os erros aleatórios podem ser diminuídos ou extinguidos quando os fatores que levam ao erro são controlados ou retirados. Se não for possível a solução adotada deve ser refazer inúmeras vezes a medida, sabendo que o valor médio de um grande número de medidas executadas terá um erro aleatório reduzido, mas ainda presente na medida (VUOLO 1993).

2.8.4 Erro Absoluto e Relativo

A definição de erro nada mais é que, a diferença algébrica entre o valor medido de uma certa grandeza e o valor tido como parâmetro, a equação 25 expressa essa definição (MEDEIROS FILHO 1981).

$$E = V_M - V_E \quad (25)$$

O Valor V_E que serve parâmetro pode ser expresso através da inequação 26.

$$V_M - E \leq V_E \leq V_m + E \quad (26)$$

O valor E pode ser chamado de diferentes maneiras como, limite superior do erro absoluto, limite máximo do erro absoluto ou apenas erro absoluto. (MEDEIROS FILHO 1981).

A razão entre o valor do erro absoluto E e o valor tomado como parâmetro V_E é definida como sendo o Erro relativo, que pode ser representado através da equação 27 (MEDEIROS FILHO 1981).

$$\varepsilon = \frac{E}{V_E} \quad (27)$$

Em algumas situações para efeito de cálculo pode-se considerar que $V_M = V_E$ sabendo que são valores muito próximos entre si. Por final podemos expressar o erro relativo conforme a equação 28 (MEDEIROS FILHO 1981).

$$\varepsilon = \frac{E}{V_E} \cdot 100 \quad (28)$$

2.9 Considerações Finais

Conforme abordado inicialmente e enfatizado no decorrer deste capítulo, os instrumentos de medição eletroeletrônicos são equipamentos essenciais. É possível notar a grande variedade de métodos, instrumentos e circuitos utilizados para realizar a medição de grandezas elétricas. Entender a característica construtivas de cada equipamento foram vitais para o entendimento de cada um. Alguns instrumentos possuem uma grande versatilidade, podendo ser configurado para mensurar diversas grandezas, outros são utilizados em aplicações específicas. Os variados métodos abordados se mostram extremamente eficazes em suas aplicações, seja em laboratório ou em campo, todos possuem diferentes níveis de dificuldades de implementação. Fora as diversas metodologias de medição entender os conceitos e classificações acerca do instrumento é algo muito importante, afinal, a compreensão dos instrumentos também é embasada pelas definições estatísticas, classificações e normas. O estudo realizado neste capítulo se mostrou necessário para a conhecimento de noções de medidas elétricas e auxilia na compreensão para utilização dos medidores em questão neste trabalho e que serão apresentados no capítulo seguinte.

3 APARELHOS AVALIADOS

3.1 Considerações Iniciais

Cada um dos aparelhos estudados nesse trabalho possui suas respectivas características construtivas, operacionais, especificações, modo de utilização e para quais finalidades devem ser empregados. Todas essas informações importantes para compreender e utilizar corretamente os aparelhos podem ser encontradas de forma ampla nos manuais fornecidos pelos seus devidos fabricantes.

Sabendo que as informações acerca dos aparelhos encontram-se na língua inglesa, esse capítulo tem a finalidade de apresentar em língua portuguesa um resumo compilado das principais características dos equipamentos estudados, mostrar como é feita a calibração dos aparelhos e explicar como descarregar os dados armazenados na memória do aparelho.

3.2 Fluke 1738

A FLUKE foi fundada em 1948 nos Estados Unidos, especificamente na cidade de Everett. A empresa é responsável pelo desenvolvimento de aparelhos e *softwares* destinados para realizar testes e medições, direcionados principalmente ao uso industrial, sua clientela é constituída em sua maioria por técnicos e engenheiros que trabalham com energia elétrica (FLUKE 2015).

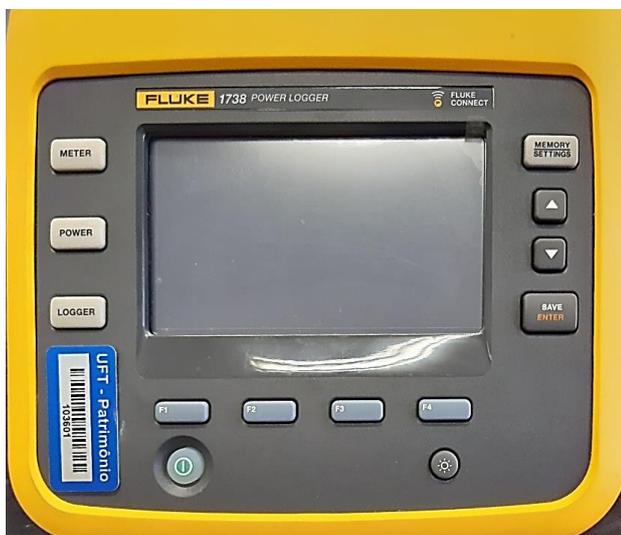
A empresa possui atuação em diversos países ao redor do mundo, dentre eles o Brasil. Os aparelhos FLUKE são reconhecidos no mundo todo pela sua alta qualidade, sendo escolhida pela sua vasta clientela como a marca de aparelhos de mais confiável no mercado. Dentre as diversas qualidades podemos destacar a robustez, portabilidade, segurança, altos padrões de qualidade, durabilidade e principalmente a praticidade de utilização dos aparelhos (FLUKE 2015).

De posse de todas essas características positivas não é nenhuma surpresa que a FLUKE esteja sempre em primeiro ou segundo lugar em todos os mercados em que possui atuação (FLUKE 2015).

O analisador de energia FLUKE 1738 é um aparelho portátil utilizado para aplicações em qualidade de energia, possui uma tela sensível ao toque e suporte para *flash drives* USB, é um dispositivo de fácil configuração e verificação. A descarga dos dados

medidos não necessita de um computador para ser feita. A Figura 59 mostra o analisador de energia FLUKE 1738 (FLUKE 2015).

Figura 59 - Analisador de Energia FLUKE 1738.



Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

A Tabela 2 demonstra todas as medidas que o aparelho FLUKE 1738 é capaz de realizar. Nota-se que é um instrumento bastante completo quando se trata de qualidade de energia, possuindo a capacidade de executar diversos tipos de medidas (FLUKE 2015).

Tabela 2 - Tipos de Medidas FLUKE 1738.

Tipos de medidas possíveis de serem realizadas no FLUKE 1738	
Medidas Básicas	Tensão (V), Corrente (A), Frequência (Hz), Indicação de rotação de fase, 2 canais dc (suporta fornecidos pelo usuário sensor externo para outras medições, como temperatura, umidade e velocidade do ar).
Potência	Potência ativa (W), Potência Aparente (VA), Potência Reativa (Var), Fator de Potência
Potência Fundamental	Potência ativo fundamental (W), Potência Aparente Fundamental (VA), Potência Reativa Fundamental (var), FP (CosΦ).

Energia	Energia Ativa (Wh), Energia Aparente (VAh), Energia Reativa (VARh).
Demanda	Demanda (Wh), Demanda máxima (Wh), Custos de energia.
Harmônicos	Componentes harmônicos até e incluindo o 50° e distorção harmônica total de tensão e corrente.

Fonte: (Adaptado de FLUKE, 2015).

As especificações do Aparelho FLUKE 1738 são divididas em 3 modalidades: especificações gerais, especificações ambientais e especificações elétricas. A Tabela 3 Indica as especificações gerais do analisador (FLUKE 2015).

Tabela 3 - Especificações Gerais FLUKE 1738.

ESPECIFICAÇÕES GERAIS	
Display LCD Colorido	TFT colorida de matriz ativa de 4,3 polegadas, 480 pixels x 272 pixels, painel de toque resistivo
Potência e carga	Indicador de LED
Garantia	
1738 e Fonte de Energia	2 Anos
Acessórios	1 Ano
Ciclo de Calibração	2 Anos
Dimensões	
1738	19.8 cm x 16.7 cm x 5.5 cm
Fonte de Energia	13.0 cm x 13.0 cm x 4.5 cm
1738 e Fonte de Energia acoplados	19.8 cm x 16.7 cm x 9.0 cm
Peso	
1738	1,1 Kg
Fonte de Energia	400g
Proteção Contra Violação	Fechadura Kensington

Fonte: (Adaptado de FLUKE, 2015).

A tabela 4 ilustra as especificações ambientais do analisador FLUKE 1738.

Tabela 4 - Especificações Ambientais FLUKE 1738.

ESPECIFICAÇÕES AMBIENTAIS	
Temperatura de Operação	-10 °C a +50 °C (+14 °F a +122 °F)
Temperatura de Armazenamento	-20 °C a +60 °C (-4 °F a +140 °F), Com Bateria: -20 °C a +50 °C (-4 °F a +122 °F)
Humidade de Operação	<10 °C (<50 °F) Sem Condensação 10 °C to 30 °C (50 °F to 86 °F) ≤95 % 30 °C to 40 °C (86 °F to 104 °F) ≤75 % 40 °C to 50 °C (104 °F to 122 °F) ≤45 %
Altitude de Operação	2000 m (até 4000 m decresce para 1000 V CAT II/600 V CAT III/300 V CAT IV)
Altitude de Armazenamento	12000 m
Grau de Proteção	IEC 60529:IP50, Conectado com as proteções no lugar
Vibração	MIL-T-28800E, Tipo 3, Classe III, Estilo B

Fonte: (Adaptado de FLUKE, 2015).

Por final, sendo de extrema importância para esse trabalho a Tabela 5 apresenta as especificações elétricas do analisador FLUKE 1738.

Tabela 5 - Especificações Elétricas FLUKE 1738.

ESPECIFICAÇÕES ELÉTRICAS	
Fonte de Energia	
Faixa de Tensão	Nominal 100 V a 500 V (85 V Min a 550 V Max). Utilizando <i>plug</i> de segurança na entrada.
Alimentação	Nominal 100 V a 240 V (85 V Min a 265 V Max) utilizando entrada IEC 60320
Consumo de Energia	Máximo 50 VA (Max. 15 VA quando alimentado pela entrada IEC 60320)
Energia em <i>Standby</i>	<0.3 W apenas quando alimentado pela entrada IEC 60320
Eficiência	≥68.2 % (De acordo com os regulamentos de eficiência energética)
Frequência de Operação	50/60 Hz ±15 %

Energia da Bateria	Li-ion 3.7 V, 9.25 Wh
Tempo de Duração da Bateria	Até 4 horas (até 5.5 horas no modo de economia de energia)
Tempo de Carregamento	<6 Horas
Entradas de Tensão	
Número de Entradas	4 (3 Fases e 1 Neutro)
Máxima Tensão de Entrada	1000 Vrms (1700 Vpk) Fase – Neutro
Impedância de Entrada	10 MΩ cada Fase – Netro
Largura da Banda	42.5 Hz – 3.5 kHz
Escala	1:1, Variável
Entradas de Corrente	
Número de Entradas	4, Modo de Seleção automático para o sensor conectado)
Tensão de Saída do Sensor de Corrente Conector: 500 mVrms / 50 mVrms; CF 2.8. Bobina de Rogowski: 150 mVrms / 15 mVrms at 50 Hz, 180 mVrms / 18 mVrms at 60 Hz.	
Faixa	1 A a 150 A / 10 A a 1500 A com iFlex1500-12 3 A a 300 A / 30 A a 3000 A com iFlex3000-24 6 A a 600 A / 60 A a 6000 A com iFlex6000-36 40 mA a 4 A / 0.4 A a 40 A com 40 A i40s-EL
Largura da Banda	42.5 Hz – 3.5 kHz
Escala	1:1, Variável

Fonte: (Adaptado de FLUKE, 2015).

A Tabela 6 demonstra os dados detalhados a respeito da precisão do aparelho FLUKE 1738.

Tabela 6 - Precisão do Analisador FLUKE 1738.

Parâmetro		Faixa	Resolução Máxima	Precisão intrínseca nas condições de referencia (% de leitura + % da faixa)
Tensão		1000 V	0.1 V	$\pm(0.2 \% + 0.01 \%)$
Corrente	Entrada Rogowski	15 mV	0.01 mV	$\pm(0.3 \% + 0.02 \%)$
		150 mV	0.1 mV	$\pm(0.3 \% + 0.02 \%)$
	Conector	50 mV	0.01 mV	$\pm(0.2 \% + 0.02 \%)$
		500 mV	0.1 mV	$\pm(0.2 \% + 0.02 \%)$
	1500 A Flexi	150 A	0.01 A	$\pm(1 \% + 0.02 \%)$
		1500 A	0.1 A	$\pm(1 \% + 0.02 \%)$
	3000 A Flexi	300 A	1 A	$\pm(1 \% + 0.03 \%)$
		3000 A	10 A	$\pm(1 \% + 0.03 \%)$
	6000 A Flexi	600 A	1 A	$\pm(1.5 \% + 0.03 \%)$
		6000 A	10 A	$\pm(1.5 \% + 0.03 \%)$
40 A	4 A	1 mA	$(0.7 \% + 0.02 \%)$	
	40 A	10 mA	$(0.7 \% + 0.02 \%)$	
Frequência		42.5 Hz a 69 Hz	0.01 Hz	$\pm 0.1 \%$
Entrada Auxiliar		± 10 Vdc	0.1 mV	$\pm(0.2 \% + 0.02 \%)$
Tensão Min/Max		1000 V	0.1 V	$\pm(1 \% + 0.1 \%)$
Corrente Min/Max		Definido Por Acessório	Definido Por Acessório	$\pm(5 \% + 0.2 \%)$
THD na Tensão		1000 %	0.1 %	$\pm(2.5 \% + 0.05 \%)$
THD na Corrente		1000 %	0.1 %	$\pm(2.5 \% + 0.05 \%)$
Tensão Harmônica 2 a 50		1000 %	0.1 %	$\pm(2.5 \% + 0.05 \%)$
Desequilíbrio		100 %	0.1 %	$\pm 0.15 \%$
Nota: Bobina de Rogowski é um dispositivo utilizado para medição de corrente que leva o nome de seu inventor.				

Fonte: (Adaptado de FLUKE, 2015).

Informações mais detalhes a respeito do Aparelho FLUKE 1738 estão disponíveis no manual do aparelho referenciado ao final do trabalho (FLUKE 2015).

3.2.1 Calibração

A calibração dos aparelhos FLUKE é feita apenas nos centros laboratoriais autorizados ao redor do mundo. No Brasil pode-se encontrar um desses centros na cidade

de São Paulo. O aparelho é enviado ao centro de assistência da FLUKE onde a calibração será devidamente realizada obedecendo os padrões de qualidade internacional adotados pela empresa (FLUKE 2015).

A calibração do Analisador 1738 deve ser realizada em um ciclo de 2 anos, a calibração regular de um equipamento pode proporcionar uma série de benefícios para o usuário do aparelho, agregando mais qualidade e confiabilidade nas medidas e por consequência diminuindo custos operacionais. Para mais informações consultar <https://br.flukecal.com/> (FLUKE 2015).

3.2.2 Descarga de Dados

A descarga de dados medidos e armazenados no aparelho FLUKE 1738 é feita de forma muito simples e dinâmica, uma vez que, o aparelho possui suporte para armazenamento através da entrada USB disponível (FLUKE 2015).

Para iniciar o registro de uma medida é necessário utilizar a função “Logger” Figura 60, feito isso, devemos pressionar a opção iniciar registro, uma vez terminado o registro o mesmo é salvo na memória do aparelho. Ressalta-se que para fins de construção deste tutorial uma medida qualquer foi executada em laboratório (FLUKE 2015).

Figura 60 - Função Logger.



Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

Para acessar todos os registros feitos pelo aparelho necessita-se acessar a função “Memory Setting” Figura 61, onde estará presente todos os registros feitos pelo aparelho. Ao conectarmos um dispositivo de armazenamento *USB flash drive*, tem-se

duas opções, a primeira é salvar todos os registros armazenados no *flash drive* através da função “salvar no USB”, como mostra a Figura 61 (FLUKE 2015).

Figura 61 - Salvar Todos Os Registros.



Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

A segunda opção é entrar na função “sessões de registro”, como mostra a Figura 62. Esta opção é utilizada quando se tem a necessidade de descarregar apenas um ou alguns registros específicos presentes na memória do aparelho (FLUKE 2015).

Figura 62 - Sessões de Registro.



Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

Uma vez acessadas as sessões de registro, será mostrada uma lista com todos os registros já executados pelo aparelho. Feito isso, basta apenas selecionar o registro desejado e fazer o uso da opção “salvar em USB” e salva-lo *flash drive* (FLUKE 2015).

Figura 63 - Salvar em USB.



Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

Depois de ter executado todos esses passos, a última etapa é descarregar os dados armazenados no *flash drive* em um computador e realizar a análise das medidas feitas. Para que o computador do usuário do aparelho exiba os registros primeiramente deve-se instalar o *software Fluke Energy Analyse* disponível no *flash drive* que acompanha o aparelho (FLUKE 2015).

Para a Instalação do *software* o computador em questão deve obedecer alguns requisitos mínimos, como demonstra a Tabela 7 (FLUKE 2015).

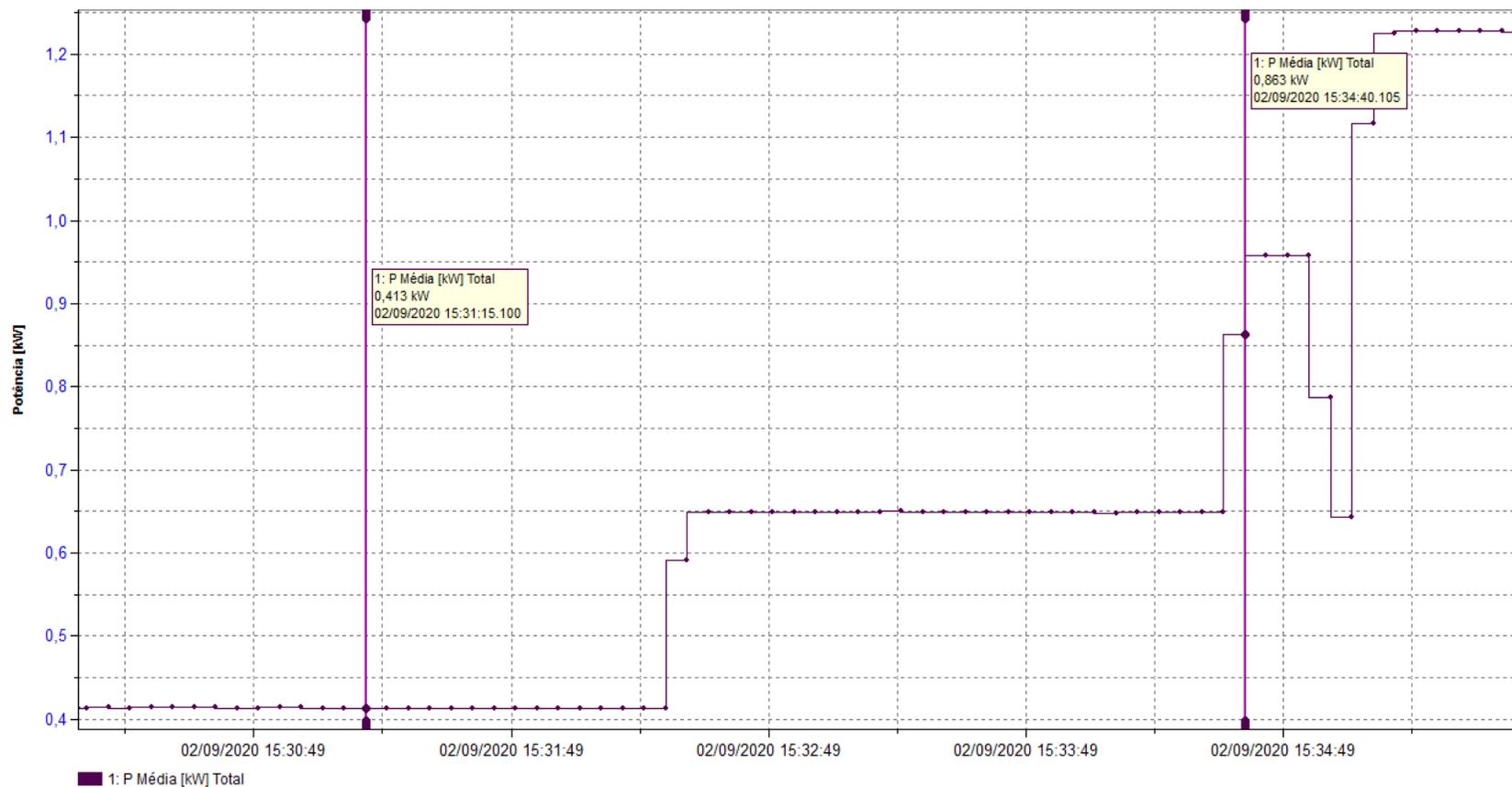
Tabela 7 - Requisitos Para Instalação do *Software* FLUKE 1738.

Espaço no HD	200 MB + 10 GB Para dados medidos
Memória instalada	Mínimo 1 GB Recomendado 2 GB para 32 Bits Recomendado 4 GB para 64 Bits
Monitor	1280 X 1024 ou 1440 X 900
Conexão	Internet, WiFi e portas USB disponíveis
Sistema Operacional	Windows 7 32/64 Bits, Windows 8 32/64 Bits ou superior
Nota: Windows 7 Starter e Windows 8 RT não suportam o <i>Software</i>.	

Fonte: (Adaptado de FLUKE, 2015).

Tendo instalado o *software* basta apenas acessar o registro no *flash drive* onde ele foi armazenado, ou transferi-lo para o computador do usuário, ao clicar duas vezes em cima do registro o *software* irá exibir as informações de forma detalhada, como mostra a Figura 64 (FLUKE 2015).

Figura 64 - Exemplo de Medida Visualizada no Computador.



Fonte: (Acervo do Autor Feito em *Fluke Energy Analyse*, 2021).

3.3 FLUKE 345

O FLUKE 345, mostrado na Figura 65, é descrito como um alicate de medição de qualidade de energia. É uma ferramenta de uso profissional capaz de medir tensão, corrente e principalmente qualidade de energia. Possui grande aplicação na indústria por ser uma ferramenta robusta e precisa (FLUKE 2006).

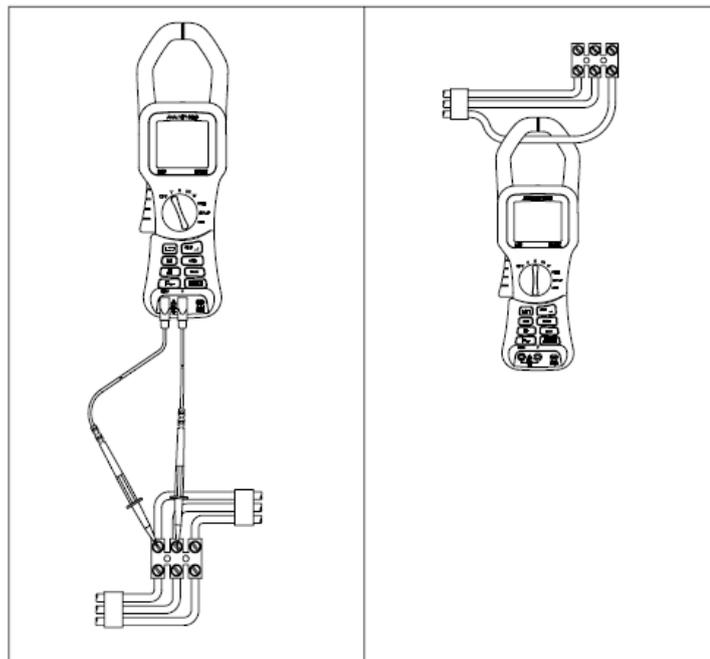
Para medição de corrente o alicate envolve o condutor do circuito e para medição de tensão utiliza-se um conjunto de cabos como mostra a Figura 66 (FLUKE 2006).

Figura 65 - Alicate de medição FLUKE 345.



Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

Figura 66 - Medição de Corrente e conjunto de cabos para medição de Tensão.



Fonte: (FLUKE, 2006).

A Tabela 8 mostra as características gerais, ambientais e mecânicas a respeito do aparelho FLUKE 345.

Tabela 8 - Características Gerais e Ambientais FLUKE 345

Características Gerais FLUKE 345	
Display	Colorido LDC 320x240
Fonte de Energia	Bateria Alcalina AA Duração de 10 horas com luz de fundo ligada e 12 horas com luz de fundo reduzida.
Ciclo de Calibração	02 Anos
Características ambientais	
Temperatura de Operação	0° a 50° C
Máxima Umidade Relativa	80% para temperaturas até 31° C
Máxima altitude de Operação	2000m
Características Mecânicas	
Dimensões	300 x 98 x 52 mm
Peso (incluindo bateria)	820g
Dimensão da Garra Aberta	60mm
Capacidade da Garra	58mm

Fonte: (Adaptado de FLUKE, 2006).

No manual do equipamento FLUKE 345 está apresentada uma série de especificações elétricas de extrema importância para esse trabalho como, resolução e precisão. Cada tipo de grandeza medida pelo aparelho possui seus respectivos dados e especificações, que serão demonstradas por meio de medidas de corrente, tensão e potência. A Tabela 9 mostra as especificações a respeito de medição de corrente (FLUKE 2006).

Tabela 9 - Medição de Corrente FLUKE 345

Medição de Corrente FLUKE 345	
Faixa de Medição	0 a 2000A DC e 1400A AC RMS
Função de Auto Ajuste	40A / 400A / 2000A
Resolução	10mA na faixa de 40A 100mA na faixa de 400A 1A na faixa de 2000A
Precisão	
RMS E DC	I > 10 A ± 1.5 % da leitura ± 5 dígitos I < 10 A ± 0.2 A
Average	I > 10 A ± 3 % da leitura ± 5 dígitos I < 10 A ± 0.5 A
Valor de Pico	I > 10 A ± 5 % da leitura ± 5 dígitos I < 10 A ± 0.5 A
AHr	I > 10 AHr ± 2 % da leitura ± 5 dígitos I < 10 AHr ± 0.5 AHr

Fonte: (Adaptado de FLUKE, 2006).

A Tabela 10 demonstra as especificações a respeito da medição de tensão.

Tabela 10 - Medição de Tensão FLUKE 345

Medição de Tensão FLUKE 345	
Faixa de Medição	0 a 225V DC OU AC RMS
Função de Auto Ajuste	4V /40V / 400V / 750V
Resolução	1mV na Faixa de 4V 10mV na Faixa de 40V 100mV na Faixa de 400V 1V na Faixa de 750V
Precisão	
RMS E DC	V > 1 V..... ± 1 % da leitura ± 5 dígitos V < 1 V..... ± 0.02 V
Average	V > 1 V..... ± 3 % da leitura ± 5 dígitos V < 1 V..... ± 0.03 V
Valor de Pico	V > 1 V..... ± 5 % da leitura ± 5 dígitos V < 1 V..... ± 0.03 V

Fonte: (Adaptado de FLUKE, 2006).

Seguindo a Tabela 11, pode-se ver as especificações a respeito da medição de potência do FLUKE 345.

Tabela 11 - Medição de Potência FLUKE 345

Medição de Potência Ativa	
Faixa de Medição	0 – 1650 KW DC ou 1200 kW AC
Função de Auto Ajuste	4 kW, 40 kW, 400 kW, 1650 kW
Resolução	1 W na faixa de 4 kW 10 W na faixa de 40 kW 100 W na faixa de 400 kW 1 kW na faixa de 1650 kW
Precisão	2.5 % da leitura \pm 5 dígitos W1 \emptyset < 2 kW \pm 0.08 kW W3 \emptyset < 4 kW \pm 0.25 kW
Medição de Potência Ativa	
Faixa de Medição	0 a 1650 kVA DC ou 1200 kVA AC
Função de Auto Ajuste	4 kVA, 40 kVA, 400 kVA, 1650 kVA
Resolução	1 VA na faixa de 4 kVA 10 VA in 40 kVA 100 VA na faixa de 400 kVA 1 kVA na faixa de 1650 kVA
Precisão	VA > 2 kVA2.5 % da leitura \pm 5 dígitos VA < 2 kVA \pm 0.08 kVA
Medição de Potência Reativa	
Faixa de Medição	0 – 1200 KVAr
Função de Auto Ajuste	4 kVAr, 40 kVAr, 400 kVAr, 1200 KVAr
Resolução	1 VAR na faixa de 4 kVAr 10 VAR na faixa de 40 kVAr 100 VAR na faixa de 400 kVAr 1 kVAr na faixa de 1200 kVAr
Precisão	VAR > 4 kVAr \pm 2.5 % da leitura \pm 5 dígitos VAR < 4 kVAr \pm 0.25 kVAr Faixa do FP.....0.3 < FP < 0.99

Fonte: (Adaptado de FLUKE, 2006).

3.3.1 Calibração

O FLUKE 345 possui um ciclo de calibração de 2 anos. É possível consultar a última vez que o aparelho foi calibrado acessando o botão *menu/ESC* e selecionando a opção *instrument setups*, feito isso basta apenas consultar a calibração através da opção *version & calibration*. Para saber mais a respeito da calibração dos aparelhos FLUKE,

consultar a seção 3.2.1, onde é explicado como se dá o processo de calibração (FLUKE 2006).

3.3.2 Descarga de dados

Para realizar a captura dos dados expostos na tela do aparelho basta pressionar continuamente a tecla ENTER/SAVE, até que a captura de tela seja realizada. Fazendo isso os dados irão ficar armazenados na memória do aparelho (FLUKE 2006).

A descarga de dados do aparelho FLUKE 345 é realizada através do *software Power Log Classic*, disponível na página de downloads de *softwares* do fabricante fluke.com/pt-br/suporte/downloads-de-software, a Tabela 12 descreve os requisitos mínimos para instalação (FLUKE 2006).

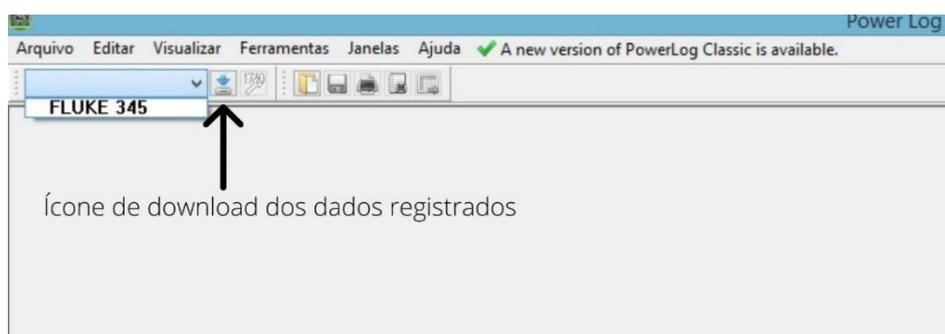
Tabela 12 - Requisitos Mínimos do *Software Power Log*

Componente	Necessário	Recomendado
Espaço livre no disco rígido	Acima de 2 GB	Acima de 20 GB
Unidade de CD-ROM	✓	
Monitor	1024 x 768 pixels	1280 x 1024 pixels
Interface serial USB ou RS-232, dependendo do instrumento	✓	

Fonte: (Adaptado de FLUKE, 2006).

Uma vez instalado o *Software* basta conecta-lo ao computador através do cabo que acompanha o aparelho, selecionar o aparelho FLUKE 345 e selecionar o ícone de *download* dos dados registrados. A Figura 67 demonstra esse procedimento.

Figura 67 - Power Log Classic Fluke 345.



Fonte: (Acervo do Autor Feito em *Power Log Classic*, 2021).

NOTA 1: Caso o computador não identifica o instrumento acesse o gerenciador de dispositivos procure pelo FLUKE 345 e selecione a porta COM 16.

NOTA 2: Devido a algum fator não identificado ao executar o download de dados a barra de carregamento não avançou e os dados não foram transferidos.

3.4 Tektronix THS3024

A TEKTRONIX é uma empresa do ramo de medidas elétricas fundada em 1946, originalmente com o nome de TEKRAD, possuindo mais de 700 patentes e presente em 21 países. O foco da empresa é fornecer soluções para medição e testes, destinados a cientistas engenheiros e técnicos (TEKTRONIX 2012).

O TEKTRONIX THS3024 mostrado na Figura 68, é definido como um osciloscópio portátil e robusto de quatro canais. Devido a sua robustez e portabilidade são ideais tanto para aplicações em laboratório quanto para aplicações em campo (TEKTRONIX 2012).

Figura 68 - TEKTRONIX THS3024.



Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

Na Tabela 13 são abordadas características ambientais e físicas a respeito do instrumento TEKTRONIX THS 3024.

Tabela 13 - Características Ambientais e Mecânicas

Características Ambientais	
Temperatura de Operação	Com bateria instalada 0 a 40 °C (32 a 104 °F) Sem bateria instalada 0 a 50 °C (32 a 122 °F)
Temperatura de armazenamento	-20 a +60 °C (-4 a +140 °F)
Humidade de Operação	0 a 10 °C (32 a 50 °F) Sem Condensação 10 a 30 °C (50 a 86 °F) 95% (±5%) 30 a 40 °C (86 a 104 °F) 75% (±5%) 40 a 50 °C (104 a 122 °F) 45% (±5%)
Humidade de Armazenamento	-20 a +60 °C (-4 a +140 °F) Sem Condensação
Altitude de Operação	3000m (10000 pés)
Altitude de Armazenamento	12000m (40000 pés)
Características Mecânicas	
Tamanho	265 x 190 x 70 mm
Peso	2,2 Kg
Ciclo de Calibração	1 Ano

Fonte: (Adaptado de TEKTRONIX, 2012).

O aparelho TEKTRONIX THS3024 possui várias características que o descrevem. A Tabela 14 mostra as principais características de medição de entrada (TEKTRONIX 2012).

Tabela 14 – Especificações de Medição de Entrada TEKTRONIX THS3024.

ESPECIFICAÇÕES DE MEDIÇÃO DE ENTRADA	
Faixa de Sensibilidade	Com a Ponteira (10:1)....20mV a 1000V/DIV
	Direto (1:1).....2mV a 100 V/DIV
Precisão Vertical	5mV/DIV a 100 V/DIV.....± (2.1% + 0.04 Faixa/DIV)
	2mV/DIV..... ± (2.9% + 0.08 Faixa/DIV)
Resolução do Digitalizador	8 bits por entrada
Máxima Resolução Vertical	200 Pixels na Tela

Resolução Horizontal	300 Pixels
Erro do Indicador de nível vertical do TRIGGER	± 0.5 Divisões
Erro do Indicador de nível Horizontal do TRIGGER	± 1 Amostra
Sensibilidade do TRIGGER	DC para 5 MHz em >5 mV/div.....0.5 Divisões DC para 5 MHz em 2 mV/div e 5 mV/div1 Divisão THS3024 200 MHz.....1 Divisão 250 MHz..... 2 Divisões
Sensibilidade de Vídeo do TRIGGER	0.7 Divisões

Fonte: (Adaptado de TEKTRONIX, 2012).

As Tabelas 15, 16 e 17 que se seguem tratam a respeito das especificações de medição automática do aparelho TEKTRONIX 3024.

Tabela 15 - Especificações de Medição Automática

ESPECIFICAÇÕES DE MEDIÇÃO AUTOMÁTICA	
Tensão Contínua	Máxima Tensão Com a ponteira 10:11000 V Direto (1:1)300 V Resolução Máxima Com a Ponteira 10:11mV Direto (1:1)100 μ V Medição em Escala cheia: 999 contagens Precisão de 5s a 10 μ s/div 2mV/div..... $\pm (1.5 \% + 10$ contagens) 5mV/div a 100 V/div..... $\pm (1.5 \% + 5$ contagens) Modo Normal rejeição AC em >60 dB 50 ou 60 Hz

Tensão Alternada	Tensão Máxima		
	Com a Ponteira 10:1.....		1000 V
	Direto (1:1)		300 V
	Resolução Máxima		
	Com a Ponteira 10:1.....		1mV
	Direto (1:1)		100µV
	Medição em Escala cheia: 999 contagens		
	Precisão		
	DC acoplada:	DC	para
	60Hz.....±	(1.5 %	+10 contagens)
Acoplamento AC, baixas frequências			
50 Hz direto (1:1)	± (1.5 %	+ 10 contagens)	
60 Hz direto (1:1)	± (1.9 %	+ 10 contagens)	
Com a ponteira 10:1 o ponto de corte de baixa frequência será reduzido para 2 Hz, o que melhora a precisão AC para baixas frequências.			
Quando possível utilizar o acoplamento DC para alcançar a máxima precisão.			

Fonte: (Adaptado de TEKTRONIX, 2012).

Tabela 16 - Especificações de Medição Automática Continuação

ESPECIFICAÇÕES DE MEDIÇÃO AUTOMÁTICA CONTINUAÇÃO	
Acoplamento AC	60 Hz até 20 kHz..... ± (2.5 % + 15 contagens)
	20 kHz até 1 MHz..... ± (5 % + 20 contagens)
	1 MHz até 25 MHz.....± (10 % + 20 contagens)
TRUE RMS	Tensão Máxima
	Com a ponteira 10:1.....
	Direto (1:1)
	1000 V
	300 V
Resolução Máxima	
Com a ponteira 10:1.....	
Direto (1:1)	
1mV	
100µV	
Medição em Escala cheia: 1100 contagens	
Precisão	

	DC até 60 Hz.....± (1.5 % + 10 contagens) 60 Hz até 20 kHz..... ± (2.5 % + 15 contagens) 20 kHz até 1 MHz..... ± (5 % + 20 contagens) 1 MHz até 25 MHz..... ± (10 % + 20 contagens)
Corrente	Com as ponteiros de corrente Faixas.....semelhantes a VDC, VAC, VAC+DC Sensibilidade da ponteira.....100µV/A, 1mV/A, 10mV/A, 100mV/A, 400mV/A, 1 V/A, 10 V/A, e 100 V/A Precisão.....Semelhantes a VDC, VAC, VAC+DC
Frequência	Faixa.....1.000 Hz até banda de largura total Medição em Escala cheia: 999 contagens Precisão 1 Hz até a largura de banda total..... ± (0.5 % +2 contagens) (5s/div até 10ns/div e 10 períodos na tela).

Fonte: (Adaptado de TEKTRONIX, 2012).

Tabela 17 - Especificações de Medição Automática Continuação

ESPECIFICAÇÕES DE MEDIÇÃO AUTOMÁTICA CONTINUAÇÃO	
Valor de Pico	Modos: Pico máximo, pico mínimo, pico a pico. Tensão Máxima Com a ponteira 10:1.....1000 V Direto (1:1)300 V Resolução máxima Com a ponteira 10:1.....10mV Direto (1:1)1mV Medição em Escala cheia: 800 contagens Precisão Pico máximo ou mínimo..... ±0.2 divisões Pico a pico ±0.4 divisões

Ciclo de Trabalho	Faixa.....4.0 % até 98.0 %
	Resolução... 0.1 % (quando período > 2 div)
	Medição em Escala cheia: 999 contagens (3-dígitos display)
	Precisão (lógico ou pulso) ± (0.5 % +2 contagens)
Largura do Pulso	Resolução (com GLITCH desligado): 1/100 divisão
	Medição em Escala cheia: 999 contagens
	Precisão 1 Hz até banda de largura total.....± (0.5 % +2 contagens)
Fase	Faixa..... -180 até +180 graus
	Resolução.....1 grau
	Precisão 0.1 Hz até 1 MHz..... ±2 graus 1 MHz até 10 MHz..... ±3 graus

Fonte: (Adaptado de TEKTRONIX, 2012).

3.4.1 Calibração

O procedimento de calibração do TEKTRONIX THS3024 é realizado conforme o manual de performance, verificação e ajustes, fornecido pelo fabricante, e funciona seguindo uma série de passos listados a seguir (TEKTRONIX 2012).

1. Verifique a data da última calibração do instrumento e se há a necessidade de calibração;
2. Selecione o modo de calibração.;
3. Faça o ajuste de calibração de contraste;
4. Faça o aquecimento e a pré-calibração;
5. Faça a calibração final;
6. Salve os dados de calibração e saia do modo de calibração.

A. Procedimento de calibração

Data do instrumento:

1. Pressione o botão Utilitário e selecione OPCÕES.

2. Use os botões de seta para selecionar DATE ADJUST e, a seguir, pressione o botão ENTER.

3. Ajuste a data se necessário e, em seguida, pressione o botão ENTER.

Selecione o modo de calibração:

1. Pressione e segure o botão UTILITY.

2. Pressione e solte o botão Menu Off.

3. Solte o botão UTILITY.

A tela CAL MODE (ajuste de calibração) aparece e mostra:

- A etapa de aquecimento (CL 0200);
- O status de calibração: IDLE (válido) ou: IDLE (inválido);
- O menu de softkey;

B. Calibração de contraste

Depois de entrar no modo de calibração, o visor mostra: WarmingUp: *IDLE*. Não pressione F3. Caso pressionado, é necessário desligar e ligar novamente o instrumento e entrar no modo de calibração novamente. Prossiga da seguinte forma para ajustar a exibição de máxima escuridão, o contraste padrão e o brilho máximo da tela (TEKTRONIX 2012).

1. Pressione F1 três vezes para selecionar o contraste de calibração de escuridão máxima (CL 0100).

2. Pressione *CALIBRATE*. O visor irá mostrar um padrão de teste escuro.

3. Usando as setas, ajuste a tela para a escuridão máxima em que o padrão de teste está apenas visível.

4. Pressione F3 para retornar ao menu de *softkeys*.

5. Pressione F2 para selecionar a calibração de contraste padrão.

6. Pressione F3 *CALIBRATE*. O display mostra o padrão de teste no contraste padrão.

7. Usando as teclas de seta, defina a exibição para o contraste ideal (torna-se o padrão).

8. Pressione F3 para retornar ao menu de *softkeys*.

9. Pressione F2 para selecionar o contraste de calibração de brilho máximo.

10. Pressione F3 *CALIBRATE*. O visor mostra um padrão de teste brilhante.

11. Usando as teclas de seta, ajuste a tela para o brilho máximo, no qual o padrão de teste é apenas visível.

12. Pressione F3 para retornar ao menu de softkeys.

13. A calibração do contraste está concluída. Caso o usuário queira apenas calibrar o contraste, basta sair e salvar. Caso estiver realizando a calibração completa, pressione F2 para selecionar a próxima etapa.

C. Aquecimento e pré-calibração

1. Remover todas as conexões de entrada do instrumento.

2. Pressione F3 para iniciar o aquecimento e a pré-calibração. O visor mostra a etapa de calibração em andamento e o status. O período de aquecimento é contado regressivamente de 00:29:59 a 00:00:00. Em seguida, as etapas restantes de pré-calibração são executadas automaticamente. Todo o procedimento leva cerca de 60 minutos.

3. Aguarde até que o visor mostre Fim do pré-cálculo. Os dados do pré-cálculo foram armazenados no *FlashROM*. Se você desligar o instrumento acidentalmente, ligue-o novamente imediatamente; agora você pode selecionar o modo de calibração e continuar com a etapa 4 abaixo. Se o instrumento for desligado e não o ligar imediatamente, deverá repetir as etapas de aquecimento e pré-calibração).

4. Pressione F2 NEXT.

D. Calibração usando sinais externos

Esta parte da calibração requer um gerador de sinal externo que fornece as condições de entrada que são descritas em cada etapa. Depois de iniciar uma etapa, as etapas a seguir que exigem as mesmas condições de entrada e serão executadas automaticamente.

1. Remova todas as conexões com as entradas do instrumento.

2. Pressione F3 para iniciar a calibração.

3. Aguarde até que o display mostre o status de calibração: READY.

4. Pressione F2 para selecionar a próxima etapa de calibração.

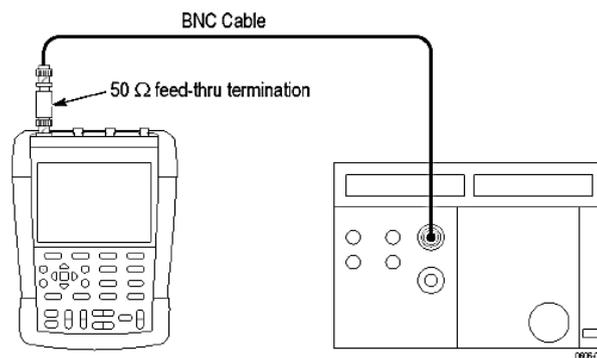
5. Conecte o instrumento à saída 5500A *SCOPE* conforme mostrado na Figura.

6. Defina o 5500A para gerar uma onda senoidal de 50 MHz / 0,5 Vpp na saída *SCOPE*.
7. Defina o 5500A em operação (OPR).
8. Pressione F3 para iniciar a calibração.
9. Aguarde até que o display mostre o status de calibração: *READY*.
10. Coloque o 5500A em espera.
11. Prossiga para a próxima seção.

E. Ganho LF-HF de entrada

1. Conecte o instrumento ao 5500A conforme mostrado na Figura 69.

Figura 69 - Configuração de teste de ganho LF-HF de entrada.



Fonte: (TEKTRONIX, 2012).

2. A tela deve mostrar passo CL 0654. Se isso não acontecer, em seguida, pressione F1 ou F2 para selecionar a etapa de calibração mostrada na Tabela 18.
3. Ajuste a saída 5500A de acordo com a fonte do sinal necessário para o primeiro ponto de calibração.
4. Defina o 5500A em operação ou em espera conforme indicado.
5. Pressione F3 para iniciar a calibração.
6. Aguarde até que o display mostre o status de calibração: *READY*.
7. Pressione F2 para selecionar a próxima etapa de calibração, defina o 5500A para o próximo sinal de ponto de calibração e inicie a calibração. Continue por todos os pontos de calibração na tabela.

8. Mova o cabo de sinal do gerador para o próximo canal de entrada no instrumento e repita as etapas de 3 a 7.

9. Quando terminar, coloque o 5500A em espera.

Tabela 18 - Pontos de calibração de ganho LF-HF do canal de entrada.

Etapa de calibração				Configuração de 5500A do sinal de entrada UUT	
Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4		
CL 0654	CL 0674	CL 0656	CL 0675	Onda quadrada de 0,5 Vpp, 1 kHz	Borda SCOPE, 0,5Vpp, 1 kHz
CL 0400	CL 0410	CL 0470	CL 0490	Onda quadrada de 0,5 Vpp, 1 kHz	Borda SCOPE, 0,5Vpp, 1 kHz
CL 0704	CL 0724	CL 0714	CL 0734	Onda quadrada de 0,5 Vpp, 1 kHz	Borda SCOPE, 0,5Vpp, 1 kHz
CL 0408	CL 0418	CL 0478	CL 0498	Onda quadrada de 0,5 Vpp, 1 kHz	Borda SCOPE, 0,5Vpp, 1 kHz
CL 0480	CL 0482	CL 0484	CL 0486	Onda senoidal de 0,62 Vpp, 50 kHz	SCOPE, 0,62Vpp, 50 kHz
CL 0481	CL 0483	CL 0485	CL 0487	Onda senoidal de 0,62Vpp THS3014: 141MHz THS3024: 221MHz	SCOPE, 0,62Vpp THS3014: 141 MHz THS3024: 221 MHz

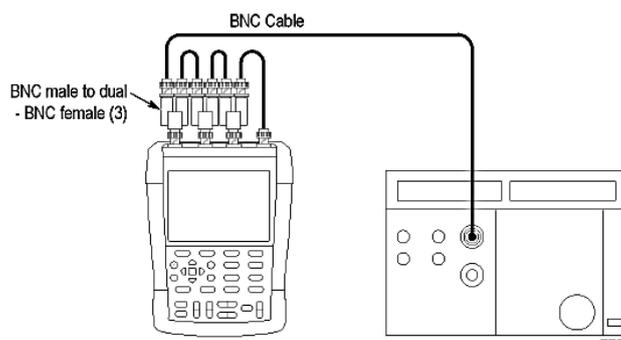
Fonte: (Adaptado de TEKTRONIX, 2012).

F. Ganho LF-HF de entrada

1. Pressione F2 para selecionar a primeira etapa de calibração como mostra a Tabela 19.

2. Conecte o instrumento ao 5500A conforme mostrado na Figura 70.

Figura 70 - Configuração de teste de ganho LF-HF de entrada.



Fonte: (TEKTRONIX, 2012).

3. Ajuste o 5500A para fornecer uma onda quadrada de 1 kHz, para o primeiro ponto de calibração na Tabela 18.

4. Configure o 5500A para operar.

5. Pressione F3 para iniciar a calibração.

6. Esperar até que o estado de exibição mostre: *READY*.

7. Pressione F2 para selecionar a próxima etapa de calibração, defina o 5500A para o próximo ponto de calibração e inicie a calibração. Continue por todos os pontos de calibração da Tabela 18.

Tabela 19 - Pontos de calibração de ganho de LF-HF de entrada.

Passo de calibração	Valor de entrada UUT (5500A ESCOPO, MODO volt, <i>SCOPE Z</i> 1 M Ω , 1 kHz)
CL 0660	300 mV
CL 0604	500 mV
CL 0637	Nenhum (5500 em espera)
CL 0504	500 mV
CL 0624	Nenhum (5500 em espera)
CL 0599	10 mV
CL 0600	25 mV
CL 0601	50 mV
CL 0602	100 mV
CL 0603	250 mV
CL 0662	2 V
CL 0605	1 V
CL 0606	2,5 V
CL 0607	5 V
CL 0664	20 V
CL 0608	10 V
CL 0609	25 V
CL 0610	50 V (defina 5500A para OPR)

Fonte: (Adaptado de TEKTRONIX, 2012).

8. Defina o 5500A para o modo de espera.

G. Posição de entrada

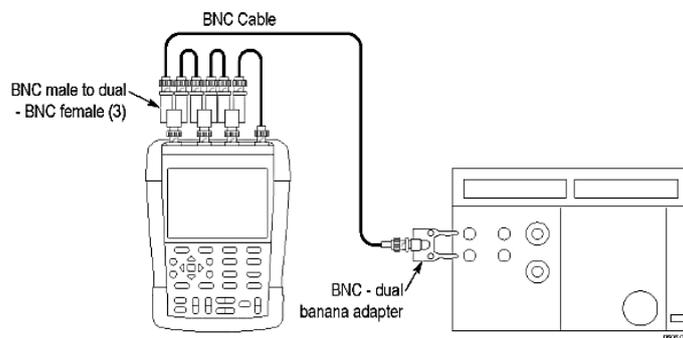
Proceda da seguinte forma para fazer a calibração da posição de entrada:

1. Pressione F2 para selecionar a etapa de ajuste de calibração CL 0619.
2. Remova todas as conexões aos canais.
3. Pressione F3 para iniciar a calibração.
4. Aguarde até que o display mostre o status de calibração: *READY*.
5. Prossiga para a próxima etapa.

H. Ganho de tensão de entrada

1. Conecte o gerador ao osciloscópio conforme mostrado na Figura 71.

Figura 71 - Configuração de teste de entrada para saída normal de 5500A.



Fonte: (TEKTRONIX, 2012).

2. Pressione F2 para selecionar a primeira etapa de calibração na Tabela 20.

Tabela 20 - Pontos de calibração de ganho de tensão de entrada.

Passo de calibração	Valor de entrada UUT (5500A NORMAL)
CL 0799	5 mV
CL 0800	12,5 mV
CL 0801	25 mV
CL 0802	50 mV
CL 0803	125 mV
CL 0804	250 mV
CL 0805	500 mV
CL 0806	1,25 V
CL 0807	2,5 V
CL 0808	5 V
CL 0809	12,5 V
CL 0810	25 V
CL 0811	50 V (defina 5500A para OPR!)
CL 0812	125 V
CL 0813	250 V

Fonte: (Adaptado de TEKTRONIX, 2012).

3. Ajuste o 5500A para fornecer uma tensão de CC, para o primeiro ponto de calibração na Tabela 19.

4. Configure o 5500A para operar.

5. Pressione F3 para iniciar a calibração.

6. Aguarde até que o display mostre o status de calibração: *READY*.

7. Pressione F2 para selecionar a próxima etapa de calibração, defina o 5500A para o próximo ponto de calibração e inicie a calibração. Continue por todos os pontos de calibração mostrados na Tabela 19.

8. Configure o 5500A para o modo de espera e continue para próxima seção.

I. Entrada Zero

1. Pressione F2 para selecionar a etapa de ajuste de calibração CL0852.

2. Entradas de curto-circuito 1 a 4.

3. Pressione F3 para iniciar a calibração zero.

4. Aguarde até que o display mostre o status: *READY*.

5. Remova os terminais da entrada.

Isso completa a seção de coleta de dados do procedimento.

J. Salvar dados de calibração e sair

Executando os passos a seguir é possível salvar os dados de calibração e logo depois sair do modo de manutenção. Assim terminando por completo a calibração do aparelho (TEKTRONIX 2012).

1. Remova todos os terminais de teste das entradas do instrumento.

2. Pressione EXIT. O instrumento exibe: Dados de calibração válidos. Salvar dados e sair do modo de manutenção?

3. Pressione YES para salvar e sair.

3.4.2 Descarga de dados

A descarga de dados do aparelho TEKTRONIX THS3024 é realizada de forma simples por meio de qualquer mídia de armazenamento *USB*. Ao acessar o botão *SAVE* e logo em seguida acessar a função *FILE OPTIONS*, mostrado na Figura 72, é possível ter

acesso a todos os registros feitos no aparelho armazenado na memória interna do aparelho (TEKTRONIX 2012).

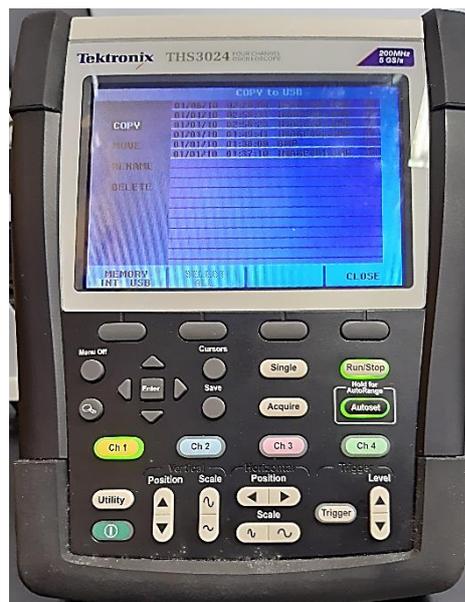
Figura 72 - SAVE e FILE OPTIONS



Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

Os dados já armazenados na memória interna do aparelho podem ser transferidos por completo através da função *MOVE*, ou apenas copiados para uma mídia *USB* através a função *COPY*, a Figura 73 demonstra as funções. (TEKTRONIX 2012).

Figura 73 - Funções de salvamento.

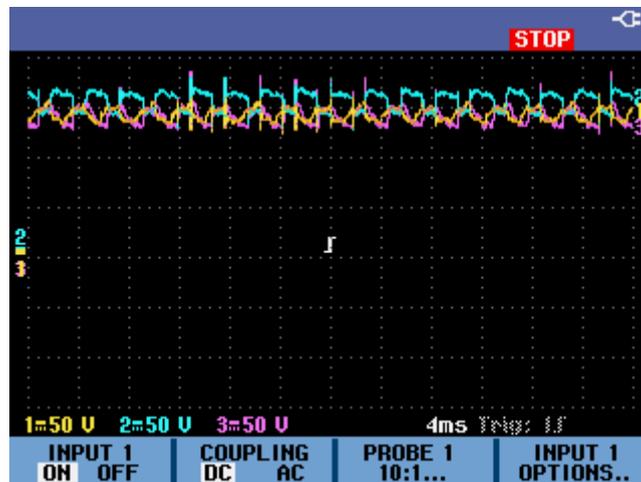


Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

Continuando no menu *FILE OPTIONS*, é necessário plugar o dispositivo de armazenamento *USB*, logo em seguida é necessário trocar opção de armazenamento, na opção *MEMORY* de interno para *USB*. Tendo realizado tais procedimentos todas as capturas de tela e dado serão armazenados no dispositivo *USB*, possibilitando assim que sejam transferidos para outras mídias. Para realizar uma captura de tela ou salvar algum dado, basta apenas acessar a função *SAVE* e selecionar o ícone da câmera ou o ícone (TEKTRONIX 2012).

A Figura 74 mostra um Exemplo de uma captura realizada no Aparelho TEKTRONIX THS 3024.

Figura 74 - Exemplo de Captura TEKTRONIX THS 3024.



Fonte: (Acervo do Autor Feito em TEKTRONIX THS 3024, 2021).

3.5 Wavebook/516E

A *Measurement Computing*, também conhecida como ME, é a empresa responsável pelo desenvolvimento do aparelho WAVEBOOK/516E. É sediada em Massachussetts Estados Unidos. A empresa é especializada no desenvolvimento e fabricação de equipamentos, programáveis e não programáveis, de aquisição de dados (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

O WAVEBOOK/516E é definido por seu fabricante como um aparelho com vários canais, que permite a aquisição e análise de forma digital de formas de ondas, indicado para aplicações que exigem equipamentos portáteis e principalmente em aplicações laboratoriais. Ao todo o aparelho possui 8 canais, e ainda permite expansão

combinando outros aparelhos, podendo alcançar a marca de 288 canais. A Figura 75 ilustra o aparelho presente no laboratório (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

Figura 75 - WAVEBOOK/516E.



Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

A Tabela 21 ilustra as principais características ambientais e físicas a respeito do instrumento WAVEBOOK/516E.

Tabela 21 - Especificações Gerais WAVEBOOK/516E

ESPECIFICAÇÕES GERAIS

Aquecimento	30 minutos
Temperatura de Operação	0 a 50°
Temperatura de Armazenamento	-20° a 70°
Consumo de Energia	1.4A, 15VDC
Faixa de Energia de Entrada	10 A 30 VDC
Dimensões	285 x 220 x 45 mm
Peso	1,5 kg
Resolução	12 bits
Ciclo de Calibração	1 ano

Fonte: (Adaptado de MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

As especificações de medição do WAVEBOOK/516E são detalhadas na Tabela

22.

Tabela 22 - Especificações de Medição WAVEBOOK/516E

Faixa de Tensão	Unidade Padrão		Com WBK11A (Nota 3)			Com WBK12A/13A (Nota 3)				
	Precisão (Nota 2) Um ano, 18-28°C		Ruído de entrada LSB rms DC- 500KHz (Típico)	Precisão (Nota 2) Um ano, 18-28°C		Ruído de entrada LSB rms DC- 500KHz (Típico)	Precisão (Nota 2) Um ano, 18-28°C		Ruído de entrada LSB rms (Típico)	
	± % Leitura	± % Faixa		± % Leitura	± % Faixa		± % Leitura	± % Faixa	1KHz Filtro	Filtro Bypass
0 a +10V	.012 %	.008 %	2	.012 %	.008 %	2	.012 %	.008 %	2 . 2	2.2
0 a +5V (10A) 0 a +4V (516)	.012 %	.009 %	2	.012 %	.009 %	2	.012 %	.009 %	2 . 2	2.2
0 a +2V	.012 %	.012 %	3	.012 %	.012 %	3	.012 %	.012 %	2 . 2	3
0 a +1V (10A)	.012 %	.018 %	3	.012 %	.018 %	3	.012 %	.018 %	2 . 2	3
0 a +.5V				.018 %	.033 %	6	.018 %	.033 %	2 . 2	6
0 a +.2V				.018 %	.08 %	8	.018 %	.08 %	2 . 2	12
0 a +.1V				.018 %	.16 %	15	.018 %	.16 %	2 . 2	20
-10 a +10V	.012 %	.008 %	2	.012 %	.008 %	2	.012 %	.008 %	2 . 2	2.2
-5 a +5V	.012 %	.008 %	2	.012 %	.008 %	2	.012 %	.008 %	2 . 2	2.2
-2 a +2V	.012 %	.009 %	2	.012 %	.009 %	2	.012 %	.009 %	2 . 2	3
-1 a +1V	.018 %	.012 %	3	.018 %	.012 %	3	.018 %	.012 %	2 . 2	3.3
-.5 a +.5V (10A)	.018 %	.018 %	5	.018 %	.018 %	6	.018 %	.018 %	2 . 2	6
-.2 a +.2V				.018 %	.033 %	8	.018 %	.033 %	2 . 2	12
-.1 a +.1V				.018 %	.08 %	15	.018 %	.08 %	2 . 2	20
-.05 a +.05V (10A)				.018 %	.16 %	26	.018 %	.16 %	4	40

Notes: 1. As especificações pressupõem uma varredura de entrada diferencial, não filtrada.

2. As especificações de precisão excluem ruído.

3. As faixas unipolares não estão disponíveis quando as opções WBK11A, WBK12A e WBK13A estão instaladas. As faixas unipolares estão disponíveis com WBK10A e qualquer opção.

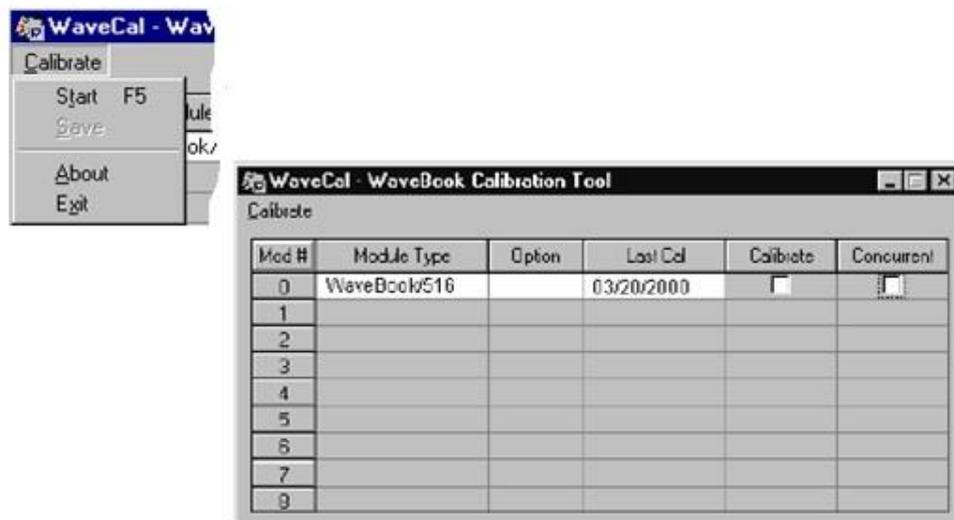
Fonte: (Adaptado de MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

3.5.1 Calibração

Um exemplo de como executar a calibração do WAVEBOOK/516E é dado em no manual disponibilizado pelo fabricante, por meio do *software WaveCal* do equipamento. O *WaveCal* é um aplicativo destinado à Windows que tem a função de executar a calibração dos sistemas WAVEBOOK, o aplicativo é instalado em conjunto com o restante dos programas presentes no CD-ROM (arquivo executável disponível no laboratório de circuitos e maquinas elétricas da UFT) que acompanha o equipamento (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

Antes de demonstrar um exemplo de calibração é necessário primeiramente configurar o sistema de calibração. A janela da ferramenta de calibração na Figura 76 contém colunas que exibem o modelo do aparelho, opção (cartões de opção) e última calibração (última data de calibração conhecida). Duas colunas adicionais fornecem um meio de selecionar Calibrar e Simultâneo (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

Figura 76 - Janela da ferramenta de calibração.



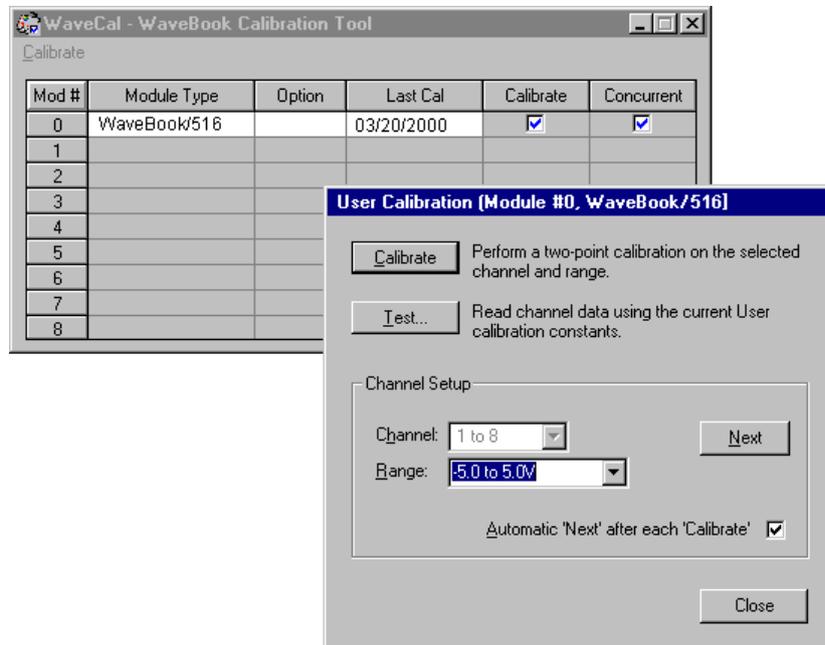
Fonte: (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

K. Realizando a calibração do sistema

Abra o menu suspenso Calibrar e clique em Iniciar para acessar uma caixa de calibração do usuário para o módulo selecionado como mostra a Figura 76.

A Figura 77 apresenta a ferramenta de calibração e a respectiva caixa do usuário. Seguindo tem-se uma explicação sobre as opções que a ferramenta de calibração possui.

Figura 77 - Ferramenta de calibração WaveCal e caixa de calibração do usuário.

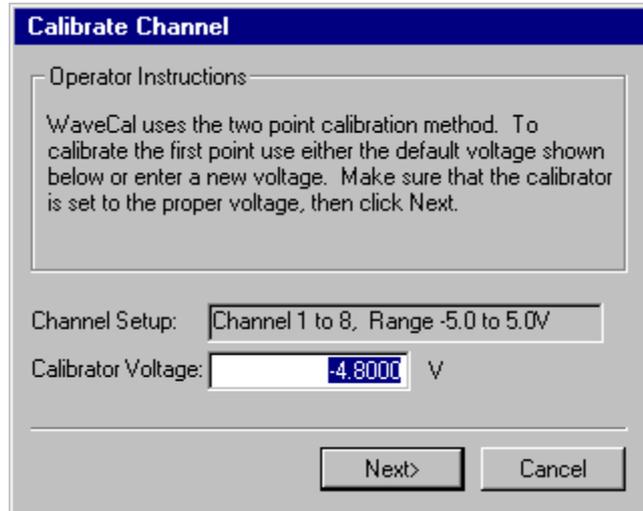


Fonte: (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

- Barra de título: identifica o número do módulo e o tipo do módulo.
- Calibrar: Abre a caixa Calibrar Canal (veja a figura a seguir). Calibrate faz com que o WaveCal execute uma calibração de dois pontos no canal e intervalo selecionados, conforme identificado na parte Channel Setup da caixa User Calibration.
- Teste: Lê os dados do canal usando a tabela de calibração do usuário atual ou a tabela de calibração de fábrica (o que for selecionado). O teste é usado para verificar a calibração adequada, verificando a leitura de um canal com um valor de fonte conhecido. A página a seguir contém informações mais detalhadas e inclui uma captura de tela.
- Canal: identifica o canal (ou canais, se simultâneos) a ser calibrado ou testado. A seta suspensa fornece um meio de selecionar um canal específico quando o simultâneo não está selecionado.
- Faixa: identifica a faixa e fornece um meio de selecionar uma faixa específica.
- Próximo: Avança para a próxima calibração ou teste. Uma caixa de seleção fornece um meio de escolher um “próximo automático” para ocorrer após cada calibração, em vez de precisar clicar manualmente no botão “Próximo”

Abre a caixa canal de calibração na Figura 78. Calibrate faz com que o WaveCal execute uma calibração de dois pontos no canal e intervalo selecionados, conforme identificado na parte *Channel Setup* da caixa de calibração do usuário na Figura 77 (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

Figura 78 - Caixa canal de calibração.



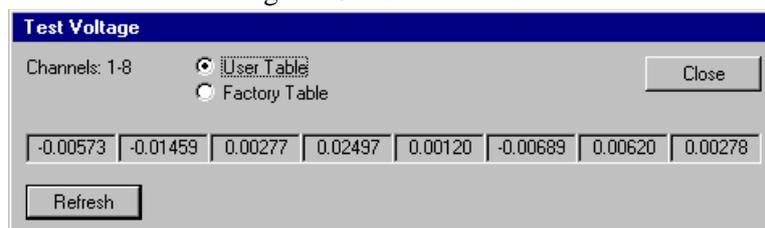
Fonte: (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

L. Teste

O botão de teste pode ser usado para testar os níveis de tensão do canal antes e depois da calibração. O comando faz com que WaveCal exiba o nível de tensão atual para o canal selecionado. Se a calibração simultânea foi selecionada, os níveis de tensão para todos os 8 canais de serão exibidos de uma vez, conforme indicado na Figura 78. Caso contrário, apenas o nível de tensão para o canal individual selecionado será exibido (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

Um teste de amostra é mostrado na Figura 79. Observe que as leituras da tabela de calibração do usuário podem ser comparadas com aquelas resultantes da tabela de calibração de fábrica, alternando entre as duas opções de botão de rádio (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

Figura 79 - Caixa de teste.



Fonte: (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

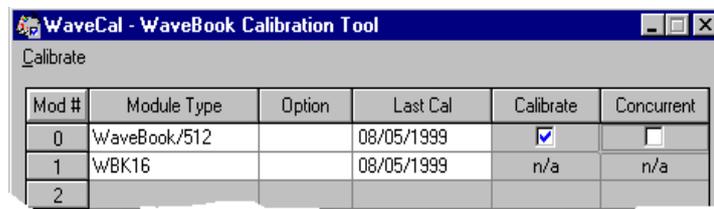
M. Um exemplo de calibração

O exemplo a seguir inclui capturas de tela tiradas da calibração de um WaveBook / 512. O processo de calibração será o mesmo para outros sistemas WaveBook incluindo o modelo 516E abordado nesse trabalho (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

O exemplo usa o modo não simultâneo para dois canais. Com o WaveCal em execução, as etapas são as seguintes:

1. Marque a caixa Calibrar para o Módulo nº 0, conforme a Figura 80. O módulo agora está selecionado para calibração (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

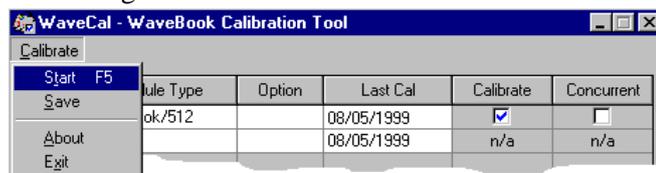
Figura 80 - Selecionando um Módulo para Calibrar.



Fonte: (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

2. Abra o menu Calibrar e selecionamos Iniciar, assim como na Figura 81. Observe que a tecla <F5> também pode ser usada. A caixa de diálogo de calibração do usuário aparece como visto na Figura 82 (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

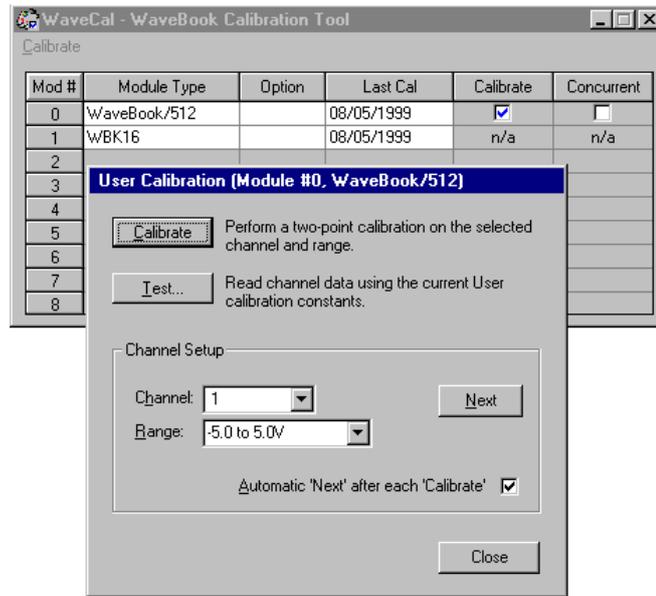
Figura 81 - Selecionando Iniciar no menu



Fonte: (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

3. A caixa de diálogo de calibração do usuário indica o canal e o intervalo que estão atualmente programados para calibração. Observe que optamos por usar o recurso "Próximo" automático colocando uma marca de seleção na caixa de seleção do recurso. Neste ponto, clique no teclado <ENTER> para continuar. Observe que usar o teclado <ENTER> tem o mesmo resultado que se você clicar no Botão Calibrar "na tela". Após pressionar <ENTER>, a caixa Calibrate Channel aparece para calibração do primeiro ponto (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

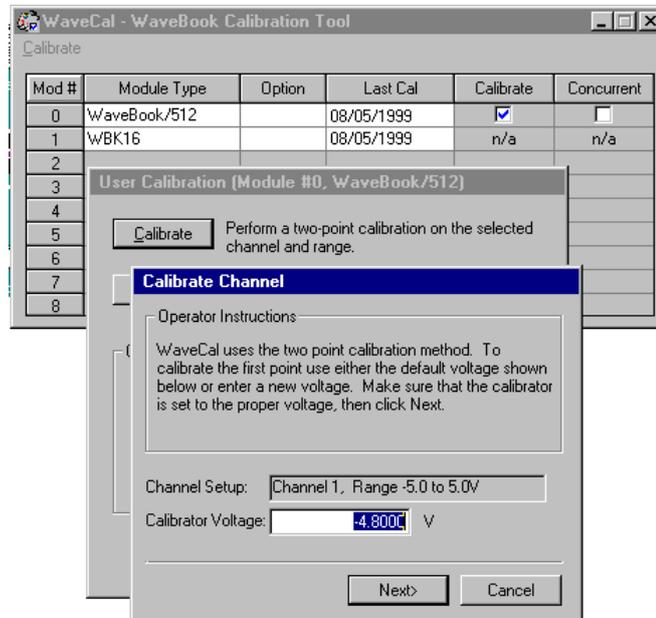
Figura 82 - Caixa de diálogo de calibração do usuário.



Fonte: (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

4. Ajuste a tensão do calibrador para o valor recomendado. No exemplo, temos uma variedade de -5,0 a +5,0 Volts. A tensão do calibrador foi definida para - 4,8 Volts, conforme recomendado e mostrado na Figura 83 (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

Figura 83 - Calibração de segundo ponto usando -4,8V.

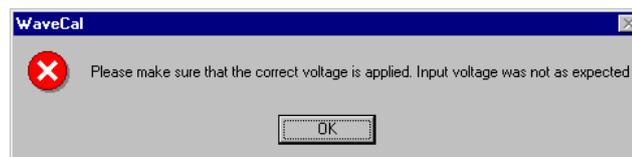


Fonte: (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

5. Pressione <ENTER> no teclado ou clique no botão Avançar da tela. A caixa Calibrate Channel aparece para o “Second Point” conforme indicado na Figura 85 (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

Nota: Se você inserir um valor de tensão inaceitável, como -4,8 Volts quando +4,8 Volts são esperados, WaveCal o notificará com uma caixa de mensagem, conforme mostrado na Figura 84 (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

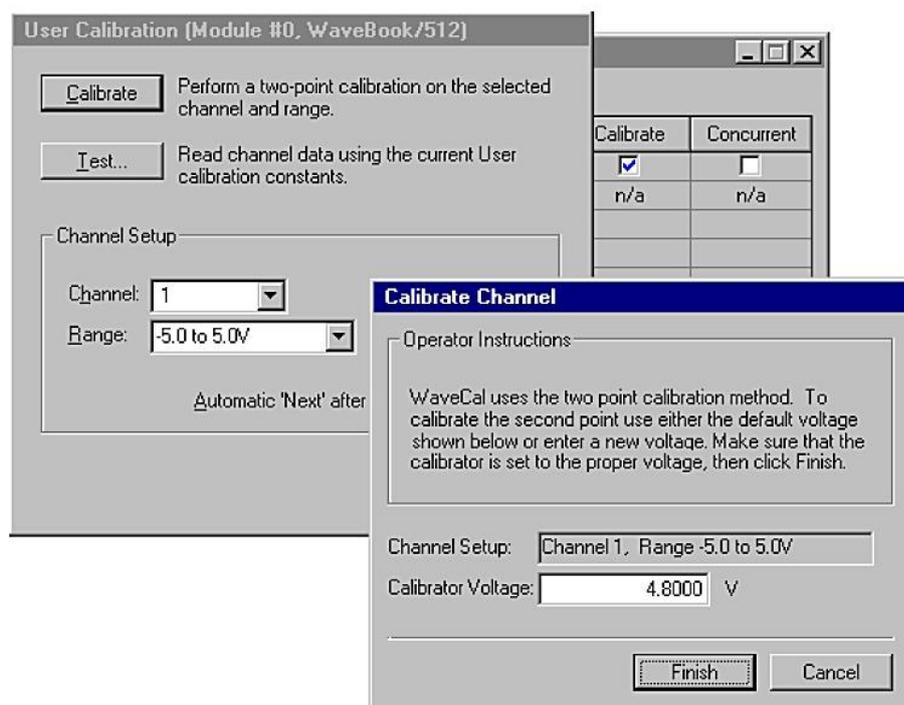
Figura 84 - Mensagem resultante da tentativa de inserir uma tensão inaceitável.



Fonte: (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

6. Aplique a tensão do calibrador recomendada para a faixa e, em seguida, pressione <ENTER> no teclado (ou no botão Concluir na tela). WaveCal está agora pronto para a calibração do "primeiro ponto" da próxima faixa (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

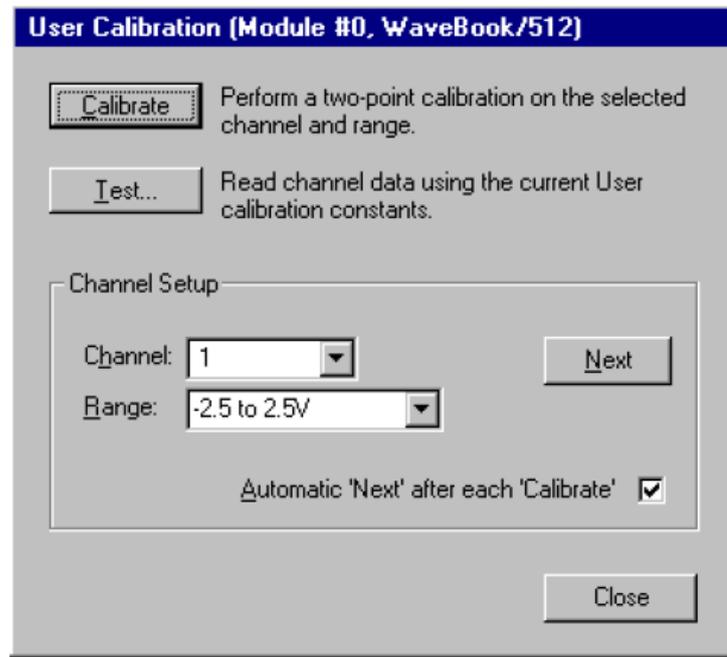
Figura 85 - Calibração de segundo ponto usando +4,8V.



Fonte: (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

7. WaveCal exibe a configuração do canal para a próxima calibração de dois pontos. Em nosso exemplo, isso é: Canal 1, faixa de -2,5 a +2,5 Volts, conforme apresentado na Figura 86 (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

Figura 86 - Configuração do canal para a próxima calibração de dois pontos.

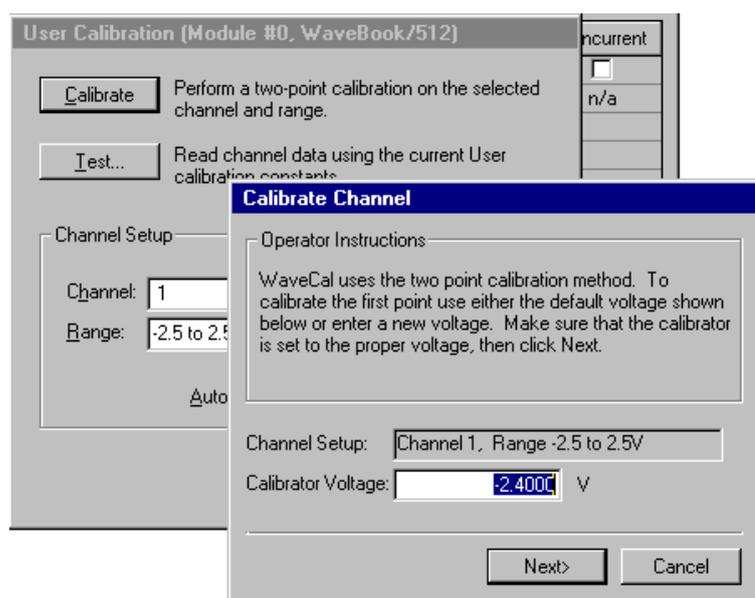


Fonte: (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

8. Pressione <ENTER> no teclado (ou use um botão na tela se preferir). Após pressionar <ENTER>, a caixa Calibrate Channel aparece para a calibração do primeiro ponto. A caixa de diálogo de calibração do usuário mostrando o canal 1, faixa de -2,5 a 2,5 V. Atualmente programado para calibração (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

9. Ajuste a tensão do calibrador para o valor recomendado. No exemplo da Figura 86, temos uma variedade de -2,5 a +2,5 Volts. Definimos nossa tensão do calibrador para -2,4 Volts, conforme recomendado na figura 87 (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

Figura 87 - Calibração de Primeiro Ponto Usando -2,4V.

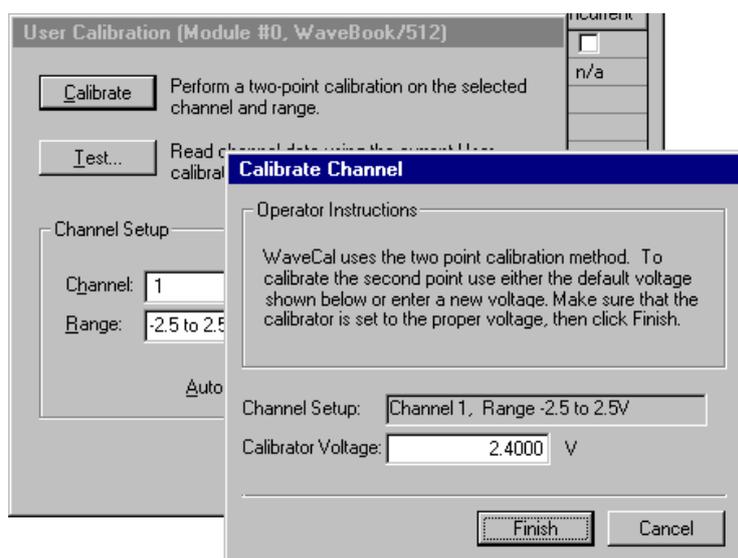


Fonte: (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

10. Pressione <ENTER> no teclado ou clique no botão Avançar da tela. A caixa Calibrate Channel aparece para o “Second Point” conforme indicado na Figura 88. Canal 1, faixa de -2,5 a 2,5 V programado para calibração do primeiro ponto usando -2,4 V (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

11. Aplique uma tensão de calibrador de “segundo ponto” aceitável para a faixa e pressione <ENTER> no teclado (ou o botão Concluir na tela) (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

Figura 88 - Calibração de Segundo ponto utilizando +2,4V.



Fonte: (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

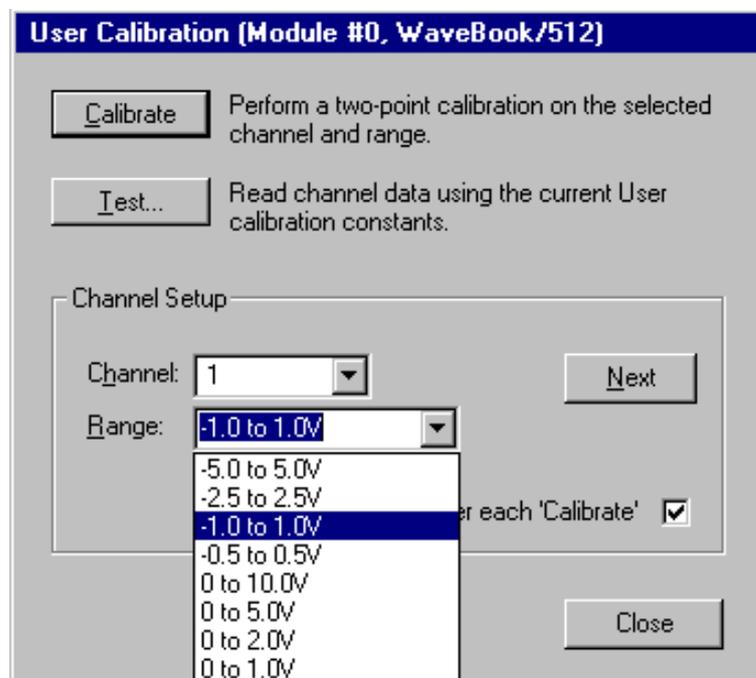
WaveCal agora está pronto para a calibração do “primeiro ponto” da próxima faixa.

12. Continue este método para os intervalos restantes e para cada canal. Lembre-se, se Simultâneo for selecionado (na janela Ferramenta de calibração da pasta de trabalho, a caixa Canal mostrará 1-8 e os oito canais serão calibrados simultaneamente. Canal 1, faixa de -2,5 a 2,5V Programado para Calibração do segundo ponto usando +2,4V (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

WaveCal permite que você selecione canais e faixas individuais para calibração, como demonstrado na Figura 89. Por exemplo: Se você tem um canal com valores questionáveis para um intervalo, mas todos os outros canais e intervalos parecem bons, você pode:

- a) Use "não simultâneo" (sem caixa de seleção em Simultâneo)
- b) Selecione o canal aplicável.
- c) Selecione o intervalo em questão.
- d) Calibre para o primeiro ponto.
- e) Calibrar para o segundo ponto.

Figura 89 - Selecionando um canal e faixa específica para calibração.



Fonte: (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

3.5.2 Descarga de dados

Antes de iniciar deve-se atentar ao fato que o WAVEBOOK/516E é uma ferramenta que opera em conjunto de um computador operando com sistema Microsoft Windows. Para realizar a conexão do WAVEBOOK/516E primeiramente é necessário instalar o conjunto de *Softwares* contidos no CD-ROM que acompanha o equipamento. Nele estão contidos o *Waveview* (aplicação que permite a visualização e aquisição dos dados) e o *Wavecal* (aplicação para realizar a calibração do aparelho). A Tabela 23 demonstra os requisitos mínimos para a instalação do *software* (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

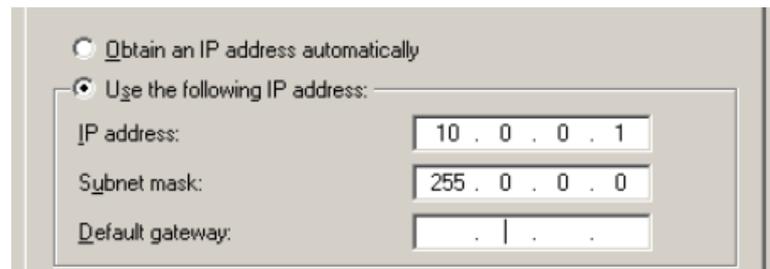
Tabela 23 - Requisitos Mínimos do *Software* WAVEBOOK

Requisitos Mínimos do Sistema
Intel Pentium 4 ou superior
Mínimo de 1GB de Memória RAM
Mínimo de 10 GB de Espaço livre no HD
Monitor com Resolução de 1024 X 768
Windows 7 (32 or 64-bit)
Windows Vista (32 or 64-bit)
Windows XP SP2 (32-bit)
Windows 2000 SP4
(Ou versão superior)

Fonte: (Adaptado de MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

Uma vez cumprido os requisitos mínimos, a instalação do *software* pode ser executada. O equipamento pode ser conectado no computador utilizando um cabo *Ethernet* e também é conectado a um terminal de energia elétrica através do cabo que promove o suprimento de força para o equipamento. Feito isso é necessário realizar a configuração do IP conforme a Figura 90, e por último configurar e testar o sistema conforme o manual do equipamento (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

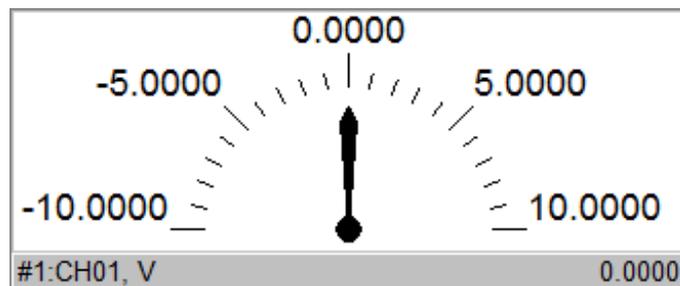
Figura 90 - Configuração do IP.



Fonte: (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

Ao acessar o *software* podemos ler e salvar as leituras realizadas, por meio dos canais, do aparelho em formato de imagem ou PDF. As leituras podem ser exibidas de diferentes maneiras por exemplo, em formato de mostrador analógico, mostrador digital, gráfico de barras e forma de onda. As Figuras 91, 92,93 e 94 demonstram as maneiras de exibição das leituras (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

Figura 91 - Exibição Mostrador Analógico.



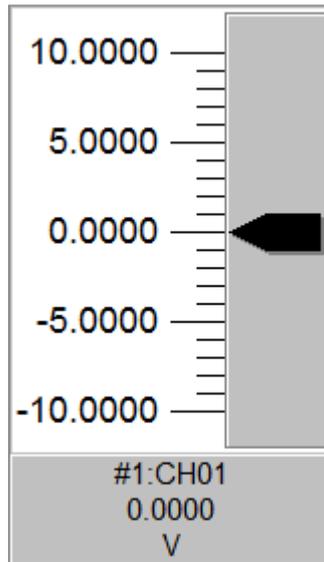
Fonte: (Acervo do Autor Feito em WAVEBOOK/516E, 2021).

Figura 92 - Exibição Mostrador Digital.

0.0000	#1:CH01 V
0.0000	#2:CH02 V
0.0000	#3:CH03 V

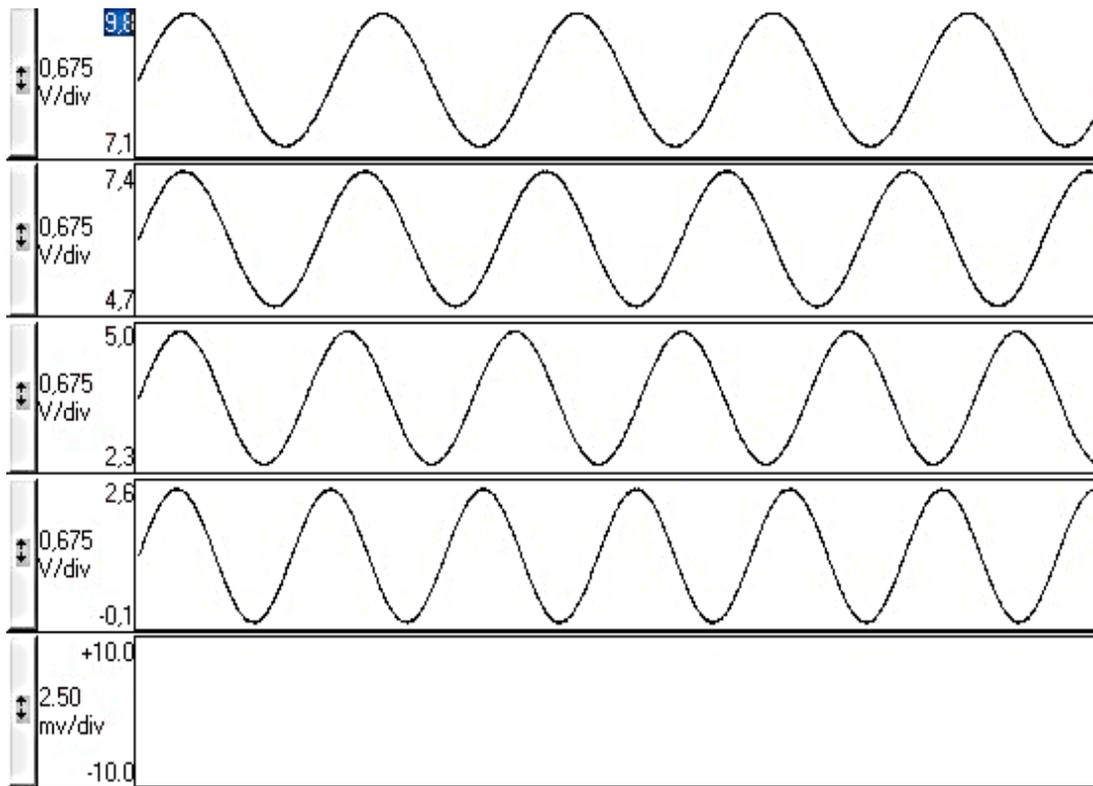
Fonte: (Acervo do Autor Feito em WAVEBOOK/516E, 2021).

Figura 93 - Exibição Gráfico de Barras.



Fonte: (Acervo do Autor Feito em WAVEBOOK/516E, 2021).

Figura 94 - Exibição Forma de Onda.



Fonte: (Acervo do Autor Feito em WAVEBOOK/516E, 2021).

3.6 Considerações Finais

Após realizar o estudo das principais características dos aparelhos, o método de descarga de dados e o método de calibração, nota-se que todo o conhecimento adquirido auxilia no entendimento e manuseio dos aparelhos. É possível realizar todas as conexões e adquirir as medidas de forma prática e segura. Destaca-se também a importância que esse capítulo tem para com o entendimento conjunto dos diversos manuais e folhetos de dados. Pois, os três fabricantes dos aparelhos são de origem Estadunidense e as informações disponíveis se encontram no idioma inglês. Apresentar essa gama de informações em língua portuguesa tornará, aos alunos, mais dinâmico a confecção de futuros trabalhos utilizando esses quatro aparelhos, facilitando assim a obtenção das medidas nos testes a serem realizados.

4 ANÁLISE E AVALIAÇÕES DAS MEDIDAS ELÉTRICAS

4.1 Considerações Iniciais

Tendo em vista todo o conhecimento teórico sobre medidas elétricas e as informações estudadas à respeito dos aparelhos, detalhadamente descritos nos capítulos 2 e 3 respectivamente, é fundamental a realização de testes que visem ao cumprimento dos objetivos desse trabalho.

Nesse capítulo serão abordados todos os procedimentos utilizados para a realização dos testes, assim como, as avaliações matemáticas dos valores adquiridos. Considerando medidas simultâneas, utilizando os quatro aparelhos descritos neste trabalho, serão analisadas e avaliadas as diferenças apresentadas, confrontado os respectivos valores às faixas de erro, precisão e exatidão previstas pelos fabricantes. O aparelho escolhido como referencial é o FLUKE 1738.

4.2 Metodologia de Ensaio

A metodologia do trabalho consiste inicialmente em realizar uma análise de segurança. Lembrando que para a execução de testes práticos, mesmo que seja em um ambiente laboratorial controlado, é preciso tomar decisões que resguardem a integridade física dos envolvidos e o patrimônio da Universidade.

Listar os materiais utilizados é outro objetivo a ser realizado nesse capítulo para dar mais transparência ao trabalho e também auxiliar em experimentos futuros. Também serão especificadas as principais características da carga utilizada.

Será feita uma descrição detalhada de como ocorreu a montagem dos experimentos, descrevendo como cada aparelho foi alocado de acordo com a suas limitações, terminais de entrada e capacidade de locomoção.

Por final, tendo executado as medições e coletado todos os valores fundamentais, deve-se começar o processo de avaliação dos dados e execução dos cálculos essenciais. Assim tendo todo o acervo para se chegar a uma conclusão, se os erros presentes nos aparelhos são expressivos, ou se estão dentro do que estipula cada fabricante.

4.2.1 Análise de Segurança

Primeiramente deve-se analisar se todos os participantes do experimento estão cumprindo as recomendações de segurança e utilizando roupas que se adequam a normativa do Laboratório de Circuitos e Máquinas Elétricas. Não é permitido se alimentar dentro dos Laboratórios. Os participantes devem utilizar calçado fechado e calça

comprida, não é permitido o uso acessórios nas mãos como, relógios, pulseiras, anéis entre outros.

Analisando a estrutura do laboratório de máquinas elétricas observa-se que o piso e as bancadas são emborrachados, e os quadros de proteção possuem dispositivo diferencial residual, o que reduz ainda mais o risco de choque elétrico. Durante a montagem foram tomados os devidos cuidados para que nenhum condutor ficasse exposto.

Por último vale ressaltar que, assim como rege a normativa, todas as montagens e medidas feitas nesse trabalho foram realizados na presença e supervisão do técnico responsável pelo laboratório de máquinas elétricas.

4.2.2 Materiais

Para a execução desse trabalho foi necessário a utilização de uma série de materiais. Todos os itens utilizados, listados na tabela 24, foram indispensáveis para a montagem do experimento e aquisição das medidas.

Tabela 24 - Lista de Materiais Utilizados.

QUANTIDADE	ITEM
01	Analizador de Energia FLUKE 1738;
01	Alicate de Medição de Qualidade de Energia FLUKE 345;
01	Osciloscópio Portátil TEKTRONIX THS 3024;
01	Aparelho Multicanais para aquisição de dados WAVEBOOK 516/E;
01	Fonte de Alimentação Trifásica DE LORENZO;
01	Motor WEG W22 Plus;
02	Ponteiras para Multímetro;
03	Cabos para Tensão do analisador FLUKE 1738;
03	Argolas sensores de corrente do analisador FLUKE 1738;
03	Ponteiras para Osciloscópio;
03	Garra Sensor de Corrente FLUKE;
06	Cabos Banana-Banana Protegidos.

Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

4.2.3 Montagem

A montagem do experimento começa pela conexão de todos os aparelhos envolvidos no processo. Os aparelhos foram conectados à carga escolhida para execução do experimento, um motor de indução trifásico. O motor por sua vez é alimentado por uma fonte de tensão trifásica. A Figura 95 mostra a montagem de todos os instrumentos concluída.

Cada aparelho possui uma maneira diferente de se conectar as fases A B C do motor e obter as medições requeridas.

Primeiramente realiza-se a conexão do Aparelho de referência, FLUKE 1738, utilizando os 3 terminais de tensão em conjunto com os 3 sensores de corrente, cada um em uma respectiva fase A B C (FLUKE 2015).

O aparelho FLUKE 345 permite a medição de corrente e tensão seja executada em uma fase por vez, sendo assim, ele é conectado em uma fase realiza-se a leitura e posteriormente é conectado novamente em outra fase e a leitura é feita novamente. Esse processo é feito nas três fases A B C, obtendo-se assim as leituras de tensão e corrente em cada fase. A medição de corrente é realizada através da garra sensor de corrente que envolve a fase onde é desejado adquirir a medida. Já a medição de tensão é feita utilizando-se ponteiros para medição de tensão, assim como as de um multímetro, para obter a tensão em uma só fase uma das ponteiros é conectada na fase desejada e a outra em um ponto referencial neutro (FLUKE 2006).

Posteriormente o aparelho TEKTRONIX THS 3024 foi configurado, lembrando que o aparelho não mede os valores de tensão e corrente ao mesmo tempo. Primeiramente utilizando as garras sensores para medição de corrente e posteriormente as ponteiros para medição de tensão. Assim é possível obter os valores de tensão e corrente no aparelho (TEKTRONIX 2012).

O WAVEBOOK 516/E necessita do *software Waveview* para a visualização das medidas. Para a montagem do mesmo é necessário inicialmente ligar o computador onde se encontra o software e conectar o aparelho através do cabo ethernet. Feito isso os cabos conectores são conectados nas fases A B C e a leitura é observada no *software* (MEASUREMENT COMPUTING, 2002).

Figura 95 - Montagem Completa de todos os medidores.



Fonte: (Acervo do Autor Feito em WAVEBOOK/516E, 2021).

4.2.4 Carga

A carga utilizada para o teste e aquisição das medidas foi um motor de indução trifásico, especificamente o motor WEG W22 PLUS, os dados de placa do motor utilizados são demonstrados na Tabela 25.

Tabela 25 - Dados de Placa do Motor.

Descrição	VALOR
TENSÃO EM TRIÂNGULO	220V
TENSÃO EM ESTRELA	380V
CORRENTE EM TRIÂNGULO	3,05
CORRENTE EM ESTRELA	1,77
FREQUÊNCIA	60Hz
ROTAÇÕES POR MINUTO	1690
RENDIMENTO	69%
POTÊNCIA	0,55KW/0,75CV

FATOR DE SERVIÇO	1,15
TEMPERATURA AMBIENTE	40°C
ALTITUDE	1000 METROS
ISOLAÇÃO	F
TEMPERATURA CLASSE DE ISOLAMENTO	80K
REGIME DE SERVIÇO	S1
FATOR DE POTÊNCIA	0,69
GRAU DE PROTEÇÃO	IP55
CAT DES	N
Nº DE FASES	3

Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

O motor é alimentado através de uma fonte de alimentação trifásica DE LORENZO, mostrada na Figura 96.

Figura 96 - Fonte de Alimentação.



Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

Verificando os dados de placa do motor nota-se que o nível de tensão é de 380V para a conexão em estrela, e 220V para a conexão em triângulo. A conexão escolhida foi a conexão em triângulo, permitindo que o motor pudesse ser conectado na fonte de tensão trifásica que varia de 0 a 250Vca. A fonte de tensão foi regulada lentamente até que a mesma atingisse 100% de sua capacidade. A Figura 97 Mostra o motor com a conexão em triângulo executada.

Figura 97 - Ligação Triângulo Executada.



Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

4.3 Avaliações

Sabe-se que a exatidão de um instrumento é definida pela diferença entre uma determinada medida realizada e um valor tomado como padrão de referência, ou seja, para definir se um determinado aparelho é mais ou menos exato que o outro é imprescindível que o valor do erro seja calculado (VUOLO 1993).

Ressalta-se que as medidas obtidas foram realizadas com os quatro aparelhos conectados a carga ao mesmo tempo. Sabendo que a carga escolhida é um motor de indução trifásico, tem-se três medidas de corrente e três medidas de tensão, correspondentes as fases A B e C. Os dados de referência captados no aparelho FLUKE 1738 são expressos na Tabela 26.

Tabela 26 - Valores Medidos FLUKE 1738.

Descrição	VALORES MEDIDOS FLUKE 1738
CORRENTE FASE A	2,94 A
CORRENTE FASE B	2,94 A
CORRENTE FASE C	2,98 A
TENSÃO FASE A	162,4 V
TENSÃO FASE B	113,3 V
TENSÃO FASE C	139,1 V

Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

Seguindo para o aparelho TEKTRONIX THS 3024, os seguintes valores de corrente e tensão expressos na Tabela 27 foram adquiridos. Inicialmente os valores de

corrente foram medidos utilizando a garra sensor de corrente, e posteriormente registrou-se os valores de tensão utilizando as ponteiros para osciloscópio.

Tabela 27 - Valores Medidos TEKTRONIX THS3024.

Descrição	VALORES MEDIDOS TEKTRONIX THS 3024
CORRENTE FASE A	2,96 A
CORRENTE FASE B	2,96 A
CORRENTE FASE C	2,99 A
TENSÃO FASE A	161,9 V
TENSÃO FASE B	112,9 V
TENSÃO FASE C	138,7 V

Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

Para o FLUKE 345 os seguintes valores mostrados na Tabela 28 foram adquiridos. Inicialmente medindo a corrente em uma fase de cada, logo em seguida mediu-se a tensão utilizando ponteiros de multímetro.

Tabela 28 - Valores Medidos FLUKE 345.

Descrição	VALORES MEDIDOS FLUKE 345
CORRENTE FASE A	2,93 A
CORRENTE FASE B	2,94 A
CORRENTE FASE C	2,94 A
TENSÃO FASE A	163,6 V
TENSÃO FASE B	114,2 V
TENSÃO FASE C	137,7 V

Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

Dois pontos devem ser ressaltados quando se trata de obter as medidas do aparelho WAVEBOOK 516/E.

O primeiro é que o instrumento não possui os sensores adequados para medição de corrente que sejam compatíveis com o mesmo, sabendo disso a medição se limita apenas aos valores de tensão.

O segundo é que o medidor não possui a capacidade de exibir em tempo real os valores RMS das fases A B e C. Para chegar a tais valores utilizou-se os valores de picos das formas de onda obtidas em cada fase, exibido na Tabela 29. E efetuou-se o cálculo do valor RMS para cada uma das fases, como expõe a Tabela 30.

Tabela 29 - Valores de Pico Medidos WAVEBOOK 516/E.

Descrição	VALORES DE PICO MEDIDOS WAVEBOOK 516/E
TENSÃO FASE A	181,7591 V
TENSÃO FASE B	181,7591 V
TENSÃO FASE C	180,3601 V

Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

Tabela 30 - Valores RMS Calculados WAVEBOOK 516/E.

Descrição	VALORES RMS MEDIDOS WAVEBOOK 516/E
TENSÃO FASE A	128,5218 V
TENSÃO FASE B	128,5218 V
TENSÃO FASE C	127,5326 V

Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

Através do conhecimento dos valores medidos em cada aparelho é possível calcular o erro de cada um dos aparelhos. A Tabela 31 demonstra os resultados obtidos utilizando as fórmulas matemáticas do erro absoluto e do erro relativo.

Tabela 31 – Valores de Erro Absoluto e Erro Relativo

Descrição	VALOR MEDIDO V_M	VALOR DE REFERENCIA (FLUKE 1052) V_E	ERRO RELATIVO $E = V_M - V_E$	ERRO ABSOLUTO $\varepsilon = \frac{E}{V_E} \times 100$
TEKTRONIX THS 3024				
CORRENTE FASE A	2,96 A	2,94 A	0,02 A	0,68027%
CORRENTE FASE B	2,96 A	2,94 A	0,02 A	0,68027%
CORRENTE FASE C	2,99 A	2,98 A	0,01 A	0,33557%
TENSÃO FASE A	161,9 V	162,4 V	-0,5 V	-0,30788%
TENSÃO FASE B	112,9 V	113,3 V	4,9 V	-0,35305%
TENSÃO FASE C	138,7 V	139,1 V	-3,1 V	-0,28756%
FLUKE 345				
CORRENTE FASE A	2,93 A	2,94 A	-0,01 A	-0,34014%
CORRENTE FASE B	2,94 A	2,94 A	0 A	0,00000%
CORRENTE FASE C	2,94 A	2,98 A	-0,04 A	-1,34228%
TENSÃO FASE A	163,6 V	162,4 V	1,2 V	0,73892%
TENSÃO FASE B	114,2 V	113,3 V	0,9 V	0,79435%
TENSÃO FASE C	137,7 V	139,1 V	-1,4 V	-1,00647%
WAVEBOOK/516E				
TENSÃO FASE A	128,5218 V	162,4 V	-33,8782 V	-20,86%
TENSÃO FASE B	128,5218 V	113,3 V	15,2218 V	13,43%
TENSÃO FASE C	127,5326 V	139,1 V	-11,5674 V	-8,32%

Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

Uma vez obtido Erro absoluto, é possível compara-lo com a faixa de erro disponibilizada pelos fabricantes, conforme a Tabela 32, para assim dizer se as medições estão conforme descrevem os manuais ou apresentam alguma discrepância.

Tabela 32 - Comparativo

Descrição	ERRO ABSOLUTO %	PRECISÃO SEGUNDO OS MANUAIS
TEKTRONIX THS 3024		
CORRENTE FASE A	0,68027%	$\pm 1.5\%$
CORRENTE FASE B	0,68027%	
CORRENTE FASE C	0,33557%	
TENSÃO FASE A	-0,30788%	$\pm 1.5\%$
TENSÃO FASE B	-0,35305%	
TENSÃO FASE C	-0,28756%	
FLUKE 345		
CORRENTE FASE A	-0,34014%	$\pm 1.5\%$
CORRENTE FASE B	0,00000%	
CORRENTE FASE C	-1,34228%	
TENSÃO FASE A	0,73892%	$\pm 1\%$
TENSÃO FASE B	0,70609%	
TENSÃO FASE C	0,71891%	
WAVEBOOK/516E		
TENSÃO FASE A	-20,86%	$\pm 1.2\%$
TENSÃO FASE B	13,43%	
TENSÃO FASE C	-8,32%	

Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

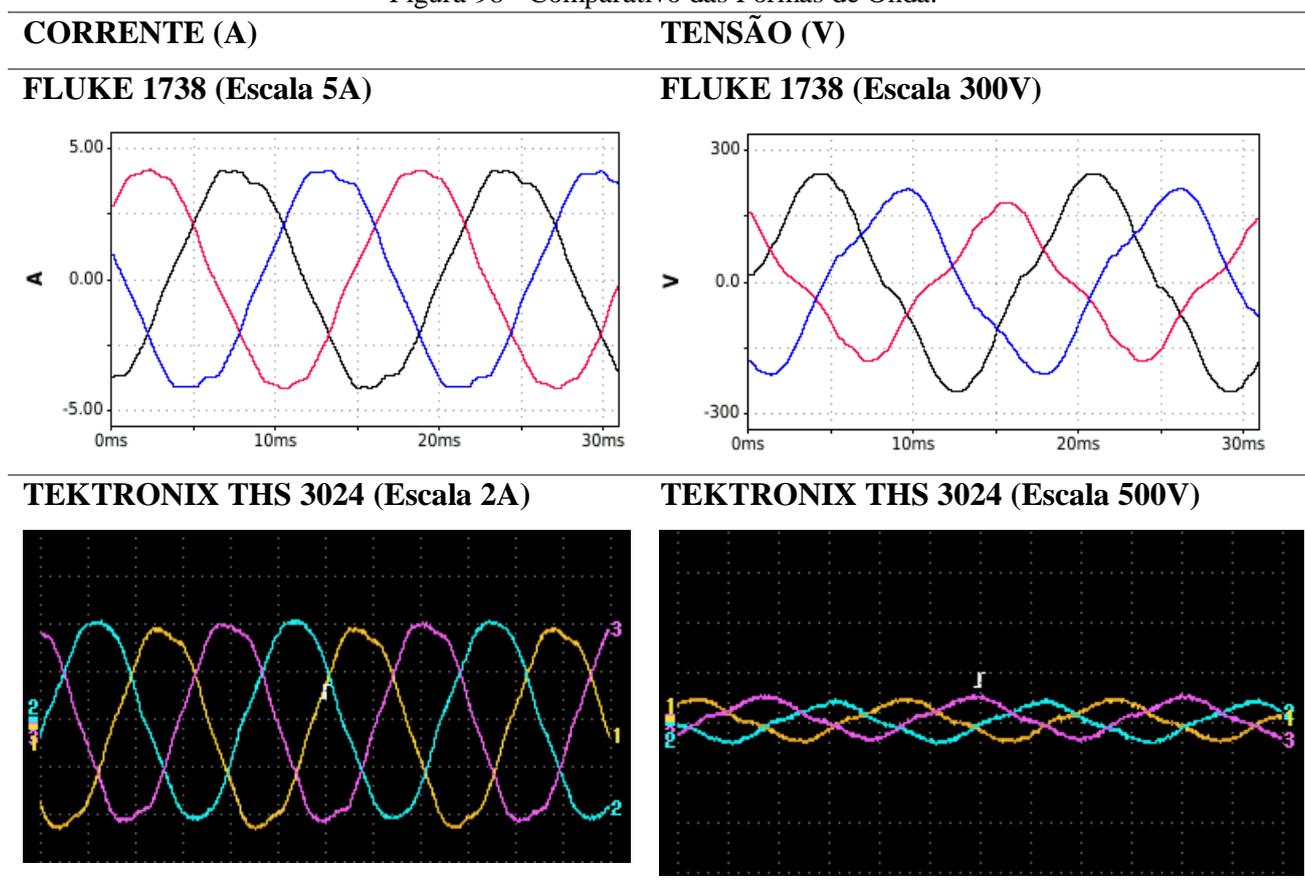
As medidas que apresentaram valores fora do padrão especificado estão destacadas em vermelho. Vale ressaltar que os valores referentes ao WAVEBOOK/516E foram as que apresentaram os maiores erros absolutos percentuais. Já as medidas referentes aos instrumentos TEKTRONIX 3024 e FLUKE 345 estão todas dentro da faixa tolerável.

É possível, que as diferenças entre medidas notadas no que se refere ao aparelho WAVEBOOK/516E, se deem por alguma configuração que não conseguiu se ajustar durante as etapas de medição.

Cabe ressaltar que a parte experimental do presente calendário foi realizada em período de suspensão do calendário acadêmico presencial e/ou atividades remotas. Este fator de insegurança sanitária dificultou novas análises. E, portanto, já adianta-se que, novas verificações de configurações e medições para checagem dos dados são desejáveis e propostas para trabalhos futuros.

A Tabela mostra o comparativo entre as formas de onda de corrente e de tensão entre os aparelhos FLUKE 1738 e TEKTRONIX TH3024.

Figura 98 - Comparativo das Formas de Onda.



Fonte: (Acervo do Autor, 2021).

Reforça-se que, que o medidor Fluke 1738 foi escolhido como referencial que indica a necessidade de calibração nos demais equipamentos, e não invalida ou desacredita o uso de qualquer um dos equipamentos aqui analisados.

4.4 Considerações Finais

Analisando todos os dados obtidos e demonstrados nota-se que neste trabalho o aparelho que apresentou erro fora da faixa de precisão foi o WAVEBOOK 516/E. Os resultados com precisão fora da faixa almejada obtidos no aparelho não o coloca como sendo de baixa confiabilidade, apenas mostra que é preciso investigar as possíveis causas dos resultados e chegar a raiz do problema. Em primeira instância a principal suspeita é o ciclo de calibração. Os aparelhos FLUKE possuem um ciclo de calibração de 2 anos. Por outro lado, os aparelhos TEKTRONIX THS3024 e WAVEBOOK/516E possuem um ciclo de calibração de pelo menos uma vez ao ano. Os fabricantes dos medidores garantem o desempenho de acordo com as especificações apenas se a calibração estiver de acordo com o recomendado. Ressalta-se que, o medidor TEKTRONIX THS3024 passou pela fase de "aquecimento e pré-calibração". Não foi possível estimar com precisão a data da última calibração do WAVEBOOK/516E. No entanto, estima-se que a calibração total tenha ocorrido há mais de 01 (um) ano, especialmente considerando o tempo de suspensão/calendário remoto das atividades acadêmicas. No que tange ao medidor WAVEBOOK/516E, indica-se que precisará, além da calibração, de uma reconfiguração de seus parâmetros, visto que mesmo sob tentativas de configuração, os valores não conseguiram ser ajustados para próximo dos demais valores medidores pelos outros instrumentos em questão neste trabalho.

5 CONCLUSÕES

Esse trabalho de conclusão de curso teve como intuito abordar, de forma contributiva para a comunidade acadêmica, o tema de medidas elétricas. O capítulo 1 foi o capítulo introdutório, onde as motivações, objetivos e a organização do trabalho foram expostas. No capítulo 2, foram apresentadas as principais notações de medidas elétricas de forma resumida, agregando o conhecimento necessário para a continuação do trabalho. O capítulo 3 discorreu sobre os medidores utilizados nas avaliações deste trabalho. As principais informações dos medidores estavam originalmente em língua inglesa e foram transcritas para língua portuguesa. O foco e contribuição principal foi descrever processos de calibração e descarga de dados de cada um deles. Já o capítulo 4 foi o capítulo de comparação das medidas simultâneas entre medidores. Considerando o referencial FLUKE 1738, verificou-se considerando erros absolutos e precisão, as medidas do FLUKE 345 e TEKTRONIX THS3024 estavam conformes tanto para tensão quanto corrente. O aparelho WAVEBOOK/516E mostrou-se como o que necessita de maior atenção. Por já ter sido utilizado em trabalhos anteriores neste mesmo laboratório, sabe-se que as medidas colhidas com distinções acentuadas demonstram a necessidade de reconfigurar o aparelho, bem como recalibrá-lo.

Sugestões para trabalhos Futuros:

- Realizar a calibração total do aparelho que apresentaram diferenças fora da faixa almejada para erros e precisão e repetir as medidas;
- Avaliar erros e precisão de medidores de sinais de pequena magnitude como, os osciloscópios digitais utilizados no laboratório de eletrônica, em medidas simultâneas como neste trabalho;
- Verificar possíveis atualizações de *softwares* para os aparelhos.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, Luis Antonio. **Fundamentos de Instrumentação** 1 ed. São Paulo: Pearson, 2015. 325 p.

ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Mathew N. O. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. 5 ed. Rio de Janeiro: AMGH Editora LTDA, 2013. 867 P.

BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação E Fundamentos de Medidas. Volume 1**. 2 ed. Rio de Janeiro: Grupo Gen-LTC, 2015.

BELCHIOR, Fernando Nunes. **Medidas Elétricas**. Notas de Aula (Apostila) – Universidade Federal de Itajubá Instituto de Sistemas Elétricos e Energia Grupo de Estudos Em Qualidade de Energia Elétrica. 2014. 182p. Disponível em <<https://docplayer.com.br/13784563-Apostila-ele505-medidas-eletricas.html> > Acesso em 18 Mai. 2020.

FLUKE *ABC da Segurança e Medições Elétricas*. 2003. 7p. Disponível em <<http://docplayer.com.br/5824041-Abc-da-seguranca-de-medicoes-eletricas.html>> Acesso em 18 Mai. 2020.

FLUKE *345 Power Quality Clamp Meter Manual do Usuário*. 2006. 74p. Disponível em: <https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/345_umeng0000.pdf > Acesso em: 28 jun. 2019.

FLUKE *1738 Power Logger Meter Manual do Usuário*. 2015. 86p. Disponível em: <https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/173x_umeng0200_0.pdf?2JZuc3jb6JoHuQ163Haf5bzCdt1HSMvE> Acesso em: 28 jun. 2019.

MEASUREMENT COMPUTING. (2002). *WaveView and WaveCal*. 2002. 48 p. Disponível em: <https://www.mccdaq.com/pdfs/manuals/waveview_wavecal.pdf> Acesso em: 28 jun. 2019.

MEASUREMENT COMPUTING. (s.d.). *Ethernet-Based Portable High-Speed Waveform Acquisition*. (s.d.). 13 p. Disponível em: <https://www.mccdaq.com/pdfs/specs/wavebook_data.pdf > Acesso em: 28 jun. 2019.

FRANK, Ernest. **Electrical Measurement Analysis**. 1 ed. New York: McGRAW-HILL, 1959. 443 p.

GUSSOW, Milton. **Eletricidade Básica**. 2 ed. São Paulo: Pearson, 1997. 627p. MEDEIROS FILHO, Solom. **Fundamentos de Medidas Elétricas**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1981. 307 p.

JNG Catálogo Geral Catálogo. 2017. 181p. Disponível em: <<http://www.jng.com.br/download.asp?idcat=11> > Acesso em: 18 mai. 2020.

LEÃO, Fábio Bertequini; KUROKAWA, Sérgio. **Introdução a medidas Elétricas**. Notas de Aula (Apostila) – UNESP Campus ilha Solteira. 2002. 21p. Disponível em <<https://www.feis.unesp.br/#!/departamentos/engenharia-eletrica/disciplinas/medidas-eletricas/>> Acesso em 18 Mai. 2020.

LEÃO, Fábio Bertequini; KUROKAWA, Sérgio. **Medidas Elétricas Capítulo 2**. Notas de Aula (Apostila) – UNESP Campus ilha Solteira. 2002. 8p. Disponível em <<https://www.feis.unesp.br/#!/departamentos/engenharia-eletrica/disciplinas/medidas-eletricas/>> Acesso em 18 Mai. 2020.

LEÃO, Fábio Bertequini; KUROKAWA, Sérgio. **Medidas Elétricas Capítulo 4**. Notas de Aula (Apostila) – UNESP Campus ilha Solteira. 2002. 8p. Disponível em <<https://www.feis.unesp.br/#!/departamentos/engenharia-eletrica/disciplinas/medidas-eletricas/>> Acesso em 18 Mai. 2020.

MARCHESE, Ricardo. **Medidor de Energia Baseado Na Norma IEEE 1459-2010**. Monografia (TCC) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2013.

MEDEIROS FILHO, Solom. **Medição de Energia Elétrica**. 3 ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1986. 474 p.

MERKLE, Anne. **Análise da Qualidade de Energia**. Monografia (TCC) – Unifacvest. 2018.

MINIPA Multímetro Digital ET 1110A *Manual de Instruções*. 2016. 2p. Disponível em: <<http://www.minipa.com.br/categoria/1/multimetros/5-et-1100a#manual>> Acesso em: 18 mai. 2020.

MINIPA Osciloscópio Digital MVB DSO *Manual de Instruções*. 2014. 78p. Disponível em: <<http://www.minipa.com.br/osciloscopios/osciloscopios-digitais/159-mvb-dso#manual>> Acesso em: 18 mai. 2020.

NAKASHIMA, Kazuo. **Valor Médio e Eficaz**. Artigo – Universidade Federal de Itajubá Instituto de Engenharia de Sistemas e Tecnologia da Informação. 2013. 12p. Disponível em <<http://professor.ufabc.edu.br/~jose.azcue/Circuitos%20Eletricos%201/rms.pdf>> Acesso em 18 Mai. 2020.

REIS, W. M. **Estudo de Equipamentos Medidores de Grandezas Relacionadas a Energia Elétricas em um Motor Trifásico**. Monografia (TCC) – Universidade Federal do Tocantins. 2017.

RENZ Instrumentos Elétricos *Catálogo*. 2018. 6p. Disponível em: <<http://www.renzbr.com/catalogo.php>> Acesso em: 18 mai. 2020.

SILVA, João Henrique Vieira da. **Proposta de Um Protótipo de Um Analisador de Qualidade de Energia Elétrica**. Monografia (TCC) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2017.

TEKTRONIX. *THS3000 Series Oscilloscopes User Manual*. 2012. 140 p. Disponível em: <http://download.tek.com/manual/077060701_web_0.pdf> Acesso em: 28 jun. 2020.

TEKTRONIX. *THS3000 Series Oscilloscopes Performance Verification and Adjustments*. 2012. 44 p. Disponível em: < <https://www.tek.com/oscilloscope/th3000-handheld-oscilloscope-manual/th3000-series-oscilloscopes-0>> Acesso em: 28 jun. 2020.

VERISSIMO, Mathioly Leite. **Estudo Teórico e Prático de Equipamentos de Medição de Energia Elétrica e de Um Motor de Indução Trifásico**. Monografia (TCC) – Universidade Federal do Tocantins. 2019.

VUOLO, José Henrique. **Fundamentos da Teoria de Erros**. 2 ed. Rio de Janeiro: Edgard Blücher LTDA, 1996. 241 p.